

# ICTを活用した水処理プロセスにおける省エネ化技術の実証研究

藤井都弥子・田嶋 淳

## 1. はじめに

下水道の普及に伴って生活環境や公共用水域の水質が向上している一方で、下水処理場では下水や汚泥の処理に伴い大量の電力を消費するため、その削減が急がれている。

この課題に対する対策の1つがICT技術の活用であり、下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)においても実証研究を実施している。

本稿では、ICTを用いて水処理プロセスの省エネルギー化を図る4つのB-DASHプロジェクト技術について、技術の概要と効果を報告する。

## 2. 下水処理場の電力消費に関する課題と対応策

標準的な処理フローを図-1に示す。このうち反応タンクでは、流入下水中の有機物を分解するために好気性微生物による処理を行っており多量の空気を吹き込む必要があることから、汚泥焼却設備を除いて全処理工程の中で最も電力を消費する。送風設備については送風量を制御するパラメータ(例えば風量や水中の溶存酸素(DO)など)を一定に保った運転制御が行われていることが多く、流入負荷の変動に合わせた制御が行われていないため、高負荷時の風量不足による処理水質の悪化、低負荷時の過剰曝気などが課題となっている。

この課題を解決するため、ICTを活用して送風量を最適化する技術として、流入水中のDO濃度やNH<sub>4</sub>-N(アンモニア態窒素)濃度、NO<sub>x</sub>-N(硝酸態、亜硝酸態窒素)濃度の変化に応じて送風量を制御する技術の開発が進められてきている。なお、DOは処理に必要な酸素量が維持されていることを確認する指標として主に用いられており、本稿で報告する4技術はそれぞれ、表-1に示す指標を用いて送風量の制御を行っている。

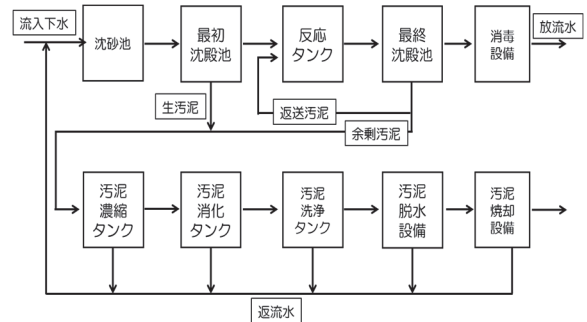


図-1 標準的な下水処理フロー

表-1 各技術における制御の特徴

技術名	特徴
3.1 高効率固液分離技術と二点DO制御技術	硝化脱窒プロセスをDOで制御
3.2 ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術	硝化プロセスをNH <sub>4</sub> -N, DOで制御
3.3 ICTを活用したプロセス制御とリモート診断技術	硝化プロセスをNH <sub>4</sub> -N, DOで制御
3.4 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御技術	硝化脱窒プロセスをNH <sub>4</sub> -N, NO <sub>x</sub> -Nで制御

## 3. 省エネ化技術の概要と成果

### 3.1 高効率固液分離技術と二点DO制御技術を用いた省エネ型水処理技術<sup>1)</sup>

本技術は、標準的な下水処理フローにおける最初沈殿池の代替として固形物を効率的に除去するために設置する高効率固液分離技術と、無終端型水路に設置した2つのDO計間のDO勾配を一定の範囲内となるように制御し、流入する負荷の変動に関わらず安定した窒素除去を行う二点DO制御技術から構成される。二点DO制御技術を用いた

