

# 省エネ、省資源、及びリスク低減を実現する 下水道ソリューション

Solutions for Wastewater Management to Realize Energy Saving, Efficient Use of Resources, and Risk Reduction

吉澤 直人                      山中 理                      今井 正

■ YOSHIZAWA Naoto                      ■ YAMANAKA Osamu                      ■ IMAI Tadashi

下水道分野では、健全な水循環系維持に関わる水や資源、エネルギーの再生に加えて、東日本大震災を契機に、国内外でエネルギー自立やレジリエンス（危機耐性力）のための技術開発への貢献が強く求められている。また、人口増加の著しい新興国の多くは水不足の問題に直面しており、少ない水資源を効率的に利用する技術への期待が高まっている。

東芝は、これらの課題に応えるため、省コスト、省資源、及びリスク低減といった価値を提供するスマートな水ソリューションを開発している。このなかで、開発した下水污泥燃料化システムは省資源と省コストに、性能評価中の曝気（ばっき）レス水処理システムは省エネと省コストに、検証中のプロセス性能診断システムは省コストとリスク低減に、そして開発中の雨水対策システムはリスク低減と省コストに貢献できる技術である。

Since the Great East Japan Earthquake, demand has arisen in the wastewater field both in Japan and overseas for greater energy independence and the development of resilience technologies as well as enhanced reclamation of water, resources, and energy to maintain the optimal water cycle. Moreover, many developing countries that are facing water shortages due to rapid population growth require operation and control technologies for efficient use of limited water resources.

To meet these requirements characterized by regional and cultural diversity, Toshiba has been developing smart water solutions contributing to energy saving, efficient use of resources, and risk reduction as well as resilience enhancement. These solutions incorporate the following technologies: (1) a sewage sludge fuelization system for resource saving and cost reduction, (2) a nonaeration type wastewater treatment system under evaluation for cost reduction and energy saving, (3) a process performance diagnosis system under evaluation for cost and risk reduction, and (4) various urban drainage systems under development for the reduction of both risks and costs.

## 1 まえがき

わが国の下水道施設は平均70%を超える高い普及率を達成し、今後は、計画から整備、管理までの課題を一体的に捉えた総合マネジメントと、それを可能にするソリューションが求められる<sup>(1)</sup>。特に、東日本大震災を契機に、健全な水循環維持に関わる水や資源、エネルギーの再生に加えて、エネルギー自立やレジリエンス（危機耐性力）を実現するソリューションへの期待が高まっている。

一方海外では、一部の先進国に加え、中国や、東南アジア、インド、中東などの多くの新興国は水不足の問題に直面しており、情報通信技術（ICT）を活用した環境都市“スマートシティ”構想のなかで、限られた水資源をICTで効率的に利用する最適な水循環システムの実現への期待が高まっている<sup>(2), (3)</sup>。

このような潮流のなか、水の先進国であるわが国は、水インフラを海外展開し、地域の事情に応じた様々なニーズに対するソリューションを提供して世界をリードしていく必要がある。なかでも、水・資源・エネルギー再生の役割を担う下水道分野への貢献は重要である。

東芝は、このような国内外の下水道分野におけるエネルギー及び資源の利用効率やリスクに関する多様なニーズに

確に応えるため、新しい装置と、情報と制御を統合した運用改善の技術を柔軟に組み合わせ、多様性に応じたスマートなソリューションを提供したいと考えている。ここでは具体例として、資源・エネルギー再生のための下水污泥燃料化システム、省エネに貢献する曝気レス水処理システム、省エネと放流水質の改善に貢献するプロセス性能診断システム、及びリスク低減と健全な水循環のための雨水対策システムへの取組みについて述べる。

## 2 下水道におけるスマートな水ソリューション

### 2.1 資源・エネルギー再生に貢献する

#### 下水污泥燃料化システム

下水道の最終処分汚泥量は2006年度で223万tに達し、その約70%は建設資材への利用を中心にリサイクルされている。一方、下水污泥は13～17 MJ/kg-DS（Dry Sludge：乾燥固形物量）<sup>(4)</sup>の発熱量を持っているが、焼却や熔融処理といった従来の汚泥処理で回収できるのは、輸送や貯蔵に制約がある蒸気や温水などのエネルギー形態に限られ、近隣の熱需要が少ないといった理由から、エネルギー資源としての利用は進んでいなかった。

