

# TSK 技報

2012  
Winter

No.16

月島機械株式会社

TSK 技報 no.16 2012 Winter

TSK TECHNICAL REVIEW

**TSK** 月島機械株式会社  
www.tsk-g.co.jp

## 論文

表流水系浄水場への紫外線消毒装置の適用

下水汚泥処理における凝集剤の役割について

## 製品紹介

スーパー繊維ろ過器 (PCF Filter)

処理場のメンテナンス (遠隔監視システム)

TSK 月島機械株式会社

## 目次

4	巻頭言 水環境事業(技術)を未来へ繋ぐ 取締役兼執行役員 水環境事業本部 副本部長 渡邊 彰彦	
6	論文1 表流水系浄水場への紫外線消毒装置の適用	今川 洋介
14	論文2 下水汚泥処理における凝集剤の役割について	高尾 大
22	製品紹介1 スーパー繊維ろ過器(PCF Filter)	西田 幸雄
26	製品紹介2 処理場のメンテナンス(遠隔監視システム)	今井 勝彦
32	復興支援報告 東日本大震災からの下水処理場復興支援報告	倭 常郎・小林 雅道
36	コーヒーブレイク“月島茶房” 酢酸のあれこれ	
38	会社概要・編集後記	

# TSK 技報

No.16 2012

## CONTENTS

4	<b>Foreword</b>	Watanabe Akihiko, Board Member, Executive Officer General Manager, Environmental Business Division
6	<b>Paper1</b> <i>Application of UV Disinfection System at Surface Water Purification Plant</i>	IMAGAWA Yosuke
14	<b>Paper2</b> <i>The Role of Flocculants in Sewage Sludge Treatment</i>	TAKAO Dai
22	<b>Product1</b> <i>Super Fiber Filter (PCF Filter)</i>	NISHIDA Yukio
26	<b>Product2</b> <i>Using Remote Monitoring Systems to Handle the Maintenance of Water Treatment Facilities</i>	IMAI Katsuhiko
32	<b>Report of reconstruction support</b> <i>Report on the Support Efforts to Help Rebuild the Wastewater Treatment Plants Damaged by the Great East Japan Earthquake</i>	YAMATO Tsuneco / KOBAYASHI Masamichi
36	<b>Coffee Break</b>	
38	<b>Corporate Profile / Editor's Note</b>	

表紙の写真



2011年、世界遺産に登録された平泉。  
写真は中尊寺金色堂の冬の風景

# 水環境事業(技術)を未来へ繋ぐ



渡邊彰彦

取締役兼執行役員  
水環境事業本部 副本部長

10月20日、恒例の「月島会」が開催された。OB、現役合わせて総勢161名の出席を得た。久々に先輩諸氏にお会いして懐かしい思いと同時に、創業から現在まで途切れることなく連綿と繋がってきた月島変遷の歴史を垣間見ることができた。現在の月島から未来の月島へと、どのように繋いでいくべきか、我々現役に課せられた使命は重大である。

1905年、創業当時の製糖技術(蒸発・晶析・分離・濾過・乾燥)が月島の原点であり、その後の化学、食品、鉄鋼分野等での産業技術が水環境技術に活かされてきた。月島の水環境事業への参入は今から47年前、昭和39年へと遡る。その後の高度成長下、国の積極的下水道普及政策に相まって、月島も大きく事業を伸ばし、現在の水環境技術の礎を築いたのである。月島の水環境事業への参入は、当時の状況からも当然の帰結ともいえるものであった。これまでの月島技術の変遷から、水環境技術は「蒸発・晶析・分離・濾過・乾燥」を基にした汚泥処理(固液分離)技術にあると理解できる。個人的見解として、月島の研究開発は一部事業を除けば、産業・水環境事業共に製糖技術(蒸発・晶析・分離・濾過・乾燥)という原点に大きな意味があると思う。私にはこのことは大変重要なことに思われる。

3月11日の東日本大震災、それに起因した原発による放射能汚染問題、戦後最大の円高等、日本は今激動の只中にある。しかし頭を抱えることばかりではなく、「なでしこジャパン」の世界カップ優勝という大きな感動があったことは記憶に新しい。被災地のみならず日本人全員を奮起させる大変な快挙であった。今回の特集において、月島による被災地での復興支援の報告が掲載されている。月島の被災地での素早い行動力と結束力、そして長年培ってきた技術が、こうして社会に大きく役立っていることは大変喜ばしいことである。

月島の顧客である国や自治体の財政難は危機的状況にあり、今後も好転の兆しは尠えず、回復には多大な期間を要するものと予想される。日本に

おいては、上下水道事業は長年に渡って公設公営で実施されてきたが、海外では民間資本による事業(民設民営)参入は当たり前に行われている。最近新聞紙上を賑わせている「環太平洋戦略的経済連携協定(TPP)」への交渉参加を巡っては推進派、消極派による議論が白熱化している。国内上下水道において、最も影響が大きいと考えられるのは「政府調達」分野であろう。公共事業などの入札では、既に世界貿易機関(WTO)の基準に従い、海外企業の参入を認めているが、交渉ではその基準の緩和が検討されている。そう遅くない将来、日本も世界基準に巻き込まれていくことは想像に難くない。

ではどうやって水環境事業(技術)を未来へと繋いでいくべきか。実は2004年本技報創刊号の特集は「汚泥特集」で始まっている。それを今一度読み返してみた。未来へ繋ぐ水環境技術の大きな鍵の一つは「たかが汚泥、されど汚泥」に求めることができる。この「たかが汚泥」技術を、今後も更に大きく進化させていくことが、未来へ繋げる一つの近道と成り得るはずである。「汚泥を制するものは水環境を制する」とは、決して大げさな言い方ではない。「汚泥の月島ブランド」の更なる確立を目指したい。顧客や競合他社に「汚泥処理は月島にお願いしたい。」と言わせたいものである。そのためには、汚泥処理技術・単体機器において、「ナンバーワンとオンリーワン」が求められる。ある事業仕分けで「科学技術は2番ではいけないのか」ということが大きな話題になった。私個人の見解としては、「ナンバーワンとオンリーワン」を目指す限り、決してトップは取れないと思う。

「なでしこジャパン」の快挙については、連日テレビ、新聞、週刊誌などで報じられている。優勝圏外であったはずの日本が「優勝という快挙を何故成し遂げられたのか」。連日各界の有識者、専門家に様々なことが論じられている。月島の現状に照らして「なでしこジャパン優勝」から学ぶべきことを二つに整理してみた。一つ目: 体格が劣り、背が低いと

いう絶対的「弱み」を素直に受け入れ、「弱み」だからこそ可能な迅速、俊敏、チーム連携を極限まで鍛えて「強み」にしたこと。そこには相手の「強み」を「強み」とさせないチーム戦略が存在している。その結果が、アメリカ戦での奇跡ともいえるゴール際の澤選手の同点劇と、最も緊張を強いられるPK戦勝利を生んだのではないか。二つ目: リーダーである佐々木監督のリーダーシップ。指導者が目指すべき目標を明確に全員に示したこと。サッカーはチーム戦であり、いわば会社と同じである。選手(従業員)の様々な能力を適材適所で生かし切ったこと。秀逸なのは澤選手である。「苦しくなったら、私の背中をみてほしい。」言葉ではなく自分の行動で成すべきことを示した。果たして自分に言えるだろうか。己の自信だけでは言えない言葉だと思う。そこには仲間(部下)との確固たる信頼関係が存在し、かつ仲間(部下)の能力・気力を信じていることが伺える。先頭に立つ幹部(上司)が体を張って仕事を進める事、そして部下との信頼関係がいかに重要かと思ひ知らされる。現在の月島機械の水環境事業は大きな転機にある。汚泥の燃料化事業はそのいい例である。コスト削減と研究開発、この二つが相乗効果を発揮してこそ、強い会社となって生き残っていける。最近では、若干「汚泥の月島ブランド」が揺らいではいないだろうか。月島の技術者には常に高い目標に向かってチャレンジしてほしい。技術を売る会社として、最大の「鍵」は研究開発の正否に掛かっている事は間違いない。我々幹部(上司)が先頭に立って明るい未来を切り開いていきたい。

最後に、TSK技報は7年前の2004年4月に創刊された。そしてこの技報の生みの親である西田克範氏が8月1日ご逝去された。ここに改めてご冥福をお祈り申し上げます。

# 表流水系浄水場への紫外線消毒装置の適用

## Application of UV Disinfection System at Surface Water Purification Plant



今川 洋介  
IMAGAWA Yosuke  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
上水グループ

### Abstract

Chlorine-resistant protozoa such as *Cryptosporidium* pose a great risk because they can lead to massive waterborne infections. In light of this danger, implementing effective measures to prevent the proliferation of these microorganisms is one of most the pressing issues countries around the world face today. In Japan municipal governments are moving to address this issue in accordance with the water purification guidelines (partially revised in April 2007) issued by the Ministry of Health, Labor and Welfare. While these guidelines are a useful reference, the technology that can be used differs by raw water source. Facilities that take in ground water are allowed to use filtration-based turbidity control (not greater than 0.1°) or UV disinfection, but facilities that take in surface water are only permitted to use turbidity control. In contrast, more advanced forms of control measures for chlorine resistant protozoa are already in place in North America. These countermeasures are based on the “multi-barrier” concept, which means that multiple systems which are mutually supportive are set up to provide an enhanced degree of safety. As a result, regulations are set according to the influent *Cryptosporidium* concentration and the corresponding *Cryptosporidium* removal percentage of conventional filtration. UV disinfection is implemented as a supplementary “barrier” to provide an added level of safety.

This study discusses the full-scale test of the UV disinfection system implemented at a surface water purification plant. The aim of this test was to evaluate the performance of the system, its stability during extended periods of operation, and the disinfection byproducts it produced. For the purposes of this test, it was assumed the system would be installed at a large plant which processes more than several tens of thousands (m<sup>3</sup>) of water daily. Thus, a medium pressure UV lamp was used because it has proven to be especially suited to large-scale plants.

クリプトスポリジウム等の耐塩素性原虫類は、大規模な水系感染の懸念から各国で対策が急がれている。日本では2007年4月に一部指針が改正され、対策が進められているが、原水の種類により適用可能な対策技術が異なっている。地下水等を原水とする施設では濁度管理(0.1度以下)、もしくは紫外線処理のいずれかを選択可能である。一方、表流水を原水とする場合、濁度管理による対応のみが認められている状況である。これに対し、耐塩素性原虫類対策に先進的な北米等では原水の種類にかかわらず、『マルチバリア』という概念に基づいた対応が一般的となっている。これは、各技術を組み合わせ、相互補完させることによって、安全の多重化を図るという考え方である。このため、流入するクリプト濃度、ろ過によるクリプト除去率を元に乗せ基準を求め、紫外線により補完するといった対応が広く採用されている。

そこで、本研究では将来的な展開を見据え、実設備規模の紫外線消毒装置を用いて、表流水を原水とする浄水場に適用した場合の消毒性能、連続運転時安定性、消毒副生成物評価を行った。なお、日量数万m<sup>3</sup>以上の大規模施設への適用を想定し、ランプ出力が高く、大規模向けに優位性を発揮する中圧ランプを備えた装置を適用した。

キーワード：紫外線消毒、中圧紫外線ランプ、クリプトスポリジウム、紫外線照射量制御、消毒副生成物  
Keyword : Ultraviolet disinfection, medium pressure UV lamps, *Cryptosporidium*, UV dose control, disinfection byproduct

### 1 はじめに

紫外線は肌の老化原因となるなど、あまり好ましくない側面ばかりがローズアップされているが、産業分野においてはその特徴を生かし、古くから利用されてきた技術である。月島機械でも、製糖プロセスにおける糖液殺菌に始まり、浸出水処理等の排水処理分野への適用、合流式下水道の雨天時越流水対策など、多岐に渡る分野で関わってきた経緯がある。本稿では、紫外線の適用分野として、今最も注目を集めている上水道における展開について、その背景を概説するとともに、将来的な展開が見込まれる表流水系浄水場で行ったフィールド試験の結果と、それに基づくケーススタディについて報告する。

### 2 背景

上水道分野における最近のトピックとして、クリプトスポリジウム(以下、クリプト)等の耐塩素性原虫類問題が挙げられる。浄水処理において一般的に用いられてきた塩素による不活化が困難であることから、1993年にミルウォーキー(米国)で40万人超、1996年に埼玉県越生町で8千人超の集団感染を引き起こし、大きく注目されるに至った。先進国を含めて、大規模な水系感染を引き起こすリスクを秘めていることから、その対策は世界各国で喫緊の課題とされている。

クリプトは楕円形、もしくは類円形(長径3~8μm)をした原虫の一種で、ヒトへの感染が報告されている*Cryptosporidium parvum*等、複数種が確認されている<sup>1)</sup>。環境中では強固な殻(オーシスト壁)を有するオーシストとなっており、この殻により防護されていることで、塩素等に対し耐性を有している。このため、対策には膜などによるろ過分離の他、オゾン処理、紫外線処理が必要である。特に紫外線は殻を透過し、内部のDNAに直接作用するため、低いエネルギーで高い不活化率を示す有効な技術として認知されている。

日本では越生町での集団感染を受け、1996年に厚生労働省より「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」が通知された。しかし、

当該指針で規定されていた対応措置は、『ろ過による濁度管理(0.1度以下)』のみであり、導入コストや維持管理負担増大といった問題から、対策の進捗は充分と言えなかった。そこで2007年4月、「水道施設の技術的基準を定める省令」が改正され、地表水以外(地下水、伏流水等)を水道の原水とする施設との限定条件付きで紫外線処理設備の適用が認められ、小規模施設を中心に導入件数は増加傾向にある。

一方、表1に示す様に欧米における紫外線消毒導入は日本と比べ先行しており、導入事例も多い<sup>2)</sup>。一例として、原虫類対策に先進的な北米では“マルチバリア”と呼ばれる概念に基づいたアプローチが採用されている。“マルチバリア”とは水源管理等の複合的な施策により水道水の安全性を高めるという概念であり、浄水処理においては“処理技術を組み合わせ、相互補完させることにより、安全の多重化を図ることが必要である”と定義している。この概念を基に米国環境保護庁(以下、USEPA)が施行したLong Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule(LT2-ESWTR)<sup>3)</sup>では、汚染リスクが高い原水の場合、従来型の砂ろ過だけでは処理が不十分とし、上乘せ基準に応じて追加処理が必要と規定している。この結果、米国では表流水を原水とする大規模施設を対象として、コストパフォーマンスが高い紫外線処理の追加導入が飛躍的に増加している。

前述の通り、日本では現状、表流水を対象とした場合には濁度管理による対応のみが認められている。しかし、降雨直後に流入クリプト濃度が一時的に増大することは周知の事実であり、こうした不測の事態を想定した場合、マルチバリアの概念に基づいた対応が、「安全でおいしい水」を供給する観点から望ましいと考えられる。

そこで、我々は将来的な展開を見据え、表流水を原水とする浄水場に紫外線消毒装置を備えた試験プラントを設置し、2009年4月より2011年3月までの2年間に渡り、実設備検討を行った。既に諸外国において表流水を対象とした長期稼働実績はあるが、日本での実稼働データは少ないことから、適用性の確認と共に、実設備検討段階における基礎データの収集を主目的とした。

表1 欧米諸国の紫外線消毒 導入状況  
Table1 The introduction situation of UV disinfection system in Europe and North America

国名	導入状況
アメリカ合衆国 U.S.A.	USEPA ガイドラインに基づき、耐塩素性原虫類、ウィルス対策として紫外線消毒の導入が進んでいる。表流水を中心に実績も豊富で、現在、ニューヨーク市に世界最大規模(日量 約760万m <sup>3</sup> )の浄水施設を建設中である。
カナダ Canada	USEPA ガイドラインに準拠した基準を策定しており、アメリカと概ね同様の状況である。大規模向け実績も豊富。
オーストリア Austria	1960年代に紫外線消毒の導入がはじまり、現在消毒プロセスの80%に紫外線が用いられている。水道水源の99%が地下水である。
ドイツ Germany	水源等オーストリアと類似した環境にある。消毒プロセスとしての、紫外線導入率は40%強である。
オランダ Netherland	オランダでは、原則として浄水処理に標準的な塩素消毒を用いていない <sup>4)</sup> 。これを受け、人口換算での紫外線導入率は90%以上である。主な対象は地下水であるが、河川からの表流水を堤防ろ過し、紫外線処理している例もある。

### 3 試験方法

国内でも既に地下水への導入事例は多く、数年間に渡って順調に稼働していることが報告されている。そこで、本研究では、地下水と表流水との差違を考慮し、紫外線消毒装置の適用に与える影響について検討を行った。表流水にて想定される事象を下記に列記する。

- 1) 処理水量規模、及び日間、年間変動
- 2) 流入水質の変動(濁度、紫外線透過率)
- 3) 凝集剤の共存による影響
- 4) 前塩素、中間塩素の影響

表流水の場合、地下水と比較して処理水量は格段に大きくなり、日量数十万 m<sup>3</sup> 以上の浄水場も対象となる。水量の増大に伴い、日間、年間変動も大きくなるのが予想される。また、降雨や渇水等、気候の影響を受けやすいことから、流入水の濁度、及び紫外線透過率の変動も無視できない要素である。これより、紫外線消毒装置の適用に際しては、最大負荷条件下(水量大、紫外線透過率低)において所定の消毒性能を発揮できること、経済性を考慮して負荷変動に応じた運用が可能であること、を確認する必要があると考えた。

また、凝集剤の共存は主にランプ保護管への付着が懸念されるため、長期連続運転時の影響評価が必要であり、塩素の共存は消毒副生成物の生成リスクを増大させるため、臭素酸等の照射後濃度を調査する必要がある。

以上の想定を元に、本研究では下記3項目について詳細に検討を行った。

- ① 消毒性能
- ② 連続運転時の安定性
- ③ 消毒副生成物

各検討では同一の紫外線消毒装置を用い、テストプラントのフローを一部変更することにより試験を行った。詳細について次項で説明する。なお、本研究では薬品沈でん池流出末端よりサンプリングした水を試験に供した。紫外線消毒を導入する場合、紫外線透過率が極力高いことが望ましいため、一般的には急速ろ過池等のろ過処理後段が最善とされている。しかし、設置スペース上の制約等により自由に選択できない施設もあると想定し、試験ではより厳しい条件と予想される薬品沈でん池後段を対象とした

#### 3.1 試験フロー

##### 3.1.1 消毒性能確認試験

本試験では、紫外線消毒装置の消毒性能を評価するため、大腸菌ファージ MS2 (以下、MS2) を用いた生物線量計【詳細後述】により紫外線照射量の測定を行った。試験フローは図1に示す通りとし、バッチ式にて実施した。薬品沈でん水を調整水槽に貯留後、MS2を添加、ランプを点灯した状態で所定の水量にて通水し、MS2の不活化率を測定、換算紫外線照射量 (RED-MS2: MS2を生物線量計として求めた

換算紫外線照射量)を算出した。「紫外線透過率」、「処理水量」、「ランプ点灯本数」、「ランプ出力」を変化させ、各条件下で同様の試験を行った。なお、供試水の紫外線透過率調整は薬品沈でん池引抜スラッジを用いた。また、MS2は人体に無害であるが、混入排水は全量浄水フローの系外に排出した。

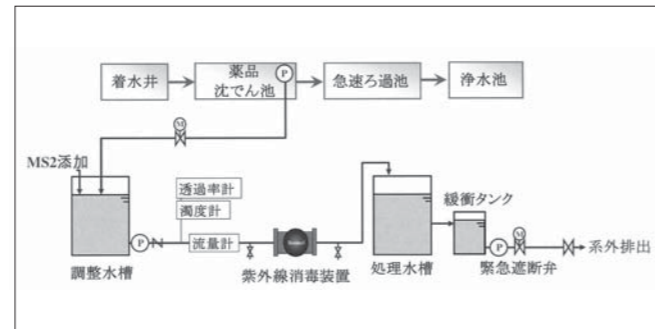


図1 消毒性能確認試験/消毒副生成物確認試験における試験フロー  
Fig.1 Test flow of disinfection performance and DBP confirmation

