

## 〈特集〉

# 東芝のインドにおける水・環境ソリューションの取り組み事例

川口 聡史<sup>1)</sup>, 久保 貴恵<sup>2)</sup>, 古藤 慶彦<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部 水・環境プロセス技術部  
(〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 E-mail: satoshi4.kawaguchi@toshiba.co.jp)

<sup>2)</sup> 東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部 水・環境プロセス技術部 水・環境プロセス技術第一担当  
(〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 E-mail: kiel.kubo@toshiba.co.jp)

<sup>3)</sup> 東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部 水・環境プロセス技術部 水・環境プロセス技術第二担当  
(〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 E-mail: yoshihiko.koto@toshiba.co.jp)

### 概要

世界中のすべての人々が安心・安全な水を利用できる社会の実現に貢献すべく、当社はインドの水処理エンジニアリングの拠点を通じて、海外で水・環境ソリューション技術の提供を進めてきた。新型コロナウイルス感染症拡大に起因する経済活動の制限の中でも当社は持続的な水インフラ環境の構築・維持に注力してきた。本稿では、当社のインドにおける取り組みとして、上下水道分野と水資源リサイクル分野の事例を紹介する。

キーワード：水処理エンジニアリング、オゾン、ZLD、人材育成、水資源確保

原稿受付 2023.3.30

EICA: 28(1) 18-21

## 1. 東芝の海外水事業について

2015年、当社はインドの現地企業を子会社化し、海外水処理エンジニアリングの拠点となる東芝ウォーターソリューションズ社 (Toshiba Water Solutions Pvt. Ltd., 以下 TWS) を設立した。以来、当社は TWS を中核組織として、インド、中東、東南アジア、西アジア及び中南米に事業展開し、海外の水処理エンジニアリングへの取り組みを進めてきた。

TWS の拠点であるインドでは、新型コロナウイルス感染症拡大により 2020 年 3 月には全土ロックダウンが行われ、経済活動が大きく制限された。水分野においても上下水道を始め、数々のプロジェクトが停止されるなどの多大な影響が生じた。当然 TWS も例外ではなく、当時は事務所の一時閉鎖や駐在員の緊急一時帰国などの対応を余儀なくされ、入札延期に伴う事業活動の停滞もあり、同年 10 月のロックダウン全面解除まで様々な影響を受けた。

インドのみならず、日本を含む全世界で新型コロナウイルス感染症の拡大と収束が繰り返されたが、重要なライフラインである水インフラ分野では、厳しい事業上の制約の中でも、行政や企業による水インフラの整備、維持管理に向けた取り組みが続けられており、当社も TWS とともに活動を続けてきた。

本稿では、上下水道及び水資源リサイクルの各分野から TWS で特に注力している技術に焦点を当てて近年の取り組み事例を紹介する。また、インドでのエン

지니어リング事例を通じた人材育成の取り組みについても触れる。

## 2. 上水処理における取り組み事例

2015年に国連で採択されたSDGsを背景に、インドでは水道水の水質向上のための高度浄水処理の導入が進んでいる。特に、デリーやムンバイなどの大都市圏では、急激な人口増加と産業の集中に伴い、浄水場でオゾン処理設備の導入計画が進められており、安全な水供給への需要の高まりとともに、今後も普及拡大が見込まれている。ここではデリー市チャンドラワール浄水場におけるオゾン処理設備の導入事例について紹介する。

### 2.1 プロジェクト概要

デリー上下水道公社 (Delhi Jal Board) が管轄するデリー市チャンドラワール浄水場は 1937 年に建設された同市で最も古い浄水場であり、現在、施設の老朽化に伴う改築・更新工事が行われている (更新後の施設能力: 日量 477,000 m<sup>3</sup>)。本プロジェクトは独立行政法人国際協力機構 (JICA) の円借款事業として、デリー市上水道改善事業の 1 つに位置付けられている。今回の更新工事に伴い、新たにオゾン発生量 31 kg/h のオゾン処理設備が 3 台導入され、インド最大級のオゾン処理設備を有する浄水場となる。

