

〈特集〉

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の概要と普及展開

平岡 由紀夫¹⁾, 山本 浩嗣¹⁾, 橋本 敏一²⁾
糸川 浩紀²⁾, 井上 英男³⁾, 古海 貴陽⁴⁾

¹⁾ 東芝インフラシステムズ(株)

(〒 212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町 72-34 E-mail: yukio.hiraoka@toshiba.co.jp)

²⁾ 日本下水道事業団 (〒 113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27 E-mail: hashimotot@jswa.go.jp)

³⁾ 福岡県 (〒 812-8577 福岡県福岡市博多区東公園 7-7 E-mail: inoue-h3900@pref.fukuoka.lg.jp)

⁴⁾ 福岡県下水道管理センター

(〒 812-0893 福岡県福岡市博多区那珂 4-5-1 E-mail: t-furumi@fukuoka-spc.or.jp)

概要

「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」は、曝気に係る消費エネルギーを削減しながら、要求水質に応じた水処理機能の確保、および維持管理性の向上を図る技術である。本稿では、本技術の概要、導入検討/計画・設計/維持管理手法について、公表された導入ガイドライン(案)にて整理された内容を中心に紹介するとともに、今後の普及展開に向けた取り組みについて述べる。

キーワード: B-DASH, ICT, 水処理運転管理技術, NH₄-N/DO 制御

原稿受付 2017.5.8

EICA: 22(1) 31-35

1. はじめに

近年、下水道事業では、省エネ化や温室効果ガス排出量削減への積極的な対応が求められるとともに、ICT(情報通信技術)を活用した効率的な下水道施設の運転や管理等へのニーズが高まっている。このような中、株式会社東芝・日本下水道事業団・福岡県・公益財団法人福岡県下水道管理センター共同研究体(以下、共同研究体)は、国土交通省の「下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)」の一つである「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研究」(以下、本実証研究)を国土交通省国土技術政策総合研究所(以下、国総研)から受託し、平成26~27年度の2カ年にわたり実施した。本実証研究では、水処理施設の省エネ化や維持管理性向上を図る「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」(以下、本技術)について実規模の実証試験を実施し^{2,3)}、その成果に基づき、国総研より、本技術の導入ガイドライン(案)が平成28年12月に公表された¹⁾。

本稿では、本技術の概要、導入検討/計画・設計/維持管理手法について、導入ガイドライン(案)にて整理された内容を中心に紹介するとともに、今後の本技術の普及展開に向けた取り組みについて述べる。

2. 技術の概要

2.1 技術の特徴

本技術は、Fig. 1に示すように、①NH₄-Nセンサーを活用した曝気風量制御(NH₄-N/DO制御)技術、②制御性能改善技術、③多変量統計的プロセス監視(MSPC: Multivariate Statistical Process Control)技術、の3つの要素技術を組み合わせた水処理施設の運転管理技術であり、曝気に係る消費エネルギーを削減しながら、要求水質に応じた水処理機能の確保および維持管理性の向上を図るものである。

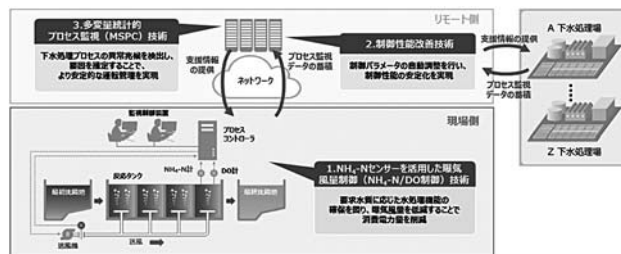


Fig. 1 Overview of ICT-based advanced process control and remote diagnosis technology for efficient operation of wastewater treatment plants

各要素技術の概要を以下に説明する。

(1) NH₄-Nセンサーを活用した曝気風量制御(NH₄-N/DO制御)技術

アンモニア態窒素(NH₄-N)センサーと溶存酸素

(DO) センサーを併用して、最小限の DO 濃度 (= 最小限の曝気量) で最大限のアンモニア除去を行うための NH₄-N 濃度と DO 濃度目標値との関係を示す制御目標曲線を作成し、この曲線に追従するフィードバック制御を実施することで、曝気風量削減とアンモニアを酸化する反応 (硝化反応) の安定化の両立を図るものである (Fig. 2)。

