

## 人と環境のためのスマートな水利用システム

Smart Water Management and Usage Systems for Society and Environment

田所 秀之 大西 真人 陰山 晃治  
Tadokoro Hideyuki Onishi Makoto Kageyama Koji  
栗栖 宏充 高橋 信補  
Kurusu Hiromitsu Takahashi Shinsuke

水は人の生活に欠かせない資源であるが、世界的にその偏在や不足が課題となっている。また水循環の中で自然と調和しながらの利用、水処理がもたらす温室効果ガスの低減への配慮も求められている。これらの課題を解決し、安全・安心・快適な水環境を実現するために、日立グループは「インテリジェントウォーターシステム」構想を提唱している。この構想では、再生水をはじめとした水処理技術、情報・監視制御技術といった要素技術のスマート化と、水循環を「水+情報の流れ」ととらえた水循環トレーサビリティによって、「調和・持続・自立」のコンセプトの下、地域、都市の水循環を総合的に管理することをめざしている。

## 1. はじめに

21世紀は「水の世紀」と言われ、世界的な人口増に伴い水需要が増加する一方で、河川や湖沼などの水として存在する淡水は地球上にある水のわずか0.01%にすぎず、水の偏在による需給のアンバランスが深刻になっている。このため、地球環境に配慮しつつ、衛生的な水を需要に応じて安定的に供給することがいっそう求められる。

国内では、人口減少社会に移行する中で、安全・安心な水供給、水環境の持続が求められる。これまでの「建設の時代」に整備した施設や設備が更新時期を迎えているが、逼（ひっ）迫する経済基盤、高齢化に伴う熟練技術者の不足といった課題を解決しながらこれに対応しなければならず、そのためには効率的な事業運営が欠かせない。

一方、温室効果ガスの削減という観点から見ると、上下水道分野は高環境負荷型のセグメントであり、低炭素社会の実現と健全な水環境の両立という課題もクローズアップされている。

日立グループは、このような課題に応え、国内外の水環境に貢献すべく、これまで培ってきたハードウェア/ソフトウェア、運営の技術やノウハウを基盤として、「インテ

リジェントウォーターシステム」構想を提案している。

ここでは、スマートな水利用システムの実現に向けた日立グループの技術開発と事業展開、および今後の取り組みについて述べる。

## 2. 水利用における課題と「インテリジェントウォーターシステム」構想

水環境は、水源、水利用（上水道、農業用水や工業用水などの産業用水）、再生（下水道、再生水）から成る循環系を構成するとともに、治水（水害を抑える）面での管理も必要である。また、水循環は流域、都市といった面的な広がりの中に存在しているため、そのステークホルダーは、一般市民、産業、農業、生物多様性の維持を含めた自然環境にまで広がる。このため、確固とした要素技術とともに、それらをシステムとして機能させることが大切である（図1参照）。

## 2.1 わが国の水利用システムにおける動向と課題

現在わが国の水道普及率は約97%、下水道普及率は約70%であり、水利用のインフラ整備は世界的にも進んでいる。水の「収支」を見ても、平均水資源賦存量（約4,100億 $m^3$ /年）に対して水使用量（2005年取水ベース）は、家庭への節水型機器の普及、工業用水の回収率の向上、水田面積の減少などによって約834億 $m^3$ /年と、恵まれた状況にある<sup>1)</sup>。

しかしながら、(1) 降水量の変動の増大や地球温暖化の影響、(2) 安全でおいしい水、豊かな水環境へのニーズ、(3) 高度経済成長時代に整備された施設の老朽化、(4) 事業体の財政基盤の逼迫と人的リソース不足、(5) 上下水道事業運営に伴う温室効果ガス排出抑制、といった課題が懸念されている。

