

アンモニアセンサーを用いた制御システムによる省エネ化

Dr. Tao Su

Xylem Japan Product Manager, Wastewater Segment, North Asia

背景

下水処理場(WWTP)は、水質汚染を防ぐ重要な役割を果たしています。しかし、ほとんどの国では、最大のエネルギー消費源の1つと考えられています。日本では、WWTPは国全体の電力の0.7%[1]、EUでは0.8%[2]、米国では4%[3][4]と非常に多くのエネルギーが消費されています。

排水処理施設全体のエネルギー需要の内訳(図1)を見ると、日本では総エネルギー消費量の内の54%を反応槽における排水処理が占めており[5]、その他多くの国でも50%以上を占める排水処理部門のエネルギー消費量をいかに削減するかが重要な課題となっています[4]。

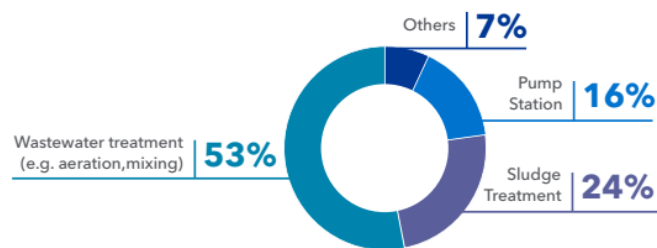


図1 日本のWWTPで消費されるエネルギーの内訳[6]

排水処理のエネルギー消費量を削減するために、より大型のプロワーの利用、新しい効率的なディフューザー、省エネ改良型の反応ミキサーの設置、センサー制御システムの改良など、いくつかの方法が検討されています[7]。コストと効率を考慮すると、センサー制御システムの改善が最良の戦略となります。

センサーを利用した制御戦略

溶存酸素(DO)センサーによる曝気制御は、WWTPで広く適用されており、現在の主流はセンサーベースの制御システムです。最近では、アンモニアセンサーを利用した新しいセンサーベースのシステムが、日本政府によって幅広く深く研究されています[8]。

本報では、異なるセンサーを利用した制御システムに焦点を当てるために、センサー制御システムを以下のように簡略化します。

- DOセンサーによる曝気制御システム
- アンモニアセンサー基本とし、DOセンサーを組み合わせた曝気制御

図2は、一般的なセンサー制御システムを簡略化して示したものです。プロセス制御で重要な焦点は、オン/オフ制御、設定値制御、フィードバック/フィードフォワード制御であり、これらは最適な結果を得るために適用されます。本報ではセンサーの種類に焦点を当てています。

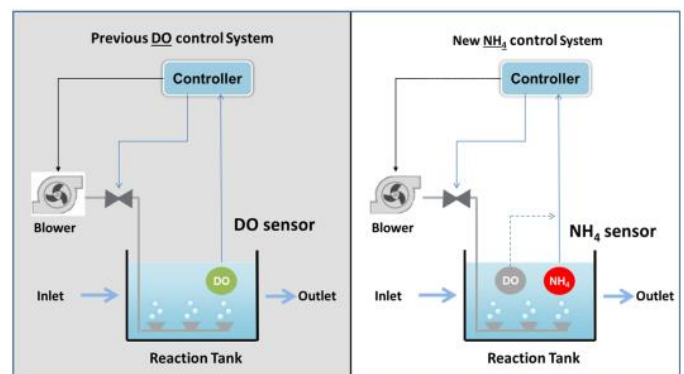


図2 DOセンサーを用いた曝気制御システムとアンモニアセンサーを用いたシステムの構成比較

省エネ化の原理

理想的には、曝気槽内の酸素需要に合わせた送風機による曝気だけで満たすことができれば、無駄なエネルギーは発生しません。しかし実際には、酸素需要を評価するためのDOセンサーを用いた制御システム(DO設定値制御など)によるDOパラメータだけの評価では、過剰な曝気が行われてしまいます。

そこで、酸素需要を評価するパラメータとしてアンモニアを使用すれば、曝気槽の実際の酸素需要をより高感度にかつ正確に反映することができます。また、アンモニアセンサーで送風機を制御することで(アンモニア制御システム)、過剰な曝気を避けることができます。

