

下水処理場向けアンモニア計によるフィードフォワード制御技術

Feedforward Aeration Control Technology by Ammonia Sensors

漆垣 謙次*
Kenji Urushigaki

竹原 輝巳
Terumi Takehara

長塩 尚之
Naoyuki Nagashio

今岡 博義
Hiroyoshi Imaoka

大久保 章
Akira Okubo

藤原 基伸
Motonobu Fujiwara

硝化促進の活性汚泥法を対象とした、アンモニア計による送気量の自動制御技術が、地方共同法人日本下水道事業団（以下、JS）の新技术に選定された。本技術により、DO一定制御に比べて概ね10%以上の送気量の低減と、処理水質（アンモニア性窒素濃度）の安定化が期待できる。

The automatic aeration control technology by ammonia sensors that applied for activated sludge process with nitrification was designated as a new technology on JS (Japan Sewage Works Agency) Innovation Program. This technology is expected to reduce the amount of aeration by more than 10% in comparison with conventional DO control process, and to stabilize the effluent water quality (such as ammonium concentration).

キーワード：下水処理、送気量制御、アンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、硝化、省エネ

1. 緒言

下水処理では、反応タンクでの曝気に多くの電力を必要とすることから、有機物や窒素（主にアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ））などの流入負荷量の時間変動に応じて送気量を適正に制御し、省エネ化と処理水質の安定化の両立をはかる必要がある。特に $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化^{*1}には多くの送気量を必要とすることから、硝化促進運転を行なっている処理場では、送気量の適正化とそれによる省エネ化が重要な課題となっている。

日新電機株式会社は、平成28年度から平成29年度に、JSおよび株式会社日新システムズと共同研究を行い、水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を連続的に計測するアンモニア計を活用して、反応タンクの送気量を適正に制御する技術を開発した⁽¹⁾。

このたび本技術が、「アンモニア計による送気量フィードフォワード制御技術」として、JSの新技术導入制度における新技术I類に選定されたので、その内容について報告する。

2. 技術の概要

2-1 制御技術の概要

本技術は、反応タンク内の上流側と下流側にそれぞれアンモニア計を設置し、上流側アンモニア計（以下、前段アンモニア計）の計測値によるフィードフォワード制御（以下、FF制御）と、下流側アンモニア計（以下、後段アンモニア計）の計測値によるフィードバック補正（以下、FB補正）を組み合わせ、反応タンク送気量の自動制御を行う

技術である。本技術の概要を図1に示す。

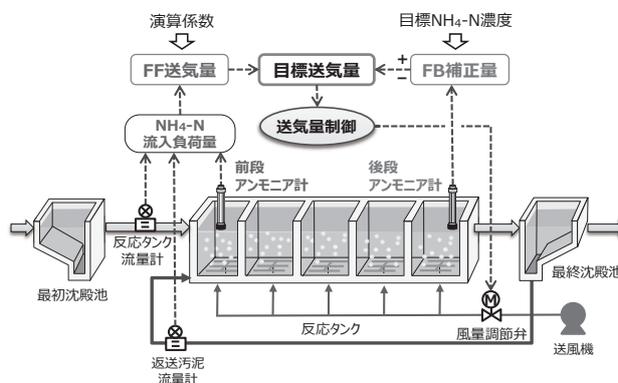


図1 本技術の概要

2-2 技術の原理

(1) FF制御の原理

反応タンクでの必要酸素量の時間変動は、主に有機物や $\text{NH}_4\text{-N}$ の流入負荷量の変動に依存する。このことから、流入水中のこれら濃度比率やSRT^{*2}などの運転条件が大きく変わらない範囲では、流入負荷量の指標に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を用いることには一定の妥当性があると考え、本技術では前段アンモニア計による計測値（以下、前段 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度）と当該箇所における流下水量から反応タンクへの $\text{NH}_4\text{-N}$ 流入負荷量を推定し、これに比例した送気量（FF送気量）を演

算・出力する。

(2) FB補正の原理

上述のFF制御では運転操作の結果を制御系へ反映する仕組みがなく、処理水のNH₄-N濃度を安定化するには一定の限界がある。このため、後段アンモニア計による計測値(以下、後段NH₄-N濃度)と目標値との偏差に応じた送気量(FB補正量)によってFF送気量を補正することにより、処理水NH₄-N濃度の安定化をはかる。

すなわち、後段NH₄-N濃度の計測値が目標値よりも高い場合は送気量を増やし、当該の計測値が目標値よりも低い場合は送気量を減らすことにより、後段NH₄-N濃度を目標値付近に維持することが可能となる。

2-3 設備の構成

本技術の標準的な設備構成例を図2に示す。本技術は、反応タンク内のNH₄-N濃度を計測する「アンモニア計」や、制御パラメータ値の設定や制御目標値の演算および出力を行う「操作パネル付コントローラ盤」、更には実績データから運転状況や処理状況を表示する「運転支援装置」から構成される。ただし処理場によっては、既設のコントローラ盤や監視制御装置と連携することが可能である。

