

---

| 目次 | CONTENTS |
|----|----------|
|----|----------|

---

|    |                                        |                                                                                                                                                                            |
|----|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <巻頭言><br>環境のワールドカップと技術開発               |                                                                                                                                                                            |
| 2  | 固形残渣の発生しない食品廃棄物の<br>メタン発酵システム—PAMEDIS— | New methane fermentation system<br>for food waste without solid residue generation<br>—PAMEDIS—                                                                            |
| 8  | 三菱化学(株)黒崎事業所殿向<br>エステプロセス®の運転状況        | Operating Report on S-TE Process®<br>delivered to Mitsubishi Chemical Corporation                                                                                          |
| 14 | "FMモジュール"の膜分離活性汚泥法への適用                 | Application of "FM module" to membrane bioreactor                                                                                                                          |
| 22 | 回転型膜分離装置「ROTOSEP」のバッフル挿入効果             | Effect of baffle in rotary membrane separation<br>system "ROTOSEP"                                                                                                         |
| 31 | 北九州市水道局殿向上向流式生物接触ろ過施設<br>—施設概要と水質改善効果— | Upper counter-flow type bio contact filter for removal<br>of ammonia nitrogen, moldy odor and dissolved<br>manganese for Kitakyushu-City Waterworks Bureau                 |
| 36 | 高速繊維ろ過による合流式下水道越流水対策                   | Control of Combined Sewage Overflow with<br>High-Rate Fiber Media Filtration                                                                                               |
| 45 | 超臨界水酸化大型パイロットプラントの1000時間<br>下水污泥処理運転   | The decomposing operation of municipal sewage<br>sludge for 1000 hours by the supercritical water<br>oxidation (SCWO) process using the large-scale<br>demonstration plant |
| 51 | 濾過機能付 PV ミキサーの開発                       | Development of PVF<br>(PV MIXER with filtration function)                                                                                                                  |
| 60 | 神鋼神戸発電所向け総合排水処理設備の紹介                   | A Comprehensive Wastewater Treatment System<br>for Shinko Kobe Power Station                                                                                               |
| 68 | 地域冷暖房用新型重層式冷却塔の紹介                      | New Type Double-Deck Cooling Tower for DHC                                                                                                                                 |
| 73 | —製品紹介—<br>蓄熱式燃焼脱臭装置 RTO                | Introduction of Regenerative Thermal Oxidizer                                                                                                                              |
| 79 | TECHNICAL NOTE<br>POPs 分析評価技術          |                                                                                                                                                                            |

---

## 環境のワールドカップと技術開発



岡山大学大学院自然科学研究科 教授

工学博士 田 中 勝

Masaru Tanaka

私も加わった経済財政諮問会議の専門調査会で、循環型経済社会については、「豊かな環境を守りつつ、資源を無駄なく活用し、新たな制度やルールの下に、広範な分野で市場と雇用の拡大が実現されていく社会」と位置付けている。そして国民共有の目標として、安全・安心な生活環境を整備し、活気に満ち、魅力あふれた「美しい日本」の建設をし、革新的技術や製品が世界のモデルとして評価され、国際社会をリードすることを掲げている。

先ほど開かれたサッカーのワールドカップでは日本の技術レベルの高さを世界に遺憾なく示すことができた。日本のレベルはヨーロッパや南米に比べて低い、と思っていたのが今回の戦いで速さ、シュート力、戦略、精神力など総合的な技術レベルの高さが世界トップレベルであることを証明した。

経済のワールドカップでは、戦後のゼロからの出発で経済を驚異的なペースで発展させ、世界のトップレベルに追いついた。環境のワールドカップでも、水俣病やイタイイタイ病を引き起こした公害問題を解決した日本の環境技術は世界トップレベルとして評価されて良いのではないだろうか。経済と環境問題を解決した国として、開発途上国からの環境分野での技術援助要請は多い。下水道や浄化槽の整備で河川の水質は大幅に改善され、焼却炉の煙突から黒煙は見られず、ダイオキシン類対策まで徹底され、最近の廃棄物処理技術は高度な処理技術、ガス化熔融技術をものにし、リサイクル技術の開発や環境を配慮した動脈産業のグリーン化も進展している。

しかしこの分野で築いた日本の技術は海外ではあまり活躍していない。なぜかアジア諸国も含めた海外では、欧米の環境産業企業や廃棄物処理会社が進出して、日本からの技術が活用されていない。日本の技術は複雑すぎるとか、高すぎるとかいわれ、そもそもその国の環境問題を解決するための貢献がまだ少ないように見受けられる。また一方もっとその国にあった海外で通用する技術の開発も必要かもしれない。

日本でも循環型社会にマッチした技術として、そもそも廃棄物の発生抑制につながるリデュース技術、修理などするリユース技術、再生するリサイクル技術の開発が促進されている。処理施設のリユースやリサイクル技術と、もっと省エネの運転や維持管理の技術開発も必要であろう。廃棄物の処理によって、環境負荷の低減を図り、豊かな環境を守ることにつながるが、その処理そのものに資源やエネルギーの消費をできるだけ抑制し環境負荷をもたらないような施設の整備や運転であることも求められる。環境のワールドカップのチャンピオンになるためにはまだまだ技術開発すべき課題はたくさんありそうである。

# 固形残渣の発生しない 食品廃棄物のメタン発酵システム —パメディス—

New methane fermentation system  
for food waste without solid residue generation  
—PAMEDIS—



(技)第2研究開発部第5研究室  
桂 健 治  
Kenji Katsura  
佐 藤 朋 弘  
Tomohiro Sato

当社は、従来のメタン発酵技術に当社で開発した汚泥可溶化技術（エステ技術）を組み合わせることにより、固形残渣の完全消滅も可能な新しいメタン発酵システム『パメディス』（PAMEDIS: Pantec Methane Dissolution System）を開発した。本システムにおいては、発生した固形残渣を好熱性細菌（好熱菌）が分泌する酵素によって可溶化し、可溶化液をメタン発酵槽に返送してメタンガスに転換することにより、メタンガス回収率を向上できるとともに、固形残渣を大幅に減量することができる。本システムの実証を目的に、食品加工工場においてパイロット実験を実施し、固形残渣を消滅できるとともに、メタンガス回収率を約90 %まで向上できる可能性をえた。

A new methane fermentation system named PAMEDIS has been developed by combining our sludge degradation technology, S-TE, and the conventional methane fermentation technology. In this system, generated solid residue is solubilized by enzyme secreted from thermophilic bacteria and converted to methane gas by methane bacteria. A pilot test of the system conducted at a food-processing factory suggested the possibility of complete removal of solid residue and the methane recovery rate of approx. 90 %.

## Key Words :

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| 食 品 廃 棄 物     | Food waste             |
| 資 源 リ サ イ ク ル | Recycling of resources |
| メ タ ン 発 酵     | Methane fermentation   |
| 固 形 残 渣       | Solid residue          |
| 可 溶 化         | Solubilization         |
| 好 熱 菌         | Thermophilic bacteria  |
| 酵 素           | Enzyme                 |

## ま え が き

食品加工工場から発生する動植物性残渣や食品の流通および消費により発生する生ゴミ（売れ残りや残飯）等のいわゆる食品廃棄物は年間約2 000万トンが排出されており、その90 %以上が焼却・埋立

処理されている。そこで、食品廃棄物の資源リサイクルを促進するため、2001年5月に農林水産省から「食品循環資源の再生利用などの促進に関する法律（通称：食品リサイクル法）」が施行された<sup>1)</sup>。食品廃棄物のリサイクル技術としては、堆肥化、飼料化

およびメタン発酵技術が検討されているが、なかでも、メタン発酵技術は発生したメタンガスを汎用的なエネルギー（電気、熱など）に転換して利用するため、社会的ニーズが高まりつつある。しかしながら、メタン発酵技術には、メタン発酵工程およびその後処理（活性汚泥処理）工程から発生する固形残渣の処理の問題が残されている。現在、固形残渣の堆肥化などへの検討が進められているが、農地への施肥の許容量から安定した供給先を確保することは非常に困難であり、固形残渣の処理がメタン発酵技術の普及を図る上でのカギになると考えられている<sup>2)~4)</sup>。したがって、メタン発酵技術を普及させるには、メタン発酵システムから発生する固形残渣を消滅し、かつ、メタンガス発生量を大幅に増大できる画期的な技術開発が必要とされていた。

このような背景のもと、当社は従来のメタン発酵技術に当社で開発・商品化した汚泥可溶化技術（エステ技術）を組み合わせることにより、新しいメタン発酵システムを開発した。今回、食品加工工場から発生する食品廃棄物を用いてパイロット実験を実施したので、以下にその結果を報告する。

## 1. パイロット実験の概要

### 1.1 目 標

食品廃棄物のメタン発酵処理工程および、その後処理である活性汚泥処理工程から発生する固形残渣

（未分解の食品廃棄物および余剰汚泥）を消滅し、かつ、メタンガスの回収率を90 %以上に向上することを目標とした。

### 1.2 使用した食品廃棄物

本実験では、処理対象として食品加工工場から発生する食品廃棄物（植物性残渣）を使用した。処理量は1日あたり約80 kg（湿潤ベース）とした。

### 1.3 システムの構成

写真1にパイロット実験装置を示す。本装置は、縦5 m、横8.3 m、高さ3.5 mのスキッドマウント上に据付け、食品加工工場の屋外に設置した。図1にパイロット実験のシステムフローを示す。本システムは、前処理（破袋、分別、破碎）工程、メタン発酵処理工程、後処理（活性汚泥処理）工程および可溶化処理工程の4つの工程から構成されている。本システムの最大の特長は、従来のメタン発酵システムに好熱菌を利用した可溶化処理工程を組込んだことにある。

## 2. 実験条件および実験方法

表1に各工程の実験条件の概要を示す。また、各工程の操作方法の詳細を以下に述べる。

### 2.1 前処理（破袋、分別、破碎）工程

食品廃棄物から発酵不適物（容器、ビニール袋）を選別、除去するため、破袋・分別機をもちいた。破袋・分別機に投入された廃棄物は回転ブレードに

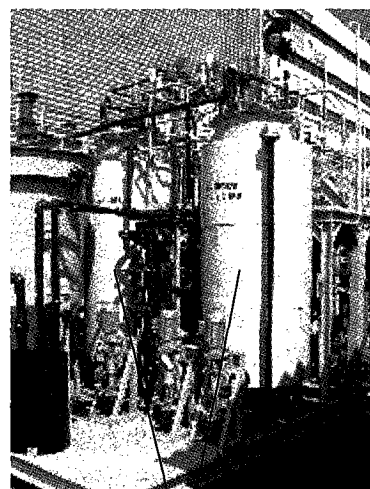


Tearing and separation equipment

Methane fermentation tank (5m³)

Activated sludge tank (2.5m³)

(a) Whole view



Solubilization tank (0.5m³ x 2)

(b) Solubilization tank (S-TE tank)

写真1 パイロット実験装置  
Photo 1 Pilot test plant



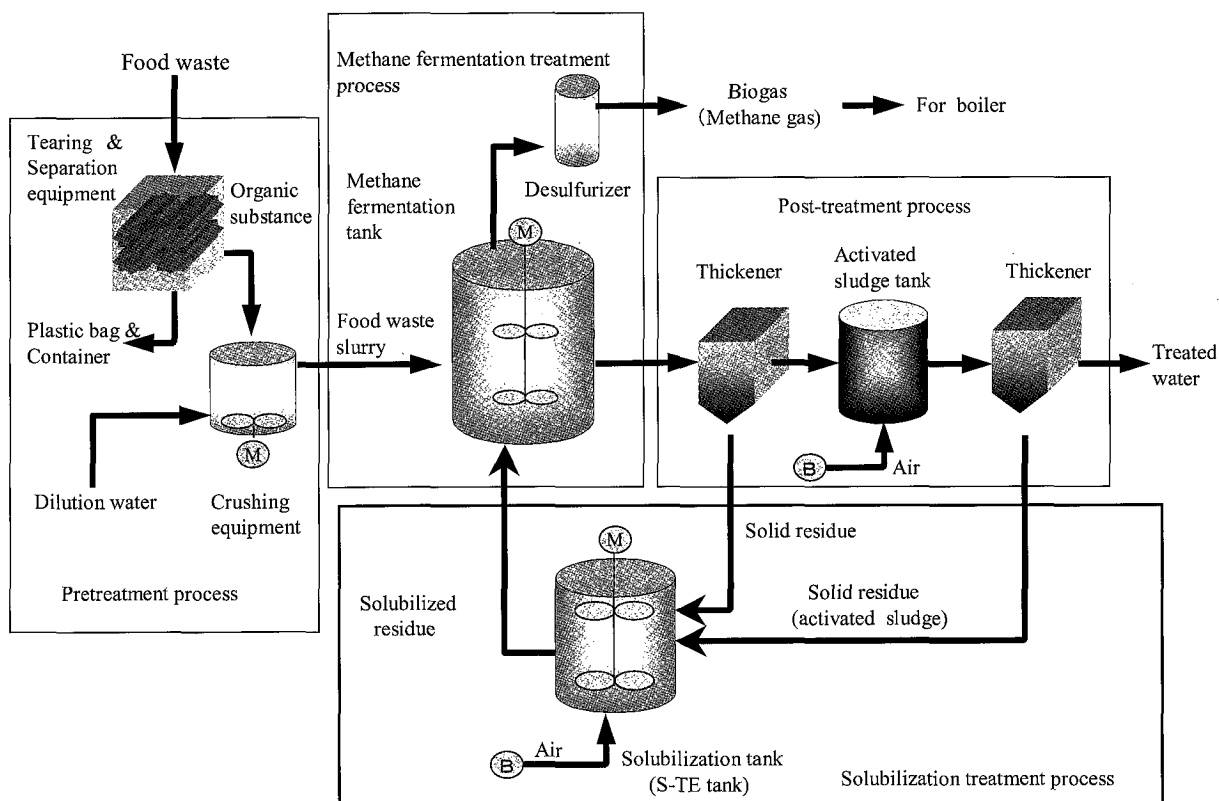


図 1 パイロット実験のシステムフロー  
Fig.1 Flow diagram of pilot test

表 1 実験条件  
Table1 Experimental conditions

| Process                                   | Items                                     | Unit                 | Design value |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|--------------|
| Pretreatment                              | Amount of treated food waste              | kg/d (wet base)      | 80.0         |
| Methane fermentation treatment            | Temperature                               | ℃                    | 54.0         |
|                                           | Hydraulic retention time                  | d                    | 10.0         |
|                                           | Volumetric COD <sub>Cr</sub> loading rate | kg/m <sup>3</sup> /d | 11.5         |
| Post-treatment                            | Volumetric BOD <sub>5</sub> loading rate  | kg/m <sup>3</sup> /d | 0.5          |
| Solubilization treatment (S-TE treatment) | Temperature                               | ℃                    | 65.0         |
|                                           | Rate of aeration                          | vvm                  | 0.05         |
|                                           | Hydraulic retention time                  | d                    | 3.0          |

より破袋，破碎され，下部スクリーンより回収される。一方，破袋された容器およびビニール袋は，回転ブレードにより発生する遠心力および風力により排出，除去される。回収された食品廃棄物はポンプにより破碎機へ移送され，希釈水を添加することにより，TS（Total Solids：蒸発残留物）濃度を所定の濃度に調整し，その後破碎し，スラリー状に破碎された食品廃棄物はメタン発酵処理の原料として供給された。

表 2 に食品廃棄物スラリーの性状を示す。TS 濃度を約80 000 mg/L（80 %）に調整した結果，T-COD<sub>Cr</sub> は約117 000 mg/L（11.7 %），T-BOD<sub>5</sub> は約60 000 mg/L（6 %）であった。

表 2 食品廃棄物スラリーの性状  
Table2 Characteristics of food waste slurry

| Items               | Unit | Average | Range             |
|---------------------|------|---------|-------------------|
| TS                  | mg/L | 81 100  | 76 500 — 83 400   |
| VS                  | mg/L | 77 600  | 73 200 — 81 600   |
| SS                  | mg/L | 65 300  | 62 200 — 68 300   |
| VSS                 | mg/L | 63 100  | 59 500 — 65 200   |
| T-COD <sub>Cr</sub> | mg/L | 117 000 | 103 000 — 129 000 |
| T-BOD <sub>5</sub>  | mg/L | 60 200  | 56 700 — 64 000   |
| T-N                 | mg/L | 2 200   | 2 050 — 2 410     |
| T-P                 | mg/L | 450     | 370 — 550         |
| Hexane extracts     | mg/L | 6 100   | 5 200 — 6 700     |
| pH                  | —    | 4.2     | 3.9 — 4.4         |

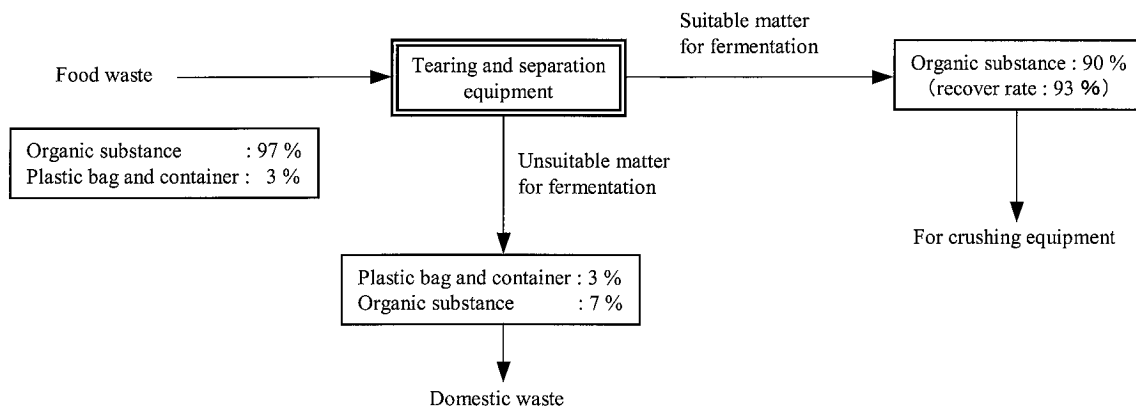


図 2 破袋・分別機の物質収支  
Fig.2 Mass balance of tearing and separation equipment

## 2.2 メタン発酵処理工程

メタン発酵槽は、攪拌機により発酵液を攪拌する完全混合方式を採用した。操作温度は54℃の高温式で、ジャケットに温水を供給することにより温度調節をおこなった。食品廃棄物スラリーは回分的に投入され、1回当たりの投入量を反応容積(2.0 m<sup>3</sup>)の2%(40 L)とし、1日あたりの食品廃棄物スラリーの投入回数を増やしてHRT(Hydraulic Retention Time: 水力学的滞留時間)を短くすることにより、COD<sub>Cr</sub>容積負荷を上昇させた。最終的にHRTを10日に設定した結果、COD<sub>Cr</sub>容積負荷は約12 kg/m<sup>3</sup>/dとなった。なお、本実験では高温メタン発酵の種汚泥として、下水処理場の高温消化汚泥を使用した。

## 2.3 後処理(活性汚泥処理)工程

メタン発酵処理液に凝集剤を添加して固液分離し、その上澄み液を活性汚泥槽(反応容積: 2.5 m<sup>3</sup>)により処理した。最終的なBOD<sub>5</sub>容積負荷は約0.5 kg/m<sup>3</sup>/dであった。

## 2.4 可溶化処理工程

本システムの最大の特長である可溶化槽には、攪拌機により固形残渣を攪拌する完全混合方式を採用した。操作温度は65℃とし、ジャケットに温水を供給することにより温度調節をおこなった。また、装置下部よりブローにて0.05 vvm (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/min)の空気を供給した。メタン発酵処理工程から発生する固形残渣(未分解の食品廃棄物および増殖したメタン菌)と活性汚泥処理工程から発生する固形残渣(余剰汚泥)を可溶化槽へ投入し、好熱菌が分泌する体外酵素により固形残渣の可溶化処理をおこなった。HRTは1日および3日とした。可溶化処理してえられた可溶化液は、メタンガスの回収率向上を目的に、全量をメタン発酵槽へ返送するフローとした。

表 3 メタン発酵槽の処理性能

Table3 Treatment performance on methane fermentation tank

| Items                                                        | Data                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Methane gas recovery rate (T-COD <sub>Cr</sub> removal rate) | 80 %                                                                            |
| Methane gas production rate                                  | 6.6 Nm <sup>3</sup> /d<br>(0.34 Nm <sup>3</sup> /kg removed COD <sub>Cr</sub> ) |
| Composition of biogas                                        |                                                                                 |
| Methane (CH <sub>4</sub> )                                   | 60 %                                                                            |
| Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )                            | 40 %                                                                            |
| Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)                          | 50 ppm<br>(<1 ppm)*                                                             |
| VFA (as COD <sub>Cr</sub> ) in the tank                      | 800 mg/L                                                                        |

\* After desulfurization

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 食品廃棄物の破袋・分別処理

食品廃棄物の分別処理の結果として、図2に破袋・分別機の物質収支を示す。下部スクリーンから回収された食品廃棄物は細かく破碎されており、容器やビニール袋の混入はほとんど認められなかった。最終的に食品廃棄物(内容物)の回収率は約93%となった。また、分別された容器と袋への食品廃棄物の混入は、麺類がわずかに見られた程度であり、回収できなかった食品廃棄物の割合は投入量に対して7%程度であった。以上の結果から、本破袋・分別機を使用することにより食品廃棄物を効率的に破袋、分別できることを確認した。

### 3.2 従来型システムによるメタン発酵処理

本システムの効果を比較するために、従来型のメタン発酵システムの運転をおこなった。従来型のメタン発酵処理では、固形残渣の可溶化処理をおこなわないで、固形残渣を系外へ排出した。

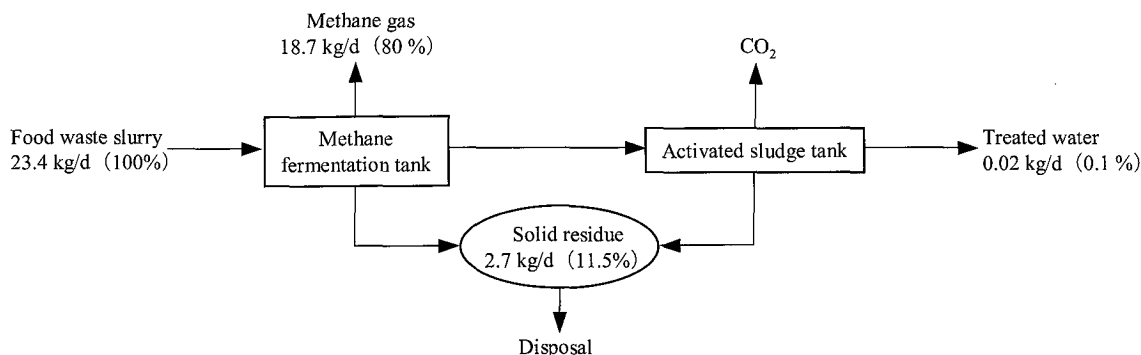


図 3 従来型のメタン発酵システムにおける COD<sub>Cr</sub> 物質収支

Fig.3 Mass balance of COD<sub>Cr</sub> on conventional methane fermentation system

### 3. 2. 1 メタン発酵処理

表 3 にメタン発酵槽の処理性能を示す。COD<sub>Cr</sub> 容積負荷は約 12 kg/m<sup>3</sup>/d と高負荷運転をおこなったが、メタンガスの回収率は約 80 % と高い回収率が安定してえられた。除去された COD<sub>Cr</sub> 当たりのメタンガス発生量は 0.34 Nm<sup>3</sup>/kg となり、理論値の 0.35 Nm<sup>3</sup>/kg とほぼ等しくなった。バイオガス中のメタンガスの割合は 60 % 前後で安定して推移した。

発酵槽内の VFA (Volatile Fatty Acid: 揮発性脂肪酸) 濃度は 800 mg/L (COD<sub>Cr</sub> 換算) 前後で推移した。一般的に、高温メタン発酵では、食品廃棄物中の蛋白質の分解により発生するアンモニア (アンモニア性窒素として 2 000~3 000 mg/L) によりメタン菌が阻害され、VFA 濃度が 5 000 mg/L 以上に上昇すると言われている。表 2 に示すとおり、今回使用した食品廃棄物スラリー中の窒素濃度は約 2 200 mg/L と低く、槽内のアンモニア性窒素濃度も 1 600 mg/L 前後で推移した。したがって、本実験ではアンモニアによるメタン菌への阻害が小さく、結果として VFA 濃度を低く抑えることができたと考えられる。

### 3. 2. 2 活性汚泥処理

表 4 に本システムにおける活性汚泥槽の処理性能を示す。T-COD<sub>Cr</sub>、T-BOD<sub>5</sub>、SS およびヘキサン抽出物質はいずれも 90 % 以上の分解率となり、下水放流できることを確認した。

### 3. 2. 3 COD 収支

図 3 に後処理プロセスも含めた COD<sub>Cr</sub> の物質収支を示す。メタン発酵処理では、投入した COD<sub>Cr</sub> 23.4 kg/d のうち 18.7 kg/d がメタンガスに転換され、メタンガスの回収率は約 80 % になった。また、後処理も含めて投入した COD<sub>Cr</sub> のうち約 12 % にあたる 2.7 kg/d の固形残渣が発生した。

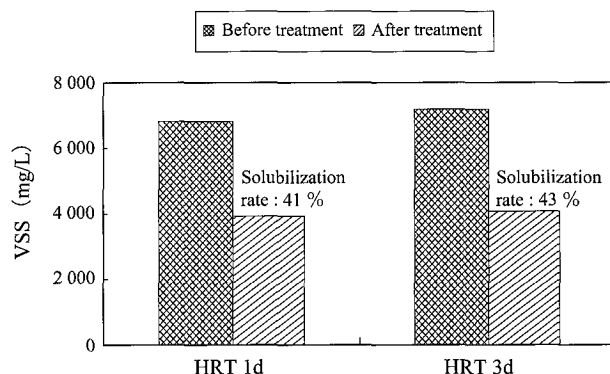


図 4 可溶化槽における処理性能

Fig.4 Treatment performance on solubilization tank

表 4 活性汚泥槽の処理性能

Table4 Treatment performance on activated sludge tank

| Items               | Before treatment<br>mg/L | After treatment<br>mg/L | Removal rate<br>% |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| T-COD <sub>Cr</sub> | 17 000                   | 150                     | 99.1              |
| T-BOD <sub>5</sub>  | 7 100                    | 20                      | 99.7              |
| SS                  | 1 400                    | 60                      | 95.7              |
| Hexane extracts     | 350                      | 20                      | 94.3              |

### 3. 3 固形残渣の可溶化処理

上述の従来型のメタン発酵システムから発生した固形残渣の可溶化処理をおこなった。図 4 に可溶化槽における処理性能を示す。滞留時間の影響を調べるために HRT を 1 日および 3 日の 2 条件でおこなったが、いずれの条件においても固形残渣の VSS 可溶化率は 40 % 以上と高い可溶化率がえられた。通常、汚泥の減量化を目的としたエステプロセスの適用基準は VSS 可溶化率 30~35 % 以上である。したがって、本実験でえられた約 40 % の VSS 可溶化率は基準値を上回っており、本システムを実現できる可能性が示唆された。

本実験では空気の供給量を 0.05 vvm と低く設定したにもかかわらず、高い VSS 可溶化率がえられ

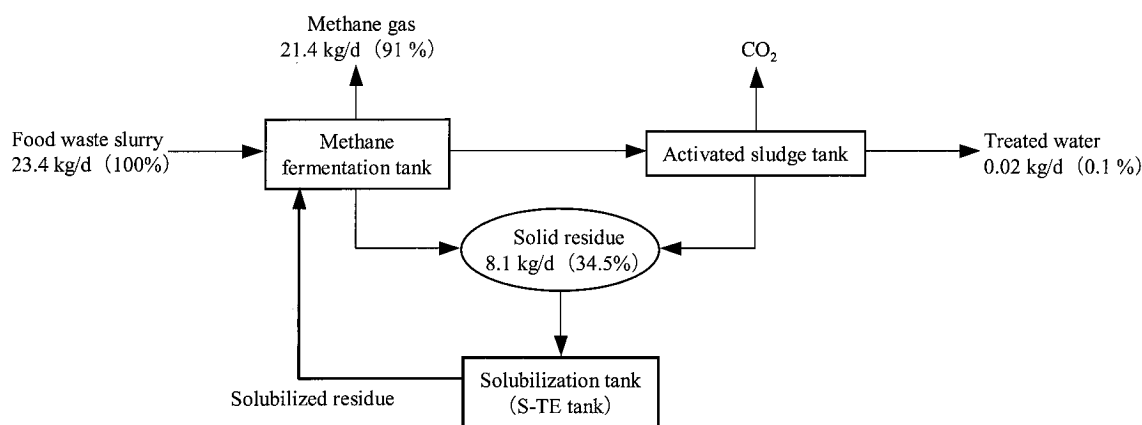


図 5 本メタン発酵システムにおける  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  物質収支の試算結果  
Fig. 5 Calculated mass balance of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  on new methane fermentation system

た。可溶化槽での酸化還元電位は $-150 \sim +50 \text{ mV}$ で推移しており、いわゆる微好気状態となっていたが、好熱菌の酵素生成に及ぼす影響は認められなかった。

### 3. 4 本システムの評価

上述の実験結果から、本システムの構築の可能性を考察した。図 5 に後処理プロセスも含めた  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  の物質収支の試算結果を示す。

固形残渣の消滅については、可溶化槽における VSS 可溶化率が基準値の 30～35 % を上回ったことから、従来型システムにおいて発生した固形残渣 2.7 kg/d の 3 倍量の 8.1 kg/d を可溶化処理し、可溶化液の全量をメタン発酵槽へ返送することにより達成できると考えられた。

メタンガスの回収率の向上については、可溶化液をメタン発酵槽へ返送することにより、可溶化液中の溶解性の有機物がメタンガスに転換されるため、90 % 以上のメタンガス回収率がえられると考えられた。すなわち、投入した  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  23.4 kg/d のうち 21.4 kg/d がメタンガスに転換されると試算した。

### む す び

本パイロット実験により、固形残渣を消滅するとともに、メタンガス回収率を約 90 % まで向上できる可能性をえた。上述の通り、固形残渣の処理は、メタン発酵技術の普及を図る上でのカギになると考えられている。今後、本システムを実用化すること

により、食品廃棄物のメタン発酵技術の普及に向けて大きく貢献できると考えている。また、本システムの実用化により、処理対象物が食品廃棄物だけでなく、一般家庭から発生する生ゴミや家畜糞尿等の有機性廃棄物にまで拡大されることが予想される。その結果、有機性廃棄物の集約化処理が進展することが予想され、これまで経済的理由でメタンガスの発電設備としての導入が難しかった燃料電池等の導入が容易になり、地球温暖化防止にも貢献できると考えている。

本実験を実施するにあたり、実験場所および食品廃棄物のご提供等、多大なるご協力を頂いた生活協同組合コープこうべ六甲アイランド食品工場殿にお礼申し上げます。また、メタン発酵槽の立ち上げのために下水汚泥をご提供頂いた神戸市建設局東部建設事務所水環境センター殿にお礼申し上げます。本開発は、NEDO の「平成 12 年度 地球環境保全技術開発事業費助成事業」として実施したものである。

### [参考文献]

- 1) 農林水産省：食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（2000）
- 2) 原田靖生：有機性資源の有効利用と窒素の適正制御，第 1 回農林水産環境シンポジウム（2000）p.1
- 3) (財) 地球環境産業技術研究機構：地球環境関連技術の推進に関する調査（1999）p.118
- 4) 生物系廃棄物のリサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題（1999）

連絡先

桂 健 治 技術開発本部  
第 2 研究開発部  
第 5 研究室

TEL 078 - 992 - 6525  
FAX 078 - 992 - 6504  
E-mail k.katsura@pantec.co.jp

# 三菱化学(株)黒崎事業所殿向 エステプロセス®の運転状況

Operating Report on S-TE Process®  
delivered to Mitsubishi Chemical Corporation



(環)水処理本部技術部  
塩田 憲 明  
Noriaki Shiota  
宮本 武  
Takeshi Miyamoto

当社は、三菱化学(株)黒崎事業所殿向けに汚泥減量化設備（エステプロセス®）を納入した。本稿では、設備概要を紹介するとともに、2002年3月よりおこなっている実運転の状況を報告する。現状2槽あるリアクターのうち1槽のみの運転であるが、良好な処理能力を示しており、汚泥可溶化率は50 %以上であることを確認している。また、システム全体での汚泥収支を取ったところ、汚泥減量化率は59 %であった。

The S-TE PROCESS® is a novel wastewater treatment process with significantly reduced production of excess sludge. In March 2002, the first full-scale plant was started in Kurosaki plant of Mitsubishi Chemical Corporation, Japan. Although only one of the two reactors has been operated tentatively, more than 50 % of the organic sludge has been solubilized by enzyme in a thermophilic sludge digester, S-TE reactor. At the 50 % loading rate, the entire system has reduced the production of excess sludge by 59 %.

## Key Words :

好熱性細菌  
余剰汚泥  
可溶化  
高温汚泥消化槽

Thermophilic Bacteria  
Excess Sludge  
Solubilization  
Thermophilic Sludge Digester

## まえがき

わが国における産業廃棄物の排出量は、ここ数年では約4億トンと横這い傾向にあるものの、その量は一向に減少する気配はない。産業廃棄物の排出量は家庭から排出される一般廃棄物の排出量の約8倍に達し、そのうちの約20 %が最終処分として埋め立て処理されている。このままでは10年後には最終処分場の残余容量がゼロになるとの推算もあり、産業廃棄物の再利用、減量化が緊急の課題となっている。近年、多くの企業が「ゴミゼロ工場」「ゼロエ

ミッション」などを目標に掲げ、工場、事業所からの廃棄物の削減に取り組んでいる。

有機性排水の処理方法としては、効率面、経済性、環境的面から生物学的処理法が最良の方法と考えられている。その処理過程で余剰汚泥が必然的に発生し、これらは脱水後そのまま、あるいは焼却・減容したうえで陸地に埋め立てることで処理されてきた。しかし、近年、焼却に伴い発生する有害物質、埋め立て地確保の問題などにより、汚泥処理の問題がクローズアップされてきている。現状、余剰汚泥の農

地還元や建設資材化などのリサイクルに回る分は30%程度にとどまっている。嫌気消化によるエネルギー回収などの有効利用も検討されているものの、設備が大きくなるうえ、利用先や安定供給の問題などが残されている。このような問題を解決するために当社は、好熱性細菌（以下、好熱菌とする）をもちいた汚泥可溶化装置と活性汚泥法を組み合わせたまったく新しい余剰汚泥減量化プロセスを開発し、販売するに至っている<sup>1)</sup>。

これまでに、石油化学工場など複数の民間工場排水を対象にパイロットスケール実証試験をおこない、余剰汚泥の完全減量化を達成している<sup>2)</sup>。このたび当社は、国内有数の化学メーカーである三菱化学(株)黒崎事業所殿より、当該排水処理設備から発生する余剰汚泥処理を目的とした汚泥減量化設備を民間向け第1号機として受注した。ここでは、その設備概要と運転状況を報告する。

## 1. エステプロセス®の原理

当社が開発した余剰汚泥減量化プロセスは従来の処理方法とは概念がまったく異なるものである。すなわち、排水処理設備から生じる余剰汚泥を汚泥可溶化槽（以下、S-TE槽とする）で処理したのち、曝気槽に返送して汚泥を分解・無機化するという水

処理・汚泥処理一体型の余剰汚泥減量化型活性汚泥プロセスである。つまり、既存の活性汚泥処理設備に汚泥可溶化装置を付加するだけで余剰汚泥の減量化が達成できる。図1に本プロセスの基本フローを示す。

S-TE槽は高温好気条件に保たれ、そこで増殖する好熱菌の酵素の作用により余剰汚泥がBOD化され、生物分解性が高められる。つまり、可溶化処理によって余剰汚泥のフロックが解体されるとともに、汚泥が酵素によって溶解されて細胞内成分を溶出することが判明している<sup>3)</sup>。可溶化処理された余剰汚泥は曝気槽に返送され、そこで活性汚泥生物により分解・無機化される。余剰汚泥の発生がゼロになる最大の鍵は、可溶化された汚泥の曝気槽における無機化量と発生する余剰汚泥量とが等しくなるようにS-TE槽で処理する汚泥量を調整することである。通常、S-TE槽に投入した汚泥量の約3分の1が可溶化されたのちに曝気槽内で無機化されるため、減量すべき汚泥量の約3倍量をS-TE槽に投入すれば余剰汚泥をほぼ全量減量できることになる。S-TE槽は沈殿槽を持たないワン・スルー方式のため、活性汚泥法のような汚泥管理を必要とせず運転管理は極めて容易である。

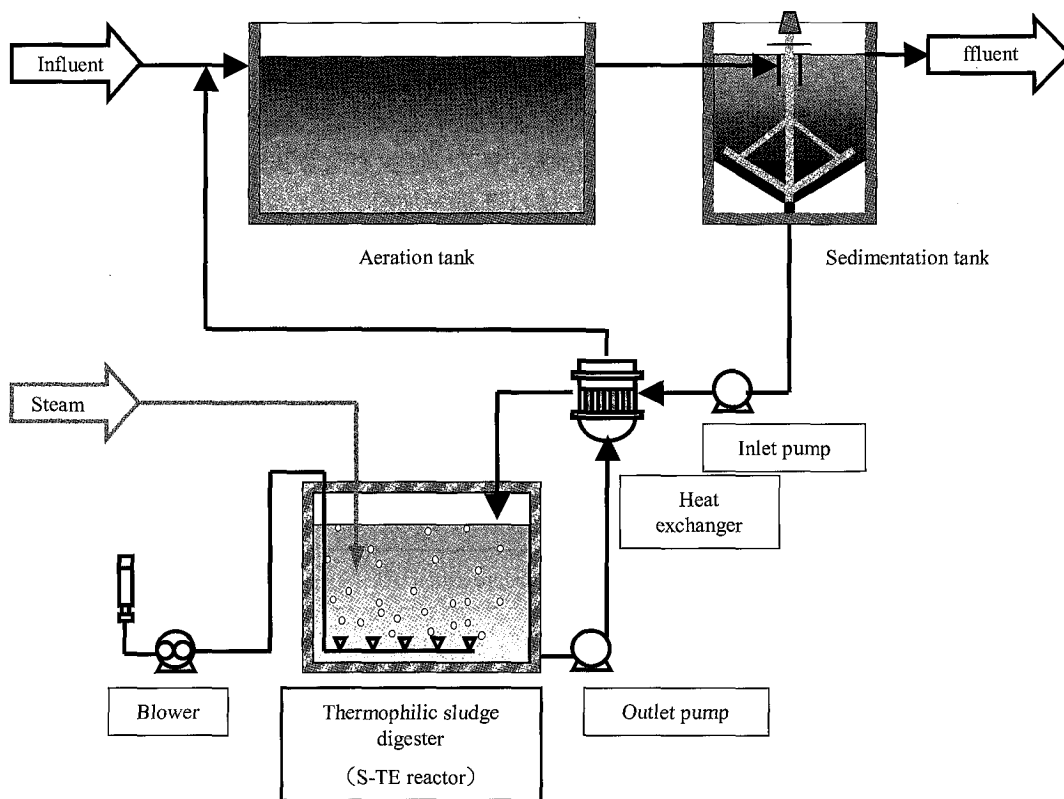


図 1 エステプロセス®の基本フロー

Fig.1 System flow of the simultaneous treatment of wastewater and excess sludge

本プロセスで使用する好熱菌は *Bacillus* 属に分類される病原性のない安全な細菌であり、当社が独自に汚泥コンポスト中から分離したものである。この細菌は微好気条件のもと60～70℃で活発に増殖し、強力な汚泥可溶化酵素を分泌して汚泥を溶解する。また、本菌は50℃以下では増殖せず、かつ、酵素も50℃以下では不活性であるため、曝気槽の活性汚泥に悪影響を及ぼすことはない。また、曝気槽内では一部孢子の状態では休眠するため死滅することなく、循環してS-TE槽に戻ってきた際に再度活性化されて汚泥の可溶化に寄与する。そのため、細菌の追加接種は原則的に不要である。以下に本プロセスの特長をまとめる。

#### ①余剰汚泥の減量化

余剰汚泥の発生が大幅に減量化され、余剰汚泥の発生ゼロも可能である。

#### ②汚泥処分費の削減

運転費が非常に安価であり、従来の脱水・搬出する処理方法にくらべて処分費が1/2～1/3になる。

#### ③短期間の立上げ

好熱菌の増殖と汚泥可溶化酵素の生産に最適な装置設計をおこなうことにより、わずか1日で所定性能までの立ち上げが可能である。

#### ④容易な維持管理

S-TE槽を60～70℃、微好気条件に保つ以外に面倒な維持・管理は一切不要である。

#### ⑤環境調和型プロセス

薬品は一切使用せず、自然界に生存する安全な微生物を使用するため、環境に優しいプロセスである。

なお、本プロセスでは、S-TE槽からの可溶化液の返流により、曝気槽では20%程度の負荷（BOD、窒素など）の上昇を考慮する必要がある。また、無機物を多く含む余剰汚泥は完全減量化を達成できない場合がある。上記の点に留意した上で活性汚泥法と組み合わせたトータルエンジニアリングをおこな

う必要がある。

## 2. 設備概要

本設備は、余剰汚泥の減量効果、経済的な運転、維持管理のしやすさなどが客先要求を満足し、汚泥処分費の低減を図れることから採用された。本設備を設計するに当たり、パイロットテスト機によるテストを1997年2月から6月にかけて実施し、テストデータをもとに最適設計をおこなった。

### 2.1 設計条件

処理対象：活性余剰汚泥

汚泥量：最大1 500 m<sup>3</sup>/d、最小1 000 m<sup>3</sup>/d

汚泥濃度：最大15 000 mg/L、最小10 000 mg/L

汚泥温度：最高37℃、最低18℃

処理時間：24時間/d

### 2.2 処理能力

可溶化汚泥量：5 000 kg-DS/d

(2 500 kg-DS/槽/d)

### 2.3 フローシート

当該設備のブロックフローを図2に示す。

既設排水処理設備は標準活性汚泥法を採用しており、これに新たにS-TE槽を付加することにより汚泥減量化プロセスを構築している。まず原水は原水槽に入り、pH調整されたのち曝気槽に入り生物処理される。沈殿槽で固液分離されたのち処理水は海洋放流される。従来、排水処理で生じた余剰汚泥は沈殿槽から引き抜かれ、遠心脱水機によって脱水されたのち焼却処分されていた。

新しいフローでは、沈殿槽からの引抜汚泥がS-TE槽にポンプ圧送されて可溶化処理に供される。S-TE槽は蒸気で加温され、さらに適度の散気をおこなうことにより、高温・微好気条件下で運転される。可溶化処理液はポンプで既設曝気槽に返送されるが、その際S-TE槽に受け入れる低温汚泥と高温の処理液を熱交換することにより、エネルギー回収をおこなっている。汚泥減量化設備は、1槽あたりの処理能力2 500 kg-DS/dを有する、完全に独立し

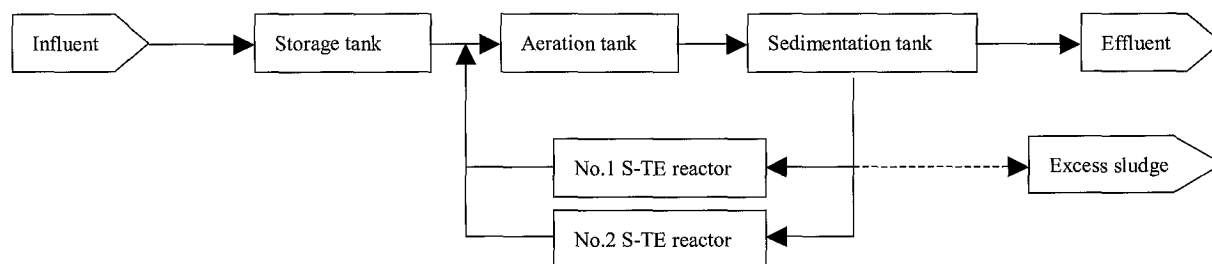


図 2 排水処理設備・汚泥減量化設備ブロックフロー

Fig.2 Block flow of the wastewater and the sludge treatment plant

た2系列のS-TE槽からなる。写真1に汚泥減量化設備の外観を示す。

## 2.4 設備仕様

### 2.4.1 排水処理設備（既設）

#### 1) 原水槽

容量：1300 m<sup>3</sup>

#### 2) 曝気槽

容量：12500 m<sup>3</sup>

散気方式：機械式表面曝気

#### 3) 沈殿槽

容量：2500 m<sup>3</sup>

### 2.4.2 汚泥減量化設備（S-TE槽）

容量：1500 m<sup>3</sup>（750 m<sup>3</sup>×2槽）

材質：RC製

主要機器仕様

溶解処理液移送ポンプ 2台

汚泥循環ポンプ 2台

散気ブロワ 2台

排気ブロワ 2台

散気装置（微細気泡型） 2式

汚泥熱交換器（写真2） 2台

排ガス熱交換器 1台

## 3. 運転状況

### 3.1 運転計画

表1に計画した運転条件を示す。基本設定は既報のとおり、まず汚泥循環率を設定し、それに見合った汚泥量をS-TE槽に投入した。ここで汚泥循環率は、減量化設備導入前の余剰汚泥発生量に対するS-TE槽投入汚泥量（乾燥重量基準）の倍率と定義し、次式で示される。

$$\text{汚泥循環率} = Q_{\text{S-TE}} / Q_{\text{W}}$$

ここで、

$Q_{\text{S-TE}}$ ：S-TE槽投入汚泥量（kg-DS/d）

$Q_{\text{W}}$ ：導入前の余剰汚泥発生量（kg-DS/d）

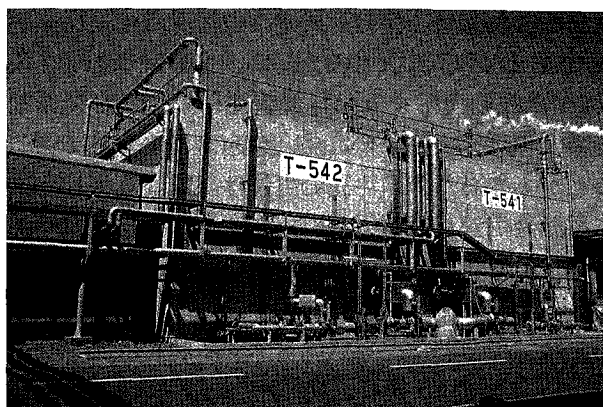


写真1 汚泥減量化設備の外観

Photo 1 Outside view of the S-TE reactor

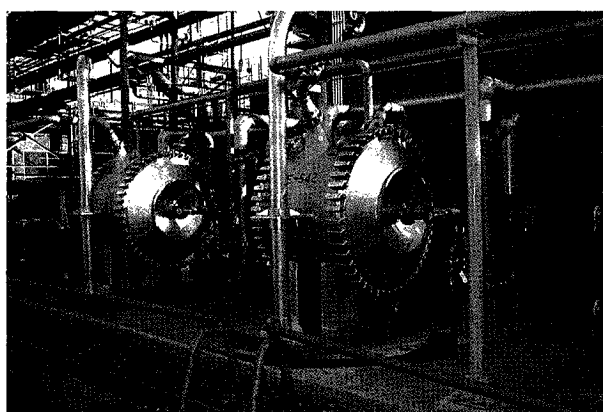


写真2 汚泥熱交換器の外観

Photo 2 Outside view of the heat exchanger

処理水質への影響を鑑み、投入汚泥量を段階的に増加させて汚泥循環率上昇させることとした。各RUNにおいて、所定の汚泥減量化をおこないつつ余剰汚泥を一部引き抜いて既設曝気槽MLSS濃度を6000 mg/L前後に保つ運転をおこなった。

各RUNにおける余剰汚泥の減量効果を確認するために、推定余剰汚泥発生量から汚泥減量化率を算

表1 運転条件

Table1 Scheduled operating conditions of S-TE reactor

| RUN | Tank No. operated | $Q_{\text{S-TE}}$ *<br>(kg-DS/d) | Circulating ratio<br>(—) | HRT<br>(d) | % decomposition expected**<br>(%) |
|-----|-------------------|----------------------------------|--------------------------|------------|-----------------------------------|
| 1   | No.1              | 4500                             | 0.9                      | 1.7        | 30                                |
| 2   | No.1              | 6000                             | 1.2                      | 1.25       | 40                                |
| 3   | No.1              | 7500                             | 1.5                      | 1.0        | 50                                |
| 4   | No.1+No.2         | 9000                             | 0.9                      | 1.7        | 60                                |
| 5   | No.1+No.2         | 12000                            | 2.4                      | 1.25       | 80                                |
| 6   | No.1+No.2         | 15000                            | 3.0                      | 1.0        | 100                               |

\*  $Q$  of the sludge injected to S-TE reactor.

