

東芝が考える水循環とそれを支える水環境ソリューション

Toshiba's Approaches to Water Circulation Systems and Solutions for Water and Environment

殿塚 芳和

■ TONOUZUKA Yoshikazu

水循環に影響を与えるメガトレンドとして、人口急増に伴うエネルギーと水需要の増大や、それらが引き起こす地球温暖化や水ストレス人口の増加、急速な都市化に伴う水質の悪化などが挙げられ、現在も拡大の方向に進んでいる。国内でも、年々増え続ける局地的大雨による都市型水害など、様々な環境の変化がクローズアップされている。このように、健全な水循環システムの形成を脅かす数多くの問題が発生していることから、自然の循環サイクルと上下水道などによる人工サイクルとを適切に管理し、対策していくことが求められている。

東芝は、健全な水循環システムの形成と維持に貢献するため、ICT（情報通信技術）や、水処理技術、運用制御技術などを駆使し、これらの社会環境と自然環境の急激な変化に適応した、多様なソリューションを提供している。

Current megatrends in global issues related to the Earth's water cycle include expanding demand for energy and water due to the rapid growth of the global population, the resultant increases in global warming and the water-stressed population, and the deterioration of raw water quality with progressive urbanization. In Japan, attention has been increasingly focused on various climate change-related phenomena such as the more frequent occurrence of flood damage in urban areas year by year caused by localized torrential downpours. A comprehensive approach aimed at a healthy water cycle is therefore required in which effective countermeasures against these issues can be implemented by harmonizing artificial systems including water supply and sewerage systems with the water cycle in the natural world.

Toshiba is making continuous efforts to provide a wide variety of solutions that can adapt to rapid changes in the social and natural environments aimed at creating and sustaining healthy water circulation systems, based on its information and communication technologies (ICTs), water and wastewater treatment equipment, and operational control technologies.

水循環システムとは

水は、地球上を絶えず循環している。雨や雪によって地表に降り注いだ水は、河川や地下水を通じて海へ流出し、そこで蒸発し、再び雨や雪となり地上に降り注ぐサイクルを形成しており、太陽エネルギーと重力による自然の循環サイクルがとめどなく繰り返されている。そこに、人間が都市活動を営むためにエネルギーを投入し、水資源の一部を利用して処理し、公共用水域に放流するための上下水道や、農業用水道、工業用水道などの人工サイクルが付加されることで、水循環システムが形成されている（図1）。この水の循環が、地球上のごく限られた水資源の利活用を可能なものにし、自然の営みや人間の生活基盤を支えている。健全で持続可能な水循環システムを形成し、次世代につないでいくことは未来永劫（えいごう）重要である。