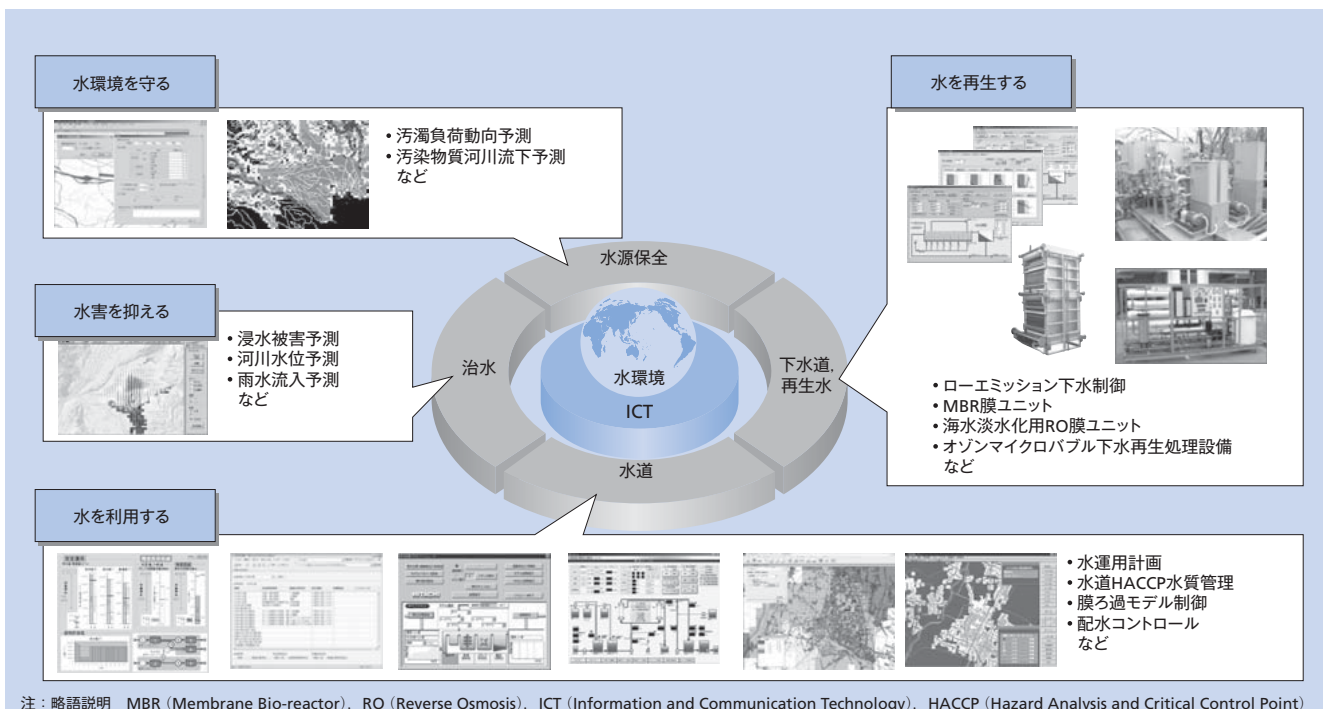


図1 「インテリジェントウォーターシステム」構想

機械設備、電気設備、情報・監視制御設備などの基本技術とICTによって、人と自然環境に配慮した都市、流域全体の水利用を実現する。

## 2.2 海外の水利用システムにおける動向と課題

世界的には人口増加や水質汚染の進行によって、生活の基盤となる水に関して量・質両方の問題点が顕在化している。2000年に世界水会議 (World Water Council) から発表された「世界水ビジョン」では、2025年までに世界人口の約半数に相当する約40億人が、いわゆる水ストレスに直面すると予測されている。さらに地球温暖化によって水不足の傾向は、いっそう拡大すると予測されている。

世界の水資源賦存量と人口の分布比率を比較すると、特に中東を含むアジアでは、人口の分布比率 (世界人口の約60%) に比べて水資源賦存量が小さく (世界全体の約36%), 水資源の不足が顕著である。