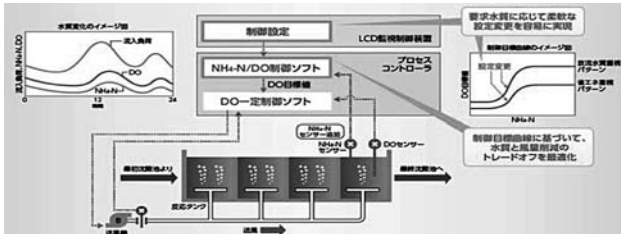


Fig. 2 Ammonium-based DO control technology (NH₄-N/DO control)

(2) 制御性能改善技術

ポンプや送風機の制御に汎用的に用いられている PID (Proportional (比例) - Integral (積分) - Derivative (微分)) 制御における制御パラメータ (比例ゲイン, 積分時間, 微分時間) の良否を診断し、制御パラメータの推奨値を自動的に算定・調整することで、DO 濃度等の物理量の目標値への追従性や、目標値付近の変動の抑制等を図る技術である (Fig. 3)。

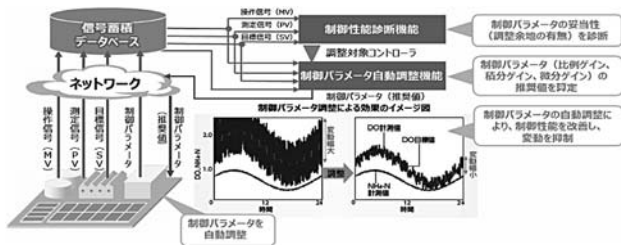


Fig. 3 Auto tuning technology for PID parameters (PID auto tuner)

(3) 多変量統計のプロセス監視 (MSPC) 技術

水処理施設における水量・水質および運転等に関するプロセス監視データ間の相関関係を解析して、水処理プロセスにおける異常兆候を検出しつつ、異常発生時にはその要因を推定し、曝気風量制御を含む水処理施設の運転・管理の安定化を実現する技術である (Fig. 4)。

これらの要素技術の組み合わせにより、処理水質の安定化や年間を通じた消費エネルギーの削減等の曝気風量制御における相乗効果が期待できる。また、Fig. 1のように、複数の下水処理場のデータの収集・管理を行い、各下水処理場に対して有効な運転支援情報を提供することもでき、ICT を活用した集約管理の観点でも大きな利点がある。

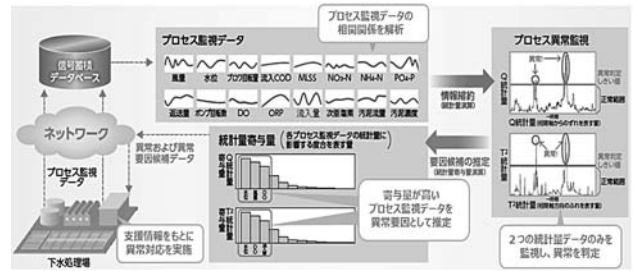


Fig. 4 Process monitoring technology based on multivariate statistical process control (MSPC-based monitoring)

2.2 適用条件

本技術の適用条件、適用対象、推奨条件は、それぞれ以下のとおりである。

(1) 適用条件

本技術は、以下の条件全てに該当する下水処理場へ適用可能である。

- ① 水処理方法として活性汚泥法を採用している。
- ② 反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である。
- ③ 反応タンクにおける曝気風量の低減により送風機動力の低減が可能である。

(2) 適用対象

上記のうち、導入ガイドライン (案) では、原則として実証研究の対象とした標準活性汚泥法を採用している下水処理場への適用を想定している。

(3) 推奨条件

本技術の導入効果および導入コストは、対象施設の規模や運転方法等の条件により大きく異なることから、
① 導入効果が大きくなる条件として、硝化が不十分な処理場や、現状送風量一定制御で運用している処理場への導入を、
② 導入コストが相対的に小さくなる条件として、1池あたりの処理量が多い処理場や、管理対象処理場数が多い地方公共団体への導入を推奨条件として示している。