図3は、WWTPにおける省エネの基本的なメカニズムを示しています。アンモニアセンサーによる監視で、有機物の負荷が小さく酸素要求量が少ない時期は過剰な曝気を抑制す

ことができます。一方、有機物の負荷が大きい時期には、アンモニアセンサーが適切な酸素要求量をコントローラーに伝え、適切な曝気を行うことができます。

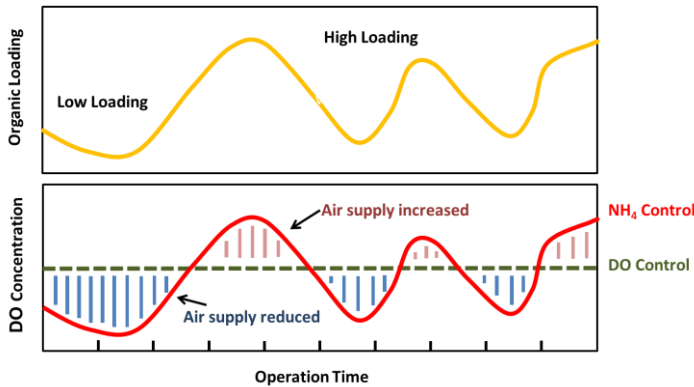


図. 3 DO、アンモニアセンサー制御システムを活用した要求量の違い

アプリケーション例

アンモニアセンサー制御システムは、窒素を除去する省エネ戦略として利用されています。これは何年も前から認識されていましたが[9]、現在では、すべての生物学的廃水処理プロセスにおいて非常に効率的なアプローチとして実証されています。日本では、アンモニアセンサー制御システムを活用して大きな成果を上げています。10%~20%のエネルギーが節約できただけでなく、水質も排出規制を満たしています(表1)[10]。

表 1, 日本で実施したフィールドテストにおける省エネ効果 [10]

テストNo.*	処理プロセス	エネルギー削減率
事例 1	標準活性汚泥法	14.8%
事例 2	標準活性汚泥法	16.9%
事例 4	脱窒/硝化	23%
事例 5	脱窒/硝化	40%
事例 6	標準活性汚泥法	10%
事例 8	標準活性汚泥法	19%

*事例3、7、9は、アンモニアセンサー制御システムを活用しても省エネにならないため、参考になりませんでした。

文献6で報告されたフィールドテストの他に、発表されている数多くの研究結果を表2にまとめました。標準活性汚泥法(AS)、無酸素-酸素プロセス(AO、窒素除去)、嫌気性-無酸素-酸素プロセス(A2O、窒素・リン除去)などそれぞれ異なった処理プロセスにおいても、最高で25%のエネルギー削減率が達成されています。

表2 アンモニアセンサーの研究で報告された省エネ効果

処理プロセス	WWTP 処理能力	エネルギー削減率	参考文献
嫌気性-無酸素-酸素プロセス	40,000 m ³ /d	16%	[11]
無酸素-酸素プロセス	200,000 m ³ /d	10.4%	[12]
標準活性汚泥法	68,700 m ³ /d	8.7%	[13]
無酸素-酸素プロセス	Not showed	2.3~8.9%	[14]
無酸素-酸素プロセス	107,000 m ³ /d	16.9%	[15]
標準活性汚泥法	44,000 m ³ /d	10~15%	[16]
無酸素-酸素プロセス	7,200 m ³ /d	9.9~17.2%	[17]
嫌気性-無酸素-酸素プロセス	830,000 m ³ /d	10~25%	[18]
嫌気性-無酸素-酸素プロセス	700,000 p. e.	18%	[19]
無酸素-酸素プロセス	205,000 m ³ /d	25%	[20]

WTW のアンモニアセンサー

WTW社(Xylem社ブランド)のAmmonoLyt® Plus 700シリーズのアンモニアセンサー(図4)は、世界ではもちろん、日本でも多く使用されています[21], [22]。全世界で20,000台以上(NH₄&NO₃センサーを含む)が販売されています。特筆すべきは、東京都下水道局の芝浦水再生センターで採用されたAmmonoLyt® Plusによる20%以上の電力エネルギー削減を達成していることです[18]。



図4 XylemブランドWTW アンモニアセンサー: AmmonoLyt® Plus 700

AmmonoLyt® Plus 700シリーズの特徴

- 補正電極でK+を自動補正し高精度を確保
- 長時間安定した測定によるコスト低減
- 電極やケーブルの交換が簡単で使いやすい
- 圧縮エアによる自動洗浄でメンテナンスが容易