##### 3.1.2 連続運転時安定性確認試験

本試験ではランプ3本点灯、ランプ出力一定の条件で5,000時間の連続運転を行い、UVセンサによる紫外線照射度測定、ランプ保護管透過率/付着物測定等により、安定性評価を行った。試験フローは図2に示す通りとし、薬品沈でん池流出末端から取水した水を紫外線消毒装置に通水し、着水井に返送する連続式にて実施した。ランプ保護管等の洗浄用ワイパ稼働周期は1回/hrとし、UVセンサ校正を1回/月にて実施した。また、洗浄効果の確認を目的とした対照試験として、同一の点灯条件にて洗浄装置を全く稼働させずに7日間運転を行った。すべての保護管について、目視確認、透過率測定に加え、塩酸に1晩浸漬し、塩酸中の成分分析による付着物総量測定を行った。

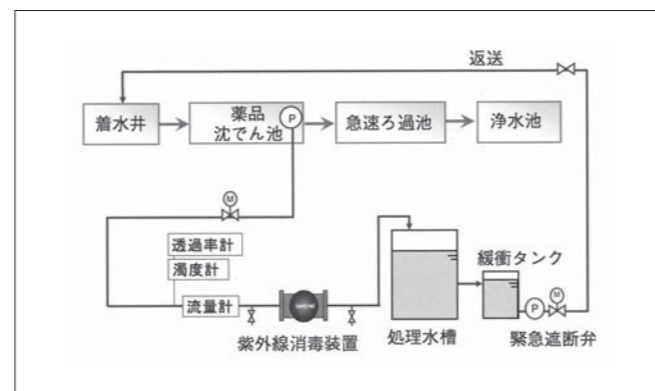


図2 連続運転時の安定性確認試験における試験フロー  
Fig.2 Test flow of stability confirmation in a continuous run

#### 生物線量計とは

紫外線に関連する単位は以下の2種類がある。

- ・紫外線照度(強度) [mW/cm<sup>2</sup>]: 紫外線照度計により測定が可能
- ・紫外線照射量 [mJ/cm<sup>2</sup>]: 紫外線照度と照射時間の積により算出

厚生労働省指針にもあるように、紫外線消毒装置の性能は紫外線照射量によって規定されることが一般的である。しかし、紫外線照度分布や滞留時間分布が均一な理想系でない限り、単純な計算で紫外線照射量を求めることは不可能である。このため、簡易的な測定手法として用いられているのが生物線量計である。

生物線量計は微生物による紫外線照射量測定手法である。用いられる微生物は人体に無害であり、紫外線耐性が既知で、ハンドリングが容易なものが適しており、大腸菌ファージ MS2、*B. subtilis*等が広く使われている。

試験手順は以下の通りである。

- ① 理想系に近い照射装置(例、図3)を用い、微生物の不活化率と紫外線照射量の相関グラフを作成する。
- ② 測定対象となる紫外線消毒装置に点灯状態で微生物を通水し、不活化率を求める
- ③ 手順①にて作成したグラフを用い、手順②で測定した不活化率から逆算して、紫外線照射量を求める

国内外の装置認証制度においても、生物線量計による測定が必須項目とされており、現時点では最も確実な手法として認知されている。

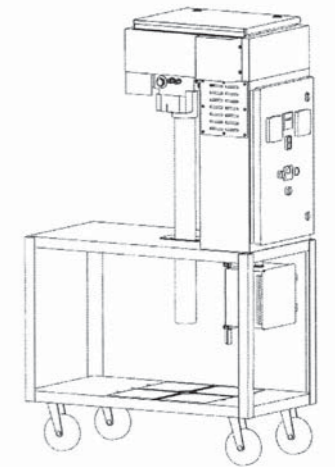


図3 コリメートビーム照射ユニット  
Fig.3 Collimated beam unit

##### 3.1.3 消毒副生成物確認試験

本試験では、臭素酸、塩素酸、総トリハロメタン等の紫外線消毒により生成する可能性が指摘されている項目について検討した。図1のフローを用い、薬品沈でん池流出末端より採取した水に紫外線を照射し、被照射水の分析を行った。紫外線照射量は40, 200, 800mJ/cm<sup>2</sup>の3条件とした。

#### 3.2 試験装置

本試験で用いた装置仕様を表2に示す。

表流水系では比較的規模の大きい浄水場が多いと想定されることから、大規模水量対応時においてもランプ本数が少なく、コンパクトな装置で対応可能である中圧ランプを備えた紫外線消毒装置を適用した。ランプ出力、点灯本数可変であり、水量、透過率等の変動に応じた制御運転に対応できる仕様となっている。

図4に紫外線消毒装置照射槽外観を、図5に照射槽内部を示す。配管接続により設置するタイプであり、ランプは流れに対し垂直配置である。UVセンサはランプ1本あたり1台、石英製ランプ保護管はステンレス製ワイパによる自動洗浄装置を備え、任意の周期により洗浄を行う。

当該装置はCalgon Carbon社(米国)より技術導入したものであり、USEPAのガイドラインに則り、第三者機関による装置認証を取得している。また、財団法人水道技術研究センターの技術審査基準認定を取得済みである。

表2 試験装置仕様  
Table2 The specification of UV equipment

型式	内照式密閉型	
口径	300A	
ランプ	種類	中圧水銀ランプ
	最大出力	3.7kW/本(出力可変)
	本数	1~3本(点灯本数可変)
処理水量	最大	14m <sup>3</sup> /分[20,150m <sup>3</sup> /日]
	試験時	0.5~3.5m <sup>3</sup> /分



図4 紫外線消毒装置 センチネル300型 照射槽外観  
Fig.4 Exterior design of UV disinfection system SENTINEL 12

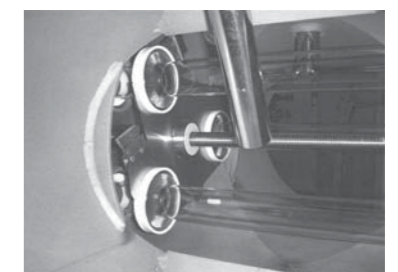


図5 紫外線消毒装置 センチネル300型 照射槽内部  
Fig.5 Internal design of UV disinfection system SENTINEL 12

3.3 試験場所

神奈川県内広域水道企業団 綾瀬浄水場(神奈川県綾瀬市)

4 試験結果

4.1 実浄水場の水量・水質データ

綾瀬浄水場における時間処理水量(2009年浄水場データ)と、紫外線透過率変動(月島機械測定値)を図6, 7に示す。時間処理水量は1~9月にかけて比較的安定していたが、10~12月にかけて減少傾向がみられた。また、同じ一日で最大5,000m<sup>3</sup>/hrの差があり、年間を通してみると、最小値(6,000 m<sup>3</sup>/hr)と最大値(16,500m<sup>3</sup>/hr)とで3倍近い変動が見られた。紫外線透過率(λ=254nm, 1cmセル:以後、全て同条件)は、原水が74~96% Tの範囲で変動がみられたにも関わらず、薬品沈でん水で97% T以上、砂ろ過水で98% T以上と安定した値を維持していた。いずれもきわめて良好な水質であり、紫外線消毒の導入に適した水準であることが確認された。

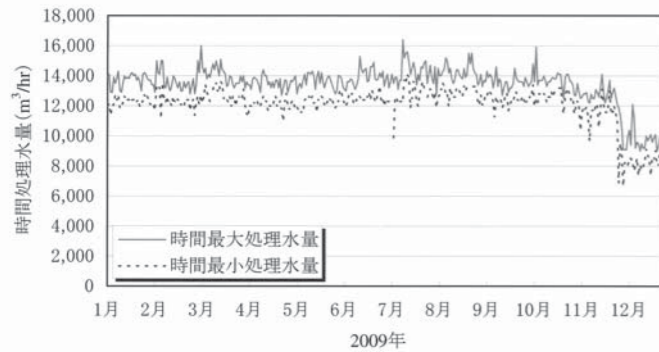


図6 綾瀬浄水場の時間処理水量  
Fig.6 Hourly treatment quantity of Ayase WTP

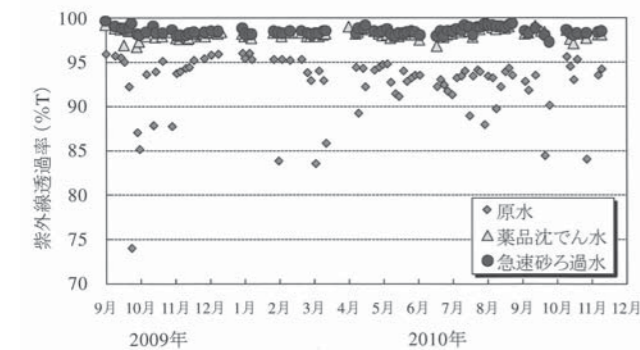


図7 綾瀬浄水場の紫外線透過率変動  
Fig.7 UV transmittance data of Ayase WTP

4.2 消毒性能確認試験

図6, 7で示した通り、表流水系浄水場では処理水量変動が大きく、数倍の変動幅となることが想定される。また、濁度管理が確実になされている場合、紫外線透過率は97~98% Tを示し、紫外線照射装置JWRC技術審査基準にて標準とされている95% Tと比較して良好な値で安定していると想定される。

そこで、紫外線透過率、処理水量変動の紫外線消毒に及ぼす影響を評価し、その結果を元に、消毒性能(安全性)と経済性を両立させた運転方法の検討を行った。

4.2.1 紫外線透過率変動への適応

図8に紫外線透過率と必要ランプ出力の関係を示す。この図では、紫外線透過率の変動による影響評価のため、ランプ点灯本数:1本、処理水量:3m<sup>3</sup>/min、紫外線照射量:25mJ/cm<sup>2</sup>の条件に適合するデータを抽出している。なお、紫外線照射量25mJ/cm<sup>2</sup>という値は実験に用いた装置の厚生労働省指針(95%の水量に紫外線照射量10mJ/cm<sup>2</sup>以上)適合値に相当しており、当該値以上であれば所定の消毒性能を満たしていると言える。

図8より、所定の消毒性能を保つためには、紫外線透過率の低下に伴って、ランプ出力を上げる必要がある。25mJ/cm<sup>2</sup>を維持するために必要なランプ出力は、紫外線透過率97% Tにおいて1.6kWであったのに対し、透過率94% Tでは2.0kWを要した。紫外線透過率としてはわずか3ポイントの差であるが、消費電力としては20%の差を示し、透過率が大きな影響を及ぼすことが確認された。

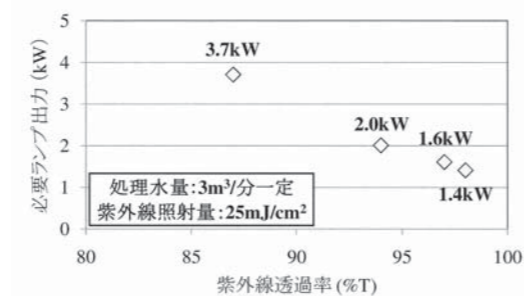


図8 紫外線透過率と必要ランプ出力の関係  
Fig.8 Relation between UV transmittance and requisite lamp output

4.2.2 処理水量変動への適応

図9に処理水量と必要ランプ出力の関係を示す。処理水量の変動による影響評価のため、ランプ点灯本数:1本、紫外線透過率:95% T固定、紫外線照射量:45mJ/cm<sup>2</sup>の条件に適合するデータを抽出した。(前項にて触れたように、所定の消毒性能を満たす紫外線照射量は25mJ/cm<sup>2</sup>であるが、データの都合上、45mJ/cm<sup>2</sup>としている)

図9より、同等の消毒性能を維持するためには、処理水量の増大に応じて、ランプ出力を上げる必要がある。処理水量3m<sup>3</sup>/minと1m<sup>3</sup>/minそれぞれにおける必要ランプ出力を比較すると、処理水量1/3とした場合、消費電力は50%削減可能であることが示された。

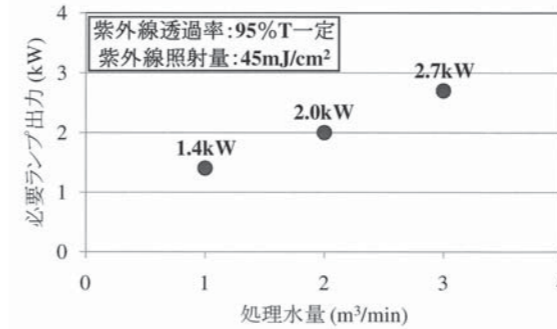


図9 処理水量と必要ランプ出力の関係  
Fig.9 Relation between flow rate and requisite lamp output

前記結果より、所定の消毒性能を維持するためには、紫外線透過率の低下や処理水量の増大に応じて、ランプ出力を上げる必要があることが確かめられた。特に、紫外線透過率は数ポイントの差でも照射量に大きく影響することから、実際の紫外線透過率が97% T、もしくは98% Tと良好であるにもかかわらず、運転条件を95% Tと安全側に設定した場合、消費電力が過剰となることが懸念される。

以上の結果を踏まえると、表流水へ紫外線消毒装置を導入する場合、紫外線透過率や処理水量を常時モニタリングし、負荷変動に応じてランプ出力を適正に制御可能なシステムを組み込むことが、消毒性能(安全性)と経済性を両立させたプロセスとして有効であると考えられる。

4.3 連続運転時の安定性確認試験

紫外線消毒装置の連続運転時安定性評価における必要な確認項目は主にランプ保護管への付着影響であり、具体的には下記に挙げる項目となる。

- 1) UV センサによる測定値(紫外線照度)の安定性
- 2) 自動洗浄の適正周期
- 3) ランプ保護管の表面状態の確認、及び付着成分の分析

図10に連続運転時のUV センサ測定値(紫外線照度)の経時変化を示す。なお、当該値は運転開始直後の値を100%とする相対値で表しており、対象水の紫外線透過率変動も反映している。自動洗浄の周期は予備調査結果を踏まえて、1時間毎に1回と設定した。校正周期はメーカー標準である1ヶ月毎に1回と設定した。(校正実施時期は図中に矢印を記した)

5000時間の連続運転を通して、UV センサ測定値は安定した値で推移した。図11に洗浄を全くせず168時間(1週間)運転した後のスリーブと1回/hrの洗浄周期で5000時間運転した後のスリーブの写真を示す。洗浄なしの系は1週間で全体的に白色の付着物がみられた。一方、1回/hrの洗浄周期の系は、5000時間の通水後においてもランプ保護管への付着はほとんど見られなかった。その差は目視にて明らかであるが、透過率測定の結果からも、洗浄なし:10%低下、洗浄あり:0%(低下なし)、と裏付けられた。また、図12にそれぞれの保護管への付着物総量を示す。洗浄なしの保護管は、凝集剤に起因するアルミニウムが

主に付着し、その他、ケイ素やカルシウムの付着も確認された。一方、洗浄ありの場合、付着物はほぼ無視できるレベルに抑制されていた。

以上の結果より、表流水を対象とした場合においても、適正な周期でワイパによる洗浄を行うことにより、安定した連続運転が可能であることが確認された。

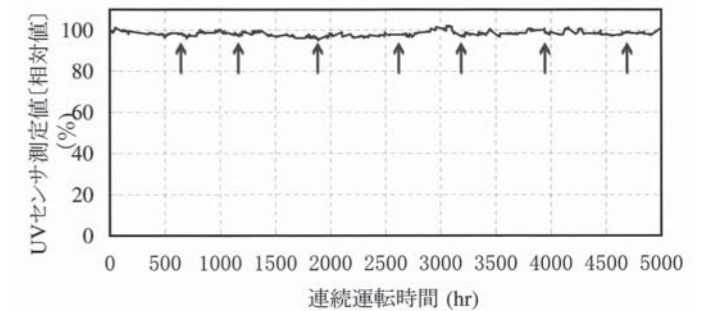


図10 UV センサ測定値の経時変化  
Fig.10 UV intensity data of duty sensor

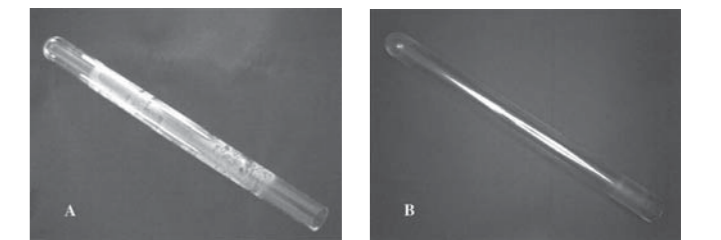


図11 ランプ保護管写真 A) 洗浄なし-168hr 運転後、  
B) 洗浄あり【1回/hr】-5,000hr 運転後  
Fig.11 Lamp sleeve: A) No cleaning (after 168hr),  
B) Hourly cleaning (after 5,000hr)

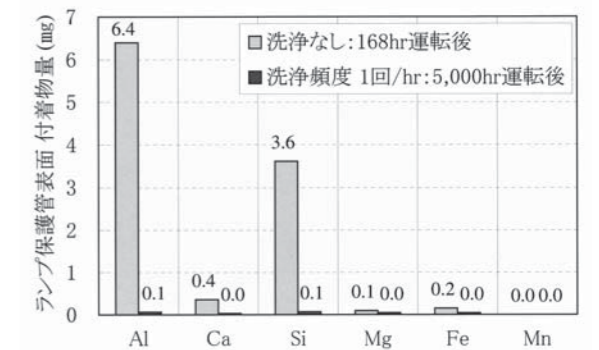


図12 ランプ保護管付着成分 分析結果  
Fig.12 Attached metals amount on the lamp sleeve

#### 4.4 消毒副生成物確認試験

紫外線消毒による副生成物に関しては、水道技術研究センターの原ら<sup>5)</sup>により、詳細な検討がなされている。遊離塩素、臭化物イオン、TOCを添加し、任意の値に調整した条件で副生成物量を測定しており、クリプトスピリジウム対策に必要な紫外線照射量では副生成物の懸念は少ないと結論づけている。この報文を参考として、本試験では、遊離塩素等の各成分は調整を行わず、紫外線照射量のみを変化させた条件で評価を行った。設定紫外線照射量-40、200、800mJ/cm<sup>2</sup>-3条件の内、800mJ/cm<sup>2</sup>は通常運用では非現実的な水準だが、止水状態でランプの点灯だけが数十秒間継続した状態を想定した値である。

結果を表3に示す。いずれの照射量条件においても臭素酸、塩素酸、トリハロメタンは定量下限値以下であった。これまでの知見を総合すると、紫外線消毒による副生成物の懸念は基本的に問題ないが、生成リスクをさらに低減するため、紫外線照射量が過剰とならないような装置設計をすること、遊離塩素濃度が極力低いポイントに紫外線を設置すること、臭化物イオン濃度、TOCの変動を把握し、運用に反映すること、等が重要であると考えられる。

表3 消毒副生成物確認試験結果  
Table3 Disinfection byproducts data

項目	水道水質基準	照射前	照射後		
			40mJ/cm <sup>2</sup>	200mJ/cm <sup>2</sup>	800mJ/cm <sup>2</sup>
臭素酸	0.01mg/L	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
塩素酸	0.6mg/L	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06
総トリハロメタン	0.1mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

※総トリハロメタンはクロロホルム、ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン、プロモホルムの合計  
※処理水(照射前)中の濃度-遊離塩素濃度:0.5mg/L、TOC:0.6mg/L、臭化物イオン:0.1mg/L以下

#### 5 ケーススタディ

以上より、表流水系浄水場への紫外線消毒装置の適用は安全性、安定性の観点から全く問題ないことが確認された。加えて、経済的な運用をするためには、処理水量、紫外線透過率といった負荷に応じたランプ出力、点灯ランプ本数の適正制御が有効であることも確かめられた。そこで、有効性評価のため、負荷に応じた自動制御の採用有無と消費電力の関係について、ケーススタディを行った。