こうした地域の水利用インフラのニーズは一様ではなく、整備状況によって次の3段階に分けられる。

### (1) 第1段階：未整備段階

上下水道が未整備で、衛生問題、環境悪化が課題となり、上水道の整備が求められる。

### (2) 第2段階：整備強化段階

都市化に伴う水質汚濁の増大、農業用水の水質確保が課題となり、下水道整備が求められる。

### (3) 第3段階：運営管理、更新段階

急激な都市化、工業化に伴い新たな水源確保が必要になるとともに、水利用インフラの建設、運営コストの増大が課題となる。造水、下・排水事業や維持管理技術が求められる。

## 2.3 「インテリジェントウォーターシステム」構想

これまで機械設備、電気設備、情報・監視制御設備、サービスをはじめとするさまざまな領域で水環境分野に貢献してきた日立グループは、前述した国内外の課題を解決し、人と自然環境に配慮した水環境を提供するため、「インテリジェントウォーターシステム」構想を提唱している。この構想は、水処理、情報・監視制御などにおける要素技術のスマート化を進めるとともに、これらをシステムとして連携させることで、都市や流域レベルの全体最適を図り、人と自然環境に配慮したスマートな水利用を実現しようとするものである。このため、水環境を「水+情報の流れ」ととらえ、ICT (Information and Communication Technology) を活用して、水質・水量などの水環境情報をモニタリングする「水環境のトレーサビリティ」を基盤としたシステム化を図る。

水利用システムは、空間的に広がりのある循環系であることに加えて、人間活動だけでなく自然環境などを含めたさまざまなステークホルダーへの配慮も必要であることから、流域に分散したステークホルダーの水へのニーズを「調和」させ、社会インフラとしての「持続性」を持ちながら、環境負荷を考慮した「自立性」が求められる。

このことから、「インテリジェントウォーターシステム」構想では、水循環のトレーサビリティを活用して、「調和」、「持続」、「自立」した健全な水環境と水利用システムを実現することをコンセプトとしている (図2参照)。

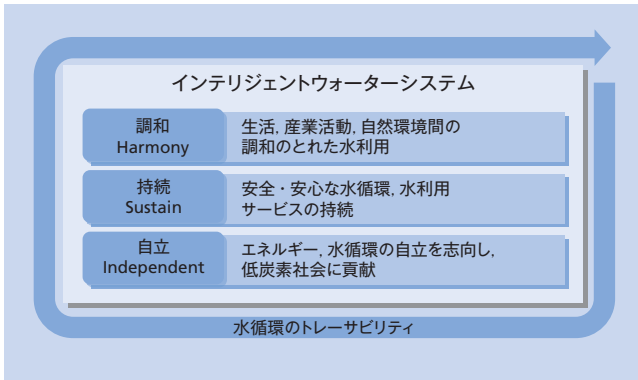


図2 | インテリジェントウォーターシステムのコンセプト「調和」、「持続」、「自立」した水利用システムを、水循環のトレーサビリティで実現する。

### 3. スマートな水利用を実現する要素技術

#### 3.1 水処理システム

水処理システムでは、「循環利用」を可能にする再生水技術や、需給の偏在を緩和するための海水淡水化による造水技術をスマートな水利用におけるキー技術としてサービスの事業化を含めて取り組んでいる。

##### (1) MBRおよびMBR-ROシステム

MBR (Membrane Bio-reactor: 膜分離活性汚泥法) システムは、生物処理と膜分離を組み合わせた水処理システムで、深刻化する水不足地域での健全な水循環・再生利用を実現するためのキー技術として実用化が進んでいる。従来の活性汚泥処理と異なり、生物反応槽内に膜ユニットを浸漬して膜ろ過を行うため、省スペースでかつ簡単な維持管理で再利用に適した処理水を得られることが特長である(図3参照)。

日立のMBRシステムに用いられている膜ユニット(図4参照)には、孔径0.1 μmのPVDF(Polyvinylidene fluoride: ポリフッ化ビニリデン)製の精密ろ過膜から成る浸漬平膜