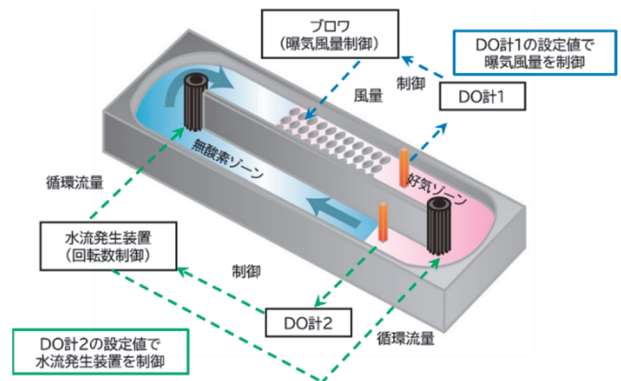


図-2 二点DO制御技術の概要

反応タンク設備の概要を図-2に示す。無終端型水路に送風機からの空気を散気する散気装置、循環流を起こす水流発生装置、散気装置下流側2箇所DO計を設置し、DO計1とDO計2の間のDO勾配が一定範囲内となるように、流入負荷の変動に応じて散気装置の空気量(曝気風量)と水流発生装置の回転数(循環流量)を独立して制御する。

流入負荷が増加した場合の二点DO制御の原理を図-3に示す。負荷が高くなると消費される酸素量が増えるためDO計1、DO計2のどちらもDO値が下がる(図-3の②)。このため、曝気風量を増やしてDO計1の値を設定値に戻す(図-3の③)とともに水流発生装置の回転数を増やし、酸素を含んだ水を循環させることでDO計2の値を元に戻し(図-3の④)、DO勾配を一定値に戻す。

実証運転期間において、高度処理法の放流水質基準(BOD 15mg/L以下、T-N 20mg/L以下、T-P 3mg/L以下)を満足する処理水が得られた。

また、実証研究の成果に基づき、日最大流入水量50,000m<sup>3</sup>/日の標準法施設を従来の高度処理法である嫌気無酸素好気法(A2O法)に改築する場合との比較により導入効果の試算を行った結果、本技術の導入により総費用(建設費及び維持管理費)

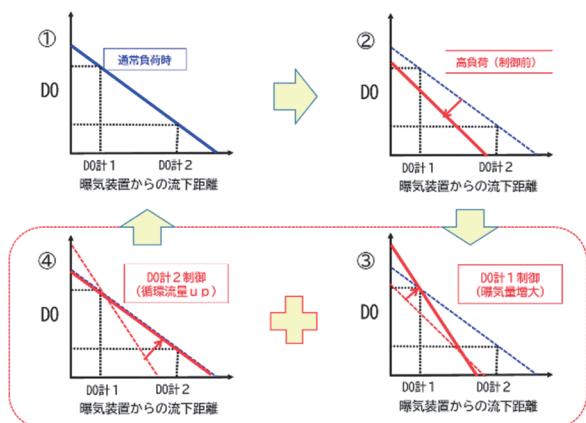


図-3 二点DO制御の原理(流入負荷増加時)

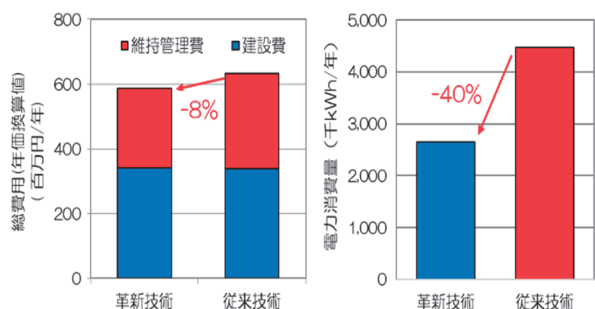


図-4 総費用(年価換算値)(左)及び電力消費量(右)の削減効果の試算結果

年価換算値で8%、電力消費量で40%それぞれ削減できる結果が得られた(図-4)。なお、処理場規模が大きいほうがコストメリットは働くが、本技術は設備の構造上、水深が7m以上もしくは複数階層になっている反応タンクには設置できないため、こうした構造が比較的少ない規模(概ね日最大流入水量100,000m<sup>3</sup>/日以下)の処理場に適用している。