ここで「運転支援装置」は、NH₄-N濃度や送気量などの実績データから、NH₄-N濃度と送気量との関係やNH₄-N濃度などを表示する機能を有し、これらの情報に基づいてFF送気量の演算係数を決定する。

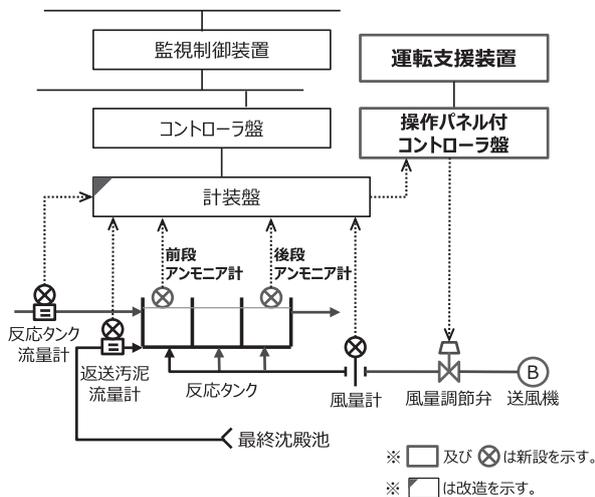


図2 標準的な設備構成例

2-4 技術の特徴

DO一定制御^{*3}などの従来技術では、流入負荷量の急激な変動に追従した送気量の制御が難しく、処理水質を担保するために余裕をもった送気量で運転する場合が多いとされている。すなわち制御目標値は流入負荷が高い時間帯に

合わせて設定される場合が多く、一般に流入負荷が低い時間帯では送気量が過剰になりやすい傾向にある。

流入負荷量の変動に対する後段NH₄-N濃度と送気量の挙動について、本技術と従来技術(DO一定制御)を比較したイメージ図を図3に示す。従来技術の場合、流入負荷が低い時間帯でも目標とするDO濃度が維持されるよう送気量を制御するため、必要酸素量に対して送気量が過剰になりやすい。また制御動作の時間遅れにより、流入負荷量が急激に増加した場合は制御操作が追いつかず、送気量不足によってNH₄-Nの硝化が不完全になることが想定される。

これに対して本技術は、NH₄-N流入負荷量を指標に反応タンク流入負荷量の変動にリアルタイムに追従するFF制御のため、従来技術に比べて必要酸素量に対する送気量の適正化が可能となる。これに加えて、後段NH₄-N濃度の目標値との偏差に応じて送気量を補正することにより、処理水NH₄-N濃度の安定化がはかれる。

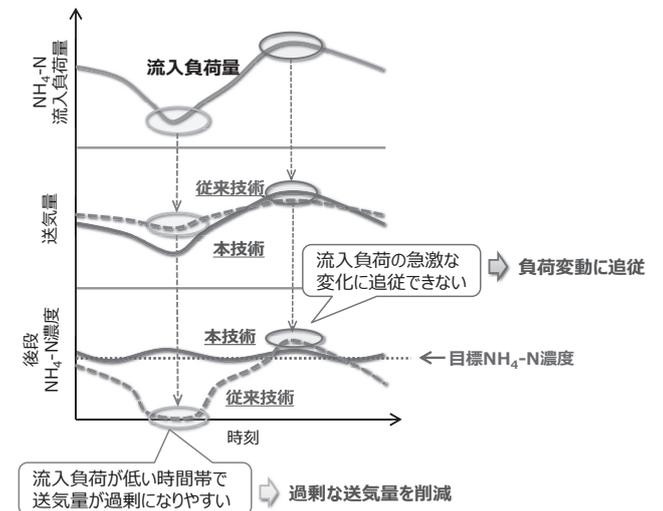


図3 従来技術との比較イメージ

3. 導入効果

3-1 送気量の低減による省エネ化

本技術により、DO一定制御に対して概ね10%以上の送気量の低減が期待できる。先述の共同研究における実処理場での実証結果より、DO一定制御に対する送気量の低減効果(送気倍率の低減率)を図4に示す。ここでは、本技術の制御目標値である後段NH₄-N濃度を1.0mg/Lもしくは2.0mg/Lとして運転を行った。また比較対象としたDO一定制御での目標DO濃度を2.0mg/Lとした。

これより本技術による送気倍率の期間平均値は、DO一定制御のそれに対して8~18%低減し、これら全期間の平均値は約12%であった。このことから、本技術はDO一定制御に対して概ね10%以上の低減が見込めるといえる。ま

