

# 環境負荷の低減に貢献する上下水道用水処理装置

Environmentally Friendly Water and Wastewater Treatment Equipment

藤沢 実

山本 勝也

相馬 孝浩

■ FUJISAWA Minoru

■ YAMAMOTO Katsuya

■ SOMA Takahiro

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題への対応がよりいっそう重要視されてきており、上下水道事業でも環境負荷の低減やエネルギーの有効利用などによる環境保全への積極的な貢献が求められている。

東芝はこれまで、各種の省エネ機器や、プロセスの効率的な運転制御・運用システムを提供してきた。上下水道システムでは、環境負荷を低減する水処理装置を提供するため、効率的な紫外線照射と小型化を達成した浄水用紫外線照射装置“TOSAQLEAR™”を実用化し、また、省エネと廃棄物低減を実現する“曝気(ばっき)レス水処理装置”の開発を進めている。

Countermeasures against environmental problems such as global warming have increasingly become an important issue. For environmental conservation, both the reduction of environmental burdens and the effective utilization of energy are strongly required in the water and wastewater treatment industry.

Toshiba has been providing various kinds of energy-saving equipment and effective operation and control systems for each water treatment process. We have commercialized the TOSAQLEAR™ ultraviolet (UV) irradiation equipment with a low environmental load, and are developing a non-aeration wastewater treatment system that can achieve energy conservation and waste reduction.

## 1 まえがき

上下水道事業では、近年、健全な水循環系の構築に加え、地球温暖化対策、廃棄物の減量化や資源の有効利用など環境問題への対応も重要性が増してきている。上下水道事業においても、省資源、省エネ、及び再生可能エネルギー利用の着実な実施と廃棄物の低減に向けて、効率的で最適な水処理方式の適用と、環境負荷低減が可能なシステムや製品の適用が求められている。

東芝はこれまで、各種の省エネ機器や、プロセスの効率的な運転制御・運用システムを提供してきた。ここでは、環境負荷の低減に貢献する当社の水処理装置として、既に実用化した浄水用紫外線照射装置 TOSAQLEAR™ と現在開発を進めている曝気レス水処理装置について述べる。

## 2 浄水用紫外線照射装置 TOSAQLEAR™

紫外線照射装置は薬品を使わないため有害な消毒副生成物が発生しにくく、環境への負荷が低い。2007年3月には、水道水中のクリプトスポリジウム<sup>(注1)</sup>など耐塩素性病原生物の対策として、地表水以外の水源を原水とする浄水施設において紫外線処理設備の導入が認められた<sup>(1)</sup>。

TOSAQLEAR™は中圧紫外線ランプ(以下、中圧ランプと

(注1) 高い塩素抵抗性を持つ寄生性の原生動物で、広範囲のほ乳動物に感染して下痢などの原因となる。

呼ぶ)を採用しており、装置1台で2,000～31,500 m<sup>3</sup>/日<sup>(注2)</sup>、給水人口にして約6,000～100,000人分<sup>(注3)</sup>の処理能力がある。2009年12月に、中圧ランプを使用した紫外線照射装置としてはじめて、JWRC((財)水道技術研究センター)技術審査基準<sup>(2)</sup>適合の認定を取得した。

### 2.1 TOSAQLEAR™の構成

TOSAQLEAR™は、原水に紫外線を照射する紫外線照射槽と、中圧ランプに電源を供給する付属制御盤から構成される(図1)。

紫外線照射槽は、中圧ランプと、それを水から絶縁する石英ガラス製のランプ保護管、紫外線が適切に照射されているかを監視する紫外線モニタ、及び紫外線照射を妨げる保護管の汚れをふき取る自動洗浄装置(モータ及びワイパ)から構成されている。TOSAQLEAR™は、中圧ランプを採用することで、コンパクトな形状になっている。