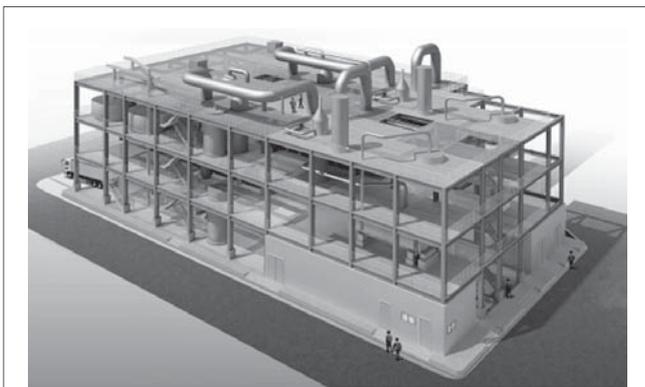


図1. 下水汚泥燃料化システム — 下水汚泥を約400～600℃の温度で炭化することにより、石炭代替燃料として利用可能な固形燃料に変換する。  
Sewage sludge fuelization system

このため当社は、(財)下水道新技術推進機構との共同研究により、下水汚泥を乾燥・炭化処理し石炭代替燃料として利用可能な固形燃料に転換する下水汚泥燃料化システム(図1)を開発した。以下に、このシステムの特長を述べる。

- (1) 炭化固形燃料化による資源循環 下水汚泥は、下水を処理する過程で活用される微生物や不純物、及び水分から成るが、脱水処理を行った脱水汚泥でも約70～80%の水分を含んでいるため、このままでは燃料として利用できない。このシステムでは、乾燥機により脱水汚泥を乾燥汚泥とすることで、水分を分離する。得られる乾燥汚泥は特有の汚泥臭があり、また、雨などにより吸水すると発酵や泥化の可能性が生じるため、輸送・保管時に注意を要する。このため、乾燥汚泥を更に約400～600℃で炭化処理して安定化させ、燃料として利用可能な炭化物とする。
- (2) 熱分解ガスの燃料利用による省エネ化 乾燥汚泥を炭化する際、炭化物と同時に熱分解ガスが発生する。熱分解ガスは水素、一酸化炭素、及び有機物を含んだ可燃性ガスである。これを再燃焼炉で燃焼させるにあたって、当社のシステムは、炭化炉や廃熱ボイラなどを組み合わせて徹底した熱回収を行い乾燥や炭化の熱源とすることで、省エネ化及び省コスト化を図っている。

このように、徹底した熱回収を図って炭化物を製造し、石炭代替燃料として石炭ボイラなどで利用することにより、利用方法が限られていた汚泥の発熱量を、省コストでエネルギー資源として資源循環させ、省資源を達成できる。

## 2.2 省エネで水環境向上に貢献する 曝気レス水処理システム

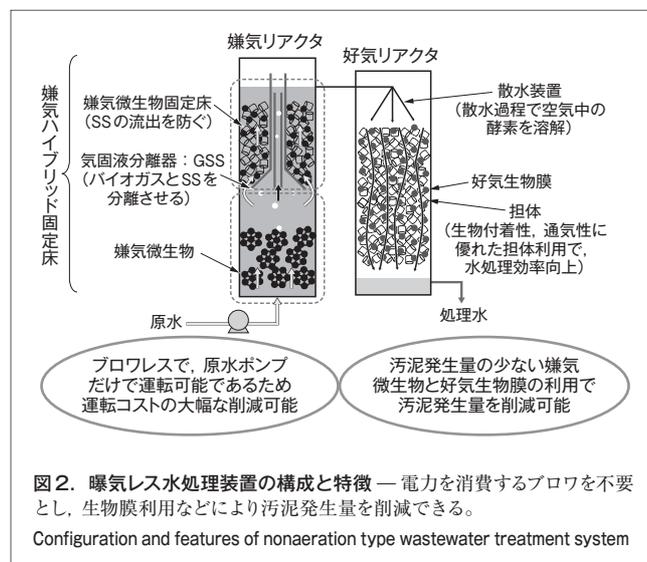
わが国の総消費電力の約0.7%を消費する下水道分野にも、省エネが求められている<sup>5)</sup>。従来の標準活性汚泥法による下水処理プロセスの消費電力の約70%はブロワやポンプの動力によるものであり、省エネのためには、これらの動力削減