2.3 導入シナリオ例

本技術を導入する典型的なケースとして、四つのシナリオ例を以下に示す。

- ① 既設へ本技術を単独で導入して、省エネ化や硝化の安定化を図る。
- ② 散気装置や送風機等の既設更新時に一括で導入して、総合的に省エネ化を図る。
- ③ 系列の増設時に一括で導入して、総合的に省エネ化を図る。
- ④ 将来的な集約管理を想定して、本技術を段階的に導入する。

本技術は要素技術ごとの導入が可能であり、財政的な制約や既往の整備計画等を考慮してシナリオ④のように、段階的に適切なタイミングで導入できることも、

本技術の利点の一つである。

2.4 実証研究における評価結果

本実証研究では、①硝化機能の維持効果、②曝気風量低減効果、③電力量削減効果、④温室効果ガス削減効果、⑤コスト面での導入容易性（経済性）、という評価項目を設定し、本技術の性能や導入効果の定量的な評価が行われた（Table 1）。

Table 1 Evaluation Results of the B-DASH Project

評価項目	評価結果
①硝化機能の維持効果*1	処理水の日平均 NH ₄ -N 濃度目標値 (1.0 mg/L 以下) 達成率: 91.9% (年末・年始の高負荷期間を除いて達成)
②曝気風量低減効果*1	曝気風量低減率: 10.3% (DO 一定制御比*3)
③電力量削減効果*2	電力量削減率: 8.49% (DO 一定制御比*3), 23.0% (送風量一定制御比)
④温室効果ガス削減効果*2	CO ₂ 削減率: 8.49% (DO 一定制御比*3), 23.0% (送風量一定制御比)
⑤コスト面での導入容易性 (経済性)*2	経費回収年: 2.33年 (送風量一定制御比)*4

- *1 実証試験結果に基づく評価結果
- *2 仮想施設を対象とした試算結果 (処理能力 50,000 m³/日の場合)
- *3 DO 目標値 2.0 mg/L
- *4 リモート側に接続する下水処理場数を 8カ所とした場合

実証フィールドである福岡県宝満川浄化センターにおいて実証試験を行った結果、曝気風量削減率 10.3% (対 DO 一定制御 (DO 目標値 2.0 mg/L) 比, 目標 10% 以上)、経費回収年 2.33 年 (対送風量一定制御比, 目標 4 年未満) と、当初目標値を上回る成果を挙げることができた。

また、本実証研究では、各要素技術の基本的な性能についても確認した。特に、制御性能改善技術では、NH₄-N/DO 制御運転のもとで、制御パラメータの調整により、制御の安定化効果を、MSPC 技術では、異常シナリオ試験により、実用的な検出時間、検出レベルで異常兆候検出を行うことができることを確認し、維持管理性向上への有効性を示すことができた。

3. 導入検討手法

3.1 導入検討手順

本技術の導入検討にあたっては、対象とする下水処理場について現況および課題等を把握し、導入効果の評価を行った上で導入の是非を判断する。

(1) 適用条件の確認

対象とする下水処理場における現状の課題を抽出し、本技術を導入する意義・目的を明確にする。その上で、当該下水処理場が、前述の「適用条件」に合致するかどうかを確認する。

(2) 導入効果の検討

導入効果の概略検討（【導入検討Ⅰ】）を行い、その後同効果の詳細検討（【導入検討Ⅱ】）を行う、という二段階で、本技術の導入効果を検討する。

【導入検討Ⅰ】では、最低限の情報にもとづく簡便な手法により導入効果を推定し、導入是非のスクリーニングを行う。ここでは、1 ユニットあたりの日平均処理水量、比較対象とする従来制御方法、送風倍率の3点のみを設定し、Fig. 5 に示すようなチャート図を使用して本技術の導入による電力量削減量および経費回収年の概略値を推定する。ここで、「1 ユニット」とは、1 台の NH₄-N センサーを設置して複数の反応タンクを一括制御する施設範囲を示す概念である。

また、【導入検討Ⅱ】では、① NH₄-N/DO 制御技術単独での導入効果、② 3つの技術を組み合わせた導入効果、の二通りの導入形態について、費用関数レベルの推定式により導入効果およびコストを概算する。