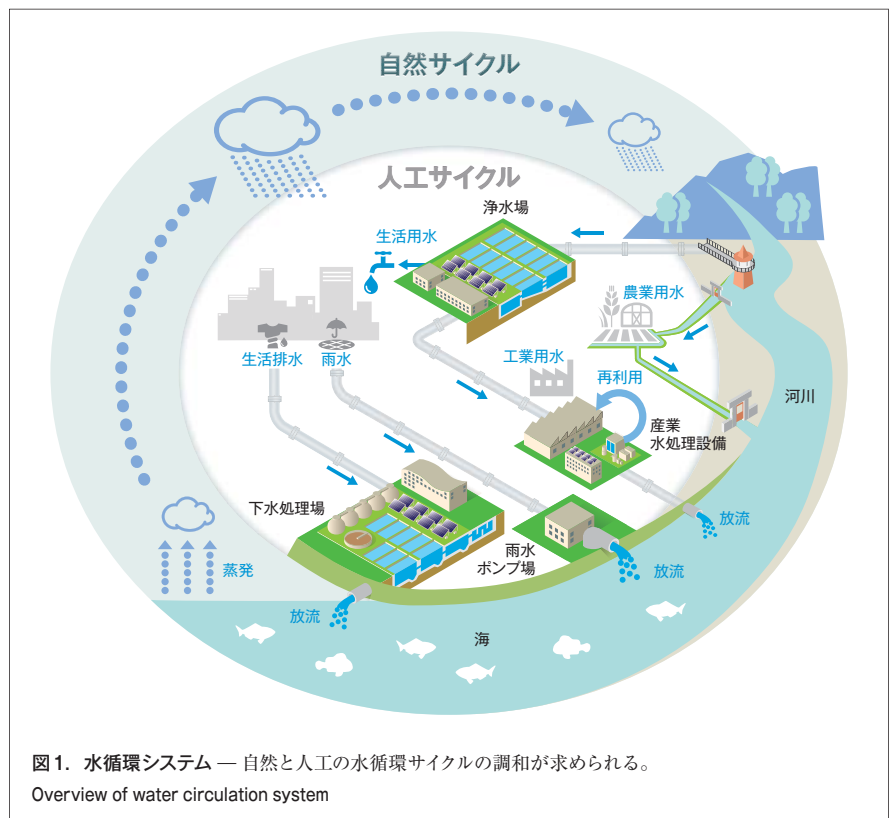


図1. 水循環システム — 自然と人工の水循環サイクルの調和が求められる。
Overview of water circulation system

このためには、自然の水循環サイクルの中で人工的な水循環サイクルを調和させ、都市活動における水の量と質を適切に管理して流域における水循環を健全にすることが求められる。

健全な水循環を阻害する変化

近年、健全な水循環システムの形成と維持を脅かす数多くの問題が発生している。人口増加とそれに伴う経済活動の活性化や生活水準の向上といった社会環境の変化が、エネルギーと水の需要を増大させ、気候変動による都市型洪水や渇水といった自然環境の変化を引き起こし、更には水ストレス人口（水需給が逼迫（ひっぱく）した状態にある人口）の増加につながっている。また都市への急激な人口と産業の集中により、河川への汚染水の排出が進行し、水源水質リスクを顕在化させている。

健全な水循環システムの形成と維持を阻害するこれらの自然・社会環境の変化は、現在も拡大する方向に進んでいる。ここでは世界のメガトレンドと、それらが水循環に与える影響について述べる。

■世界のメガトレンド

世界のメガトレンドにおけるもっとも重要な指標は、人口の増加である。欧州の主要各国やわが国は少子高齢化により人口減少に直面しているが、世界の人口はアジア・アフリカ地域で今後も増加が続く。国際連合（UN）による2015年の最新人口推計によれば、現在の世界の人口は約73億人に達し、2050年には97億人を突破するものと予測されている⁽¹⁾。

エネルギーと水の需要は、人口増加と経済成長に伴って増加する。国際エネルギー機関（IEA）によると、世界のエネルギー消費量は、主にインド、中国、アフリカ、及び東南アジアに牽引（けんいん）され、2040年までに現在の1.33倍にあたる一次エネルギー消費の増加

を見込んでいる⁽²⁾。また、1995年時点で年間約3,750 km³であった世界の水使用量は今後増加の一途をたどり、2025年には約5,140 km³に達すると予想されている⁽³⁾。そして、これら人口とエネルギー・水需要の増加が、地球温暖化や、水ストレス人口の増加、水源水質リスクを引き起こす。

■地球温暖化

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が2014年に第5次評価報告書を発行した⁽⁴⁾。それによると、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、“人間の影響が、20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い（95%以上）”としており、前回の第4次評価報告書（2007年発行）の90%よりも踏み込んだ表現となっている。また世界平均地上気温は、1880年から2012年の期間に0.85℃上昇しており、今世紀末までの世界平均気温の上昇は0.3～4.8℃の範囲に、海面水位の上昇は0.26～0.82mの範囲に入る可能性が高いとしている。

地球温暖化が水循環に与える影響としては降水量の増加が挙げられ、IPCCの第5次評価報告書では、極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が多くの地域で高くなり、北半球中緯度の陸域の湿潤な熱帯域においては、今世紀末にかけて特に非常に高いと警告している。また、湿潤地域と乾燥地域の間や、湿潤な季節と乾燥した季節の間における降水量の差が増加するとも予測している。