が効果的である。そのアプローチとしては、処理プロセス自身を改善する方法と、運用の改善によりエネルギーの利用効率を向上させる方法が考えられる。

当社は、処理プロセス自身を改善する方法として、地方共同法人日本下水道事業団との共同研究により、省エネ型の下水処理システムである曝気レス水処理システムを、次の目標のもとで開発している。

- (1) 処理水質 年間を通して標準活性汚泥法と同等
  - (a) BOD (Biochemical Oxygen Demand:生物化学的酸素要求量) 15 mg/L 以下
  - (b) SS (Suspended Solid:懸濁物質) 15 mg/L 以下
- (2) 電力消費量 年間30%以上低減(対標準法)
- (3) 汚泥発生量 年間30%以上削減(対標準法)

曝気レス水処理装置の構成を図2に示す。現在の下水処理方式の主流である標準活性汚泥法と比べ、このシステムは次



の利点を持っている。

- (1) 標準活性汚泥法の使用エネルギーの約70%を占めるブロワ及び汚泥返送ポンプが不要となるため、電力消費量を大幅に削減できる。
- (2) 増殖速度の遅い嫌気微生物と好気生物膜を利用することで、汚泥発生量を大幅に低減できる。

現在、日本下水道事業団技術開発実験センター内に30m<sup>3</sup>/日規模のフィールド試験装置(図3)を設置し、2011年10月から実下水を対象とした処理性能評価を行っている。これまでの性能評価では、目標とする処理水質を維持しつつ、汚泥発生量と電力消費量の低減を目標以上に達成できる見込みである。今後、年間を通じた性能評価を行うことで、このシステムの適用可能範囲を明確にし、適切な運転管理手法を確立する。フィールド試験で得られた知見を活用し、3,000m<sup>3</sup>/日規模の下水処理システムとして早期の実用化を目指している。

このシステムは、電力消費量と余剰汚泥量を削減できる新しい下水処理プロセスとして、わが国だけでなく、特に下水処理が未整備な新興国などの水環境向上に省コストの視点で貢献できる。

### 2.3 省エネと放流水質の改善に貢献する プロセス性能診断システム

わが国を含め下水道インフラが整備された国々では、既存の下水処理施設の効率的な運用や維持管理が重要な課題である。特に、下水処理プラントでは、流入水量や水質の変動下でも放流水質を管理基準以内に維持しながら、ブロワやポンプなどの機器の消費電力を抑えた効率的な運用が求められる。運用改善を図るためには、まず、プラント運用上の性能と考えられる消費電力や放流水質などの変化要因を同定し、運用改善の余地を見つけ出すことが重要である。

当社は、監視制御システム(SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition)で収集される数百~数千項目にも及ぶプロセス監視データの中から、省エネ運用や安定した放流水質を維持する運用の改善点の発見を支援するプロセス性能診断システムの開発を進めている。

このシステムは、単位処理量当たりの消費電力を表すエネルギー原単位や放流水質などの性能指標を、多変量解析を用いて他の監視項目と関連付ける。そして、性能指標値の異常時には、その異常に対する影響の大きさの順に監視項目を並べ、要因候補を自動抽出する。これにより、性能指標の異常の要因発見を支援する(図4)。

日本下水道事業団との共同研究により、2か所の下水処理場のプロセス監視にこのシステムを適用し、有効性を評価した。エネルギー原単位を性能指標とした場合、この診断システムにより監視データの中からブロワやポンプの電力過剰消費を引き起こす要因候補を絞り込めることを確認した。その中の制御可能な要因を制御することで、単位処理水量当たりのエ

