

## 〈特集〉

## 超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム

坪井 博和<sup>1)</sup>, 新屋 文隆<sup>2)</sup>, 島田 正夫<sup>3)</sup><sup>1)</sup>メタウォーター(株) 事業戦略本部 環境技術開発部  
(〒475-0825 半田市前潟町1 E-mail: tsuboi-hirokazu@metawater.co.jp)<sup>2)</sup>メタウォーター(株) 事業戦略本部 環境技術開発部  
(〒475-0825 半田市前潟町1 E-mail: shinya-fumitaka@metawater.co.jp)<sup>3)</sup>日本下水道事業団 技術戦略部  
(〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 湯島台ビル E-mail: Shimadam@jswa.go.jp)

## 概要

本技術は下水処理場全体のエネルギーマネジメントを図るものであり、超高効率固液分離技術による生污泥回収の最大化、高効率高温消化技術によるメタン発生の最大化、スマート発電システム技術による発電効率の最大化、使用電力の極小化を実証した。実証研究結果に基づく試算(日最大汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日)では、水処理設備について約9%の電力消費量の削減、生污泥と生ごみを消化することにより、従来技術(生污泥と余剰汚泥を消化)と比較して、発電電力が2.5倍以上となる他、建設費、維持管理費(薬品・補修・点検費)で縮減効果が得られた。

キーワード: 固液分離, 生污泥, 高温消化, 省・創エネルギー, エネルギーマネジメント

原稿受付 2017.6.11

EICA: 22(1) 7-11

## 1. はじめに

今日の下水道事業における電力使用量は約70億kWhといわれており、日本全体の電力使用量の約0.7%を占め、下水道普及率の向上にともない、年々増加傾向にある。東日本大震災以降、エネルギー需給が逼迫してきており、代替自然エネルギーとしてのバイオマスからの創エネルギーの取り組みは非常に注目が高く、また喫緊の課題となっている。

このような状況の中、「最新のエネルギー自給型下水処理場」の実証を目的にメタウォーター・日本下水道事業団共同研究体が、国土交通省国土技術政策総合研究所から下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の委託研究(平成23, 24年度)を受け、「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証事業」を実施した。

実証場所は大阪市の中浜下水処理場であり、超高効率固液分離設備、高効率高温消化設備、スマート発電システムの3要素技術の実証を行った。

その結果、最初沈澱池と比較して生污泥回収率の約40%向上、5日という短消化日数での安定消化などの特長が実証された。これらの実証成果に基づき、国総研において本技術の導入ガイドライン(案)が取りまとめられ、平成25年7月に発刊された。

本報では、導入ガイドライン(案)でまとめられた成果を紹介する。なお、必要に応じてガイドライン

(案)の章、§番号を付した。

## 2. 技術の概要(第2章§4~11)

本技術はシステム全体として下水処理場全体のエネルギーマネジメントを図るものであり、Fig. 1に示すとおり、(1)超高効率固液分離技術、(2)高効率高温消化技術、(3)スマート発電システムの3つの要素技術から構成される。

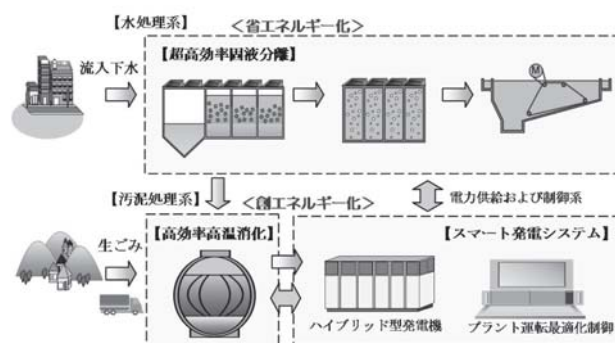


Fig. 1 Relationship among three elemental technologies

## 2.1 超高効率固液分離技術

超高効率固液分離設備は汚水をろ過水と洗浄排水(生污泥)に分離する設備である。超高効率固液分離設備のろ過と洗浄の原理をFig. 2に示す。ろ過工程では、上部スクリーンによりその下方に配置されたる

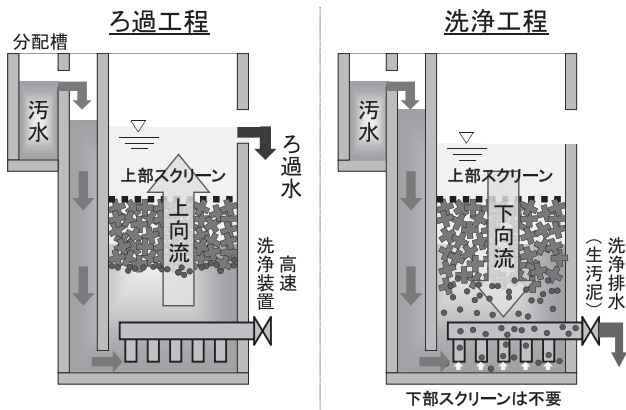


Fig. 2 Principles of intensive solid-liquid separation tank filtration and cleaning processes

