

オンラインセンサーによる脱窒制御について

Dr. Rob Smith

はじめに

排水から栄養塩を除去することは、ますます下水処理場等の水資源回収施設(WRRF)での必要条件となり、その主成分である窒素・リンが注目されています。窒素・リンは、ともに生物組織の基本成分です。水中に溶解した栄養塩は、まず藻類によって吸収され成長と死滅を加速させ、これにより水中の酸素濃度が低下し、魚類やその他の高等生物の生育環境に影響を及ぼします。米国チェサピーク湾、ロングアイランド湾、ピュージェット湾などの汽水域では、窒素が主な懸念材料となります。結果として、沿岸水域へと放流するWRRFは、窒素除去機能の改善策に大幅な投資をすることになります。各WRRFでは、負荷の限界値に沿って窒素を可能な限り除去するように促されており、限界値に達しなかった分は他の設備に売却することもできます。地下水では、窒素過多による飲料水の毒性増加への懸念があります。処理水が土壌還元された場合、総無機窒素量(TIN)は10 mg/Lまでに規制されています。これは、血液の中で酸素を運ぶ機能を制限する、メヘモグロビン血症という深刻な状態からヒトを守るためです。特に乳幼児は、命を奪いかねないこの病気に影響を受けやすいことが分かっています。

生物学的脱窒処理

最もよく知られている排水における窒素除去の方法は、生物学的脱窒処理です。この方法は、硝化により、嫌気(低溶存酸素)状態、炭素源が要求されます。上記の条件は、活性汚泥槽の上流に嫌気槽を設置し、下流の曝気槽からの混合液を内部で循環することで成り立ちます。図1に表示の通り、この方法は循環式硝化脱窒法(Modified Ludzack-Ettinger ;MLE)と呼ばれる活性汚泥処理プロセスに基づいたものです。



図1 循環式硝化脱窒法 (MLE) 構成のフロー図

嫌気槽は上流の出口に設置され、脱窒菌が未処理水の有機物(COD=化学的酸素要求量)を吸収します。嫌気槽に十分なCODがない場合や放流水の窒素量が少ない場合は、外部から炭素源を投入し、脱窒菌の養分を調整します。硝酸態窒素は混合液循環(IMLR)と外部からの炭素投与制御に関する重要なパラメーターです。嫌気槽と曝気槽の出口で硝酸態窒素をモニタリングし情報を有効利用すれば、低コストで窒素除去が可能となります。以下の事例研究の評価は、ある顧客がMLEプロセスを最適化するためにどのように硝酸塩のオンラインモニタリングを行ったかを示しています。

MLE の作用

ある工場は土壌へ放流する前の排水の窒素に関する新排出基準に直面していました。まず、最初のステップは、現行の活性汚泥処理システムを MLE システムの構成へ変更することでした。この校正変更で、現行の流量調節槽が嫌気槽へ変更、および、新規でポンプを設置し、曝気槽から嫌気槽へ硝酸塩を再利用するプロセスが含まれました。工場排水は、都市下水とは異なり、炭素と窒素のバランスが悪く、生物処理の効率が上がりませんでした。今回のケースの未処理の廃水では、窒素は高濃度で含まれていましたが、それに対して炭素は低濃度でした。そのため、外部から炭素源(グリセリン)を供給する、新しい投薬供給システムが必要でした。この変更に伴い、未処理廃水に含まれていたアンモニア性窒素 90~160 mg/L が処理後には総無機窒素量 (TIN)で 15~25 mg/L まで削減されました。しかし、除去率は大幅に改善されたものの、排水基準値である 10 mg/L には到達していませんでした。そこで、次のステップとして、VARiON センサーを嫌気槽と曝気槽に設置し、アンモニウムと窒素を連続モニターすることで、排水基準値を超えてしまう要素を特定する必要がありました。

目標達成

脱窒制御システムの 3 つの目標達成には、重要箇所での硝酸態窒素にオンラインモニタリングが重要です。

1. 窒素排出基準値の達成
2. 廃水中の COD(化学的酸素要求量)使用の最大化
3. 外部からの炭素追加投与の最適化

目標 1 を達成するためには、曝気槽の処理段階で硝酸塩濃度が新基準値を下回る必要があります。なぜなら、下流では大幅な硝酸塩除去は期待できないからです。目標 1 と 2 を達成するためには、嫌気槽でも硝酸態窒素が低濃度に保たなければいけません。COD 除去に関しては、無酸素槽では、曝気槽のようにエネルギーが必要なエアレーション装置がない分、運営コストは抑えられますが、目標 3 を達成するために循環水の窒素濃度が基準値に達したと同時に炭素投与を止められるようなシステムが重要です。