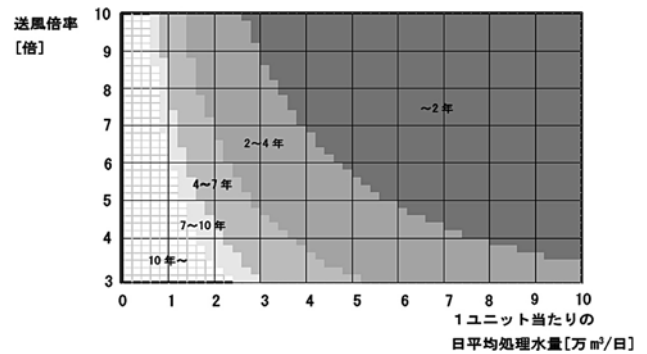


Fig. 5 An example of chart diagram for simplified cost evaluation

(3) 導入判断

以上の導入効果の検討結果に基づき、本技術の導入について判断する。

3.2 導入効果の検討例

処理能力 50,000 m³/日 (日最大) の仮想の標準活性汚泥法施設を対象に、本技術の導入検討を行った。想定した水処理フローおよび主な検討条件をそれぞれ Fig. 6, Table 2 に示す。ここでは反応タンク 4 池の一括制御を想定し、全 8 池に対して 2 ユニットの導入する条件で試算を行った。試算結果を Table 3 に示す。

この導入効果検討の例では、導入形態①、②のいずれでも導入判断の目安を満たしたことから、3つの技術を組み合わせた技術を導入することを前提とし、第1段階として NH₄-N/DO 制御技術を導入、第2段階としてリモートサーバの新設のタイミングを見据えながら、リモート診断技術である制御性能改善技術、MSPC 技術を導入、という2段階で進める方針となった。

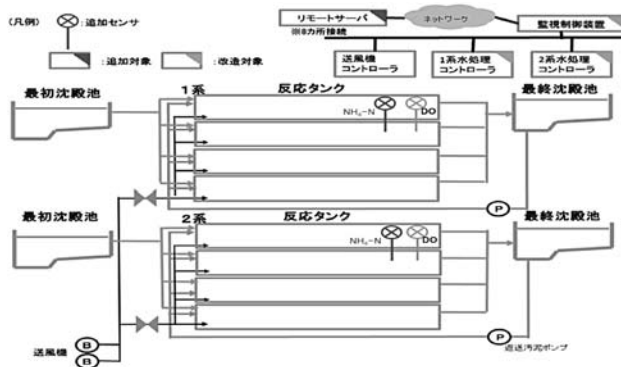


Fig. 6 Schematic flow of the supposed wastewater treatment plant

Table 2 Assumed parameters and conditions used in the trial calculation

項目	設定条件
流入下水量 (計画)	40,000 m ³ /日 (日平均), 50,000 m ³ /日 (日最大)
流入下水量 (実績)	35,000 m ³ /日 (日平均), 43,000 m ³ /日 (日最大)
水処理方式	標準活性汚泥法
現状制御方式	送風量一定制御
水処理系列数/1系列あたりの池数	2系列 / 4池
返送汚泥系統数	2系列
送風量 (実績)/送風倍率 (実績)	280,000 m ³ /日 / 8.0倍
導入ユニット数	2台
リモートサーバに接続する下水処理場数	8カ所

Table 3 Trial calculation results

項目	導入形態① (NH ₄ -N/DO 制御 単独導入)	導入形態② (3つの技術すべてを 導入)	導入判断の目安
経費回収年	4.58年	5.97年	6年以内
電力量削減量	461.5千 kWh/年	461.5千 kWh/年	300千 kWh/年以上
温室効果ガス削減量	267.2千 kg-CO ₂ /年	267.2千 kg-CO ₂ /年	
その他定性的な効果等	—	・MSPC 技術による異常予兆検出が運用に役立つ可能性有り	
その他の考慮点	・流入下水量の増加により、経費回収年短縮見込み	・リモートサーバの新設計画を5年後に予定 ・流入下水量の増加により、経費回収年短縮見込み	
検討結果	○	◎	

4. 計画・設計手法

3章の導入検討により、本技術の導入効果が見込まれると判断された場合には、導入計画を策定する。導入計画は、詳細調査、システム構成の検討、導入効果の検証、導入計画の策定、の順番で進めていく。また、導入計画書を取りまとめた後の設計では、要素技術ごとに、システム構成の検討、システム設計、機能設計を行う。