概要

従来のDOセンサーによる曝気制御システムと比較して、アンモニアセンサーによる制御システムは、様々な処理工程でより多くのエネルギーを節約することができます。

参考文献

- [1] 西田佳記, “環境負荷低減に向けた下水処理プロセスおよび制御技術に関する研究,” 1392.
- [2] D. Ganora *et al.*, “Opportunities to improve energy use in urban wastewater treatment: A European-scale analysis,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 14, no. 4, 2019.
- [3] Electric Power Research Institute, “Water and Sustainability: U.S. Electricity Consumption for Water Supply and Treatment - The Next Half Century,” vol. 4, no. Volume 4, 2000.
- [4] D. Ghernaout, Y. Alshammari, and A. Alghamdi, “Improving energetically operational procedures in wastewater treatment plants,” *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 9, pp. 64–72, 2018.
- [5] 公益財団法人 日本下水道新技術機構, “オキシデーションディッチ法の省エネ技術に関する共同研究,” 2017.
- [6] 国土交通省, “下水道における 資源・エネルギー施策の現状分析,” <https://www.mlit.go.jp/>, 2013. .
- [7] 下水道部国土交通省 水管理・国土保全局, “下水処理場のエネルギー最適化に向けた 省エネ技術導入マニュアル (案),” 2019.
- [8] “B-DASH プロジェクト No.14 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(案),” 国土技術政策総合研究所資料, vol. 938, 2016.
- [9] N. Leiprecht, “Optimization of wastewater treatment plants,” in セントラル科学株式会社「水処理・測定技術セミナー」.
- [10] “センサー等を活用した段階的高度処理に関する調査研究 政策支援調査研究,” 下水道新技術研究所年報[要約版], p. 6597, 2017.
- [11] 小原卓巳、足利伸行、山中理、山本勝也, “下水処理におけるシミュレーション技術の活用,” pp. 42–46.
- [12] 遠藤和広、田崎敏郎, “アンモニア計とDO計を用いた送風量制御システムの開発,” 第47回下水道研究発表会講演集, pp. 918–920, 2010.
- [13] 榎木辰彦、平岡由紀夫、安部裕宣, “下水処理施設における資源の有効活用と省エネ・省コスト運用に貢献する技術.pdf,” 東芝レビュー, vol. 69, no. 5, pp. 20–23, 2014.
- [14] 山中理、海老原聡美、難波諒, “環境負荷低減と省エネや省コストを実現する上下水道施設のプラント運用技術,” 東芝レビュー, pp. 28–32, 2015.
- [15] 道中敦子、西田佳記、山野井一郎、武本剛、中村信幸、片倉洋一、辻井優樹、, “アンモニアセンサを活用した硝化制御システム 西,” 環境システム計測制御学会, vol. 21, pp. 23–26, 2016.
- [16] 長塩尚之、田端隆雄、宇代晋也、竹原輝巳, “下水処理施設に於けるアンモニア態窒素濃度計の活用検討,” 日新電機技報, vol. 62, no. 3, pp. 70–75, 2017.
- [17] 島田光重、熊田浩英、石山明, “省エネ機器とアンモニア制御による低動力反応タンクシステムの性能実証,” 神鋼環境ソリューション技報, vol. 15, no. 1, 2018.
- [18] 葛西孝司、曾根啓一、鈴木重浩, “好気タンク内の脱窒を利用した新たな高度処理技術(同時硝化脱窒処理)の開発,” 下水道協会誌, vol. 52, no. 635, pp. 114–122, 2015.
- [19] A. Thunberg, A. Sundin, and B. Carlsson, “Energy optimization of the aeration process at Käppala wastewater treatment plant,” *10th IWA Conf. Instrumentation, Control Autom.*, 2009.
- [20] L. Rieger, I. Takács, and H. Siegrist, “Improving Nutrient Removal While Reducing Energy Use at Three Swiss WWTPs Using Advanced Control,” *Water Environ. Res.*, vol. 84, no. 2, pp. 170–188, 2012.
- [21] 湛記先、池畑将樹、小泉栄一、池田洋平, “自動洗浄機能を備えた水質測定ユニットの開発と下水処理場での活用 湛,” 環境システム計測制御学会, vol. 19, pp. 129–132, 2014.
- [22] 湛記先、小泉栄一、黛将志、川口幸男、橋本敏一, “流入水質のオンライン測定と酸素必要量(OR)計算に基づいた実下水処理場の曝気制御,” 環境システム計測制御学会, vol. 17, pp. 47–50, 2012.

2021年5月
Xylem Japan
(翻訳: セントラル科学株式会社)