図 2 の日常のモニタリングデータによると、目標 1 は達成されていません。

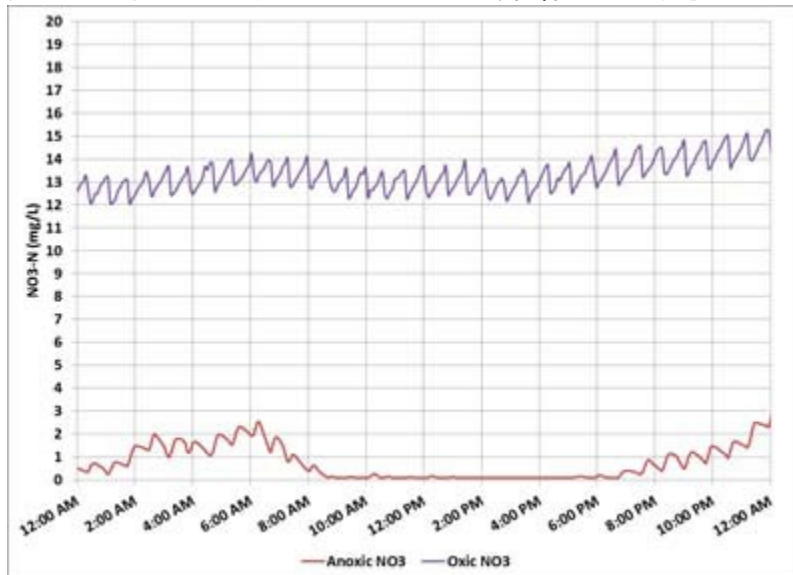


図 2: オンライン硝酸塩モニタリング - 曝気槽における:硝酸塩(高濃度) / 嫌気槽における硝酸塩(低濃度)

曝気槽内での硝酸塩は、基準値を超えています。嫌気槽では、硝酸塩値が非常に低いため、目標 2 も達成されていません。これらのことから、脱窒工程において硝酸塩とその他の要素のバランスが悪く排水基準に達せないことがわかりました。IMLR 流量を増加させると硝酸態窒素がより多く嫌気槽に戻り、脱窒が加速するに伴い、嫌気槽内の COD 利用も最大化します。

目標 1 は、図 3 で表示されている日にも達成されませんでした。



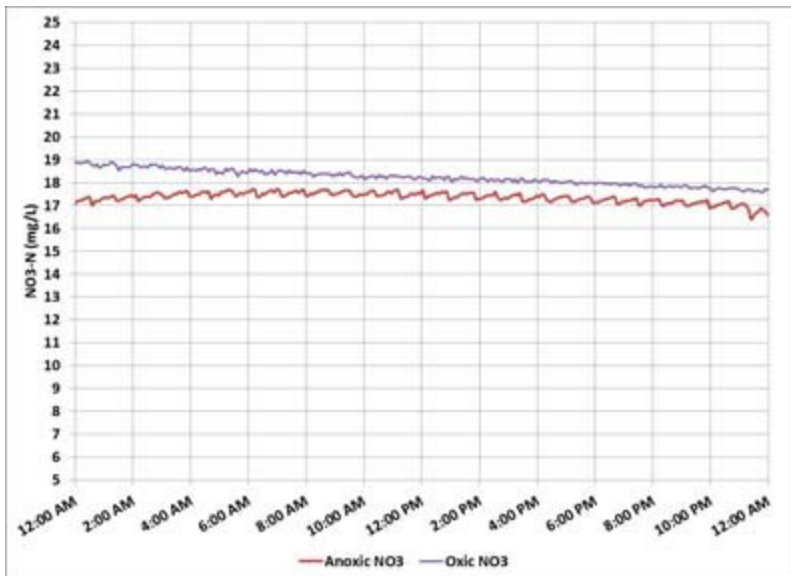


図 3: オンライン硝酸塩モニタリング - 曝気槽における:硝酸塩(高濃度) / 嫌気槽における硝酸塩(高濃度)

しかしながら、図 2 とは異なり、曝気槽内の高濃度の硝酸塩は、嫌気槽内の高濃度の硝酸塩を伴い発生したものでした。目標 2 は果たされましたが、脱窒は COD により制限されていました。外部から炭素を投入することでバクテリアが活性化し、硝酸塩消費を促します。

この特定の状況は、製造時の終末に起こりました。そして、IMLR が活性を維持している間に炭素の供給を停止し、硝酸塩を曝気槽から嫌気槽へ移動させました。しかし、炭素の供給が止まったのが原因で、脱窒菌は硝酸塩を窒素ガスに転化させるエネルギーを失いました。都市下水を処理する WRRF とは異なり流量がないため、好気槽における廃水の硝化工程での硝酸塩濃度の増加はありませんでした。解決法として、脱窒に必要な炭素を供給するため、週末にかけてグリセリンの追加を継続しました。図 4 で、目標 1、2 はいずれも達成されたことが分かります。