検討条件を示す。

- 1) 流入条件は綾瀬浄水場データを採用した
- 2) 運転条件は『出力固定モード』と『自動制御モード』の2種類とした。  
『出力固定モード』: 常時安全側(処理水量:最大値、紫外線透過率:95% T)と設定し、ランプ出力、本数を固定  
『自動制御モード』: 処理水量、紫外線透過率の変動に応じてランプ出力、本数を自動制御  
※表4にそれぞれのイメージを示す
- 3) 自動制御モードにおける省エネルギー効果は消毒性能確認試験結果を反映した

表4 『自動制御モード』イメージ  
Table4 The image of "Auto dose passing mode"

処理水量	小	中	大	小
出力固定モード				
ランプ点灯本数	3	3	3	3
自動制御モード				
ランプ点灯本数	1	2	3	1

※●:点灯中ランプ、○:消灯中ランプ

検討結果を表5に示す。

『出力固定モード』と比較して、『自動制御モード』の方が年間消費電力量を30%程度削減可能との試算結果が得られ、経済性の面からその有効性を確認することができた。

2011年4月より稼働開始している岐阜市雄総水源地向け案件(図13参照)では、既に自動制御を組み込んだ運転を採用している。平均水量は20,000m<sup>3</sup>/日前後と、最大水量55,296m<sup>3</sup>/日の半分以下であり、水質も年間を通して良好であるため、稼働開始から5ヶ月経過した現在で最大負荷における消費電力の半分以下で運用されている。

表5 ケーススタディ  
Table5 Result of case study

		出力固定モード	自動制御モード
流入条件	処理水量 [m <sup>3</sup> /hr]	6,000~16,500	
	紫外線透過率 [%T]	95~97	
	クリプト不活化率	3log(99.9%)以上	
運転条件	処理水量 [m <sup>3</sup> /hr]	16,500 固定	流入の変動に応じて自動制御
	紫外線透過率 [%T]	95 固定	
算出結果	年間消費電力量 [kWh/年]	320,000	228,000
	比率	1	0.71

#### 6 まとめ

本研究により、下記事項が確認できた。

- 1) 表流水系浄水場への適用において、紫外線消毒は十分な消毒性能(安全性)、安定性を確保することが可能である
- 2) 負荷変動が大きい浄水場を対象とした場合、負荷に応じた自動制御が経済性の面で有効である

図13は月島機械の実績であるが、国内でも地下水を対象としたケースで日量5万m<sup>3</sup>を超える規模の施設が既に稼働しており、今後、導入

件数が増加していくと考えられる。表流水への適用検討も各機関にて始められており、今後さらなる本格化が見込まれ、本研究が参考データとしてその一助となれば幸いである。

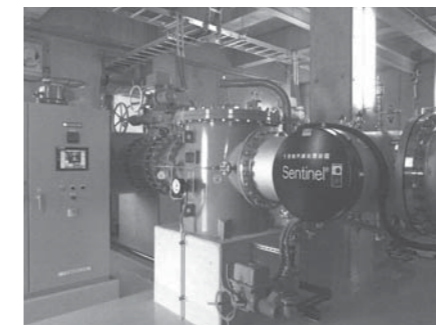


図13 岐阜市雄総水源地 実績写真 (最大水量:55,296m<sup>3</sup>/日)  
Fig.13 Operational UV equipment at Gifu Pref.  
(Maximum flow rate: 55,296m<sup>3</sup>/day)

#### 謝辞

本研究にご協力頂いた神奈川県内広域水道企業団殿、立命館大学神子教授ならびに研究室の皆様がこの場をお借りしてお礼申し上げます。なお、本研究は(財)水道技術研究センター主催 Aqua10プロジェクトへの持ち込み研究である。

#### 参考文献

- 1) 紫外線照射-水の消毒への適用性一、技報堂出版(2008)
- 2) 安井宣仁、神子直之: 第5回IUVA(国際紫外線協会)国際会議参加報告~海外の技術動向~, 日本紫外線水処理技術協会ニュースレターNo.3, pp.3-7(2010)
- 3) Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule, USEPA(2006)
- 4) 伊藤禎彦:オランダにおける塩素を使用しない水道システムの管理, 水道協会雑誌, 第79巻, 第10号, pp.12-22(2010)
- 5) 原敬一, 藤原正弘, 他: 紫外線照射試験による副生成物量の評価, 第61回全国水道研究発表会講演集, pp.188-189(2010)

# 下水汚泥処理における凝集剤の役割について

## The Role of Flocculants in Sewage Sludge Treatment



高尾 大  
TAKAO Dai  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
下水グループ

### 1 はじめに

下水処理は生物学的な処理と物理化学的な手法により汚水を浄化し清浄な水を再生することを目的とした処理プロセスと定義できる。ただ、これは下水処理の一面のみを説明したに過ぎない。なぜなら、前述した『生物学的、物理化学的な手法』において、分離、濃縮した『汚泥』を如何に処理するかという大きな課題が共存しているからである。つまり、下水処理のもう一面とは、この汚泥の分離工程をいかに効率よくかつ低コストで行うかということに集約される。

図1は、下水処理のフローを固形物の濃度という観点で整理したものである。

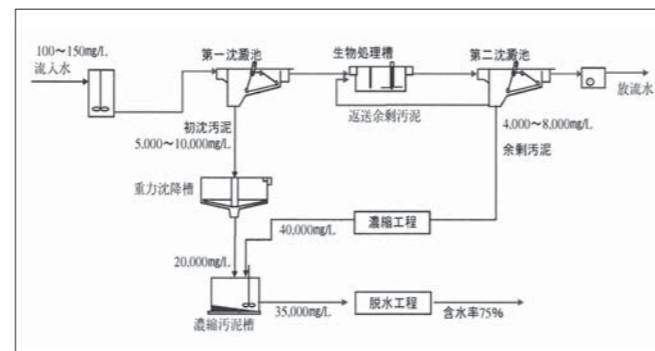


図1 下水処理過程における固形物濃度(例)  
Fig.1 Dry substance of sludge in sewage sludge treatment process

流入した下水の固形物濃度は、わずか0.01～0.015%程度であるのに対し、様々な処理過程を経て3.5%程度(重力濃縮汚泥の場合は1.5%程度)まで濃縮され、脱水後は25%程度にまで達する。こうしたことから分かるように、大部分が水である汚泥の処理は、その殆どが固液分離プロセスに該当し、従来より沈降(遠心分離も含む)、濾過、圧搾が試みられている。これらのポイントとなっているのは汚泥粒子と水の分離であり、凝集処理はこの分離性を飛躍的に高める手法として下水処理には無くてはならない技術の一つとなっている。

本稿は当社が取り組んできたこの凝集処理に焦点を当て、一般的な事項から最新の技術動向までを纏めたものである。

### Abstract

The sewage treatment process consists of using biological and physicochemical methods to treat sewage water. When sewage water is treated, sludge is generated as a byproduct. Even after the sludge thickens, it is still composed of 97-98% water. For this reason, the basis of sludge treatment is solid/liquid separation technology designed to separate water from sludge. One of the most important technologies used in this process is flocculation technology, which helps to enhance the efficiency of separation. This paper examines flocculation technology and discusses its theoretical background, the kind of flocculants used, and information about equipment for using these flocculants.

下水処理では生物学的な処理と物理化学的な手法により水を浄化すると同時に、副次的に汚泥が発生する。汚泥は濃縮過程を経て97～98%が水分であり、その処理技術の根幹はこの水分を除去する固液分離技術であると言える。こうした処理過程においてその効率を高める手段として凝集処理は極めて重要な技術の1つである。本稿ではこの凝集操作に焦点を当て、凝集の理論的な背景、凝集剤の種類はもとより、凝集剤を使用するための実設備における知見についてまとめたものである。

キーワード：下水汚泥、凝集、分散、無機凝結剤、ポリマー凝集剤  
Keyword : Sewage sludge, flocculant, dispersion, inorganic flocculant, polymer flocculant

### 2 凝集処理の理論的な背景

#### 2.1 汚泥の特性

汚泥粒子はよく『負に帯電したコロイド粒子で構成される』と表現されることが多いが、一様に同じ組成のものが存在しているわけではない。下水汚泥をミクロ的な視点で見ると、無機分(砂や金属水酸化物、金属酸化物)、有機分(蛋白質、微生物細胞)そして分離すべき対象となっている水分から構成され、これらの混合物を総称して汚泥と呼んでいる。ただし、一般的には固形物の80%程度が有機分であるため、分離すべき対象物として、有機分特に微生物細胞と水分の存在状態に焦点を当てて議論されることが多い。ここでも、この2点について解説する。

#### 2.1.1 汚泥の帯電

汚泥の存在状態について模式的に示したものが図2である。汚泥粒子、特に微生物や蛋白質の表面にはアニオン性の官能基があり、中性付近ではカルボキシル基が解離し負に帯電していると考えられている。

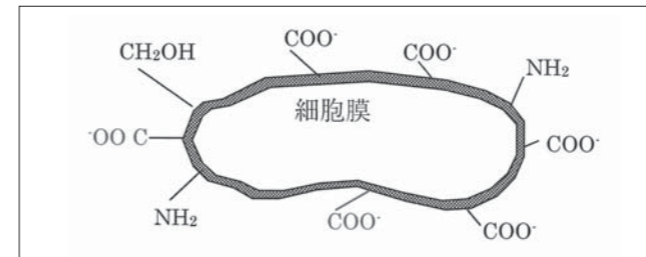


図2 汚泥粒子の表面荷電状態  
Fig.2 The condition on surface of sludge particle

この負に帯電した汚泥粒子が水中に存在すると、その電荷を中和しようとして逆符号(つまりプラス)イオンが粒子表面にあつまると考えられる。これをちょうど平行板コンデンサが形成される状態と仮定したモデルを電気二重層<sup>1)</sup>と呼んでいる。電気二重層モデルには複数の解釈が提唱されているが、粒子表面近傍に形成される特異吸着イオン層(Stern層)とその外側にプラスイオンとマイナスイオンが共存する拡散二重層<sup>2)</sup>で説明される<sup>2)</sup>ことが多い。

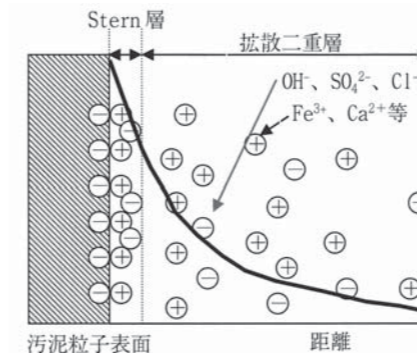


図3 汚泥粒子表面の電位と距離の関係<sup>3)</sup>  
Fig.3 The Relationship between Zeta-potential and distance from surface of sludge particle

この電気二重層はすべての粒子の周りに形成されていると考えられ、粒子同士の凝集と分散現象を支配している。

もし、全く同じ帯電状況にある2つの粒子を近づけて凝集させようとした場合、粒子間には電気二重層の重なり合いによる反発力VRとLondon-vanderWaals引力(分子間引力)VAの2つの力が存在し、これらの総和Vが作用している。

$$V = VA + VR$$

詳細は専門書を参考にするのが望ましいが、図4に示すようにこれらの力は粒子表面から離れるにつれて徐々に小さくなる。ただし、粒子間の距離により支配的な力は異なり、粒子からある一定距離以上では反発力VRがそれよりも近い場合は引力VAが支配的である。

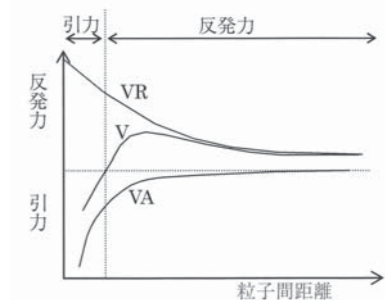


図4 汚泥粒子に働く力と距離の関係<sup>3)</sup>  
Fig.4 The Relationship between the force acting on sludge particle and distance from sludge particle

このことは、通常、汚泥粒子は分散しているが、何らかの手法で汚泥粒子を接近させると逆に引力により凝集状態にすることが可能であることを示している。つまり、凝集と分散現象に寄与する力は汚泥粒子に常に作用しており、『反発力の大きさ』及び『粒子間の距離』に依存し、どちらにでも作用する紙一重の関係であると言える。

#### 2.1.2 水分の存在状態

次に、水分についてだが、これも汚泥中に一様に存在しているわけではない。図5に汚泥中の水分の存在状態を示す。

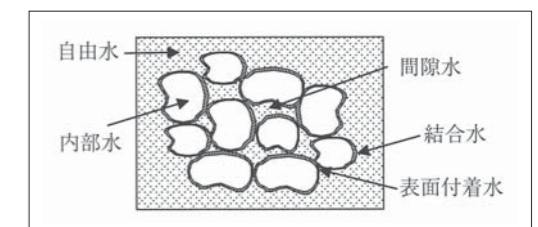


図5 汚泥中の水分の存在状態<sup>4)</sup>  
Fig.5 Existing condition of water content in sludge

水分は細胞内に取り込まれている内部水にはじまり、表面付着水、結合水、間隙水そして自由水から構成され、この順番に分離が容易になり、



自由水が最も分離しやすい。特に、内部水は現在の凝集技術では自由水に変換することは難しく、凍結乾燥、熱処理、あるいは抽出等の技術に頼らざるを得ない。つまり、凝集処理の対象となるのは内部水以外の水分(表面付着水、結合水及び間隙水)であり、これらを如何に自由水の形に近づけ、固液分離を容易にするかという点が重要なポイントとなる。

2.2 凝集方式とその原理

2-1で言及したように水中で負に帯電した汚泥粒子と様々な形態で存在した水分をそのままの状態では分離しようとすると多大な時間とエネルギーが必要になることから、凝集処理が必要となってくる。下水処理でいう凝集処理は、大別してFeやAl塩などの無機凝集剤を使った凝結と有機高分子凝集剤を使った凝集の2つがある。これらの処理の理論的な背景を以下に説明する。

2.2.1 凝結について

鉄(III)やAl塩が添加された場合の凝集原理は以下のように解釈できる。

鉄(III)やAl塩は溶液中では解離し、鉄(III)やAlイオン(プラスイオン)となり、汚泥粒子のマイナスの電荷部分で中和反応が生じる。この場合、図3の電気二重層は電位自体の絶対値が低くなるためその影響範囲が狭まることから、図4での反発力VRが小さくなる。これにより、汚泥粒子が接近しやすくなり、結果的に分子間引力VAが支配的な領域になることで凝集が生じる。また、反発力VRの影響範囲を決定している拡散二重層の厚さは、液側の電解質濃度が高い程、更にイオン価が高い程、薄くなるため、鉄(III)やAlイオンを用いた凝結操作は電気二重層の観点からも非常に理に適った手法であると言える。

この現象は後述する高分子を介した凝集と区別するために凝結作用と呼ばれている。

2.2.2 凝集について

凝集では数百万程度の分子量を持ち多数のイオン性基を併せ持った高分子凝集剤が使われる。この凝集原理はイオン性基による荷電中和作用と高分子の吸着・架橋作用から構成されると考えられているが、一般的な処理では前者の中和反応の効果は汚泥の全荷電量の10%程度にすぎず、むしろ高分子系での分散、凝集原理が支配的である。汚泥中に高分子凝集剤が添加された場合、粒子表面に吸着した高分子の状態は図6のように推定されている。

その吸着形態によりトレイン、ループおよびテールと分類され、一番外側に位置するテール層が凝集現象において重要な役割を担っている。

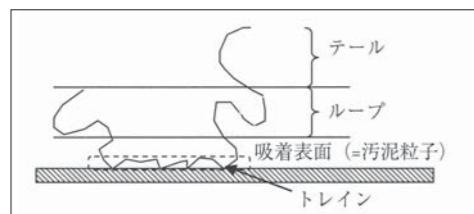


図6 吸着した高分子の存在状態<sup>5)</sup>  
Fig.6 Pattern diagram of adsorbing high molecular

図7に高分子の吸着量が少ない系における凝集現象の模式図を示す。高分子の吸着量が少ない系では粒子表面は高分子が吸着した部分と空いている部分が存在する。これらの粒子同士が接近し合うと一方の吸着層のテールが他の粒子の吸着層の空いている部分に吸着し、2つの粒子の凝集が起きる。これが『橋かけ』とか『架橋』凝集と呼ばれる原理である。

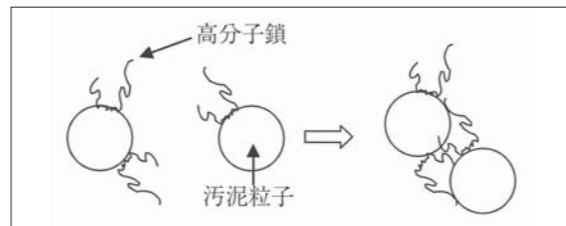


図7 橋かけ凝集の模式図<sup>5)</sup>  
Fig.7 Pattern diagram of bridging effect

逆に高分子濃度が高まった場合の凝集モデルを図8に示す。この場合高分子の吸着量が増加するため、吸着層の空いている部分が殆どなくなる。これらの粒子同士が接近するとこれらの吸着層が重なりあう領域(図中では点線で囲まれた部分)が生じ、逆に反発作用を及ぼし分散剤として機能してしまうことになる。

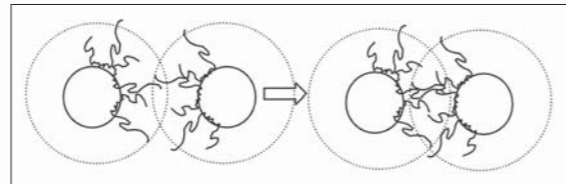


図8 分散の模式図<sup>5)</sup>  
Fig.8 Pattern diagram of dispersion

このため、高分子を用いた凝集現象では、図9に示すように凝集最適濃度を境にそれより高い高分子濃度(つまり凝集剤の添加率)の場合には分散剤として寄与し、逆に処理効率を低下させることが知られている。つまり、凝結では荷電の中和を主としているのに対し、凝集ではこれに加え吸着・架橋作用を同時に行っている点で大きく異なり、この作用により飛躍的に分離効率を改善していると言える。

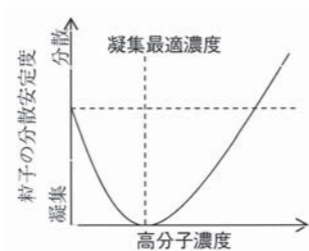


図9 粒子の分散安定度と高分子濃度の関係<sup>5)</sup>  
Fig.9 The relationship between stability of dispersion and concentration of polymer flocculant

3 凝集剤の種類

3.1 凝集剤の分類

凝結と凝集について言及したが、図10にこれらの処理に用いられる薬剤の一般的なものを系統図として示した。

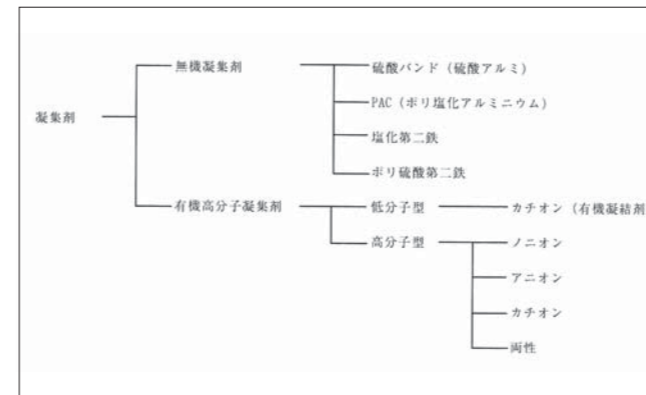


図10 下水処理に用いられる主な凝集剤  
Fig.10 Typical coagulant using in sewage sludge treatment process

無機凝集剤(凝結剤)としては比較的安価な硫酸第二鉄が広く使われている一方、高分子凝集剤ではカチオン系が最も広く使われ、アクリル酸エステルとアクリルアミドの共重合体やメタクリル酸エステル重合体が汚泥種や機器の特性によって使い分けられている。