材層に対し、汚水を上向流で通過させ、SS等の汚濁物を分離してろ過水を生成させる。洗浄工程では、水槽下部に設置された高速洗浄装置付属の大口徑バルブを自動的かつ短時間で開くことで、上部スクリーンより上に貯められている自己ろ過水を一気に自然流下させることによって生じる高速の下向流によって、ろ材内部に抑留された捕捉物（生汚泥）を洗い出すものである。

本原理にて、流入下水中の生汚泥を短時間で徹底的に回収されるため、流入下水のSSおよびBOD除去率は、従来の最初沈殿池よりも向上する。

## 2.2 高効率高温消化技術

高効率高温消化技術は、下水処理場の消化タンク容積を従来と比較し大幅に小型化できる担体充填型の湿式高温消化方式である。

Fig. 3に示すように、消化タンクには不織布製の固定床担体を充填し、これに嫌気性微生物を付着させることで、消化タンク内の微生物密度を高めている。また、消化タンク内のアンモニア濃度と投入負荷量をそれぞれ調整する自動制御技術を組み込むことにより、

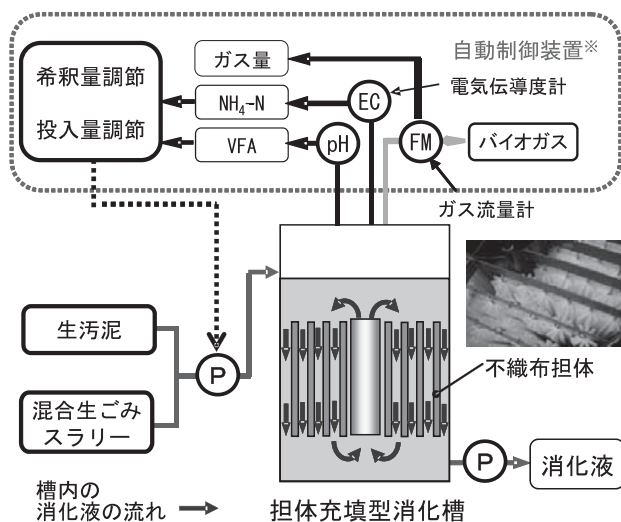


Fig. 3 Carrier-filled-type wet thermophilic digestion system

生ごみを混合する高温消化における高効率かつ安定的な発酵を実現している。

## 2.3 スマート発電システム

スマート発電システム技術は、「プラント運転最適化制御システム」と「ハイブリッド型燃料電池」で構成され、その構成と下水処理場との関係をFig. 4に示す。プラント運転最適化制御システムは、水処理系と汚泥処理系の各既設プラント設備も含む下水処理場全体の監視制御システムとの間で計測情報を受信し、制御信号を送信する。ハイブリッド型燃料電池は、下水処理場で生成した消化ガスと都市ガス（生汚泥）を燃料として発電した電力と、発電による排熱を下水処理場に供給する。

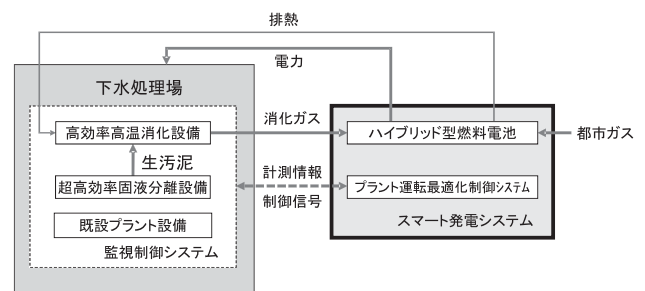


Fig. 4 Smart power generation system's composition and relation to the sewage treatment plant

## 3. 導入検討 (第3章 § 12~24)

### 3.1 導入目的・効果

本技術の導入が効果的な処理場の一例をFig. 5に示す。また、本技術を導入する目的とそれに応じた技術を整理するとTable 1のとおりとなり、導入目的に応じた採用する技術（個別技術）が異なる。



Fig. 5 Sewage treatment plant in which introduction of innovative technology proves benefit (Example)