### 3.2 ICTを活用した効率的な硝化\*運転制御の実用化に関する技術実証<sup>2)</sup>

本技術の概要を図-5に示す。本技術は、好気タンクより上流側と好気タンクの間地点に1台ずつ設置したNH<sub>4</sub>-Nセンサーと自動更新機能を備えた風量演算モデルから構成される。

上流側のセンサー(第1センサー)の計測値を用いて汚水処理に必要な風量予測値と、中間点のセンサー(第2センサー)の計測値を用いて予測値とのズレを是正するために必要な風量を、それぞれ演算して風量制御を行い、流入負荷変動に対応した処理水質(NH<sub>4</sub>-N濃度)の安定化、過剰曝気の抑制による電力消費量削減、制御設定値の調整にかかる負担の軽減を図る技術である。なお、あわせて好気タンクの最下流にDO計を設置してDO濃度の変動を把握し、処理が安定的に行われていることを確認した。

実証運転の結果、DO一定制御運転を行う場合と比較して風量を約17%削減することができた。この結果に基づいて、標準法の下水処理場を対象にモデル計算を行った結果を図-6に示す。本技術の導入により、例えば最大計画汚水量50,000m<sup>3</sup>/日の下水処理場においては、電力消費量を風量一定制御運転の場合より約27%、DO一定制御運転の場合より約13%削減できる結果となった。

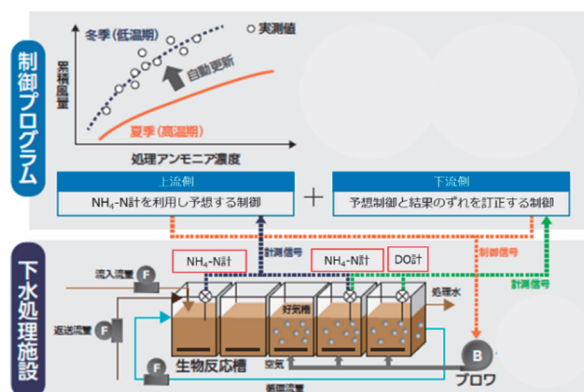


図-5 NH<sub>4</sub>-N計を用いた風量制御技術の概要

\*土木用語解説：硝化と脱窒

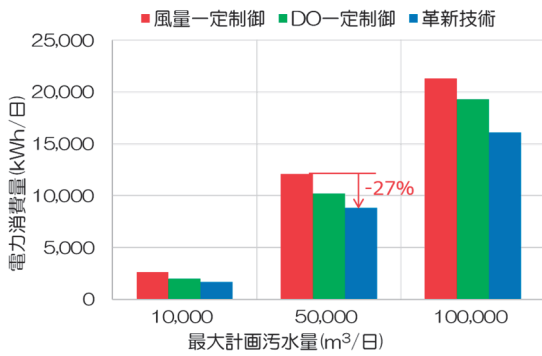


図-6 硝化運転制御技術導入時の電力消費量試算結果

### 3.3 ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術実証3)

本技術の概要を図-7に示す。本技術は、①好気タンク内の下流部にNH<sub>4</sub>-N計およびDO計を設置し、NH<sub>4</sub>-N濃度の計測値に基づいてDO濃度の目標値を自動で変化させることで反応タンクの曝気風量を制御する技術、②制御で使用するパラメータ値を自動で診断・最適化しDO濃度目標値に対する制御の追従性を向上させる技術、③各種計測データを使用して当該プロセスにおける異常の早期検出及び要因解析を行う多変量統計的プロセス監視 (MSPC)技術を組み合わせることで、反応タンクにおける窒素除去性能の維持と省エネ化の両立、維持管理性の向上などを図る技術である。なお、②の制御性能を向上させる技術と③のMSPC技術はリモート診断技術であり、1つのシステムから複数の下水処理場に提供できるため、対象の下水処理場を多くするほど、1施設あたりの導入コスト及び維持管理コストを低減できる可能性がある。