3.2 無機凝集剤

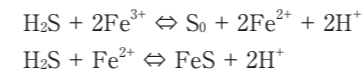
現在は無機凝集剤(凝結剤)は単品で使用されるケースは極めて少なく、高分子凝集剤と併用する形で使用され、通称2液調質と呼ばれている手法がこれに該当する。現在下水処理過程でよく使われている薬剤に絞って以下に主な性質を紹介する。

3.2.1 ポリ硫酸第二鉄

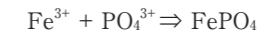
日鉄鉱業(株)の商品名で『ポリテツ<sup>®</sup>』といった名称で現場では取り扱われることが多い。主な成分は文字通りと第二鉄イオン(Fe分として11w%)及び硫酸イオン(24~29%)から構成され、pHは2~3程度と酸性である。ただし、同じ鉄系の塩化第二鉄との腐食性を比較するとステンレス材料に対する腐食性は低い薬剤と言える。

凝集原理としては、先述した第二鉄イオンによる凝結作用が主である。また、pHが4~7程度の下水汚泥に添加されると中和作用を受け、第二鉄イオンは水酸化第二鉄として茶褐色の沈殿物となる。この沈殿物が汚泥粒子の架橋作用も有することもこの薬剤の特徴である。

また、副次的な効果としては、汚泥中の硫化水素を次式に示すような沈殿物として固定化し、脱臭効果を示すこともよく知られており、これが目的で添加される事例も少なくない。



更に、Fe(III)イオンはリン酸イオンと次式の様な沈殿を生ずることから、リンの固定化のために添加されることもある。



3.2.2 PAC

ポリ塩化アルミニウムの略称であり、多木化学(株)によりPACと命名された。その主成分はアルミニウムイオン(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として10~11%程度)及び塩化物イオン(塩基度47~57%)から構成され、pHは3.6~4.6である。ただし、塩化物イオンが共存するため、腐食には十分気を付ける必要がある。

凝集原理はポリ硫酸第二鉄に酷似しており、更に次式によりリン酸イオンの固定化作用も有している。



3.2.3 塩化第二鉄

分子構造はFeCl<sub>3</sub>で示されるように第二鉄イオン及び塩化物イオンから構成され、一般的に使用されるものの有効濃度は38%程度であり、pHは2~3程度と酸性である。ステンレス材料に対しても腐食性が強いので取り扱いに注意を要する薬剤であると言える。単体で使用されることは殆ど無く、石灰等の脱水助剤と併用され、真空、加圧脱水機の調質剤として広く普及していたが、現在は高分子凝集剤の適用と共に使用される割合は減少の一途を辿っている。

3.3 高分子凝集剤

3.3.1 凝集剤の分類

凝集剤は一般的に高分子凝集剤もしくは単にポリマーと呼ばれるが、その基本的な特性はそれらを構成するモノマーの種類とその比率から分類される。

図11にその模式図を示す。

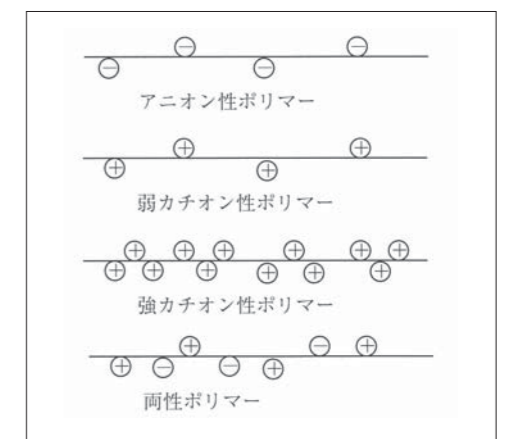


図11 ポリマー凝集剤の分子構造のイメージ  
Fig.11 Image of molecular structure of polymer flocculant

下水処理で用いられる凝集剤は大別するとマイナス(-)の解離基を持つアニオン性、プラス(+)の解離基を持つカチオン性そして両方の解離基を持つ両性に分類されている。

また、カチオン性ポリマーではカチオン度が異なるものが多数用意されている。カチオン強度はカチオン度のモル%で示すが、これは構造式中のカチオン性部分のモル数Nと非イオン性の部分のモル数Mを使って以下のように示された指標である。

$$\text{カチオン度モル\%} = N / (N+M) \times 100$$

当然この数値が高いほど解離基の割合が高く、荷電中和能力に優れた薬品であると言える。

### 3.3.2 凝集剤の化学的構造

図12に下水処理で一般的に用いられる各ポリマーの構造を示す。

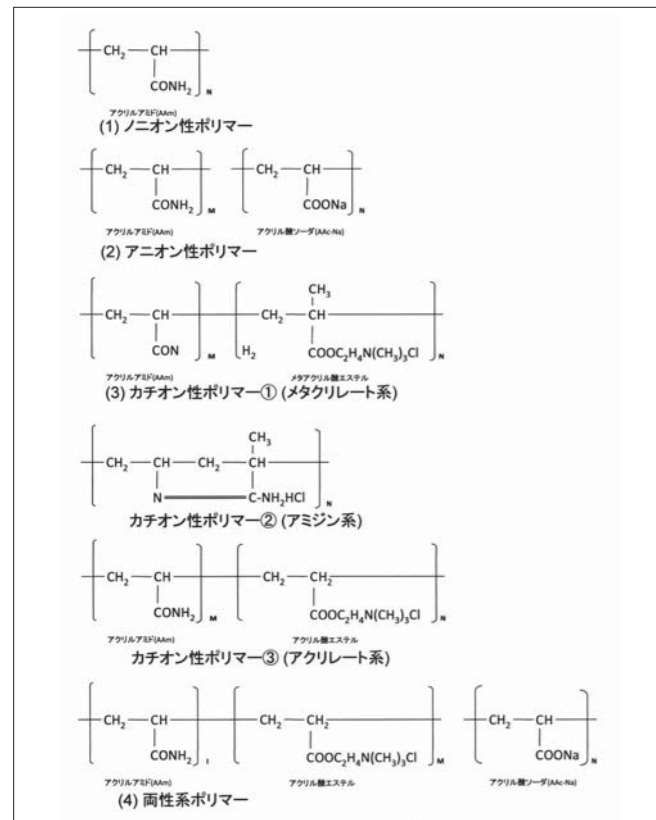


図12 代表的なポリマー凝集剤の分子構造<sup>4)</sup>  
Fig.12 Molecular structure of typical polymer flocculant

まず、ノニオン性ポリマーは全ての凝集剤の基本となるアクリルアミドから構成されるものが代表的な種類と言える。イオン性は無く、下水処理では単体で用いられることは殆どないが、現在市場で入手できる下水汚泥用のポリマーのノニオン部分はこのアクリルアミドである。

次にアニオン性ポリマーは先のアクリルアミドとアクリル酸ソーダの重合体であり、当然後者がアニオンとしての特性を発揮する。これも単

体で用いられることは少なく、カチオン性ポリマーと併用した2剤法や凝集剤と併用されることが多い。

次のカチオン性ポリマーが現在下水処理過程で最も広く使用されている種類である。大別すると、カチオン性基の部分にメタクリル酸エステルを用いたものとアクリル酸エステルを用いたものが広く用いられている。近年ポリアミジン系も普及してきているが、これは分子構造中に疎水基を持つことと、カチオン度が100モル% (つまり全て解離基を持った構造) であるため、荷電中和と架橋機能何れも優れた性能を発揮する。特に腐敗した汚泥等に効果を発揮することが多いが、価格も高く、添加量も多くなることから限定的な利用に留まっている状況にある。

最後に両性ポリマーであるがこれはカチオン性ポリマーに加え、アニオン性モノマーであるアクリル酸ソーダを更に重合させ、カチオンとアニオンどちらの特性も持っていることが大きな特徴である。

### 3.3.3 製品形態について

高分子凝集剤は大別すると液体系と粉末系に分類することができ、表1にそれぞれの特徴を示した。現状日本国内の下水処理では粉末系が主流である一方、海外ではハンドリング性を重視し液体系のシェアが高い国もある。

元々凝集剤は重合させた直後は液体の状態であるがこれを乾燥・粉末化処理したものが粉末状の製品であり、粒子径としては1mm程度になるような工夫が施されている。一方、液体系は有効濃度最大40%程度の液状で分散安定状態を維持できるような工夫が施されており、いわば溶けた状態のまま保存することができる。(ただし、一定時間ごとに分離を防ぐ目的で攪拌操作が必要である。)

表1 高分子凝集剤の製品形態とその特性  
Table1 The variation and its characteristic of polymer flocculant

分散方式	液体		
	粉末	エマルジョン	デイスパージョン
有効濃度	85%以上	30~50%	20~30%
発塵性	有	無	無
吸湿性	有	無	無
保管スペース	小	大	大
保存性	1年程度	3か月程度	3か月程度
溶解性	良	良好	良好
溶解時間	1~2時間	30分	30分
荷姿	紙袋	缶	
	コンテナ	段ボール	
	粉体ローリ	コンテナ	
		ローリ	

## 4 凝集剤廻りの設備

### 4.1 凝集剤の溶解装置

前述したように凝集剤には粉末系及び液体系があるが、使用にあたっては希釈水を加え有効濃度として0.1~0.3%に溶解するための設備が必要である。

粉末状を扱う装置は図13に示すような粉体の定量供給機、分散混合器及び攪拌機付溶解槽から構成される。この溶解装置を2セット以上設け、交互に溶解作業を行う回分式の溶解設備が一般的である。

所定量の溶解水に粉末状薬品を添加し、2時間程度の攪拌操作が必要であり、所定の溶解時間を確保するために溶解槽容量が決定されて、設備外形が大きくなるデメリットがある。

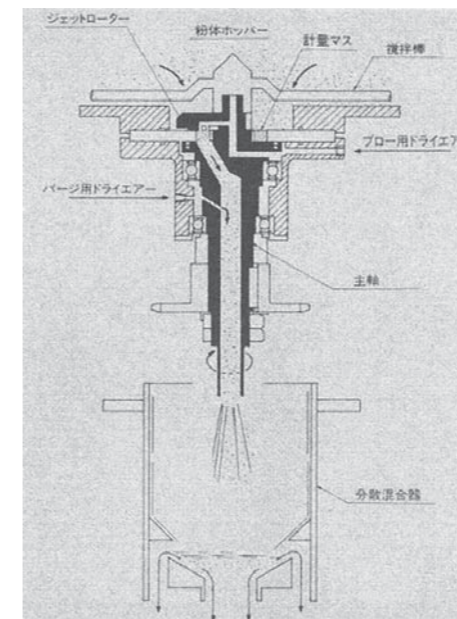


図13 粉末系高分子凝集剤の溶解作業に用いられる定量供給機及び分散混合器<sup>6)</sup>  
Fig.13 Volumetric feeder and dispersive mixer used to dissolve powder-type polymer flocculant

ただし、近年になって、図14に示すように溶解水に添加した粉末凝集剤を未溶解状態のまま機械的にメッシュ状フィルタに押し当て、透過したものを連続的に溶解液として供給する瞬間連続溶解装置が開発されている。回分式の設備に対して、設備の縮小化や溶解液の劣化を防ぐ手段として注目を集めている。

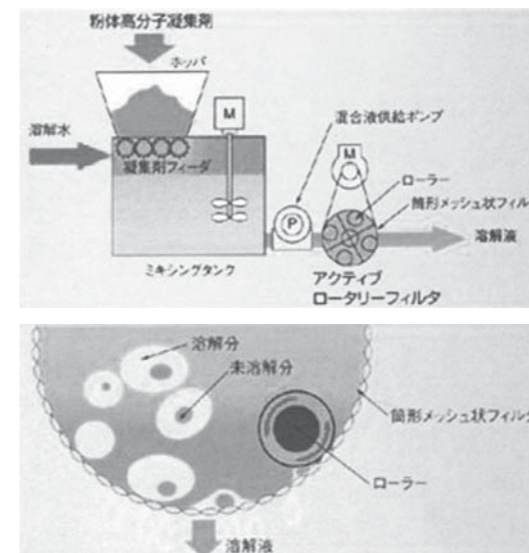


図14 連続溶解装置<sup>7)</sup>  
Fig.14 Continuous dissolving equipment of polymer flocculant

一方、液体は粉末同様の回分式の溶解装置も適用できるが、槽内を2ないし3区分に仕切を入れて所定の滞留時間を確保したり、薬品溶解水のライン中に液体凝集剤を注入し混合することで、連続的に溶解処理が可能である。粉末系と比較して容易に連続溶解設備を構築することが可能である。

### 4.2 脱水設備

先述したように凝集と凝集ではその分離特性は大きく異なり、プロセスで使われる機器にも多大な影響を与えてきた。特に脱水処理においては、凝集剤の変遷はそのまま脱水機の変遷であると言っても過言ではない。

凝集剤と脱水助剤を併用した無機凝集方式として真空、加圧脱水機を組合せた手法が下水汚泥脱水機の草分け的な存在である。これらの機器では凝集剤の欠点である自由水の分離性の悪さをカバーするために、長時間の脱水時間を確保する必要があり、大きな機器外形や設置面積が欠点であった。

その後、下水普及率の高まりとともに汚泥発生量が増加し、より処理効率を求められる時代となった。また同時に高分子凝集剤の適用及び性能向上とともに凝集させた汚泥を濾過圧搾するベルトプレス脱水機が適用されはじめた。この際に用いられたのはメタクリル酸エステル系のポリマー凝集剤であった。

更により高い凝集性能を有するアクリル酸エステル系凝集剤が適用されるにつれ、遠心場により固液分離を行う遠心脱水機が適用された。これら高分子凝集剤を使った機種では処理時間が10~15分という極めて短い時間により脱水汚泥を得ることが可能であり、無機凝集剤を用いた機器に対して機器の小型化が図られた。

近年では食品廃棄物やパルプ工程の脱水技術として使われてきた金属濾材系脱水機が適用されるようになってきた。これは凝集剤の更なる高機能化により、より強度の高い凝集フロックを形成し、金属製濾材で形成されたろ室に汚泥を圧入しその差圧で濾過を行うことが可能になったことが主要因として推察される。

上記の事例を見ても分かるように、凝集方式や凝集剤の性能に伴い最適な脱水方式や機種が変遷していった過程を見ても凝集処理の重要性が分かる。

### 4.3 凝集操作

#### 4.3.1 高分子凝集剤による1液調質について

濾過系の脱水機では凝集混和槽と呼ばれる汚泥と薬品を一定時間混合する槽を設置するケースが多い。一方、遠心脱水機では特定の槽を設置せず、汚泥配管もしくは機内中に直接注入する方式がとられている。

(1) 凝集混和槽を設置する場合(濾過系脱水機)

混合手法により、緩速攪拌のみの場合と急速⇒緩速攪拌を組合せた2パターンに大別される。

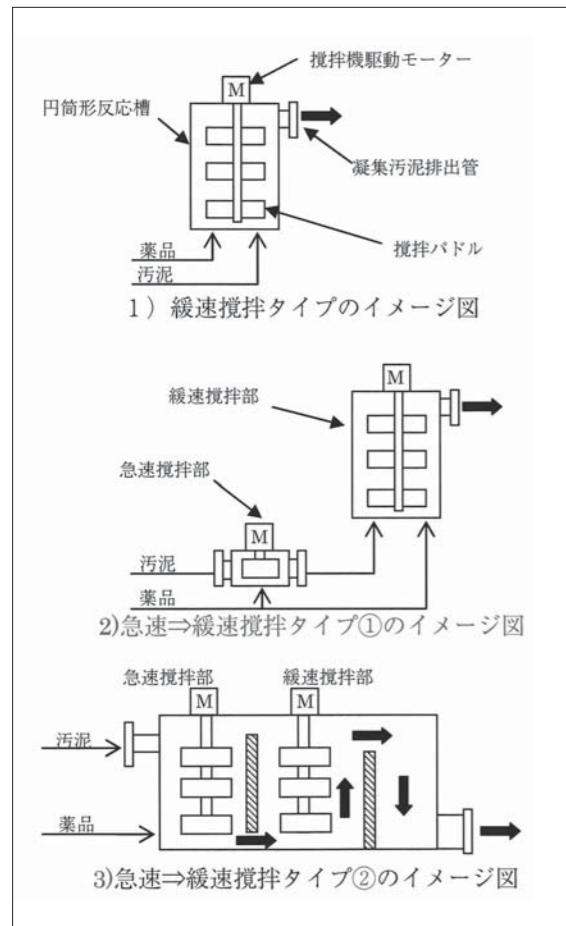


図15 凝集混和槽の形式  
Fig.15 Schematic flow sheet of flocculation tank

前者は特に凝集フロックの外形を保持することに主眼を置いたもので、金属濾材系脱水機に利用されてきた。これは2-2で解説した凝集原理に基づいて考えれば、一度に汚泥と薬品を完全に混合しないことから、汚泥粒子表面に吸着相と非吸着相が存在し、架橋凝集を生じやすい反応槽であると言える。特徴としては粗大な凝集フロックを形成させることが可能であるが、汚泥粒子の荷電中和反応が進み難く、凝集剤の添加率が高まる傾向にある。

一方、後者は汚泥と高分子を一度完全混合し、その後で架橋させる手法であり、主にベルトプレスに適用されてきた。基本的な凝集原理は急速攪拌部において均一な吸着相を形成させた後、緩速攪拌部でこれらを衝突凝集させ、凝集フロックの粗大化を図るものである。近年では金属濾材系脱水機にも適用される事例<sup>10)</sup>がある。

(2)凝集混和槽を設置しない場合(遠心脱水機)

遠心脱水機では図16に示すように汚泥供給配管に高分子凝集剤を添加するライン注入方式と脱水機内に注入する機内注入方式の2パターンがある。

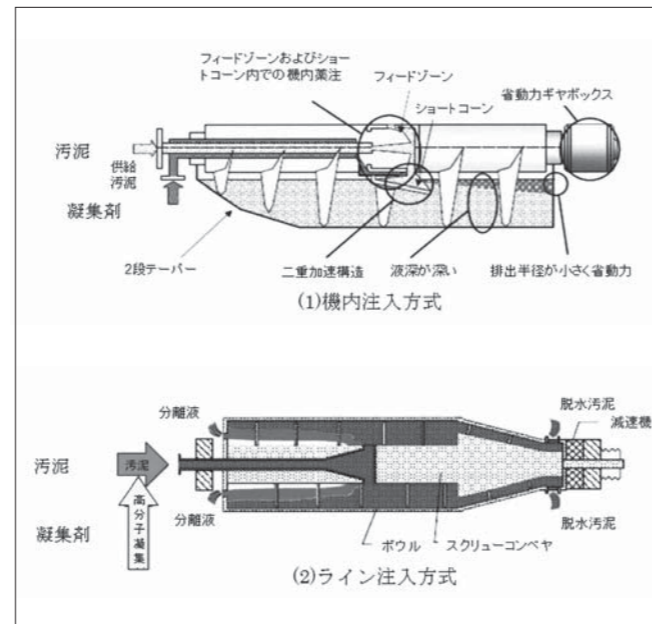


図16 遠心脱水機における高分子凝集剤の注入方式<sup>9)</sup>  
Fig.16 Injection method of polymer flocculant on centrifuge decanter

4.3.2 無機凝集剤と高分子凝集剤を用いた2液調質について

前述したように無機凝集剤は単品で使用されるケースは少なく、高分子凝集剤と併用されることが多い。ただし、2つの凝集剤の添加方法について、①無機凝集剤を先に添加する手法と②高分子凝集剤を先に添加する手法の2パターンが知られている。ここではこの2手法について解説する。

(1)無機凝集剤→高分子凝集剤添加

この場合、まず汚泥に凝集剤を添加・攪拌し、凝結やpH調整を行った後、高分子凝集剤を添加することが多い。図17に2液調質を行う設備フローを示す。ここでは高分子凝集剤を添加する槽において造粒濃縮と濃縮機能を有したものを紹介している。