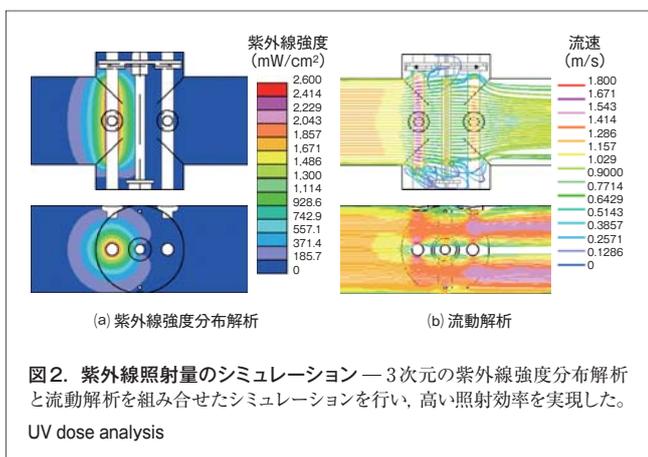
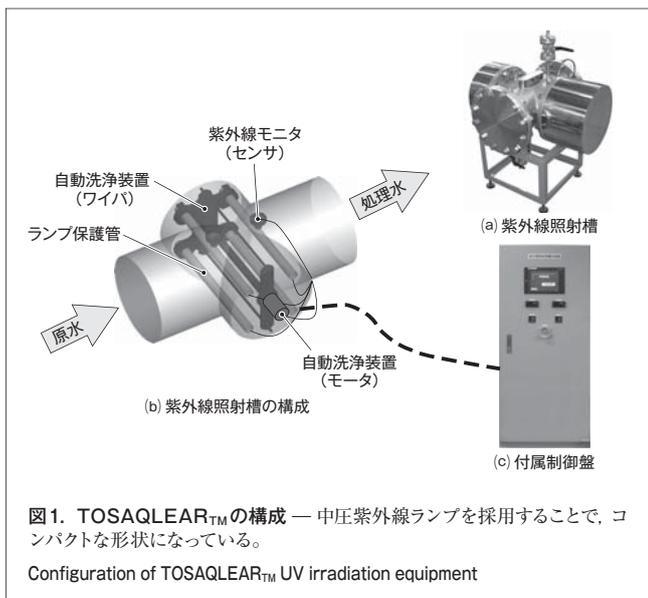
### 2.2 TOSAQLEAR™の特長

2.2.1 シミュレーションの活用による高い照射効率 紫外線による消毒性能は、紫外線照度と照射時間の積で定義される紫外線照射量で評価する。

紫外線照度は紫外線ランプ表面からの距離と水の紫外線透過率に、照射時間は流体の挙動に依存する。そこで3次元

(注2) 厚生労働省の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」の基準である「紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して、紫外線(波長253.7nm付近)の照射量を常時10 mJ/cm<sup>2</sup>以上確保できる処理水量」という条件に基づいて算出。

(注3) 1人当たりの平均給水量を320 L/日として算出。



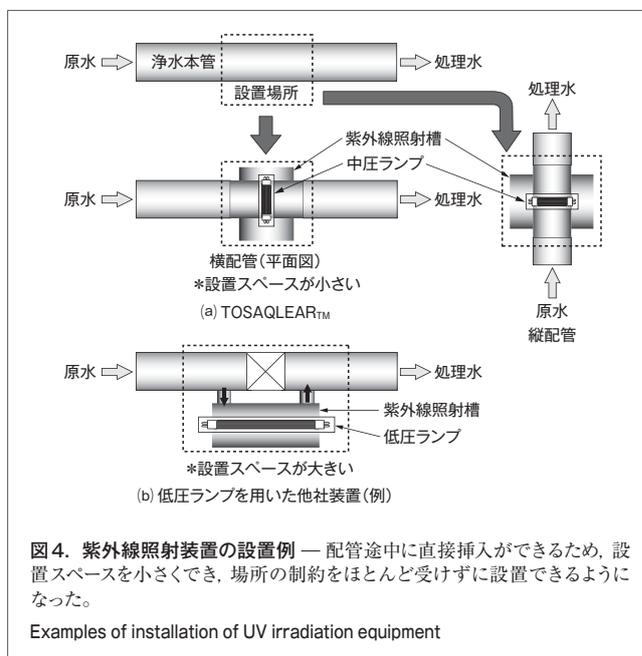
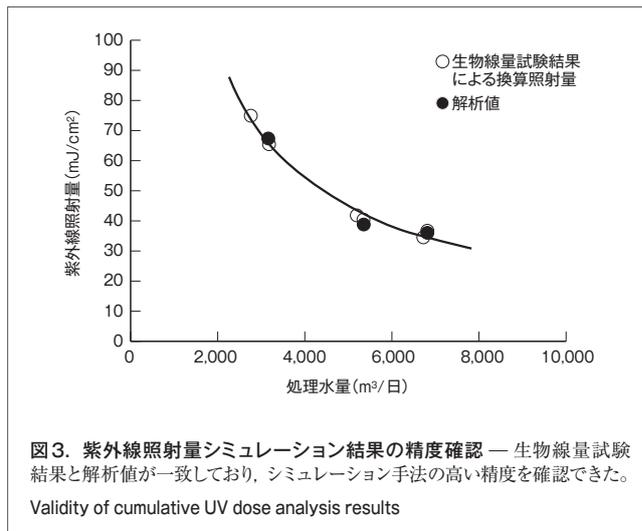
の紫外線強度分布解析と流動解析を組み合わせたシミュレーション手法 (図2) を開発した。