本プロジェクトでは、当社がオゾン発生装置を供給

し、TWSが現地施工・調整・保守点検を行うJVとして工事を進めている。

## 2.2 上水処理でのオゾン利用の目的

オゾンは塩素よりも強い酸化力を有する物質であり、高度浄水処理に利用されている。上水処理では主に鉄・マンガン除去、消毒副生成物のトリハロメタン生成抑制、カビ臭などの異臭味削減、フミン質などの色度除去、微粒子のフロック化、微生物の不活化などの対策として導入される。チャンドラワール浄水場のオゾン利用の主目的は、トリハロメタン対策である。

## 2.3 当社の高効率オゾン発生装置

当社は1970年代からオゾン発生装置の開発を開始し、これまで日本国内では上下水道、産業用の水処理に130台以上の納入実績がある（Fig. 1）。

オゾン発生装置は、内部に多数の放電管が装着されており、そこに原料となる乾燥空気または酸素を流し、高電圧のバリア放電でオゾンを発生させる。当社のオゾン発生装置は、小口径の放電管とその内面のステンレス薄膜の高電圧電極に特徴を有する。40年以上実績のあるスパッタリング技術で形成された薄膜は、ガラスとの密着性も高く材質がステンレスであることから、耐久性に優れている。さらに高精度の放電ギャップを実現し、オゾン発生効率向上とオゾンの高濃度化、オゾン発生装置のコンパクト化を可能とした<sup>1)</sup>。設計には当社独自のマイクロプラズマを考慮したオゾン発生シミュレーション技術<sup>2,3)</sup>を活用し、放電ギャップやガス圧、電力密度、ガスの流速、放電管材料、冷却水温などのパラメータを決定することで性能設計を行っている。



Fig. 1 Ozone generator

## 2.4 プロジェクトにおける課題とその対応

本プロジェクトでは、現地への輸送を考慮した装置設計が大きな課題となった。まずコンテナ搭載と現地環境の制約からダウンサイジング化が要求された。酸素原料で発生オゾン濃度を高濃度化し、また当社独自のオゾン発生シミュレーションにてサイズとオゾン発生効率を両立する最適条件を算出した。これを装置設計に反映することで装置サイズは約半分、消費電力を55%に低減した。次に長距離輸送に対する耐久性向上も不可欠であった。港湾での荷役、列車やトラック輸送などの振動により、オゾン発生装置の内部部品破損の懸念を解消するため、オゾン発生装置内の補強構造を見直した。さらに試作機を用いた振動試験による検証を行い、その結果を踏まえた設計を装置に実装した。

## 2.5 今後のオゾン処理設備の展開

これまで当社は日本国内において、都市部を中心とした大規模浄水場に数多くのオゾン発生装置の提供を行ってきた。今回のチャンドラワール浄水場向けオゾン処理設備の導入は、その実績が評価されたものであり、本プロジェクトを通じてインドにおける高度浄水処理のさらなる普及拡大へ向けた足掛かりを築くことができた。

今後、インド国内ではデリー市をはじめとして、他浄水場でもオゾン処理設備の導入が計画されている。引き続き、当社はTWSと連携して、現地ニーズに合わせたオゾン処理設備の提供を進めていく。また、安心・安全かつ安定した水供給を実現すべく、地域事情に応じたオゾン処理設備の改良を継続していく。

## 3. 下水処理における取り組み事例：ガンジス川浄化計画における取り組み

### 3.1 ガンジス川浄化計画とは

ガンジス川はヒマラヤを水源とし、インドの北東部を約2,700 kmにわたって流れ、ベンガル湾に流れ込む。川の流域は11の州にまたがり、6億人以上が住み、ガンジス川はインド国民の飲用、家事、灌漑に不可欠であるだけでなく、インドで最も聖なる川として崇拝されていることから、精神、文化面でも極めて重要な存在である。

急激な人口急増や都市化によってガンジス川は生活排水や有害排水にさらされ、沐浴や生活用水として利用している流域住民の生活環境が脅かされているため、インドでは国家プロジェクトとしてガンジス川浄化計画が進められている。同計画では、下水処理場建設に関する99のプロジェクトが完工し、48のプロジェクトが進行中である<sup>4)</sup>。