\*\*% of the excess sludge decomposed in the overall wastewater treatment plant.



出して評価した。なお、推定余剰汚泥発生量は、各 RUN における流入 TOC 量に、2001年度の流入 TOC-汚泥転換率を乗じた数値を採用した。運転期間中、既設曝気槽内 MLSS 濃度はほぼ一定に保つことができたため、汚泥発生量は次式で算出した。

$$\begin{aligned} \text{汚泥発生量} &= \text{余剰汚泥引抜量} + \text{放流 SS 量} \\ &= Q_{\text{ex}} \cdot X + Q_{\text{eff}} \cdot C_{\text{eff}} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、

$Q_{\text{ex}}$  : 余剰汚泥引抜流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$X$  : MLSS 濃度 ( $\text{mg/L}$ )

$Q_{\text{eff}}$  : 放流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$C_{\text{eff}}$  : 処理水 SS 濃度 ( $\text{mg/L}$ )

一般的な水質項目の分析は JIS K0102に準じておこなった。

### 3.2 装置制御

投入汚泥は、既設沈殿槽から余剰汚泥受入ポンプを使って S-TE 槽に投入される。処理汚泥は、一定の槽内液位でオーバーフローしたものが全量曝気槽に返送される。また、投入汚泥は蒸気加温され、S-TE 槽内が  $60 \sim 66^\circ\text{C}$  になるように自動調整されている。さらに、S-TE 槽上部には酸化還元電位計 (ORP 計) が設置されており、これを指標に通気量を調整して微好気条件が保たれる。

### 3.3 運転状況

まず、運転開始当初には当社が分離・培養した好熱菌 (SPT2-1株) を種菌として投入する。これにより常在の好熱菌が少ない汚泥であっても、急速に装置を立ち上げることが可能となる。S-TE 槽への投入汚泥量、汚泥濃度についてはほぼ運転計画とおりとなった。

汚泥可溶化の指標として、可溶化処理前後の SS 除去率 (以下、汚泥可溶化率と称す) を算出した。図 3 に汚泥可溶化率の推移を示す。汚泥可溶化率は

おおむね 50 % 以上と高い数値を示し、所定の性能が発揮されていることがわかる。写真 3 に S-TE 槽内の可溶化処理前後の汚泥の写真を示す。S-TE 槽内で投入汚泥のフロックが破壊され、可溶化にともない細胞内成分が漏出している様子がわかる。

試運転期間中において、余剰汚泥全量減量化の運転をおこなっていない期間は、所定の汚泥減量化運転をおこないつつ MLSS 濃度を  $6000 \text{ mg/L}$  前後に保つように余剰汚泥の系外引き抜きも実施した。その期間の一例として RUN3における汚泥収支を取ると以下ようになる。

①推定余剰汚泥発生量:  $4170 \text{ kg-DS/d}$

(流入 TOC 量より算出した)

②余剰汚泥引抜量:  $1520 \text{ kg-DS/d}$

③RUN3の放流 SS 量:  $180 \text{ kg-DS/d}$

④余剰汚泥発生量 = ② + ③ =  $1700 \text{ kg-DS/d}$

曝気槽、沈殿槽を含めた排水処理設備系内に余剰汚泥の蓄積がないと仮定すると、汚泥減量化率は以下の計算でえられる。

$$\text{汚泥減量化率} = (\text{①} - \text{④}) / \text{①} = 59\%$$

現在、2系列ある S-TE 槽のうち片側 (No.1槽) のみの運転結果であるが、十分に減量化の効果が発揮されている。今後は余剰汚泥引抜量を段階的に減らすとともに、S-TE 槽投入汚泥量を増やした条件で運転を実施する計画である。

活性汚泥処理水の水質については、当初の想定どおり CODMn がやや高くなった。全 CODMn に占める溶解性 CODMn の割合が高く、通常は引抜汚泥とともに除去されていた難分解性物質が流出していることが考えられる。汚泥循環率を上昇させるにつれて SS 濃度も上昇した。いずれも処理数値にばらつきはあるものの、放流基準を越えることはなかった。

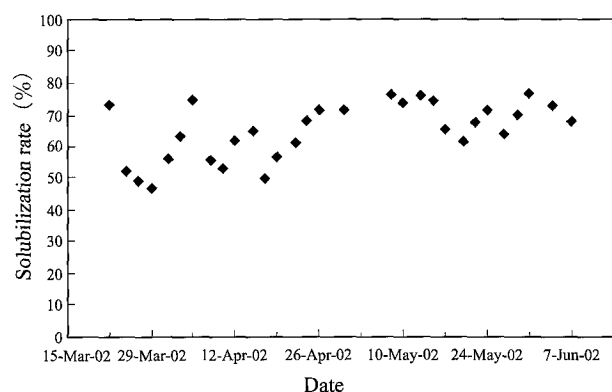


図 3 汚泥可溶化率の推移

Fig.3 Change of solubilization rate in the S-TE reactor

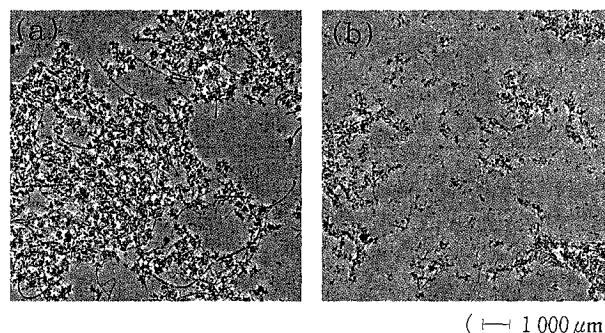


写真 3 可溶化処理前後の汚泥

(a)可溶化処理前の汚泥

(b)可溶化処理後の汚泥

Photo 3 Micrographs of sludge of:

(a)the undigested; and

(b)the digested

む す び

エステプロセス®は、すでに大手電気メーカーからも第2号機（日最大処理能力100 kg-DS）を受注し、試運転の段階に入っている。また、小規模下水処理場での実用運転を開始して1年以上になる<sup>4)</sup>。一方、当社から世界有数の水処理メーカーであるオンデオ・デグレモン社と、国内では日立金属(株)にライセンス技術供与している。このように、本プロセスは国内外を問わず高い評価を得た画期的な技術

最後に、エステプロセス®を導入いただき、また本稿執筆に当たりご協力を頂きました三菱化学(株)黒崎事業所、ならびに三菱化学エンジニアリング(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

- 1) 塩田憲明：産業機械，No.621 (2002) p.35-37
- 2) 塩田憲明ほか：環境技術，Vol.28, No.8 (1999) p.10-12
- 3) 長谷川進ほか：下水道協会誌 Vol.34, No.408 (1997) p.76-82
- 4) 日本下水道事業団，神鋼パンテック(株)：好気性好熱細菌による下水汚泥の減量化に関する共同研究報告書 Vol.44-001 (2000)

塩田憲明  
(農学博士)

環境装置事業部  
水処理本部  
技術部

TEL 078 - 232 - 8104  
FAX 078 - 232 - 8056  
E-mail [n.shiota@pantec.co.jp](mailto:n.shiota@pantec.co.jp)

# “FMモジュール”の膜分離活性汚泥法への適用

## Application of "FM module" to membrane bioreactor



(技)第2研究開発部第4研究室  
松 田 勉

Tsutomu Matsuda

(技)第2研究開発部第5研究室  
野 中 信 一

Shinichi Nonaka

有機性廃水処理の分野では活性汚泥法と膜分離を組合わせた膜分離活性汚泥法の適用が注目されている。この方式は従来の活性汚泥法（曝気槽＋沈殿槽）の沈殿槽の代替として膜分離装置をもちいるものであり、従来法にくらべて設備がコンパクトになることや処理水質が著しく改善できるなどの長所をもっている。本報告では、膜分離活性汚泥法についての概説をおこない、現状の問題点を指摘する。更に、食品工場の廃水を対象として“FMモジュール”を装着した膜分離活性汚泥処理システムの実証実験を実施し、同廃水に安定した適用が可能であることを確認した。その結果、FMモジュールをもちいることにより従来方式の問題点を解決するユニークな膜分離活性汚泥法となることがわかった。

A membrane bioreactor system is focused to apply for organic waste water treatment in various industrial fields. In this system, a membrane separation equipment is alternatively adopted instead of using settling tank which is conventionally used in an activated sludge treatment system. The membrane bioreactor system has great advantages such as compact design and improvement of treated water, compared with those of conventional activated sludge treatment systems. In this report, membrane bioreactor system and its present problems are described. Furthermore, demonstration testing has been conducted in a food manufacturing factory by using pilot plant installed FM module. The results of demonstration testing shows that the waste water from the factory could be stably treated by this system, and the system used FM module is proved as unique membrane bioreactor which can solve the problems of conventional treatment system.

### Key Words :

膜 分 離  
膜分離活性汚泥法  
廃 水 処 理  
平 膜  
逆 圧 洗 浄

Membrane separation  
Membrane bioreactor  
Waste water treatment  
Flat sheet membrane  
Back pressure cleaning

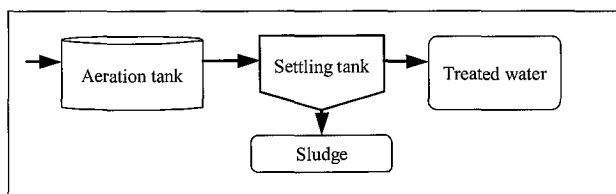
## まえがき

有機性廃水処理のもっとも一般的な手法として活性汚泥法が普及している。この方式は好気性微生物に有機物を摂取・分解させ、重力沈降を利用して汚泥微生物と処理水を固液分離している。

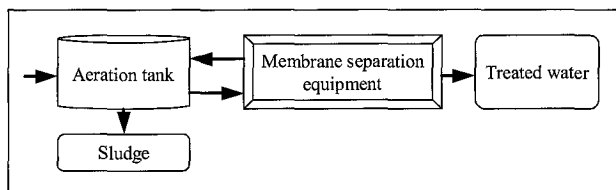
従来の活性汚泥法では、汚泥膨化現象等に起因する汚泥沈降不良によって処理水質悪化や汚泥の流出等を生じるリスクがあり、運転管理上、留意すべき点が多いという処理技術上の問題点があった。またさらに、曝気槽が大きくなったり、沈殿槽が必要であるなど設置面積の増大や、メンテナンスの手間が大きいという問題もあった。このような従来法の欠点を克服するシステムとして、生物処理後の固液分離に膜分離装置をもちいる膜分離活性汚泥法が提案されている。この方式をもちいることにより設置面積の大幅な削減、処理水質の向上が期待できる。

当社では、ROCHEM-UF Systeme 社（ドイツ）が開発したクロスフロー型の膜分離装置“FM モジュール”の独占販売契約を締結し、販売を開始している<sup>1)</sup>。FM モジュールは流路間隔を比較的大きくとれる平膜構造であり、かつ逆圧洗浄が可能であることから、高いSS分の原水に対しても閉塞のおそれが少ないため前処理を簡略化できる利点を有する。

本稿では、膜分離活性汚泥法について概説し、従来の技術上の問題点について指摘する。また食品工場廃水を対象としてFM モジュールをもちいた膜分離活性汚泥法の実証実験を実施した結果について報告し、FM モジュールの膜活性汚泥法への適用性について述べる。



(a) Conventional activated sludge process



(b) Membrane bioreactor process

図 1 標準活性汚泥法と膜分離活性汚泥法の処理フロー  
Fig.1 Flow sheet of standard activated sludge process and membrane bioreactor process

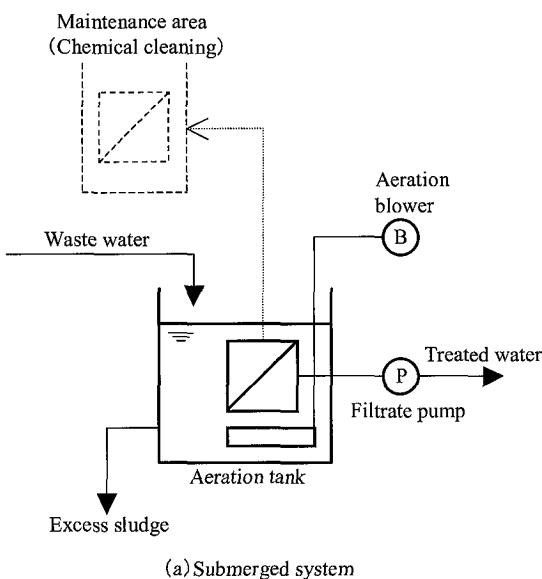
## 1. 膜分離活性汚泥法の概要

### 1.1 特 長

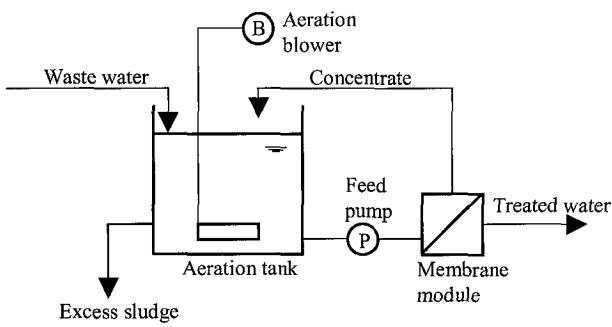
従来の活性汚泥法と膜分離活性汚泥法の標準的な処理フローを図1に示す。膜分離活性汚泥法は、活性汚泥法の沈殿槽の替わりに膜分離装置をもちいるため、設備がコンパクトになり維持管理も容易となる。また、MF 膜、UF 膜による精密な固液分離でありバクテリアを完全にトラップできるため曝気槽の MLSS 濃度を高濃度に維持可能となり、曝気槽の小型化も可能である。さらに、えられる処理水は大腸菌等の病原性微生物の完全な除去が可能であるなどの特長をもつ。

### 1.2 膜モジュールの設置方式

膜分離活性汚泥法は膜モジュールの設置方式から大別すると膜モジュールを曝気槽内に設置する浸漬方式と膜モジュールを曝気槽外に設置するクロスフロー方式の2方式に大別されている。図2に浸漬方式とクロスフロー方式の基本フローの比較を示す。



(a) Submerged system



(b) Cross flow system

図 2 浸漬方式とクロスフロー方式のフロー比較  
Fig.2 Flow diagrams of submerged system and Cross flow system

### 1. 2. 1 浸漬方式<sup>2)</sup>

曝気槽内に浸漬された膜モジュールは散気管の上部に設置され散気管の曝気空気による気液混合上昇流により、汚泥の蓄積などのファウリングが抑制されている。

ろ過方法は膜の処理水側からポンプで負圧としてろ過をおこなう吸引ろ過方式が多くもちいられている。

膜分離装置は長期間運転をおこなうと、膜細孔への有機物や無機物質沈着のため透過流束低下は避けられない。このような場合、定期的に薬品洗浄を実施して処理性能を回復させる必要がある。

浸漬方式の場合洗浄方法は、曝気槽内に膜を浸漬したまま薬液を注入して洗浄をおこなう槽内洗浄と、槽外に膜を取出して別途薬品洗浄槽に浸漬して洗浄する槽外洗浄があるが、強力な洗浄力の点から、通常は長期運転では槽外洗浄が実施されている。

槽外で実施する薬品洗浄は手動操作にて実施されているのがほとんどである。薬品洗浄頻度は条件によって異なるが、非定常な廃水の流入や負荷変動の大きい産業排水の処理では1～2ヶ月程度、もしくはそれよりも短いインターバルで薬品洗浄が必要な場合もある。このように浸漬方式の場合は、膜を曝気槽から取出すなどの作業とメンテナンスエリアが必要であり、作業にかかる労力が大きいことが問題であった。

### 1. 2. 2 クロスフロー方式

膜モジュールは加圧容器の中に納められ、曝気槽外に設置される。循環ポンプによって活性汚泥を含んだ廃水を曝気槽から膜モジュールに加圧供給し、クロスフロー方式でろ過される。クロスフロー方式では、比較的高粘度、難ろ過性の液についても処理が可能であるという利点をもつ。

また、クロスフロー方式では、薬品洗浄時に膜モ

ジュールに薬液をポンプで循環する方式が一般的に採用されており、膜モジュールを取出すことなく、迅速かつ効果の高い薬品洗浄がワンボタンもしくは異常の自動検知によって自動で実施が可能である。

表1に浸漬方式とクロスフロー方式の性能についてまとめたものを示す。

クロスフロー方式は、比較的難ろ過性の処理が可能であることや薬品洗浄に人手を要しない等、処理性能は浸漬方式よりも優れている。設置面積についても浸漬方式は薬品洗浄槽の必要性から必ずしも有利とはいえない。

本報告では、浸漬方式の技術的な問題点を克服することが可能と考えられるクロスフロー方式についてFMモジュールを適用した実証運転をおこなった。

## 2. FMモジュールをもちいた膜分離活性汚泥法

### 2. 1 FMモジュールの構造

FMモジュールの構造図を図3に、封筒状平膜エレメントの構造図を図4にそれぞれ示す。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)膜に至る膜種を選択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。封筒状平膜は、支持板の両面に、処理水スパーサー、平膜を各1枚ずつ重ね合わせて外周部をシールしている構造であり、平膜でありながら逆圧洗浄が可能な構造となっている。

### 2. 2 膜分離活性汚泥法への適用

FMモジュールをもちいた膜分離活性汚泥法の標準的なフローシートを図5に示す。FMモジュールは膜モジュールを曝気槽外に設置するクロスフロー方式である。曝気槽と膜分離装置間をポンプによって被処理液を循環させ、クロスフローでろ過する。従来の加圧方式ではファウリングを防止するために

表 1 浸漬方式とクロスフロー方式の性能比較

Table1 Comparison of performance between submerged system and Cross flow system

|                                          | submerged system        | Cross flow system                    |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Installed location of module             | Inside of aeration tank | Outer side of aeration tank          |
| Space for chemical cleaning              | Necessary (tank)        | Not necessary (Including the system) |
| Interruption time for chemical cleaning  | long                    | short (Automatic)                    |
| Treatability of hardly-filterable liquid | Bad                     | Good                                 |

クロスフローによる2～3 m/sの膜面流速を必要としていたが、FM モジュールでは逆圧洗浄を組入れた運転方法を採用し、ファウリングを間欠的に除去するという考えによって1 m/s以下の膜面流速でも安定した処理が可能となり従来の加圧方式よりも低動力で安定した処理が可能である。

### 3. 実証実験

#### 3.1 実証装置

実験に使用した装置仕様を表2に、装置フローを図6に示す。FM モジュールは膜間流路幅の広いタイプで膜材質は親水性のポリアクリロニトリル製UF膜（分画分子量50 000）を使用した。使用した実験装置を写真1に示す。

#### 3.2 実証条件

##### 3.2.1 実験原水

実験原水として食品工場の廃水を使用した。

実験期間の原水水質の平均値および最小、最大値

表 2 実験装置仕様

Table2 Specification of test equipment

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1) Aeration Tank            |                             |
| Capacity                    | 2 m <sup>3</sup>            |
| 2) Membrane specification   |                             |
| Membrane type               | UF                          |
| Material                    | Polyacrylonitrile           |
| MWCO                        | 50 000                      |
| 3) Module Specification     |                             |
| Clearance between membranes | 3.0 mm                      |
| Membrane area per a module  | 3.48 m <sup>2</sup> /module |
| Quantity of module          | 1 module                    |
| Total membrane area         | 3.48 m <sup>2</sup>         |

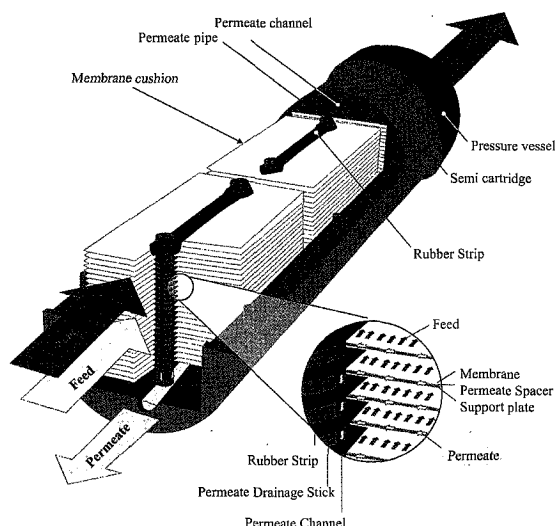


図 3 FM モジュール構造図

Fig.3 Schematic diagrams of FM module

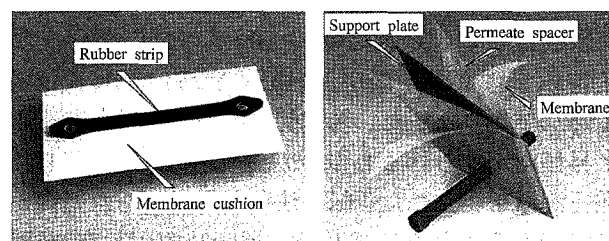


図 4 メンブレンクッション

Fig.4 Membrane cushion

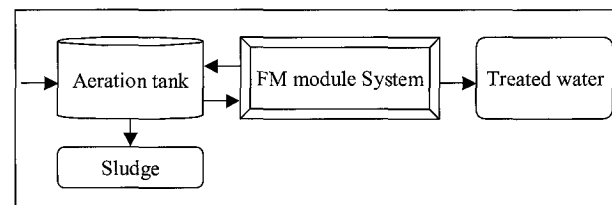


図 5 FM モジュールをもちいた膜分離活性汚泥法の標準フロー

Fig.5 Block flow diagram of membrane bioreactor process with a FM module

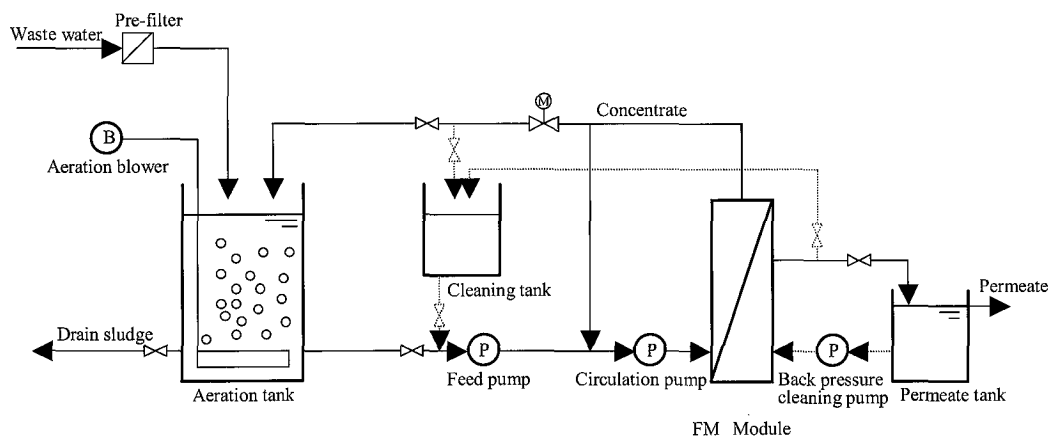


図 6 実験装置フロー

Fig.6 Flow diagrams of test equipment

を表3に示す。期間平均値はBODが5 330 mg/L, SSが1 070 mg/Lであった。

### 3. 2. 2 運転条件

ろ過方法として、FLUXを25 L/m<sup>2</sup>/hに設定する定流量ろ過方式を採用した。運転時間の経過と共にファウリングに起因する膜間差圧が上昇するが、定期的な逆圧洗浄（2～3時間毎に透過水を利用しておこなう）を組み込むことにより、膜間差圧を減少させてファウリングを防止する運転とした。

前処理として、自動洗浄機能付きのストレーナー（200 μm）をもちいて、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繊維状の異物を除去した。

## 4. 実証結果および考察

### 4. 1 処理性能

#### 4. 1. 1 膜間差圧とMLSSの推移

膜間差圧および混合水のMLSSの経時変化を図7に示す。実験期間中、FLUXを25 L/m<sup>2</sup>/hに設定し通水をおこなった。基本的に膜間差圧は、若干の上昇傾向がみられるものの0.1～0.2 MPaで推移し、逆圧洗浄を組入れた運転方法により安定した処理が可能であることを確認した。運転時間が約250時間を経過したところで急激に膜間差圧が上昇したが、その原因は低MLSS濃度での通水に起因するものであった。なお後述するが、逆洗をおこなわない場合には短時間で膜面に汚泥が堆積して膜間差圧が急上昇し、処理が困難であった。

実験期間中のMLSS測定結果は、最大値：17 720 mg/L, 最小値：5 560 mg/Lであった。

MLSSが6 000 mg/L以下で、膜間差圧が上昇する

傾向が確認された。理由は次のように考えられる。膜分離活性汚泥法のろ過原理は、膜表面に形成されたケーキ層がある程度ろ過層として働き、そのケーキ層で高～低分子の有機物が減少し膜細孔のファウリングを防止すると考えられているが、逆洗後、膜表面のケーキ層が除去された状態で低MLSS濃度の混合水をろ過したことにより、浮遊している微細フロック、溶解している有機成分等が直接膜細孔に作用しファウリングが起こり、膜間差圧が上昇したものと考えられる。対策としては、高MLSS濃度（巨大フロック）を保った状態で運転することが必要である。

#### 4. 1. 2 処理水質

原水のBODおよびSSの推移を図8, 9に示す。期間平均値はBODが5 330 mg/L, SSが1 070 mg/Lであった。

表 3 原水水質

Table3 Waste water quality

|       |        | Average | Minimum | Maximum |
|-------|--------|---------|---------|---------|
| pH    | [—]    | 4.3     | 4.0     | 4.9     |
| SS    | [mg/L] | 1 070   | 480     | 2 360   |
| BOD   | [mg/L] | 5 330   | 3 800   | 6 860   |
| S-BOD | [mg/L] | 4 690   | 3 200   | 6 350   |
| S-TOC | [mg/L] | 2 420   | 1 570   | 3 320   |

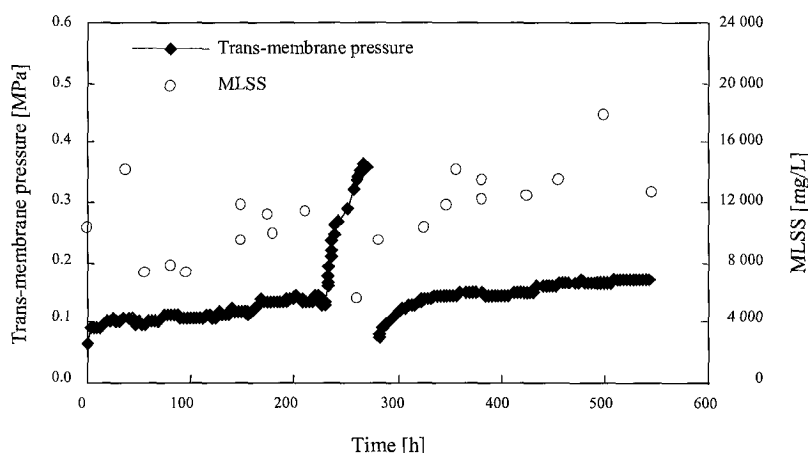


図 7 膜間差圧とMLSSの経時変化

Fig.7 Dependence of trans-membrane pressure and MLSS on operating time

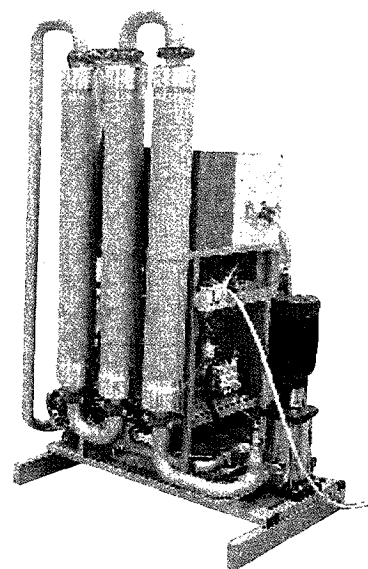


写真 1 実験装置の外観

Photo 1 Outside view of test equipment

処理水 BOD 濃度の推移を図10に、BOD 除去率の推移を図11に示す。処理水 BOD は10~200 mg/L で、BOD 除去率はおおむね98 % 以上であった。なお、98 % 以上の BOD 除去率が得られた時の BOD 負荷は、容積負荷が  $3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 、SS 負荷が  $0.2 \text{ kg/kg-ss} \cdot \text{d}$  以下であった。膜処理で曝気槽処理水に含まれる微細な懸濁物質を分離除去することにより、BOD が  $15000 \text{ mg/L}$  の廃水を  $10 \text{ mg/L}$  以下にできたと考えられる。

## 2 物理洗浄の効果

物理洗浄を実施しない運転では、膜間の流路に汚泥が閉塞を起こし、処理不能状態となる。膜間に汚泥が閉塞している状態を写真2に示す。このような



写真 2 膜間に汚泥が閉塞した状態  
Photo 2 Plugged membranes with sludge

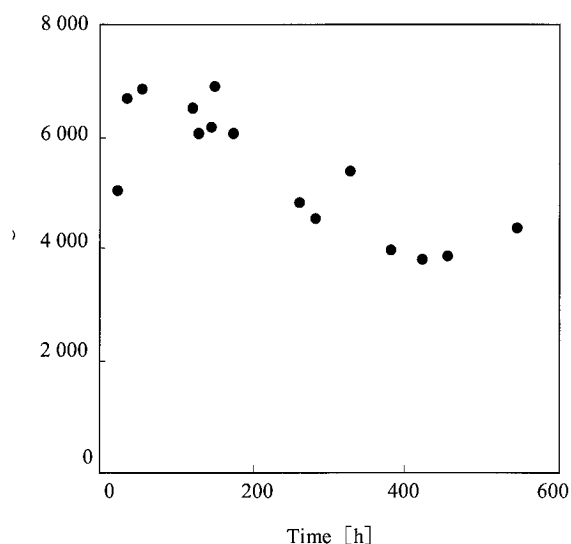


図 8 原水 BOD の推移  
Fig. 8 Change of BOD of waste water

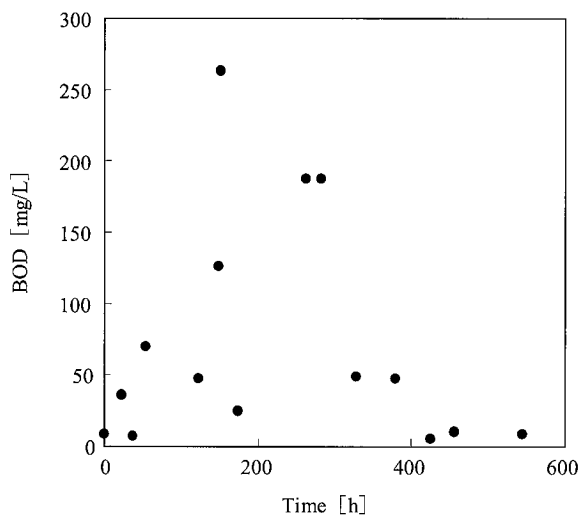


図 10 処理水 BOD の推移  
Fig. 10 Change of BOD of treated water

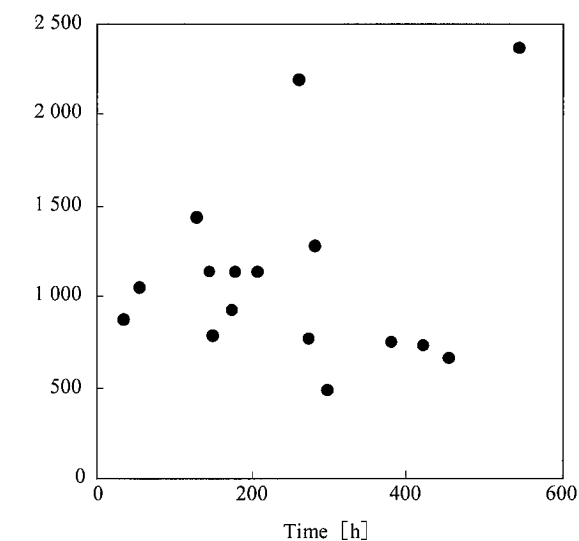


図 9 原水 SS の推移  
Fig. 9 Change of SS of waste water

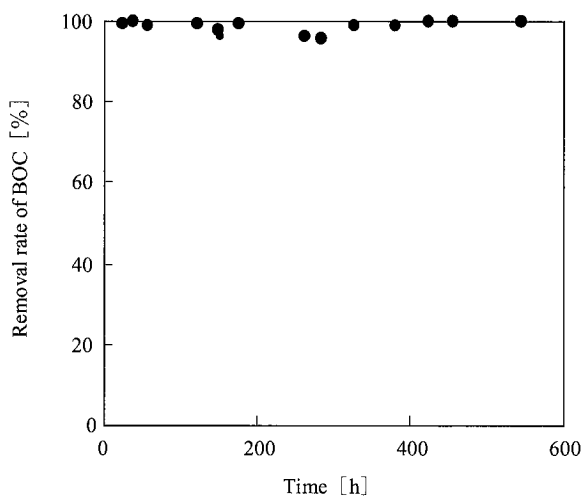
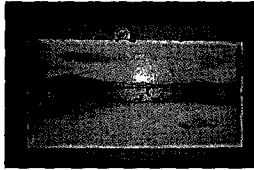
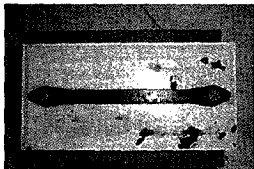
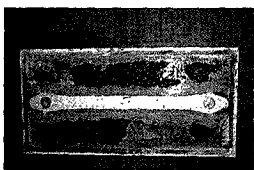


図 11 BOD 除去率の推移  
Fig. 11 Change of removal rate of BOD



表 4 物理洗浄効果  
Table4 Effect of physical cleaning

|                                                | Before cleaning                                                                   | After cleaning                                                                     |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ① Air scrubbing cleaning                       |  |  |
| ② Back pressure cleaning<br>(Washing by water) |  |  |
| ③ Back pressure cleaning<br>(Washing by air)   |  |  |

状態になると、薬液洗浄を実施しても閉塞した汚泥を完全に除去することは困難である。そこで、膜面に堆積した物質を除去・抑制する有効な手段である物理洗浄効果について調査した。物理洗浄条件は

- ①エアスクラビング
- ②水による逆圧洗浄
- ③空気による逆圧洗浄

について、モジュール内を強制的に汚泥で閉塞させ、各条件で物理洗浄を実施し、物理洗浄前後のモジュール内の状態より洗浄効果について評価した。エアスクラビング洗浄とは、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り、逆圧洗浄は膜の処理水側から水および空気を送り、ファウリング物質、付着物を除去する方法である。

洗浄前後のモジュール内部の状態を表4に示す。その結果、水による逆圧洗浄がもっとも高いことがわかった。

図12に逆洗実施による膜間差圧の推移を示す。ろ過時間にともない、膜表面に汚泥の付着、体積が生じ、膜間差圧が上昇するが、一定の間隔で逆洗を実施することによって回復し、安定した処理が可能となった。

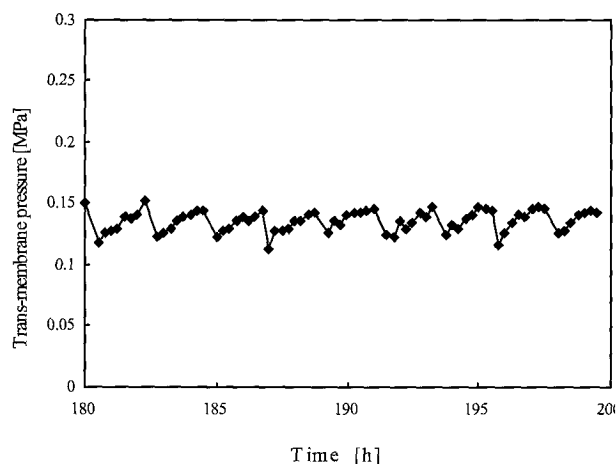


図 12 逆圧洗浄の効果  
Fig.12 Effect of back pressure cleaning

#### 4. 3 薬品洗浄の効果

実験期間中に膜間差圧が上昇した際と、実験終了時に NaClO による薬品洗浄を実施した。薬品洗浄前後の膜表面の状態を写真3に示す。逆圧洗浄を組入れた運転方法により、薬品洗浄前における膜表面の汚染度は抑制されている。さらに、薬品洗浄の実施により、膜の清水透過性能は新膜時の約85%程度まで回復し、良好な薬品洗浄効果がえられた。

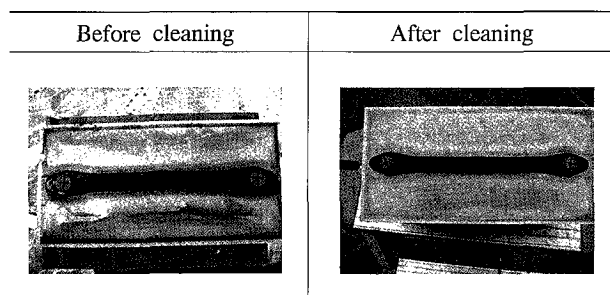


写真 3 薬品洗浄効果（膜面の状態）  
Photo 3 Effect of chemical cleaning  
(Condition of membrane surface)

#### 4. 汚泥性状の処理性におよぼす影響

図13に実験期間中の曝気槽混合水 MLSS 濃度とろ紙ろ過性および汚泥粘度の関係を示す。

ろ紙ろ過性とはろ過の難易度を調べる方法であり、10 mL の汚泥を 5 枚のろ紙で濾過した場合の 5 分間のろ過量で示される。

藤井らは、廃水用浸漬膜処理の最適汚泥性状として①ろ紙ろ過性：20 mL/5 min 以上②粘度：150 mPa・s 以下であることを紹介している<sup>2)</sup>。今回の実験ではろ紙ろ過性は2.0～2.5 mL/5 min、粘度は最高直400 mPa・s、に達しており、浸漬膜では安定した運転が困難と考えられるような汚泥性状であったが、FM モジュールでは安定した運転が可能であることが判明した。

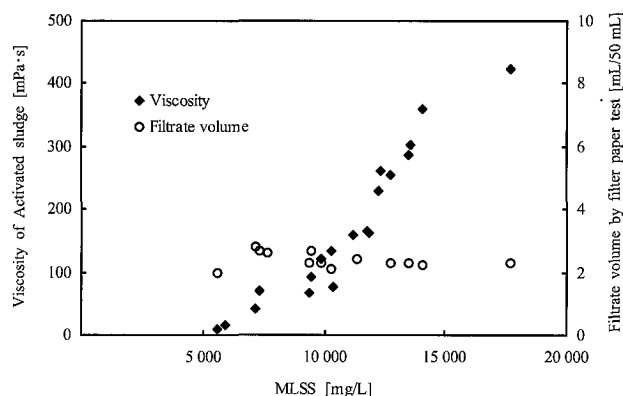


図 13 MLSS 濃度とろ紙ろ過性および汚泥粘度の関係  
Fig.13 Relationship among MLSS, viscosity and filterability

#### むすび

食品工場の廃水を対象として FM モジュールをもちいた膜分離活性汚泥処理システムの性能実証実験を実施した。その結果、逆圧洗浄を組入れた運転方法により、従来の加圧方式よりも低動力で安定した処理が可能であることが確認された。また、薬品洗浄性も良好な結果がえられ、同廃水への適用が十分に可能であることが実証された。

#### [参考文献]

- 1) 島田光重ほか：神鋼パンテック技報，Vol.45 No.2 (2001)，p.46
- 2) 藤井 匡ほか：神鋼パンテック技報，Vol.44 No.1 (2000)，p.17

#### 連絡先

松 田 勉 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 t.matsuda@pantec.co.jp

# 回転型膜分離装置「ROTOSEP」の バッフル挿入効果

Effect of baffle in rotary membrane separation  
system "ROTOSEP"



(技)第2研究開発部第4研究室  
谷 田 克 義  
Katsuyoshi Tanida  
杭 出 義 也  
Yoshiya Kuide

回転型膜分離装置「ROTOSEP」は、高透過流束／高濃縮操作を可能とした新しい膜分離装置である。膜円板を積層させただけの回転型膜分離装置では、膜を高速回転させても膜円板間の流体の滞留により回転の効果が十分に発揮されなくなるが、「ROTOSEP」ではバッフルを膜円板間に挿入することにより膜円板間の流体と膜円板外側の流路を流れる流体との物質交換が促進されることにより、回転の効果が高められている。本報告では、膜分離性能に及ぼすバッフルの挿入効果を明らかにすることを目的として、ラテックス溶液の透過流束測定およびレーザードップラー流速計を用いたバッフル周辺での流速測定をおこなった。その結果、バッフルを挿入することにより膜円板間の乱流が促進され透過流束が向上し、しかもファウリングや閉塞を起こすことなく安定に処理できることがわかった。これは、バッフルの半径方向に沿って、膜円板間の流体の入れ替えが効果的におこなわれていることによる。

The new rotary membrane separation system, "ROTOSEP", has realized the operation with high permeate flux and high concentration. A stagnation of fluid between membrane disks decreases the effect of high rotation of membrane disks, however, "ROTOSEP" uses efficient baffles inserted between membrane disks, and these can promote the exchange of fluid from the space between membrane disks for the fluid in the channel. The purpose of this report is to clarify the effect of baffle on the membrane separation performance. In this study, the permeate flux of latex emulsion was measured, and also the velocity around the baffles was measured using Laser Doppler Velocimeter (LDV). The results show that turbulence between membrane disks is promoted by baffles and that the permeate flux is not only improved but also kept stable flux without fouling or plugging. These performances are due to the effect of the fluid exchange enhanced by the radial flow along the baffles.