解析結果の精度を確認するためには対象となる装置の紫外線照射量を実測する必要があるが、紫外線照射量はオンラインで実測できない。そこで、紫外線に対して安定した感受性を持ち人体に無害な細菌を指標菌として実際に流して、紫外線照射前後の残存率から紫外線照射量を求める生物線量試験を用いて、シミュレーションの精度を確認した。

シミュレーション結果と試験結果の比較を、図3に示す。両者はほぼ一致しており、このシミュレーション手法が紫外線照射量を解析するのに十分な精度を持つことが確認できた。

TOSAQLEAR™では、このシミュレーション手法を活用することにより、紫外線照射槽の形状とランプ配置を最適化した。これにより、ランプ電力当たりの処理量が多く、高い照射効率を実現した。

**2.2.2 中圧ランプの採用** 従来の紫外線照射装置の多くが採用している低圧ランプは、ランプ1本当たりの紫外線



照射強度が中圧ランプに比べて少ないため、処理水量が大きいとランプ本数も増え、大きな設置スペースが必要となっていた。

TOSAQLEAR™は中圧ランプを採用したため、ランプ本数が少なく装置が小型化できた。これにより、紫外線照射槽を配管の途中に直接挿入できるようになり、設置スペースが小さく、横置きと縦置きの制約もなくなった (図4)。また、ランプ本数が少なくてすむことより、ランプ交換の保守も容易になった。

**2.2.3 紫外線モニタによる照射量の監視** 紫外線強度を測定する紫外線モニタは、紫外線ランプの異常消灯及び不点灯 (球切れ) や、紫外線ランプの出力異常、安定器の故障、ランプ保護管の汚損、処理水質の異常による紫外線強度の低下、紫外線モニタのセンサ部劣化などを検知することで、

処理性能の低下を監視する。また、稼働中にランプ保護管や紫外線モニタ用の監視窓に汚れが付着すると、紫外線透過率が低下して処理性能に影響を及ぼすため、ランプ保護管と紫外線モニタ用監視窓を定期的に洗浄する自動洗浄装置を標準で装備している。

**2.2.4 紫外線被曝（ばく）の防止** 中圧ランプ端子部及び自動洗浄装置モータ部のフランジカバー、又は紫外線モニタのセンサ部のカバーを開けると、作業者が紫外線に被曝するおそれがある。これを防止するために、カバーの位置に連動した機械的接点を設置した。カバーが開いたときに、この接点によってカバーが開いたことを検知して中圧ランプを消灯させることで、作業者が紫外線に被曝しないよう安全性を向上させた。