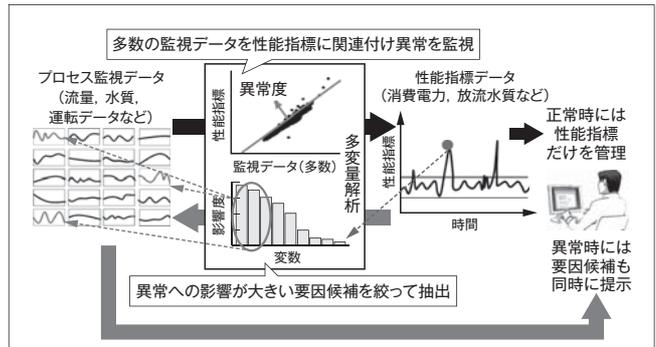


図4. プロセス性能診断の概念 — 電力消費や水質に関する性能指標と監視データの相関を監視し、異常検出時には異常への影響が大きい要因候補を自動抽出する。

Concept of process performance diagnosis

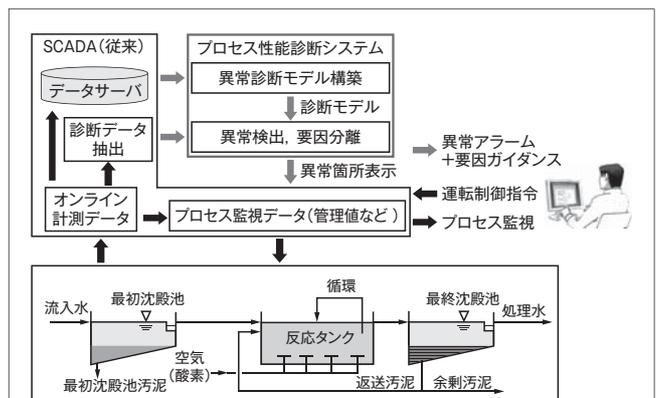


図5. SCADAに搭載したプロセス性能診断システムの構成 — 複数の監視データからプロセスの異常兆候とその要因ガイダンスを行い、オペレーターの運転を支援する。

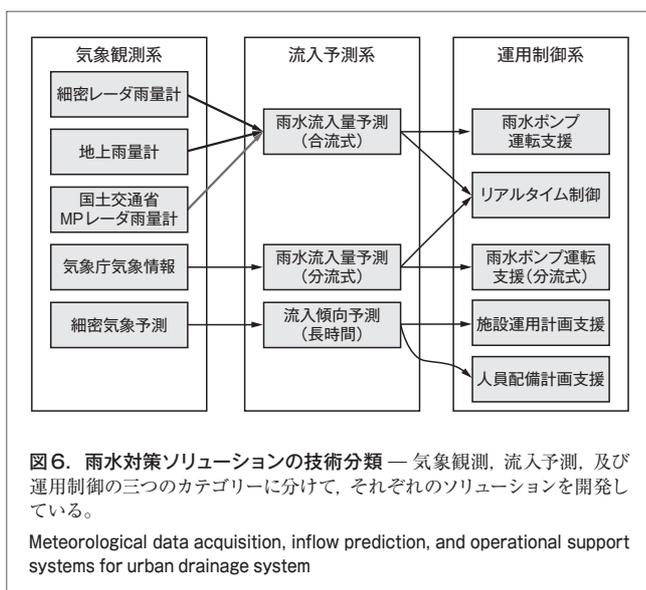
Configuration of process performance diagnosis system constructed on supervisory control and data acquisition (SCADA) system

ネルギー原単位を0.023 kWh/m<sup>3</sup>程度(対象処理場において1,300~1,500万円/年程度)削減できる見込みを得た。また、放流リン濃度を性能指標とした場合、対象処理場の放流リン濃度の自主管理値0.6 mg/Lを超過する悪化兆候をほぼ100%検出し、その要因を推定できることも検証した。

このシステムの診断技術は、消費電力や放流水質だけでなく、省コスト及びリスク低減に関わる性能指標を適宜選択することで、それらの改善点発見を支援できるソリューションである。そして、図5に示すようにSCADAシステムやクラウドサービスとして実現することにより、わが国だけでなく、東南アジアや中国など新興国の下水処理施設に対する多様なニーズに応えて運用を改善できる。

### 2.4 リスク低減と健全な水循環に貢献する 雨水対策システム

下水道分野では、近年多発する都市型の集中豪雨による浸水被害対策や、汚水と雨水を同一の下水道で処理する合流式



下水道の雨天時越流水対策が、リスク低減と環境負荷低減の視点で強く求められている。

当社は、高精度な気象レーダから、降雨データを活用した情報・支援系のシステムまでの技術開発を進めている。これらの技術は図6に示すように、気象観測系、流入予測系、及び運用制御系に大きく分類できる。