## Key Words :

|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| 膜 分 離   | Membrane separation (filtration) |
| 回 転     | Rotation                         |
| バ ッ フ ル | Baffle                           |
| 乱 流 促 進 | Turbulence promotion             |
| 流体の入れ替え | Exchange of fluid                |
| 流 速 測 定 | Measuring velocity               |

## まえがき

当社は、新型の回転型膜分離装置「ROTOSEP」の開発<sup>1)</sup>を2002年3月に終了し、2002年4月から本格的に販売を開始した。その「ROTOSEP」の概略図を図1に示す。「ROTOSEP」は円形に成型した膜を円板の両面に貼り付けた膜円板を、回転軸に所定間隔を空けて積層し、その膜円板間にバッフルを挿入して圧力容器内に挿入した構造となっている。そして、モーターをもちいて回転軸とともに膜円板を回転させながら原液の膜分離をおこなう。分離対象である被処理液の原液は装置下部から供給され、濃縮液は装置上部から排出される。また、膜を透過した透過液は、中空の回転軸内に集水されロータリージョイントを介して装置外部に排出される。

このような構造を有する「ROTOSEP」は、次のような特長を有しており、蒸発濃縮や遠心分離の代替装置としての使用が期待される。

### ①高透過流束／高濃縮操作が可能

「ROTOSEP」では、直径600 mmの膜円板を400 rpmという、従来の回転型膜分離装置と比較して高速で膜円板を回転させることにより膜面にせん断力と遠心力を作用させ、ファウリングや濃度分極が低減される。これにより、高透過流束／

高濃縮操作が可能である。また膜の阻止性能も向上する。

### ②高効率バッフルを使用

「ROTOSEP」では、膜円板間にバッフルを挿入することにより、膜円板間での溶液の滞留を防止し、乱流を促進して膜円板の高速回転の効果を高めている。

### ③維持管理／メンテナンスが容易

「ROTOSEP」では、膜の高速回転によりファウリングが低減されるため、膜の洗浄や交換間隔を長くすることができる。また、シンプルなプロセスでの濃縮操作が可能であるため、装置の自動化／無人運転が可能である。

### ④処理目的に合わせて膜の選定が可能

「ROTOSEP」には、精密ろ過膜（MF膜）、限外ろ過膜（UF膜）、ナノフィルトレーション膜（NF膜）を処理目的に合わせて選択して取り付けることが可能である。

これら多くの特長の中で、もっとも「ROTOSEP」を特長付けているのは、高効率バッフルを使用していることである。本報告では、「ROTOSEP」に使用しているバッフルの挿入効果に関して紹介する。

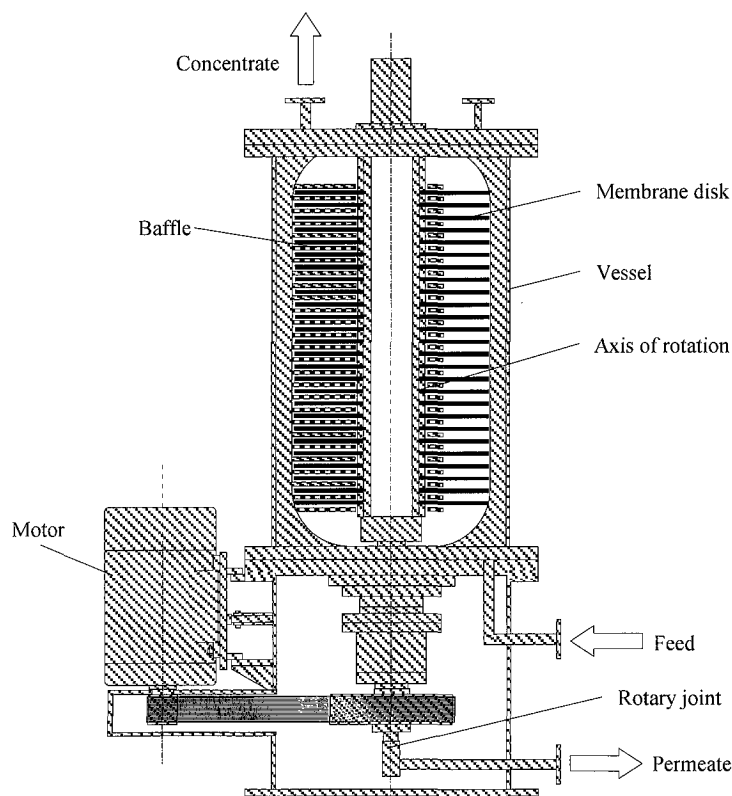


図 1 ROTOSEP 概略図

Fig.1 Schematic diagrams of ROTOSEP

表 1 回転型膜分離装置の課題

Table1 Problem of the rotary membrane separation machine

| Problem                            | Cause                                     | Solution method                         | Advantage                                           | Disadvantage                                                 | Evaluation |
|------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|
| Stagnation of fluid between disks. | Co-rotation of fluid with membrane disks. | Using partition.<br>[Fig.2(a)]          | Plug flow in a channel.                             | Large pressure drop.<br>Deformation of disks and partitions. | ×          |
|                                    |                                           | Opening channel on disks.<br>[Fig.2(b)] | Preventing stagnation area.<br>Small pressure drop. | Increasing of seals.<br>Complicated disk structure.          | ×          |
|                                    |                                           | Using baffle.<br>[Fig.3]                | Preventing stagnation area.<br>Small pressure drop. |                                                              |            |
| Deformation of disks.              | Vibration of disk by an unstable flow.    | Installing baffle between disks.        | Baffle may work as a rectifier.                     | To be clarified in this report.                              |            |

## 1. バッフルの必要性

はじめに、なぜ「ROTOSEP」にバッフルが必要であるかについて述べる。

「ROTOSEP」のように、積層した膜円板を高速回転させて膜分離をおこなう回転型膜分離装置における課題を表1に示す。回転型膜分離装置の課題は大きく分けて、膜円板間での溶液の滞留と膜円板の変形の二つが考えられる。溶液の滞留は、粘性力により膜円板間の溶液が膜円板と共に回りするため起こる。また、膜円板の変形は、膜円板を高速回転させることにより、非軸対称な二次流れが生じ、円板が振動するためである<sup>2)</sup>。

溶液の滞留を防止する方法としては、

図2(a)に示すように膜円板間に仕切りを設ける、  
図2(b)に示すように膜円板に溶液の流路を設ける、  
膜円板間にバッフルを挿入する、  
以上3つが考えられる。このうち、膜円板間を仕切る方法は、膜円板間に溶液の流路が形成され溶液の入れ替えが起こるが、装置内の圧力損失が大きくなり膜円板や仕切りの変形が起こる問題を生じる。また、膜円板に流路を設ける方法は、圧力損失は小さくならないが、膜円板のシール部分が増加し、膜モジュールが複雑化する問題が生じる。一方、バッフルを挿入する方法は、圧力損失が大きくなり、膜円板もシンプルになることから、上記2方法の課題を解決できると考えられる。しかし膜分離特性へのバッフルの挿入効果が不明であるので、これを確認する必要がある。

膜円板の変形を防止するためには、膜円板間に非軸対称な二次流れを整流する物体を挿入する方法がある。すなわち、流れの整流器として膜円板間にバッフルを挿入することにより解決できると考えられる。しかしながら、バッフルの流れの整流効果が不明であるので、これを確認する必要がある。

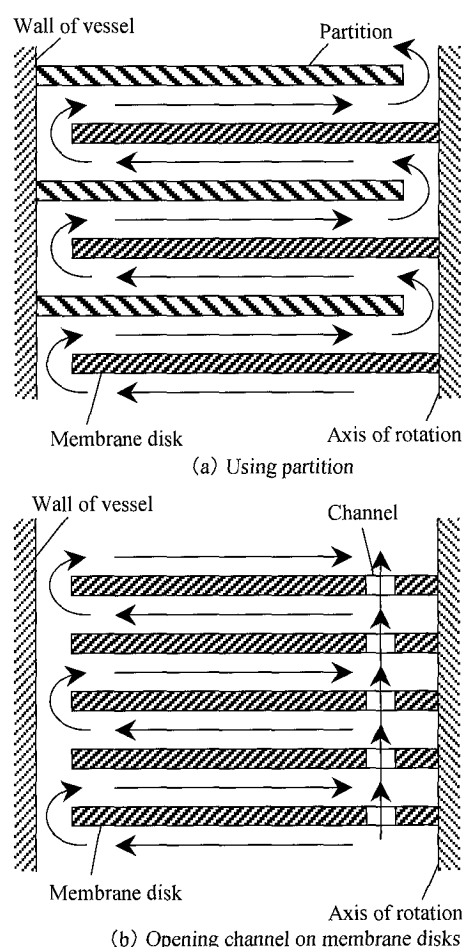


図 2 膜円板間での溶液の滞留防止方法  
Fig.2 Method of preventing a stagnation of fluid between membrane disks

以上のような理由から、「ROTOSEP」のように積層した膜円板を高速回転させる回転型膜分離装置では、上述した問題を解決するためのバッフルを開発し、膜円板間に挿入する必要があることがわかる。そこで、次に、「ROTOSEP」に採用した新しいバッフルの形状について紹介する。

## 2. バッフル形状

バッフルに求められる性能をまとめると次のようになる。

- ① 膜円板間の溶液の滞留を防止し、膜円板の回転の効果を十分に発揮させること。
- ② 乱流を促進する形状であること。
- ③ 装置内の流路圧力損失が小さいこと（流路が長くないこと）。
- ④ 形状がシンプルであること。
- ⑤ 円板の変形を防止可能であること。

以上の観点から、図3に示すような形状のバッフルを考案した。

図3(a)は長方形の板状のバッフルであり、上述のバッフルに求められる性能の③、④を満たしていることは容易に想像できる。また、この形状はもっともシンプルな形状である。

図3(b)に示したスポーク型は、放射状に長方形を配した形状のバッフルであり、この形状も図3(a)と同様にバッフルに求められる性能③、④を満たしていることは容易に想像できる。

そこで、考案した二つのバッフルがこれらの条件①～⑤を満たしていることを、実験により確認した。ここで、性能⑤の円板の変形に関する実験の方法と結果についてはとくに示さないが、図3(a)、(b)のバッフルでは円板の変形の問題はないこと確認している。

## 3. バッフル形状と膜分離性能の関係

本節では、バッフルの形状と膜分離性能の関係について検討した。以下に、その方法と結果について示す。

## 3.1 実験装置

図4にバッフル形状と膜分離性能の関係を測定するために使用した実験装置の概略図を示す。本装置は図1に示した装置と同様の構造をしているが、本装置では、膜円板を2枚のみ装着し、膜円板間に図3に示した形状のバッフルを1枚装着可能である。また、膜円板の直径は実機と同じ600 mmである。

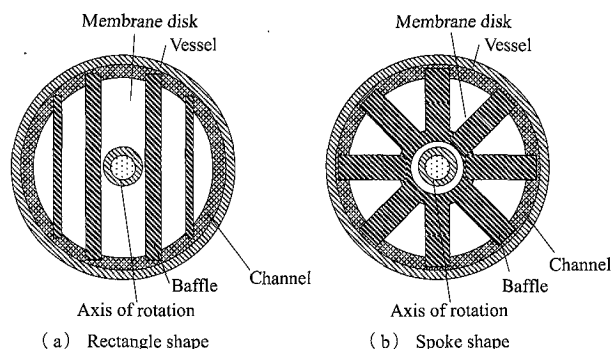


図3 バッフル形状  
Fig.3 Shape of baffle

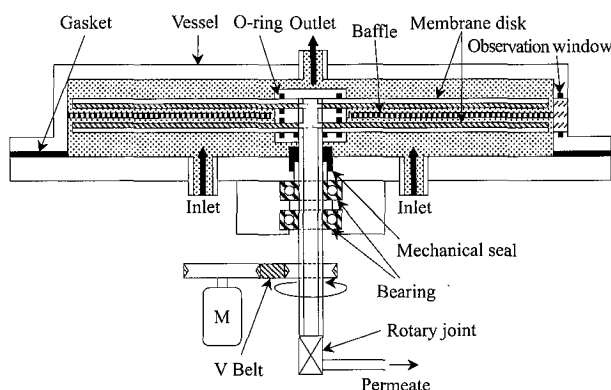


図4 実験装置概略図  
Fig.4 Schematic diagrams of the rotary membrane separation apparatus

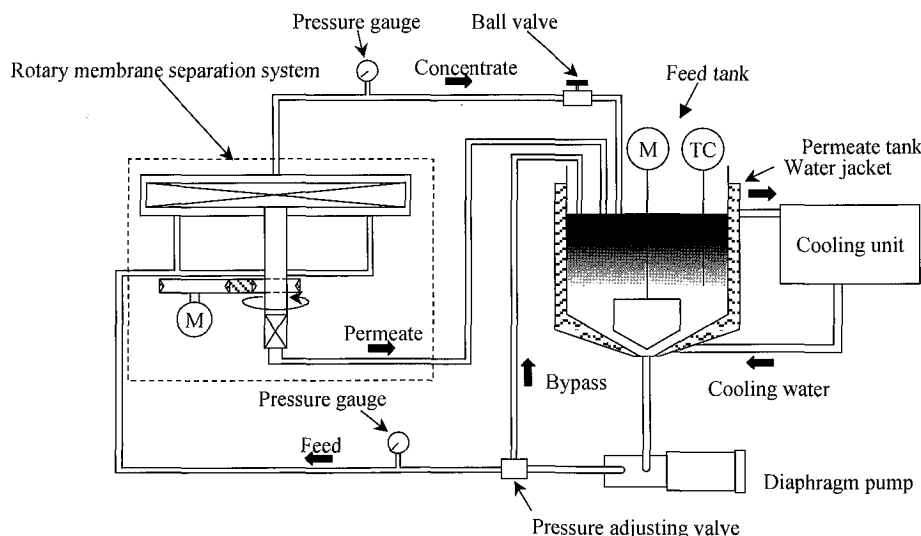


図5 実験装置のフロー図  
Fig.5 Flow diagrams of the experimental apparatus

また、図5に図4に示した装置を組み込んだ実験装置全体のフロー図を示す。本装置のフローは、回転膜実験装置に供給ポンプ、原液タンク、クーラー等の供給循環装置を取り付けた構成となっている。

供給ポンプはダイヤフラムポンプであり、供給圧力や供給流量の調整をおこなうためにポンプ出口に圧力調整弁を取り付けた。また、濃縮液の出口には装置内の圧力、流量調整をおこなうために圧力調整バルブ（ボールバルブ）を設置した。

原液タンクの容量は0.05 m<sup>3</sup>である。この原液タンクにはウオータージャケットが設置されており、このウオータージャケット内に冷却水を循環させることにより原液の保温をおこなった。また、原液タンクには攪拌機を取り付け、タンク内で濃度や温度のムラが発生しないように原液の攪拌をおこなった。

操作圧力の測定のために供給配管と濃縮配管上に隔膜式圧力計を取り付け、操作温度の測定のために原液タンクに温度計を取り付けた。

### 3.2 実験方法

本実験では、一定回転数で一定濃度のラテックス溶液に対する透過流束の圧力依存性と経時変化を測定するため、膜により分離された透過液と濃縮液の両方を原液タンクに戻して循環させ原液濃度を一定に保つ全循環方式にて実験をおこなった。透過流束の圧力依存性の測定ではバッフルがない場合、膜円

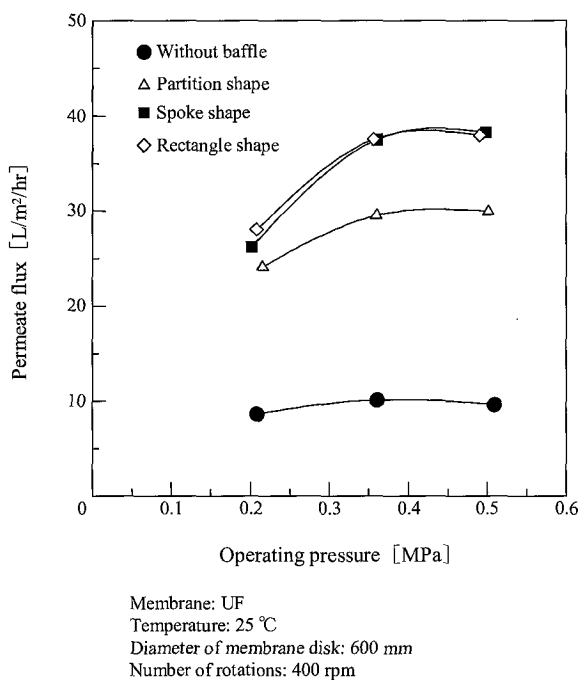
板間を仕切った場合と図3に示したすべてのバッフルを使用して測定をおこない、経時変化の測定では(a)と(b)の長方形状バッフルとスポーク状バッフルを使用して測定をおこなった。また、実験値として、透過流束、ラテックス溶液濃度、操作圧力、操作温度、膜の回転数の測定をおこなった。

透過流束は一定時間に排出される透過液量をメスシリンダーで測定し、透過液量を測定時間と膜面積で除すことにより求めた。また、操作圧力は、回転円板の液出入口に取り付けた隔膜式圧力計により測定した圧力を平均して求めた。また、操作温度は、タンク内の原液温度をサーミスタ方式の温度センサーにて測定して求めた。また、膜の回転数は、回転軸の回転数をタコメーターにて測定して求めた。

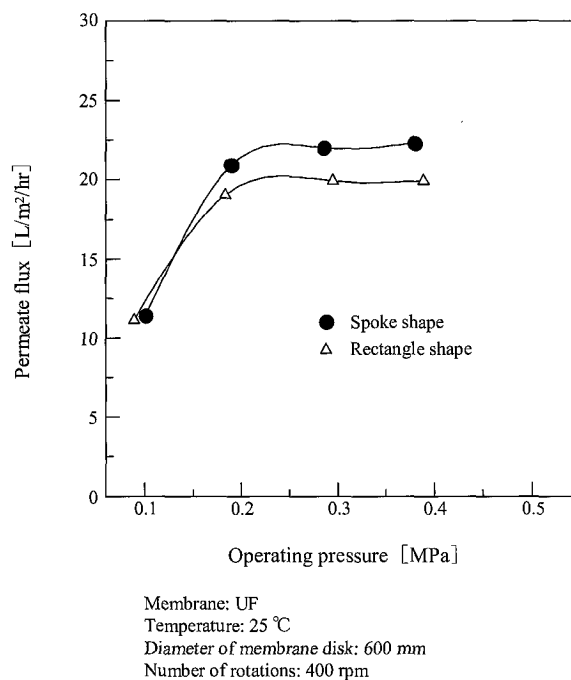
### 3.3 実験条件

本実験では、実機と同じ膜回転数400 rpmで実験をおこなった。また、透過流束の圧力依存性の測定ではラテックス溶液の濃度を20%、30%と変化させ、操作圧力を0.1~0.5 MPaに変化させた。また、透過流束の経時変化の測定ではラテックス溶液の濃度を30%、操作圧力を0.4 MPa一定でおこなった。

なお、操作温度は25℃一定とした。また、本実験で使用した膜は、材質がポリエーテルスルホン、分画分子量が4 000の限外ろ過膜（UF膜）である。



(a) 20 % latex emulsion



(b) 30 % latex emulsion

図 6 透過流束へのバッフルの挿入効果

Fig.6 Effect of baffle on the permeate flux .

### 3. 4 実験結果および考察

ラテックス溶液を膜分離した際の透過流束と操作圧力の関係について、バッフルの形状を変えて測定した結果を図6に示す。図6(a)はラテックス溶液の固形物濃度が20%, 図6(b)はラテックス溶液の固形物濃度が30%の時の結果である。

図6(a)から、バッフルがない場合、回転の効果が発揮されないことがわかる。これは、膜円板間の流体が共回りして膜面に効果的なせん断速度が発生しないことによるものと考えられる。また、膜円板間を仕切るよりも、バッフルを挿入した方が回転の効果が大きいことがわかる。この現象の理由については、次のように考えられる。膜円板間を仕切った場合とバッフルを挿入した場合では、遠心力の大きさは回転数と溶液性状によるため同じであると考えられる。しかしながら、バッフルの方が膜円板間を不均一に覆っているため、乱流が促進されるので、せん断力は大きくなると考えられる。このため、膜円板間を完全に仕切るよりもバッフルを挿入した方が透過流束が大きくなると考えられる。この結果から、バッフルは上述したバッフルに求められる性能②を満足することがわかる。

また、図6(b)から、濃縮限界に近いような高濃度では、長方形形状バッフルよりもスポーク状の方が透過流束が大きくなることがわかる。この結果から、

長方形形状のバッフルよりもスポーク状のバッフルの方が乱流の促進効果が大きいと考えられる。

また、ラテックス溶液の固形物濃度が30%の時の透過流束の経時変化を測定した結果を図7に示す。

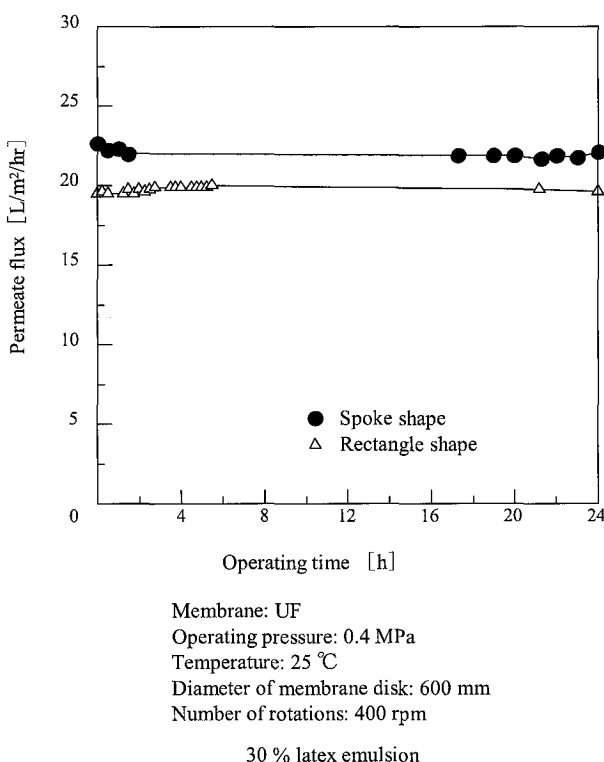


図7 連続運転での透過流束の安定性  
Fig.7 Stability of permeate flux in continuous operation

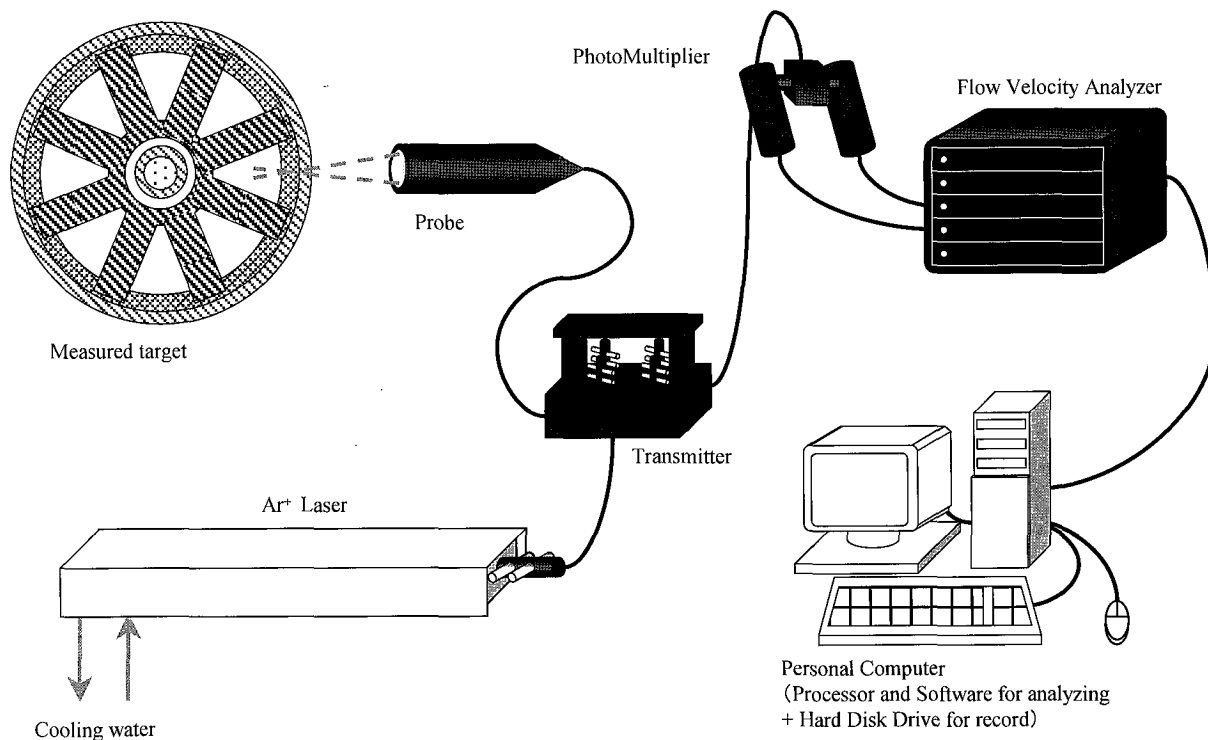


図8 LDVをもちいた流速測定システムの概略図  
Fig.8 Schematic diagrams of measuring system of velocity using LDV



図7から、乱流の促進効果の違いのために透過流束の大きさに差はあるが、いずれのバッフルでも透過流束が安定しており、膜円板間で溶液が滞留して過濃縮され透過流束が減少する現象は見られないことがわかる。これは、バッフルの挿入により膜円板間への溶液の流入出が安定しておこなわれていることを示唆している。通常、膜間を仕切った場合、溶液は膜円板表面を流通するため、強制的に膜円板間への溶液の流入出が起こる。一方、バッフルを挿入した場合、膜円板間を仕切った場合のように、強制的な膜円板間への溶液の流入出は生じない。次節で、このバッフルによる膜円板間への溶液の流入出メカニズムを確認するための検討をおこなった。

#### 4. バッフルによる流体の入れ替え効果

前節において、バッフルを挿入することにより膜円板間への溶液の流入出がおこなわれていることを示唆する結果がえられた。そこで、バッフルを膜円板間に挿入して膜円板を回転させ、バッフル周辺の流速を測定することによりこの効果の発生メカニズムを解明することを試みた。以下に、その方法と結果について示す。なお、ここではスポーク状バッフルについて検討をおこなった。

##### 4.1 実験装置

バッフル周辺の流速の測定には、レーザードップラー流速計 (Laser Doppler Velocimeter, LDV) を用いた。LDV での流速測定原理は次の通りである。2本のレーザー光線を発信して交差させると、レーザー光線の交差する点に干渉縞が発生する。この干渉縞部分にトレーサー粒子を流し、干渉縞の明滅速度を検出する。検出した干渉縞の明滅速度は、トレーサー粒子の移動速度、つまり流速に比例している。LDV は、この明滅速度を検出して流速を測定する装置である。

本実験では、図4に示した装置にスポーク上バッフルを取り付け、装置ののぞき窓からLDVのレーザー光線を発信し、バッフルと膜円板外周周辺の流速測定をおこなった。図8にLDVを用いた流速測定システムの概略図を示す。本実験で使したLDVは、後方散乱方式であり、アルゴンイオンレーザー (AIL)、トランスミッター (TM)、プローブ、フォトマルチプライヤー (PM)、フローベロシティアナライザー (FVA) およびデータ解析、記録用のPCから構成される。AILから発信されたレーザーはTMを経由してプローブから測定部に発信される。レーザー光線の交差した干渉縞の反射光は、プローブからTMを経由してPMにて分光されFVAにて

解析された。そして、PCの専用ソフトを使用してHDDに流速測定データが記録された。

また、レーザー光線の乱反射を防止するため、回転型膜分離装置のレーザ照射部分周辺の円板、バッフル、容器内をつや消し黒に塗装した。

##### 4.2 実験方法

回転型膜分離装置の容器内をトレーサーが溶解した溶液で満たし、膜円板を回転させレーザを測定点に発信させた。本実験ではレーザー光線を装置ののぞき窓から発信したため、膜円板の半径方向や回転方向である接線方向の流速を測定するための角度でレーザー光線を発信することができなかった。そこで、レーザー光線を膜円板の中心線に対して任意の角度で測定位置に発信し、中心線に対するレーザー光線の角度と流速ベクトルを測定し、正弦定理から流速ベクトルの半径方向の速度成分と接線方向の速度成分を算出した。

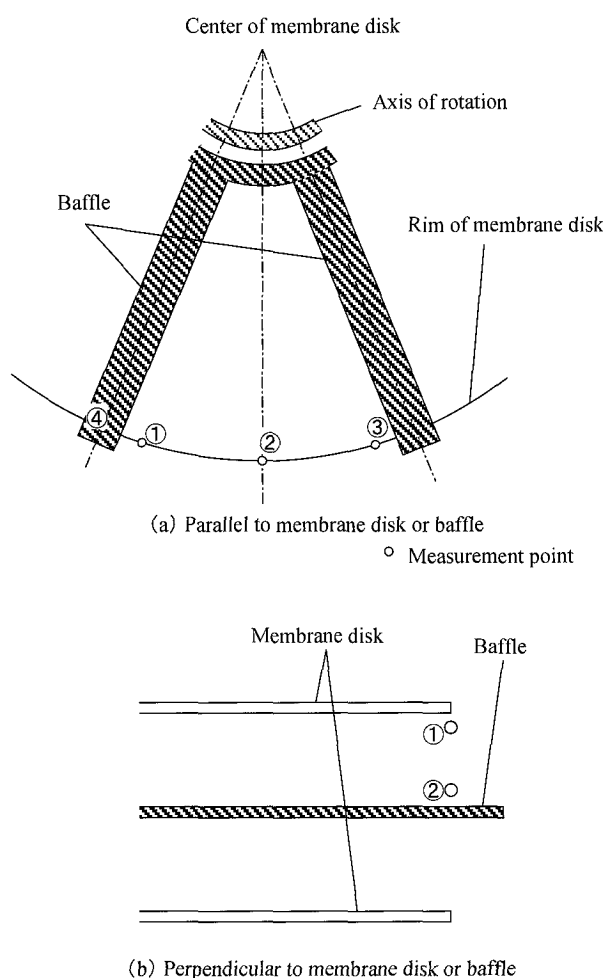
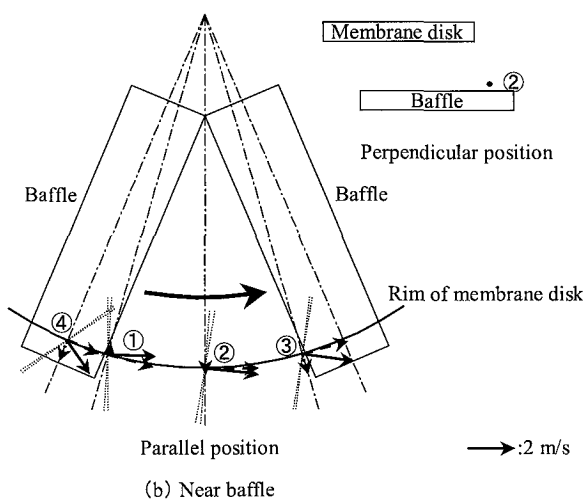
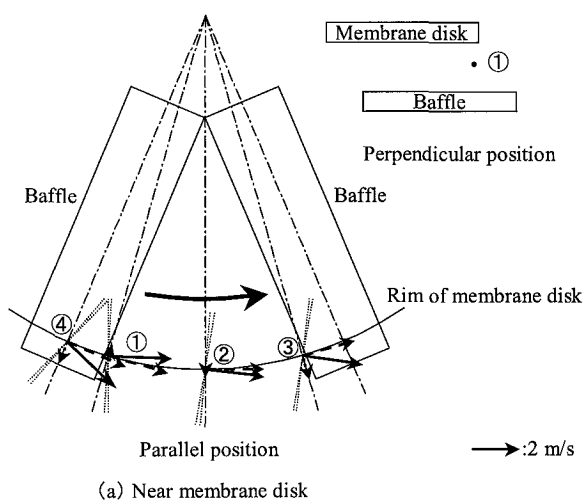


図9 LDVによる流速測定位置  
Fig.9 Measurement point of velocity by LDV

### 4.3 実験条件

本実験では、トレーサー粒子として水性塗料を使用し、溶液として水道水を使用した。また、膜円板の回転数は200 rpm とした。

流速測定をおこなった箇所を図9に示す。流速の測定は、のぞき窓からの測定が可能な2本のバッフル間でおこない、合計8箇所である。膜円板やバッフルと平行な測定位置は、図9(a)に示したように、膜円板外周部に沿った、バッフルから膜円板回転方向下流側1.5 mm の位置 (図9(a)の①の位置)、2本のバッフルの中央 (図9(a)の②の位置)、バッフルの膜円板回転方向上流側へ1.5 mm の位置 (図



- Velocity vector
- - - Tangential component of velocity vector
- ..... Radius component of velocity vector
- Laser beam
- Center line of membrane disk
- Direction of rotation

図 10 流速ベクトル測定結果  
Fig.10 Results of measured velocity vectors

9(a)の③の位置)、およびバッフル上の中央の位置 (図9(a)の④の位置) の4箇所である。また、膜円板やバッフルの垂直位置は、図9(b)に示したように、膜円板から下側に1.5 mm の位置 (図9(b)の①の位置)、バッフルから上側に1.5 mm (図9(b)の②の位置) の位置である。

### 4.4 実験結果および考察

図10に流速測定結果を示す。図10(a)に膜円板近傍で測定した流速ベクトルと速度ベクトル成分を、図10(b)にバッフル近傍で測定した流速ベクトルと速度ベクトル成分を示している。

図10から、平行位置①の半径方向速度成分が負の値となっており、それ以外の平行位置では正の値となっていることがわかる。また、正の値となっている平行位置②、③、④でも、その値は平行位置②から④に向かって徐々に大きくなっていることがわかる。この結果は、平行位置①の位置、つまりバッフルから膜円板回転方向下流側の位置で膜円板間への溶液の流入が起こり、それ以外の位置で膜円板間からの溶液の排出が起こっていることを示している。また、膜円板間からの溶液の排出は、2本のバッフルの間ではほとんど起こらないが、バッフルの膜円板回転方向上流側の位置やバッフル上では盛んに起こっていることを示している。このように、バッフルの膜円板回転方向上流側で溶液の膜円板間からの排出が起こるのは、回転により溶液がバッフルと接触する際に圧力が膜円板外よりも高まるためと考えられる。逆にバッフルの膜円板回転方向下流側で溶液の膜円板間への流入が起こるのは、回転により溶液がバッフルから離れる際に圧力が膜円板外よりも低くなるためと考えられる。

また、流速の膜円板接線方向成分は、円板に近い

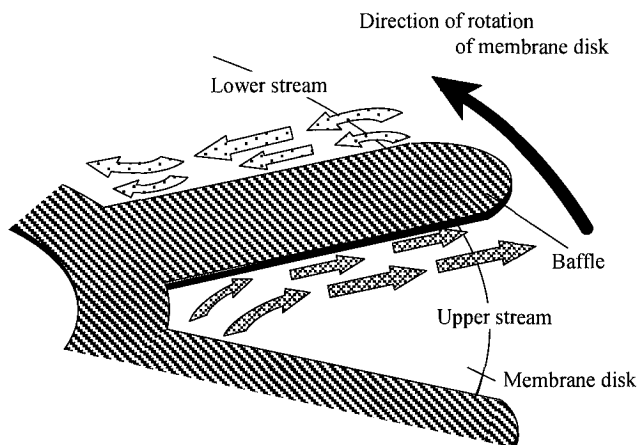


図 11 バッフル周辺の溶液の流れのイメージ  
Fig.11 Image of flow pattern of solution near baffle

垂直位置①ではバッフルに近い垂直位置②よりも値が大きいことがわかる。これは、膜円板に近い方が粘性力により膜円板に引っ張られやすいため、流速が大きくなっていることを示している。とくに、バッフル上（平行位置④）において、垂直位置②の中でも他の位置よりも流速の接線方向成分が小さくなっている。逆に垂直位置①では、他の位置よりも流速の接線方向成分が大きくなっている。これは、バッフル上のバッフルに近い位置では、粘性力により流体がバッフル上に留まろうとし、逆に膜円板に近い位置ではバッフルにより流路が狭くなるために流速が上昇してバッフル上から流出しようとしていることを示している。これにより、バッフル上ではバッフル近傍と膜円板近傍の流速差（せん断速度）が大きくなり、乱流促進が起こると考えられる。

この流速ベクトル測定結果から、バッフルによる膜円板間と膜円板外との溶液の入れ替え効果を模式的に表すと図11のようになると考えられる。つまり、バッフルの膜円板回転方向上流側で膜円板間から排出される流れが生じ、膜円板回転方向下流側で膜円板間に吸い込まれる流れが生じていると考えられる。

## む す び

新型の回転型膜分離装置「ROTOSEP」に採用しているバッフルについて、その必要性、形状、性能について紹介した。

回転型膜分離装置では、膜円板間での溶液の滞留

と乱流促進のために、膜円板間へのバッフルの挿入が不可欠である。そのためのバッフルとして、「ROTOSEP」では長方形型とスポーク型の2種類のバッフルを採用した。これらのバッフルは、回転膜用のバッフルとして求められる5つの性能である、①膜円板間での滞留防止、②乱流の促進、③圧損の低減、④単純な形状、⑤円板の変形防止を満足している。これらの求められる性能のうち、とくに①と②について、ラテックス溶液の透過流束測定およびLDVを用いたバッフル周辺の流速測定をおこない確認した。その結果、バッフルを挿入することにより膜円板間の乱流が促進され透過流束が向上することがわかった。また、バッフルに沿って、膜円板間の流体の入れ替えが効果的におこなわれていることがわかった。

このように、「ROTOSEP」に採用したバッフルを膜円板間に挿入することにより、膜分離効率が向上し、「ROTOSEP」は蒸発濃縮や遠心分離の代替装置としての優れた性能を発揮することが可能となった。今後は、「ROTOSEP」が様々な固液分離プロセスへ適用されることを期待する。

## [参考文献]

- 1) 谷田克義ら：神鋼パンテック技報，Vol.45，No.1（2001），p.12-17
- 2) 舟木治郎ら：機械学会論文集（B編），Vol.61，No.588（1995），p.160-165

## 連 絡 先

谷 田 克 義      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 k.tanida@pantec.co.jp

# 北九州市水道局殿向 上向流式生物接触ろ過施設 —施設概要と水質改善効果—



Upper counter-flow type bio contact filter for removal  
of ammonia nitrogen, moldy odor and dissolved  
manganese for Kitakyushu-City Waterworks Bureau

(環)環境本部技術部 中 町 眞 美  
Mami Nakamachi  
西 尾 弘 伸  
Hironobu Nishio  
(環)環境本部第2営業部 石 丸 豊  
Yutaka Ishimaru

生活排水による水質汚濁や湖沼における富栄養化などにより、水道原水のアンモニア性窒素や界面活性剤の上昇、カビ臭などの異臭味の発生や溶存マンガンの濃度の上昇といった浄水障害が起こる場合がある。これらの溶存物質を除去するには種々の方法があるが、新しい水処理方式として粒状活性炭をろ材とする上向流式生物接触ろ過法が有効である。

本方式を導入している北九州市水道局の施設概要、運転状況および水質改善効果を報告する。

Water pollution of rivers and eutrophication of ponds due to inflow of domestic wastewater have increased such troubles for source water of municipal water purification plants as the increase in ammonia nitrogen, anionic surfactant and dissolved manganese content, and the generation of objectionable taste and moldy odor. One of the solutions for removal of these contents is the up-flow biological contact filter, having granular activated carbon as filter media. Addition of such filter ahead of conventional process has brought safer and palatable city water at lower operating costs including chemical cost.