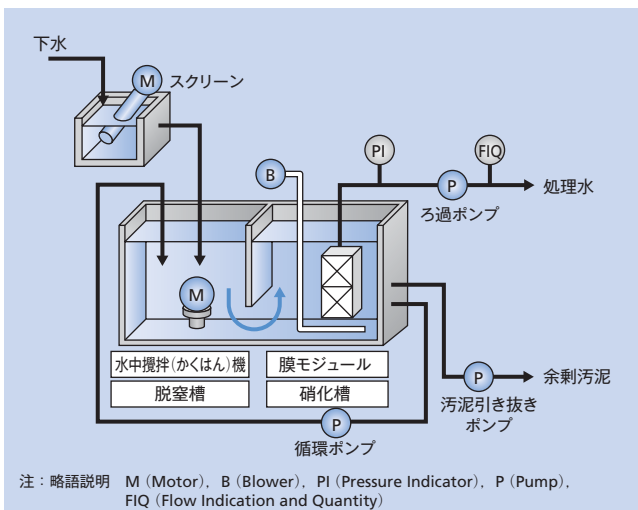


図3 | MBRシステムの標準フロー  
高度処理対応として、生物反応槽は脱窒槽・硝化槽から構成され、硝化槽内に膜ユニットを設置する。

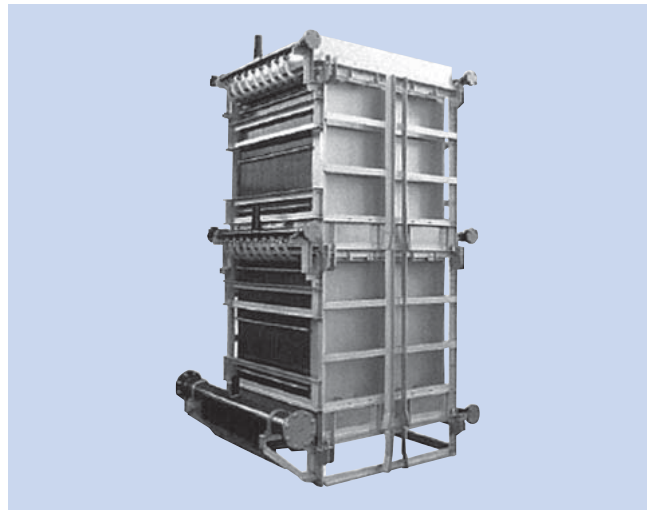


図4 | MBR用の膜ユニット  
二段重ね膜ユニットは、膜面積400 m<sup>2</sup>を有し、約250 m<sup>3</sup>/日の処理水を得ることができる。

ユニットを採用しており、大腸菌などの微生物や膜孔径の0.1 μmよりも小さなウイルスでも汚泥付着などによって除去できることがわかっている。

日立グループは、水不足問題を抱える中東地域を中心にMBRシステムを実用化し、緑化用水や産業用水への再生利用を進めている。さらに、地域冷房用の補給水など、再生利用のために高度な水質が要求される場合には、MBR処理水をRO (Reverse Osmosis: 逆浸透) 膜で処理し、水中のイオン成分を排除するMBR-ROシステムの適用も進めている。2008年8月には、ドバイにおいてMBR-ROシステムを軸とした水再生事業を開始し、再生水の販売も行っている。

##### (2) 海水淡水化システム

中東や北アフリカ、島しょ地域などにおける最大の水道水源は海水であり、海水淡水化システムの普及は安全・安心な日常生活の確保や産業活動の安定化のうえで欠くことのできないものである。海水淡水化システムには、MSF (Multi Stage Flash: 多段フラッシュ) などの蒸発法とROなどの膜法があり、当初は蒸発法が主流であったが、近年は膜法の実績も増えており、ほぼ二分されている。

日立グループは、海水淡水化用のROシステムや前述のMBR-ROシステムに用いるRO膜ユニットを製造し、海水淡水化による造水から、下水・産業排水処理・再生水供給に至るプラントの一貫供給体制を実現するため、2009年1月にシンガポールのAqua-Tech Engineering and Supplies Pte. Ltd.をグループ系列下とし、RO膜ユニットの製造・販売およびメンテナンスサービスを行っている。