5. 維持管理手法

本技術の運転管理については、基本的な運転管理として、反応タンクの運転管理、NH₄-N/DO 制御の制御目標曲線の管理、NH₄-N センサーの管理、を実施するとともに、制御性能改善技術による制御パラメータの管理、MSPC 技術による診断結果を利用した日常の運転管理を行う必要がある。

また、本技術の維持管理については、要素技術ごとに、NH₄-N/DO 制御では、必要 ASRT の確保、NH₄-N センサーの維持管理を、制御性能改善技術では、信号計測値の信頼性確保、ネットワーク通信品質の確保を、MSPC 技術では、異常兆候検出しきい値の再設定、診断ユニットの変更・追加等、をそれぞれ行う必要がある。

6. 普及展開に向けて

本技術の導入ガイドライン (案) が国総研より公表されたことで、今後、本技術の普及展開に向けた取り組みを進めていきたいと考えている。その具体的な取り組みについて説明する。

6.1 導入提案

導入ガイドライン (案) に基づき、適用条件や導入シナリオ例に合致した下水処理場に対してフィージビリティスタディ (FS) を実施し、導入効果の高い下水処理場を抽出し、重点的に導入提案を進めていく。本技術は、経済性の観点から、NH₄-N センサー 1 台あたりの対象処理水量をできるだけ多くすることが重要である。したがって、水処理方法として標準活性汚泥法 (一部系列も含む) を採用し、NH₄-N センサー 1 台あたりの対象処理水量を多くとることが可能な下水処理場を抽出し、これらの下水処理場を当面の導入対象候補として、導入を目指していく。

6.2 広報活動の展開

本技術の普及展開にあたっては、広報活動も重要であることから、以下のような活動を展開し、周知ならびに普及促進に努めていく。

- ① 実証フィールドでの積極的な視察の受け入れ
- ② 下水道研究発表会等の各種学会での発表
- ③ 本共同研究体の福岡県から他自治体等への成功事例としての情報発信
- ④ 日本下水道事業団による技術説明会等での情報発信

6.3 自主研究の推進

実証研究終了後の平成 28 年度以降も、共同研究体により実証施設を活用した自主研究を継続して実施し

ている。本技術の省エネルギー性能や窒素除去性能の向上等、機能向上を目的として、実証試験を進めている。本技術の更なる機能向上を進め、技術的な価値や魅力を高めることで、より普及促進に寄与するものと考えている。

7. おわりに

本稿では、本技術の概要、導入検討手法等について、導入ガイドライン（案）にて整理された内容を中心に紹介するとともに、今後の本技術の普及展開に向けた取り組みについて述べた。

前述したとおり、共同研究体では、継続して自主研究を推進しており、平成28年度の自主研究では、 $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DO}$ 制御における制御目標曲線（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度から DO 目標値を設定する曲線）と曝気風量低減および硝化性能との関係、窒素除去特性の評価等で、本技術における新たな知見を得ている状況である⁴⁾。導入ガイドライン（案）の公表は、本技術の普及展開へ向けた大きな一歩であり、今後も多くの方々のご協

力・ご支援を頂きながら、本技術の普及に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：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）、国土技術政策総合研究所資料第939号（2016）
- 2) 小原卓巳，山中理，難波諒，平岡由紀夫，橋本敏一，糸川浩紀，中村正次，小齊平和良，大西宵平：ICT を活用した革新的な水処理運転管理技術の実証，第52回下水道研究発表会講演集，pp.893-895（2015）
- 3) 小原卓巳，山中理，難波諒，山本浩嗣，平岡由紀夫，中川祐一，橋本敏一，糸川浩紀，井上英男，矢野洋一郎，板倉舞：リモート診断機能を付加した $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DO}$ 制御による省エネ風量制御技術の実証，第53回下水道研究発表会講演集，pp.854-856（2016）
- 4) 小原卓巳，山中理，難波諒，山本浩嗣，平岡由紀夫，橋本敏一，糸川浩紀，井上英男，矢野洋一郎，岸川昭夫：標準活性汚泥法における $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DO}$ 制御の省エネ性能と窒素除去特性の評価，第54回下水道研究発表会講演集，（掲載予定）（2017）