## Key Words :

上向流式生物接触ろ過  
粒 状 活 性 炭  
臭 気 物 質  
アンモニア性窒素  
溶 存 マ ン ガ ン

Upper counter-flow type bio contact filter  
Granular activated carbon  
moldy odor  
ammonia nitrogen  
dissolved manganese

## ま え が き

北九州市水道局は、主要水源である遠賀川の水質悪化にともなうアンモニア性窒素や溶存マンガンの濃度の上昇、藻類の繁殖による異臭味の発生、有機物濃度の上昇等に苦慮している。そこで、水質改善効果・処理コスト・用地確保などを考慮しながら、1987年度より種々の処理方法の調査、検討を実験プ

ラントにて開始された。

その結果、上向流式生物接触ろ過法を導入すべく、実証実験を経て、北九州市水道局本城浄水場内に高度浄水施設を建設、2000年8月7日より供用を開始された。

この高度浄水施設の機械設備の建設を当社が担当し、2000年5月からの試運転を経て、現在、順調に

処理目的を達成し「安全でより良質な水道水」の供給をされている北九州市水道局殿に寄与することができた。

本報では、この上向流式生物接触ろ過施設の特長・概要および運転状況について報告する。

## 1. 上向流式生物接触ろ過方式

「安全でおいしい水」への要求が高い中、本施設は、河川に存在する微生物の自然浄化作用を利用した生物接触ろ過方式を採用している。これは、生物接触ろ過池内のろ材に微生物を付着繁殖させ、原水がろ過層を通過する際にろ材と接触することで、アンモニア性窒素、溶存マンガ、臭気物質、陰イオン界面活性剤などの溶解性物質を除去する方式である。

本施設では、微生物を付着繁殖するろ材として小粒径の粒状活性炭をもちいている。

通水方式は、水道原水を直接ろ過するため、ろ過池で一般的に実施されている下向流式では、原水中の濁質によりろ層表面が詰まりろ過閉塞を起こすため、上向きにろ過する上向流方式である。

さらに、生物接触ろ過池内に原水中の濁質が捕捉されることを抑えるため、通水速度を大きくし、ろ過層を膨張させた流動状態として運用している。

この水道原水を対象とした上向流式生物接触ろ過方式の特長を次に示す。

- ①流動床であるため、接触ろ過層全体を有効に利用でき、生物処理効率が良い。
- ②小粒径の活性炭を利用することで、ろ材の表面積が大きくとれ、生物の繁殖量が多く生物処理効果を高められる。
- ③付加的な要素として、活性炭自体が付着した生物により再生することが考えられるため、ろ材としての効力が長期にわたり期待できる。
- ④上向流であるため、濁度が高い原水を速い通水速度で接触ろ過できるので、施設の設置面積を少なくできる。

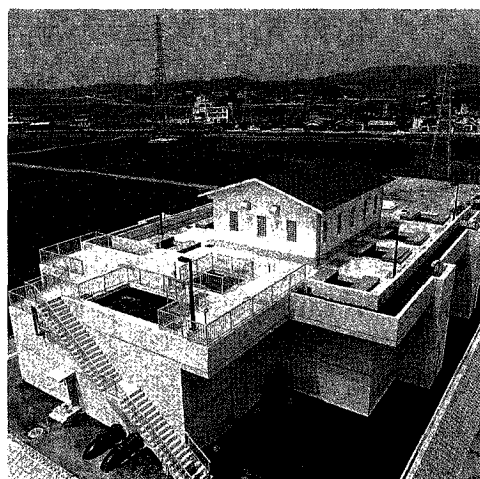


写真 1 上向流式生物接触ろ過施設 全景  
(北九州市水道局 本城浄水場)

Photo 1 General view of upper flow type bio contact filter (Honjo water purification plant Kitakyushu city waterworks bureau)

⑤濁質捕捉量が少ないため、損失水頭が少ない運転が可能となる。洗浄までの水位の上昇が少なく低い水位差で運転できるため、自然流下方式が採用でき中間ポンプなどの機器が不要になる。

⑥原水を直接生物処理することで、アンモニア性窒素などが生物酸化され前塩素や中間塩素処理で注入する塩素量の低減がえられる。

⑦濁質捕捉を目的としていないため、処理水中に凝集の核となる物質が残留するので、後段の凝集処理工程での凝集性能を悪化させない。

加えて、生物処理水の濁質は沈降性の良いものに変質するため凝集・沈澱処理に対し良好な影響を与えられる。

## 2. 施設概要

施設フロー図を図1に示したように、原水は生物接触ろ過施設で生物処理された後、既設の粉末活性炭接触池を通過、混和池で薬品と十分に混和された後、フロック形成池、薬品沈澱池を経て、急速ろ過

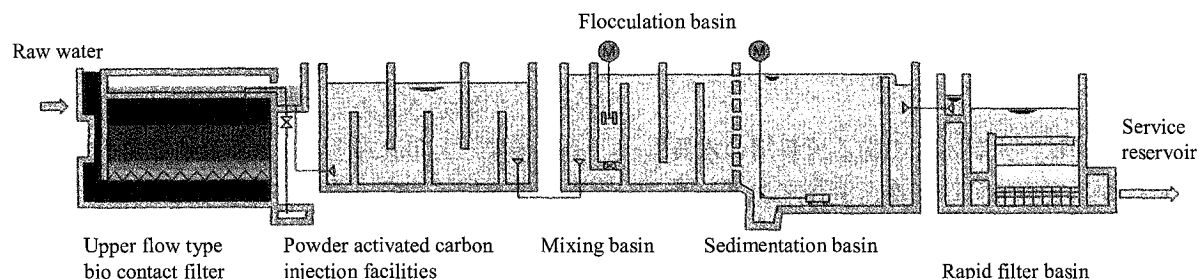


図 1 施設フロー (北九州市水道局 本城浄水場)

Fig.1 Flow diagram of Honjo water purification plant Kitakyushu city waterworks bureau

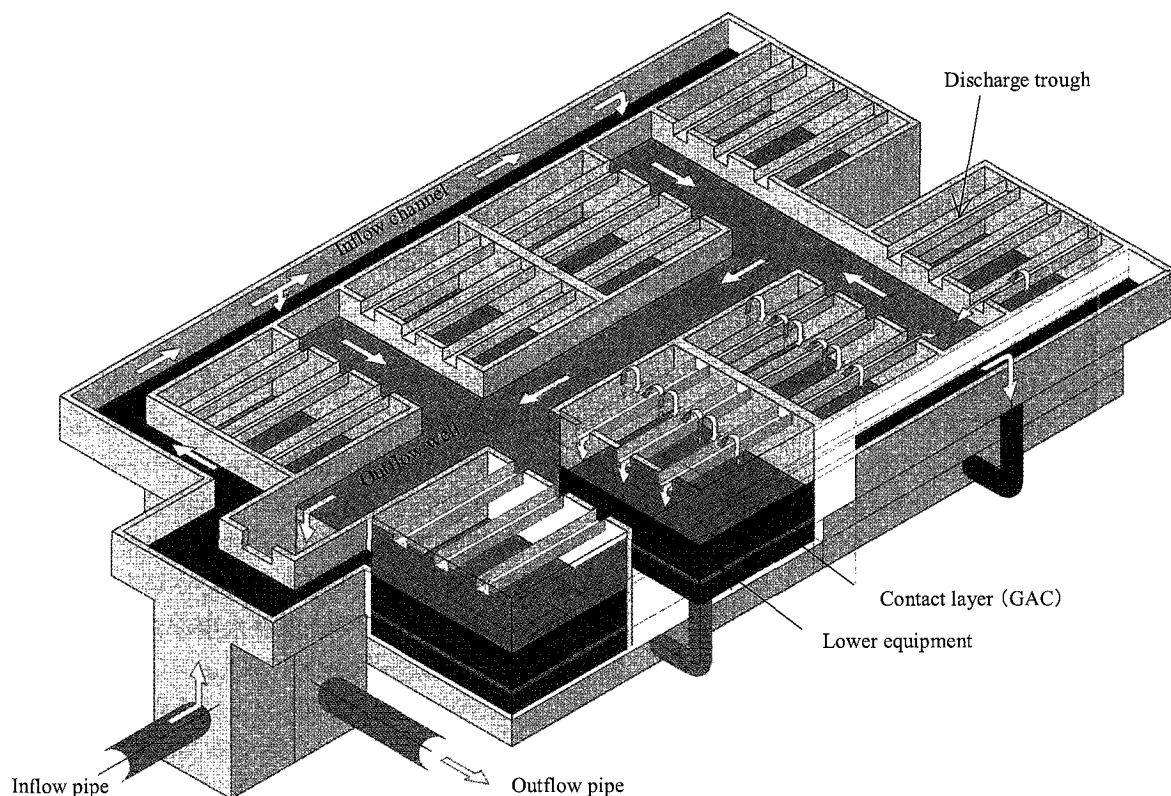


図 2 上向流式生物接触ろ過施設 全体図  
Fig.2 Structure of upper flow type bio contact filtration facilities

池でろ過され浄水池へと送水される。

生物接触ろ過施設の全景を写真1に示した。また、施設の全体図を図2に、生物接触ろ過池の構造図を図3に示した。

水道原水は流入管により生物接触ろ過施設の流入井に導かれる。この流入井には魚やビニール片などが生物接触ろ過槽内に流入しないよう、除塵ブロウより空気を送り微細気泡によるエアーカーテンを設置している。

エアーカーテンによりスクリーニングされた原水は流入渠に入り下部の圧力渠から気水洗浄型多孔板により均等分配され、支持砂利層、ろ過層（生物活性炭層）を通過し生物処理される。

処理水は上部トラフで集水され流出渠から流出井を経て、流出管により後段処理へと送られる。

本施設は濁質捕捉が無いことが理想であるが、実際は、下部装置や支持砂利層に少量の濁質が捕捉される。また、生物処理であるため、ろ過層のみならず下部装置や支持砂利層にも生物が繁殖するようになる。そのため、通水継続とともに損失水頭が上昇するため、一定期間毎に洗浄をおこなう必要がある。

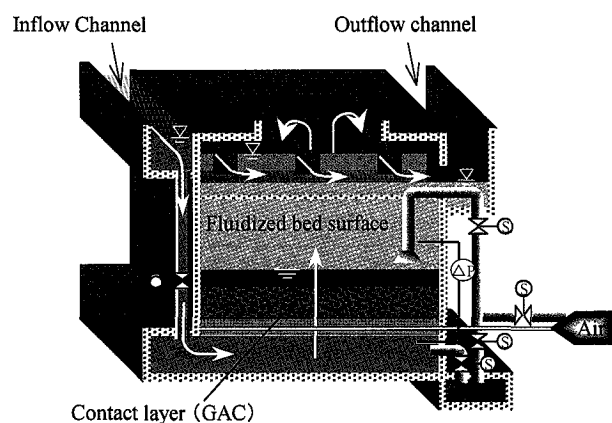


図 3 上向流式生物接触ろ過池構造図  
Fig.3 Structure of upper flow type bio contact filter basin

洗浄は「空気」→「空気+水」→「水洗浄」をおこない、濁質や付着生物の一部を効率よく生物接触ろ過池の系外に排出する。

洗浄排水については、後段に凝集・沈澱ろ過工程を有するため、高濁度の洗浄排水のみを排泥池に送水している。

## 2. 1 設計諸元

処理水量：最大71 000 m<sup>3</sup>/d  
池 数：4 池  
池 寸 法：6.0 m<sup>W</sup>×4.7 m<sup>L</sup>×2 系列／1 池  
池 面 積：225.6 m<sup>2</sup> (56.4 m<sup>2</sup>/1 池)  
通水速度：320 m/d

## 2. 2 接触層仕様

種 類：石炭系粒状活性炭（破碎炭）  
有 効 径：0.4～0.5 mm  
均等係数：1.4以下  
充填密度：450～550 kg/m<sup>3</sup>  
充填層高：1.35 m (76.14 m<sup>3</sup>/池)

## 2. 3 洗浄方法

洗浄方式：気水洗浄  
洗浄工程：排水→水抜→空洗→気水洗→水洗→水  
抜

## 3. 施設仕様

### 3. 1 下部装置

型 式：気水洗浄型多孔板式（A/W 式有孔パ  
ネル）  
材 質：SUS304  
設置面積：56.4 m<sup>2</sup>/池×4 池

### 3. 2 空洗装置

型 式：ラテラル管式空気洗浄装置  
材 質：SUS304  
数 量：4 池分

## 3. 3 ト ラ フ

型 式：U字型角型トラフ  
寸 法：400 mm<sup>W</sup>×400 mm<sup>H</sup>×5 100 mm<sup>L</sup>  
材 質：SUS304  
数 量：6 本/池×4 池分

## 3. 4 除塵ブロワ

型 式：ルーツブロワ  
能 力：8 m<sup>3</sup>/min×3 mAq  
7.5 kW×210V  
台 数：2 台

## 3. 5 空洗ブロワ

型 式：ルーツブロワ  
能 力：40 m<sup>3</sup>/min×6 mAq  
75 kW×210 V  
台 数：2 台

## 3. 6 取水ポンプ

型 式：ノンクログ型水中ポンプ  
能 力：2.5 m<sup>3</sup>/min×13 mAq  
11 kW×210V  
台 数：3 台

## 4. 運転方法

本施設の安定運転のためには、生物接触ろ過池内  
のろ過層が、一定の流動状態を保つことが重要であ  
る。ここで、上向流の通水速度が遅いと、洗浄によ  
り剥離された濁質が上部トラフから系外へ排出され  
にくく、ろ過池内に蓄積されていくことになる。ま

表 1 平均濃度と BCF による除去  
Table1 Comparison of water quality

| Item                                     |        | Raw water | BCF effluent | Removal rate |
|------------------------------------------|--------|-----------|--------------|--------------|
| Ammonia nitrogen                         | (mg/L) | 0.05      | 0.01         | 91 %         |
| Dissolved manganese                      | (mg/L) | 0.013     | 0.000        | 90 %         |
| Potassium permanganate consumption value | (mg/L) | 7.5       | 5.5          | 23 %         |
| E <sub>260</sub>                         | (—)    | 0.044     | 0.031        | 22 %         |
| THMFP                                    | (mg/L) | 0.042     | 0.031        | 21 %         |
| Anionic surface active agent             | (mg/L) | 0.05      | 0.02         | 57 %         |

表 2 カビ臭物質 2 メチルイソボルネオールを検出および除去状況  
Table2 Comparison of 2MIB content

| Detection date |        | 5/15 | 5/25 | 5/28 | 6 / 1 | 6 / 4 | 6 / 6 | 6 / 8 |
|----------------|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Raw water      | (ng/L) | 50   | 48   | 39   | 31    | 43    | 28    | 35    |
| BCF effluent   | (ng/L) | 14   | ND   | ND   | ND    | ND    | ND    | ND    |
| Removal rate   | (%)    | 72   | 100  | 100  | 100   | 100   | 100   | 100   |

た、通水速度が速いと、上部トラフからのろ材の流出や、原水とろ材の接触時間が短くなることから処理性能の低下が危惧される。これより、各生物接触ろ過池の通水速度は一定範囲としなければならず、取水する原水流量の変動に対して、運用する池数を制御する必要があった。

生物接触ろ過池を停止することによる生物処理機能への影響が問題となるが、実証プラントにて実験を実施し、生物処理機能を損なわない池数制御方法を検討した。

これらの知見に基づいて、生物接触ろ過施設の池数制御運転をおこない、安定した運転を継続している。

## 5. 処理性能

運転開始時は、ろ材として使用している活性炭の吸着効果により有機物質が除去される。アンモニア性窒素や溶存マンガンの除去が確認され生物処理効果がえられるのに、約1ヶ月を要した。その後の水質と除去率を表1、2に示した。

アンモニア性窒素や溶存マンガンは共に90%以上の除去率がえられている。冬期にアンモニア性窒素が含まれていない水源から、やや高い水源に変更した時は、一時的な除去率の低下が見られたが、徐々に回復し、再び高い除去率で運転を継続することが可能であった。

カビ臭原因物質である、2メチルイソボルネオールは濃度が50 ng/L 程度では72%，それ以下の濃度

では100%と高い除去性能がえられた。

過マンガン酸カリウム消費量、 $E_{260}$ およびトリハロメタン生成能などの有機物質については、20%程度の除去率がえられ、陰イオン界面活性剤も良好な処理性能を示した。

## むすび

活性炭を担体とした上向流式生物接触ろ過方式により、水道原水を直接処理することにより高い生物処理効果がえられた。それによる水質改善効果は大きく、より安全でおいしい水を供給すると共に、浄水施設全体として塩素、凝集剤および粉末活性炭の使用量が減少し、維持管理性の向上がえられた。

本報告は、北九州市水道局殿が発表されたデータを引用した。ご協力を頂いた北九州市水道局に深く感謝致します。

## [参考文献]

- 1) 肥塚隆男ほか：第48回全国水道研究発表会講演集(1997), p.172
- 2) 肥塚隆男ほか：第49回全国水道研究発表会講演集(1998), p.160
- 3) 原口公子ほか：平成12年度日本水環境学会九州支部研究発表会講演要旨集(2000)
- 4) 石橋正博ほか：第53回全国水道研究発表会講演集(2002), p.278
- 5) 野尻まちこほか：第53回全国水道研究発表会講演集(2002), p.280
- 6) 永富孝則ほか：用水と廃水, Vol.39, No.3 (1997), p.233
- 7) 生物接触ろ過方式の技術資料, 社団法人水道浄水プロセス協会 (1996)

## 連絡先

中 町 眞 美      環境装置事業部  
                         環境本部  
                         技術部

TEL 078-232-8102  
FAX 078-232-8057  
E-mail m.nakamachi@pantec.co.jp



# 高速繊維ろ過による合流式下水道越流水対策

## Control of Combined Sewage Overflow with High-Rate Fiber Media Filtration



(環)技術部第3グループ 聡  
土 谷  
Satoshi Tsuchiya

下水道の役割の一つである公共用水域の水質保全が重要視されているなか、合流式下水道での雨天時越流水の汚濁負荷による公共用水域への影響が懸念されている。簡易で即効性のある越流水対策として高速繊維ろ過（浮上性繊維ろ材）による物理処理に着目し、共同研究による実証実験をへて、その実用化に向けた適応性と処理性能評価をおこなった。結果、雨天時簡易処理水をろ過速度2 000 m/d、晴天時二次処理水をろ過速度1 000 m/d 処理することにより、SS 除去率がそれぞれ雨天時50 %程度、晴天時70 %程度の処理性能を有することが確認できた。ろ過速度が高く、単純な構造、無薬注処理を特徴とする本技術が、年間を通じた合流式下水道の放流水水質の向上に寄与できるものと判断される。

Adverse effect of combined sewage overflow caused by rainfalls has been much concerned in view of conservation of water quality of public waters, one of the roles of public sewerage systems. Floating fiber media filtration was assessed as a simple and quick solution for practical application with demonstration tests under collaboration with other sewerage-related companies. The tests confirmed the SS removal ratio of 50 % when combined sewer overflow was treated at filtration rate of 2 000 m/d, and 70 % with the secondary effluent at 1 000 m/d. This system, having high filtration velocity, simple construction and no chemical requirement, is concluded to contribute to the improvement of yearly quality of the effluent from combined sewage system.

### Key Words :

合 流 式 下 水 道  
合流式下水道越流水  
高 速 繊 維 ろ 過  
ろ 過 速 度  
実用 SS 捕捉速度  
実用 SS 除 去 率

Combined sewerage system  
Combined sewage overflow (CSO)  
High-rate fiber media filtration  
Filtration rate  
Practical SS trapping speed  
Practical SS removal ratio

### ま え が き

下水道普及率が高まってきた近年、下水道の役割の一つである公共用水域の水質保全が重要視されている。比較的早い時期に下水道整備がおこなわれた大都市部では、同一の管きょで汚水と雨水を収集・排除することにより、生活環境における汚濁対策と

都市の浸水対策をある程度同時に、かつ速やかに解決できる観点より、合流式下水道が多く採用されてきた。しかしその機能上、雨天時に未処理汚水の一部が雨水とともに公共用水域へ放流されることがあるため、雨天時公共用水域への汚濁負荷量が水質保全上の課題となっている。

これまで合流式下水道の改善策として、遮集管の増強や貯留管、雨水滞水池などの整備が進められてきたが、それらの対策は規模・費用が大きく、期間を要することなどから、簡易で即効性のある対策が求められている。また合流式下水道における雨天時放流負荷量は、自然吐き口からの未処理放流水と同様に、処理場からの簡易処理水（一次処理水）の占める割合も大きいことが知られており、<sup>1)</sup> 簡易処理水の高度処理化が公共用水域への放流負荷削減に寄与するものと考えられる。

当社では、(財)下水道新技術推進機構、(株)石垣、栗田工業(株)、(株)神戸製鋼所、三機工業(株)、新日本製鐵(株)、住友重機械工業(株)、日立プラント建設(株)、前澤工業(株)の以上9者とともに、高速繊維ろ過をもちいて、雨天時簡易処理水および晴天時二次処理水を対象に、合流式下水道放流負荷削減を目的とした共同研究をおこない、実証実験による本技術の実用化に向けた適応性と処理性能の評価をおこなった。

## 1. 高速繊維ろ過

### 1.1 越流水対策としての位置づけ

合流式下水道越流水とは、雨水吐き室、ポンプ場などからの雨天時未処理放流水に加え、処理場からの簡易処理放流水などを含む広義の越流水を表し、その対策には、一般に次のものが考えられる<sup>1)</sup>。

- 1) 既存施設を改善し、遮集量を増大させる方法
- 2) 遮集した下水を処理する方法
- 3) 管路施設へ流入する雨水を抑制し、雨天時放流量を削減する方法
- 4) 路面や管きよなどの汚濁物を適切に清掃・捕集し、発生源で抑制する方法

本技術はスクリーニングや急速ろ過などと同様に、上記2)内の物理処理に位置づけられ、浮上性繊維をろ材として従来のろ過装置にくらべ数倍のろ過速度で、無薬注ろ過をおこなうものである。

### 1.2 ろ過原理

高速繊維ろ過は、原水をろ過槽の下部より流入させ、槽内部に充填した浮上性の繊維ろ材(写真1)からなるろ層を上向流で通過させ、その過程で原水中のSSを除去するものである。本ろ過装置におけるSS除去は、第1段階としてろ過槽下部より流入した原水が上向流でろ層に到達するまでに、上向流の流速より大きな重力沈降速度をもつSSが沈殿除去される。続いて原水がろ層を上向流で通過するあいだに、SSはろ材間の間隙やろ材内部の繊維の間隙で捕捉除去される。

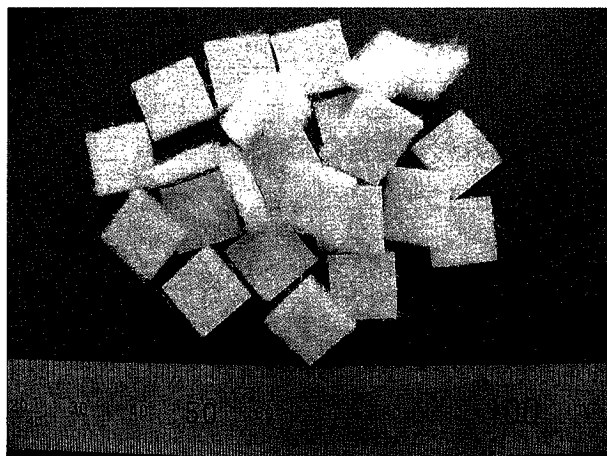


写真 1 ろ材

(mm)

Photo 1 Filter media

## 1.3 構造

本ろ過装置の構造を図1に示す。原水流入部はろ過槽下部に設け、原水が均等に流入されるよう原水入口が配置される。ろ過中にろ材を支持する上部ろ材受けと、ろ過槽排水時にろ材の流出を防止する下部ろ材受け間の空間上部に、浮上性繊維ろ材からなるろ層が形成される。ろ層下部にはろ材洗浄時にろ材が流動するためのろ層展開部を有する。集水部は上部ろ材受けの上部に設け、ろ過面全体に対してろ過水を均等に集水できるよう集水トラフまたは処理水出口が配置される。洗浄装置はろ材を流動・旋回させるために機械攪拌機と空気管がろ過槽内部に設けられている。

## 1.4 特長

本ろ過装置は次のような特長を有する。

- 1) ろ材の空隙率が高く、圧力損失が少ないため、高速処理が可能であり、設置スペースが小規模で済み、既存処理場へ適用しやすい。
- 2) ろ材の洗浄方式は機械攪拌を主体とし、空気洗浄との併用により、ろ材の洗浄が確実に洗浄水も少ない。
- 3) 上向流ろ過により重力沈降速度の大きい砂分の沈殿処理が可能である。
- 4) 構造が単純なため、維持管理が容易である。

## 2. 実証実験

### 2.1 実験概要

HS下水処理場およびYK下水処理場にて、パイロットプラントをもちいた実証実験をおこなった。HS下水処理場は、日最大汚水量86 300 m<sup>3</sup>/dの合流式下水処理場である。晴天時において、流入下水は最初沈殿池、反応タンクをへて、最終沈殿池で固液

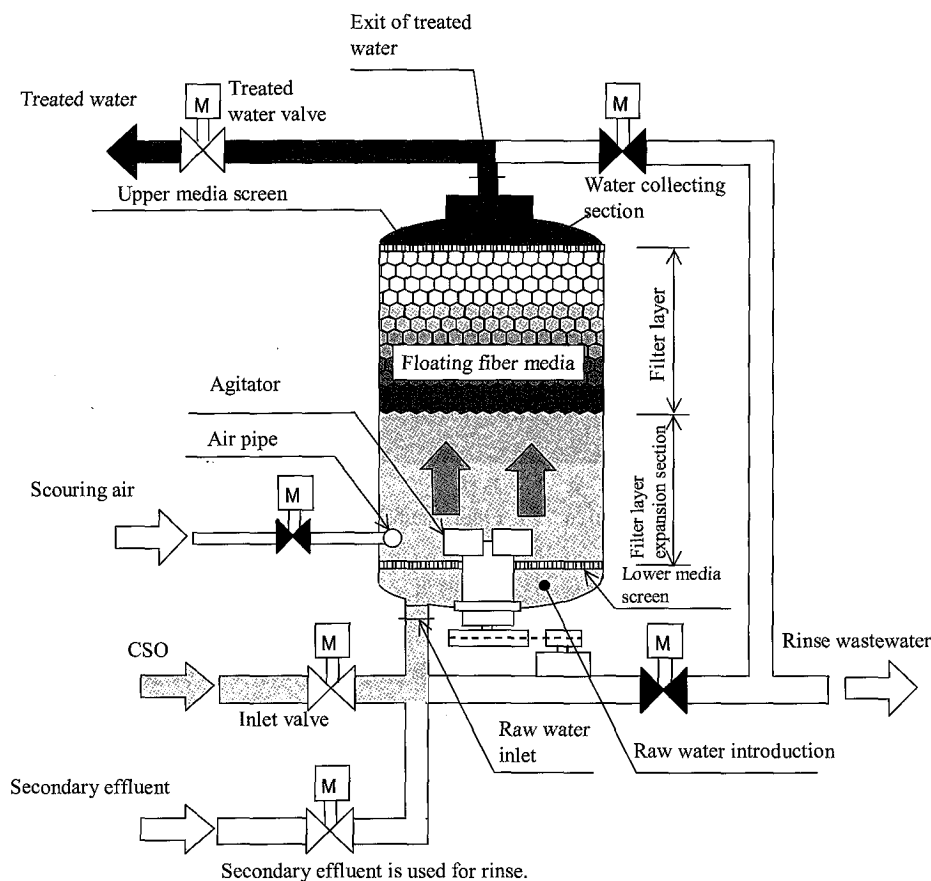


図 1 高速繊維ろ過装置の構造  
Fig.1 Structure of high-rate fiber media filter

分離され、二次処理水として塩素混和池で消毒後放流される。雨天時には、流入下水は分水槽で雨水滞水池へ分岐するとともに最初沈殿池へも流入して沈殿処理をおこない、通常の反応タンク以降の処理をおこなうが、規定量を超えた量については沈殿処理後、塩素混和池へバイパスし放流される。YK 下水処理場は、日最大汚水量265 900 m<sup>3</sup>/dの一部合流式下水道で、雨水滞水池を持った処理場である。

HS 下水処理場では実証実験に先立ち、本ろ過装置の適応性に関する基礎調査としてカラム実験をおこない、簡易処理水に対する最適ろ材選定をおこなった。さらに各条件にて得られた実験結果を基に、ろ層厚さおよびろ過速度の処理性能に対する影響について検討をおこなった。その後 HS 下水処理場では小型実証実験機、YK 下水処理場では大型実証実験機をもちいて、連続運転による処理性能評価をおこなった。

各下水処理場における実験装置概略フローを図2、3に示す。HS 下水処理場における実証実験（以下小型実証機実験）においては、晴天時に塩素混和池

より二次処理水を取水した。雨天時には最初沈殿池で沈殿処理した簡易処理水を取水した。これらを貯留タンクで受け、ポンプで直接実験機に供給してろ過処理をおこなった。またろ材の洗浄は二次処理水をもちいた。YK 下水処理場における実証実験（以下大型実証機実験）においては、晴天時に塩素混和池より二次処理水を、雨天時には最初沈殿池で沈殿処理した簡易処理水を取水し、これを各ヘッドタンクに供給し、その水位差を利用して実証実験機でろ過処理をおこなった。またろ材の洗浄は二次処理水をもちいた。

## 2.2 カラム実験

### 2.2.1 実験条件

実験に供したろ材は、表1に示すように平均線径と寸法の異なる4種類のろ材とした。

ろ材の比較条件は、表2に示すようにろ過速度とろ層厚さを変化させて、最終ろ過圧力損失を、砂ろ過に準じ最終30 kPaまでのろ過実験によるものとした。また雨天時の簡易処理水についてファーストフラッシュを想定した高濃度（SS濃度 100~500 mg/L）から低濃度（SS濃度 50 mg/L前後）まで原

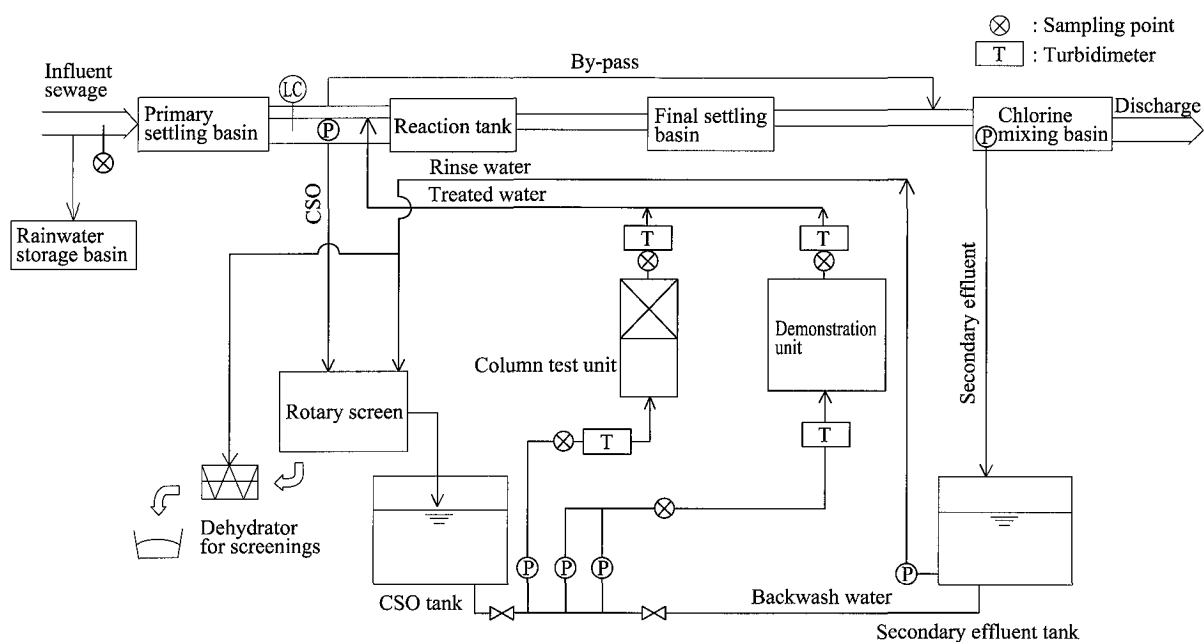


図 2 HS 下水処理場 実験装置フロー  
Fig.2 Schematic flow diagram for demonstration unit at HS sewage work

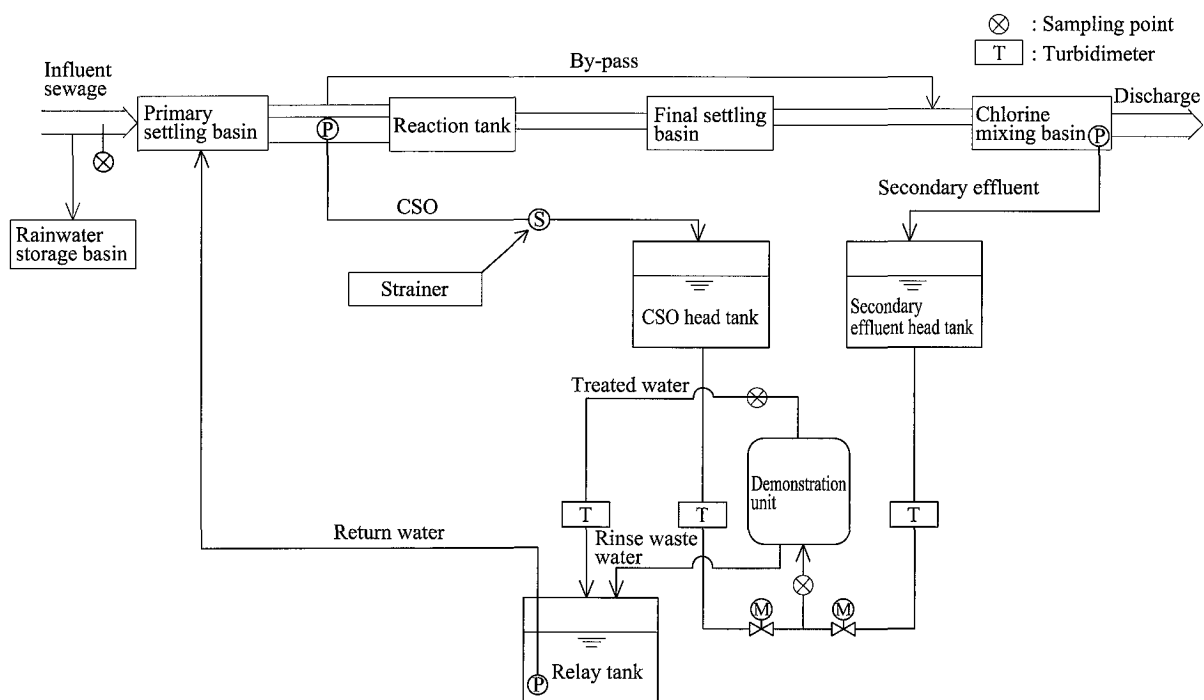


図 3 YK 下水処理場 実験装置フロー  
Fig.3 Schematic flow diagram for demonstration unit at YK sewage work

表 1 選定対象ろ材  
Table1 Test media

| Item               | Unit          | A         | B       | C         | D       |
|--------------------|---------------|-----------|---------|-----------|---------|
| Average fiber dia. | $\mu\text{m}$ | 53        | 53      | 40        | 40      |
| Dimensions         | mm            | 10×10×2.8 | 5×5×2.8 | 10×10×2.8 | 5×5×2.8 |

表 2 ろ材比較条件

Table2 Filter media test conditions

| Filter media                 | A, B, C, D            |       |     |
|------------------------------|-----------------------|-------|-----|
| Filtration velocity<br>(m/d) | Depth of filter layer |       |     |
|                              | 1 m                   | 1.5 m | 2 m |
| 1 500                        | —                     | ○     | —   |
| 2 000                        | ○                     | ○     | ○   |
| 2 500                        | —                     | ○     | —   |

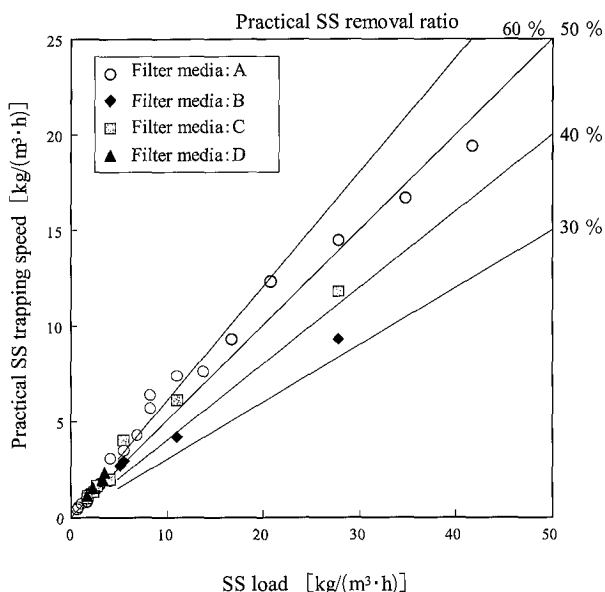


図 4 各ろ材における SS 負荷と実用 SS 捕捉速度の関係  
Fig.4 SS load vs. Practical SS trapping speed by filter media

水濃度を変化させたろ過実験をおこない、そのろ過性能を比較することによりろ材の選定をおこなった。ここで、本研究対象とする雨天時簡易処理水は二次処理水に比べ SS 濃度が高く、ろ過継続時間が短くなることから、単位時間当りの SS 負荷に対する洗浄時間を考慮した実用 SS 捕捉速度および実用 SS 除去率をろ材選定の指標とした。

$$S_c = S_i \times \alpha \times (T/(T+t))$$

$$f = S_c/S_i \times 100$$

ここに、 $S_c$ ：実用 SS 捕捉速度  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$

$f$ ：実用 SS 除去率 %

$S_i$ ：SS 負荷  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$

$\alpha$ ：ろ過時の SS 除去率

$T$ ：ろ過継続時間 h/サイクル

$t$ ：ろ材洗浄時間 h/サイクル

## 2. 2. 2 実験結果

### 1) ろ材の選定結果

最終ろ過圧力損失 30 kPa における各ろ材の SS 負

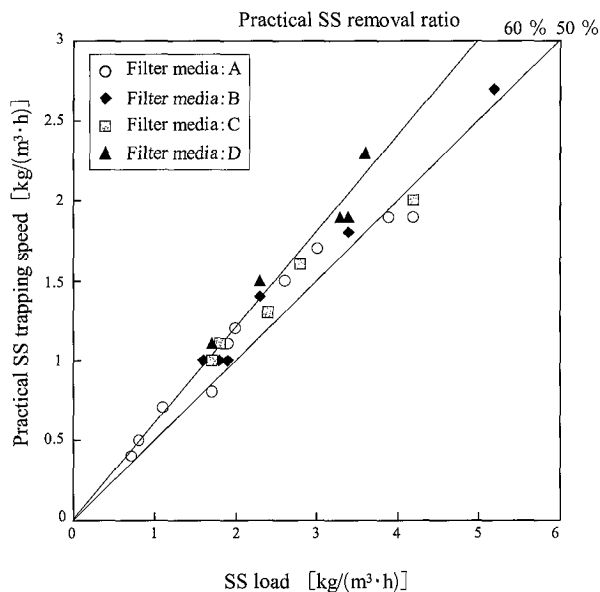


図 5 各ろ材における低負荷時の SS 負荷と実用 SS 捕捉速度の関係

Fig.5 SS load vs. Practical SS trapping speed by filter media-at low SS load

荷と実用 SS 捕捉速度の関係を図 4 に示す。また図 4 のうち、原水濃度が低濃度 (SS 濃度 50 mg/L 前後) における関係を図 5 に示す。各ろ材について、原水濃度を変化させたときの実用 SS 除去率を指標として評価すると次のとおりであった。

- ①原水 SS 濃度 50 mg/L 前後の低負荷時では、どのろ材でも実用 SS 除去率は 50～60 % 程度ではほぼ同じ性能を示した。
- ②ろ材 D は低負荷時の実用 SS 除去率が高いものの、原水 SS 濃度 100～500 mg/L の高負荷時にはブレイクスルーし使用不可であった。(図 4 におけるろ材 D の高負荷時のプロット無し)
- ③ろ材 D を除いて、実用 SS 除去率はろ材  $A > C > B$  の順で良好であった。

以上のことから、ファーストフラッシュへの対応性を考慮した場合、ろ材 A が低負荷から高負荷まで適応性があり、最適ろ材であると判断された。

### 2) ろ層厚さの影響調査結果

ろ材 A をもちいてろ過速度 2 000 m/d とし、ろ層厚さを変化させたときの SS 負荷と実用 SS 捕捉速度の関係を図 6 に示す。これよりろ層厚さにかかわらず、実用 SS 除去率はほとんど変わらない結果をえた。一方、同条件におけるろ層厚さとろ過水 SS 濃度の関係を図 7 に示す。この図よりろ層厚さ 1.5～2.0 m でろ過水 SS 濃度は安定して低く、ろ過時の SS 除去率は 60 % 以上であった。以上のことから、

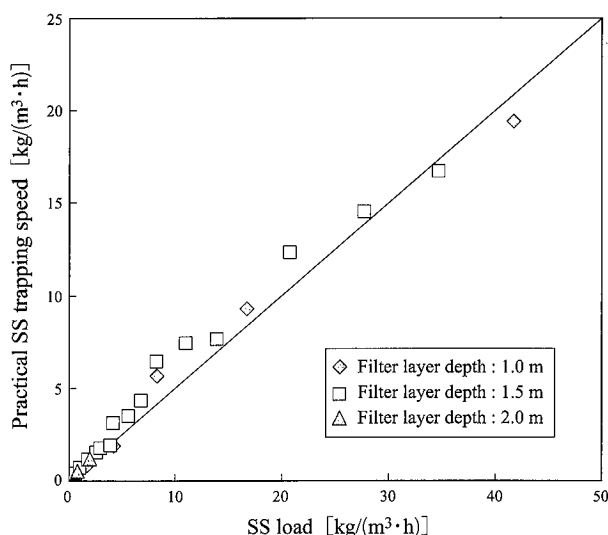


図 6 ろ層厚さによるろ過性能への影響  
Fig.6 Effect of filter layer depth on filterability

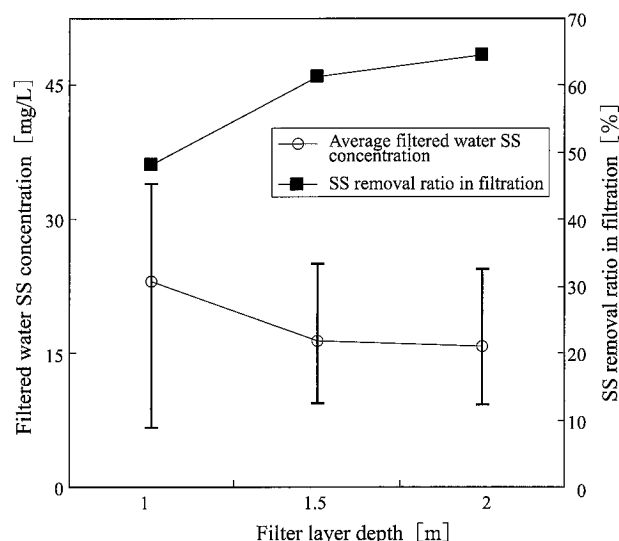


図 7 ろ層厚さによるろ過水 SS 濃度への影響  
Fig.7 Effect of filter layer depth on stable SS concentration  
(SS in raw water : about 50 mg/L)