海水淡水化用RO膜ユニットは、ROモジュール、高圧ポンプ、カートリッジフィルタ、エネルギー回収装置、ブースタポンプ、操作盤などで構成され、生産水量は200～

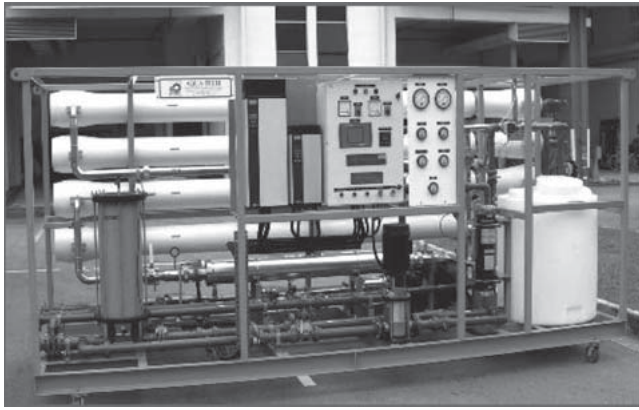


図5 | 海水淡水化用RO膜ユニット  
生産水量200~2,000 m<sup>3</sup>/日で、前処理システムも含めて標準化されている。

2,000 m<sup>3</sup>/日で前処理システムも含めて標準化されている(図5参照)。

### 3.2 情報・制御システム

情報・制御システムではICTと制御技術により、中長期的な水処理施設の計画や日々の運用のインテリジェント化を図り、スマートな水利用システムの実現に取り組んでいる。

#### (1) 水質汚濁動向予測システム

中長期的な水質汚濁動向を考慮した適切な水処理施設の計画の立案は、中長期的に「調和」のとれた水循環を「持続」可能にするうえで重要である。このために、データベース化された流域の水環境情報を活用し、水処理施設の整備計画や高度処理導入計画を支援する。

このシステムでは、中長期的な流域人口、都市活動(土地利用変化、鉱工業生産、農業など)を考慮して水源水質の将来の汚濁動向を予測する。流域全体の地域区画メッシュ情報に基づき、汚濁負荷評価モジュールにおいてTHMFP(Trihalomethane Formation Potential:トリハロメタン生成能)など5項目の水質の推移を予測する(図6参照)。

#### (2) 水運用システム

複数の水源や浄水場を有する水道システムにおいて、日々の需要変動に対応するとともに、配水池のバッファ機能や送配水系の融通機能を活用して浄水場を効率的に運用する、つまり水の生産計画を立案するシステムである。日々の水生産の効率化を図ることで水道事業の「持続」に、また、環境負荷に配慮した運用でエネルギーの「自立」に貢献しようとするのが水運用システムの目的である。

運用計画立案では、水利権や受水契約の順守、浄化プロセスやポンプ運転の安定化のための流量変動幅上限、配水池貯水量の上下限といった制約の範囲内で最良の計画を求める計算を行う。その評価指標は、経済性、安全性、環境

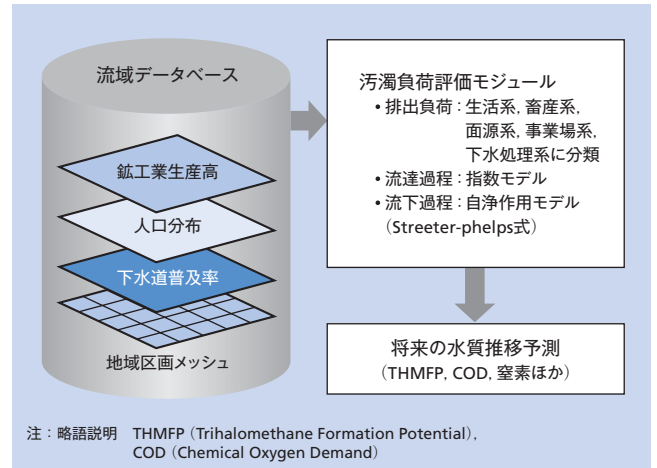


図6 | 水質汚濁動向予測システムの構成  
流域全体の土地利用状況および予測情報に基づき、将来の水質の推移を定量的に予測する。

負荷低減など複数存在するため、容易には比較できず、互いに相反することもある。日立グループは、それらのトレードオフを考慮して総合的に優れた計画を立案するために、多目的最適化手法を採用した(図7参照)。これによって安定運用とともに、エネルギーコスト、および環境負荷に配慮した運用計画を立案する機能を実現している。