この場合、2段階で添加される凝集剤はカチオン性よりむしろ両性系が使用される。

これは無機凝集剤の添加率が高い際に凝集フロックの架橋を行う場合、金属イオンの中和により形成される水酸化物(プラスに帯電)と汚泥(マイナス)を架橋する必要があり、カチオン性では両者を架橋するには限界があるためである。

経験的に両性とカチオン性凝集剤の使分けの目安となるのは、ポリ硫酸第二鉄を一例に挙げれば、汚泥中の対固形物量当りの製品重量換算の添加率が10~15%程度となることが多い。ただし、これはあくまで目安であり、汚泥中に荷電状態の汚泥粒子や細胞外代謝物(アニオン性高分子)が多く存在する場合、凝集剤の添加率が高まる傾向にある。

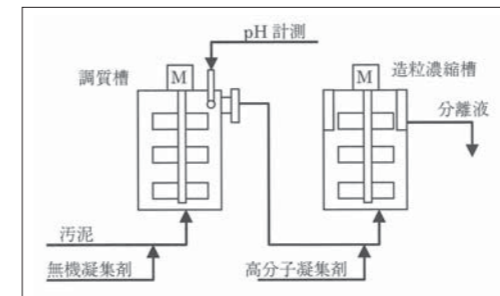


図17 二液調質における処理フロー  
Fig.17 Schematic flow of inorganic and polymer flocculant conditioning method

(2)高分子凝集剤→無機凝集剤添加

近年、高分子凝集剤により形成した凝集フロックをある程度の含水率まで濃縮・脱水した後、無機凝集剤を添加する手法が開発されてきた。従来の凝集操作時に高分子→無機凝集剤の順番で添加された場合、凝集フロックが分散することより濾過性の悪化や分離水側SS濃度が上昇する弊害があった。これに対し、この手法では濾過・濃縮が殆ど終わった領域(含水率では90%前後)に無機凝集剤を添加し、先述した汚泥粒子の荷電中和反応を生じさせることから、更なる含水率の低減が可能となる。適用機種としては濾過圧搾を主体とするベルトプレス、スクリュープレスはもちろんであるが、最近では遠心脱水機にも適用されるようになった。いずれの脱水機においても、以下の点が技術的なポイントと考えられる。

- ①ろ過濃縮操作が終わった位置で無機凝集剤を添加すること、
- ②添加された凝集剤と濃縮された汚泥の混合性を考慮すること、
- ③凝集剤を多く含む分離水を高分子凝集剤で凝集した領域に混合させないこと

図18はスクリュープレスでの適用事例である。上述の解決技術として、予備濃縮し濃度が高まった汚泥にポリ硫酸第二鉄を添加する手法がとられている。

また、図19は遠心脱水機への適用事例であり、同じくある程度遠心濃縮された部分に添加されるような工夫が施されている。

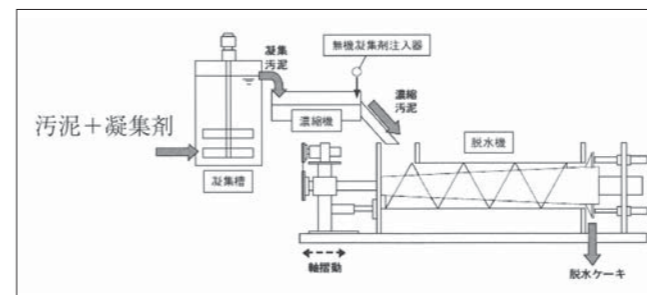


図18 スクリュープレスへの適用事例<sup>9)</sup>  
Fig.18 Application to screw press

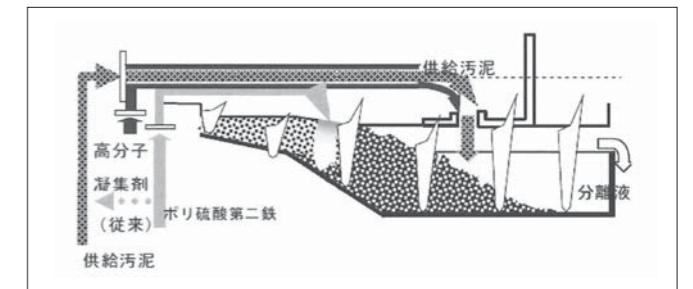


図19 遠心脱水機への適用事例<sup>9)</sup>  
Fig.19 Application to centrifuge decanter

5 さいごに

下水処理過程における凝集処理の重要性から、凝集の理論的な背景及び実際の使用方法について主に解説してきた。ただし、これはあくまで一般的な事例であり、現在では様々な改良が加えられている。

近年、焼却設備での温室効果ガス削減や汚泥の燃料化利用などの熱処理技術が注目を集めている。これらの熱処理技術では脱水汚泥中の水分の蒸発潜熱が補助燃料消費量を支配しており、言い換えれば前段の脱水・濃縮工程で如何に汚泥の低含水率化をはかるかが、燃費を左右する。こうしたことから、固液分離プロセスである汚泥処理において、水との分離効率を飛躍的に向上させる凝集処理の役割は今後もその重要性を増していくと考えられる。

参考文献

- 1) H.v.Helmholz:wied.Ann.7,337 (1879)
- 2) O.Stern:Z.Elektrochem.,30,508 (1924); 渡邊ら:表面,10,61 (1972)
- 3) 北原ら:界面電気現象,p51 (1972)
- 4) 東京都下水道サービス株式会社:ポリマー凝集剤 使用の手引き
- 5) 北原ら:界面・コロイド化学の基礎,p120
- 6) 赤武エンジニアリング:イートップ・サンフロー カタログ
- 7) 財団法人 下水道新技術推進機構:建設技術審査証明報告書 高分子凝集剤溶解装置 高分子凝集剤瞬間連続溶解装置(RCSS装置)
- 8) 財団法人下水道新技術推進機構:低動力型高効率型遠心脱水機技術マニュアル-2007年8月-
- 9) 社団法人日本下水道協会:第48回下水道研究発表会講演集平成23年度,p851、875
- 10) 社団法人日本下水道協会:第46回下水道研究発表会講演集平成21年度,p796

# スーパー繊維ろ過器 (PCF Filter)

## Super Fiber Filter (PCF Filter)

### 1 はじめに

下水処理施設のろ過設備は、処理場内で処理された水の中に含まれている浮遊物質 (SS) 分を除去し、水を再利用するために必要な設備である。再利用水の用途は、下水処理場内の機械用水、雑用水だけでなく、場外での利用を目的とした親水用水、修景用水とその用途は広く、下水処理水の再利用施設は今後起こりうる水不足に備えた渇水対策施設としても広く利用されていくと思われる。

本製品は、従来機種種の宿命である「機器投影断面積 ( $\pi r^2$ ) = ろ過面積」という考え方と異なり、集水管筒管面積 ( $2\pi rh$ ) がろ過面となるため、設置面積当たりのろ過面積が従来機種より大きくとれることを特徴とする繊維ろ過器である。

本稿にて PCF Filter の製品紹介を行う。

### 2 構造

従来のろ過器は、ろ過器の投影面がろ過面積 ( $\pi r^2$ ) となる。PCF Filter は、図 1 に示すようにろ過器中央に配置した集水管筒管面をろ過面積 ( $2\pi rh$ ) とするろ過器である。

図 2 に PCF Filter の本体を示す。図 3 にろ過器断面 (ろ過工程、逆洗工程) の模式図を示す。ろ過部は無数に開けた孔を有する集水管筒管の周囲に、集水管縦方向に無数の長い繊維束を配置した構造となっている。この集水管が密閉の外部円筒内に内蔵された構造となっており、原水は外部円筒部に供給され、ろ過水はろ過部集水管下部より排出される。

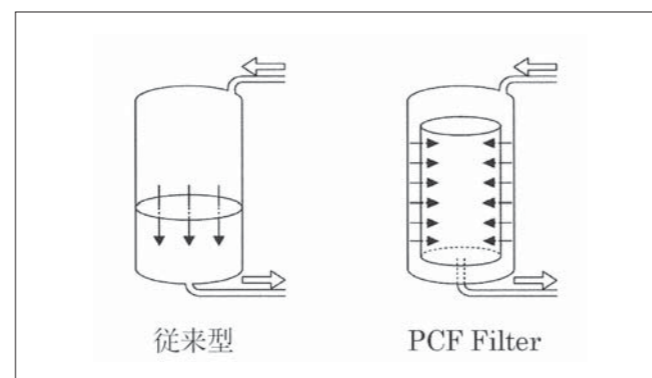


図 1 ろ過器の構造概要  
Fig.1 Structural outline of filter

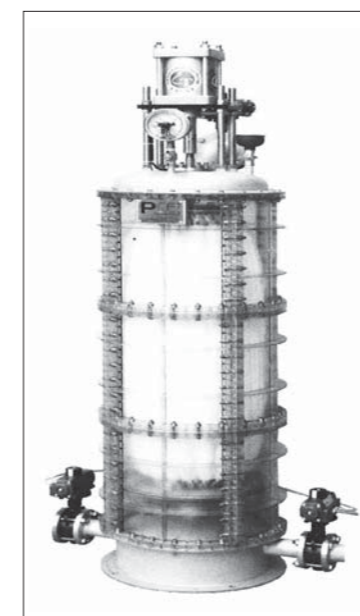


図 2 PCF Filter  
Fig.2 Photo of PCF Filter

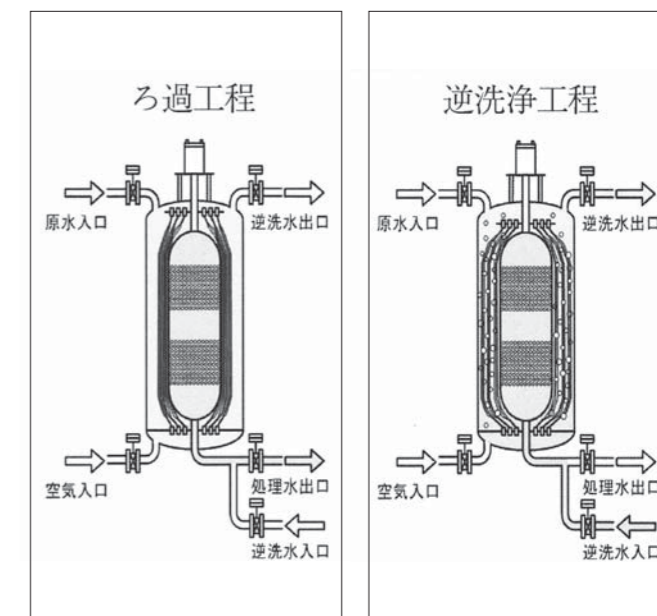


図 3 ろ過工程 / 逆洗浄工程  
Fig.3 Filtration process and Back-wash process

### 3 ろ過原理

ろ過器の運転は、ろ過工程と逆洗浄工程の 2 工程 (図 3 参照) に分けられる。以下にろ過工程と逆洗浄工程の原理について説明する。

#### 3.1 ろ過工程

ろ過工程時は、集水管の縦方向に設置した長繊維の束をエアシリンダにより縦方向に牽引する。繊維を牽引することにより繊維間のクリアランスを狭め、狭まった繊維束に原水を通過させ繊維ろ材にて原水中の浮遊物質を捕捉する。ろ過水は集水管にて集められるろ過器の外へ排出される。

#### 3.2 逆洗浄工程 (ろ材洗浄)

逆洗浄工程時は、ろ過工程時に上部に牽引して繊維束を固定したエアシリンダを下方に移動させることで繊維束を弛緩させる。弛緩した繊維は装置の下部から供給される圧縮空気により、下部から上部に向かってのみ洗いされる。洗浄水は集水管を通りろ過方向とは逆方向に洗浄水が供給される。洗浄工程で繊維に捕捉された浮遊物質は繊維から剥離され逆流水とともに装置の外に排出される。

### 4 特徴

#### 4.1 高い処理能力

ろ過面積は機器の投影面積に依らず、高さ按比例するため、機高が高い程省スペースで大量のろ過が可能となる。投影面積換算のろ過速度は、砂ろ過器 200m/日 に対し、機種によって異なるが 1000m/日 ~ 3000m/日のろ過能力を出すことができる。

#### 4.2 コンパクト

機器の投影面積当たりのろ過速度が高いため省スペースで大容量処理が可能なコンパクトなるろ過装置となっている。

#### 4.3 短時間洗浄

空気と洗浄水により浮遊物質を捕捉した固定ろ材を強力に洗浄できるため、短時間 (約 5 分程度) の逆洗時間でろ材を洗浄できる。

#### 4.4 優れた維持管理性

従来型ろ過器は、ろ材に砂等の粒状ろ材を使用しており逆洗浄工程の際、ろ材が外部に流出するため、定期的ろ材を補充している。PCF フィルターのろ材は繊維の束を集水管の上下で集水管に固定しているためろ材が外部に流出することはない。またろ材が固定されているため空気と洗浄水により強力な洗浄が可能となり、ろ過の障害となるマッドボール、ミミズ、ヒル等の発生がなく、常時次亜塩素酸ソーダの注入を行う必要はない。また異物が入ってきた場合繊維ろ材で捕捉できるため従来型ろ過器に必要なオートストレーナーも不要である。

### 5 浮遊物質 (SS) の除去能力

#### 5.1 性能確認方法

PCF フィルターの SS の除去性能は下水処理施設からの二次処理水を用いて連続テストを行い確認した。同下水処理施設の二次処理水にて、ろ過速度 200m/日 で運転中の砂ろ過設備における SS の除去性能と比較しながら性能確認を行った。

砂ろ過の能力と比較するため、性能は機器の投影断面積におけるろ過速度 (m/日) に換算した。

西田 幸雄  
NISHIDA Yukio  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
水処理グループ

#### Abstract

TSK introduced the PCF Filter (Pore Controllable Fiber Filter), a product of SENG CO., Ltd in the Republic of Korea.

This filter features flexible fiber bundles that are placed around a water collecting pipe (punched pipe), which is positioned inside the filter.

The flexible fiber bundles are drawn up vertically (via tensile force) to reduce the clearance between each fiber. After the fibers are drawn up, filtration is performed by pumping raw water through the clearance between the fiber bundles.

The PCF Filter is equipped with a back washing system for cleaning the fiber bundles. After the release of the tensile force, the system reverses the flow of water containing air and sends it through the collecting pipe to thoroughly clean the fiber bundles.

この繊維ろ過器は韓国の SENG 社からの導入製品である。

PCF Filter とは Pore Controllable Fiber Filter の頭文字をとったものである。ストレーナーの周囲に配置されているフレキシブルな繊維の束を縦方向に引っ張ることで繊維間のクリアランスを微細穴状態になるまで狭める。その狭まった繊維束に原水を通過させることでろ過をおこなう。

本ろ過器は、縦方向に引っ張り緊張していた繊維をゆるめた後、空気を伴った逆流水で繊維束を確実に強力な洗浄ができるろ材の洗浄機構をもっている。

キーワード: 水処理、繊維、ろ過、省スペース、維持管理  
Keyword: Water treatment, fibers, filtration, space conservation, easy operation and maintenance

### 5.2 浮遊物質 (SS) の経時変化

図4に原水、砂ろ過水、繊維ろ過水のSSの経時変化を示す。砂ろ過器はろ過速度200m/日にて運転し、PCF filterはろ過速度1500 (m/日)にて運転した結果である。

本結果よりPCF Filterからのろ過水は、ろ過速度が砂ろ過器の7.5倍でありながらろ過水中のSSが下廻り、砂ろ過水を上廻るろ過水質を示している。

### 5.3 浮遊物質 (SS) の除去率

図5にろ過速度を変化させた場合のSS除去率に及ぼす影響を示す。本図は、2か月毎に3回行った調査データを元に、プロットしたものである。

PCF FilterのSS除去能力は、ろ過速度 (m/日) の影響を受けることなく安定したSS除去性能を得ることができる。

### 5.4 逆洗効率

本ろ過装置の運転ろ過圧は (0.014 ~ 0.075MPa) である。SS捕捉許容値は約80 ~ 120g-SS/m<sup>2</sup>であり、SS捕捉量が許容値に達するろ過圧力は0.075MPaとなり逆洗浄がはじまる。洗浄はエアを供給しながら洗浄水にて逆洗させるものである。約5分の洗浄後のろ

過圧はろ過初期時の圧力に回復していることから短時間で効率よくろ材の洗浄がおこなわれているといえる。また洗浄水量の比率 (洗浄水÷処理量) は砂ろ過の5 ~ 10%に対して3 ~ 5%である。

### 5.4 PCF Filterの能力

以下にPCF Filterの能力についてまとめる。

- ①装置の投影面積が同一の場合、砂ろ過器の約7.5倍以上の処理能力を有する。
- ②ろ過速度 (m/日) に係らず安定したSS除去能力を有する。
- ③少ない洗浄水で短時間に逆洗ができる効率のよい逆洗システムを有する。

## 6 浄機器のラインアップ

PCF Filterのろ過面積の大小は機高に影響を受けるため、機種により投影面積当たりのろ過速度 (m/日) は異なる。PCF Filterのユニット構成はPCF600Nまでは1塔/ユニット、PCF1250N ~ 5000Nは4塔/ユニットの構成となっている。

表1にPCF Filterのラインアップを示す。

## 7 実績

PCF Filterは、韓国のSSENG社で開発されたろ過器である。韓国国内では1000機以上の実績があり、中国、ロシアとインドネシアを主としたアジア地区を中心に実績をのばしている。用途としては下水処理施設向けがメインであるが、鉄鋼業界を中心に民間排水処理施設にも多くの実績がある。他の用途としてはRO膜による下水再利用の前処理、プール水のろ過等、業界を問わず幅広い実績がある。PCF Filterの姉妹機種としてGFF Filter (Gravity Flow Fiber Filter) 「重力式繊維ろ過装置」があり、下水処理施設の全量ろ過施設のろ過装置として採用されている。

PCF Filterの日本での実績は民間で5件以上あり、今後下水処理施設にも広く採用されていくものと思われる。

## 8 まとめ

下水処理施設から排出される二次処理水の高度処理水は、処理場内のリユースだけでなく、処理場外施設である公園等で、親水利用、修景水利用されており、水の有効利用として広がってゆくものと思われる。また閉鎖性水域対応としての下水処理水の全量ろ過施設用途も広がりつつあり、ろ過装置の市場はますます成長してゆくものと思われる。

本ろ過装置は、従来の砂ろ過器とコンセプトが異なる構造となっておりコンパクトで大容量処理が可能なるろ過器であることから広く市場に認知していただけるものと確信している。

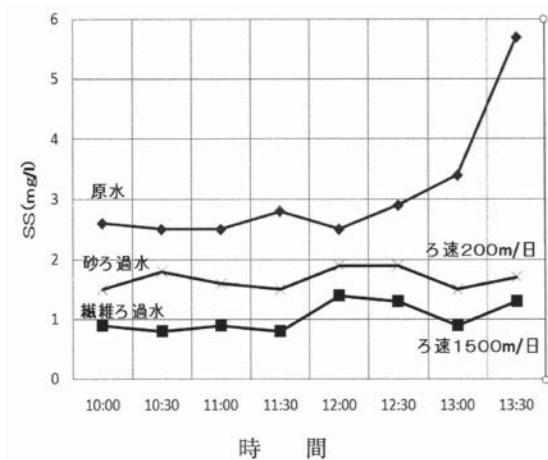


図4 浮遊物質の比較  
Fig.4 Comparison of SS concentration in raw water and filtrate

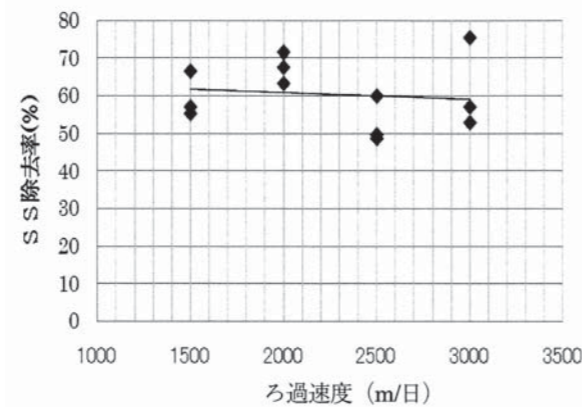


図5 浮遊物質の除去率  
Fig.5 Relation of filtration velocity and SS removal efficiency

表1 PCF Filter のラインアップ  
Table1 Lineup of PCF Filter

機種		PCF150N	PCF300N	PCF600N	PCF1250N	PCF2500N	PCF5000N
		(1塔)	(1塔)	(1塔)	(4塔)	(4塔)	(4塔)
処理能力	m <sup>3</sup> /日	100~150	200~300	500~750	900~1350	1600~2400	4000~5000
ろ過速度*	m/日	1000~1500	1200~1800	1500~2250	1200~1800	2300~3450	3000~4000

\*投影面積あたり

# 処理場のメンテナンス(遠隔監視システム)

## Using Remote Monitoring Systems to Handle the Maintenance of Water Treatment Facilities



今井 勝彦  
IMAI Katsuhiko  
月島テクノメンテサービス株式会社  
維持管理技術部  
第2課グループ

### Abstract

The “life cycle business (LCB)” concept is a new business model that is becoming an increasingly important part of the water environmental business of the Tsukishima Kikai Group.