また、渇水や干ばつの増加、水温上昇による生態系変化やプランクトン増殖による水源水質の悪化、海面上昇による塩水の河川遡上と取水障害の他、積雪量の減少と融雪の早期化により、農業用水などの水資源を融雪に依存する地域では、水利用に大きな影響が生じると考えられる。

世界のエネルギー需要は、人口動態変化と経済の構造的変化に加え、気候

変動対策に向けたエネルギー政策転換によって一部の地域では減少に転じるものの、全体としての増加は不可避であることから、省エネ技術や再生可能エネルギーの活用によって温室効果ガスの排出量を減らす緩和策の実施とともに、気候変動が引き起こす自然災害による被害を軽減する適応策の実施も重要度が高まっている。

このようななか、2015年11月から12月にかけて、国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）がフランスのパリで開催され、参加する196全ての国と地域にとって公平で実効的な枠組みとして、「パリ協定」が採択された⁽⁵⁾。世界共通の長期目標では、それまで共有していた産業革命前と比較した地球平均気温上昇を2℃未満に抑えるだけでなく、1.5℃以内に抑える努力目標にも言及され、主要排出国を含む全ての国が温室効果ガスの削減目標を5年ごとに提出して更新することとされており、初めて世界的な方向性の一致が見られた。

■水ストレス人口の増加

水ストレスの程度を表す指標として、人口一人当たりの年間の最大利用可能水資源量が用いられ、1,700 m³/年が最低基準とされており、これを下回る場合は“水ストレス下にある”状態と言われている。今後、人口増加による水の需要増と供給力のギャップが広がり、水ストレスを感じる限界点以下の生活をする人口の割合が増大し、2050年時点で世界の40億人が水ストレスに直面すると予測されている（図2）⁽³⁾。したがって、水源確保と施設整備はもとより、水再生技術による再利用といった技術の普及が、今後ますます重要となってくる。

■都市化や工業化が引き起こす水源水質リスク

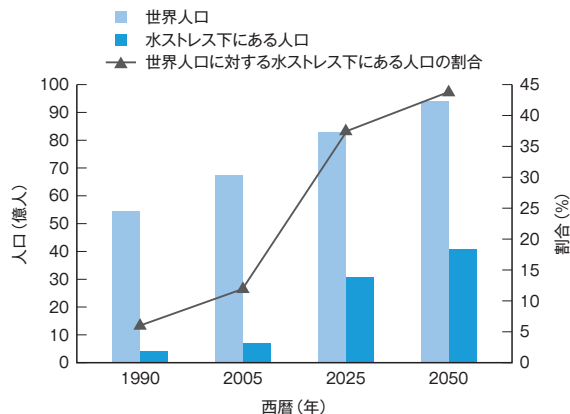
都市への急激な人口と産業の集中が起こると、水インフラの施設整備が追いつかず、生活排水や産業排水が未処理のまま河川や湖沼に放流されることによ

る水源水質リスクの発生が、発展途上国や新興国において極めて深刻な問題となっている。例えば、インドや中国においては、各地の河川の汚染が住民生活における衛生面に大きな影響を与えており、施設整備の進展（ハード面）と、排水規制強化及びモニタリング（ソフト面）の双方から、国を挙げた対策が必要になっている。また施設整備では、地域の実情に応じ、効果的な排水処理技術の導入が求められる。

国内を取り巻く水環境の変化⁽⁶⁾

国内においても、将来の水需給バランスの維持と健全な水循環システムの形成に大きく影響を与える、気候及び気象現象の極端な変化が観測されている。気象庁のデータ^{(7), (8)}によると、わが国における年間平均気温は1898～2014年で100年当たり1.14℃の割合で上昇している。また降水量は、1898年の統計開始以降、近年では年ごとの変動幅が大きくなっており、1時間降水量が50 mmや80 mm以上の短時間強雨発生回数の増加傾向が明瞭であり（図3）、今後もその発生頻度は全国的に増加すると予測されている。