標準活性汚泥法を用いている2つの反応タンクのうち一方に本技術を導入し、もう一方(対照系列)でDO一定制御運転を行って比較を行った結果、対照系列より曝気風量を約10%削減し、目標処理水質(NH<sub>4</sub>-N濃度設定値)を満足することが確認できた。また、この結果を基に電力消費量を試算した結果、本技術の導入により、例えば最大計画汚水量50,000m<sup>3</sup>/日の下水処理場においては、電力消費量を風量一定制御運転の場合より約23%、DO一定制御運転の場合より約9%削減できる結果となった(図-8)。なお、このシステムを8処理場に導入した場合のコストを試算した結果、1処理場あたりのコストは1処理場のみに導入した場

合より建設コストで約50%、維持管理コストで約40%削減できる結果となった。

また、模擬的に設定した7種類の異常シナリオ(ポンプや散気管バルブの故障や誤作動、校正不良によるセンサー値の異常、各系列への流入量のアンバランス化など)を対象にMSPC技術による検出の可否を評価した結果、すべての異常事象について検出することができ、本技術を適切に適用することによって異常の検出が可能であることが確認できた。

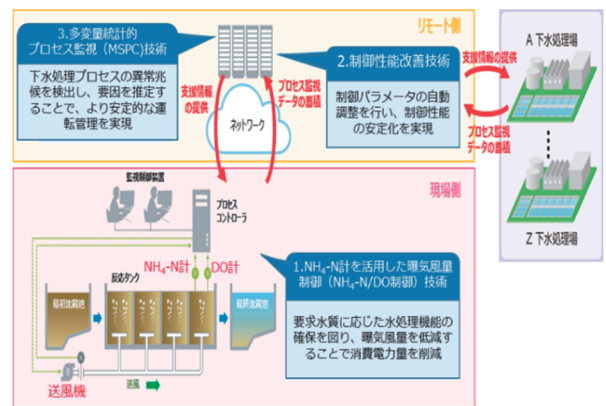


図-7 プロセス制御とリモート診断技術の概要

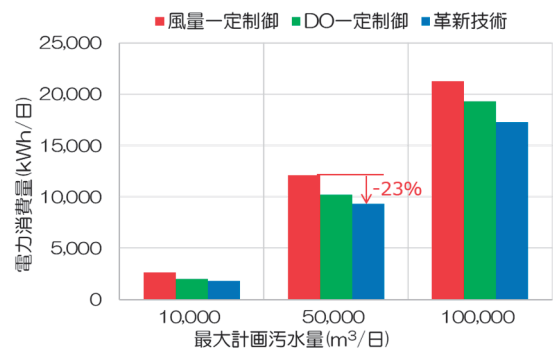


図-8 プロセス制御技術導入時の電力消費量試算結果

### 3.4 単槽型硝化脱窒\*プロセスのICT・AI制御による高度処理技術実証

本技術の概要を図-9に示す。本技術は、①統合演算制御システム、②単槽型硝化脱窒プロセス、③負荷変動追従型送風ユニットを組み合わせることにより、曝気風量の最適化による運転電力の削減、従来の高度処理法より短い滞留時間での処理、季節等による負荷変動に応じた監視項目の自動制御による維持管理負担の軽減を図るものである。

①統合演算制御システムは、反応タンク前半好気部末端に設置したNO<sub>x</sub>-N計、後半好気部に設置したNH<sub>4</sub>-N計の情報をもとに反応タンク必要

空気量と送風機最適吐出圧力を自動演算する。②単槽型硝化脱窒プロセスは、隔壁のない単槽型反応タンクで負荷変動に合わせた空気量制御を行うことで従来の高度処理法より短い時間で同程度の水質まで処理を行う。③負荷変動追従型送風ユニットは、①の演算結果を元に送風機の吐出圧力の制御を行い、安定的かつ経済的に空気を供給する。