### 3 曝気レス水処理装置

#### 3.1 開発の背景

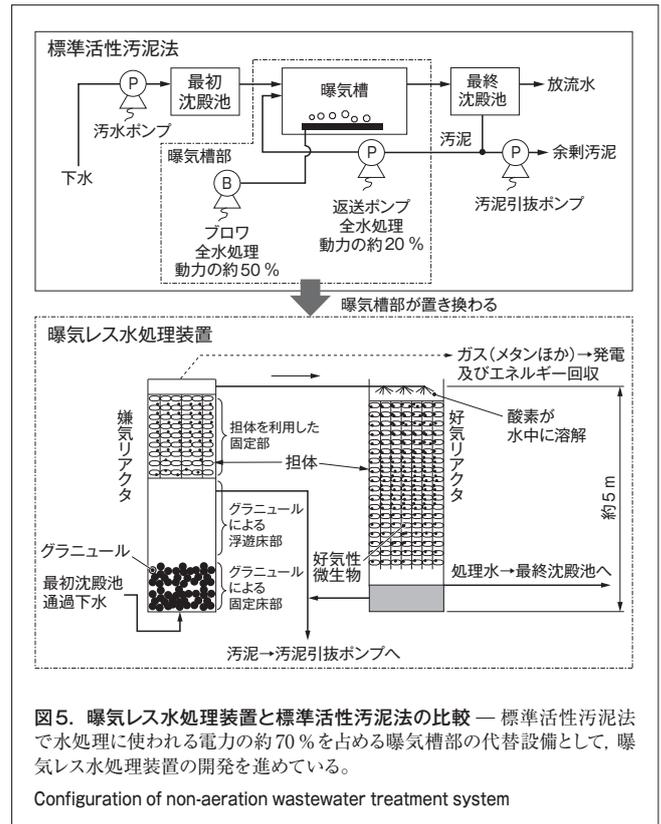
現在の水処理技術の主流である活性汚泥法<sup>(注4)</sup>では、微生物が有機物を分解するのに必要な酸素を供給するために、曝気（空気の吹込み）が行われている。曝気用ブロウに使う電力は、通常、下水処理場の水処理設備で使う電力の40～50%程度を占める。わが国では、下水処理場の使用電力量が国内全消費電力の約0.7%を占めていることから、地球温暖化防止のために、従来から行われている活性汚泥法の省エネ化への努力に加え、新たな低エネルギー型の下水処理技術の開発が期待されている。

一方で世界を見ると、下水・排水・し尿処理などの適切な衛生施設を利用できる人の割合は、開発途上国では50%、後発開発途上国では36%にとどまっている<sup>(3)</sup>。今後、更なる衛生施設の普及には、電力インフラが未整備な地域でも導入できることが求められている。

このような要求に応えるために、当社は、国内最大級のじゃが芋澱粉（でんぷん）製造施設の排水処理など一般産業排水処理で実績のある“嫌気性自己造粒微生物（グラニュール）”を使った“上向流式嫌気性汚泥床（UASB：Upflow Anaerobic Sludge Blanket）”<sup>(4)</sup>を応用し、下水などの低濃度排水を処理対象とする新たな水処理装置（曝気レス水処理装置）を開発している。この曝気レス水処理装置では、標準活性汚泥法とほぼ同等の処理水質を低エネルギーで達成することに加えて、産業廃棄物である下水汚泥の発生量を低減することを目指している。

#### 3.2 装置の概要

従来の標準活性汚泥法と比較した曝気レス水処理装置の構成を図5に示す。



曝気レス水処理装置は、酸素供給が不要で増殖速度が好気性微生物と比べて非常に遅い、グラニュールを用いた“嫌気リアクタ”と、担体に保持された好気性微生物に対して下水を自然落下させ大気圧で空気を供給できる“好気リアクタ”で構成される。このため、曝気が不要（曝気レス）であるという特長を持つ。

単にUASBを下水処理に適用すると次のような問題が生じることが考えられる。

- (1) 処理水の水質が、公共用水域の放流基準に到達しない。
- (2) 下水中のSS（Suspended Solid：懸濁物質）とぶつかってグラニュールが崩れて小さくなり、沈降速度が遅くなる。処理時間を短縮するためには、上向流速ができる限り速いほうが望ましいが、グラニュール及びその小片やSSの沈降速度を上回る流速とすると、それらが処理水側へ流出して、処理水の水質が悪化してしまう。
- (3) 低水温時にスカム<sup>(注5)</sup>が発生し、グラニュールと結合して浮力が生じ、処理水側に流出して、処理水の水質が悪化してしまう。

これらの問題のうち(1)に対しては、嫌気処理の後段に仕上げ処理として好気リアクタを設けることで解決を図っている。また、(2)と(3)に対しては、嫌気リアクタの内部構造を、担体を利用した固定床部及び、グラニュールによる固定床部と浮遊

(注4) 好気性の微生物を主成分とする汚泥を用いた下水処理法。

(注5) 油脂や固形物が集まったもの。

床部に分割し、担体を利用した固定床部でSSの捕捉(ほそく)とグラニューールの保持を行う構成とすることで解決を図っている。これにより、処理時間の短縮と、処理水の水質向上が期待できる。