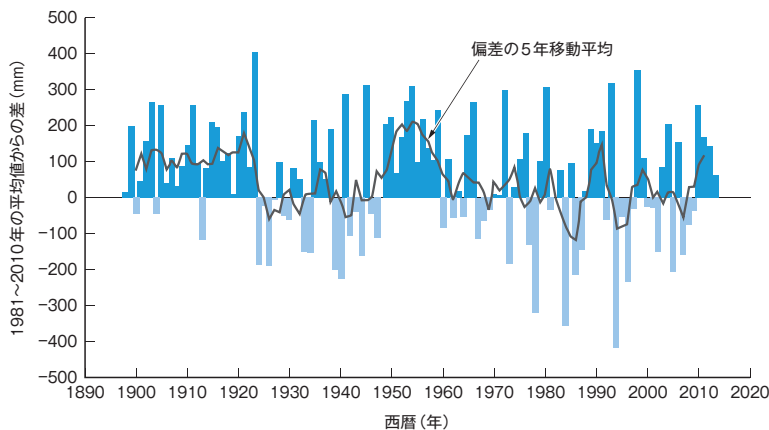
既に、気候変動や、都市への人口や産業の集中、産業構造の変化などに伴う様々な問題が顕在化している。例えば、短時間強雨の増加と不浸透面積の拡大が要因となって引き起こされる都市型水害や、少雨年の年降水量減少と渇水による取水制限などが挙げられる。また、最深積雪の地域的な減少や、融雪の早期化、湧水の枯渇、平常時の河川流量の減少などによる、水供給施設における安定供給可能量の低下リスクが顕在化している。したがって、あらためて水が人類共通の財産であることを再認識し、水が健全に循環することでもたらされる恩恵を将来にわたって持続的に享受できるように、様々な課題に対する取組みを遂行していくことが急務である。



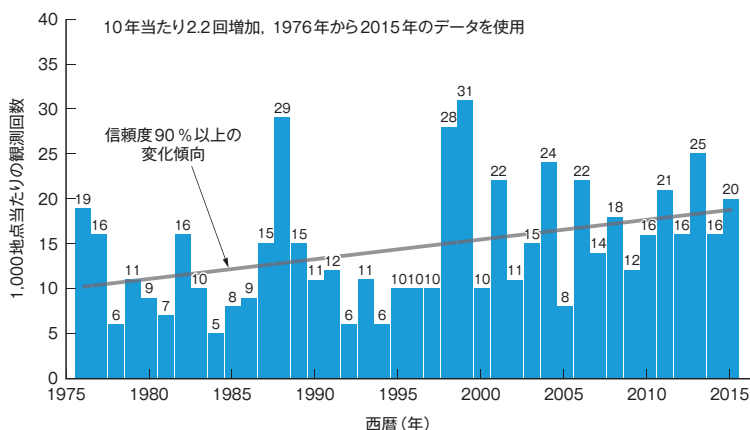
*国土交通省「国際的な水資源問題への対応」⁽⁹⁾に基づいて作成

図2. 世界の水需給の逼迫状況 — 需要と供給のギャップが広がり、水ストレス人口の割合が増大していく。

Trends in and future outlook for global water-stressed population



(a) 日本の年間降水量偏差



(b) 1時間降水量80 mm以上の年間発生回数

*気象庁「異常気象レポート2014」⁽⁷⁾及び「アマダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について」⁽⁸⁾に基づいて作成

図3. 国内における降水量に関するデータ — 地球温暖化の影響により、気象現象に明らかな変化が見られる。

Variations in rainfall data in Japan

水循環基本法

近年の都市部への人口集中や、産業構造の変化、地球温暖化に伴う気候変動などが水循環に変化を生じさせ、それに伴って渇水や、水質汚濁、生態系への影響など様々な問題が顕著になっている。この現状に鑑み、この法律は、「水循環に関する施策を総合的かつ一体的に推進し、健全な水循環を維持し、又は回復させ、我が国の経済社会の健全な発展及び国民生活の安定向上に寄与すること」を目的として公布された。ここでの水循環は、「水が、蒸発、降下、流下又は浸透により、海域等に至る過程で、地表水又は地下水として河川の流域を中

