feature article

持続可能社会に貢献する 下水道の高度処理・制御技術

Advanced Control and Reclamation System for Sewage Process Contributing to Sustainable Society

武本 剛 Takeshi Takemoto　日高 政隆 Masataka Hidaka
山野井 一郎 Ichiro Yamanoi　信友 義弘 Yoshihiro Nobutomo

**日立グループは，みずからが策定した「環境ビジョン2025」の実現をめざして，
下水道向けにはCO_2排出量の低減（地球温暖化の防止），
下水の循環利用および処理水質の向上（生態系の保全）に貢献する技術開発を推進している。
処理水水質やCO_2排出量のシミュレーション技術を応用した運転支援・制御システム，
下水の循環利用のための下水再生装置を開発し，システムと技術を提供することにより，
「水の世紀」において重要性を増す下水道の発展に貢献していく。**

1. はじめに

下水道は環境保全のための社会インフラとして重要な役割を果たしており，そのニーズは時代とともに変遷・高度化してきた。下水道の処理人口で見た普及率は2007年度末で72%に達したが，閉鎖性水域における水質改善が進まず，高度処理をよりいっそう推進する必要がある。下水道は下水や汚泥の処理過程で大量のエネルギーを消費しており，下水道事業は地方公共団体の事業活動に伴う温室効果ガス排出量の中でも大きな割合を占める。このため，処理水水質の向上に加えて，CO_2排出量の削減，再生水の利用による循環型システムの構築が求められている（**図1**参照）。

ここでは，高度処理向けのCO_2排出量低減型の運転支援・制御技術と下水再生のための装置開発に関する日立グループの取り組みについて述べる。

2. 水質向上とCO_2排出量低減の両立を実現する運転支援・制御技術

2.1 下水処理場運転支援システム

CO_2排出量の低減は下水道事業の課題であり，各事業体では，省エネルギーを実現する設備の導入や運用改善などの取り組みが進められている。適切な施策の遂行にあたっては，処理水水質，下水処理に伴い排出されるCO_2量，運転コストを定量的に把握することが不可欠である。

下水処理場から排出されるCO_2は，水処理系と汚泥処理系に大別される。水処理と汚泥処理は相互に関係しており，CO_2排出量を低減するためには両者を連携した総合的な評価が必要である。開発中の下水処理場運転支援システムでは，下水水質シミュレータなどによって水処理系からの汚泥発生量，汚泥処理系からの返流水負荷を連携させることで，下水処理場の処理水水質，ポンプなどの電力量，活性汚泥が生成する温室効果ガスの一つであるN_2O（一酸化二窒素）の発生量などを算出でき，運転コスト，CO_2排出量の評価が可能となる。

下水道の処理水水質，CO_2排出量，運転コストはトレードオフの関係となることが多く，すべての目標を満足する最適な運転条件を容易には得られない。そこで，複数の操作項目・条件と処理水水質，CO_2，運転コストをレーダチャートで評価できるレーダチャート型GUI（Graphical User Interface）を開発した。

この運転支援システムは処理水水質を向上または維持しながら，CO_2発生量，運転コストを削減できる運転条件の探索機能を視覚的に理解でき，運転員の使い勝手の向上に貢献していく（**図2**参照）。

2.2 温室効果ガスの低減に向けた下水処理制御システム

下水処理場から排出される温室効果ガスには，活性汚泥が生成するN_2Oガスが無視できない割合で含まれている。したがって，このN_2Oガス生成量を考慮した下水制御システムが必要である。N_2Oは活性汚泥の生物学的窒素除去工程の硝化反応と脱窒反応の副産物として生成する。日立グループは，硝化・脱窒反応をモデル化した下水水質シミュレータの活性汚泥モデルへ新たに開発したN_2O生成反応モデルを組み込むことで，活性汚泥による有機物，