- (1) 気象観測系 垂直偏波と水平偏波の2種類の電波を用いて、雨や雪の強度と粒径を測定可能なMP（マルチパラメータ）レーダ雨量計や、積乱雲の発達過程などの情報も測定できる高精度な細密雨量レーダを開発している。国土交通省が試験配信しているMPレーダと当社独自の細密レーダ雨量計の併用により、都市型集中豪雨に対する有効なソリューションの提供が可能になる。この際、細密レーダ雨量計を用いた局地豪雨の予測などの技術も重要となり、細密レーダ雨量計本体と並行して開発を進めている。
- (2) 流入予測系 降雨情報を利用して、合流式及び分流式の下水処理場における30分程度の短時間での雨水流入量を予測する技術や数時間～十数時間先の長時間での流入量傾向を予測する技術を開発している。予測の目的に応じて、流入量や降雨量などの観測データだけから予測を行う統計的手法と、下水管などの土木情報を考慮した水理・水文学（すいもんがく）的手法がある。多様性への対応を目的として統計的手法と水理・水文学的手法を組み合わせた流入予測技術の検討にも着手している。
- (3) 運用制御系 浸水リスク回避のために雨水排水ポンプの起動タイミングの支援を行う雨水ポンプ運転支援と、排水量をリアルタイムに制御する制御技術の開発を進めている。また、合流式下水道においては浸水リスク回避と環境負荷低減の両立を図る必要がある。貯留管や下

水管を滞水施設として利用して、豪雨時には浸水リスク回避を行い、小雨時には雨天時越流を最小化し合流改善を図る、ポンプやゲートのリアルタイム制御技術の開発もを行っている。

このような雨水対策ソリューションは、わが国の浸水対策や合流改善対策だけでなく、東南アジアなどの新興国での洪水対策や水循環系における雨水利活用にも、リスク低減、省コスト、かつ多様性の視点で貢献できるものである。

### 3 あとがき

資源・エネルギー再生、省エネ及びリスク低減に貢献する下水道分野のソリューションを提供する技術について述べた。

当社は、今後、これらの技術の改善を図り、実績を積み重ねていく。また、装置技術と運用改善技術を的確に組み合わせ、水循環システムの重要な構成要素である下水道分野の様々な課題を柔軟に解決するスマートな水ソリューションを提供していきたい。更に、長期的な課題として、既存の上下水道に加え、雨水や、再生水、海水など多様な水資源を効率的に利用する最適な水循環システムを実現する技術の開発に取り組み、健全な水環境と低炭素社会の実現に貢献していく。

### 文 献

- (1) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部. 平成24年度下水道事業関係予算の決定概要. 2011-12. <<http://www.jswa.jp/wp/wp-content/uploads/2011/12/516577580216e89ca399fcf24c4ac079.pdf>>, (参照2012-03-28).
- (2) Smart Water Cluster Workshop in ASPIRE Tokyo. 2010-10, International Water Association (IWA). <<http://www.iwahq.org/1rk/networks/iwasg-smartwater-cluster/cluster-workshop-in-aspire-2011.html>>, (accessed 2012-03-28).
- (3) The 1st International Workshop on Smart Water Grid. Seoul, Korea, 2011-03, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST). <<http://www.swg.or.kr/workshop2011/>>, (accessed 2012-03-28).
- (4) 日本下水道協会. 下水道施設計画・設計指針と解説(後編). 2001年版, 2001. 717p.
- (5) 日本下水道協会. 平成20年度下水道統計. 2009. (CD-ROM).



吉澤 直人 YOSHIZAWA Naoto

社会インフラシステム社 府中事業所 社会インフラシステムソリューション部グループ長。水・環境システムの設計・開発に従事。計測自動制御学会会員。  
Fuchu Complex



山中 理 YAMANAKA Osamu, D.Eng.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主査, 工博。上下水道制御システムの研究・開発に従事。計測自動制御学会, 電気学会, 環境システム計測制御学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



今井 正 IMAI Tadashi

社会インフラシステム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境プロセス技術部主務。環境システムのエンジニアリング業務に従事。化学工学会, 日本エネルギー学会会員。  
Water & Environmental Engineering Center