心に循環すること」とあり、健全な水循環を「人の活動及び環境保全に果たす水の機能が適切に保たれた状態での水循環」と定義している。「水循環の維持又は回復への積極的な取組み」、「水の公共性の確保」、「健全な水環境維持への配慮」、「流域の総合的かつ一体的な管理」、及び「水循環に関する取組みの国際的協調」を五つの基本理念とし、「貯留・涵養（かんよう）機能の維持及び向上」や、「水の適正かつ有効な利用の促進等」、「流域連携の推進等」など八つの基本的施策を定め、国、地方公共団体、事業者、及び国民それぞれの責務と関

係相互の連携及び協力について述べられている。また内閣に「水循環政策本部」を設置し、水循環に関する施策を集中的かつ総合的に推進していくことを定め、本部長を内閣総理大臣、本部員を全ての国務大臣とし、省庁横断的な組織であるのが特徴である。今後、健全な水循環の維持又は回復に関する課題について、関係各府省庁が互いに連携して取り組んでいくことになる。なお、水循環の重要性についての理解と関心を深めるため、この法律によって、8月1日が「水の日」と定められた。

このような現状を背景に、2013年3月に「新水道ビジョン」⁽⁹⁾が厚生労働省によって策定された。水循環に関連する内容として、水源が同じ流域の事業者が互いに連携し、健全な水循環を意識しながら水源の環境保全を図ることの重要性が述べられている。また、2014年7月には国土交通省によって「新下水道ビジョン」⁽¹⁰⁾が策定され、下水道が具体的に果たすべき使命の一つに“循環型社会の構築に貢献”を掲げており、“循環のみち下水道”の持続と進化を二つの長期ビジョンと位置づけている。更に、2014年7月には「水循環基本法」(囲み記事参照)が施行され、2015年7月には「水循環基本計画」が閣議決定されるなど、健全な水循環の維持と回復に向け、国を挙げて取り組む姿勢がよりいっそう鮮明になった。

東芝が考える水循環システム

これまで、健全で持続可能な水循環システムの形成と維持を脅かす、国内外の様々な自然環境と社会環境の変化について述べた。都市活動を営むために整備した上下水道システムなどの人工サイクルが、これらの変化の要因を低減したり、変化による影響を緩和したりする

役割を担うことで変化に適応し、自然の水循環サイクルの中に調和していくことが求められている。そして、それらを実現できるソリューションへの期待が高まっている。

当社は、変化への適応と、水循環に関する問題を解決するキーワードとして、“Reduce（低減する）”、“Recover（再生する）”、“Reuse（再利用する）”、

及び“Reinforce（強化する）”を掲げ、それぞれの視点から水環境ソリューションを提供し、地域社会における水循環プロセスの持続性の向上と、健全な水循環システムの形成と維持に貢献している(図4)。この特集では、これら四つの視点を“監視制御システム”、“雨水対策ソリューション”、“上下水道ソリューション”、“水処理ソリューション”、“官