たこれによって送風機電力量の削減が期待できるが、具体的な削減効果については、送風機の仕様や動力特性、運転条件などに依存する。

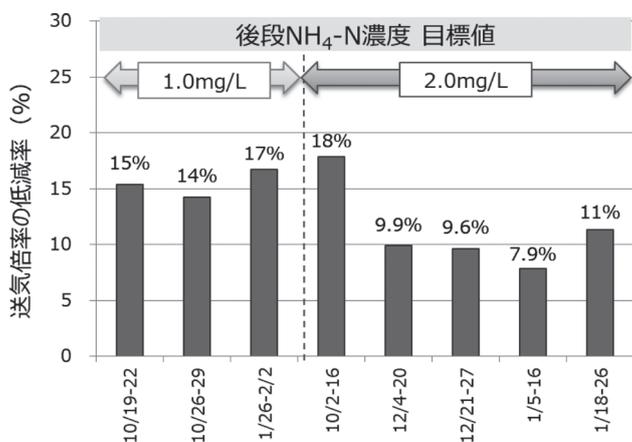


図4 送気量の低減効果 (対DO一定制御)

3-2 処理水NH₄-N濃度の安定化

後段NH₄-N濃度に応じて送気量のFB補正を行なうことによって、後段NH₄-N濃度を目標値付近に維持することが可能となり、処理水NH₄-N濃度の安定化がはかれる。

先の実処理場での実証結果より、後段NH₄-N濃度の目標値を2.0mg/Lとして運転を行った時の、当該計測値の挙動例を図5に示す。この場合、後段NH₄-N濃度の計測値は1.8~2.1mg/Lの範囲で推移し、目標値に対する変動率は概ね±10%以内に維持されたことから、本技術によって処理水NH₄-N濃度の安定化が期待できる。

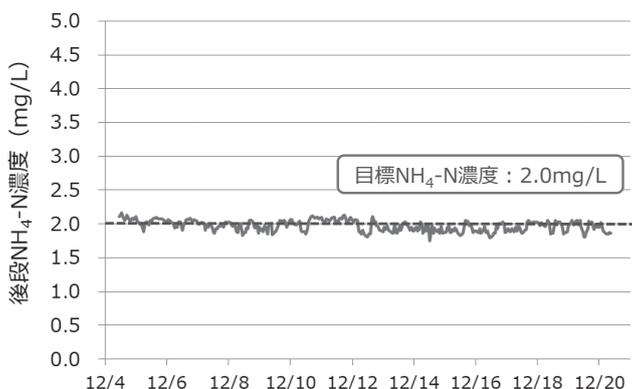


図5 後段NH₄-N濃度の挙動例

4. 適用範囲

本技術は、以下の全ての条件に該当する施設へ適用される。

- ①水処理方法：硝化促進を行なう活性汚泥法施設
(OD法^{*4}を除く)
[例] 標準活性汚泥法 (硝化促進)
嫌気好気活性汚泥法 (硝化促進)
循環式硝化脱窒法
嫌気無酸素好気法
ステップ流入式多段硝化脱窒法
- ②対象水量：制御ユニット^(*)当たりの対象水量が概ね
1万m³/日以上施設
(*) アンモニア計 (2台) やコントローラなど、
本技術を構成する設備の最小単位
- ③導入効果：FS (フィジビリティスタディ) により導入
効果 (省エネによる導入費回収等) が見込める施設

5. 結 言

本技術はNH₄-N流入負荷量を指標に適正な送気量を供給する制御技術であり、硝化促進を行う標準活性汚泥法施設や高度処理施設への導入が期待される。

当社は今後、下水処理場の新設工事や更新工事などにおいて、本技術の導入を積極的に推進し、下水処理場の省エネ化と環境保全に貢献していく所存である。

用語集

※1 硝化

微生物の働きにより、水中のアンモニア性窒素 (NH₄-N) が亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、更には硝酸性窒素 (NO₃-N) へ酸化される反応。

※2 SRT

固形物滞留時間。活性汚泥が処理系内に留まる平均滞留時間。

※3 DO一定制御

反応タンク内のDO (溶存酸素) 濃度が一定となるよう、送気量を制御する技術。

※4 OD法

オキシデーションディッチ法。最初沈殿池を設けず、無終端水路を反応タンクとした活性汚泥法。

参 考 文 献 -----

- (1) 宇代、田端 他、「流入窒素負荷量と送風量のハイブリッド型最適制御技術の実規模実証」、第55回下水道研究発表会講演集、pp.962-964 (2018年)

執 筆 者 -----

漆垣 謙次* :日新電機(株) 主査



竹原 輝巳 :日新電機(株) 主幹



長塩 尚之 :日新電機(株) 主幹
博士 (工学)



今岡 博義 :日新電機(株) グループ長



大久保 章 :日新電機(株) グループ長



藤原 基伸 :日新電機(株) 部長



*主執筆者