ろ材量が増えることによる経済性と攪拌効果による洗浄性を考慮すると、ろ層厚さは1.5 m 程度が最適と考えられた。

### 3) ろ過速度の影響調査結果

図 8 にろ材 A をもちいた、ろ過速度と実用 SS 捕捉速度の関係を示す。ろ過速度が2 000 m/d 以下であれば実用 SS 捕捉速度は最終ろ過圧力損失を変化させても影響が少ないが、ろ過速度が2 000 m/d を越えると実用 SS 捕捉速度の上昇率が低下した。よって、ろ過速度は2 000 m/d 以下とすることが適切であると考えられる。また、雨天時の遮集量を3 Q (Q: 計画時間最大水量) とすると、簡易処理水量

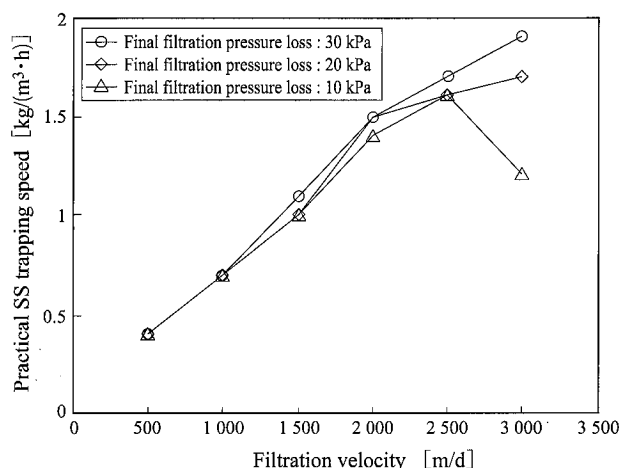


図 8 ろ過速度と実用 SS 捕捉速度の関係  
Fig.8 Filtration velocity vs. Practical SS trapping speed

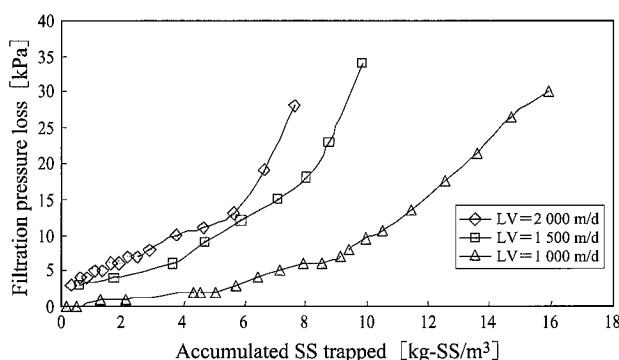


図 9 各ろ過速度における累積 SS 捕捉量とろ過圧力損失の関係  
Fig.9 Accumulated SS trapped vs. filtration pressure loss by filtration velocity

は2 Q となり雨天時の簡易処理水を対象とした場合のろ過速度を2 000 m/d 以下とし、晴天時の二次処理水を対象とした場合のろ過速度を1 000 m/d 程度とすると、設備を有効に使用することが可能と考えられる。

低濃度 (SS 濃度50 mg/L 前後) 原水に対するろ材 1 m³ 当たりの累積 SS 捕捉量とろ過圧力損失の関係を図 9 に示す。全体的に累積 SS 捕捉量が少ない間はろ過圧力損失の上昇は緩やかであるが、累積 SS 捕捉量が多くなるにしたがい、ろ過圧力損失が急激に上昇した。この傾向はろ過速度によって異なるが、おおむねろ過圧力損失を15 kPa 程度と設定することが効率的であると考えられた。また、ろ過速度とSS除去率の関係を図10に示す。ろ過速度500～3 000 m/d の範囲では、SS 除去率は60 %程度であり、大きな差異は見られなかった。また最終ろ過圧力損失を10, 20, 30 kPa と変化させた場合でも同様の傾

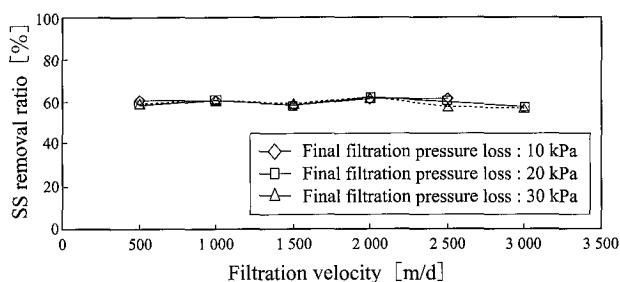


図 10 ろ過速度と SS 除去率の関係  
Fig.10 Filtration velocity vs. SS removal ratio

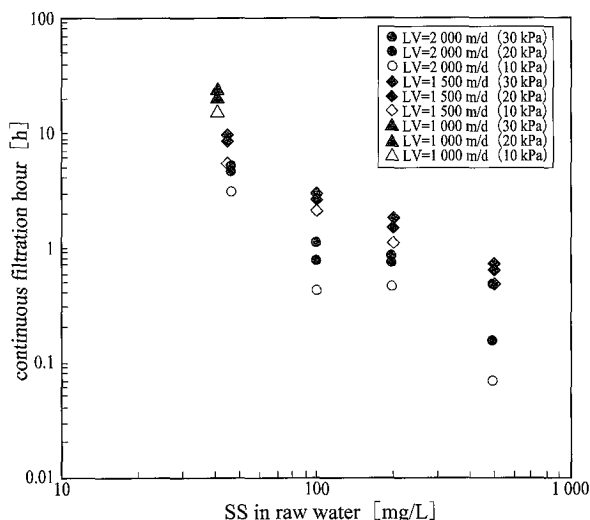


図 11 原水 SS 濃度とろ過継続時間の関係  
Fig.11 SS in raw water vs. continuous filtration hour

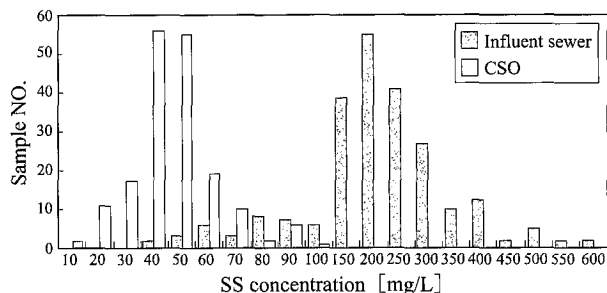


図 12 SS 濃度の分布  
Fig.12 Distribution of SS concentration  
(from data taken from the demonstration test at HS sewage work)

表 3 実証機 運転条件  
Table3 Operating conditions for demonstration unit

| Item                           | Unit | Small demonstration unit |                    | Large demonstration unit |                    |
|--------------------------------|------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|                                |      | CSO                      | Secondary effluent | CSO                      | Secondary effluent |
| Filtration velocity            | m/d  | 2 000                    | 1 000              | 2 000                    | 1 000              |
| Final filtration pressure loss | kPa  | 30                       | 30                 | 15                       | 15                 |

向を示した。よって、最終ろ過圧力損失は10～30 kPa の範囲で設定することが適切であると判断した。

ろ過継続時間と原水 SS 濃度およびろ過速度の関係を図11に示す。高速繊維ろ過のろ過継続時間は、砂ろ過など一般的なるろ過と同様に、原水 SS 濃度が高いほど、またろ過速度が速いほど、ろ過継続時間は短くなる。ここで本実証実験期間中の雨天時流入下水と、簡易処理水の SS 濃度のヒストグラムを図12に示す。雨天時流入下水の SS 濃度はおおむね100～500 mg/L の範囲にあるが、簡易処理水の SS 濃度は40～60 mg/L が主で100 mg/L を越えることは無かった。よって簡易処理水の SS 濃度は100 mg/L 以下であると予想されることから、図11よりろ過速度2 000 m/d 以下、最終ろ過圧力損失30 kPa で、ろ過継続時間は1 時間以上と判断された。

## 2. 3 小型・大型実証機実験

### 2. 3. 1 実験条件

雨天時の運転切替は、実験装置近傍に雨量計を設置し、30分間に0.5 mm 以上の雨量を検知した場合に自動で切替をおこなった。雨天時、晴天時における各運転条件を表3に示す。ろ材の洗浄開始の制御は、ろ過抵抗が設定最終ろ過圧力損失に達した場合、もしくはろ過継続時間が24時間となった場合のいずれか早い時点とした。

### 2. 3. 2 雨天時実証機実験結果

#### 1) 水 質

雨天時実証機実験期間中の水質の分布状況を図13に示す。図中のプロットは算術平均値を示す。小型実証機実験時について、流入下水の最大 SS 濃度は平均濃度の約6 倍、BOD は約3 倍、COD は約4 倍であり、大きいばらつきがみられた。また SS 濃度は流入下水が14～920 mg/L に対してろ過処理水は1～30 mg/L となり、最初沈殿池と高速繊維ろ過の組み合わせにより安定した除去性能を示した。

大型実証機実験時についても流入下水の最大 SS 濃度は平均濃度の約4 倍、BOD は約3 倍、COD は約4 倍であり、大きいばらつきがみられた。また SS 濃度は流入下水が75～840 mg/L に対してろ過処理水は5～54 mg/L となり、小型実証機実験時と同様に、最初沈殿池と高速繊維ろ過の組み合わせにより安定した除去性能を示した。

#### 2) 除 去 率

雨天時除去率の状況を表4に示す。最初沈殿池の除去率と実証機の除去率は、各降雨において所定のサンプリング間隔ごとに計測した各成分濃度と水量を乗算して求めた総負荷量から算出した。なお最初

沈殿池の除去率については、沈降時間を2時間として、最初沈殿池の流出濃度に流入から2時間後のデータをもちいて算出したが、実証機の除去率については過時間が約2分と短いため、入口と出口の濃度には同時に採取したデータをもちいて算出した。

小型実証機実験時について、最初沈殿池における

表 4 簡易処理水対象実験時の除去率  
Table4 Removal ratio for CSO

| Item removed | Unit | Small demonstration unit |                        | Large demonstration unit |                        |
|--------------|------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
|              |      | Primary settling basin   | High-rate fiber filter | Primary settling basin   | High-rate fiber filter |
| S S          | %    | 60~93<br>(78)            | 53~89<br>(68)          | 72~92<br>(79)            | 51~67<br>(60)          |
| BOD          | %    | 0~84<br>(51)             | 0~38<br>(20)           | 55~82<br>(72)            | 18~42<br>(32)          |
| COD          | %    | 15~71<br>(41)            | 14~38<br>(23)          | 57~82<br>(69)            | 3~42<br>(15)           |

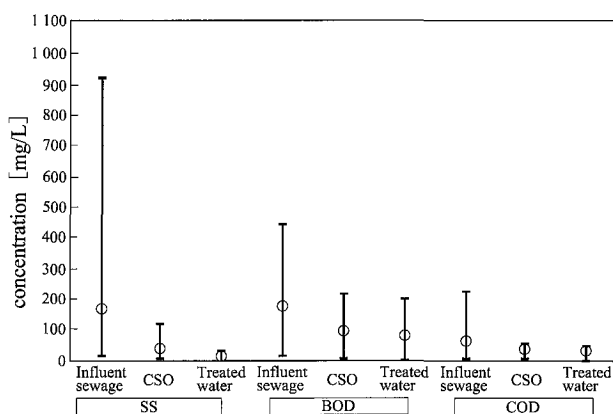
Figures in parentheses indicate mathematical average.

SS 除去率は高く、BOD および COD 除去率は非常にばらつきの多い結果であった。高速繊維ろ過における除去率は SS 除去率が高く、BOD および COD 除去率は低い結果であった。大型実証機実験時には、最初沈殿池における除去率は、SS、BOD、COD ともにほぼ70 %以上と高い結果であった。一方高速繊維ろ過における SS 除去率は約60 %と高いものの、BOD、COD 除去率は SS 除去率の1/2~1/4であった。

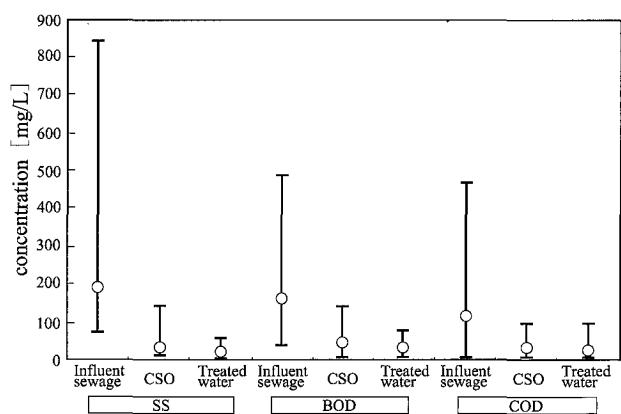
### 2. 3. 3 晴天時実証機実験結果

#### 1) 水 質

晴天時実証機実験期間中の水質の分布状況を図14に示す。図中のプロットは算術平均値を示す。小型実証機実験時では、晴天時二次処理水の各成分の最大濃度は平均濃度の2倍程度であり安定した水質であった。SSは6 mg/L以下の二次処理水に対し、高速繊維ろ過により2 mg/L以下の水質がえられた。



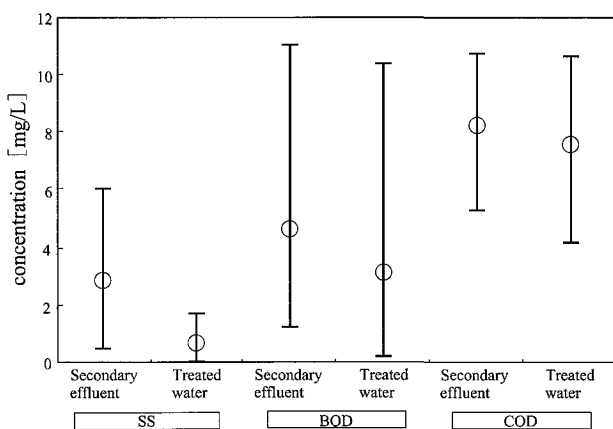
13-a) Small demonstration test unit



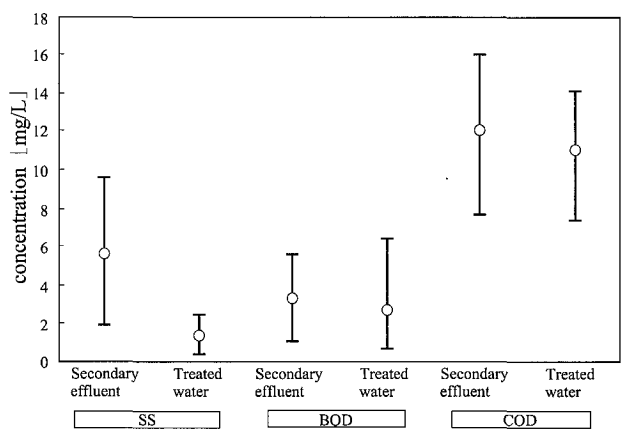
13-b) Large demonstration test unit

図 13 簡易処理水対象実験時の水質分布状況

Fig.13 Variation of water quality-influent sewage, CSO and treated water



14-a) Small demonstration test unit



14-b) Large demonstration test unit

図 14 二次処理水対象実験時の水質分布状況

Fig.14 Variation of water quality-secondary effluent and treated water



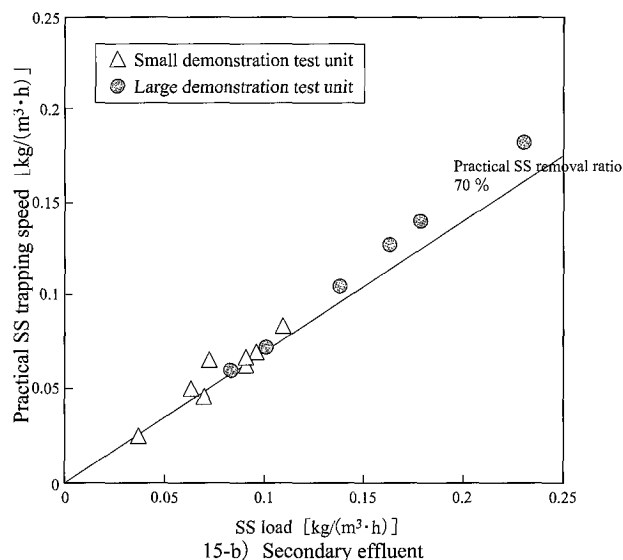
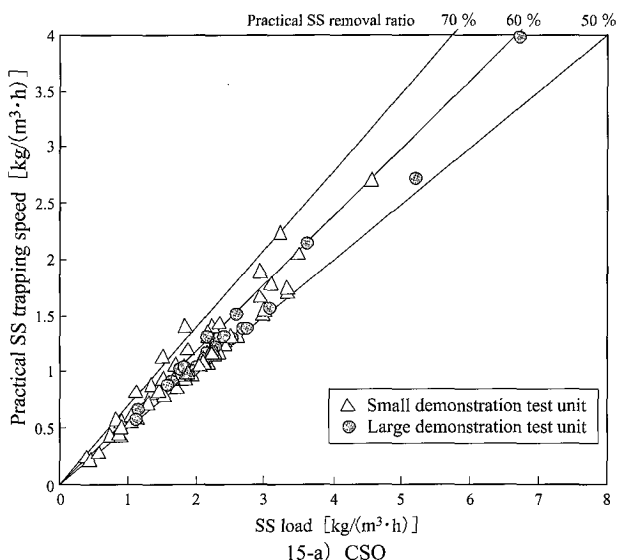


図 15 実証機実験における SS 負荷と実用 SS 捕捉速度の関係  
Fig. 15 SS load vs. Practical SS trapping speed-Demonstration test unit

表 5 二次処理水対象実験時の除去率  
Table5 Removal ratio for secondary effluent

| Item removed | Unit | Small demonstration unit | Large demonstration unit |
|--------------|------|--------------------------|--------------------------|
| S S          | %    | 67~92 (76)               | 71~80 (76)               |
| BOD          | %    | 8~79 (32)                | 11~25 (17)               |
| COD          | %    | 5~14 (9)                 | 5~12 (7)                 |

Figures in parentheses indicate mathematical average.

大型実証機実験時についても安定した二次処理水水質であり、SS10 mg/L 以下の二次処理水に対し、高速繊維ろ過により 3 mg/L 以下の水質がえられた。

## 2) 除去率

晴天時除去率の状況を表 5 に示す。二次処理水に対する実証機の除去率は、水量、水質が安定していることから、2 時間ごとに採取した 24 時間 (計 12 点) の水質データの平均値より算出した。小型実証機実験時、大型実証機実験時ともに高速繊維ろ過による SS 除去率は高く、安定していたが、BOD、COD 除去率はばらつきが大きく、低い結果であった。

## 2.3.4 ま と め

雨天時簡易処理水および晴天時二次処理水を対象

とした SS 負荷と実用 SS 捕捉速度の関係を図 15 に示す。簡易処理水については SS 負荷 0.3~6.7 kg/(m³·h)、実用 SS 捕捉速度は 0.2~4.0 kg/(m³·h) の範囲にあり、実用 SS 除去率は 50~77 % であった。二次処理水については SS 負荷 0.04~0.23 kg/(m³·h)、実用 SS 捕捉速度は 0.02~0.18 kg/(m³·h) の範囲にあり、実用 SS 除去率は 70 % 程度で砂ろ過と同程度の SS 除去性能を示した。

## む す び

実証実験結果より、本ろ過装置は雨天時簡易処理水をろ過速度 2 000 m/d 処理により実用 SS 除去率 50 % 程度、晴天時二次処理水をろ過速度 1 000 m/d 処理により実用 SS 除去率 70 % 程度の処理性能を有することが確認された。本技術は雨天時の簡易処理水を主処理対象として、設備の有効活用を図ることから晴天時には二次処理水を処理することで、年間を通じた合流式下水道の放流負荷削減に有効であると判断する。

## [参考文献]

- 1) (社) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 (2001)

連絡先

土 谷 聡 環境本部  
技術部  
第 3 グループ

TEL 078 - 232 - 8102  
FAX 078 - 232 - 8057  
E-mail s.tsuchiya@pantec.co.jp

# 超臨界水酸化大型パイロット プラントの1 000時間 下水汚泥処理運転



The decomposing operation of municipal  
sewage sludge for 1 000 hours by the  
supercritical water oxidation (SCWO)  
process using a large-scale  
demonstration plant

(技)第1研究開発部第3研究室  
渋谷 敏 生  
Toshio Shibuya  
宮 川 守  
Mamoru Miyagawa  
石 井 豊  
Yutaka Ishii  
空 利 之  
Toshiyuki Sora  
西 田 英 夫  
Hideo Nishida

超臨界水酸化法による下水汚泥の分解，減量処理技術の実用化を目指して，大型パイロットプラント（処理能力1.1 m<sup>3</sup>/h）により1 000時間を超える運転を実施した。その結果，使用している高ニッケル合金鋼は下水汚泥のスラリーによる摩耗や超臨界水酸化分解過程での酸化雰囲気による腐食環境において十分使用できることがわかった。分解処理過程で発生する管内面へのスケーリングのメカニズムを明らかにし，運転方法によるスケーリング抑制策や洗浄時間の短縮化などのノウハウを確立した。

Large-scale SCWO demonstration plant with a capacity of 1.1 m<sup>3</sup>/h has been operated for over 1 000 hours aiming at establishing the decomposition and reduction technology of municipal sewage sludge with SCWO process. The operation results indicated that the high nickel alloy steel had enough resistance to abrasion by the slurry of sludge and corrosion by oxidation atmosphere in SCWO process. The mechanism of scaling on the inner surface of piping that occurred during the decomposition process was revealed. And the know-how about a scaling control by operation and a descaling procedure by shortening washing time was established.

## Key Words :

超 臨 界 水 酸 化  
大型パイロットプラント  
下 水 汚 泥

Supercritical water oxidation  
Large-scale demonstration plant  
Municipal sewage sludge

## ま え が き

通常，下水処理場で発生する汚泥は脱水処理された後に一部がコンポストなどに有効利用されるが，大部分は焼却埋立処分される。とくに都市部では効率的に減量化するために焼却処理されているものが多い。しかし，焼却処理法はNO<sub>x</sub>，SO<sub>x</sub>などの有害ガスや煤塵などを排出し，大気汚染の問題を生じる。

これに対して超臨界水酸化法は有害ガスを排出し

ない汚泥減量処理技術として注目されている。この方法は高温・高圧の超臨界水中で酸素を酸化剤として汚泥を二酸化炭素および水にほぼ完全に酸化分解するものである。窒素成分は一旦アンモニアを経て最終的に窒素ガスに分解され，硫黄成分は硫酸イオンに変換されて，液相あるいは固相に回収される。

本法を下水汚泥処理へ適用するにあたって，その実用化のための課題を解決するために大型パイロットプラントを建設し，実際の汚泥を用いて分解，減

量処理運転を実施した。2002年3月でその処理運転時間が累積1 000時間を超えた。以下に大型パイロットプラントの設備並びに運転概要と、運転中の課題と対応結果について報告する。

## 1. 大型パイロットプラントの設備概要

当社の大型パイロットプラントの主要部を写真1に示す。処理能力は廃液1.1 m<sup>3</sup>/hで、世界最大級の能力である。本パイロットプラントは約20 000 m<sup>3</sup>/dの下水処理場から発生する汚泥を処理できる能力を有し、えられるデータはそのまま実プラントの設計に活かすことができる。

### 1.1 大型パイロットプラント仕様

- ・廃液処理量：1.1 m<sup>3</sup>/h
- ・運転圧力：23～26 MPa
- ・運転温度：500～600℃
- ・反応器型式：チューブラ式  
(管径：25 A～40 A、長さ：約300 m)

### 1.2 設備フロー

設備フローを図1に示す。下水処理場からタンクローリー輸送された汚泥はフィードタンク (V010) に受け入れられる。汚泥はフィードタンクに設置された攪拌機で均一に攪拌された後、高圧フィードポンプ (P110) で約25 MPaに加圧され二重管熱交換器 (以下、熱交換器と記す) に送られる。熱交換器 (H100：チューブ側) では反応器 (R300) を通過し

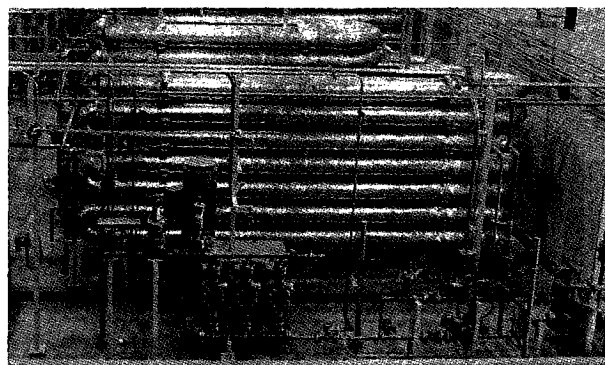


写真1 大型パイロットプラント主要部  
Photo 1 Large scale SCWO demonstration plant

た処理液の熱を回収して約370℃に昇温され、さらに、トリムヒータ (H200) で温度調整後に反応器へ送られる。反応器内では有機物は反応器入口部で供給された酸素と反応して即座に酸化分解される。反応器を出た高温の処理液は、熱交換器での熱回収とエアークーラー (C400) で冷却されて、システム圧力調整弁 (PV300) で大気圧近くまで減圧される。さらに、気液分離器 (S600) で排ガスと固形分を含む液に分離される。排ガスは、炭酸ガスが主成分で大気に放出され、固形分を分離した処理水は下水に放流される。

本パイロットプラントでは、高圧フィードポンプ出口から熱交換器、反応器、エアークーラーに至るま

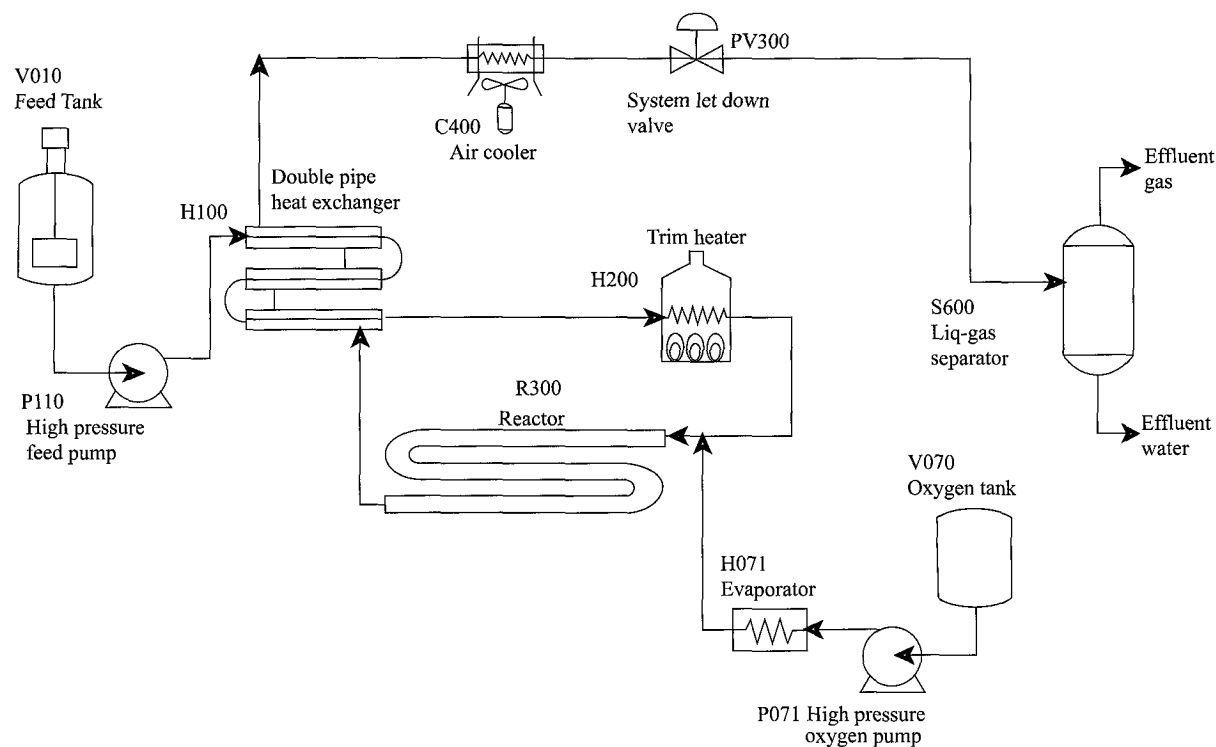


図1 大型パイロットプラント設備フロー  
Fig.1 Flow sheet of large scale SCWO demonstration plant

で一本のチューブで構成されており、高温、高压に耐え易い構造となっている。高压フィードポンプで昇圧されてからシステム圧力調整弁で減圧されるまでの処理時間は約10分である（反応器での滞留時間は約1分）。この簡易な構造のため、高温、高压にかかわらず、容易に運転制御、保守できることが本法の特長となる。

### 1.3 運転方法

設備の運転は、①水循環運転での昇圧、昇温の起動工程、②水循環から汚泥の連続供給に切り替える酸化分解運転となる処理工程、③汚泥の供給を水循環に切り替える降温、降圧の停止工程、の3つの工程からなる。図2に、昇圧後の反応器の各運転工程における温度の経時変化の一例を示す。

#### 1.3.1 起動工程：昇圧・昇温

設備起動時の昇圧・昇温には水（以下、ヒートアップ水と記す）が使用される。ヒートアップ水は高压フィードポンプで約25 MPaに昇圧され、反応器に供給される。反応器を出たヒートアップ水は、熱交換器のシェル側を通り、システム減圧弁で減圧されて、気液分離タンクに入る。分離されたヒートアップ水は、再度高压フィードポンプに供給されて、反応器に戻される。このようにヒートアップ水を循環している状態で、トリムヒータが点火され、反応器入口が所定の温度まで昇温される。図2で示されるようにこの起動工程は約2.5時間を要している。

#### 1.3.2 処理工程：汚泥の酸化分解

所定温度まで昇温された後、ヒートアップ水から汚泥へと供給が切り替えられる。汚泥は昇圧、昇温され、トリムヒータで所定温度に調整された後、反応器に供給される。反応器入口部では、酸化剤としての酸素が同時に供給されて汚泥と混合される。

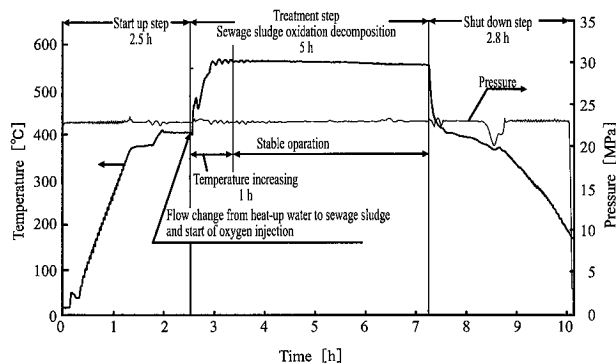


図2 昇圧後の反応器の各運転工程における温度の経時変化

Fig.2 Temperature profile of each operation step in Reactor

酸素は液体酸素をポンプで昇圧し、蒸発器で加温、気化させた後、所定量が供給される。

反応は即座に開始するが、反応器が所定の定常温度パターンを示す定常運転に達するには、図2の処理工程に示すように約1時間を要する。定常運転時の反応器内の長さ方向（約300 m）での温度分布を図3に示す。超臨界水下での酸化反応は非常に早く、秒単位で進むので、反応器内の温度分布は入口部から急激に温度上昇して最高温度に達している。

#### 1.3.3 停止工程：降温・降圧

汚泥処理終了時には、汚泥供給をヒートアップ水の供給に切替え、その後しばらくしてから酸素供給を停止する。その後、ヒートアップ水の循環で系内の温度を降下させる。所定の温度でヒートアップ水を停止し、自然放冷で降温、降圧させる。図2で示されるようにこの停止工程は約2.8時間を要している。

## 2. 運転性能

### 2.1 処理汚泥の性状

近郊の下水処理場から取寄せた余剰汚泥の性状を表1に示す。

表1 余剰汚泥の性状

Table1 Property of treated excess sludge

| Sludge<br>Sludge conc.<br>COD (Cr) in sludge | Excess sludge<br>3.2~5.2 %<br>34 000~53 000 ppm          |                  |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------|
|                                              | Element                                                  | Composition wt % |
| Ultimate analysis of<br>sludge               | C                                                        | 41               |
|                                              | H                                                        | 5.5              |
|                                              | O                                                        | 24               |
|                                              | N                                                        | 7.8              |
|                                              | S                                                        | 0.65             |
|                                              | Cl                                                       | 1.2              |
|                                              | P                                                        | 1.8              |
|                                              | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> & etc. | 18               |
|                                              | Sum                                                      | 100              |

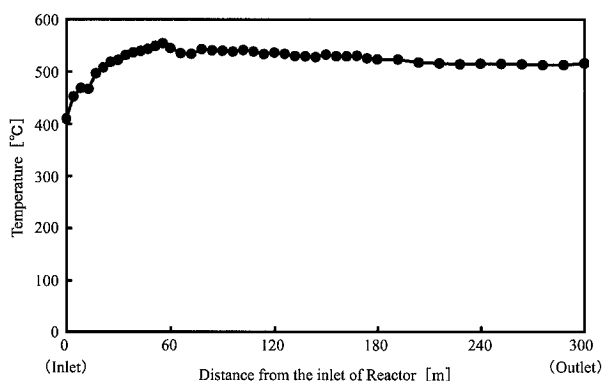


図3 反応器の温度分布

Fig.3 Temperature profile of reactor

写真2に、処理前の余剰汚泥と処理後の処理水を示す。左側は被処理液の余剰濃縮汚泥、右側は処理液を一定時間静置して、浮遊していた無機塩を沈降させたものである。汚泥は約10分たらずの超臨界水酸化処理で、無害な処理液と無機固形残さに分解される。

## 2.2 運転性能

### 2.2.1 COD (Cr) の分解率

供給汚泥のCODと処理液中のCODの分析値から分解率を求めている。図4に各反応器温度でのCOD分解率を示す。反応器温度が500℃以上で、CODは99.5%以上の安定した分解率が得られている。

### 2.2.2 酸素の供給量

汚泥の酸化に必要な酸素供給量は、以下に示すように供給酸素量と、未消費酸素量から求まる。ここで供給酸素量は供給汚泥のCOD分析値を目安にして設定する。

a: [供給酸素量: kg/h]

b: [排ガス量: kg/h]

c: [排ガス中の酸素濃度: %] / (100)

d: [未消費酸素量: kg/h]

e: [汚泥酸化に必要な酸素量: kg/h]

$$d = b \times c$$

$$e = a - d$$

図5に排ガス中の酸素濃度の変化を示す。排ガス中の酸素濃度は排ガス放出の安全の面から20%以上になる場合、窒素ガスを注入している。また0%近辺では汚泥の未分解となる。したがって、5~15%の範囲で運転管理される。

酸素供給過剰率は以下のように求まる。

$$[\text{酸素供給過剰率: } -] = a / e$$

酸素供給過剰率の実績は、1.1~1.2であった。酸素の費用は運転費の半分近くを占めており、この過剰率を低く押さえることが、運転原単位の改善に大きく影響する。

## 2.3 運転管理

1.3.2の処理工程で述べたように、反応器が定常運転に達すると、汚泥はほぼ完全に二酸化炭素と水に分解される。このことは、処理液のCOD分析結果により確認されるが、定常運転時には、CODは即座に測定結果が得られない。代わりに運転管理は、排ガス中のCO濃度をオンライン測定している。CO濃度が50 ppm以下を運転管理値としており、この値以下ではCODは排出基準値以下になっている。図6に示すように、本プラントにおいて排ガス中の

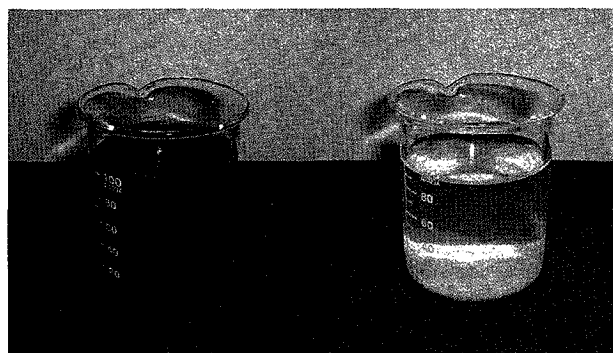


写真2 処理前の余剰汚泥と処理後の処理水  
Photo 2 Sludge and effluent

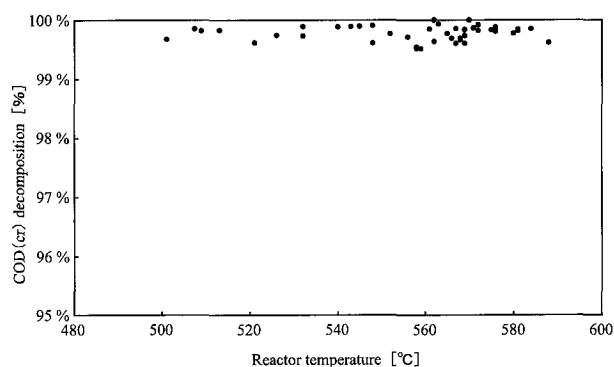


図4 COD (Cr) 分解率 %  
Fig. 4 COD decomposition rate

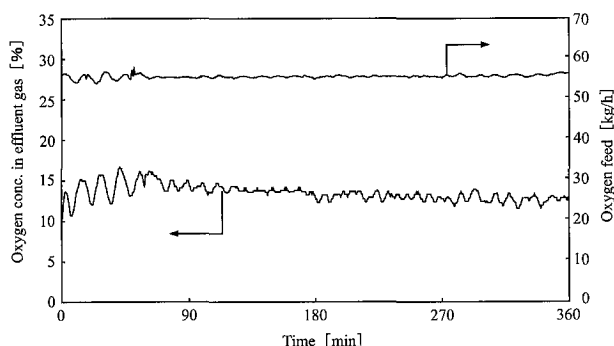


図5 排ガス中酸素濃度変化  
Fig. 5 Oxygen conc. in effluent gas

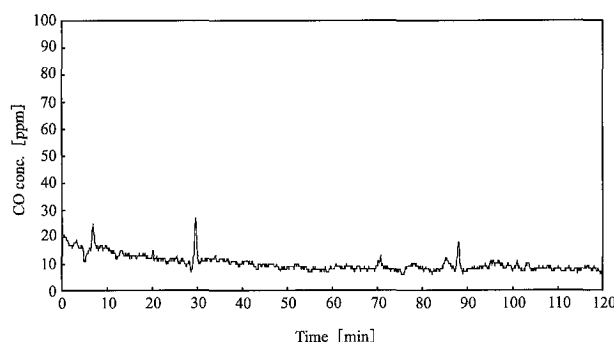


図6 排ガス中CO濃度変化(安定運転時)  
Fig. 6 CO conc. in effluent gas (stable operation)

CO 濃度は20 ppm 以下の安定した運転がおこなわれた。

### 3. 1 000時間運転で得られた成果

1 000時間運転は、装置稼動の実用化の見通しを得る一つの目安と考えている。パイロット運転では供給汚泥の持ち込み制約から8時間／日の起動、停止の繰り返しとなり、装置上は加温、冷却の繰り返しで厳しい条件を課すことになっている。

本法の技術課題とされている以下の項目について、1 000時間運転での実状と対応について以下に記す。

#### 3. 1 汚泥の前処理

汚泥を約23 MPa 以上に安定的に昇圧するために高圧フィードポンプに入る前の段階で前処理が必要である。とくに汚泥は固形物を含み、その固形物が高圧フィードポンプの逆止弁部分に詰まり、汚泥の吐出圧力および吐出量の低下に影響を与える。これに対して、問題となる固形物（約 $\phi 1\text{ mm}$  以上）を分離除去すること、弁体を固形物の詰まりにくい型式のものに変更することで、昇圧の安定性を確保した。

#### 3. 2 装置材料の耐食・耐久性

本装置は高温、高圧の条件下で、しかも多くの溶存酸素を含む流体にさらされており、厳しい腐食環境下にある。また、スラリが高速で流れることから摩耗に対しても厳しい環境にある。本法では、この腐食、摩耗環境を考慮して高ニッケル合金鋼を採用した。内視鏡観察の結果では1 000時間運転で反応器、熱交換器の内面に腐食の兆候は見られず、また、超音波による材料の肉厚測定結果でも、肉厚の減損はほとんど無かった。

これは、本運転で処理した下水汚泥には、表1の汚泥性状に示すように、腐食要因となる成分（塩素イオン、硫酸イオン等）の含有が少なかったことの影響が大きい。つまり、塩素濃度1 000 ppm 以下の条件では、高ニッケル合金鋼は超臨界水酸化処理プロセス用材料として十分使用に耐えることが確認できた。

#### 3. 3 スケーリング対応

##### 3. 3. 1 スケーリングのメカニズム

図7に水の臨界圧力（22.1 MPa）下での無機物と有機物の温度と溶解度の関係を示す。無機物は温度上昇で溶解度が減少し、水の臨界温度（374℃）前後で大きく減少し、無機塩として析出する。一方、有機物は高温無酸素の条件下で炭化しスケールを生成する。これらの無機物、有機物が管内のスケーリングの要因となる。また、温度領域として300℃以

上でスケーリングが起きやすい。スケーリングにより、機器の差圧上昇と伝熱性能低下が大きくなると、スケール除去洗浄が必要となる。したがって、温度条件による無機塩の溶解特性や有機物の炭化特性を把握することがスケール除去対応に効果的となる。

##### 3. 3. 2 スケーリング対策

スケール生成の抑制運転法として、スケールの生成が起り易い反応器入口の加温域で、反応器入口の昇温流体と、反応器出側の熱回収をおこなう加温流体との温度差を小さくすること、また、昇温流体を水の臨界温度以上にしないことである。さらに管壁を必要以上に高温にしないこと、管内の半径方向の温度分布を大きくしないこともスケーリングの抑制効果となる。

上記での運転条件で、機器差圧上昇と伝熱性能低下の予測から、洗浄時期を決定し、洗浄を当初から組み込んだスケジュールで運転をおこなう。洗浄は、主に差圧上昇の原因と考えられる機器内に堆積したスケールを洗い流しのための水洗浄と、伝熱性能低下の原因と考えられる機器内壁に付着したスケールを除去するための酸洗浄とを組み合わせで短時間でおこなった。

パイロット運転では、上記の予測で決定された洗浄時期毎に水洗することでスケールを除去することができ、安定的な運転をおこなうことができた。

### 4. 下水汚泥処理への適用

図8に現在の一般的な下水処理および汚泥焼却処理プロセスを示す。下段には従来法の汚泥処理に代替した超臨界水酸化法を組み込んだ場合の処理フローを付け加えている。

汚泥処理フローの中で、超臨界水酸化処理するための被処理汚泥として、濃縮汚泥と脱水汚泥の処理が可能であるが、汚泥濃度は高濃度ほど、処理容量

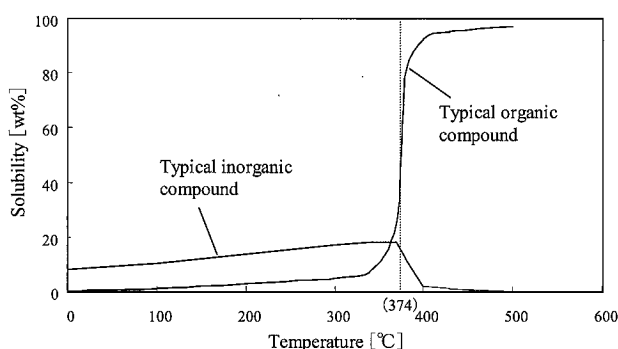


図 7 有機物と無機物の溶解度（圧力：22.1 MPa）

Fig.7 Solubility of typical organic and inorganic compound in water (at 22.1 MPa)

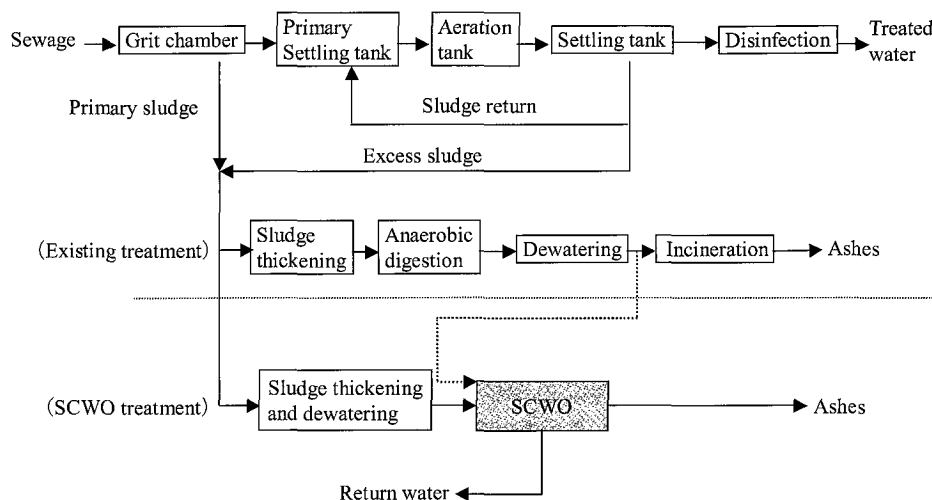


図 8 下水汚泥処理へ超臨界水酸化法の適用  
Fig.8 Flow Diagram of wastewater processing with SCWO

が少なくなることで、設備規模が小さくなり設備費が低減される。

既設の脱水工程までの設備を活用する場合には、脱水後の汚泥を流動化処理した上で、超臨界水酸化設備の高圧フィードポンプに供給することにする。

## 5. 経 済 性

従来の焼却法との経済性の比較では、高濃度 (TS:10%) 汚泥の処理において、超臨界水酸化設備の設置面積は、焼却設備の約 2/3 になり、補助燃料も起動時を除いて、ほとんど使用されなくなる。したがって、年間総費用が約 3~4 割の低減となる。さらに、有害ガスの発生が無いことから建設の合意

がえられやすいと考えられる。

## 6. 今後の展望

大型パイロットプラントによる 1000 時間運転の実施により、技術課題となっていた材料の耐食性およびスケリング対策に関して、解決の目処が得られた。今後は、解決策を盛り込んだ運転により、装置としての信頼性確認をおこなっていく予定である。

## む す び

超臨界水酸化法は、有害ガスを発生させないシンプルでクリーンな次世代の下水汚泥減量処理技術である。大型パイロットプラントで 1000 時間運転した実績が、普及の促進となることを期待したい。

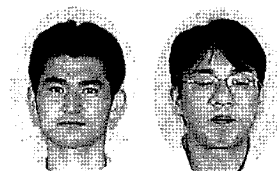
連 絡 先

渋谷 敏 生      技術開発本部  
第 1 研究開発部  
第 3 研究室

TEL 078-992-6525  
FAX 078-992-6504  
E-mail t.shibuya@pantec.co.jp

# 濾過機能付 PV ミキサーの開発

Development of PVF  
(PV MIXER with filtration function)



(化)技術部装置グループ  
戸嶋 大 輔  
Daisuke Tojima  
半田 裕 利  
Hiroto Handa

化成品、医薬品などの製造工程では、反応、晶析、濾過、乾燥など多くの工程があり、これらを一台の密閉容器内で処理することは、設備の簡略化、省スペース化だけでなく、コンタミの軽減、洗浄の容易さなど多くの利点がある。

優れた混合性能で粉体の混合、乾燥をはじめ、反応、晶析、濃縮など様々な用途で使用されている PV ミキサーに、新たに濾過機能を付加した濾過機能付 PV ミキサーを開発した。

Manufacturing process of chemical and pharmaceutical industries consists of many processes, such as reaction, crystallization, filtration and drying. So, if those processes can be done with only one machine, we can get a lot of advantages, namely, reduced contamination, easy cleaning, as well as simple operation and saving machine space.