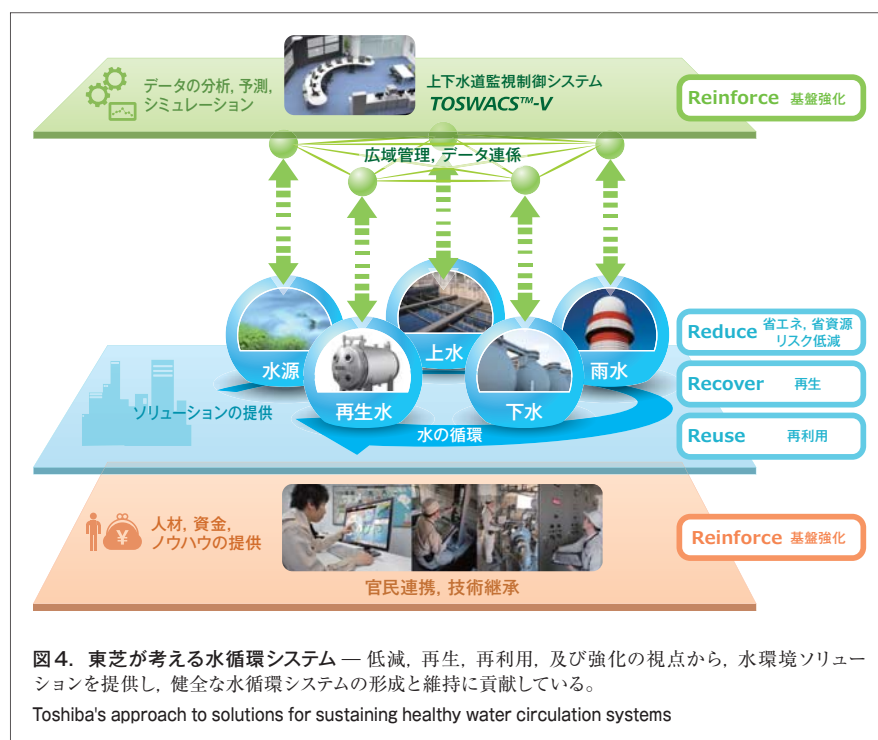
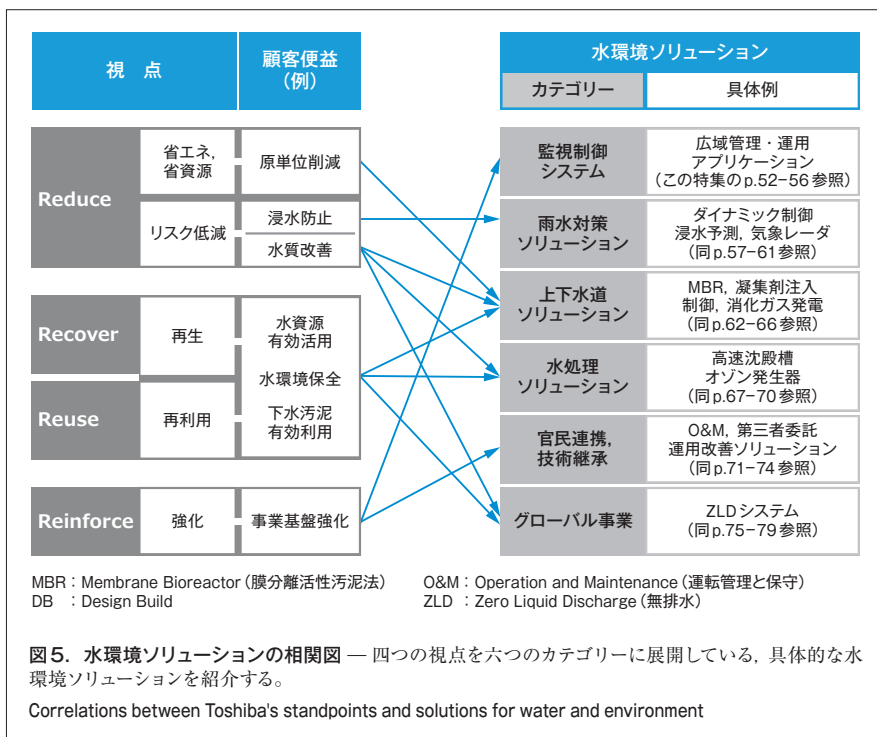


図4. 東芝が考える水循環システム — 低減、再生、再利用、及び強化の視点から、水環境ソリューションを提供し、健全な水循環システムの形成と維持に貢献している。

Toshiba's approach to solutions for sustaining healthy water circulation systems



民連携と技術継承”，及び“グローバル事業”のカテゴリーに展開し、具体的なソリューションや東芝の取組みについて紹介する(図5)。

■低減 (Reduce) の視点

当社は、循環型社会の実現に向けたエネルギー及び資源の消費低減の視点と、地球温暖化などが引き起こす自然災害に対する被害緩和の視点の双方から、省エネ、省資源、及びリスク低減につながるソリューションを提供している。例えば、省エネ機器や省エネ制御技術に加えて、太陽光発電や、風力発電、バイオマス発電などの再生可能エネルギーの導入によって、施設全体のエネルギー利用の効率化を図る。また、災害時の施設運用停止リスクを回避するため、電力会社からの電力供給が停止しても、発電設備を自立運転させ、確保した電力量の範囲内で水処理プロセスを制限して運転(縮退運転)することで、施設の継続稼働を可能にする。更に、防災や減災の観点からは、雨水対策ソリューションを開発し、激甚化する気象災害に対して浸水リスクの低減に取り