#### (3) 配水コントロールシステム

配水圧力の適切な管理は、公平なサービスを提供するとともに、漏水量を低減させ、有収率向上、省エネルギーに寄与することになり、サービスの「持続」に欠かせない。

これを実現するためには、ポンプやバルブで加減圧して管網全体の圧力分布をできるだけ均一な適正圧力に保つことが望ましい。通常は、管網内の幾つかの代表点について、その圧力計測値を参考にしながら、ポンプ吐出圧力やバルブ開度の設定値を、経験的な定値もしくは時間変化のバ

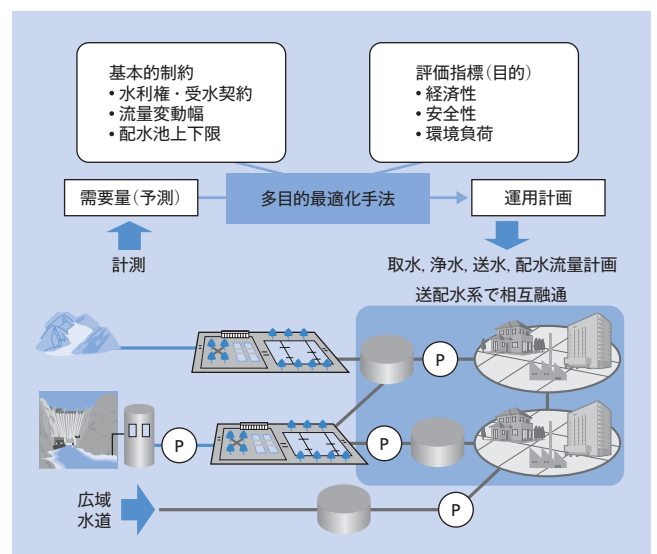
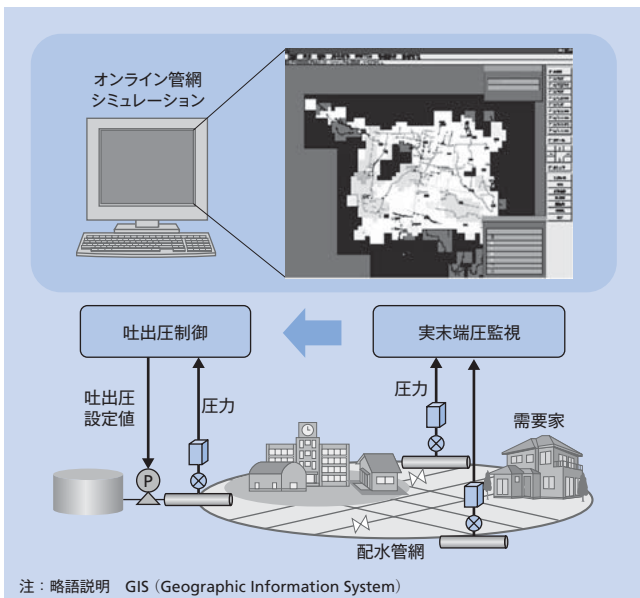


図7 | 水運用システム  
多目的最適化手法を駆使し、多様な目的のトレードオフを考慮して総合的に優れた計画を立案できるようにした。



注：略語説明 GIS (Geographic Information System)  
**図8** | 配水コントロールシステム  
 地図情報 (GIS) とオンライン圧力・流量計測値により、リアルタイムで管網シミュレーションし、最適な吐出圧力、流量設定値を算出する。

ターンとして与えるが、均一な適正圧力にするのは必ずしも容易ではない。

そこで、管網全体の流量と圧力の分布を求める管網解析をオンライン、かつリアルタイムで行い、そのつど最適なポンプ吐出圧力やバルブ開度の設定値を計算する制御システムを実現している (図8参照)。管路データを管路整備に合わせて更新することで、配水管網の変化に追従して、常に最適な圧力制御を行うことができる。