In the midst of this trend, there are a growing number of instances in which a comprehensive evaluation method is being employed within the conventional construction work of plants. This rise is largely due to the need to improve the efficiency of plant operation and maintenance work while effectively lowering costs. At the same time, the attitudes of local governments towards investing in public work projects are currently changing. While governments tended to place construction costs first in the past, they are now beginning to give higher priority to “life cycle costs (LCC)”, such as the expenses for plant operation and maintenance.

At Tsukishima Techno Maintenance Service Co., Ltd we are currently working to address these customer needs by providing manpower saving systems and various tools for automation. This report highlights the ways in which these systems and tools are being introduced and utilized. It also discusses the respective tools we intend to develop for our business dedicated to creating ways to use sewage sludge as an alternative to coal.

月島機械グループの水環境事業において、LCBが重要なビジネスモデルになりつつある。

一方、プラント設備のみの受注工事においても、総合評価方式の採用が増加し、運転管理や補修工事の効率化およびコスト低減のニーズが高まり、地方自治体の公共投資に対する考え方が、従来の建設費重視から維持管理費を含めたLCCの最適化に移行しつつある。

月島テクノメンテサービスは、これらのニーズに対応するため、自動化や省人化を可能にする各ツールを導入し活用を図っている。

本書では、これらの導入および運用の状況を報告するとともに、今後、下水汚泥燃料化事業に展開する各ツールについて紹介する。

キーワード：ライフサイクルビジネス、効率化、遠隔監視

Keyword: Life cycle business, improve the efficiency, remote monitoring

### 1 はじめに

昨今、包括的管理委託(以下、包括委託)、PFI、DBOのライフサイクルビジネス(以下、LCB)にかかわる運転管理の効率化が求められている。新規・更新プラントの総合評価方式にも運転管理、補修工事の効率化、コスト低減が重要であり、これまでのイニシャルコスト重視からライフサイクルコスト(以下LCC)重視に移行しつつある。

月島テクノメンテサービス(以下、TTMS)は、これらに対応するため部門を越えて課題に取り組むべく「新しい運転管理技術の開発プロジェクト(以下、新技術PJ)」を2007年より3カ年計画で立ち上げた。(現在は汚泥燃料化案件対応のため期間延長中)新技術PJで開発した自動化・省人化を実現する各種ツールのC市N浄化センター(以下、浄化センター)への導入状況と、汚泥燃料化設備に導入した各種ツールについて紹介する。

#### 1.1 新技術PJのメンバー

新技術PJは関連部門横断型の月島グループ内プロジェクトであり、両社の各部門から選出されたメンバーで自動化・省人化を実現する各種ツールの機材選定・試験導入・検証と水平展開を行なっている。

#### 1.2 新技術PJが開発した各種ツール

汎用ツールを活用し試験導入を行い実用化すること(以下、開発)で運転管理の効率化を図る。即ち現場環境で使える「耐久性と機能、操作性」を検証するため現場に導入し評価を行った。本稿では浄化センターと汚泥燃料化設備に導入した表1のNo.6~11のツール(着色項目)について紹介する。

## 2 浄化センターへの取り組み

### 2.1 施設の概要

浄化センター(処理量:220,000m<sup>3</sup>/日、敷地面積:約140,000m<sup>2</sup>)は、マンホールポンプ施設(以下マンホールP)、汚水送水施設から送られる汚水・雨水の水処理から汚泥の濃縮、消化、脱水、焼却処理までの全設備をTTMSが包括委託(維持管理・小修繕)を受けて運転を行っている。浄化センターの包括委託において、夜間の省人化によるコスト削減の実現に新技術PJが開発した「遠隔監視システム」(以下、本システム)を導入した。

### 2.2 導入の目的

水処理施設、汚泥処理施設、焼却処理施設は敷地内に独立しており、各施設の監視室は24時間体制で人員を配置し設備監視を行っ

ている。本システムは情報共有による効率化を実現することを目的に「2.4 遠隔監視システム(DCSの遠隔操作・監視ツール)」、「2.5 遠隔監視システム(機器の遠隔操作・監視システム)」、「2.6 設備の遠隔監視システム」、「2.7 自動水分計」の4ツールで構成されている。

### 2.3 浄化センターのシステム構成図

浄化センターを区分すると水処理設備、汚泥処理設備、焼却処理設備と、場外設備に分類される。これら設備(棟)間にLANケーブルを3系統(映像系、DCS操作系、情報共有系)に分けて敷設した。ネットワーク負荷を考慮したことと、総延長3.8kmと長いことから断線時の予備回線としての意味も持たせている。設備(棟)には以下に述べる各ツールを導入し、場外設備には携帯電波を利用した無線通信装置を設置して接続した(図1)。

表1 開発した各種ツール一覧  
Table1 The list of various developed tools

No	技術名称	機能説明
1	振動診断(音波式)	異常振動を音波で検出することで非接触にて診断できる。
2	振動診断(オンライン式)	機器に常設しオンラインで振動データの蓄積と解析を行う。
3	焼却炉運転支援システム	低燃費状態を維持するために必要な運転データを提供する。
4	モータ診断	モータの高調波を測定することで、運転中に劣化診断する。
5	油漏れ検知	油漏れ検知器と自動通報装置を組み合わせて異常通報する。
6	遠隔監視(映像)	WEB・アナログカメラを組合せてニーズに合わせた監視を行う。
7	遠隔監視(数値)	電流や電圧の記録し、遠隔地で監視を行う。
8	遠隔操作	DCS等の機器に組み込み遠隔地から監視、操作を行う。
9	自動水分計	ケーキ圧送ライン中に組み込みリアルタイムに含水率を測定する。
10	スマートテレキャスター	カメラとヘッドセット、伝送PCを使い遠隔地で状況確認する。
11	設備情報管理システム	各種情報(機器台帳、工事、点検、故障、予備品等)管理システム

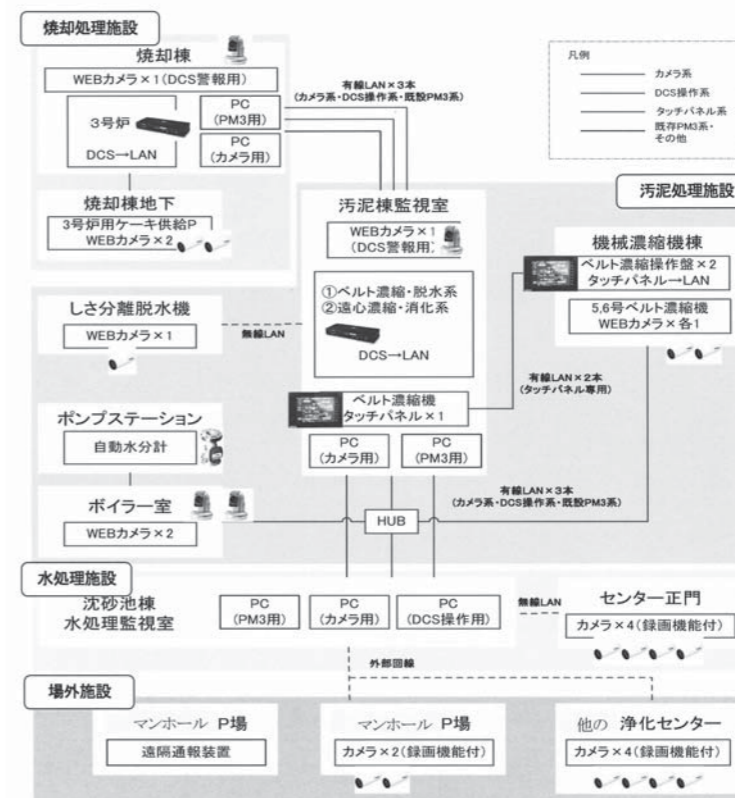


図1 システム構成図  
Fig.1 System configuration chart

\*1 社内LANと同等のセキュリティ機能を持たせることで、データの安全を確保している。  
\*2 各設備(棟)に点在する監視室のPCをネットワークに接続し、センター共有サーバーにて情報を共有している。

2.4 遠隔監視システム(DCSの遠隔操作・監視ツール)

KVMスイッチ(Keyboard Video Mouse (図3))とは、機器(PC)とコンソールデバイス(キーボード、モニター、マウス)の間に接続することによって、その機器へのリモートアクセスを実現するリモートアクセスユニットである。

KVMスイッチと接続された機器はWebブラウザや専用アプリケーションを使用して他のPCからリモートアクセスが行え、対象機器のOSに制限はなく(Windows、Mac、Linux、Sun、シリアル対応)、接続インターフェースはPS/2とUSBの両方に対応し、様々な機器(PC)に接続できる(図4)。(本機器はサーバーの遠隔操作用に開発された。)

汚泥処理施設、焼却処理施設のDCS本体(PC)とDCS用キーボード、モニター、マウスの間にKVMスイッチを取り付けることで、



図2 汎用PC(水処理監視室)  
Fig.2 Monitoring by computer in the monitoring room

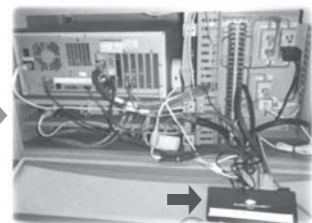


図3 KVMスイッチ(汚泥棟監視室)  
Fig.3 KVM switch in the monitoring room

水処理監視室に設置した監視用PCから遠隔操作・監視が行える(図2、図3、表2)。

2.5 遠隔監視システム(機器の遠隔操作・監視システム)

ベルト濃縮機は現場操作のみであったが、汚泥の性状に合わせた運転調整が必要となった。このためフロック形成状態を確認しながら運転調整や無人運転が行えるように既設現場操作盤を改良した。現場盤と汚泥処理監視室に設置したタッチパネル(以下TP)で双方から操作可能とした。また、監視カメラを導入したことで、監視室からリアルタイムで濃縮汚泥の状態を把握できるようにした(図5~図8)。

TP間はLANケーブルで接続する。汚泥監視室のTPは2台あるベルト濃縮機用TPを切り替えて使用する。

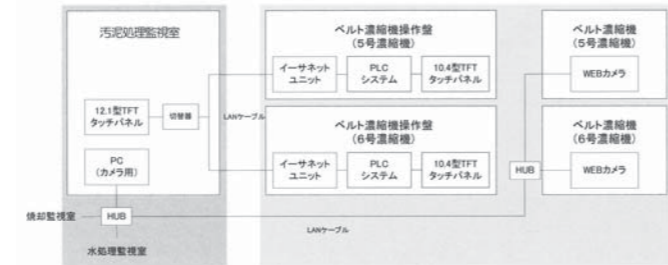


図5 タッチパネルシステム構成図  
Fig.5 Configuration chart of touch panel system

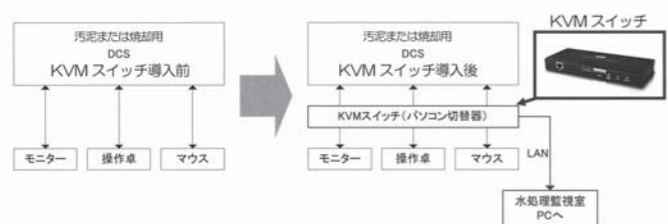


図4 KVMスイッチの導入概要  
Fig.4 Outline of KVM switch installation



図6 現場盤にある操作TP  
Fig.6 Touch panel for operating on the local control panel



図8 ベルト濃縮機のケーキ排出部に設置した監視カメラと固定アーム  
Fig.8 Monitoring camera and arm for fixation set up in sludge discharge part of belt thickener



図7 汚泥処理監視室内の遠隔操作TPと映像用PC  
Fig.7 Touch panel for remote operating and computer for monitoring

表2 DCS遠隔監視・操作ツールの導入状況  
Table2 The installation of remote monitoring and remote control tools for DCS(Distributed Control System)

監視室	対象設備	遠隔操作・監視(KVMスイッチ)	監視のみ(監視カメラ)	備考
汚泥	ベルト濃縮機・脱水設備 DCS	○	○	
	遠心分離機・帯状濃縮機 DCS	×*	○	旧式の為未対応
	旧グラフィックパネル	-	-	
焼却	1・2号炉 DCS	×*	○	旧式の為未対応
	3号炉 DCS	○	○	
		2台		

\*DCSの機器仕様が合わず(端子規格が古く接続できない)、代わりにWEBカメラによる監視を行った。

2.6 設備の遠隔監視システム

現場機器の状態をリアルタイムで確認することで、細かな調整運転が行えるようになった。防滴構造(IP66)に対応した赤外線灯光器を内蔵したカメラと、カメラ固定アームを使用することで、取り付け方法の自由度を高めた。また複数の下水処理施設での試験運用により、硫化水素等の腐食性ガス環境下での耐久性確認が行えた(図9~12、表3)。

2.7 自動水分計

焼却炉の安定した運転管理にはケーキ水分の管理が重要である。ケーキ水分を安定維持することで汚泥焼却設備の補助燃料が削減できるため、ケーキ水分の常時監視を行えるようにした。ケーキ圧送配管の一部に水分計本体を設置し、本機のアナログデータをデータロガーで記録しネットワーク経由で汚泥処理監視室にて遠隔監視を行う。

実測データは3日間の測定で手分析と水分計との差が少なく十分実用性があると判断できたため、通年テストを実施し確認した(図13)。



図9 監視室のモニタによる監視  
Fig.9 Monitoring screen from cameras

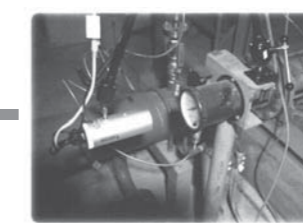


図10 ①ケーキ圧送PGの監視  
Fig.10 Monitoring for the pressure gauge of cake pump



図11 ②マンホールP内の監視  
Fig.11 Monitoring for manhole pump



図12 ④しき脱水機用ホッパーの監視  
Fig.12 Monitoring for the hopper of debris dewatering machine

表3 監視カメラの導入状況  
Table3 The installation of Surveillance cameras

設置場所	設置台数	設置目的
①他浄化センター(場外)	4台	正門、場内の不審者の監視
②マンホールP(場外)	2台	マンホールPの流入口の簡易スクリーン閉塞状態監視
③浄化センター正門	4台	正門、裏門および周辺の不審者監視
④しき分離脱水機	1台	しき分離脱水機のしきホッパーレベル確認
⑤ボイラー室	2台	圧力・水位等の設備全体確認(法定点検は別途実施)
⑥機械濃縮機	2台	ベルト濃縮機のケーキ排出状態確認
⑦焼却機	2台	ケーキ圧送ポンプ吐出圧力の確認
⑧汚泥処理監視室	1台	グラフィックパネルおよび、DCS(1981年式)の監視
⑨焼却処理監視室	1台	グラフィックパネルおよび、DCS(1981年式)の監視
合計	19台	

\*カメラのタイプ(固定式、可動式、防水、防爆等)については現地調査で最適なタイプを選定した

【水分計の仕様】

- ・測定方法：マイクロ波式
- ・測定範囲：水分 65 ~ 100%
- ・耐圧：1.6MPa ~ 10MPa
- ・口径：50A ~ 300A  
高圧 100A ~ 200A

【マイクロ波式水分計の特徴】

- ・マイクロ波式は光学式と比較して汚れの影響が少ない(送受信部がセラミック性であるため、汚泥の付着が少ない)
- ・洗浄等のメンテナンスが不要
- ・公共の下水道施設で4年以上メンテナンスフリーの実績有(TTMSが管理する事業所の運用実績)
- ・測定時に測定物質の「色」に影響を受けない
- ・他社にはない耐圧10MPaの高圧タイプがあり、脱水ケーキ等の測定が可能(図14、15)

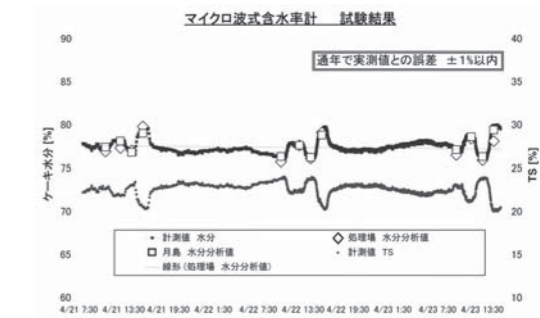


図13 水分計の実測データ  
Fig.13 Monitoring data of water content meter



図14 自動水分計の設置状況  
Fig.14 State of installation of automatic water content meter

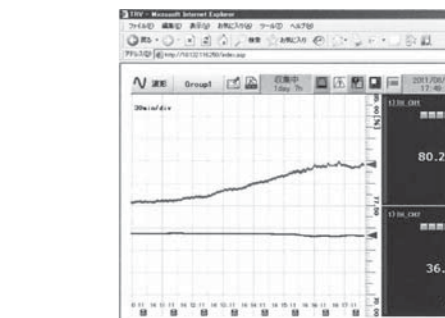


図15 ケーキ水分のモニタリング画面  
Fig.15 Monitoring of water content meter

### 3 導入効果と今後の課題

#### 3.1 導入効果

浄化センターにおける本システムの導入による効果は安全性の確保と省人化(効率化)の両立にある。水処理施設・汚泥処理施設・焼却処理施設の各監視室の夜勤人員を再編成し、水処理監視室に人員を集中させることで省人化(効率化)を行った。本システムを使うことで汚泥処理施設・焼却処理施設における現場作業等の対応が必要な場合、水処理施設の監視室で汚泥処理施設・焼却処理施設を遠隔監視し、異常があれば通報や遠隔操作を行うことが可能になった(表4)。

#### 3.2 今後の課題

##### (1) 技術者の育成

本ツールを使用する場合、監視元である水処理監視室のオペレータは汚泥・焼却設備の運転管理ができなければ遠隔監視が行えない。そのため、浄化センターの維持管理に精通した技術者の育成が必要になる。

##### (2) 客先の理解

本ツールを使用する場合、客先への十分な説明を行い、理解していただく必要がある。ネットワークを経由してTTMS・TSKの技術者が

設備の状況を把握することで迅速な対応が可能になる。しかし客先の視点からすれば情報がネットワークを介して漏洩することに対する心配が絶えず付きまとう。セキュリティ機能の強化と客先との情報の取扱いに関する取り決めが必要である。

### 4 汚泥燃料化設備に導入中の遠隔監視システム紹介

#### 4.1 システム導入の背景

PFI (DBO) 方式での発注となる汚泥燃料化案件においては、運営管理(運転管理、補修工事)期間が20年間にわたり、ライフサイクルコストの最適化を図ることが最も重要な課題となっている。運営管理の中でも特に重要な部分を占める、運転管理(現場作業負荷監視・夜間体制)のコスト最適化を図るためには、新技術PJにて得た自動化・省人化の成果を本設備に展開し各種ツールの導入を行い活用していく必要がある。また、一つの燃料化案件だけでなく、複数の将来案件にも展開することによって、期待される効果が発揮されることになる。ただし、これを実現するためには設計・建設が運営管理と一体となり設備の完成度を高める必要がある(図16)。