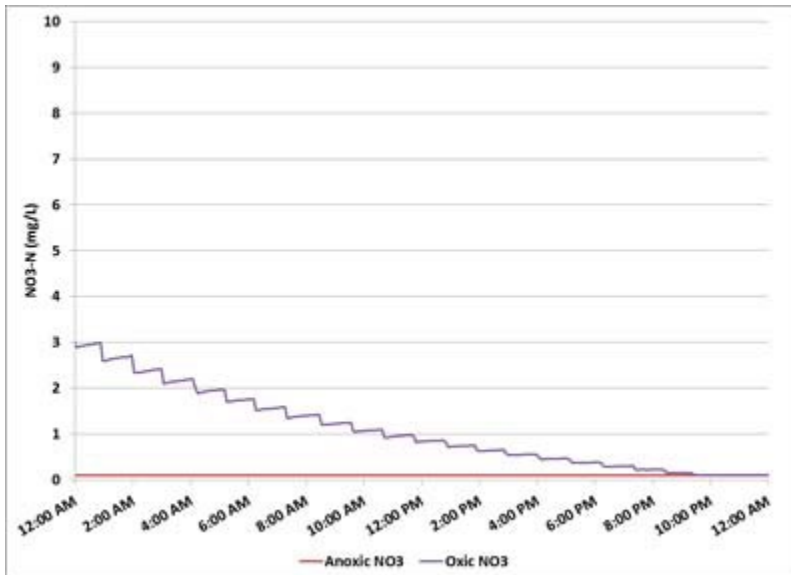


図 4: オンライン硝酸塩モニタリング - 曝気槽における:硝酸塩(低濃度) / 嫌気槽における硝酸塩(低濃度)

曝気槽内の硝酸塩濃度は、基準値内、嫌気槽における硝酸塩濃度は、ほぼゼロになりました。これは、過剰な COD を伴う WRRF では望ましい状況です。しかしながらこのケースでは、投入する分の炭素を購入しないといけないため、運営コストが高騰しました。目標 3 を達成するため、目標 1 が達成されたときに炭素投入システムを停止する必要性がありました。



結果

IQ SensorNet を利用したオンラインモニタリング方法は、迅速的に阻害要因の特定をすることが可能です。さらに、管理者は IMLR-COD の含量比を随時調整し炭素投入量を最適化することで、処理目標の達成と運転費用も最小化を実現しました。勿論、オンラインセンサーからのフィードバックに基づいた自動制御も可能です。IWA 発行の科学技術レポート No. 15, “排水システムにおける制御と自動化”では、上記 3 つの目標を達成するための 4 つのフィードバック・ループで構成されています。

- フィードバック・ループ A では、目標 1 達成のため、曝気槽内の硝酸塩濃度を元に IMLR を調整します。
- フィードバック・ループ B では、目標 1 と 3 達成のため、嫌気槽内の硝酸塩濃度を元に外部からの炭素投入量を調整します。
- 曝気槽内の硝酸塩濃度が設定基準値を下回ると(フィードバック・ループ A は無効)、廃水 COD の使用を最大化(フィードバック・ループ C を使用して目標 2 達成)されます。フィードバック・ループ A と B、又はフィードバック・ループ C は常に有効です。
- 4 つ目のフィードバック・ループ D は、フィードバック・ループ A の曝気槽内の硝酸塩設定濃度の最適化をします。制御戦略に関わらず、効率的な脱窒にはオンラインモニタリングが必須です。

硝酸塩のモニタリング方法

浸漬型オンライン硝酸センサーを 2 種類用意します。このレポートで紹介された事例では、イオン選択性電極(ISE)が使用されました。硝酸塩 ISE とアンモニウム ISE はいずれも同じプローブに収まり、硝化モニタリングに汎用性の高いソリューションを提供します。ISE センサーは校正を必要とし電極の精度が下がった場合、交換が必要です。一方、硝酸塩は、試薬を必要とせずに特定の波長の UV 光を直接吸収するという前提に基づいて、光学式センサーで測定することができます。光学式センサーは初期費用がかかりますが、長寿命のためメンテナンス費用を抑えられます。さらに、光学式センサーは安定性が高く工場における校正が可能で、頻繁なユーザー校正は必要ありません。脱窒のもう一つの重要なパラメーターである有機物(COD)も現場で光学式の測定が可能で、同じプローブ上におい硝酸塩と同時測定が可能です。

(翻訳: セントラル科学株式会社)

(“How to Control Denitrification Using Online Sensors” をセントラル科学株式会社が翻訳。本文は社内用に邦訳したものであり、他への転用における責任は負いかねます。)

原文(英語)は、WTW 製品の米国代理店である YSI Inc. 殿のホームページに掲載されています。

[原文へのリンクはこちら](#)



セントラル科学株式会社