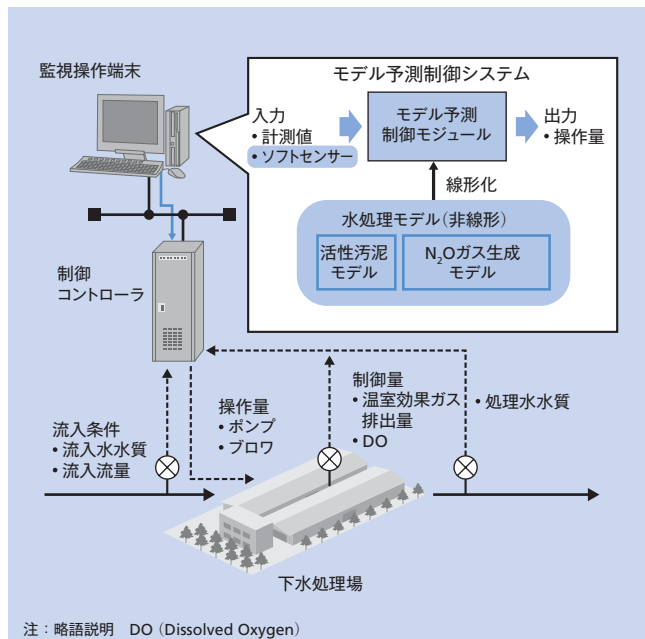
#### (4) ローエミッション下水処理制御システム

下水処理では、放流水質の確保に加えて環境負荷の低減、すなわちエネルギーの「自立」が求められつつある。このニーズに対応し、線形化した水処理モデルをオンラインで用いることで温室効果ガス低減と放流水質確保を両立するモデル予測制御システムを開発中である。

主な技術的特長は、(a) ソフトセンサー技術により、COD-Cr (Chemical Oxygen Demand-Cr: ニクロム酸カリウムによる化学的酸素要求量) の計測値が不要、(b) 活性汚泥から放出される  $N_2O$  ガス (二酸化炭素の約310倍の温室効果を有する。) 生成モデルにより、水処理由来の  $N_2O$  も考慮した温室効果ガス排出量低減が可能、の2点が挙げられる (図9参照)。

### 4. 新たな水利用システムに向けた日立グループの取り組み

日立グループは、前述のような、これまでに開発した技術も活用し、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) の2009年度戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域において、地域水資源利用システム「IISS (Integrated Intelligent

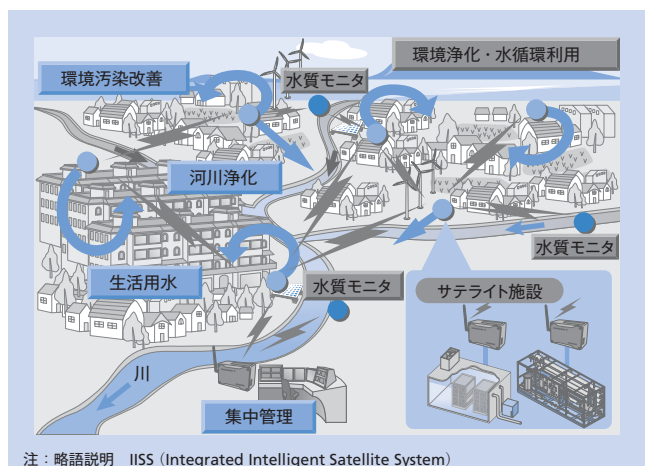


注：略語説明 DO (Dissolved Oxygen)  
**図9** | ローエミッション下水処理制御システムの位置づけ  
 下水処理場の流入条件と制御量によるモデル演算に基づき、処理場全体の温室効果ガス排出量を削減できる運転を実現する。

Satellite System)」の開発に工学院大学、東京大学、東北大学とともに取り組んでいる (図10参照)。

IISSは、水・エネルギー・情報を融合したサテライトシステムである。適用地域の規模に応じた中～小規模の水再生施設を分散配置するもので、新技術の開発によって処理性能向上と運用効率化を図る。具体的には、以下の3点を目的としている。

- (1) 分散配置した個々の水再生施設を有機的に連携して運用する技術により、ステークホルダーの水量および水質に対するニーズとの「調和」を図る。
- (2) それぞれの水再生施設では、低コストで水処理を実現可能な独創的な膜技術により、社会インフラとしての「持続性」を確立する。