### 3.2 TWSの取り組み：下水処理施設設計・建設・運転維持管理

TWSは、ガンジス川の中流域に位置し、インドで最も人口の多い州であるウッタル・プラデーシュ州の主要都市アラハバードで実施されたサロリ下水処理場および関連施設の設計・建設・運転維持管理プロジェクトに参画した（Fig. 2）。本プロジェクトは、世界銀行の資金提供によりガンジス川浄化計画の一部として実施されたもので、アラハバードの衛生環境改善を図るとともに、都市下水を水質基準に適合するよう処理してガンジス川に放流することで、当該地域のみならず下流域の水資源の保全に寄与するものである。

本プロジェクトは下水処理場・ポンプ場新設工事の設計・建設と10年間の運転維持管理を組み合わせたパッケージで構成され、建設費用だけでなく運用コストを含めたライフサイクルコストの最適化提案が求められていた。そこで必要敷地面積・工期・運営コストの面で低減できる、回分式活性汚泥法（SBR法）を採用した。SBR法は1つの水槽内で排水受入、活性汚泥との反応、沈殿、上澄水及び沈殿汚泥の排出のサイクルを繰り返し処理する方式のため、沈殿池が不要になるなど設備数が少なく、工程管理や運転維持管理まで容易にすることが可能となり、顧客から高い評価を得た。本プロジェクトは2021年にJAPANコンストラクション国際賞（国土交通大臣表彰）<sup>5)</sup>を受賞している。



Fig. 2 Full view of Salori sewage treatment plant, Allahabad, Uttar Pradesh, India

### 3.3 当社の取り組み：人材育成（日印若手エンジニア育成）

当社はTWSに日本人エンジニアを駐在させ、現地エンジニアへの技術、ノウハウ等の指導を通じて人材育成に継続して取り組んでいる（Fig. 3）。また、日本人若手エンジニアに対しては、インドでのプロジェクトでの現場実習の機会を設けている。海外実務経験と合わせて、異文化で鍛えられた交渉力や語学力を有する国際人材として育成し、海外事業において活躍する場を提供している。



Fig. 3 Guidance by Japanese engineers in the Ganges river cleanup project

### 3.4 今後の展開

水問題が極めて深刻なインドにおいて、国家プロジェクトであるガンジス川浄化計画の中心をなす下水道整備に取り組んだプロジェクトに参画した。日本、インド双方のエンジニアで協力しインフラを完成させたことで、現地社会から評価を獲得し、継続的なプロジェクト参画への礎を築いた。

日本での水環境改善で培ってきたエンジニアリング力を、これからのインドの成長を担う若手エンジニアとともに提供し続けることで、すべての人々が安心・安全な水を利用できる社会の実現に貢献していきたい。

## 4. 水資源リサイクルにおける取り組み事例

### 4.1 ZLD技術紹介

#### (1) ZLDのニーズ

インドでは、水資源の枯渇のため、排水先の環境汚染をゼロ化し水環境を保全するとともに、水のリサイクル率を最大化することで取水を最小化し水資源を確保する必要がある。水資源リサイクルの分野で、工場等の施設からの排水を100%リサイクルし、液体廃棄物を系外に一切排出しないことをZLD（Zero Liquid Discharge：無排水）と呼ぶが、近年、工場等の施設の建設の際に、所轄の環境関係当局から排水処理設備のZLD化を求められる事例が増えている。

#### (2) ZLDシステムの技術課題

一般的なZLDシステムは、前処理、逆浸透膜（RO膜）、蒸発・乾燥処理から構成される。RO膜では、ろ過された清澄な水を再生水として回収すると同時に、高濃度の不純物を含む濃縮水が排出される。従来は、排水中の硬度成分やシリカの析出、また膜表面への有機物の堆積や微生物の繁殖などによってRO膜の目詰まりが生じることで、この再生水の回収率は70～80%程度が限界となっていた。

残りの水が濃縮水として排出されるが、その処分のためには蒸発器を用いた蒸発乾固処理が必要となる。濃縮水量が多いほど蒸発器は大規模になり、水分を蒸発させるために必要なエネルギー等の運用コストも高