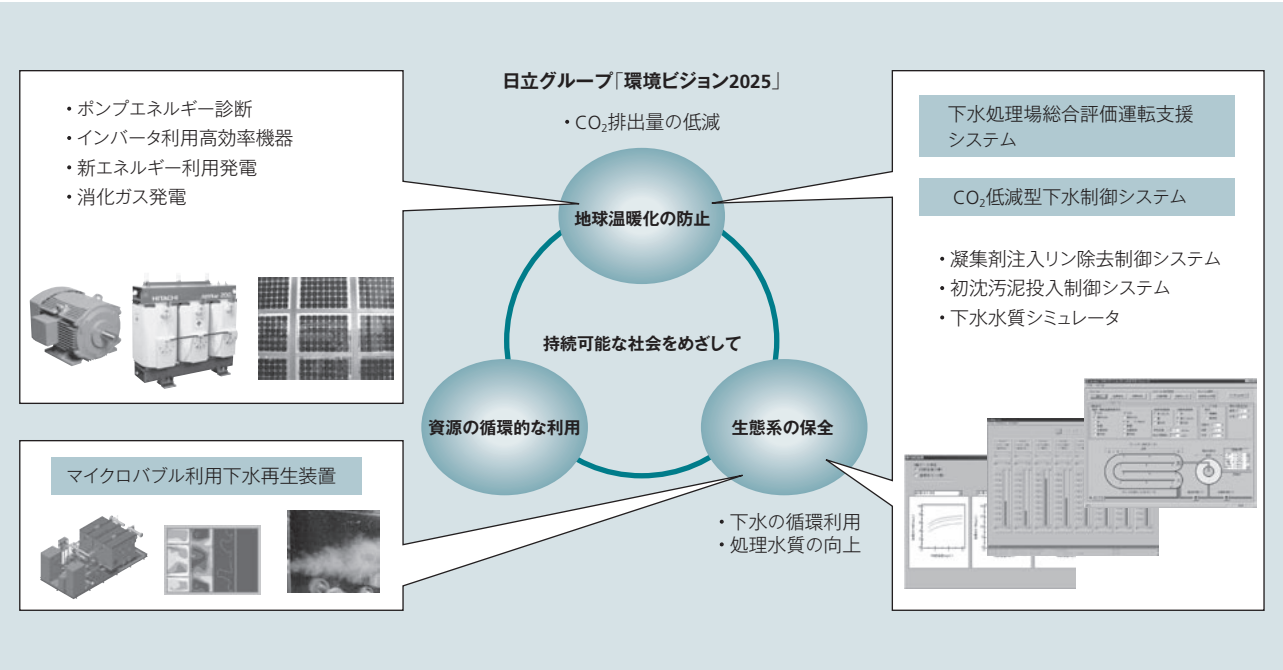
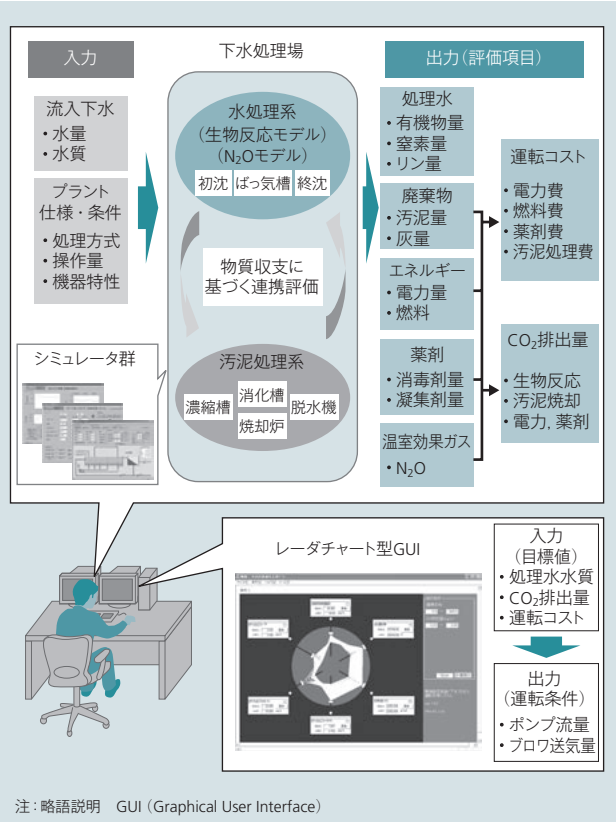