### 3.1 導入効果試算結果

実証研究結果をもとに、人口10万人、日最大汚水量 $50,000 \text{ m}^3/\text{日}$ （日平均汚水量 $40,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ）の場合について「革新的技術」および「従来技術」に関する各種試算を行った。試算例における従来技術および本技術の処理フロー条件をFig. 6に示す。

「革新的技術」については、超高効率固液分離技術、高効率高温消化技術、スマート発電システム技術を導入したケースA、Bを設定した。ケースAは、分解しやすい生汚泥と生ごみをコンパクトに消化するケー

**Table 1** Technologies meeting objectives

直接的効果	導入目的	採用技術		
		超高効率固液分離	高効率高温消化	スマート発電システム
省エネルギー	反応タンク・送風機設備の電力消費量削減	○		
	当該設備のコスト削減		○	
	後段設備のコスト削減	○		
	ピークカットによる電力コスト削減			○
	雨天時越流水対策 (CSO, SSO) の高度化	○		
創エネルギー	最初沈殿池の設置・更新・増設	○		
	温室効果ガス排出量の削減	○	○	○
	消化タンクの設置・更新・増設		○	
	消化タンクの効率的運用 (消化ガス発生量の増加)	○	○	
	消化ガス発電の導入			○
災害対応	都市ガス併用 (ハイブリッド) による 100% 消化ガス有効活用			○
	消化ガス発電による買電量削減・売電量増加	○		○
	震災時の応急復旧対策の高度化 (一次処理+消毒)	○		
バイオマス	震災時の応急復旧対策の高度化 (非常用電源の確保・増強)			○
	耐震化コストの削減	○		
その他	生ごみ等バイオマスの受入 (トラック輸送)		○	
	生ごみ等バイオマスの受入 (ディスプレイ、管路投入)	○	○	
その他	処理施設統合等による流入水質上昇による懸念時の反応タンクへの流入負荷軽減	○		
	鋼製タンクによる建設コスト削減		○	

**Table 2** Example effect of innovative technology introduction

	革新的技術				従来技術			
	ケース A		ケース B		ケース C		ケース D	
適用条件 (詳細は § 17 参照)	超高効率固液分離 (生汚泥・生ごみ) ハイブリッド型燃料電池		超固液分離 高効率高温消化 (生汚泥・生ごみ) ハイブリッド型燃料電池		最初沈殿池 中温消化 (生汚泥・余剰汚泥) ガスエンジン		最初沈殿池 消化なし 発電なし	
	金額	%	金額	%	金額	%	金額	%
建設費	30.8 億円	75	40.9 億円	99	41.1 億円	100	23.2 億円	57
建設費年費用	2.4 億円/年	84	3.2 億円/年	112	2.9 億円/年	100	1.8 億円/年	63
維持管理費 (電力費)	-0.02 億円/年	-10	-0.06 億円/年	-26	0.24 億円/年	100	0.34 億円/年	139
維持管理費 (電力費以外)	0.68 億円/年	83	0.85 億円/年	105	0.81 億円/年	100	0.57 億円/年	71
建設費+維持管理費 15 年	40.6 億円	71	52.8 億円	93	57.0 億円	100	36.9 億円	65
温室効果ガス排出量	0.43 万 t-CO <sub>2</sub> /15年	14	0.19 万 t-CO <sub>2</sub> /15年	7	2.97 万 t-CO <sub>2</sub> /15年	100	3.70 万 t-CO <sub>2</sub> /15年	125

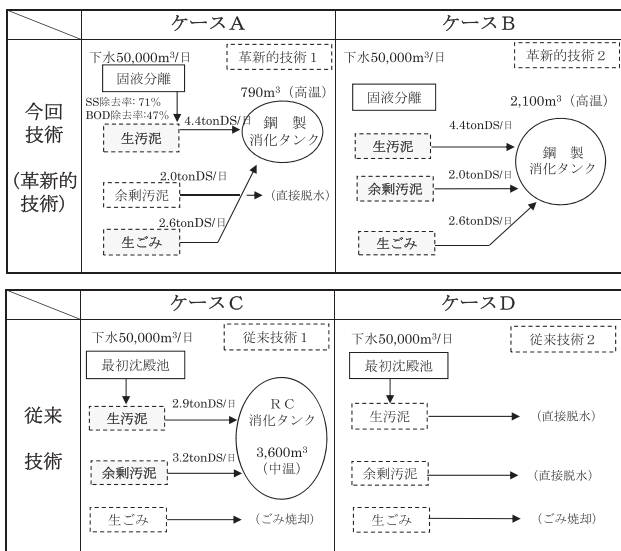
(効果比較の対象範囲は、最初沈殿池、反応槽、バイオガス回収装置、バイオガス発電装置。さらに従来技術ではごみ焼却炉に関わる各種費用等。)