表4 作業員の人員体制  
Table4 Improvement of the worker formation after installation of new tools

	水処理監視室 (MP、中継P含む)	汚泥処理監視室	焼却処理監視室
本ツール導入前の 夜勤体制 (2010年以降の体制)	日勤 + 夜勤 夜間作業がある場合を想定し夜間作業に対応できる人員を2名以上あらかじめ配置している。 各監視室は完全に独立し電話でのみ連絡。	日勤 + 夜勤	日勤 + 夜勤
本ツール導入後の夜勤体制 (2011年以降の体制)	日勤 + (夜勤 + 1名) 汚泥処理監視室と焼却処理監視室は最小限の人員とする。 夜間作業がある場合、人員に余裕を持たせた水処理監視室が遠隔で各処理を監視する。 (確保した人員を保全班に再配置し、設備保全の充実を行った。)	日勤 + (夜勤 - 1名)	日勤 + (夜勤 - 1名)

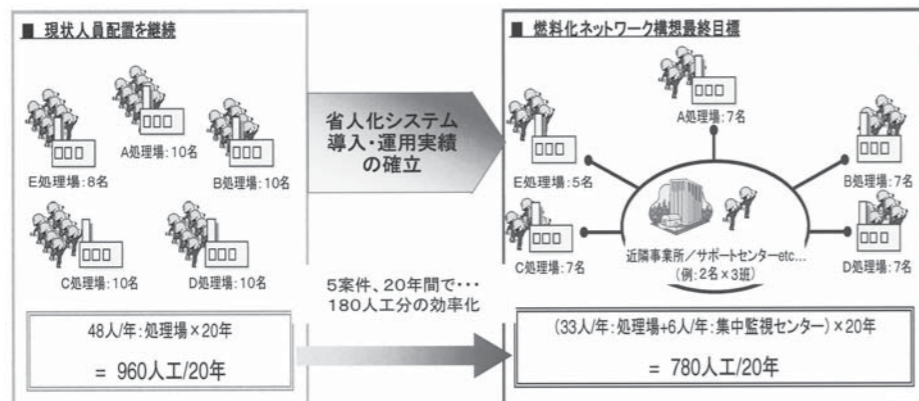


図16 システム導入によるコストダウン効果イメージ  
Fig.16 Concept in effect of cost reduction using new system

#### 4.2 システム紹介(図17)

##### ① 歩く監視室

場内に無線LAN環境を構築し、巡回点検時や保守作業時においても、モバイルPCにて中央監視操作室と同等の操作環境を作ること、中央監視操作室に作業員が常駐する必要性を無くし、人員コストの削減を図る。

##### ② WEBサーバーによる遠隔監視

TSKグループの社内LAN(以下、社内LAN)と事業所内のLANを繋げることで、日常監視の2重化による設備安定稼働を行うだけでなく、夜間遠隔監視操作による現場夜勤者ゼロを目指し、人員コストの削減を図る。

##### ③ 転倒検知・通報

少人数管理でも作業員の急病・転倒発生時の早期発見を行うため、転倒の検知→警報発報→電話回線による自動通報し、事業所長や担当者へ通報を行うことで作業員の安全を確保する。

##### ④ WEBカメラ、画像解析

WEBカメラによる設備監視を行うことで、夜間無人時でも遠方監視を可能にする。また、画像解析により運転員が常時監視しなくても異常発生の予兆を感知できるシステム開発を検討している。

##### ⑤ 設備の自動化(フェイルセーフ)

重大故障発生時に設備を安全に自動停止(内部残留物除去や機器に損傷を与えない停止)させるシーケンスを組むことで、少人数管理時・夜間無人時でも安全に設備停止を行う。

##### ⑥ スマートテレキャスター

突発故障等が発生した場合、スマートテレキャスター(映像の送信と、音声の双方向通話できる装置)を現場で使用し事業所LANから社内LANを経由して、現場⇄本社(TTMS・TSK)間で迅速に情報共有する。それにより、初動対応や緊急対応を円滑に行うことで、設備停止期間を短くし、汚泥処理量減少にともなうペナルティー防止を図る。

##### ⑦ 機器のデータ自動収集(場内LANの活用)

###### 1) 機器電流値

DCSには取り込まないが設備管理に必要な(機器状態の把握のため)な機器の電流値データを自動収集し、機器状態の把握、予防保全を図る。

###### 2) 簡易オンライン振動診断ユニット

高速回転機器(循環ファン、誘引ファン、消化ガス昇圧ファン)に設置してリアルタイムにデータ収集し、振動診断を行うことで、故障・突発停止を予防するだけでなく、補修時期を見直すことで工事コストの削減を図る。

##### ⑧ 設備情報管理システム活用による運営管理

点検データ、機器故障・補修履歴、予備品管理情報の一元管理を行うことで、書類(運転日報や各種報告書、故障対応など)の活用を

行うだけでなく、将来の設備運用計画に利用し、運営管理の効率化を図る。

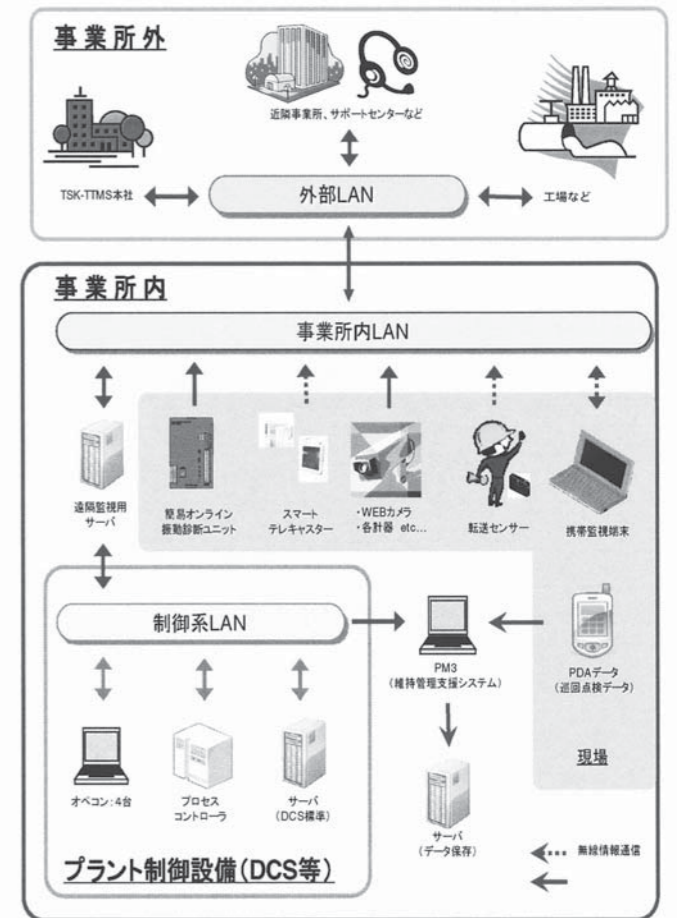


図17 現場システム全体概要図  
Fig.17 Outline of the whole system for site

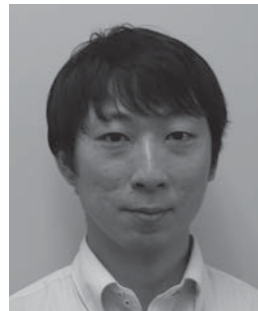
#### 4.3 今後の取り組み

この様に、汚泥燃料化設備には数々の省人化(効率化)ツールを導入している。2011年9月下旬より試運転を開始し、その中で各システムの調整と効果検証と活用を行っている。これらはPFI(DBO)、包括委託や総合評価方式に活用できるものであるため、運用レベルを順次高めていきたい。本燃料化案件だけでなく将来案件も含め、複数の汚泥燃料化設備が稼働すれば、遠方監視センターの構築・運用も検討する。夜間の集中監視は省人化における重要な課題であり、今後のLCB、LCCに多大な影響を与える重要なファクターと考える。

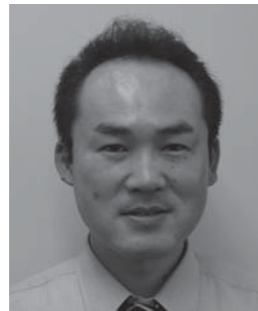


# 東日本大震災からの下水処理場復興支援報告

## Report on the Support Efforts to Help Rebuild the Wastewater Treatment Plants Damaged by the Great East Japan Earthquake



倭 常郎  
YAMATO Tsuneo  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
下水グループ



小林 雅道  
KOBAYASHI Masamichi  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
下水グループ

### 1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災。16年前の阪神淡路大震災を遙かに上回るその被害は、日本だけにとどまらず世界にまで影響をもたらした。加えて津波による被害は過去に類を見ない甚大なものであり、重要な顧客の多い東北地区では迅速な状況把握ならびに復旧が求められていた。

月島機械は災害復旧対策室を3月14日に立ち上げ、3月18日には現地での被害状況調査に着手した。そして、月島機械が既設汚泥脱水設備を納入している仙台市南蒲生浄化センターと宮城県仙塩浄化センターの復旧支援にいち早く着手した。この2ヶ所の下水処理場は大規模施設であり、被害状況が特に甚大であった。

本稿では、復旧支援の取り組みの内、仙台市南蒲生浄化センターにおける汚泥脱水設備の応急復旧と場内堆積汚泥の浚渫処理について報告する。

### 2 応急復旧の流れについて

南蒲生浄化センターは仙台市の下水の約7割を処理する基幹処理場（流入下水水量約350,000m<sup>3</sup>/日）であるが、処理場は最臨海部に位置していたため津波による被害は甚大であった（図1）。一方、仙台市の中心部は津波による被害が少なく、震災後1ヶ月が経過した頃には水道、電気、ガスが復旧し、流入下水水量は震災前とほとんど変わらない状況となった。

図2に全体概略フロー、図3に応急復旧の手順を示す。まず、仙台市殿は、流入してきた下水を最初沈殿池まで通水し、上澄水を次亜塩素酸ソーダで消毒して海に放流する処理（簡易放流）を行った。その後、最初沈殿池に沈んだ汚泥は日増しに増え、スカム発生により放流水質の悪化が懸念されたため、汚泥処理設備の早期復旧が課題となった。

月島機械が3月18日に既設脱水設備の被害状況調査を行った結果、脱水機（遠心脱水機30m<sup>3</sup>/h×5台）は建屋の4階部分に設置されていたため被害を免れていたが、1階、地階の補機類は全て水没、冠水していた。また、電力回復の見通しもこの時点では立っていないことから、発電機を含む仮設汚泥脱水設備一式を提案、設置し、汚泥処理機能の確保に貢献した（仮設I工事）。

その後、汚泥処理容量の増強が必要になったため、既設汚泥処理設備の応急復旧を行い（仮設II工事）、現在も応急復旧した本設備に

て汚泥処理を継続している（H24年1月現在）。仮設II設備が立ち上がった後、仮設I設備は最終沈殿池堆積汚泥の脱水処理に使用した。



図1 震災後の被害状況(最初沈殿池周り)  
Fig.1 Damage around the primary sedimentation tank after the Great East Japan Earthquake

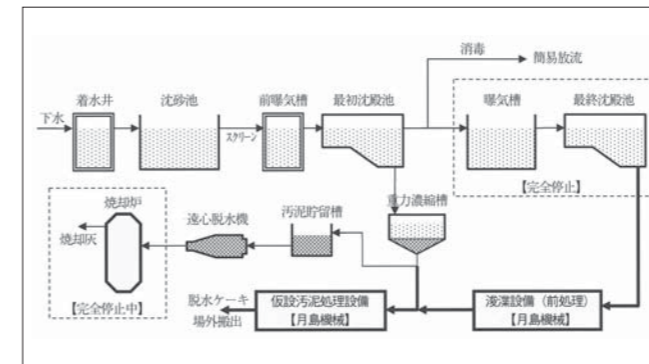


図2 南蒲生浄化センター全体概略フロー  
Fig.2 Overview flow at Minami-Gamou wastewater treatment plant

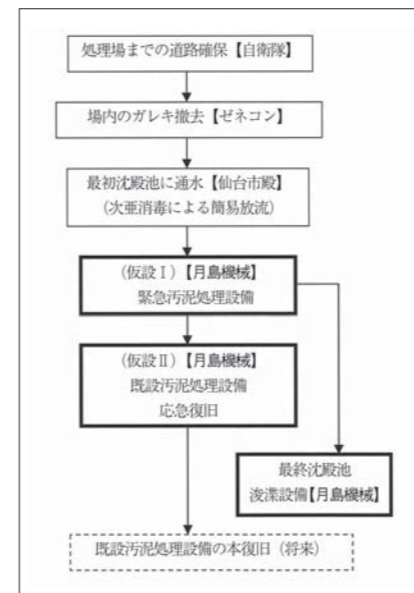


図3 応急復旧の手順  
Fig.3 Procedure of emergency restoration

### 3 流入下水の汚泥処理について

#### 3.1 汚泥処理フロー

ここでは緊急対応で設置した仮設汚泥処理設備（仮設I）について紹介する。図4に仮設汚泥処理設備のフローシートを示す。月島機械の範囲としては、初沈汚泥ピットからの汚泥引抜き、重力濃縮槽の応急復旧、仮設脱水設備（図5）までの一連の汚泥処理設備全てを施工した。また、1階、地階の機器類は全て水没していたため、基本的に機器、制御盤、配管、配線の全てを仮設とした。

仮設脱水機については、下記理由により月島機械の低動力型高効率遠心脱水機（10m<sup>3</sup>/h×2台）を採用した（図6）。

- (1) 汚泥性状の変動に強い  
通常時レベルの維持管理ができず汚泥性状の変動が予想されたため。
- (2) 低動力である  
電気の供給がストップしており、供給できる電力に制限があるため。
- (3) 軽量かつコンパクトである  
限られたスペースにスピーディな施工が求められたため。
- (4) 使用水量が少ない  
水の確保が困難なため。

仮設脱水機の1台目は、市川事業所に保管されていたPR・実験用のものを現地に運び込み4月14日に試運転を行い18日より本格運転した。2台目については海外提携先のANDRITZ社より最短納期で調達、フランスから空輸して4月末の稼働にこぎつけた。補機類に関しては、納期最優先であったため、そのほとんどがリース品を転用したものであった。4月中旬の時点で最初沈殿池の汚泥界面はオーバーフローレベルまで達しており、まさにギリギリのタイミングで汚泥処理が間に合った。

また、仮設脱水設備は屋外設置であり運転は仙台市殿で行うこと、脱水ケーキの搬送はトラック受けすることから運転・操作管理性を考慮し、仮設脱水設備全体をテントで覆った。

仮設脱水設備の計画にあたっては、以下に示す“水の確保”および“高濃度汚泥の送泥”を考慮した設備構成とした。

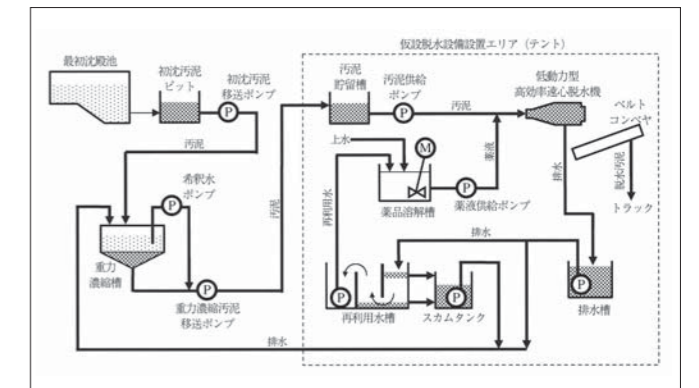


図4 仮設脱水設備 概略フロー  
Fig.4 Overview flow of the temporary dewatering plant



図5 仮設脱水設備 全景  
Fig.5 Full view of the temporary dewatering machine



図6 仮設脱水機運転の状況  
Fig.6 Operational condition of the temporary dewatering machine

### 3.1.2 高濃度汚泥の送泥について

本センターの流入汚泥は濃縮性が良好であり、重力濃縮後の汚泥濃度(TS)は5%を超え(最大でTS 8%程度)、配管抵抗が大きくなるため移送ポンプによる送泥が困難であった。このような場合、通常は汚泥配管中に処理水を注水し希釈して送泥するが、水が確保出来なかったため、重力濃縮槽の上澄水および最初沈殿池の上澄水で重力濃縮汚泥の濃度調整を行い、連続かつ安定した送泥を可能とした。

### 3.2 脱水機の運転状況について

脱水対象の汚泥は、TS 3～5%程度の重力濃縮生汚泥であり脱水性は極めて良好であった。無薬注での脱水も可能であったが、分離液のSS回収率を確保するため汚泥中の固形分(DS)に対し0.2%程度の割合で高分子凝集剤を添加し、そのとき含水率は70%程度であった。

仮設脱水設備の稼働後、汚泥処理能力のさらなる増強の計画に対し、既設脱水設備(遠心脱水機30m<sup>3</sup>/h×2台)の応急復旧を行った。その後、仮設脱水設備については、当初の目的である緊急的な汚泥処理能力確保の役目を終え、水処理設備の本復旧に向けた場内の堆積汚泥の処理に使用した。

## 4 場内堆積汚泥の浚渫処理

### 4.1 概要

南蒲生浄化センターの水処理設備の内、曝気槽および最終沈殿池は完全停止しており、最初沈殿池の上澄水を次亜塩素酸ソーダ消毒後に放流する「簡易処理」が今なお続いている(H24年1月現在)。

震災当日から1ヶ月以上の期間、汚泥処理が完全停止していたため、最初沈殿池に日々貯まる汚泥の行き場がない状況にあった。放流水質の悪化が懸念されたため、仙台市殿は、最初沈殿池のスカムや汚泥をバキューム車により強制的に吸い上げ、被災により使用困難となった最終沈殿池に運搬、投入する作業を始めた。1日あたり数十回に及ぶ運搬、投入作業が長期間続き、最終沈殿池に汚泥が堆積する状態となった。

また、最終沈殿池には、津波により運ばれた海砂や防風林の松の葉などが少なからず堆積していることが推測された。

こうした堆積汚泥を除去しないことには水処理設備の本復旧に進むことができない。仙台市殿の要望もあり、最終沈殿池堆積汚泥の浚渫処理工事を月島機械が請け負うこととなった。浚渫対象汚泥量は約20,000m<sup>3</sup>。1日平均480m<sup>3</sup>の処理を行う設備を仮設することとした。

### 4.2 浚渫処理方法

#### (1) 浚渫処理フロー

南蒲生浄化センターで採用した浚渫処理フローを図7に示す。最終沈殿池から汚泥を吸い上げる水中ポンプ、夾雑物や砂を除去するための一次スクリーンおよび除砂装置といった前処理設備を新たに仮設し、前処理後の汚泥は【仮設I工事】で設置した仮設遠心脱水機で脱水処理することとした。

浚渫処理フローの検討段階で、一次スクリーンおよび除砂装置で前処理した汚泥を既設汚泥処理フローに戻して既設遠心脱水

機で処理する案も考えられたが、性状の不明な浚渫汚泥が既設遠心脱水機の脱水性能に悪影響を及ぼし、汚泥処理全体がストップすることを懸念し、浚渫汚泥については仮設遠心脱水機で単独処理することとした。

#### (2) 脱水助剤の選定

最終沈殿池の汚泥は、古いものは震災当日から滞留しており、浚渫開始の時点で3ヶ月以上が経過していた。汚泥性状分析を行ったところ、有機分が32%と一般的な下水生汚泥を大きく下回る値を示した(下水生汚泥の有機分の一般的な値は75～80%)。この汚泥に対する脱水助剤選定試験を行ったところ、通常の高分子凝集剤単独では全く凝集せず、PAC(ポリ塩化アルミニウム)と両性ポリマーによる2液薬注方式が最適であるとの結果が得られたため、PAC注入設備を急遽用意することとなった。