注：略語説明 IISS (Integrated Intelligent Satellite System)  
**図10** | 地域水資源利用システム「IISS」の全体像  
 適用地域の規模に応じた中～小規模の水再生施設を分散配置し、処理性能向上と運用効率化を図る。

(3) 自然エネルギーの活用技術や排水・汚泥処理の高度処理技術によって、環境負荷を考慮した自立性を向上する。

この研究開発により、急激な気候変動や人口増加などが原因で国内外の地域が直面している水資源不足の課題解決に寄与できると考えている。

日立グループは、こうした取り組みと並行し、現在、「インテリジェントウォーターシステム」構想の下、ICTを駆使した水利用システムの具体化を進めている。これは、上水、下水、再生水を地域の視点から大きくとらえた運用計画を立案しようとするもので、ミクロのみならずマクロの最適化を指向するものである。水利用者が必要な水質と水量および排出する水質と水量の情報を時系列的に把握/予測する水循環のトレーサビリティと同時に、水処理施設の処理可能な水質と水量を配管網や水分配も考慮に入れて計算に組み込むことを考えている。このシステムの実現により、環境負荷が少なく、低コストで安全な水をすべての水利用者が得られることをめざしている。

## 5. おわりに

ここでは、スマートな水利用システムの実現に向けた日立グループの技術開発と事業展開、および今後の取り組みについて述べた。

わが国は水に恵まれていると言われるが、「建設の時代」に整備された水利用インフラに負うところが大きい。また、バーチャルウォーター(仮想水)の面から見ると水の大量輸入国となる。それゆえ、国内では適切な維持管理、設備更新によって安全・安心な水循環を持続させるとともに、海外ではこれまで国内で培ってきた技術、ノウハウで貢献する責務があると言える。

日立グループは、「調和・持続・自立」のコンセプトの下、人と環境に配慮した水利用システムとサービスを提供することにより、今後とも社会に貢献していく所存である。

## 参考文献など

- 1) 国土交通省水資源部総合水資源管理戦略室：日本の水資源の現状と課題、[http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/0907water/r0907\\_kokudo.html](http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/0907water/r0907_kokudo.html)
- 2) 中村、外：日立グループの水処理分野でのグローバル展開、日立評論、91、8、664～667 (2009.8)
- 3) 産業競争力懇談会 (COCN)：水処理と水資源の有効活用技術 (2008.3)
- 4) 江森、外：水資源と水循環を支えるポンプ・水処理設備、日立評論、89、8、620～625 (2007.8)
- 5) 栗栖、外：水運用の全体最適化に貢献する水環境シミュレーション、日立評論、91、8、634～637 (2009.8)
- 6) 田所、外：上下水道システムにおける最適制御による温室効果ガス排出削減への取り組み、計装、Vol.53、No.3、p.19～24 (2010)
- 7) 国土交通省土地・水資源局水資源部：平成21年度版日本の水資源

## 執筆者紹介



### 田所 秀之

1982年日立製作所入社、情報制御システム社 電機制御システム本部 所属  
現在、上下水道向け監視制御システムの開発に従事  
技術士(情報工学部門、総合技術監理部門)  
電気学会会員、計測自動制御学会会員



### 大西 真人

1986年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社、研究開発本部 松戸研究所 水環境システム部 所属  
現在、膜分離技術を用いた水処理システムの研究開発に従事



### 陰山 晃治

1993年日立製作所入社、電力システム社 エネルギー・環境システム研究所 公共・産業プロジェクト 所属  
現在、上下水道システムの研究開発に従事  
環境システム計測制御学会(EICA) 会員



### 栗栖 宏充

1988年日立製作所入社、社会・産業インフラシステム社 社会システム事業部 社会制御システム本部 海外事業推進部 所属  
現在、上下水道システムの事業推進に従事  
博士(情報科学)  
電気学会会員、計測自動制御学会会員、環境システム計測制御学会(EICA) 会員



### 高橋 信補

1985年日立製作所入社、システム開発研究所 情報サービス研究センター 第一部 所属  
現在、上下水道監視制御システムの研究開発に従事  
博士(工学)  
計測自動制御学会会員、電気学会会員