図1　「環境ビジョン2025」の実現に向けた下水の高度監視制御技術
日立グループは,「環境ビジョン2025」の方針に沿った研究開発を通じて，持続可能社会を担う下水道事業の発展に貢献する。

窒素，リンの除去とN_2O発生量を計算できるように改良した。また，処理水水質を向上または維持し，CO_2排出量を低減するために，このシミュレーションモデルを運転制御へ適用したCO_2低減型下水制御システムを開発している（**図3**参照）。このシステムは流入水の水質や水量の変動に対応するため，処理水水質の悪化時に重みが増加する水質項とN_2O生成量を考慮したCO_2項を組み込んだ評価関数，非線形のシミュレーションモデルを線形化した線形モデルを組み込んだモデル予測制御を適用したことが特徴である。さらに，処理水水質や流入水水質の計測システムを組み込み，計測値を制御に反映させたオンライン制御システムとしている。現在，このシステムの制御効果や信頼性を確立するための実証実験を計画中であり，実証を経て，制御システムとして製品を提供していく。



注：略語説明　GUI（Graphical User Interface）

図2　下水処理場運転支援システム
下水処理のCO_2排出量，運転コスト，処理水水質を総合的に評価することが可能な運転支援システムである。

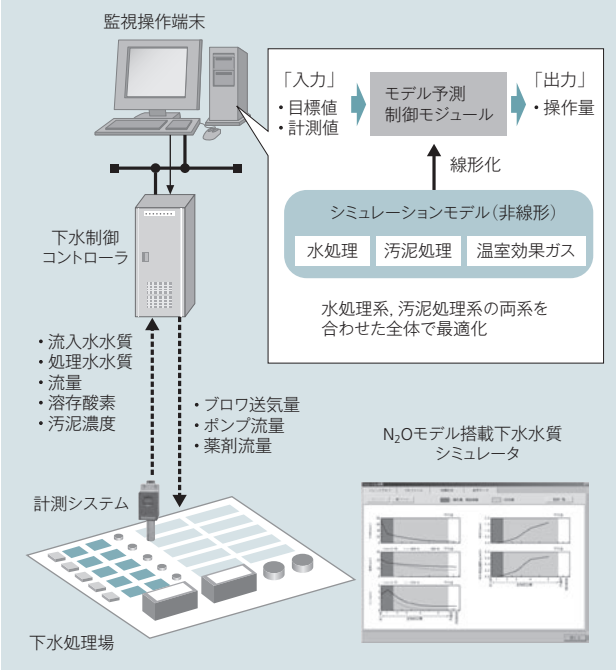


図3　CO_2低減型下水制御システム
CO_2排出量低減と処理水水質の向上・維持を両立する制御を実現できる。

3. 水の循環利用に寄与する下水再生処理装置

下水の二次処理水は都市における貴重な水資源と位置づけられ，その再利用が期待されている。再生水を親水として使用する際には殺菌，脱臭，脱色などが求められ，その処理方法としてはオゾンによる酸化処理が有効である。

日立グループは，オゾン処理において直径約50 μmの微細な気泡であるマイクロバブルを利用した下水再生装置を開発した（**図4**，**図5**参照）。

オゾンマイクロバブルは溶解性・反応性が高く，従来のミリ径の気泡によるオゾン処理と比較して，高い水処理効率を有している。この装置では，独自のノズルと気泡生成ループによって，マイクロバブルの生成圧力を低減するとともに生成量を増加でき，オゾン使用量とマイクロバブル生成電力の大幅な低減，およびオゾン反応槽の小型化を達成した。