### 3.3 開発目標及び開発状況

当社は現在、この装置を用いた水処理技術の開発を、地方共同法人日本下水道事業団(以下、日本下水道事業団と略記)との共同研究「自己造粒微生物を用いた下水処理技術の開発」として進めている、この共同研究では、次の性能目標を定めている。

- (1) 処理水質：年間を通じ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：15 mg/L以下
- (2) 使用エネルギー量：年間30%以上低減
- (3) 汚泥発生量：年間30%以上削減

これらの目標を達成することで、国内では、従来の標準活性汚泥法を適用している既存の下水処理場をこの方式に改築することにより、従来と同等の水質を維持しながら、水処理における汚泥発生量及び消費エネルギーという環境負荷の低減、及び維持管理費の低減が期待できる。また、世界的には、電力インフラが十分整備されていない地域にもこの方式の下水処理設備が適用されることが期待できる。

現在、日本下水道事業団の技術開発実験センター内に、嫌気リアクタのフィールド試験装置(処理能力30 m<sup>3</sup>/日)を構築し、性能評価を進めている(図6)。また嫌気性処理を下水に適用するときには水温が低いと機能が低下することや、嫌気リアクタ内の汚泥管理が重要である<sup>(5)</sup>ことを考慮し、流入する下水の水温が可変である小型試験装置を併設し、適用範囲の見極めと、適切な運転管理手法の把握を行っている。

今後はフィールド試験装置の後段に好気リアクタを増設し、曝気レス水処理装置全体としての性能評価を進めていく。



図6. 嫌気リアクタフィールド試験装置(30 m<sup>3</sup>/日)―日本下水道事業団技術開発実験センター内に構築して、性能評価を進めている。  
Plant-anaerobic treatment reactor for field tests (30m<sup>3</sup>/day)

## 4 あとがき

水環境負荷の低減と地球温暖化の防止に貢献できる上下水道用水処理装置として、既に実用化しているTOSAQLEAR<sub>TM</sub>と、開発を進めている曝気レス水処理装置について述べた。

引き続き、次の点を推進していく。

- (1) TOSAQLEAR<sub>TM</sub> シミュレーション技術を活用して、より大規模な処理水量への適用拡大、及び最適な照射量に制御することによる消費電力の削減。
- (2) 曝気レス水処理装置 窒素除去など高度な処理の実現、既存下水処理設備の改築や更新に適用可能な構成の検討、及び嫌気性処理で発生するガスの回収と有効活用などの要素技術開発。

当社は、今後も地球環境の保全に貢献できるよう、製品改良や、新たな水処理装置の開発を継続していく。

## 文献

- (1) 厚生労働省 健康局 水道課. “水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について(通知)”. 厚生労働省ホームページ. <<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kikikanri/dl/ks-0330005.pdf>>, (参照2010-04-05).
- (2) 水道技術研究センター. 紫外線照射装置JWRC技術審査基準(中圧紫外線ランプ編). 東京, 水道技術研究センター, 2008, 90p.
- (3) ユニセフ(国連児童基金). “保健指標”. 世界子供白書2008. p.122-125. 日本ユニセフ協会ホームページ. <<http://www.unicef.or.jp/library/pdf/haku2008.pdf>>, (参照2010-04-05).
- (4) 田村 博, ほか. メタン発酵と排水処理. 東芝レビュー. 63, 5, 2008, p.15-18.
- (5) 中沢 均, ほか. 新技術導入の事後評価に関する調査-嫌気好気ろ床法-. 日本下水道事業団技術開発部 技術開発部報. 1999, p.186-213.



藤沢 実 FUJISAWA Minoru

社会システム社 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。上下水道システムのエンジニアリング業務に従事。技術士(上下水道部門)。  
Water & Environmental Engineering Center



山本 勝也 YAMAMOTO Katsuya

社会システム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境ソリューション技術開発部主務。下水道システムの研究・開発に従事。技術士(上下水道部門, 電気電子部門, 総合技術監理部門)。  
Water & Environmental Engineering Center



相馬 孝浩 SOMA Takahiro

社会システム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境ソリューション技術開発部グループ長。上水道システムの商品企画及び研究・開発に従事。環境システム計測制御学会会員。  
Water & Environmental Engineering Center