We have developed the new additional function of PV MIXER, and named PVF, which is used in the various processes such as reaction, crystallization and condensation.

## Key Words :

PV ミキサー  
濾過  
乾燥  
焼結金網フィルター

PV MIXER  
Filtration  
Drying  
Sintered metal screen

## まえがき

粉体製品をえるまでには、反応、晶析、濾過、乾燥、混合、粉碎など様々な工程があり、その目的や用途によって様々な機器がもちいられている。一方、設備の簡略化、省スペース化、処理時間の短縮化の点より、一台の機器で多工程を効率的に処理可能な機器の開発が望まれている。

一台の密閉容器内で多工程の処理ができることは、設備の簡略化、省スペース化だけでなく、輸送時のクロスコンタミの低減、機器内の歩留りの低減、洗

浄の容易さなど多くの利点がある。

「PV ミキサー」は、逆円錐型容器内に多段傾斜パドル形状の攪拌翼を有し、製品を効率良く全体混合できる粉体の混合乾燥機である。現在、その優れた攪拌性能を生かし、反応、晶析、乾燥、混合、熱処理、調湿など様々な用途に使用されている。

本稿では、PV ミキサーに濾過機能を付加し、一台の密閉容器内で濾過、乾燥がおこなえる濾過機能付 PV ミキサーを開発したので紹介する。



## 1. 濾過機能付 PV ミキサーの構造

図1に濾過機能付 PV ミキサーの構造図を示す。

PV ミキサーの攪拌翼は、傾斜パドル翼を多段に配置した形状である。攪拌翼の回転にともない内容物は缶壁面に沿って段階的に上部へ移送され最上部まで達すると軸方向に移動し、さらにセンター軸側から缶底方向へ移動し全体混合される。また、多段に配置されたパドル翼先端部のせん断作用によって、移送と同時に効率良く混合される。

攪拌槽は、上部槽と下部槽に分割できる構造であり、濾過機能は下部槽に附属している。上部槽は外套から加熱される従来の PV ミキサーと同じ構造である。下部槽は円錐部分に焼結金網フィルターを設けた構造であり、外套から加熱できる構造である。

下部槽の焼結金網フィルターは組立構造になっているため、取り外し分解洗浄が可能である。また、

焼結金網フィルターは、缶壁とメタルタッチ構造であるため、外套からの伝熱が良く、乾燥工程において、上部槽だけでなく下部槽も乾燥性能に寄与できる構造である。

焼結金網フィルターは、濾布とは異なりフィルターの剛性が高いため、濾液排出口より缶内に圧縮エアーを吹込むことによりフィルターを逆圧洗浄できる構造である。

濾過機能付 PV ミキサーは、缶内に駆動部がなく、逆円錐型容器であるため容器の全容積に対する粉体仕込量が多く、濾過工程でスラリーを追いチャージすることにより、一度に大量の粉体を処理することができる。

また、PV ミキサーと同様に直下型排出バルブを使用しているため、乾燥後の粉体の全量排出が可能である。

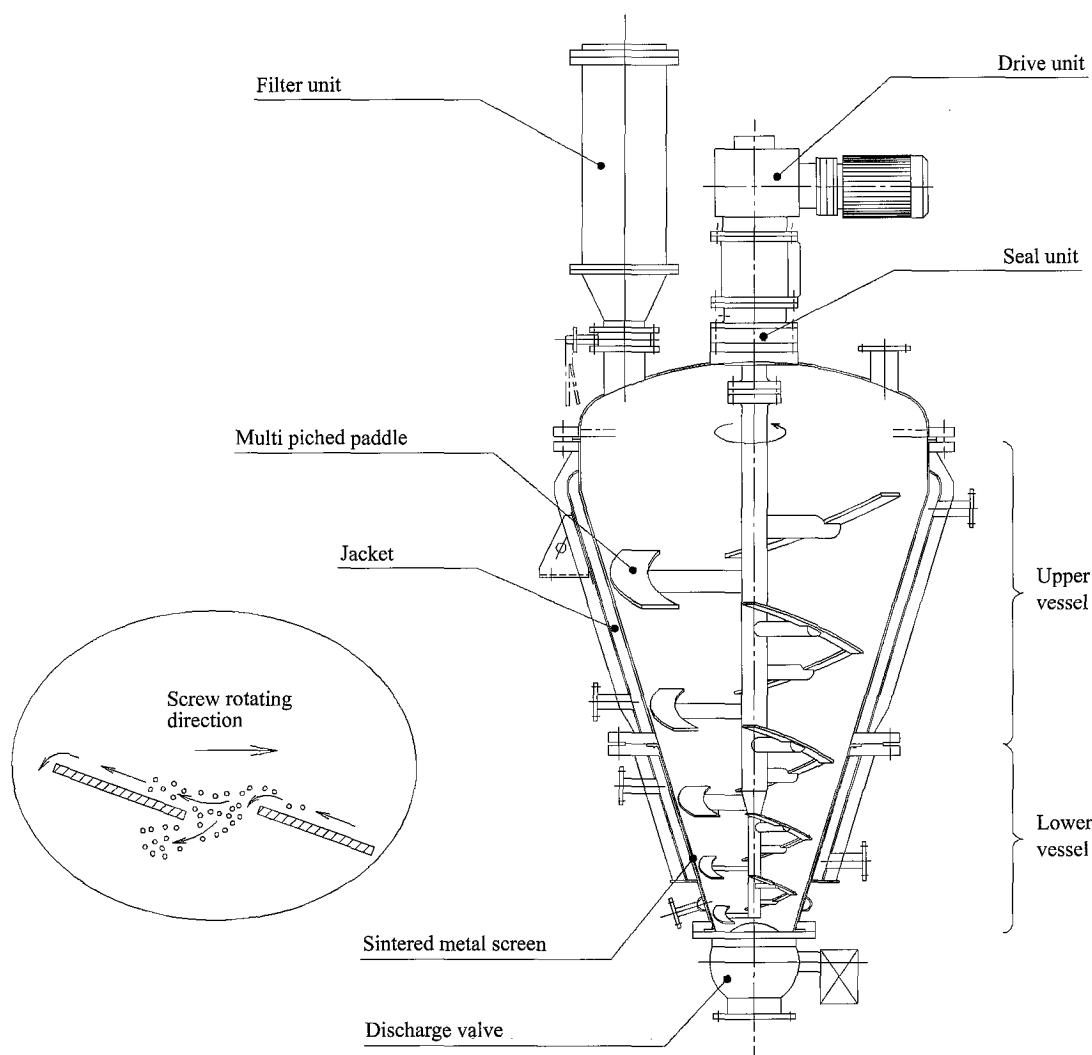


図 1 濾過機能付 PV ミキサー

Fig.1 PVF (PV MIXER which has the filtration function)

## 2. 濾過機構と各工程

図2は濾過機能付 PV ミキサーの濾過機構を模式的に示したものである。

前工程で晶析等によって生成されたスラリーを投入口よりミキサー内に投入し、攪拌翼をゆっくりと回転させながら加圧濾過する。スラリーはフィルター部で固液分離され、フィルター部を通過した濾液は、集液され濾液排出口より缶外に排出される。

濾過終了後缶内に残ったケーキは、場合により洗浄工程をおこない再度濾過される。その後、缶内を減圧にし、外套より加熱して PV ミキサーの強力な攪拌作用によって、湿潤ケーキを均一に循環混合させながら短時間で乾燥する。

乾燥した製品は、直下型排出バルブにより全量排出される。

## 3. 濾過機能付 PV ミキサーの特長

濾過機能付 PV ミキサーの特長として以下の点があげられる。

### (1) 濾過面積が広い

下部槽の円錐部分にフィルターを備えているため濾過面積を広く取れる。内容物によって濾過面積を自由に設定できる。

### (2) フィルター部でも熱伝達ができる。

フィルターは焼結金網を使用しており、缶体伝熱面にメタルタッチで設置されているため外套からの熱伝達が可能である。

### (3) フィルター部の洗浄が容易

- ・逆圧洗浄 焼結金網フィルターは剛性が高いため、フィルターが目づまりを起こした場合、逆圧洗浄ができる。
- ・取り外し洗浄 焼結金網フィルターは組立構造であるため、本体から取り外し洗浄が容易にできる。また、目開きの異なるフィルター、濾過面積の異なるフィルターと交換が可能である。

### (4) 大量の粉体が処理できる。

攪拌槽容量に対する仕込量が多いため、原料を追いチャージして一度に大量の粉体を濾過乾燥できる。

### (5) 全量排出が可能

フィルター部が円錐部分にあるため、短時間で内容物を全量排出できる。

## 4. テスト装置

濾過機能付 PV ミキサーのテスト機を使用して、濾過及び乾燥テストを実施した。図3に濾過機能付 PV ミキサーのテスト機の概略を示す。

### 4.1 テスト方法

- ①缶内に炭酸カルシウム25 kg と水65 kg を投入してスラリーを作り、スラリーを混合して缶内に均一に分散させる。
- ②混合後、上蓋の加圧口よりエアーを缶内に吹込み加圧する。

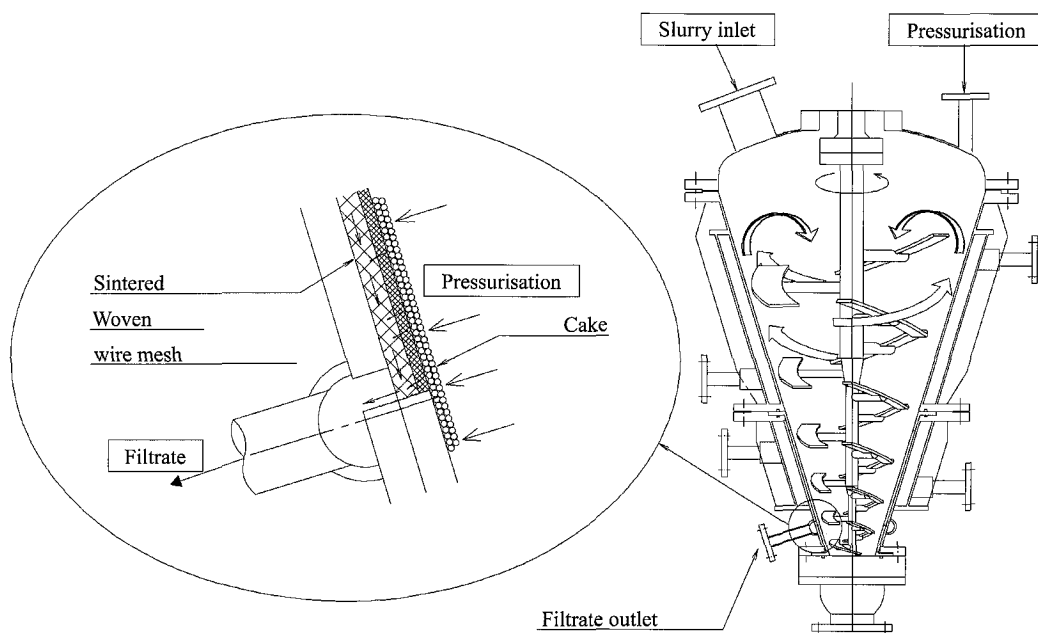


図 2 濾過機構  
Fig.2 Filtration mechanism

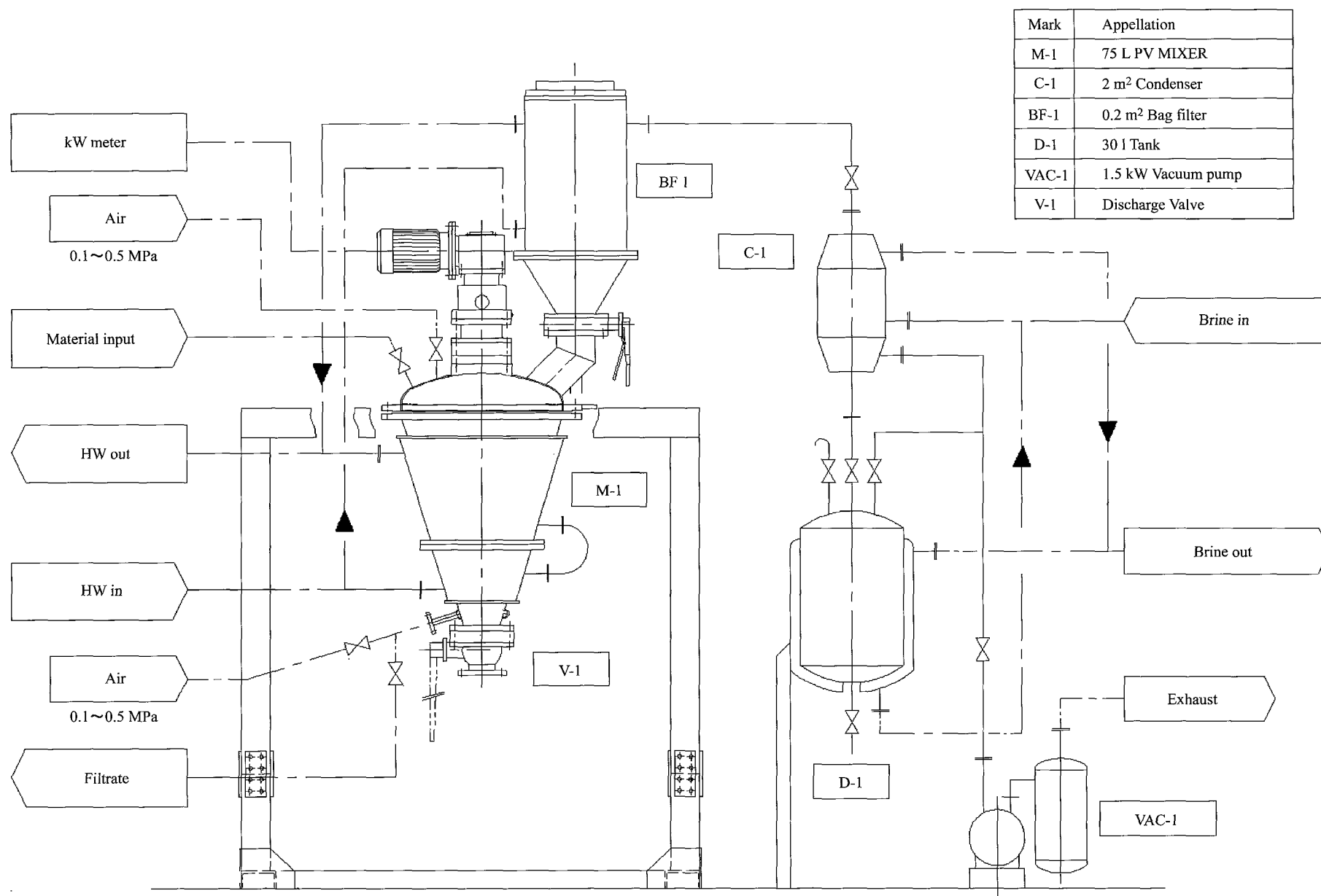


図 3 テスト装置

Fig.3 PV MIXER test unit

- ③缶内が所定の圧力になった後、濾液排出口のボールバルブを開き加圧濾過を開始する。
- ④濾過終了後、缶内を大気圧に戻した後、外套に温水を通水して減圧乾燥をおこなう。
- ⑤乾燥終了後、直下型排出バルブを開き内容物を排出する。

## 4. 2 濾過性能

濾過テストの操作条件を表1に示す。

### 4. 2. 1 濾過温度の影響

図4に濾液温度の違いによる濾過速度の影響を示す。同図より、濾液温度80℃で濾過した場合の方が、25℃で濾過した場合より、濾過速度が約2.5倍速くなった。

一般的にケーキ内の濾液の流れを微粒子充填槽内の流動の一つであると仮定した場合、毛細管内の層流では Hagen-Poiseuille の下式が成立することが知られている。

$$\bar{u} = \frac{\Delta P d^2}{32 \eta L} \quad (1)$$

$\bar{u}$  : 平均速度 [m/sec]     $\eta$  : 粘性率 [Pa·s]

$\Delta P$  : 圧力差 [Pa]     $L$  : 管長 [m]

$d$  : 管内径 [m]

上式の粘性率は濾液の温度に依存するものであり、濾液温度によって濾過速度が変化することがわかる。本テストにおいても、80℃と25℃では濾過速度が約2.5倍になるのは、濾液温度25℃における水の粘性率と80℃における粘性率の違いであり、80℃の粘性率は25℃の粘性率の約1/2.5になることから理論式と良く一致した反比例関係になっている。

したがって、濾過工程においては製品の許容温度限界の粘度の低い状態で濾過することが濾過時間の短縮に大きく影響するといえる。

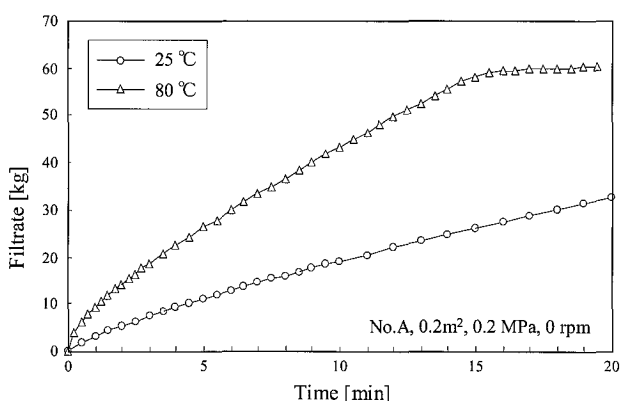


図 4 濾過温度の影響  
Fig.4 Effect of filtration temperature

### 4. 2. 2 濾過面積の影響

図5に濾過面積の違いによる濾過速度の影響を示す。

単位容積当たりの濾液量  $Q$  は次式で示される。

$$Q = \bar{u} A \quad (2)$$

$Q$  : 濾液量 [m³/s]     $\bar{u}$  : 平均速度 [m/s]

$A$  : 濾過面積 [m²]

(2)式より、濾液量は、濾過面積に比例関係にある。テスト結果において濾過面積と濾過量は比例している。

濾過機能付 PV ミキサーの濾過面は円錐部に設置しているため、ミキサー全体の容量を変えずに濾過面積のみを変えることが可能である。したがって実機においても内容物の性質によって濾過面積を選定することができる。

濾過面積0.1 m², 0.2 m²のいずれの場合も、濾液量60 kg 付近で急激に濾過速度が減少した。濾過の進行にともないスラリーからケーキ状の湿潤濾滓となるが、その時点で濾過速度は急激に低下し、濾液はほとんど排出されなくなる。これ以後は濾過が進

表 1 操作条件 (濾過)  
Table1 Operation condition (filtration)

|                            | No.A CaCO <sub>3</sub><br>(200 μm) | No.R CaCO <sub>3</sub><br>(20 μm) | SS CaCO <sub>3</sub><br>(4.5 μm) |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Jacket temp.<br>℃          | 25, 80                             | 80                                | 80                               |
| Impeller speed<br>rpm      | 0, 5                               | 0, 5, 15,<br>35, 70               | 15                               |
| Filtration pressure<br>MPa | 0.2                                | 0.1, 0.2, 0.4                     | 0.1, 0.2, 0.4                    |
| Filtration area<br>m²      | 0.1, 0.2                           | 0.2                               | 0.2                              |

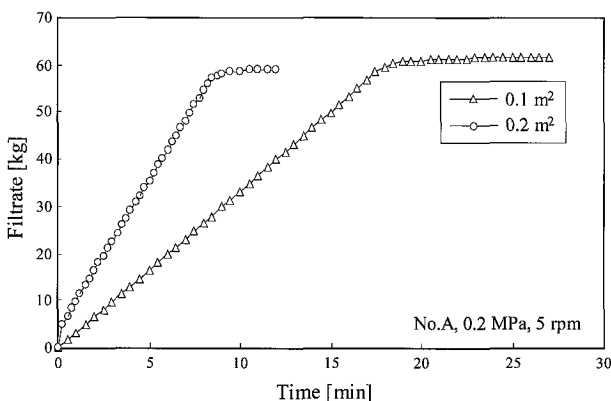


図 5 濾過面積の影響  
Fig.5 Effect of filtration area

行しないため乾燥工程に移行することが望ましい。  
この濾過終了点は圧力および内容物の粒径によって異なるが、濾過面積には影響されない。

#### 4. 2. 3 濾過圧力の影響

図6に圧力の違いによる濾過速度の影響を示す。圧力を高くすることにより濾過速度は速くなり濾過時間は短くなった。図7にNO.AとNO.Rの含水率が20%，SSの含水率が40％に到達する時間と圧力の関係を示す。同図より、粒子径の比較的大きいNO.Aは圧力と到達時間はほぼ比例関係にあるが、粒子径の小さいNO.R、SSは、圧力が0.2 MPa以下の領域では比例関係を示すものの0.3 MPa以上では比例関係を示さない。これは、本テストで使用した炭酸カルシウムの濾過ケーキは圧縮性であるためである。粒子径の小さい粉体のケーキは、空隙率が大きいいため圧力の影響を受けやすく、圧力が高くなると圧縮され密になる。したがって、粒子径が小さいケーキほど圧力の影響が顕著になると考える。このことは、(1)式において表されている。ケーキが非圧

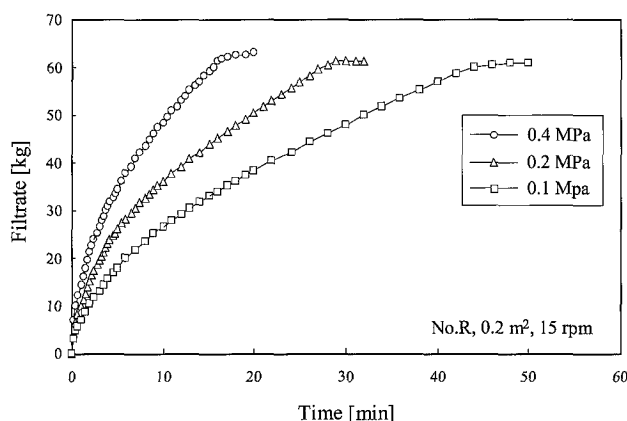


図 6 濾過圧力の影響  
Fig.6 Effect of filtration pressure

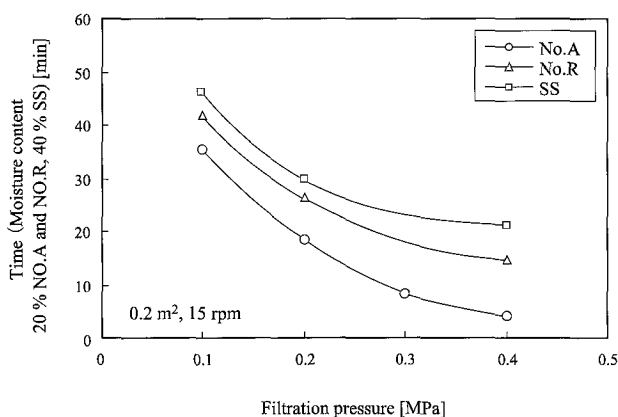


図 7 濾過圧力と濾過速度の関係  
Fig.7 Relationship between filtration pressure and filtration rate

縮では  $d$  (毛細管径) が圧力によって変化しないため濾過速度と圧力は比例関係にあるが、圧縮性の場合  $d$  が変化する (減少する) ため、圧力と濾過速度は比例関係を示さない。工業的に使用される粉体ケーキは圧縮性のものが多く、濾過圧力に比例して濾過速度は速くならないことが多い。したがって、適切な濾過圧力をテストで確認して、実機に適用する必要がある。

#### 4. 2. 4 回転数の影響

図8にNO.R、図9にSSの加圧濾過中の攪拌翼の回転数の違いによる濾過速度の影響を示す。NO.Rは回転数が増加するに従い濾過速度が遅くなっており、SSはNO.Rとは反対に回転数の増加に伴い濾過速度が速くなった。

粒径および比重が大きいNO.Rの場合、濾過中は攪拌翼とフィルター部のクリアランスに形成されたケーキ層が、回転数の増加すなわち、遠心力の増加によってフィルター部に押しつけられると考える。つまり、ケーキ層は回転数の増加にしたがい攪拌翼

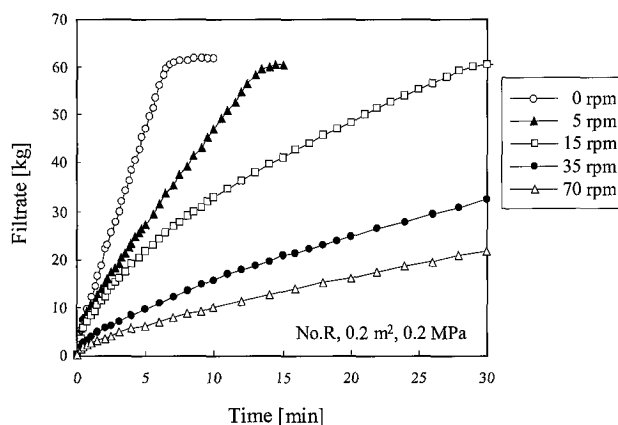


図 8 回転数の影響 (No.R)  
Fig.8 Effect of rotating speed (No.R)

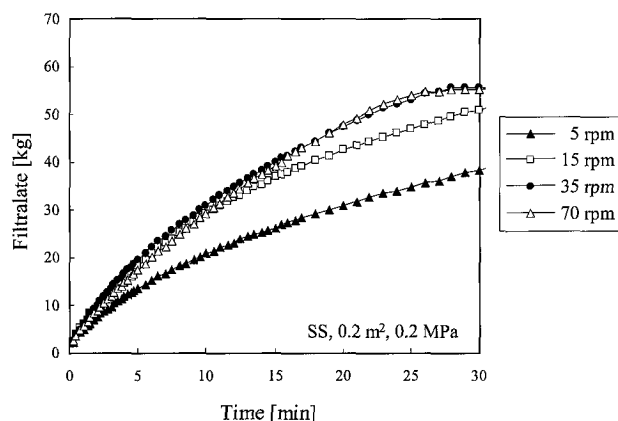


図 9 回転数の影響 (SS)  
Fig.9 Effect of rotating speed (SS)

から圧力を受けて圧密され、濾過抵抗が大きくなるため濾過速度が低下するものと考える。

一方 SS の場合、35 rpm 以上では、濾過速度はほとんど変わらないが、回転数の減少により濾過速度が低下する傾向にある。これは、粒径が $4.5\mu\text{m}$ と極めて小さいため、スラリー濃度の低い場合、粉体は液中に均一に分散されやすく、また、スラリー濃度が高い場合であっても、粒径の大きい場合より粉体は分散されやすくなるため、フィルター部ではケーキ層が形成されにくいと考える。したがって NO.R より粒子径が小さく、ケーキの圧縮性が大きい SS であっても、35 rpm 以上はほとんど濾過速度は変わらないと考える。回転数の遅い場合は、粉体は分散されにくいいため、ケーキ層を形成し、濾過速度も遅くなると考える。したがって、回転数が遅い場合は濾過速度が遅くなると考える。

本結果では NO.R においては、攪拌翼を静止した場合、もっとも濾過時間が短かったが、濾過終了後の乾燥工程では、攪拌翼を回転する必要がある。攪拌翼を静止した状態でケーキ濾過をおこなった場合、圧密されたケーキ層内に攪拌翼があるため、起動の際に大きい起動トルクが発生する。この起動トルクは非常に大きく攪拌軸系全体のサイズアップに影響する。このことから、攪拌翼の回転によって圧密ケーキが形成される粉体においても、経済設計および濾過速度の関点から攪拌翼を低速で回転しながら濾過をおこなう必要がある。

### 4.3 乾燥性能

加圧濾過終了後のケーキを外套より加熱し減圧乾燥を実施する。濾過機能付 PV ミキサーは、下部槽の壁面に焼結金網フィルターを設けているため、標準型 PV ミキサーの缶壁の伝熱より低下することが予想される。乾燥性能テストを実施し、表 2 に操作

条件を示す。

#### 4.3.1 濃縮と濾過乾燥

図10は、原料のスラリーを PV ミキサーで真空乾燥のみで濃縮した場合の乾燥時間と、同量のスラリーを濾過乾燥した場合の処理時間を比較したものである。同図より、濾過乾燥した場合の方が総運転時間が短くなった。含水率15%に達する時間を比較すると真空乾燥では濾過時間の約3倍かかることがわかる。しかし、通常含水率70%のものが、直接乾燥機に投入されることは無く、前工程の濾過機でいったん処理されてから、乾燥機に投入される。

濾過機能付きと標準型の乾燥性能比較は、濾過後の含水率12%から0.1%までの乾燥時間の差異によってえられる。乾燥性能比較テストでは、含水率12%の粉体量は、粉体全量が濾過面のみからの伝熱による乾燥になっているので、通常の缶壁からの伝熱と濾過面からの伝熱を直接比較することができる。総括伝熱係数(U値)を比較すると濾過部のU値は $43\text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ に対して標準缶壁部は $77\text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ となり、濾過面においても約1/2の伝熱性能がある。

表 2 操作条件 (乾燥)

Table2 Operation condition (drying)

|                                  | No.A $\text{CaCO}_3$<br>(200 $\mu\text{m}$ ) | No.R $\text{CaCO}_3$<br>(20 $\mu\text{m}$ ) |
|----------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Jacket temp.<br>$^\circ\text{C}$ | 80                                           | 80                                          |
| Impeller speed<br>rpm            | Filtration 10<br>Drying 70                   | Filtration 15<br>Drying 70                  |
| Pressure<br>kPa                  | Filtration 0.2 MPa<br>Drying 2.7 kPa         | Filtration 0.2 MPa<br>Drying 2.7 kPa        |
| Brine temp.<br>$^\circ\text{C}$  | 0-4                                          | 0-4                                         |

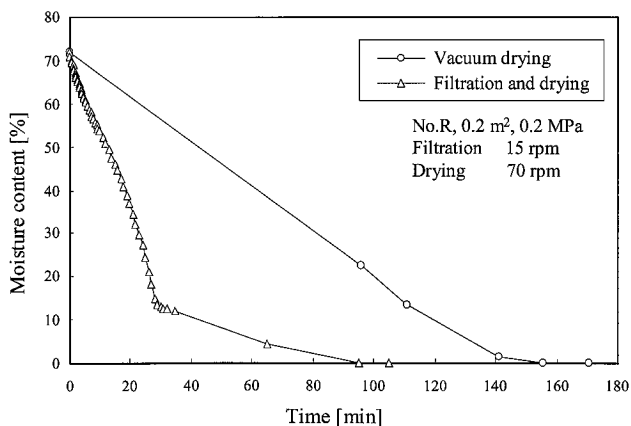


図 10 乾燥テスト結果  
Fig.10 Result of drying test

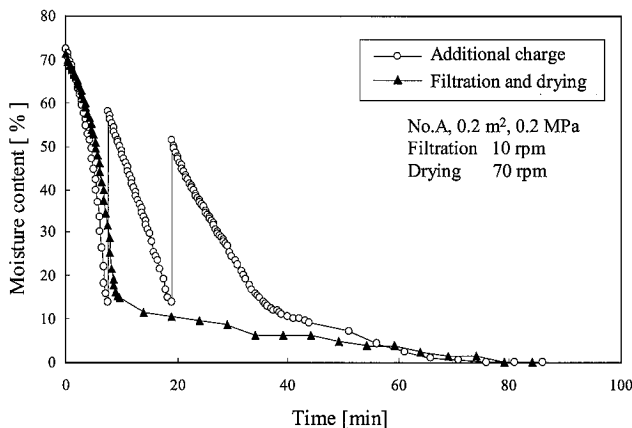


図 11 追いチャージの影響  
Fig.11 Effect of additional charge

#### 4. 3. 2 追いチャージの有効性

濾過機能付 PV ミキサーは、スラリーを追いチャージすることによって大容量の処理が可能である。

図11に追いチャージテスト結果を示す。

同図は、追いチャージをせずに含水率72 %のスラリー90 kgを濾過乾燥した場合の運転時間と、同濃度・同量のスラリーを2回追いチャージ（スラリー計270 kg処理）し濾過乾燥をした場合の運転時間を比較したものである。同図より、追いチャージを2回おこなった方がおこなわなかった場合より3倍もの原料を処理しているにも関わらず、総処理時間が約80分とほぼ同時間で処理することができた。これは、原料が少ない場合、濾過後のケーキの大部分は濾過部分にあるため、伝熱効率が缶壁面より悪く効率的に乾燥できない。しかし、追いチャージをおこない、原料を多くすることによって缶壁面への接触面積が大きくなり効率的に乾燥ができると考えられる。

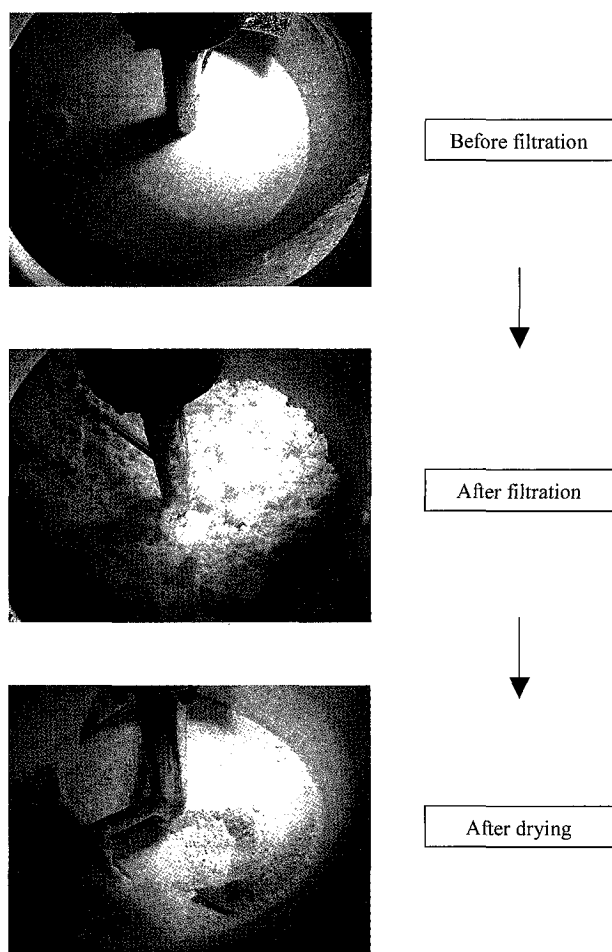


写真 1 濾過状況

Photo 1 Changing state from filtration to drying

#### 4. 4 濾過乾燥工程の状況

写真1はスラリーから濾過機能付 PV ミキサーで濾過工程、乾燥工程を経て処理した際の缶内状況で、濾過前のスラリー中の含水率は67 %、濾過後の湿潤粉体の含水率は26 %、乾燥後の粉体中の含水率は0.1 %のそれぞれの状況を示している。

#### 4. 5 付着軽減方法

製品排出後の缶内は、缶壁への付着が観察された。特に、下部槽のフィルター部分は焼結金網があり平滑面ではないため、上部槽の缶壁より付着が多くなる傾向がある。

そこで、フィルター面での付着の軽減を試みた。減圧乾燥中に濾液排出口より  $N_2$  ガスを缶内に吹き込んだ。吹き込まれた  $N_2$  ガスはフィルター全面から缶内に吹き出しフィルター部に付着した粉体をフィルターから剥離し易くする。図12に  $N_2$  ガス吹込量と付着量の関係を示す。同図より、 $N_2$  ガスを吹込

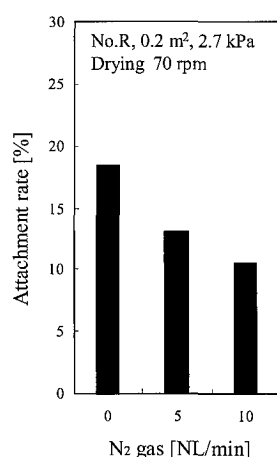


図 12  $N_2$  ガス吹込量と付着量の関係

Fig.12 Relationship between  $N_2$  gas blowing quantity and powder attachment

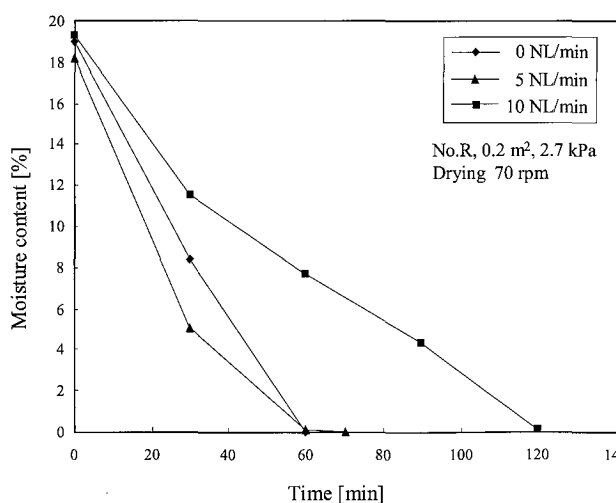


図 13  $N_2$  ガス吹込量と乾燥時間の関係

Fig.13 Relationship between  $N_2$  gas blowing quantity and drying time

むことによって付着量を軽減できることを確認できた。しかし、 $N_2$  ガスの吹込量が多くするほど乾燥工程では、真空度の悪化を招き乾燥時間が長くなることが考えられる。

図13に乾燥時間と  $N_2$  ガス吹込量との関係を示す。同図より、 $N_2$  ガス吹込量が0と5 NL/min では乾燥時間にはほとんど影響しないが、10 NL/min 吹き込んだ場合乾燥時間は長くなった。これは、ガス吹込量が少ない場合は、乾燥中真空度は少し悪くなるが、キャリアーガスの役割をするため乾燥時間にはほとんど影響しない。しかし、吹込量が多くなると真空度が悪くなりすぎるため、付着量は減少するが、乾燥時間が長くなる結果となった。

ガス吹込量を多くすると管壁部の付着量は軽減する傾向にあるが、5 NL/min と10 NL/min とでは付着量には大差はない。乾燥時間を比較するとガス吹込量5 NL/min はガス吹込をおこなわなかった場合とほとんど変わらない。これより、ガス吹込量を5

NL/min とすることにより、乾燥時間が同等で缶内の付着を軽減することができる。

## む す び

粉体混合乾燥機 PV ミキサーに濾過機能を付けた濾過機能付 PV ミキサーを開発し、濾過乾燥テストを通じて濾過性能、乾燥性能等について紹介した。

濾過機能付 PV ミキサーは円錐部に濾過面がある構造的な特長を有しており、濾過・乾燥の両工程とも高い性能を有している。テストでは、炭酸カルシウムを用いてその特長を示したが、その他の化成品、医薬品など様々な製品においてもその効果は期待できる。

今後も客先ニーズに対応した製品を開発し、また、客先テストを通じて数多くのデータを蓄積し、技術の向上と新製品の開発に注力して行きたい。

## 【参考文献】

- 1) 化学装置：工業調査会（2002），p.91-93
- 2) 配管技術：日本工業出版（2001），p.67-69

## 連 絡 先

戸 嶋 大 輔      化工機事業部  
                         技術部  
                         装置グループ

T E L 0794 - 36 - 2517  
F A X 0794 - 36 - 2578  
E-mail d.tojima@pantec.co.jp



# 神鋼神戸発電所向け総合排水処理設備の紹介

## A Comprehensive Wastewater Treatment System for Shinko Kobe Power Station



(環)水処理本部技術部第2グループ  
池田 進 吾  
Shingo Ikeda

当社はこのたび、(株)神戸製鋼所神鋼神戸発電所向けに総合排水処理設備を納入した。当発電所は神戸市内に位置する都市型発電所であるため、排水処理設備は、厳しい放流基準を十分に満足できる設備構成と設備仕様が要求された。さらに多種類にわたる排水系統を含有成分により分別し、処理水の回収再利用システムを積極的に取り入れた。本稿では、今回納入した総合排水処理設備のプロセスと設備の概要について紹介する。

A comprehensive wastewater treatment system was delivered to the coal-fired power plant (output: 0.7 mil. kW × 2 units) for Kobe Steel, Ltd. Due to its location in the urban area of Kobe city, the system had to be designed to fulfill the strict water discharge criteria. Generated wastewater was divided into two for effective treatment, depending on the salt content; discharge line and recovery line. The former line was treated with N-S decomposition, coagulation/settling, biological denitrification, filtration/AC adsorption, COD adsorption, neutralization, and sludge treatment suitable for respective contaminants. The latter was recovered with oil separation, filtration, AC adsorption and neutralization to the industrial water level for recycling.