これまでに，下水処理場における性能実証実験を完了し，従来のオゾン処理と比較して低いオゾン注入率で親水の水質基準（大腸菌不検出，色度10度以下，濁度2度以下など）を満たす再生水を，低コストで安定して供給できることを確認した。また，排オゾン量も少なく，オゾン利用効率は長期の運転期間を通して99.8％以上を維持した。これによって，オゾン発生量の削減と排オゾン処理の簡素化が可能になり，従来のオゾン処理方式と比較し，運転コストを20％以上低減できる。

さらに，マイクロバブルの高溶解性･高反応性によって，オゾン反応槽の滞留時間短縮かつ低水深での処理が可能である。水深0.6 m以上でオゾン利用効率99.8％以上を実証したことにより，オゾン反応槽を小型化できるとともに，

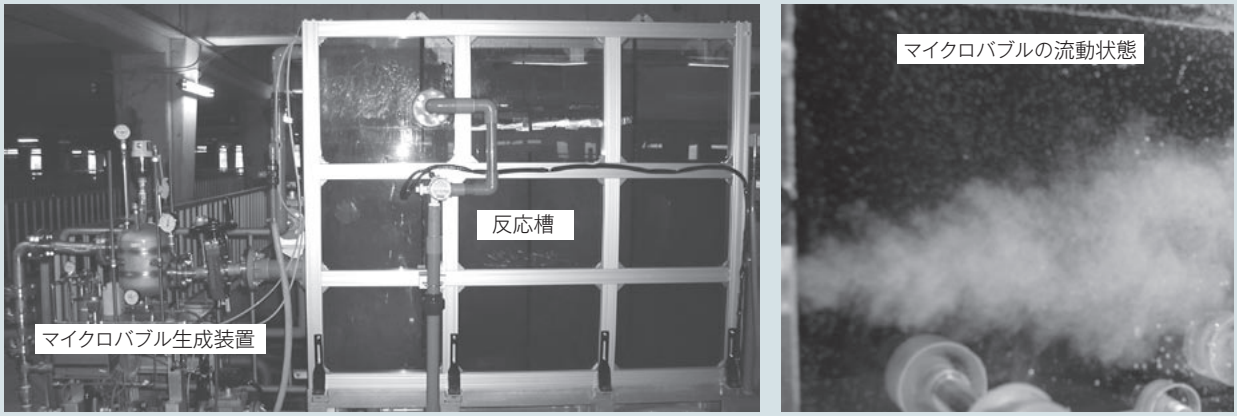


図4　マイクロバブルの流動状態と実証設備
下水処理場での実証実験により，マイクロバブルの処理性能を確認し，製品化した。

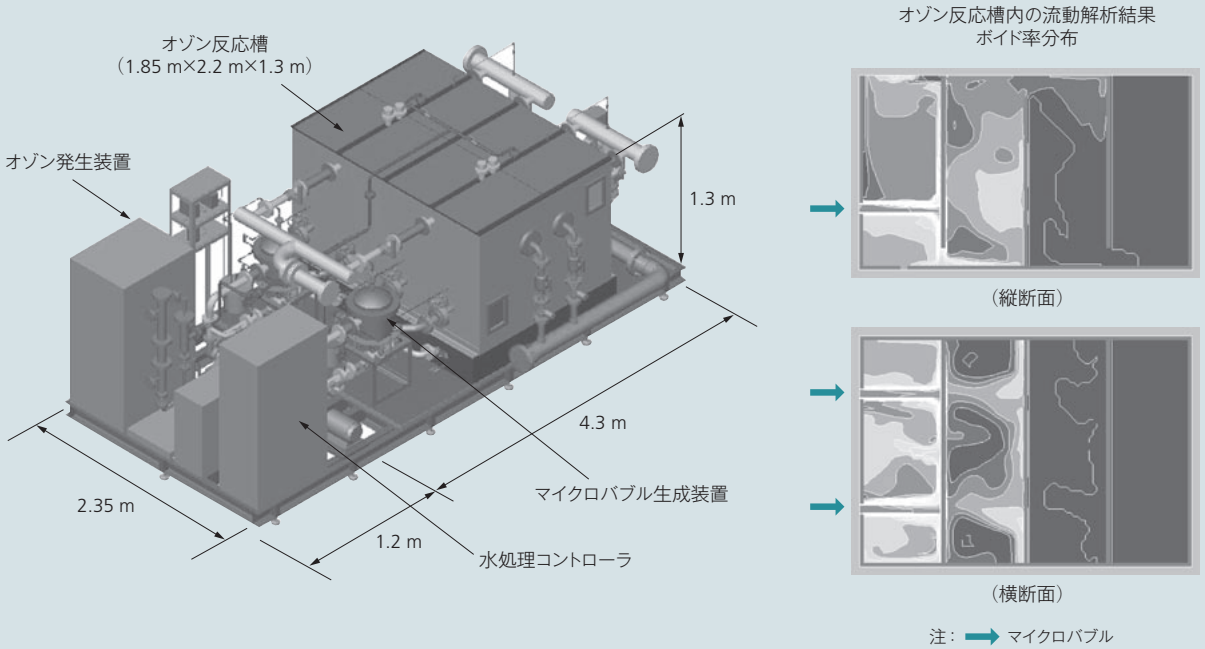


図5　マイクロバブル利用下水再生装置
処理量600 m^3/日の製品概要を示す。オゾン反応槽は，マイクロバブルの流動特性をモデル化した流体解析に基づき，設計した。

設計の自由度が向上し，設備コストを低減できた。

以上の実証実験の結果とマイクロバブルの流動特性をモデル化した流体解析に基づき，処理量300～2,400 m^3/日の製品を開発し，2008年7月から受注を開始した。

日立グループのオゾンマイクロバブル利用下水再生装置は，下水再生処理における運転コスト，設備コストの低減と水質向上を実現し，下水の循環利用と環境負荷低減に貢献できる。今後，閉鎖性水域の水質浄化や産業廃水処理への展開も視野に，放流水処理のための大型化や有機物除去システムへの適用を図っていく。

4. おわりに

ここでは，高度処理向けのCO_2排出量低減型の運転支援・制御技術と下水再生のための装置開発に関する日立グループの取り組みについて述べた。

下水道を取り巻く環境は変わりつつあるものの，その重要性は不変である。日立グループは，水質向上，CO_2排出量低減，下水の再利用に向けた運転支援システム，制御技術，処理装置の開発を総合的に行っている。今後も，日立グループの力を集結してさらなる技術開発に注力し，下水道への貢献を進めていく。