導入により、従来技術 (ケース C) と比較して約 25% の建設コスト削減 (建設費年費用は 16% 削減) 効果が見込まれた。

維持管理コストに関しては、電力費以外の維持管理コスト (ケース A における都市ガス費用は一律に決められないため不含) は約 17%、電力費は約 110% の削減効果が見込まれ、温室効果ガスの排出量に関しては約 86% の削減効果が見込まれる試算結果であった。

建設費と 15 年間の維持管理費を合計したトータルコストでは、ケース C と比較して 29% の削減効果が見込まれた。しかしながら、消化プロセスが無いケース D はケース A よりも経済的に有利な結果であった。そこで、今回評価対象設備 (最初沈殿池、反応タンク、送風機、バイオガス回収装置、バイオガス発電装置、ごみ焼却施設 (従来技術に該当)) の建設コストおよび維持管理コスト (15 年分) の他に、重力濃縮設備、機械濃縮設備、汚泥脱水設備といった一連の汚泥処理施設に要する建設コストおよび維持管理コスト (15 年分)、さらに下水汚泥 (脱水ケーキ) およびごみ焼却灰 (生ごみ分) の処分コスト (15 年分) をトータルコストに加えて評価した結果を Fig. 7 に示す。

その結果、ケース A が他ケースよりも有利となった。バイオガス回収については生汚泥および生ごみを対象とすることが経済性の観点からは有利であること、現状では消化のない下水処理場においても革新的技術を導入することが経済的にもメリットがあることが確認できた。ただし、この結果については、下水処理場の処理プロセスやコスト構造等の特性により必ずしも同じ結果が得られるとは限らないので、個別に検討 (F/S) を行う必要がある。



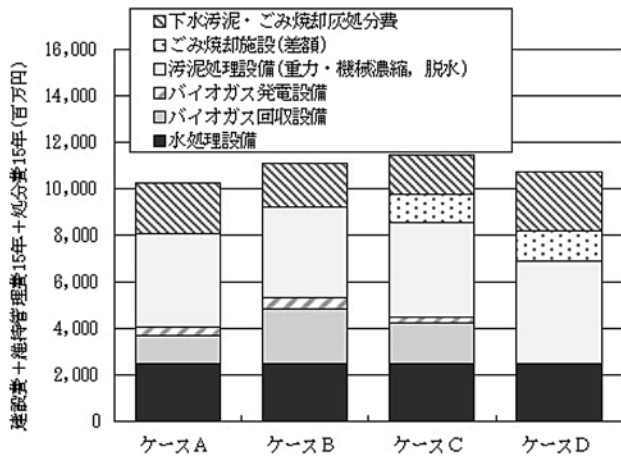
(補足説明) ・各ケース/流入下水水質: SS: 145 mg/L, BOD: 170 mg/L  
 ケース A, B/反応槽流入水質: SS: 42 mg/L, BOD: 90 mg/L  
 図中の生汚泥・余剰汚泥量は濃縮後の固形物量

**Fig. 6** Treatment flow conditions of conventional and new technologies in the estimation cases

スであり、ケース B は生汚泥、生ごみの他に、余剰汚泥も消化するケースである。「従来技術」については、生汚泥と余剰汚泥を中温消化するというケース C、消化プロセスが無いケース D を設定した。

試算結果を Table 2 に示す。本技術 (ケース A) の





※水処理設備は、最初沈殿池・反応タンク・送風機設備を計上。  
 ※汚泥処理設備は、動力盤を除く。  
 ※ごみ焼却設備(差額)は、ケースA基準の差額を計上。  
 ※下水汚泥(脱水ケーキ)、ごみ焼却灰の処分コストを15千円/tと設定した。  
**Fig.7** Total cost (including the disposal cost) estimation result