### Key Words :

石炭火力発電所  
脱硫排水  
放流系  
回収系

Coal-fired power plant  
De.SOx waste water  
Discharge line  
Recovery line

### まえがき

当社はこのたび、(株)神戸製鋼所神鋼神戸発電所向けに総合排水処理設備を納入した。当発電所は、1995年4月の電気事業法改正により入札制度の下で電力卸供給事業に参入したもので、建設工事は一期工事と二期工事に分かれている。1号機は2002年4月から営業運転を開始しており、2号機は2004年4月の営業運転開始へ向けて現在建設工事中である。

本総合排水処理設備は1・2号基共用で、2号機稼動後の排水負荷量を設計条件としている。

本稿では、今回納入した総合排水処理設備のプロセスと設備の概要について紹介する。

### 1. 発電所の概要

神鋼神戸発電所は、出力70万 kW × 2機 (計140万 kW) の石炭火力発電で、IPP (Independent Power Producer の略称) としては国内最大の発電所である。

図1に神鋼神戸発電所の全体配置図を、図2に発電所の概略フロー図を示す。設備構成は、発電設備として、ボイラ・蒸気タービン・発電機、ばい煙処理設備として、排煙脱硝装置・電気式集塵装置・排煙脱硫装置、また水処理設備として、給水処理設備・復水脱塩処理設備・総合排水処理設備からなる。なお、水処理設備については全て当社が納入した。

神鋼神戸発電所は(株)神戸製鋼所神戸製鉄所内に位置する都市型発電所であるため、大気汚染、水質汚濁、騒音などの環境保全対策についてはとくに配慮された発電所である。

## 2. 設備計画における配慮事項

前述のとおり、本排水処理設備は都市型発電所に対応した設備構成と設備仕様が要求されるため、周囲環境への影響に重点を置き計画した。

1) 厳しい放流基準値に対し、多種のプロセスを組み合わせることで、基準値を十分に満足した

処理水がえられ、かつ安定した処理を継続できるような設備構成とした。特にCOD値については放流基準が日平均5mg/L以下と非常に厳しいために、3段の凝集沈殿とろ過処理に加え、活性炭吸着による処理、さらにはイオン交換によるCOD除去プロセスも組み込み、高度処理が可能なものとした。

2) アルカリ凝集沈殿（放流系2次凝集沈殿設備）においては、排水中に含まれるアンモニアが気化して悪臭を発生しやすい条件となることから、沈殿槽を含めてすべての槽に蓋板を設置して周囲への拡散を防止するとともに、脱臭装置を設置して悪臭を発生させない設備構成とした。

3) 操作、監視を中央操作室に一元化し、日常の運転管理情報の集中化、共有化を図り、プロセス異常時に迅速な対応がとれるようにした。

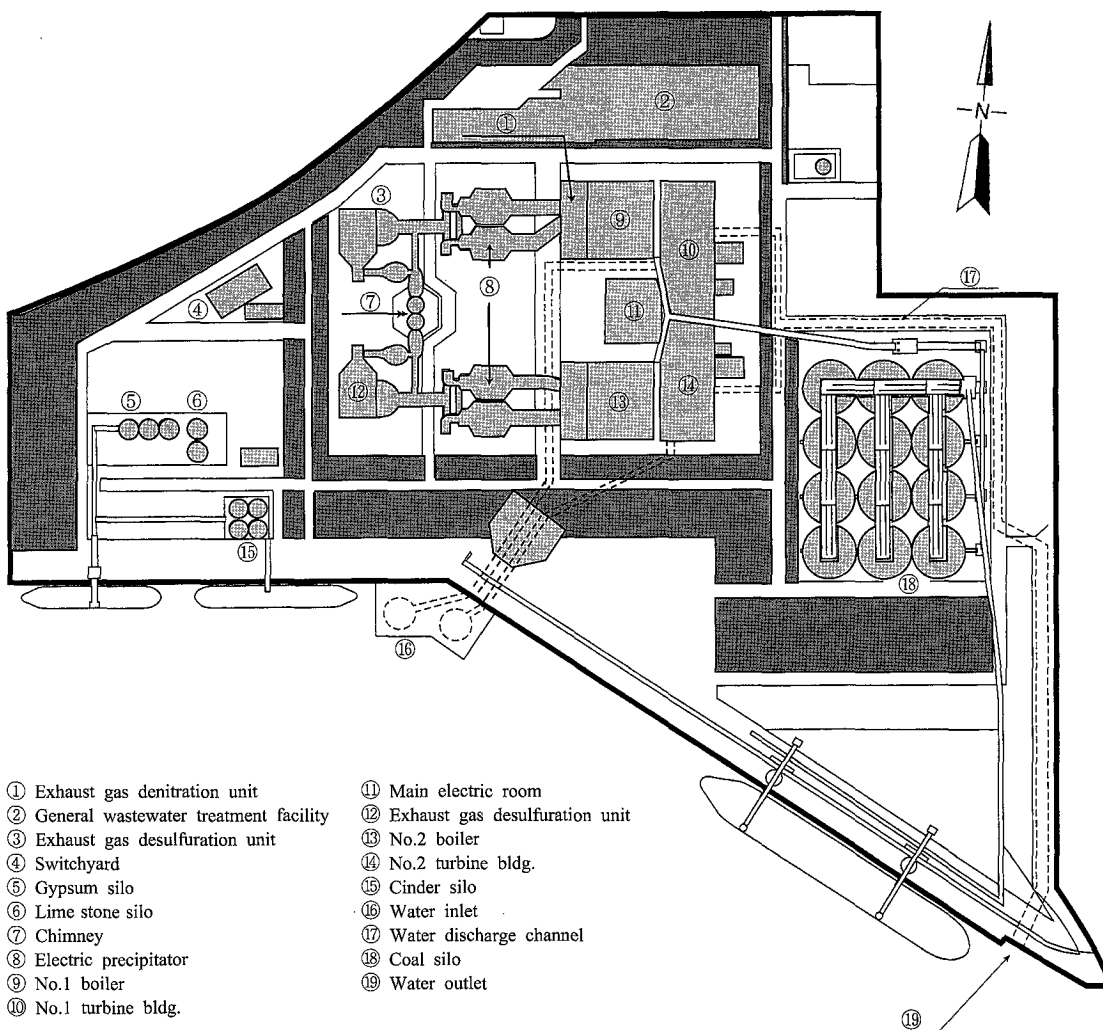


図 1 神鋼神戸発電所 全体配置図

Fig.1 Plot plan of Shinko Kobe Power Station

### 3. 総合排水処理設備の概要

総合排水処理設備を写真1～6に示す。またそのフローシートを図3, 4に示す(図3:放流系処理設備, 図4:回収系処理設備)

排水は含有塩類濃度の違いによって放流系と回収系に分別して受け入れる。塩類濃度が高い排水は放流系処理設備にて、放流基準に合致した処理水をえるために成分毎に処理し放流する。また比較的塩類濃度の低い排水は回収系処理設備にて、工業用水レベルに処理して回収することで、再利用を図る。

#### 3.1 放流系処理条件

放流系で処理すべき排水は、排煙脱硫装置からのブロー排水(以下脱硫排水と記す)が主で、その他給水処理および復水脱塩の高塩系再生廃液および定検時にのみ排出されるAH(エアヒータ)などの洗浄排水(非定常排水)がある。

次に主な排水の計画諸元を記述する。

##### (1) 脱硫排水

計画処理水量 960 m<sup>3</sup>/d

|                    | 原水水質        | 処理水水質         |
|--------------------|-------------|---------------|
| pH                 | 4～5         | 5.8～8.6       |
| SS                 | 1 500 mg/L  | 日平均10 mg/L 以下 |
| COD                | 30 mg/L     | 日平均 5 mg/L 以下 |
| Mg                 | 1 000 mg/L  |               |
| Ca                 | 2 500 mg/L  |               |
| Si                 | 200 mg/L    | 3 mg/L 以下     |
| Fe                 | 20 mg/L     |               |
| Cl                 | 10 000 mg/L |               |
| SO <sub>4</sub>    | 5 500 mg/L  |               |
| F                  | 400 mg/L    | 15 mg/L 以下    |
| NH <sub>4</sub> -N | 10 mg/L     |               |
| NO <sub>3</sub> -N | 38 mg/L     |               |
| NS-N               | 2 mg/L      |               |
| T-N                | 50 mg/L     | 20 mg/L 以下    |
| T-P                | 10 mg/L     | 1 mg/L 以下     |

##### (2) 非定常排水

計画処理水量 5 000 m<sup>3</sup>/回

|                    | 原水水質                |
|--------------------|---------------------|
| pH                 | 2 ～ 10              |
| SS                 | 6 000 ～ 23 000 mg/L |
| COD                | 400 ～ 450 mg/L      |
| Fe                 | 1 000 ～ 3 000 mg/L  |
| Cl                 | 40 ～ 210 mg/L       |
| SO <sub>4</sub>    | 8 500 ～ 13 000 mg/L |
| F                  | 20 ～ 3 000 mg/L     |
| NH <sub>4</sub> -N | 300 ～ 600 mg/L      |
| NO <sub>3</sub> -N | 200 mg/L            |
| T-N                | 500 ～ 700 mg/L      |

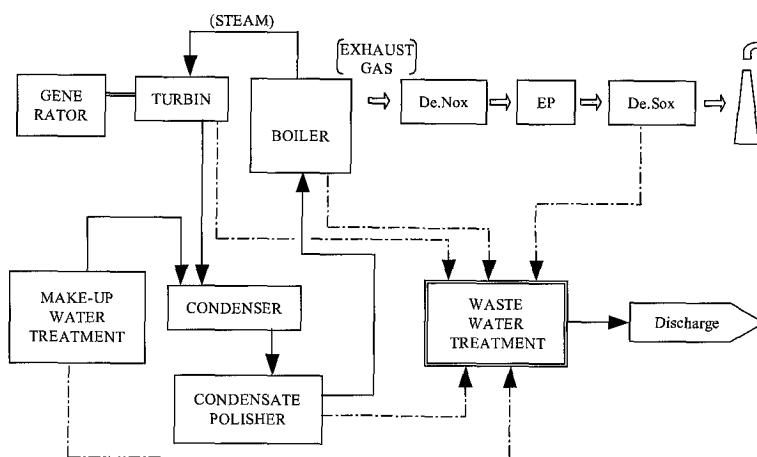


図 2 発電設備の概略フロー図

Fig.2 Block Flow Diagram of Power Plant

#### 3.2 放流系 主要設備

##### (1) 原水受け入れ設備

脱硫排水中にはN-S化合物が含まれる。これは、排煙脱硫装置内の吸収塔の吸収液中で排ガス中の主成分であるSO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>より生成されるものであり、スルファミン系窒素(NH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H-N)とヒドロキシルアミン系窒素(NH<sub>2</sub>OH-N)に大別される。これら処理するために、脱硫排水は、まずN-S分解槽に流入させ適温条件下で亜硝酸ソーダの作用により分解する。その後、放流系原水槽にて他の排水と混合する。原水槽は、排水の均質化を目的として約1日分の滞留容量を有する。また、定検時にのみ排出される非定常排水は高濃度でかつ排出時間経過により濃度に変化するため一旦全量を受け入れ可能な水槽を設置した。

<設備仕様>

N-S分解槽: 108 m<sup>3</sup>

放流系原水槽: 600 m<sup>3</sup> × 2槽

非定常排水槽: 3 250 m<sup>3</sup> × 2槽

##### (2) 1次凝集沈殿設備

1次凝集沈殿設備では、PACを添加してSS、フッ素、CODなどを処理する。

<設備仕様>

1次反応槽: 23.5 m<sup>3</sup>

1次pH調整槽: 23.5 m<sup>3</sup>

1次凝集槽: 23.5 m<sup>3</sup>

1次沈殿槽: 10.5 m □ × 3.6 mSH

##### (3) 2次凝集沈殿設備

2次凝集沈殿では、後段で排水中のカルシウムと炭酸イオンが反応して炭酸カルシウムを生成することにより、散気装置を閉塞させるなどのトラ

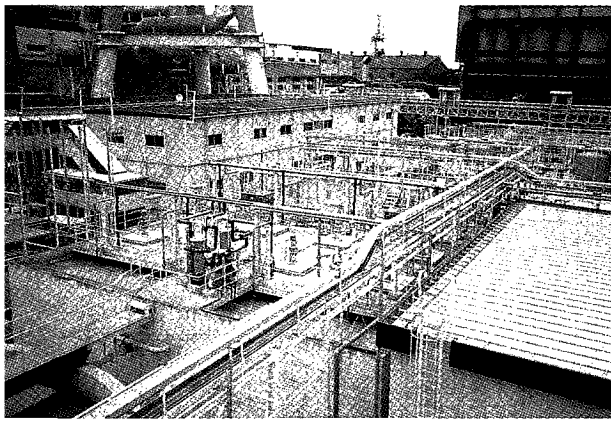


写真 1 放流系処理設備 (1)  
Photo 1 Waste water treatment of discharge line (1)

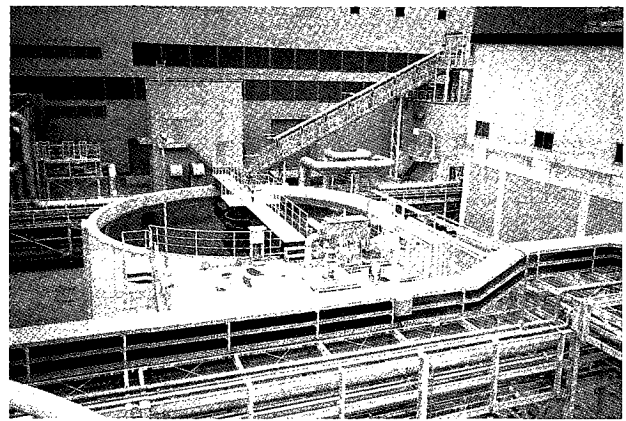


写真 4 シックナー  
Photo 4 Thickener

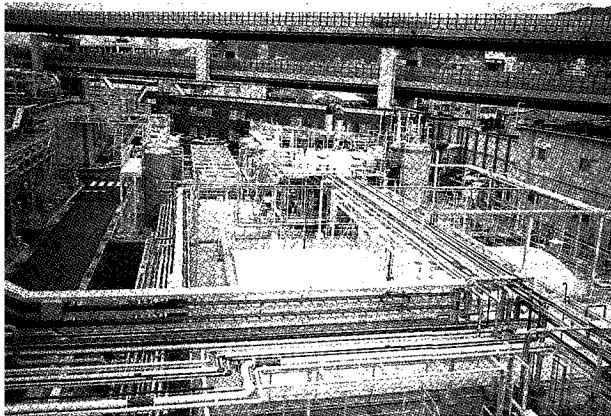


写真 2 放流系処理設備 (2)  
Photo 2 Waste water treatment of discharge line (2)

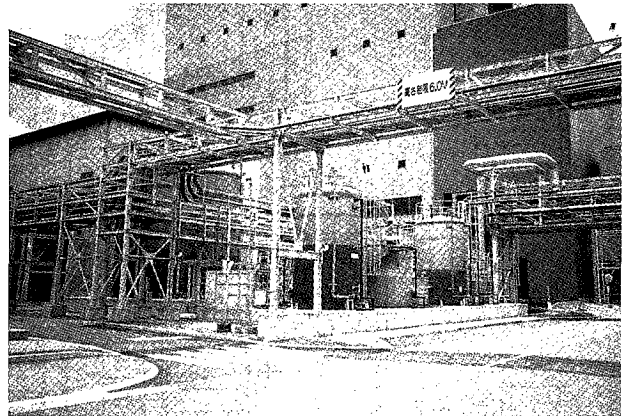


写真 5 薬品タンク  
Photo 5 Chemical storage tank

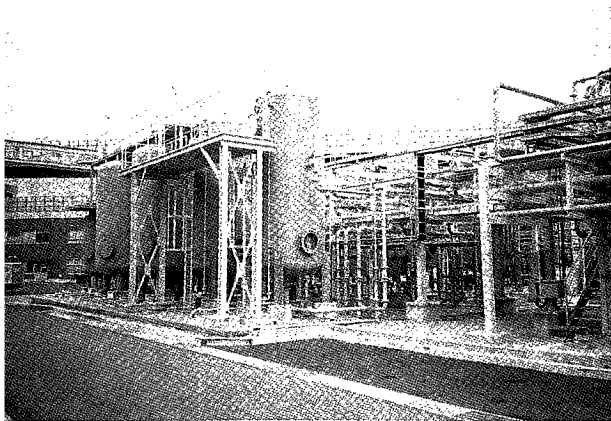


写真 3 ろ過器, 活性炭吸着塔 COD 吸着塔  
Photo 3 Filter, AC tower, COD adsorption tower

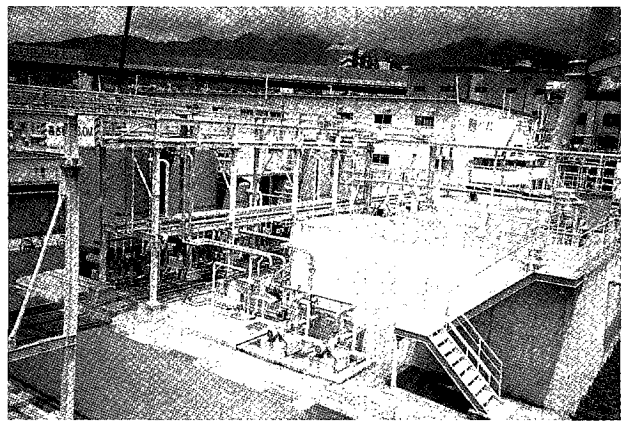


写真 6 回収系処理設備  
Photo 6 Waste water treatment of recovery line

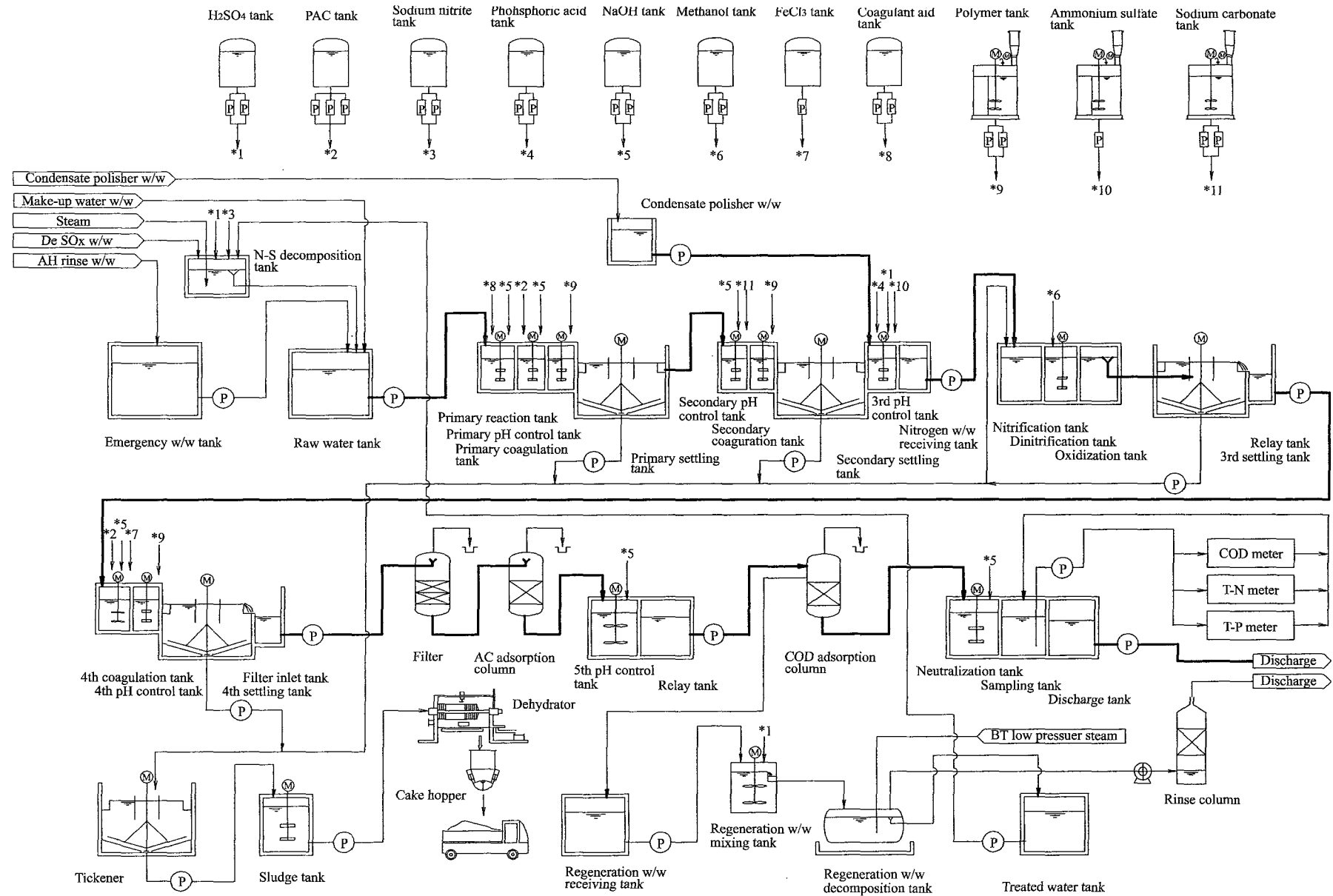


図 3 放流系処理設備フローシート  
Fig.3 Flow diagram of discharge line

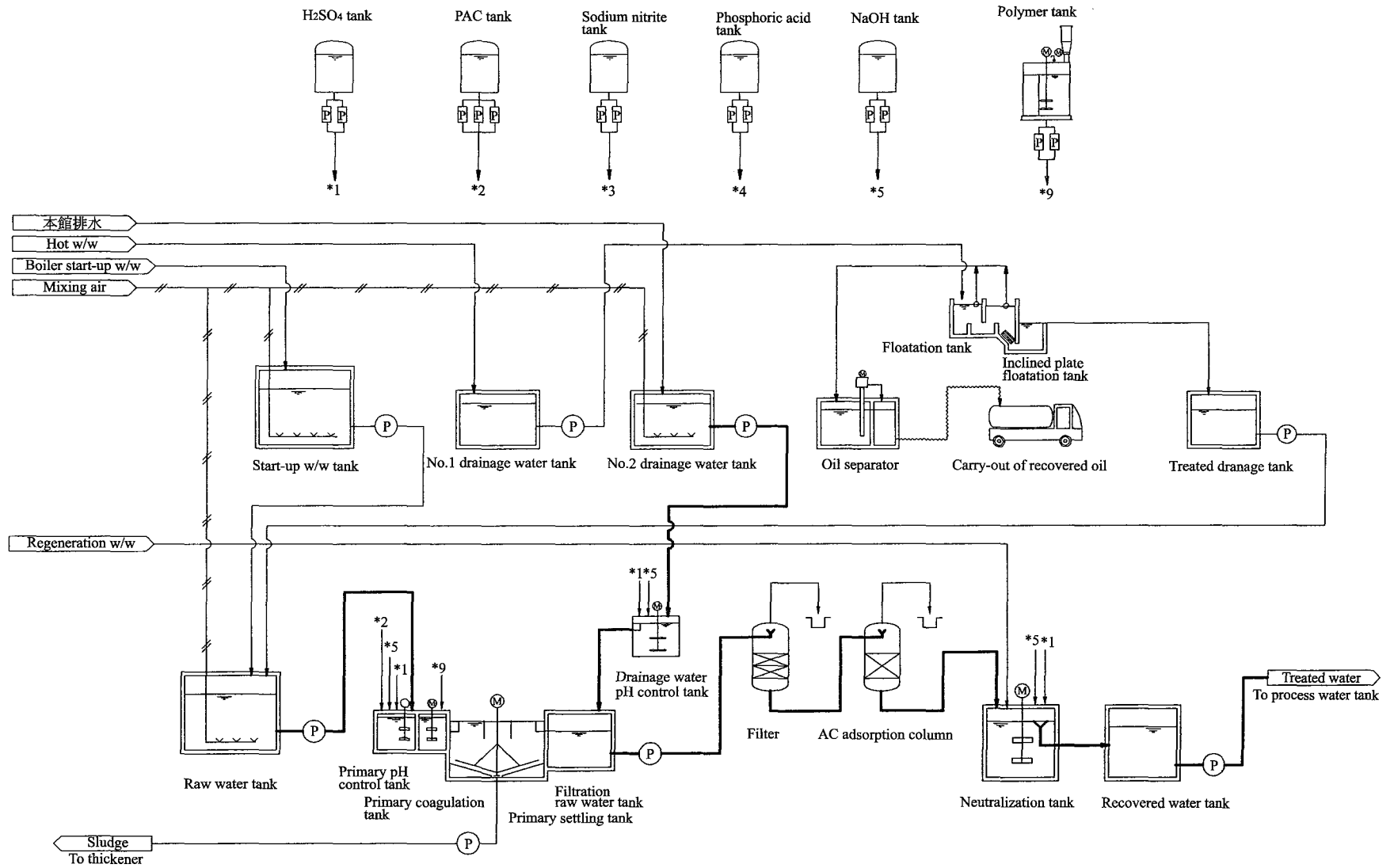


図 4 回収系処理設備フローシート  
Fig.4 Flow diagram of recovery line

ブルが発生するのを防止するために炭酸ナトリウムによる化学軟化をおこない、カルシウムを除去する。

<設備仕様>

2次 pH 調整槽：23.5 m<sup>3</sup>

2次凝集槽：23.5 m<sup>3</sup>

2次沈殿槽：10.5 m<sup>3</sup> □×3.6 mSH

#### (4) 生物脱窒設備

浮遊式生物脱窒法をもちいて、硝化・脱窒処理をおこなう。好気性状態で硝化菌の作用により、アンモニア性窒素を硝酸性窒素に硝化し、次に嫌気性条件下で脱窒菌によって窒素ガスに還元して大気中に放散する。発電所からの排水には、ほとんど有機成分を含まないため、栄養塩としてリン酸およびメタノールを添加する。また、定検時などの負荷低下時には硫酸アンモニウムを添加して負荷調整をおこなう。

<設備仕様>

硝化槽：181 m<sup>3</sup>/槽・系列×2系列

脱窒槽：52 m<sup>3</sup>/槽×4槽/系列×2系列

酸化槽：102 m<sup>3</sup>/槽・系列×2系列

3次沈殿槽：14 m<sup>3</sup> ×3.5 mSH

#### (5) 4次凝集沈殿設備

4次凝集沈殿設備では、主に生物脱窒処理からの余剰リンを PAC 添加により処理する。

<設備仕様>

4次 pH 調整槽：12.5 m<sup>3</sup>

4次凝集槽：12.5 m<sup>3</sup>

4次沈殿槽：10 m<sup>3</sup> □×3.5 mSH

#### (6) ろ過、活性炭吸着設備

仕上げ処理として、ろ過器で微細 SS を処理し、さらに活性炭吸着塔で COD を処理する。活性炭吸着は後段のイオン交換樹脂が有機汚染されるのを防ぐ役割も有する。

<設備仕様>

ろ過器：2.0 m<sup>3</sup> ×2.4 mSH ×2系列

活性炭吸着塔：3.2 m<sup>3</sup> ×4.0 mSH ×2塔×2系列

#### (7) COD 吸着設備

脱硫排水中には、難分解性の COD 成分であるジチオン酸イオン (S<sub>2</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>) が含まれる。この物質は凝集沈殿、活性炭吸着、酸化では処理し難い物質であるため、イオン交換処理を適用する。

イオン交換樹脂の再生廃液にはジチオン酸イオンが濃縮されているため、強酸性条件下で加熱分解処理して無害化する。

<設備仕様>

COD 吸着塔：2.0 m<sup>3</sup> ×4.5 mSH ×2塔

×2系列

再生廃液混合槽：0.25 m<sup>3</sup>

再生廃液分解槽：17 m<sup>3</sup>

#### (8) 中和、放流設備

最終中和をおこなった後、サンプリングをおこない放流水水質 (pH, COD, T-N, T-P) を常時監視する。各水質とも放流基準を満足していれば放流し、放流基準を逸脱するような場合には自動的に放流が中止され、非常排水槽へ移送して再処理する。

<設備仕様>

中和槽：23.4 m<sup>3</sup>

サンプリング槽：23.4 m<sup>3</sup>

放流槽：202 m<sup>3</sup>

#### (9) 汚泥処理設備

各沈殿槽からの汚泥はシックナーでさらに濃縮させた後、フィルタープレス式脱水機で脱水する。

<設備仕様>

シックナー：15 m<sup>3</sup> ×4.5 mSH

汚泥槽：116 m<sup>3</sup>

脱水機：処理量約10 ton-DS/d ×2機

ケーキホッパー：12 m<sup>3</sup> ×2 ×2基

### 3.3 回収系処理条件

回収系で処理すべき排水は、ボイラ、タービン系からのブロー排水、給水処理および復水脱塩の低塩系再生廃液 (再生時のリンス水) および起動時にのみ排出される起動時排水がある。

次に排水の計画諸元を記述する。

#### (1) 定常排水

計画処理水量 1 027 m<sup>3</sup>/d

|          | 原水水質         | 処理水水質         |
|----------|--------------|---------------|
| pH       | 6~9.5        | 5.8~8.6       |
| SS       | 5~1 000 mg/L | 日平均10 mg/L 以下 |
| COD      | 1~10 mg/L    | 日平均10 mg/L 以下 |
| ヘキサン抽出物質 | 30 mg/L      | 1.5 mg/L 以下   |

#### (2) 起動時排水

計画処理水量 4 000 m<sup>3</sup>/回

|                               | 原水水質     |
|-------------------------------|----------|
| pH                            | 9.5      |
| SS                            | 20 mg/L  |
| COD                           | 150 mg/L |
| N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 300 mg/L |

### 3.4 回収系 主要設備

#### (1) 油水分離設備

排水中の油分を浮上分離により除去する。  
処理水は原水槽へ移送する。

＜設備仕様＞

自然浮上槽：} 1.05 mW×11.3 mL×2.0 mH  
傾斜板浮上槽：} × 2 系列

#### (2) 原水受け入れ設備

原水槽は、排水の均質化を目的として約 1 日分の滞留容量を有する。また、起動時にのみ排出される起動時排水は一旦全量を受け入れた後、硫酸銅を触媒としてヒドラジンを酸化分解する。処理した排水は原水槽へ移送する。

＜設備仕様＞

回収系原水槽：440 m<sup>3</sup> × 2 槽  
起動時排水槽：2 000 m<sup>3</sup> × 2 槽

#### (3) 凝集沈殿設備

凝集沈殿では、排水中の SS 分を凝集させ、沈降分離する。

＜設備仕様＞

pH 調整槽：18 m<sup>3</sup>  
凝 集 槽：18 m<sup>3</sup>

沈 殿 槽：9.0 m □×3.5 mSH

#### (4) ろ過、活性炭吸着設備

仕上げ処理として、ろ過器で微細 SS を処理し、さらに活性炭吸着塔で COD を処理する。

＜設備仕様＞

ろ 過 器：2.0 mφ × 2.4 mSH × 2 系列  
活性炭吸着塔：3.2 mφ × 4.0 mSH × 2 塔 × 2 系列

#### (5) 中和、回収設備

最終中和をおこない、工水として回収・再利用する。

＜設備仕様＞

中 和 槽：12.5 m<sup>3</sup>  
回収水槽：60 m<sup>3</sup>

### む す び

以上神鋼神戸発電所向け総合排水処理設備について概要を紹介した。現在、1号機のみではあるが、安定した運転を続けられており、2号機稼動後も十分に性能を発揮し安定運転を継続できるものと確信している。最後に、計画段階から実負荷運転までの長期にわたる関係各位の多大な尽力と協力に深く感謝の意を表する次第である。

### 連 絡 先

池 田 進 吾      環境装置事業部  
                         水処理本部  
                         技術部  
                         第 1 グループ

TEL 078 - 232 - 8105  
FAX 078 - 232 - 8056  
E-mail sn.iked@pantec.co.jp



# 地域冷暖房用新型重層式冷却塔の紹介

## New Type Double-Deck Cooling Tower for DHC



気熱装置事業部冷却塔部  
エンジニアリンググループ  
新 後 宏 史  
Hiroshi Niigo

六本木エネルギーサービス(株)では六本木六丁目市街地再開発地区に「地域冷暖房施設・特定電機事業施設」を建設し、2003年から熱、電気の供給を開始する。当社は地域冷暖房用冷却塔のメーカーとして採用され、新型重層式冷却塔を納入した。今回納入した新型は従来型にくらべ据付面積で約40%小さく設計されている。また、防振、白煙対策など周囲環境や日常のメンテナンスにも配慮された仕様となっている。

Roppongi Energy Service Co.,Ltd. is constructing "district heating and cooling facilities/special electric enterprise facilities" in the Roppongi 6-chome urban area redevelopment district to start the supply of electricity and heat in 2003. Shinko Pantec Co.,Ltd. has delivered 2 units of new type double-deck cooling towers for district heating & cooling for the facilities. The units were designed to minimize installation space by 40% compared to the conventional towers. The environment-oriented design includes air suspension for vibration-proof, air heating for plume reduction, and cold-water basin cleaning system for easy maintenance.

### Key Words :

重層式冷却塔  
地域冷暖房  
防振  
白煙防止

Double-Deck Cooling Tower  
District Heating & Cooling  
Vibration-proof  
Plume reduction

### まえがき

六本木六丁目再開発地区は1986年、東京都から再開発誘導地区の指定を受け95年に都市計画として決定。2000年4月に再開発工事に着手した。施工面積約11ha、延床面積約70万m<sup>2</sup>の大規模プロジェクトである。

六本木エネルギーサービス(株)は、再開発組合が進めている六本木六丁目市街地再開発事業地区に「地域冷暖房施設・特定電気事業施設」を建設し、オフィス、住宅、商業施設、ホテル等の建物に電気、熱を2003年春から供給する予定である。

本施設の建設は新日本製鐵(株)が一括で受注しており、当社は地域冷暖房用の冷却塔建設を担当した。この冷却塔は冷却水量13500m<sup>3</sup>/hと超大型冷却塔

であり、ホテル棟屋上への設置から空間制約があり据付面積を最小限にする必要があった。当社の据付面積最小重層式冷却塔は新宿、幕張、東京臨海地区に納入実績があるが、今回納入した新型重層式冷却塔は従来と比較し据付面積で約40%小さくなるように設計されている。また、直下階の室内環境対策のためよりグレードの高い空気バネの防振装置を設置している。

2基の白煙防止対策塔、電動機は全機インバータ対応、冷却塔周囲にサイレンサーを配置したきわめて環境にやさしい仕様となっている。更に、下部水槽には自動洗浄装置が取り付けられており日常のメンテナンスにも配慮されている。2002年5月に冷却塔の据付工事が完了したので、その概要をここに紹

介する。

## 1. 新型重層式冷却塔の概要

今回納入した13 500 m<sup>3</sup>/h は5台1基の構造となっており，中央に2 185 m<sup>3</sup>/h の冷却塔，左右2台が2 828.75 m<sup>3</sup>/h で計5台となっている。両側の2台は白煙防止対策塔となっている。従来の重層式冷却塔にくらべ，配管を全て内部に納め外観上は単層式と何ら変化がないような設計となっている。

写真1に上部外観を，写真2にその低騒音ファンの部分を示す。図1に全体図を示す。

### 1.1 設計条件

#### (1) 容 量

CT-1, 2, 4, 5 : 11 315 m<sup>3</sup>/h (2 828.75 m<sup>3</sup>/h・1台)

CT-3 : 2 185 m<sup>3</sup>/h

#### (2) 温度条件

入口水温 : 40.0℃

出口水温 : 32.0℃

湿球温度 : 27.5℃

#### (3) 耐 震

水 平 : 1.5 G

鉛 直 : 0.75 G

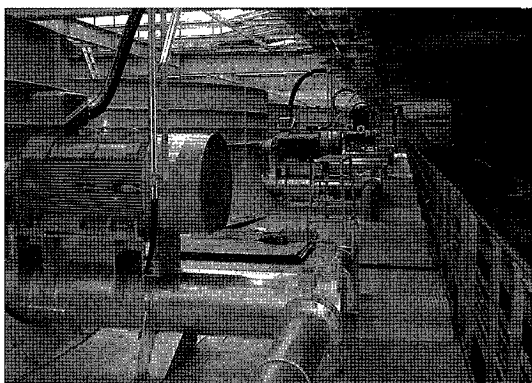


写真1 新型重層式冷却塔上部

Photo 1 Top view of new type double-deck cooling tower



写真2 低騒音ファン

Photo 2 Low-noise fan

#### (4) 騒音値

ファンスタック出口水平1 m 点 : 81 dB(A) 以下

#### (5) 白煙長さ

条件 外気温度 5℃

相対湿度 60%

入口出口水温差 8℃のとき

CT-1, 5 : 10 m 以下

### 1.2 冷却塔諸元

|                           |               | CT-1, 2, 4, 5                  | CT-3     |
|---------------------------|---------------|--------------------------------|----------|
| 塔 寸 法                     | 全 全           | 41 720 mm                      |          |
|                           | 長 幅           | 15 100 mm                      |          |
|                           | 塔 高           | 15 070 mm                      |          |
|                           | 全 高           | 17 570 mm                      |          |
| 運 転 重 量                   |               | 901 000 kg                     |          |
| 送 風 機                     | 型 式           | 軸流型低騒音ファン                      | 同左       |
|                           | 直 径           | 7 310 mm                       | 6 100 mm |
|                           | 翼 数           | 9 枚                            | 7 枚      |
|                           | 台 数           | 4 台                            | 1 台      |
| 電 動 機                     | 型 式           | 全閉外扇屋外型<br>三相誘導電動機<br>インバータ対応型 | 同左       |
|                           | 定 格           | 240 kW                         | 190 kW   |
|                           | 台 数           | 4 台                            | 1 台      |
|                           |               |                                |          |
| 減 速 機                     | 型 式           | スパイラルベベル<br>及びヘリカルギヤ           | 同左       |
|                           | 減 速           | 1/6.938                        | 1/8.933  |
|                           | 比 数           | 4 台                            | 1 台      |
|                           |               |                                |          |
| 空 気 加 熱 器<br>(CT-1, 5に取付) | 型 式           | 自動開閉ダンパ付                       | —        |
|                           | ダ ン パ 用 モ ー タ | 0.4 kW                         | —        |
|                           | 台 数           | 2 台                            | —        |
|                           |               |                                |          |
| 防 振 装 置                   | 型 式           | 空気ばね                           |          |
|                           | 台 数           | 一式                             |          |
|                           |               |                                |          |
|                           |               |                                |          |
| 振 動 監 視 装 置               | 型 式           | パイプロスイッチ<br>MODEL 1500         | 同左       |
|                           | 台 数           | 4 台                            | 1 台      |
|                           |               |                                |          |
|                           |               |                                |          |
| 自 動 洗 浄 装 置               | ノズル径          | φ 5.5                          | 同左       |
|                           | 個 数           | 98個×4                          | 92個      |
|                           |               |                                |          |
|                           |               |                                |          |

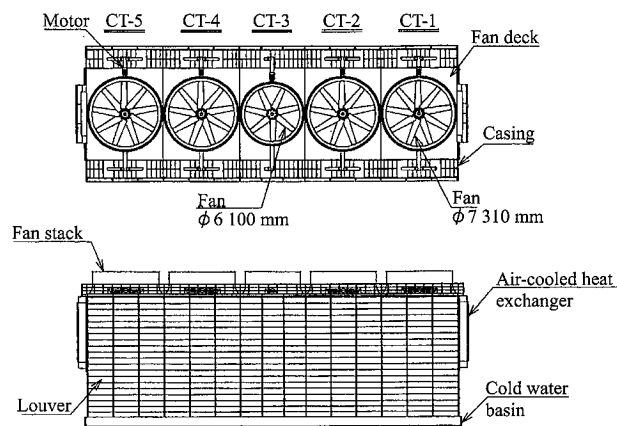


図1 全体図

Fig.1 Schematic drawing

### 1.3 冷却塔材質

- (1) 主要構造物材：溶融亜鉛鍍金鋼
- (2) 外装・ルーバー：FRP 波板
- (3) 充填材：硬質塩化ビニール
- (4) エリミネーター：硬質塩化ビニール
- (5) 上部・下部温水槽：FRP
- (6) ファンスタック：FRP
- (7) 空気加熱器  
フィン：アルミニウム  
チューブ：溶融亜鉛鍍金鋼管  
ダンパー：アルミニウム

## 2. 特長

### 2.1 構造

重層式冷却塔とは、上層下層に独立した充填層、散水機構を備え、通風は塔上部に設置した送風機単体で上下層共通におこなうものである。今回納入した新型では、従来2列にわかれていた充填層を1列で構成し塔高では約1.5m程度高くなるものの、設置面積で約40%、容積で約8%の省スペース化を図っている。図2に新型と従来型の断面構造図を示す。

### 2.2 振動対策

冷却塔には送風機、配管内の水流、水の落下などにより、振動が発生している。ビル屋上階に設置する場合、スラブから直下階に伝搬しないように、冷却塔を支える建築架台と冷却塔との間に防振装置を設置している。地域冷暖房用冷却塔の防振装置としては99%以上が金属バネを使用している。本仕様は直下階の環境条件 VL 50以下、NC 30以下（VL: Vibrationlevel NC: Noisecriterion）と条件的には金属バネでも可能な範囲であるが、バネの固有振動数を