参考文献

1） 田辺：わが国の下水道の現状と最新動向について，環境技術，Vol.38，No.1（2009）
2） 武本，外：水処理プロセスから排出されるN_2O評価モデルの開発，第46回下水道研究発表会講演集（2009）
3） 山野井，外：下水処理場全体を対象とした温室効果ガス低減型制御の基礎検討，第46回下水道研究発表会講演集（2009）
4） M. Sumikura, et al.：Ozone Micro-bubble Disinfection Method for Wastewater Reuse System, Water Science and Technology, Vol. 56, No. 5, pp. 53-61（2007）
5） 日高，外：オゾンマイクロバブルと活性炭による有機物除去性能の評価，用水と廃水，Vol. 51，No. 3，p.41～49（2009）
6） 隅倉，外：オゾンマイクロバブルを用いた下水再生装置の開発，環境システム計測制御学会誌，Vol.13，No.2/3，p.105～108（2008）

執筆者紹介

武本 剛
1995年日立製作所入社，電力グループ 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，上下水道関連システムの研究開発に従事
技術士（上下水道部門）
環境システム計測制御学会（EICA）会員，化学工学会会員

日高 政隆
1986年日立製作所入社，電力グループ 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，上下水道関連システムの研究開発に従事
博士（工学）
日本原子力学会会員，日本機械学会会員

山野井 一郎
2006年日立製作所入所，電力グループ 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，上下水道関連システムの研究開発に従事
博士（エネルギー科学）
環境システム計測制御学会（EICA）会員，日本機械学会会員

信友 義弘
1982年日立製作所入社，情報制御システム事業部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道関連システムの設計・製品開発に従事
情報処理学会会員