組んでいる。

浄水処理における安全・安心な水質確保に貢献し、水質変動リスクを低減する技術としては、水源水質事故の発生時に、汚染物質が取水口に達するまでの流達時刻や濃度を予測する水質事故対応技術や、原水濁度の変動に応じて過不足なく適正に凝集剤を注入する、流動電流値を指標とした凝集剤注入制御システムがある。

■再生 (Recover) 及び再利用 (Reuse) の視点

上下水道プロセスの処理過程で発生する排水や、汚泥、廃棄物などの利用形態は様々である。排水の再生及び再利用には、水環境の保全や環境改善の効果が期待されている。また下水汚泥は、質及び量ともに継続的に排出されるバイオマスとして、その有効活用、特にエネルギーとしての利用に大きな期待が寄せられている。国としても、下水汚泥のエネルギー化率を、2013年度の実績値15%に対し2020年度までに30%を達成するように目標値を定めている⁽¹⁾。

当社は、上下水道や産業排水分野に

おける水の浄化、再生、及び再利用に関する多様なニーズや課題に対し、MBR (Membrane Bioreactor: 膜分離活性汚泥法) や、高速沈殿槽、高効率オゾン発生器といった水処理装置を提供し、限りある水資源の有効活用と、公共用水域への汚濁負荷量の削減に取り組んでいる。また資源リサイクルの視点で、消化ガス(バイオガス)発電システムや下水汚泥燃料化システムを開発し、下水汚泥の有効利用と再生可能エネルギーへの転換を通じ、省エネや省資源に貢献している。

■強化 (Reinforce) の視点

上下水道事業は、強靱(きょうじん)で持続可能な社会インフラとしてその役割を果たすためにも、事業基盤の強化が求められている。厚生労働省は、人口減少に伴う水道料金収入の減少や、施設老朽化、職員減少による技術継承の問題に対し、広域化と官民連携を事業基盤強化策の一つとして挙げており、これまで水道広域化検討の手引きや、広域化に向けた検討事例集、官民連携に関する手引きが公開されるとともに、国庫補助の創設などがなされている。また水循環基本計画でも、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策として、水の適正かつ有効な利用の促進が挙げられ、その中で事業基盤強化のため、広域化の推進と官民連携の支援について言及されている。したがって、広域化と官民連携に向けた流れは、今後も加速していくと考えられる。

当社は、広域化と職員減少に伴う施設運用省力化へのニーズに応えるため、ICTを活用したトータルソリューションを提供していく。具体的には、広域ネットワークに対応した、柔軟性や、拡張性、信頼性に優れた上下水道監視制御システム TOSWACS™-Vの開発と継続した性能向上の他、ICTとクラウド基盤を活用して、施設、装置、機器、及びセンサをネットワーク化して広域連携し、データを“収集”して“蓄積”し、それらデータ

を“活用”して分析や、予測、シミュレーション、診断などを行う。ICTを活用した見えないもの見える化(ソフトセンサ)と、その活用による施設運用や保全の適正化と効率化を行い、経営指標改善に寄与する新たな価値を創出していく。