2.0 Hz 程度まで下げ、よりよい環境作りのため空気バネの防振装置を採用した。

空気バネ防振装置は国内では東京オペラシティにつづき2号機となるが規模では国内最大となる。常時2台のコンプレッサーとレベルスイッチにより監視されている。

表1に「室内騒音と振動許容値」、表2に「防振用バネの特長の一覧」を示す。

写真3に空気バネの設置状態を示す。

### 2.3 白煙対策

冬期および中間期に冷却塔から出る白煙（可視ブルーム）を低減するために、空気加熱器を両端2台の冷却塔に設置している。

ダンパーは全てモートルシリンダーにより開閉可能となっている。写真4に空気加熱器を示す。

### 2.4 振動監視装置

冷却塔の故障は回転機器による場合が多い。この回転機器の異常を早期に発見するために振動監視装置を回転機器の共通架台に設置している。今回採用したものは加速度、速度、変位の振動モードから選ぶことができ、起動時の一時的な大きい振動による誤動作を起こさないように動作遅延時間が0～60秒の範囲で設定可能である。また、異常信号をアラーム、トリップと2段で設定可能である。今回は当社の長年の経験と実績から下記設定値とした。

振動モード：速度

アラーム設定値：10 mm/s

トリップ設定値：15 mm/s

動作遅延時間：20 S

### 2.5 下部水槽の自動洗浄装置（当社特許）

大型冷却塔の下部水槽には大気中の粉塵、昆虫、

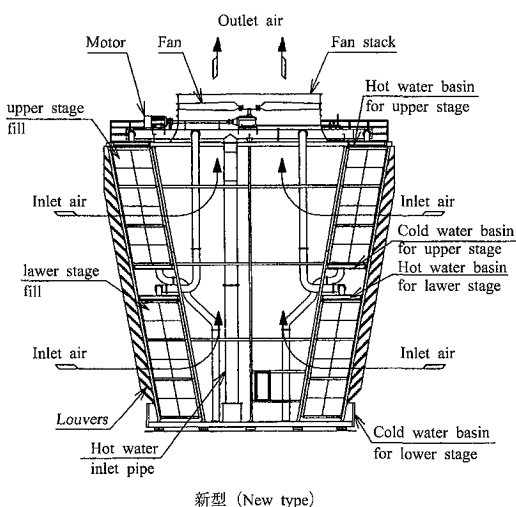


図 2 断面構造図  
Fig.2 Sectional drawing

木の葉などが堆積し、大きなメンテナンス費用が発生する。特に噴射ノズルを取り付けた洗浄配管を設置し噴射により水槽内のゴミを水槽中央部に集めることができる。

写真 5 に自動洗浄装置の設置状態を示す。

## 2. 6 耐 震 構 造

DHC 用冷却塔では耐震構造が要求される。阪神淡路大震災以後はビルの屋上階にあり重要な設備との位置づけから水平震度 (KH)=1.5 G, 鉛直震度 (KV)=0.75 G の耐力が要求される。今回の冷却塔に

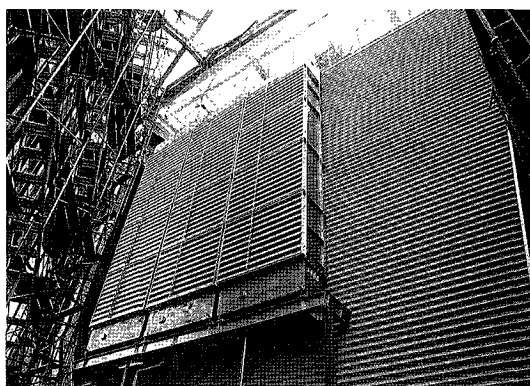


写 真 3 空気バネ  
Photo 3 Air suspension

表 1 室内騒音と振動許容値

Table1 Indoor noise and allowable limits of vibration

| Kind of room                          | NC value | Noise level<br>dB (A) | VL value |
|---------------------------------------|----------|-----------------------|----------|
| Radio (TV) studio                     | NC-15~20 | 25~30                 | 40       |
| Concert hall                          | NC-15~20 | 25~30                 |          |
| Theater (500 people)                  | NC-25~25 | 30~35                 |          |
| Music room                            | NC-25    | 35                    |          |
| Schoolroom<br>(without loudspeaker)   | NC-25    | 35                    | 50       |
| Apartment                             | NC-25~30 | 35~40                 |          |
| House/Hotel                           | NC-25~30 | 35~40                 |          |
| Conference hall<br>(with loudspeaker) | NC-25~30 | 35~40                 |          |
| Home                                  | NC-30    | 40                    | 55       |
| Movie theater                         | NC-30    | 40                    |          |
| Hospital                              | NC-30    | 40                    |          |
| Library                               | NC-30    | 40                    |          |
| Store                                 | NC-35~40 | 45~50                 | 60       |
| Restaurant                            | NC-45    | 55                    |          |



写 真 4 空気加熱器  
Photo 4 Air heating

表 2 防振バネの特長の一覧

Table2 Summary of characters of vibration proof springs

(A : Excellent, B : Good, C : No problem, D : Slight problem)

| Type Item                                                       | (a)<br>Coil spring | (b)<br>Laminated spring | (c)<br>Air spring | (d)<br>Vibration proof spring |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|
| ①Natural frequency (Hz) normally applicable as vibration system | 1 ~ 10             | 1 ~ 10                  | 0.7 ~ 3.5         | 4 ~ 15                        |
| ②Damping performance                                            | No                 | Yes                     | Depends on use    | Yes                           |
| ③High frequency vibration-isolating ability (Soundproof effect) | D                  | D                       | A                 | B                             |
| ④Working temperature range (°C)                                 | -40 ~ 150          | -40 ~ 150               | -20 ~ 80          | -30 ~ 120                     |
| ⑤Oil resistance/Aging resistance                                | A                  | A                       | B                 | B                             |
| ⑥Uniformity of product                                          | A                  | B                       | B                 | B                             |
| ⑦Structural compactness                                         | A                  | B                       | C                 | A                             |
| ⑧Space required                                                 | B                  | B                       | B                 | A                             |

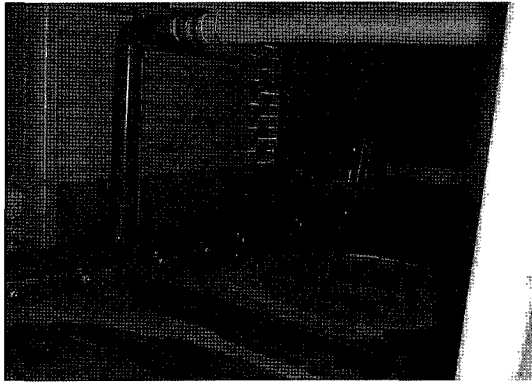


写真 5 下部水槽自動洗浄装置  
Photo 5 Cold water basin cleaning system

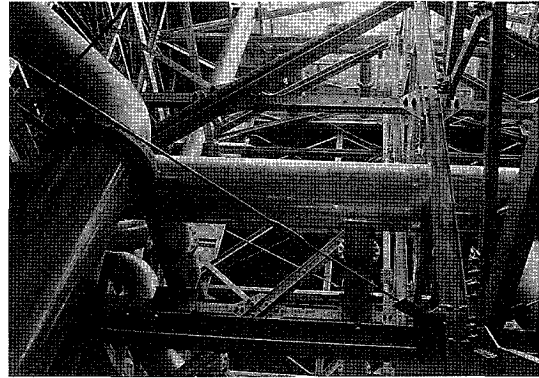


写真 6 骨組ブレース構造  
Photo 6 Construction of framework braces

についても同規準により設計した。

写真 6 に骨組ブレースを示す。

- 1) 適用規準  
建築基準法：同施行令  
日本建築学会：鋼構造設計規準
- 2) 構造：ブレース構造
- 3) 鋼材表面処理：溶融亜鉛鍍金 HDZ-45
- 4) 主構造材  
柱：H 125×125×6.5×9  
梁：BH 250×250×16×28  
ブレース：180×75×7×10.5

## むすび

民間国内最大規模の六本木再開発事業のエネルギー供給事業に当社冷却塔が採用されたことは誠にうれしく思います。これを機にさらにコンパクトで高性能かつ環境にやさしい冷却塔の開発につとめる所存であります。

最後に本稿の執筆にあたりご指導とご協力をいただいた、六本木エネルギーサービス(株)殿と新日本製鐵(株)殿に深甚の謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 公害防止の技術と法規（振動編）

## 連絡先

新 後 宏 史      気熱装置事業部  
                         冷却塔部  
                         エンジニアリンググループ

TEL 078 - 232 - 8136  
FAX 078 - 232 - 8066  
E-mail h.niigo@pantec.co.jp

## <製品紹介>

### 蓄熱式燃焼脱臭装置 RTO

#### Introduction of Regenerative Thermal Oxidizer



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

当社は、排ガス中の揮発性有機化合物（以下、VOC）処理および脱臭処理ニーズに応えるべく、蓄熱式燃焼脱臭装置（以下、RTO）を海外メーカより技術導入し、国内販売を開始した。

当社 RTO の主な特長は、95 % 以上の高い熱回収率と 99 % 以上の高い除去性能を有することである。この高い熱回収率は、熱交換方式にハニカム構造のセラミック製蓄熱材をもちいることによりえられる。他の燃焼装置にくらべ、ランニングコストおよび CO<sub>2</sub> 発生量が低減できるため、経済面および環境面で優れた装置といえる。高い除去性能は、燃焼室内温度を 800 °C 以上の高温に維持し、完全に VOC を酸化分解するために必要な滞留時間を与えることによりえられる。

We have concluded the licensed agreement of Regenerative Thermal Oxidizer (hereinafter called RTO) from a foreign company, and has started marketing RTO in Japan in order to satisfy the needs for the treatment of the volatile organic compounds (hereinafter called VOC) removal and the deodorization. The main characteristics of RTO are the high heat recovery efficiency over 95 percent and the high removal efficiency over 99 percent. The high heat recovery efficiency can be achieved by using the honeycomb shaped regenerative material that is made of ceramic. RTO is superior equipment economically and environmentally because its running cost and the amount of the exhausted CO<sub>2</sub> are less than those of the other thermal oxidizers. The high removal efficiency can be achieved by keeping the high temperature, over 800 °C, and by holding the required retention time long enough to oxidize the VOC perfectly.

#### Key Words :

|           |   |                               |
|-----------|---|-------------------------------|
| 燃         | 焼 | incineration                  |
| 蓄熱式燃焼脱臭装置 |   | regenerative thermal oxidizer |
| 揮発性有機化合物  |   | volatile organic compounds    |
| 脱         | 臭 | deodorization                 |

#### ま え が き

欧米での揮発性有機化合物（VOC）に対する規制は、個別物質に対する濃度規制および総量規制があり、非常に厳しい状況である。この背景、その優れた性能及び低ランニングコストから欧米では蓄熱式燃焼脱臭装置（RTO）は一躍脚光を浴び、幅広い分野で適用されている。

一方、日本では、ISO の取得や PRTR 法に基づく自主規制、および悪臭防止法や大気汚染防止法による法的規制等が挙げられるが、欧米における規制にくらべ緩いといわざるをえない。しかし、ダイオキシン対策が一段落した今、さらなる VOC 規制が予想される。また、VOC 処理方式としてはこの 4 ～ 5 年では、RTO が主流となりつつある。

現在、日本の RTO メーカーの大部分は、その技術を海外より導入している。当社においても、納入実績が豊富で蓄熱材に対する技術力が優れているメーカーから技術導入を2001年12月におこなった。

## 1. 当社 RTO の概略

VOC を含む排ガス処理方法には、活性炭といった吸着剤をもちいた吸着法、凝縮法や洗浄法など様々な方法があるが、その中で燃焼法はもっとも簡易であるとともに、さまざまな VOC を除去できるという点で有効な処理方法の一つである。また、古くから様々な産業分野に適用されてきた。

燃焼法の原理は、炭素 (C)、水素 (H) および酸素 (O) を主成分とする VOC を高温下で酸化分解し、炭酸ガス ( $\text{CO}_2$ ) および水蒸気 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) に変換する方法である。燃焼装置は、直接式燃焼装置、触媒式酸化 (燃焼) 装置および RTO に大別される。

直接式燃焼装置は、VOC を含む排ガスを700～800℃に保った燃焼室内にて酸化分解をおこなう。非常に簡易であり、安定した性能がえられる。燃焼室から排出される高温ガスは、熱回収率50%程度のプレート式熱交換器をもちいて、入口ガスの事前加熱にもちいられる。熱回収率が低いため、経済的な装置であるとはいえないが、廃熱をボイラーや温水発生に利用するといった廃熱回収をおこなえる場合及び小風量の処理においては、メリットが大きい。

触媒式酸化装置は、酸化室内に酸化を促進させる触媒を設置することにより、250～350℃といった比較的低温下にて VOC を酸化分解することが可能であるため、直接式燃焼装置にくらべると経済的であるといえる。熱交換器は、直接式燃焼装置と同様にプレート式をもちいる。一方、触媒は非常にデリケートであり、有機シリコン、硫黄化合物及び有機金属化合物などの触媒毒と呼ばれる物質が処理ガス中に含まれる場合には、触媒の寿命が短くなり、ランニングコストが大幅に増加するため、注意が必要である。

当社 RTO は、炉内温度を800℃以上の高温下で酸化分解するという点では、直接式燃焼装置の一つといえる。しかし、熱交換方式が大きく異なっている。熱交換器の代わりにセラミック製のハニカム型蓄熱材を使用し、交互にガスを昇温・降温させるといった熱再生の原理をもちいている。この原理を用いることにより、熱効率が95%以上と非常に高くなり、省エネが図れることが特長である。

一般的な型式である三塔方式 RTO における各工程でのフローを図1に示す。

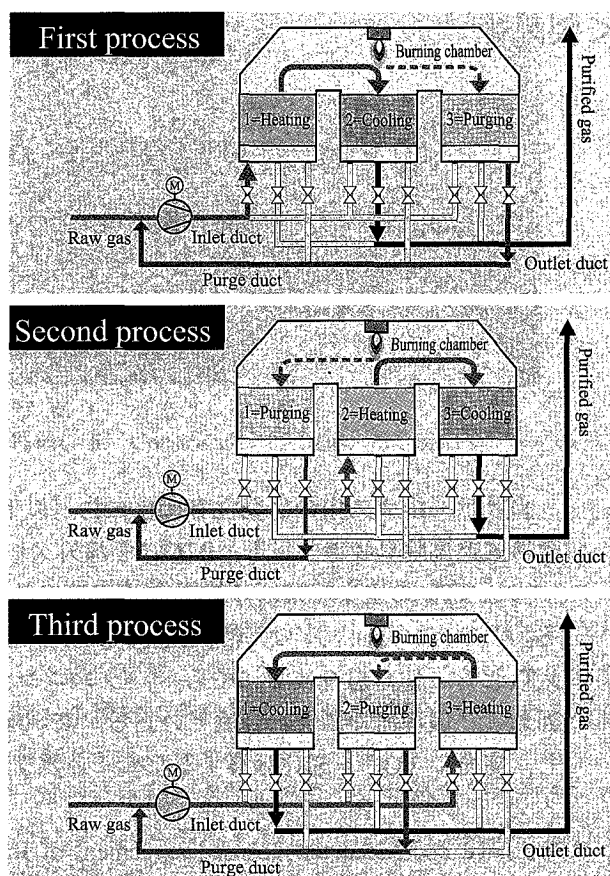


図 1 フロー  
Fig.1 Flow

### ●第一工程

#### 蓄熱室 1 (加熱)

ファンにて吸引された原ガスが蓄熱室内の蓄熱材から熱をえて、加熱される。

#### 蓄熱室 2 (冷却)

燃焼室にて酸化分解された高温の処理ガスが蓄熱材を通過することにより、蓄熱材へ熱を与える。

処理ガス自身は、冷却される。

#### 蓄熱室 3 (パージ)

(第三工程における加熱終了後の) 蓄熱室下部においては、ガス温度が低いために酸化分解されずに未処理ガスが残留している。そこで、燃焼室内の処理ガスを通過させて、この未処理ガスを原ガスへ戻すことによって、安定した高い除去性能99%以上がえられる。この操作をパージといい、原ガスとくらべると、約10分の1の風量としている。

#### 燃焼室 (酸化分解)

燃焼室内を800℃以上の高温を保つように、蓄

熱室（加熱）通過後のガス温度に応じてバーナを比例制御運転する。

この室内では、VOCを熱酸化させるための必要条件である800℃以上の高温および1秒以上の接触時間を与えることにより、原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

## ●第二工程

### 蓄熱室1（パージ）

第一工程にて、蓄熱室内に残留している未処理ガスをパージする。

### 蓄熱室2（加熱）

第一工程にて蓄熱された蓄熱材から熱を受け取り、原ガスを加熱する。

### 蓄熱室3（冷却）

処理ガスを蓄熱室に通すことによって、蓄熱材に熱を与え、処理ガスを冷却する。

### 燃焼室（酸化分解）

原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

## ●第三工程

### 蓄熱室1（冷却）

処理ガスを蓄熱室に通すことによって、蓄熱材に熱を与え、処理ガスを冷却する。

### 蓄熱室2（パージ）

第一工程にて、蓄熱室内に残留している未処理ガスをパージする。

### 蓄熱室3（加熱）

第一工程にて蓄熱された蓄熱材から熱を受け取り、原ガスを加熱する。

### 燃焼室（酸化分解）

原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

各工程を90～120秒のサイクルにて切り替えることにより、連続運転を実施し、高い熱回収率95%がえられる。

## 2. 機器構成

次にRTOの機器構成に関して述べる。

### 2.1 装置本体

本体は、セラミック製のハニカム蓄熱材が充填された2ないし3室の蓄熱室とその上部に連結された燃焼室1室から構成される。

蓄熱室および燃焼室内面は、セラミック製の断熱材が敷き詰められており、室内温度Max.1000℃まで耐えることが可能である。

ケーシング材質は、標準でSSを使用する。外気

温度にもよるが、上述した内部の断熱効果によりケーシング鉄板表面温度は55℃以下となる。

### 2.2 蓄熱材

蓄熱材の外観を写真1に示す。セラミック製のハニカム構造で、断面あたり1600個のセルが空いている。また、蓄熱材1個のサイズは、 $\square 150 \times 300$  Hである。

耐腐食および耐熱衝撃性に非常に優れており、寿命は半永久的である。

処理風量に応じ、断面積当たりの個数が決定し、必要な熱回収率に応じ、蓄熱材の段数が決定される。4段または5段が標準である。

### 2.3 出入口ダクトおよび切替弁

各蓄熱室に連結された出入口ダクト中にポペット弁と呼ばれる切替弁が取り付けられている。このポペット弁は、円形のプレートに対して垂直に取り付けられたシャフトをエアシリンダにて上げ下げすることにより、ガス流路の開閉を実施している。

### 2.4 パージダクト

上述した工程におけるパージを実施するためのダクトであり、出入口ダクトにくらべ、口径が小さい。切替には、エア駆動のバタフライ弁をもちいている。加えて、後述する空焼きに必要なラインでもある。

### 2.5 ホットバイパス

原ガス中に含まれるVOCが燃焼室内で酸化分解され、その発熱によりガスが昇温される。たとえば、トルエン1000ppmを酸化分解すると、約125℃上昇する。ここでVOC濃度が高い場合には、燃焼室内温度が1000℃を越えることも考えられる。室内温度がある一定値以上に達した際に、室内の高温ガスを直接排出するためのラインをホットバイパスという。

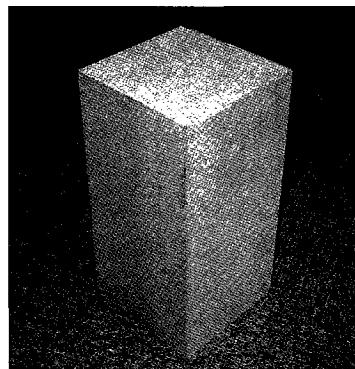


写真1 セラミック製ハニカム蓄熱材

Photo 1 Honeycomb shaped regenerative material made of ceramic



室内温度を常時監視しながら、必要に応じホットバイパス中のバタフライ弁の開度を調整し、過剰の熱を排出する。

## 2.6 ファン

製造プロセスなどの VOC 発生源からガスを吸引するためのファンである。

## 2.7 パーナ

燃焼室内温度を800℃以上に立ち上げるため、および維持するための熱源としてパーナが使用される。燃料として液化ガスまたは灯油を使用する。

# 3. 当社 RTO の特長

## 3.1 高い熱回収率

上述したセラミック製ハニカム蓄熱材をもちいることにより、高い熱回収率がえられる。蓄熱段数が4段時に95.5%、5段時に96.6%の熱回収率がえられる。

なお、熱回収率の定義は、次式で表される。

$$\eta = (T_c - T_{out}) / (T_c - T_{in}) \times 100$$

$\eta$  : 熱回収率 [%]

$T_c$  : 燃焼室内温度 [℃]

$T_{in}$  : 入口ガス温度 [℃]

$T_{out}$  : 出口ガス温度 [℃]

ここで、蓄熱段数4段、すなわち熱回収率95.5%において、入口ガス温度30℃、燃焼室温度を820℃とすると出口ガス温度は、上式より約66℃となる。出入口のガス温度差36℃分の熱量と装置表面からの放熱量の総量を VOC 燃焼時における発熱量で補える時は、自然運転と呼ばれる運転が可能となる。この自然運転とは、燃料の補給無しに、燃焼室内温度820℃が保たれる運転である。

装置表面からの放熱量は、外気条件および装置の大きさにより一概にはいえないが、上記温度設定ではトルエンの場合約360 ppm 以上であれば、自然運転は可能となり、非常に経済的な装置といえる。

この自然運転は、地球温暖化防止の観点からも重要である。補助燃料を必要としないため、装置から発生する CO<sub>2</sub> 量もかなり低減できるからである。加えて、サーマル NO<sub>x</sub> も低減できる。

RTO は、トルエン濃度360 ppm という比較的低い濃度において自然運転が可能、すなわち燃料が不要のため、低い VOC 濃度に対して有効的な装置といえる。

## 3.2 高い除去性能

二塔式の場合には、三塔式でのパージ工程がなくなり、各蓄熱室にて加熱と冷却のみが繰り返されるため、加熱後の未処理ガスが排出される。すなわち、

バルブ切替ごとに約90秒毎に未処理ガスが瞬間的に排出されるため、平均除去率は95%となる。

三塔式の場合には、上述したように99%以上の高い除去性能がえられる。なお、ガス出入口の切替バルブのシール部に背圧をかけることにより、より高い除去性能をえることも可能である。

脱臭を目的とする場合は、安定した性能が必要となるため、三塔式 RTO が望ましいが、排出される VOC の絶対量を低減する目的であれば、二塔式で十分といえる。

## 3.3 運転中に空焼きが可能

原ガス中には、VOC のみならずヤニ、タールやミストなどといった不純物が含まれるケースは多い。このような物質が含まれる場合は、それらが蓄熱室下部の蓄熱材に付着することによって閉塞し、通常運転に支障をきたす。

これら付着したタールなどを除去する方法が空焼きと呼ばれる運転である。この空焼きは、蓄熱室下部の温度を強制的に400℃近い温度まで加温し、タールなどを酸化分解する方法である。実際の操作は、本来三塔で運転している状態から二塔運転に切替、残りの蓄熱室に連結しているパージダクト中のバタフライ弁を常時開とする。800℃以上の高温ガスが蓄熱室を上部から下部へ少量流れることによって、蓄熱室下部の蓄熱材の温度が徐々に上昇し、400℃となるまで継続する。この温度を2～3時間維持することによって蓄熱材に付着したタールなどが熱で完全に酸化分解される。その後、蓄熱材下部の温度が下がるまで放置し、通常の三塔運転に戻す。したがって、空焼き運転中は二塔式となり、除去性能は95%となる。

# 4. 適用範囲および分野

RTO の最適条件は、風量が大きく、濃度が低い原ガスといわれている。この理由は、上述したように比較的低い VOC 濃度に対して補助燃料が不要の自然運転が可能のためである。上述したトルエン濃度360 ppm では、他の燃焼装置、直接式燃焼装置や触媒式酸化装置では、自然は不可能であるため、補助燃料が必要となる。この補助燃料は、風量に比例するため、風量が大きければ大きいほど、燃料が必要となり、ランニングコストが高くなる。反対に自然する RTO の場合には、風量が大きくなっても補助燃料は不要である。すなわち、風量が大きくなるにともない、そのランニングコストの差が大きくなる。入口の VOC 濃度は、安全面から各 VOC の固有値である爆発下限界濃度 (L.E.L.) の4分の1の

濃度を最大と設定している。濃度が高い場合、過剰の熱が発生するため、ホットバイパスで系外へ排出する。この際、この熱を利用し、廃熱回収をおこなうことも可能である。

処理物質に対する注意点は、ハロゲン系元素（Cl等）および硫黄元素（S）を有する物質の処理である。これらの物質は、燃焼室内で酸化され、酸性ガスであるHCl（塩化水素）やSO<sub>x</sub>（硫黄酸化物）を生成する。これらの酸性物質を含むガスの温度が低下した際に、ガス中の水分と結合し、HCl（塩酸）やH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>（硫酸）として、結露し腐食の原因となる。この結露する温度を酸露点温度といい、ガス中の水分量と酸性ガス濃度に依存する。この酸露点には注意が必要である。

有機シリコンは、触媒毒と呼ばれる物質のため、触媒式酸化装置での処理は困難であり、RTOでの処理ニーズは大きい。有機シリコンは、高温下で酸化し、二酸化けい素という微粒子ダストとなるため、蓄熱材部で閉塞が起こる可能性がある。したがって、その濃度には注意が必要である。ダストに関しても、同様に濃度および粒径に注意が必要である。

提携先の納入実績では、各種塗装工程、セラミック製造工程および樹脂製造工程からの排ガス処理が多い。処理風量20 000 m<sup>3</sup> N/hにおける実機の外観

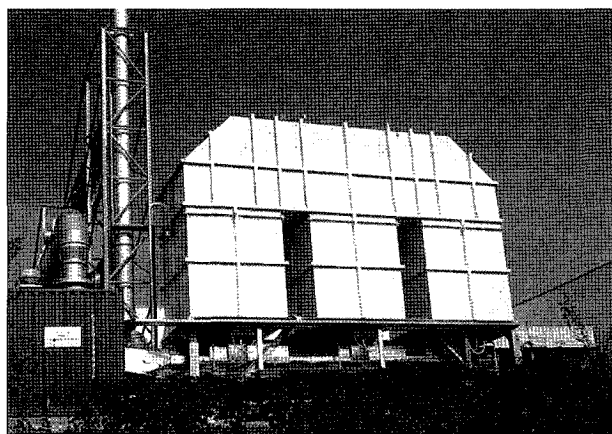


写真 2 RTO 実機外観  
Photo 2 Outside view of RTO

を写真 2 に示す。

溶剤を含めた VOC はすべての業界で使用されているといっても過言ではないが、日本の市場における主な適用分野は、化学工業、食品工業、半導体工業や薬品工業である。

## 5. 各 VOC 処理装置との比較

次に述べる原ガス条件において、代表的な各 VOC 処理装置とのランニングコスト比較を表 1 に示す。表からあきらかなように RTO はランニングコスト面において最も優位性が高い。

表 1 ランニングコスト比較  
Table1 Comparison of running cost

| Equipment                           | Regenerative thermal oxidizer |            | Direct themal oxidizer  |             | Catalytic oxidizer      |                                   | Solvent recovery equipment using activated carbon fiber |            |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| Removal efficiency                  | 99 %                          |            | 98 %                    |             | 98 %                    |                                   | 90 %                                                    |            |
| Space                               | 10 000×4 500×7 500 H          |            | 4 800×3 300×6 000 H     |             | 4 800×4 000×6 000 H     |                                   | 3 500×6 000×6 000 H                                     |            |
| Weight                              | 27 000 kg                     |            | 6 500 kg                |             | 5 000 kg                |                                   | 8 000 kg                                                |            |
| Running cost                        |                               |            |                         |             |                         |                                   |                                                         |            |
| Electricity                         | 14.6 kW                       | 1 791 k¥/y | 18.8 kW                 | 2 306 k¥/y  | 15.8 kW                 | 1 938 k¥/y                        | 20 kW                                                   | 2 453 k¥/y |
| LNG                                 | 1.1 Nm <sup>3</sup> /h        | 318 k¥/y   | 97.9 Nm <sup>3</sup> /h | 28 300 k¥/y | 40.7 Nm <sup>3</sup> /h | 11 766 k¥/y                       | — Nm <sup>3</sup> /h                                    | — k¥/y     |
| Industrial water                    | — m <sup>3</sup> /h           | — k¥/y     | — m <sup>3</sup> /h     | — k¥/y      | — m <sup>3</sup> /h     | — k¥/y                            | 18 m <sup>3</sup> /h                                    | 3 154 k¥/y |
| Steam                               | — kg/h                        | — k¥/y     | — kg/h                  | — k¥/y      | — kg/h                  | — k¥/y                            | 120 kg/h                                                | 7 358 k¥/y |
| Others                              |                               |            |                         |             | Catalyst 2 500 k¥/y     | activated carbon fiber 2 125 k¥/y |                                                         |            |
|                                     | Total 2 109 k¥/y              |            | Total 30 606 k¥/y       |             | Total 16 204 k¥/y       |                                   | Total 15 090 k¥/y                                       |            |
| Amount of generated CO <sub>2</sub> | 36 kg/h                       |            | 289 kg/h                |             | 139 kg/h                |                                   | 34 kg/h                                                 |            |

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| ガス風量    | 6 600 m <sup>3</sup> N/h |
| ガス温度    | 30 ℃                     |
| 処理物質・濃度 | トルエン300 ppm              |
| 運転時間    | 8 760 h/y                |
| 単 価     | 電気 14円/kWh               |
|         | LNG 33円/Nm <sup>3</sup>  |
|         | 工水 20円/t                 |
|         | 蒸気 7円/kg                 |

## 6. テスト機仕様

現地にて実際の原ガスをもちいたテストをおこないたいというニーズに応えるべく、当社ではテスト機を保有している。客先敷地内でのテストを考慮し、熱源はバーナーではなく、電気ヒーターをもちいている点を除いては、実機と同形式である。また、テスト機をもちいて、タールなどの付着状況や空焼きによる除去確認も可能である。

テスト機の仕様を下記に示す。また、装置外観を写真3に示す。

### テスト機仕様

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| 塔 式     | 三塔式                     |
| 処 理 風 量 | 100 m <sup>3</sup> N/h  |
| サ イ ズ   | 1 900 W×4 300 L×2 400 H |
| 重 量     | 2 500 kg                |
| ヒーター容量  | 3 kW×2                  |

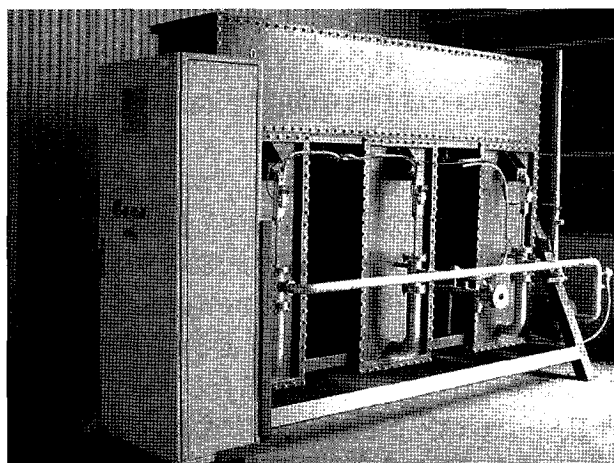


写真 3 テスト機外観

Photo 3 Outside view of pilot plant

蓄熱材 セラミック製ハニカム蓄熱材  
5 段

供給電気容量 200 V×3φ, 17.5 kVA

## む す び

当社 RTO は、今後さらなる強化が推測される VOC 規制に対してもっとも有効な処理装置であるといえる。

今後、実績の蓄積とともに改善、改良に努め、環境装置メーカーとして社会に貢献したいと考える。

## 連絡先

道 場 研 二 気熱装置事業部  
大気環境部  
エンジニアリンググループ

TEL 078 - 232 - 8134  
FAX 078 - 232 - 8067  
E-mail k.michiba@pantec.co.jp



## POPs 分析評価技術

井 出 昇 明 第1研究開発部  
第2研究室  
主任研究員  
工学博士

### ま え が き

ダイオキシン類 (DXNs), ポリ塩化ビフェニル (PCBs) など残留性有機汚染物質 (Persistent Organic Pollutants: POPs) の分析評価は, 汚泥, 土壌など各種被汚染物の汚染度 (濃度) の把握および無害化処理プロセス開発における処理条件の最適化や処理油の有害性評価などプロセスを構築するうえで重要な役割を担っている。

汚染度の把握においては, 高分解能ガスクロマトグラフ/高分解能質量分析計 (HRGC/HRMS) による微量定量分析技術が装置本体や周辺機器の発展とあいまって急速に進歩したことにより, DXNs, PCBs などの異性体分布による発生源の推定や塩素の置換位置による反応性の違いなどこれまで解明できなかった諸問題が明らかにされつつある<sup>1), 2)</sup>。

一方, 無害化処理プロセスの開発においては, 定量分析に加えて反応生成物や副生成物の化学構造解析などが反応メカニズムの解明や有害性評価の観点からも重要度を増している<sup>3)</sup>。

しかしながら, 分解処理過程における分解挙動や最終反応生成物の同定など未解明な点も多く, より安全性の高い処理プロセスを構築するうえで分析評価技術の開発が重要となっている。

本稿では, 定量分析をおこなううえで重要な前処理方法を中心に POPs 分析の現状および課題を整理し, 分析評価技術開発の取り組み方を述べる。

### 1. POPs とは

残留性有機汚染物質 (POPs) は, 人の健康や生態系へ有害な影響を及ぼす化学物質のうち, 難分解

性で生体内に蓄積しやすく, 大気や海洋経由で長距離を移動し, 地球全体を汚染する可能性の高い環境汚染物質と定義され, 12種類の物質 (表1) が指定されている<sup>4)</sup>。

歴史的には, 1995年, 国連環境計画 (UNEP) によって採択された「陸上活動によって影響を受ける海洋環境保護に関する世界行動計画」において対象物質が特定され, 数回にわたる政府間交渉会議を経て, POPs を根絶・低減するための国際条約締結合意に至った。その後, 2001年に採択されたストックホルム条約において, POPs の製造・使用中および排出の削減等による地球規模での環境汚染防止が決議され, 早急な対策が求められている。

POPs には, もともと最終用途を特定して製造された PCB (工業化学物質) や DDT, ヘキサクロロベンゼン (HCB) などの農薬・殺虫剤, そして発生子測が困難な状況下で製造された DXNs やフランなどの物質が含まれている。

これらの物質は, いずれも分子中に塩素が結合した有機塩素系化合物であるが, 融点, 有機溶剤に対する溶解性など物理化学特性は物質により異なる。分析に際しては使用する有機溶剤の選定, 前処理過程での化学的安定性, 分析測定法における熱安定性の確認などが必要である。

## 2. POPs 分析の現状と課題

### 2.1 DXNs および PCBs の分析

現在, DXNs および PCBs 分析に採用されている試験法を表2に示す。公定法である HRGC/HRMS 法は, 目的とする微量成分を高精度で定量分析でき

表 1 POPs の種類と化学特性  
Table1 Kind and Chemical Property of POPs

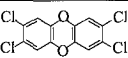
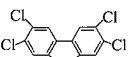
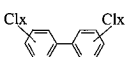
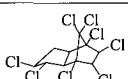
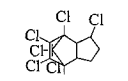
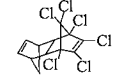
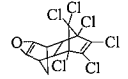
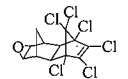
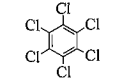
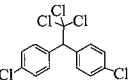
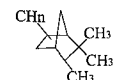
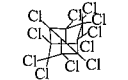
| Classification                                      | Product name | Chemical structure                                                                  | Chemical property    |                       |                                   |
|-----------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                                                     |              |                                                                                     | Melting point (°C)   | Solubility to solvent | Solubility to water (25 °C)       |
| Unintendedly produced POPs                          | Dioxins      |    | 305-306              | 1 mg/ml (25 °C)       | $2 \times 10^{-7}$ g/kg           |
|                                                     | Furans       |    | —                    | 1 mg/ml (25 °C)       | Insoluble                         |
| Industrial Chemicals (Intendedly produced POPs)     | PCBs         |    | 10-253               | Soluble               | Insoluble                         |
| Agricultural chemicals (Unintendedly produced POPs) | Chlordane    |    | trans-105<br>cis-107 | Soluble               | $177 \times 10^{-7}$ g/kg (cis-体) |
|                                                     | Heptachlor   |    | 95-96                | Soluble               | $56 \times 10^{-6}$ g/kg          |
|                                                     | Aldrin       |    | 101-104              | Soluble               | $27 \times 10^{-6}$ g/kg          |
|                                                     | Dieldrin     |    | 176-177              | Soluble               | $186 \times 10^{-6}$ g/kg         |
|                                                     | Endrin       |  | 245                  | Soluble               | $24 \times 10^{-6}$ g/kg          |
|                                                     | HCB          |  | 230-231              | Soluble               | $5 \times 10^{-6}$ g/kg           |
|                                                     | DDT          |  | 109                  | Soluble               | $1 \times 10^{-6}$ g/kg           |
|                                                     | Toxaphene    |  | 65-90                | Soluble               | $4 \sim 30 \times 10^{-4}$ g/kg   |
|                                                     | Mirex        |  | 485                  | Soluble               | $2 \times 10^{-4}$ g/kg           |

表 2 DXNs および PCBs の試験方法  
Table2 Standards for DXNs and PCBs Analysis

| Object | Sample                  | Standard                                                                                                                                                                      |
|--------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DXNs   | Exhaust gas<br>Drainage | JISK0311 (Measurement method for dioxins and coplanar PCBs in exhaust gas)<br>JISK0312 (Measurement method for dioxins and coplanar PCBs in industrial water and waste water) |
|        | Soil                    | Measurement manual for soil investigation relating to dioxins                                                                                                                 |
| PCBs   | Oil                     | Analytical method (no.192) for PCBs in decomposed oil notified by Health and Welfare Ministry                                                                                 |
|        | Drainage                | Measurement method (no.59) notified by Environment Ministry                                                                                                                   |

るが、前処理工程が複雑で、しかも処理時間に膨大な時間（6日以上）を要するために生産性が低い。また、使用される装置が高価で、日常のメンテナンス負荷も大きいために分析費用が高い。

従来の試験法では前処理工程を含めた分析時間の短縮および分析費用の低減が重要課題であり、さらに DXNs 分析では測定データの精度管理に対する要求も高まっている。

これらの状況を背景として、最近前処理方法の簡略化や分析方法の改良による迅速分析法への関心が高まり、技術開発が活発におこなわれている<sup>5), 6)</sup>。

たとえば、廃油中 PCBs を前処理（液液分配および固相抽出）により妨害成分を除去し、HRGC/LR（低分解能）MS と組み合わせた迅速分析法が開発され、公定法の代替法として利用されている<sup>7)</sup>。これに対して、当社は硫酸による前処理法と ECD（電子捕獲型検出器）GC を組み合わせた迅速分析法を確立した。本方法の開発により、前処理から機器による測定そしてデータ解析に至るトータル時間はおよそ40分となり、従来法に比べて分析時間を大幅に短縮することができた。また、定量精度を公定法と比較検討した結果、良い相関性があることを確認した。当社が開発した分析法は上記方法と分析時間および定量精度の点で比較しても遜色ないことが明らかとなり、工程管理法として適用可能であることを確認した。

## 2.2 有機塩素系農薬の分析

有機塩素系農薬分析に関する報告例は少なく、被汚染物からの抽出方法、適正な前処理方法など不明な点が多い。

POPs 農薬分析の基本操作は、DXNs および PCBs と同様であると考えており、汚染物質からの目的成分の抽出、妨害成分除去のための前処理、そして機

器による測定の3工程からなる。DXNs や PCBs との相違点は、有機塩素系農薬では一部の農薬は化学処理の過程で分解および化学変化をとまなうものがあり、定量性確保のための前処理方法の最適化が重要である<sup>8)</sup>。たとえば、硫酸処理によりデイルドリンやエンドリンは分解され、アルカリ処理によりクロルデンやトキサフェンは分解され、DDT は DDE に変化する。また、同一試料のなかに PCBs が混入した場合には、PCBs ピークと農薬ピークが近接し、PCBs 自体が妨害成分となる場合がある。

以上のように、POPs 農薬の分析では被処理物からの抽出方法、適正な前処理方法など基本的な分析条件が未だ確立されていない。前処理条件と各物質の安定性確認、PCBs ピークの分画方法確立など諸条件の検討が必要である。

## 3. 分析評価技術開発の取り組み方

POPs 分析評価技術の課題は、①迅速化および精度向上（PCBs および DXNs）、そして②適正な前処理方法の確立（とくに農薬）に整理できる。

迅速化を図るためには、前処理方法およびデータ解析を含めた分析条件の効率化が不可欠であり、とくに前処理方法の適正化および各工程の簡略化が重要である。具体例として、汚染土壌の分析評価において予想される技術課題と対策を表3にまとめた。PCBs 汚染土壌の場合には抽出工程が必須であり、抽出効率の向上および処理時間の短縮が重要課題である。これらの解決には、溶剤の選定および超音波法、高速溶媒抽出法<sup>9)</sup>など処理時間の短いソックスレー代替法の確立が必要である。また、前処理については、土壌および処理物から抽出される成分が複雑であり、あらかじめ妨害成分の種類を HRGC/LRMS 分析などにより決定し、そのうえで必要な処理方法を選定・構成する方法が合理的である。さら

表 3 汚染土壌分析における課題と対策

Table3 Subject and Countermeasure for Analyzing POPs Contents in Contaminated Soil

| Subject                                                        | Countermeasure                                                            |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Increase of extraction efficiency                              | Selection of suitable solvent and improvement of extraction conditions    |
| Reduction of extraction time                                   | Development of new extraction method                                      |
| Rationalization of clean up process                            | Selection of suitable clean up process after confirming obstacle by GC/MS |
| Regulation of chemical decomposition in agricultural chemicals | Development of new clean up process                                       |

に、分析装置については妨害成分の影響を受けにくいECD-GCの有効活用が望ましい。

農薬の前処理方法については、上記のように一部の農薬が化学処理により分解や化学変化をとまうため、事前の定性分析による農薬成分の特定および液体クロマトグラフなどによる分画処理が重要となるであろう。被汚染物質の性状および汚染農薬の種類に応じた抽出方法や前処理方法の確立が不可欠である。

現在、迅速かつ高精度 POPs 分析法として、短時間前処理方法の開発およびECD-GCあるいはHRGC/LRMSを組み合わせた迅速分析法を開発中である。

## む す び

残留性有機汚染物質 (POPs) の処理は、環境の修復や汚染防止対策の観点より重要であり、今後ダイオキシン類対策特別措置法の施行など法規制の強化と共に同処理は加速されるものと予測される。そ

のなかにあつて、本稿で述べた迅速分析による汚染物質の定量分析および定性分析による化学構造の解明は処理プロセスの効率化を図り、さらには処理工程そのものをより確実に安全なものにすると確信する。

## [参考文献]

- 1) 早川健一ほか：第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，(2001) p.114
- 2) 南宏和ほか：第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，(2001) p.1059
- 3) 井出昇明ほか：エコインダストリー，(2002) 投稿中
- 4) 細見正明：廃棄物学会誌，Vol.12, No.6 (2001) p.33
- 5) 浦野鉦平ほか：廃棄物学会誌，Vol.12, No.6 (2001) p.376
- 6) 堤かおりほか：第11回環境化学討論会講演要旨集，(2002) p.144
- 7) 和田洋：PCBの分解・無害化技術セミナーテキスト (1999) p.11
- 8) 野間幸生：廃棄物学会誌，Vol.9, No.3, (1998) p.24
- 9) 日本ダイオネクス (株) 資料