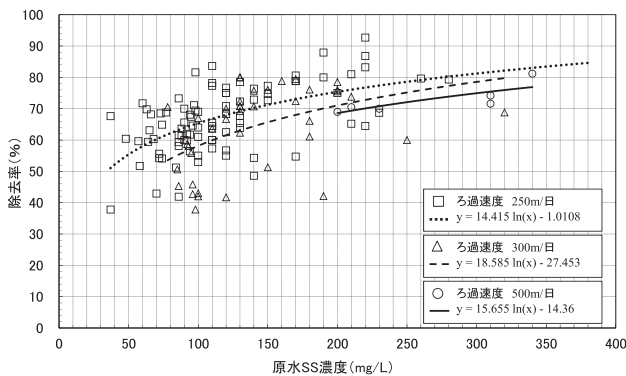
### 4. 技術の特色

本技術の実証により、3つの要素技術に関して特筆すべき特色が確認されたので、要素技術ごとに以下に纏める。

#### 4.1 超高効率固液分離技術

##### (1) 高いSS除去率

実証試験により得られた原水SS濃度とSS除去率の関係を Fig.8 に示す。例えば、ろ過速度が250 m/日、原水SS濃度が145 mg/L の場合には、近似式によりSS除去率は約71%と算出され、最初沈殿池と比較して、SS除去率が高い。



**Fig.8** Relationship between raw-water SS concentration and SS removal rate

##### (2) 高いろ過速度による省スペース化

超高効率固液分離に必要なろ過速度は250~500 m/日であり、従来技術の最初沈殿池の水面積負荷(計画1日最大汚水量に対して、分流式では35~70 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日)、合流式では25~50 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日)<sup>2)</sup>と比較する限り、かなりの省スペース化につながる。超高

効率固液分離では、高速ろ過池の他に洗浄排水槽や一次濃縮槽が必要となることから、スペースとしては既設の最初沈殿池の概ね1/3程度にコンパクト化される。

#### 4.2 高効率高温消化技術

##### (1) 短い消化日数による消化タンクの小型化

消化タンクの水理的滞留時間(消化日数)は、従来技術の中温消化では20~30日、高温消化では10~15日程度である。Table3に示すように、本技術では生汚泥単独あるいは生ごみとの混合条件で5日にて処理が可能のため、消化タンクの小型化が図れる。

**Table3** Number of days for digestion for each substrate

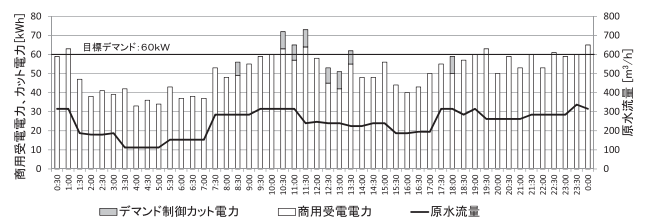
基質	消化日数
生ごみ+生汚泥	5日
生汚泥	5日
生ごみ+混合(生汚泥+余剰汚泥)汚泥	5~10日
混合(生汚泥+余剰汚泥)汚泥	10日

#### 4.3 スマート発電システム

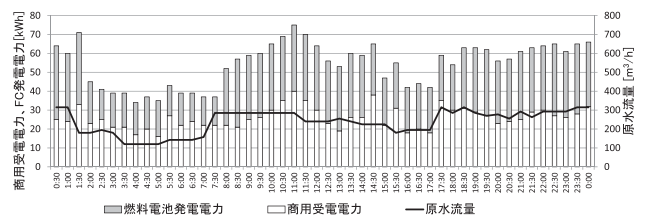
##### (1) デマンド(30分最大需要電力)の平滑化

デマンド制御運転時の使用電力量を Fig.9 に示す。デマンド制御により、図中の着色部分がカット制御された負荷であり、ピークの低減が確認される。

次に発電機出力パターン制御時の使用電力量を Fig.10 に示す。図中の着色部分が発電電力で、青色部分が商用受電電力を示しており、発電機の出力調整だけで商用受電電力の変動を平滑化できることが分かる。両制御を併用することにより、さらなる平滑化が見込まれる。



**Fig.9** Demand controlled operation and power consumption



**Fig.10** Power consumption by output pattern control of power generator

## 5. 今後の普及展開に向けた取り組み

多くの下水処理場は、供用開始から20~30年程度が経過し、水処理、汚泥処理設備が一斉に更新時期を迎えている。また同時に地震対策や雨天時の対応、創エネへの対応など多方面の対策が求められているが、自治体の財政には限度があり、より効率的な対策、運営が求められている。

本システムは、創エネ（温室効果ガス排出量削減）に主眼をおきつつ、これら諸対応をより多面的かつ同時に対応できるシステムである。既に超高効率固液分離技術に関しては、初沈代替と合流改善対策を同時に

達成する目的での初採用（小松市、下水道革新的事業実証後では初）が決定している。

今後は本システム全体として、最適な導入の提案を行い、普及促進に努めていきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) B-DASH プロジェクト No.1「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム導入ガイドライン（案）」、国土技術政策総合研究所資料第736号、平成25年7月
- 2) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 — 2009年版一、日本下水道協会、(2009)