また、東芝グループでは、約半世紀にわたる電気・計装設備の建設工事と点検業務の実績を生かし、1999年からO&M(Operation and Maintenance: 運転管理と保守)事業を中心に、官民連携(PPP: Public Private Partnership)の事業に取り組んできており、包括委託や第三者委託の業務範囲拡大及びDB(Design Build)などの施設再構築事業を通じて、課題解決提案を積極展開してきた。またICTを活用し、施設運用状況を示すデータの蓄積と分析から施設運用の改善点を抽出し、電力や薬品に係る運用コストを削減する運用制御技術(運用アプリケーション)を開発し、O&Mツールとしての提供やクラウド環境での利用を通じ、効率化された施設運用を行っている。今後も、PPPを通じて資金や、人材、ノウハウなどを提供し、上下水道サービスの質の向上と健全で持続可能な水循環システムの実現に取り組んでいく。

■グローバル事業

当社は、国内で長年培ってきた上下水道インフラ整備のノウハウと経験をベースに、インド、インドネシア、及び中国に現地法人を展開し、EPC(設計、調達、建設)事業から保守メンテナンスまでを事業領域としたグループ会社を通じて、地域に応じた水・環境問題の解決に取り組んでいる。

これらの地域では、産業排水による汚染が年々深刻化している。例えばインドネシアでは、繊維業や、製紙業、合板業、ゴム業などが主な汚染排出源と考えられており、水質汚濁対策は環境対策の中でもっとも優先度が高く、法規制の強化が進みつつある。またインドでも、近年、流域の高汚染事業者に対し、排

水のオンラインモニタリングシステムの導入が義務付けられ、排水を浄化又は低減する技術に対するニーズが高まっており、とりわけ排水処理における無排水(ZLD: Zero Liquid Discharge)化が促進されている。ZLDとは、排水処理後に再生水と固形廃棄物だけを排出し、排水の生じない処理技術である。東芝グループは、ZLDシステムの導入を通じて、排水規制強化への対応、河川の水源水質リスクの低減、及び再生水利用による水資源の有効活用に寄与している。

今後の展望

当社は、水を取り巻く自然・社会環境の今後起こりうる変化に備え、変化に適応する水環境ソリューションを、低減、再生、再利用、及び強化の視点で更に進化させ、健全で持続可能な水循環システムと循環型社会の実現に貢献していく。

文 献

- (1) UN. "World Population Prospects: The 2015 Revision". UN. <<http://esa.un.org/unpd/wpp/>>, (accessed 2016-03-18).
- (2) IEA. World Energy Outlook 2015. 2015, 718p.
- (3) 国土交通省. “国際的な水資源問題への対応”. 国土交通省. <http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/j_international/about/about002.html>, (参照 2016-03-18).
- (4) 環境省. IPCC 第5次評価報告書の概要 - 第1作業部会(自然科学的根拠) -. 2014, 59p. <https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf>, (参照 2016-03-18).
- (5) 環境省. “国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)及び京都議定書第11回締約国会合(COP/MOP11)の結果について”. 環境省. <<http://www.env.go.jp/earth/cop/cop21/>>, (参照 2016-03-18).
- (6) 国土交通省. 平成26年版「日本の水資源」概要版. 2014, 57p. <<http://www.mlit.go.jp/common/001049552.pdf>>, (参照 2016-03-18).
- (7) 気象庁. 異常気象レポート2014. 2014, 253p. <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/2014/pdf/2014_full.pdf>, (参照 2016-03-18).
- (8) 気象庁. “アメダスで見た短時間強雨発生回数

html>. (参照 2016-03-18).

- (9) 厚生労働省. 新水道ビジョン. 2013. 54p. <<http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/newvision/newvision-all.pdf>>, (参照 2016-03-18).
- (10) 国土交通省. “下水道政策研究委員会【新下水道ビジョン】(平成26年7月策定)”. 国土交通省. <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000307.html>, (参照 2016-03-18).
- (11) 国土交通省. 第4次社会資本整備重点計画. 2015. 92p. <<http://www.mlit.go.jp/common/001104256.pdf>>, (参照 2016-03-18).



殿塚 芳和

TONOZUKA Yoshikazu

インフラシステムソリューション社技師長。
上下水道や環境分野のシステムエンジニアリング及び開発に従事。環境システム計測制御学会、計測自動制御学会会員。

Infrastructure Systems & Solutions Co.