#### (3) 臭気対策

最終沈殿池に投入された汚泥は長期間の滞留により性状が変化しており、これまでに経験したことのない強烈かつ独特な臭気を放っていた。このため、作業環境を考慮し、消臭剤を用いることとした。脱水前の汚泥の段階で液体消臭剤を注入することにより消臭効果が脱水ケーキまで持続し、浚渫設備全般の消臭が可能となった。

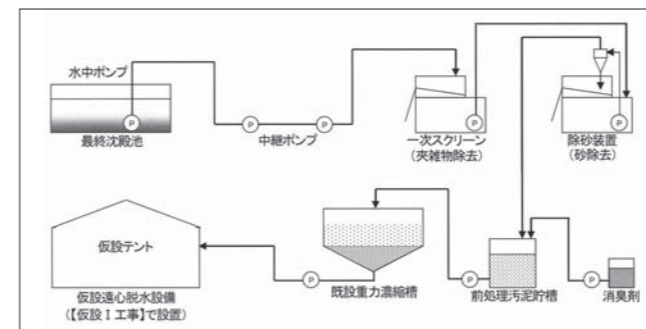


図7 最終沈殿池堆積汚泥の浚渫処理フロー  
Fig.7 Dredging operation flow for mud at final sedimentation tank

### 4.3 運用状況

#### (1) 前処理設備

浚渫開始数日後に幾つかの問題が発生した。

- ①一次スクリーンおよび除砂装置のスクリーン目幅が狭く、夾雑物や砂による閉塞が発生。  
→スクリーン目幅をやや大きくすることにより解決。
  - ②最終沈殿池の底に松の葉が大量に混入しており、水中ポンプや中継ポンプが閉塞。  
→カッター機能付き水中ポンプを導入することにより解決。
- このように、問題発生と解決を繰り返しながら浚渫処理運転は軌道に乗り、現在に至っている。

#### (2) 仮設遠心脱水設備

汚泥性状の面で心配された仮設遠心脱水機による脱水処理は、2液薬注の効果もあり、脱水運転は良好であった(脱水ケーキ水分70%台前半)。

脱水設備の前段で既設重力濃縮槽を経由させる処理フローとしたことも功を奏した。重力濃縮槽で汚泥濃度を高めることにより良好な脱水性能を確保した。また、重力濃縮槽は、発生時期や濃度の異なる汚泥の混合体である最終沈殿池堆積汚泥の性状均一化にも寄与した。汚泥性状のばらつきを重力濃縮槽で吸収することにより、脱水機供給汚泥性状の急激な変動を抑え、安定した脱水運転を行うことができた。

## 5 おわりに

東日本大震災で被災した仙台市南蒲生浄化センターでの災害復旧支援の取り組みについて報告した。

仮設汚泥脱水設備においては「水の確保」が最大の課題であったが、節水型脱水機の採用、排水の再利用、計画的な水使用管理などにより、用水不足を克服することができた。

最終沈殿池堆積汚泥の浚渫処理においては、汚泥性状の把握、最適脱水助剤の選定、重力濃縮槽利用による脱水安定化など、基本的かつ適正な対応により、順調な汚泥処理を行うことができた。

震災時の応急対応とはいえ、このように、設備運用や汚泥処理における月島機械のノウハウを十分に活用したことが良好な結果に結びついていたのではないかと考える。

現在、月島機械は、仙台市南蒲生浄化センターのほか宮城県仙塩浄化センターにおいても災害復旧支援に携わっており、南蒲生浄化センター同様、既設汚泥脱水設備の応急復旧と場内堆積汚泥の浚渫処理を行った。二つの下水処理場とも仮設機器による汚泥処理が続いているが、今後、本復旧工事へと移行していく。また、東北地区で今後月島機械が災害復旧支援に携わる下水処理場として、宮城県南蒲生浄化センター、気仙沼市気仙沼終末処理場、福島県新地町新地浄化センター等がある。一日も早い復旧を願うお客様の思いに応えるべく、今後も汚泥処理を中心とした復旧支援に全力で取り組みたい。月島機械の総合技術力を今後ますます発展させ社会に貢献していきたい。

最後に、東日本大震災によりお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災された皆様に心よりお見舞い申し上げます。



# 酢酸のあれこれ

本号では月島機械と関わりのある化学品で家庭でも身近な酢酸についてふれてみる。

酢酸は工業的にはメタノールのカルボニル化、アセトアルデヒドの酸化、エチレンの酸化により製造されるが、食用に用いられる食酢は古くから酢酸発酵で製造されている。

## 0 酢酸の歴史

自然界には酢酸産生菌がいたるところに存在し、アルコールの歴史とともに発見、利用されてきた。普段の生活でも経験があるようにビール、ワインなどの醸造酒を大気に晒しておくことで酢酸に変わっていく、これが酢酸の発見となった。またワインを鉛の壺で煮沸して生成するsapaと呼ばれる酢酸鉛を主として含む甘味料が古代ローマ時代に発見された。後にこのsapaを含むワインを飲んだためにペトローベが難聴になったとも伝えられている。近年は各工業的製法が開発され、中間有機原料として重要な化学品と位置付けられている。

## 1 酢酸の基本性質

酢酸 (Acetic acid) は脂肪酸の一種で簡単なカルボン酸のひとつである。基本性状は右表の通りである。常温で無色の液体で刺激臭、酸味がある。水、エタノール、エーテルとは任意の割合で混合でき、腐食性、可燃性がある。融点が低いために高濃度のものは低温で凍ってしまい氷酢酸 (Glacial acetic acid) と呼ばれる。

表1 酢酸の性質

化学式	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> COOH
分子量	60.05
外観	無色透明
融点	16.7°C
沸点	118°C

## 2 酢酸の生産量と製造法

酢酸の用途は身近なところでは食酢である。また工業用途では有機中間体製品のひとつとして化学工業分野で使用されている。

### 2.1 酢酸の生産量

#### (1) 食酢の生産量

食酢は平成22年度に約40万KLが国内で生産され、その約半分が穀物酢と呼ばれる米などを原料とする醸造酢である。濃度が低いこともあり純酢酸ベースの生産量は工業用途の1割程度である。

#### (2) 工業用酢酸の生産量

工業用酢酸は国内で約45万トン生産されており、設備の統廃合から生産は大手3社に限られている。世界では年間400-500万トン生産されており、その約1割が日本で生産されていることになる。

### 2.2 酢酸の製造法

#### (1) 食酢の製造法

食酢は塩と並ぶ人類最古の調味料と言われている。歴史的には酢酸はアセトバクター属 (*Acetobacter*) の細菌によって作られ、十分な量の酸素を供給することでそれらの細菌は様々なアルコールを含む食材から酢を作り出す。普通に使われるのはリンゴ酒、ワイン、発酵させた穀物、麦芽、米、すりつぶしたジャガイモである。でんぷん原料からの食酢の基本反応を図-1に示す。原料が果汁の場合、糖化工程はない。

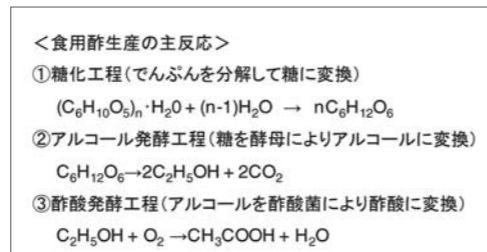


図1 食酢生産の主反応

近年は発酵技術が進み、国内では表面発酵法(静置発酵法)と深部発酵法で製造されている。表面発酵法は2KL規模の容器で表層に酢酸菌膜を成長させて2週間程度かけて製造する方法である。深部発酵法は槽内下部に設置したローターと中空の軸を介したステーターにより、ローターの回転により発生する負圧でステーターより空気を導入して槽内に微細気泡を噴出する方式である。これにより通気ブロー無しに酸化発酵を促進することができる方法である。

#### (2) 酢酸の工業的製造法

現在工業的に実施されている酢酸の製造プロセスは大別すると1)アセトアルデヒド酸化法、2)炭化水素液相酸化法、3)メタノールカルボニル化法(BASF法およびMonsanto法)であり、この順に工業化された。

#### 1)アセトアルデヒド酸化法

Pd触媒を用いてエチレンを酸化してアセトアルデヒドを生成した後、酸化して酢酸を合成する2段のプロセスである。パラジウム触媒を反応工程中に再生する方式であり、反応式で示すと図-2のとおりである。

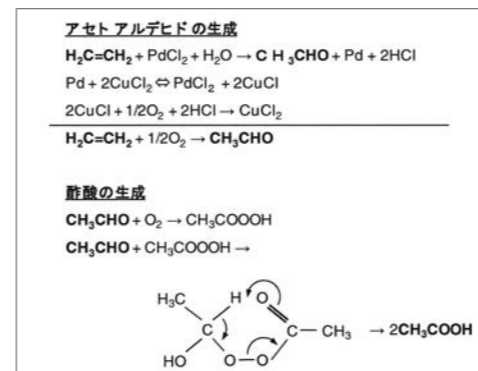


図2 アセトアルデヒド酸化法の反応

#### 2)炭化水素液相酸化法

n-ブタンやナフサを原料として触媒(酢酸コバルトまたは酢酸マンガン)のもと液相で酸化させる製法である。酢酸の選択率が約50%程度と低いため副産物の生成が多い。原料のコストならびに副産物の付加価値化次第で酢酸のコストが左右される。

#### 3)メタノールカルボニル化法

メタノールを原料としてカルボニル化反応で酢酸を生成するもので、反応式としては図-3の通り。高圧反応下、ヨウ化コバルトを触媒としてBASFが最初に工業化した。後にMonsantoが触媒をロジウム系に変えることで反応選択率を高め、原料・エネルギー効率の優れたプロセスとして完成させた。

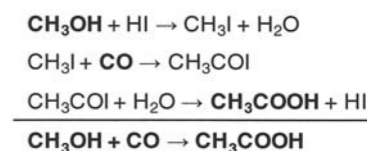


図3 メタノールカルボニル化反応

## 3 酢酸の用途

### (1)食酢

5wt%~18wt%濃度の酢酸溶液は、酢として調味料や野菜などの漬物を作るのに用いられている。全世界で酢として用いられる酢酸の量はそれほど多くはないが、歴史的に最も古く、また良く知られている用途である。また韓国では、氷酢酸がのり巻きや刺し身のたれを作る材料として食用に販売されている。

### (2)工業用酢酸の用途

多くの化合物を作る際の薬品として用いられており、主に酢酸ビニルモノマーの製造、酢酸エチルなどのエステル類製造ならびにアセチル化反応の原料となる無水酢酸製造への用途が多い。当社と関わる場所では、ポリエチレンテレフタレート(PET)の原料であるテレフタル酸の製造の際の溶媒として用いられている。この溶媒である酢酸を乾燥機(STD)の前段でろ過洗浄する工程に月島機械の固液分離機器が使用されている。テレフタル酸用での使用量は全生産量の5-10%とされているが、PETの生産量が増加されると重要な用途として増加するとされている。

他の酢酸からの誘導品を下表に示す。

表2 酢酸の用途

化合物名	用途
1. 無機塩との合成物	酢酸ナトリウム 織物工業、食品の防腐剤
	酢酸銅(II) 顔料、殺菌剤、忌避剤(サメ用)
	酢酸アルミニウム 染料の媒染剤
	酢酸鉄(II) 染料の媒染剤
	酢酸パラジウム(II) ヘック反応などカップリング反応の触媒
2. ハロゲン化誘導体	モノクロロ酢酸(MCA) MCAはインディゴ染料の製造に使われる
	ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸 有機合成における一般的な薬品
	プロモ酢酸 プロモ酢酸エチルの製造原料
	トリフルオロ酢酸 有機合成における一般的な薬品
3. エステル類	酢酸エチル シンナー・ラッカーなど塗料の溶剤、エッセンスなど食品添加物
	酢酸アミル フルーツ系の食品香料として使われることがある。酢酸イソアミルが一般的。
	酢酸ビニル 合成樹脂の原料。ポリビニルアルコールまたはポリ酢酸ビニル、もしくはエチレンとの共重合体の製造原料。

#### 参考文献

- 1) ウィキペディア <http://ja.wikipedia.org/wiki/> 2011年12月現在
- 2) 柴垣明典, "酢酸製造プロセスの進歩", 有機合成化学, vol.41(6), p553-560, 1983
- 3) 影山脩, "酢酸製造プロセス", 化学工学, vol.45(2), p112-116, 1981
- 4) 山田巳喜男, "酢酸発酵から生まれる食酢", 醸協, vol.102(2), p115-120, 2007

## 会社概要

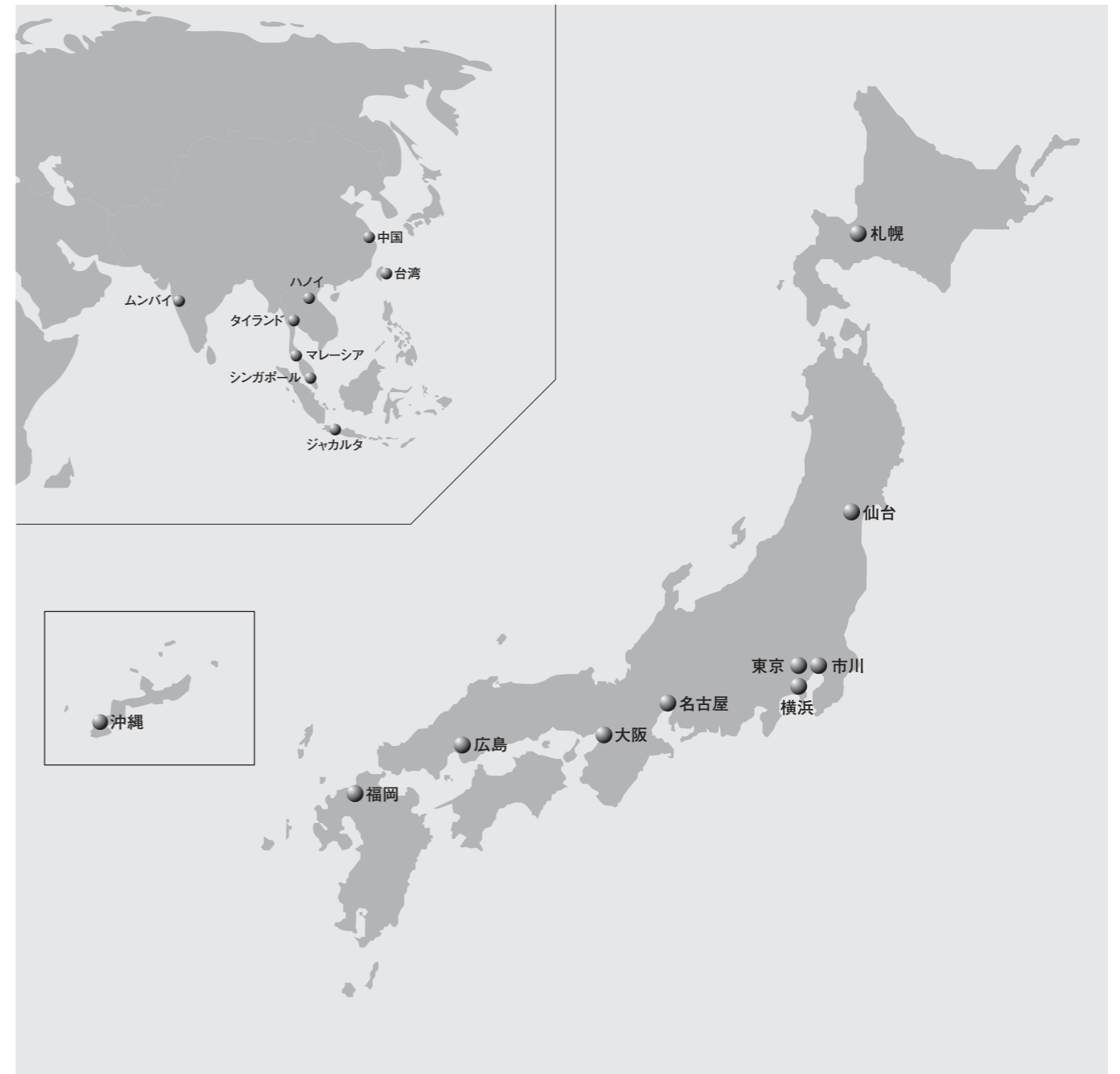
名称	月島機械株式会社 (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)	資本金	66億4680万円
代表取締役社長	山田 和彦	従業員数	620名(グループ2,189名)(平成23年3月末現在)
創業	明治38年8月	売上高	単体:379億円 連結:650億円(平成23年3月期)

## 事業所

本社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591	市川事業所(工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
東京支社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593	(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
大阪支社	〒541-0045 大阪市中央区道修町2-6-6(塩野日生ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415	(環境プロセス 開発センター)	〒272-0011 千葉県市川市高谷新町6-4 TEL.047-328-8761 FAX.047-328-8789
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西1-1-2(SE山京ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520	〈海外〉	
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK小田急ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316	TSKジャカルタ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office Sequis Plaza 22nd Fl.Suite 2203 Jl. Jend. Sudirman Kav. 25 Jakarta Selatan 12920 TEL: +62-21-526-7732/7734 FAX: +62-21-526-7790	
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086	TSKハノイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office Unit 13-03A, Prime Centre, 53 Quang Trung Street, Hai Ba Trung District, Hanoi, Viet Nam TEL:+84-(0)4-3766-9965/9967/9968 FAX:+84-(0)4-3766-9969	
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624	TSKムンバイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 8,Krishna Kunj 1st floor above HDFC Bank Near Fly over Bhayandar (W)Thane-401 104 TEL: +91-22-2815-2784 FAX: +91-22-2815-2785	
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771		
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806		
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港1-5-12 TEL.098-874-5793 FAX.098-874-5793		

## 関連会社

月島テクノメンテサービ(株)	〒104-0052 東京都中央区月島4-8-14 TEL.03-3533-6271 FAX.03-3533-2588	〈海外関連会社〉	
月島テクノマシナリー(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12(市川事業所) TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354	月島エンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. <TEM> 月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. <TES> SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377	
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 月島機械(株)内 TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968	TSKエンジニアリングタイランド(株) TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. <TET> United Center Building 14th Floor, Room1404, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731	
月島テクノソリューション(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12(市川事業所) TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661	TSKエンジニアリング台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. <TETA> 6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C. TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429	
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0033 東京都中央区新川12-12-15 (ヒューリックハ丁堀ビル3~6階) TEL.03-6386-3960 FAX.03-3537-8763	月島環保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD 150B, Tower C, OfficePark, No.5, JingHua South Street, Chaoyang District, Beijing, 100020 P.R.China TEL:+86-10-8590-6595 FAX:+86-10-8590-6593	
サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381		
寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6(事業所) お問い合わせ先: 月島機械株式会社 水環境事業本部 事業推進部 TEL.(03)5560-6530 FAX.(03)3533-4103		



## 編集後記

佐藤 正則 編集委員長

東日本大震災と福島原発事故による甚大な被害、電力不足からのエネルギー構造の再構築と国民総意識改革の2011年であったと言える。復興や今後のエネルギー・環境政策は当社とも関わりが深い分野であり、当社技術基盤の強化、利活用に向けた技術力を発揮する場面にある。その技術の総元締めであり本技報の総責任者であった西田元取締役が8月1日に逝去された。技術者として最前線に長くいた同氏の言葉に「失敗も成功も幾年月 顧客に育てられる」がある。技術者は常に現場に立ち直面する技術課題の克服や顧客との関係の中で感性を磨き自己研鑽や技術レベルの向上に努めることの重要性を説いている。月島機械の技術者として常に心するものとした。

## Editor's Note

TSK技報 NO.16 2012

年2回発刊

問い合わせ先:giho@tsk-g.co.jp

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:佐野 広

編集委員長:佐藤 正則

編集委員:荒井 健 高橋 正純  
加藤 善二 佐藤 教子  
小林 亨 近藤 洋正  
橋口 秀之 佐藤 剛  
石井 究 高尾 ひろ子

12021750GMW