冬季の実証運転の結果、A2O法より20%以上短い時間で同等の負荷削減率を達成したことを確認した。図-10に、送風機運転結果を示す。図中の青色及び緑色の直線、点線はそれぞれ運転期間中の平均値を示している。送風機の吐出圧力可変制御を行うことにより、送風量1Nm<sup>3</sup>当たりの運転電力は目標値(A2O法に対し削減率10%)に対し削減率17%となったこと等を確認した<sup>4)</sup>。

現在、四季を通じた実証運転を行い、普及展開に向けた施設設計の考え方等について検討を進めている。

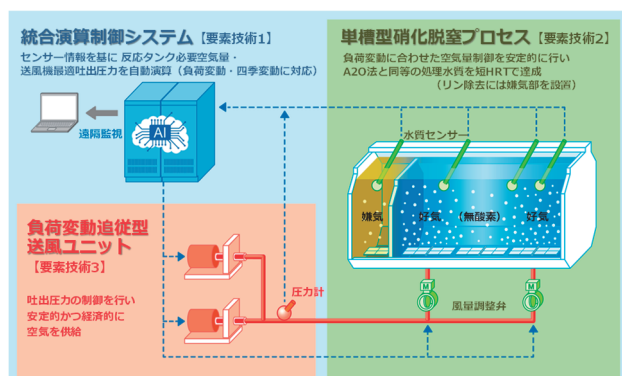


図-9 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御技術の概要

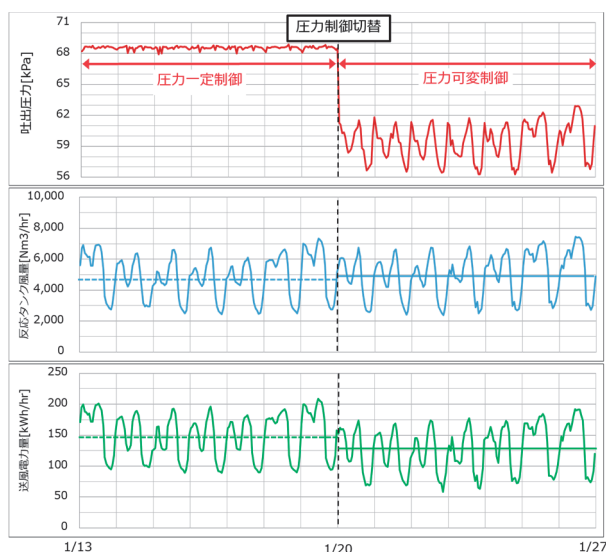


図-10 冬季における送風機運転結果  
(吐出圧力、反応タンク風量、送風電力量)

#### 4. おわりに

下水道は、生活環境や公共用水域の水質向上に寄与してきたが、処理に伴い消費する電力の削減は喫緊の課題である。電力消費量を削減する対策としては、省エネ機器の導入や運転方法の改善など様々な方法があるが、本稿で紹介した技術がその一助になると考えている。

なお、今回紹介した技術のうち3.1～3.3の3技術については、技術の導入検討手法や実証結果の詳細を技術導入ガイドライン(案)としてとりまとめており、3.4の技術についても今後ガイドライン(案)を策定していく予定である。これらは、技術の導入を検討するにあたっての基本的な考え方をまとめたものであるが、各自治体において水処理プロセスの省エネ化を検討する際の参考資料としても活用が可能である。

#### 参考文献

- 1) 高効率固液分離技術と二点DO制御技術を用いた省エネ型水処理技術導入ガイドライン(案)、国総研資料第949号、2017  
<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>
- 2) ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術導入ガイドライン(案) 導入ガイドライン(案)、国総研資料第938号、2016  
<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>
- 3) ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術導入ガイドライン(案)、国総研資料第939号、2016  
<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>
- 4) 中大輔他：単槽型硝化脱窒プロセスにおけるICT・AI制御の風量制御性能と送風電力削減効果、第32回環境システム計測制御学会、2020.10

藤井都弥子



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室 研究官  
FUJII Tsuyako

田嶋 淳



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室長  
TAJIMA Atsushi