額になることが大きな課題であった。

(3) 東芝のZLDシステム

ZLDの効果的な導入には、再生水の回収率を向上させ濃縮水量を削減することが重要となる。そこで当社は Fig. 4 のように、硬度除去と炭酸塩除去の2段階の前処理で水中の不純物を取り除くとともに、アルカリ注入による高い pH の状態で RO 膜を運転すること（以降、高 pH RO）で膜の目詰まりを防止し、再生水の回収率を 95% 程度まで上昇させた<sup>6)</sup>。

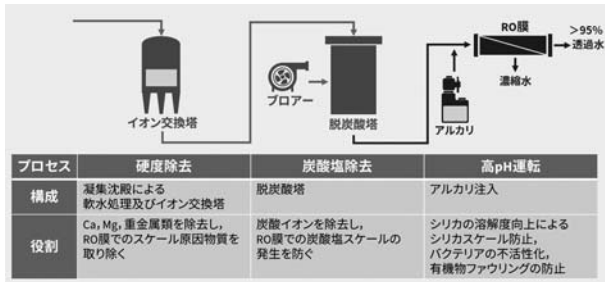


Fig. 4 ZLD optimization using high pH RO

4.2 適用事例

TWSは2016年から高pH ROを用いたZLDシステムの提供を開始し、これまで自動車関連工場を中心に導入を進めてきた。インドでは工場建設時に汚染管理局から水環境保全のためZLDを要求される事例が多いことに加え、工場側では水リサイクルのニーズが高く、様々な業種でZLDの適用が拡大している。

インドで操業中の某日系繊維メーカーでは、既存工場に対して汚染管理局から要請を受け、既設排水処理設備の更新に合わせてZLD化を行うこととなった。そこで、TWSは排水に含まれる金属メッキ工程からの重金属成分を凝集沈殿により除去、染色排水の有機物を生物処理で分解したうえで、最終的に高pH ROを用いて95%以上の水をリサイクルするZLDシステムを納入した (Fig. 5)。



Fig. 5 Application example of ZLD for a Japanese textile manufacturer

設備の処理能力は約1,800 m<sup>3</sup>/日で、2016年に受注した。既設排水処理設備の運用を維持しながら更新工事を行い、2019年に完工した。その後、安定稼働している。

4.3 今後の展開

インドでは経済発展に伴って、建設される工場の大規模化が進み、同時に環境規制強化による汚染管理局からのZLD化の要請も増えている。前述の日系繊維メーカー適用事例はZLDとして規模が大きく、その導入経験を活かして今後の現地ニーズに応じていきたい。

また、膜分離技術向上によるエネルギー消費のさらなる低減やIoT活用による運用効率化など、常により優れたZLDシステムの実現を目指し取り組んでいく。

5. おわりに

水インフラは、生活上欠かすことのできない社会基盤である。世界的な人口の増加や都市化への流れを背景とした水インフラへの需要は今後も拡大すると予想され、効果的かつ持続的なインフラ開発に向けた取り組みがより重要になってくる。

当社は、長年培ってきた水処理技術、ソリューション技術と、豊富な海外水事業の経験に基づき、持続可能な水循環システムの確立に貢献していく。

参考文献

- 1) 服部 大, 久保貴恵, 難波 諒: 上水道施設の省エネ・省コスト運用に貢献する技術, 東芝レビュー, Vol. 69, No. 5, pp. 16-19 (2014)
- 2) 村田隆昭, 雨森清行, 中嶋可南子, 久保貴恵: オゾン発生装置の分光によるガス温度測定とオゾン発生特性, EICA, Vol. 17, No. 2・3, pp. 170-173 (2012)
- 3) Takaaki Murata, Ryota Suganuma, Michiko Hashimoto and Kie Kubo: Engineering Model of Ozone Generation Considering Microdischarges, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 48, No. 4 (2020)
- 4) National Mission for Clean Ganga: Namami Gange Programme, (https://nmcg.nic.in/NamamiGanga.aspx), (参照 2023-3-15)
- 5) 国土交通省 第4回「JAPAN コンストラクション国際賞」受賞プロジェクト・企業, (https://www.mlit.go.jp/JCIA/award/4/), (参照 2023-3-15)
- 6) 古藤慶彦, ハーシェクシエトリ, シバラム レディ: 排水を最大限再利用し液体廃棄物を排出しないZLDシステム, 東芝レビュー, Vol. 71, No. 4, pp. 75-79 (2016)