

標準活性汚泥法に窒素除去機能を付加する風量制御システム

九州共立大学 ○正員 森 山 克 美
AquaTech Co.,Ltd., Korea キム ハンレ
日金建設 (株) リ チョンヒ

1. はじめに

平成15年改正下水道法では、窒素・リンの計画放流水質に対応して採用すべき高度処理プロセスが明示された。これらのプロセスは1980年代から2003年の間に開発された。当時、開発に利用された手段は、硝化槽・脱窒槽・硝化液循環ラインの配置などの構造的工夫、並びに硝化菌の系内保持に関わるSRTからの解放と施設容量のコンパクト化を目的とした微生物固定化や膜分離によるMLSS高濃度化の工夫の二つに集約できる。一方、ソフト的側面では、SRTやA-SRT制御など高度処理に必須の運転制御理論は一般化したが、除去率向上や施設のコンパクト化などに結びつく制御技術の開発導入は必ずしも充分ではなかった。この為、現在では標準活性汚泥法を高度処理化する上で種々の問題が生じている。その一つが窒素除去に必要な施設容量の不足である。このようなことから本研究では、標準活性汚泥法の施設容量での窒素除去を可能とするための方策として、単一槽での硝化・脱窒反応の同時進行を可能にする風量制御システムの開発を試みた。本論文では、その開発結果を報告する。

2. 性能(生物反応槽HRTと窒素除去率)と構造からみた従来の窒素除去プロセスの分類と特徴

上記下水道法に示された窒素除去法と固定化担体法、膜分離活性汚泥法の設計指針や技術評価書に公表されている生物反応槽HRTと窒素除去率の関係を図-1に示す。構造の違いから大きくは次の二つに分けられる。一つは、反応槽流入端から硝化槽・脱窒槽の順で並ぶことにより硝化液循環を必要としない「直流プロセス」である。もう一つは、脱窒槽が硝化槽より上流にあるため硝化液循環を必要とする「循環流プロセス」である。直流プロセスの代表的プロセスは硝化内生脱窒法である。また、循環流プロセスの代表としては循環式硝化脱窒法がある。循環流プロセスのHRTは直流プロセスより小さいが、循環倍率の制約により除去率が直流プロセスほど高くない。直流プロセスは、除去率が高いがHRTが大きいとされている。直流プロセスはHRTを除けば、1)除去率が高い、2)循環設備と循環動力が不要、3)構造が標準活性汚泥法と同様(循環設備、ステップ流入などが不要)であり既存施設への適用性が高い等の大きなメリットがある。

本研究は、直流プロセスの課題である大きな反応槽を標準活性汚泥法並みにコンパクト化することを風量制御により達成しようとするものである。

3. 風量制御の概要

風量制御の概要を図-2に示す。送風量過大とは従来法の硝化槽の状況、送風量過小とは従来法の脱窒槽の状況に相当する。これら両状況の間には、図の中央に示す無酸素領域(脱窒領域)と好気領域(硝化領域)の混在するフロック状態が存在する可能性がある。その状態を安定的に維持する制御を行えば、硝化脱窒の同時進行可能な反応槽状態が得られる。制御には、脱水素酵素の補酵素であるNADH(Nicotinamid Adenine Dinucleotide)を励起波長340nm、蛍光波長460nmにより連続測定できるセンサーを用いた。本制御システムは、通性嫌気性菌に含まれるNADHが好気、無酸素、嫌気状態におかれた時に差異を示すことを利用している。好気、無酸素、嫌気状態の順に大きなNADH値となる。NADH値による風量制御効果を図-3に示す。同図は、後述のパイロットプラントを用いた連続処理実験に先立つ予備実験で得られた反応槽内水質である。横

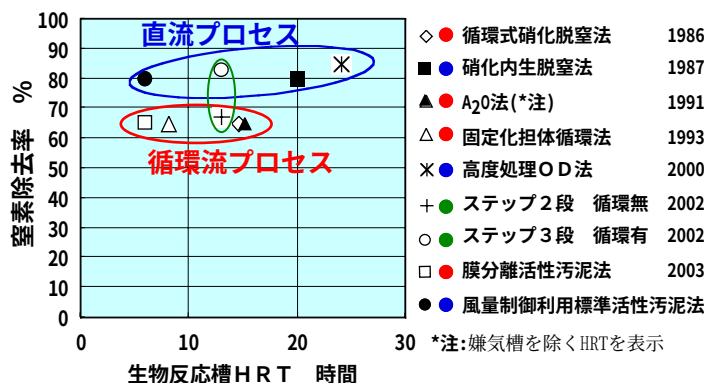


図-1 性能と構造からみた窒素除去プロセスの分類

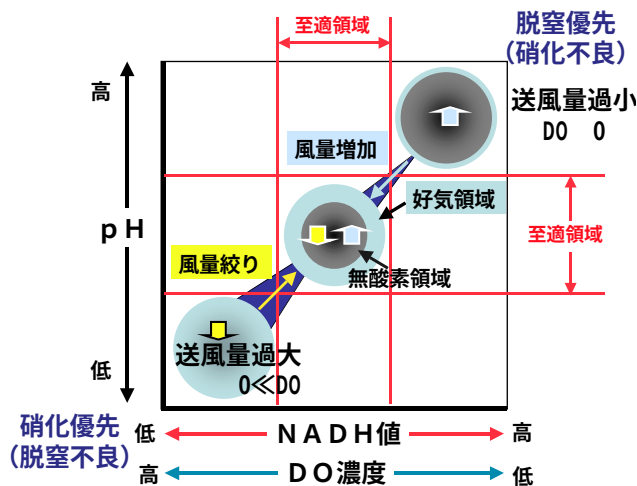


図-2 風量制御の概要

軸に示すNADH (単位 BPA: Biological Potential Activity)は、ブローの周波数を変えることにより変化させた。反応槽内の溶解性全窒素DTNを最小化できるNADH値の存在が分かる。このようなNADH値を維持するようブロー台数、ブロー周波数、ライザー管に付設するバルブの開閉度等の連続的な制御を通して、反応槽全体で硝化と脱窒を同時に行うことができ、反応槽容積を半減できる。また、適切な必要最小限の風量となることで省エネルギー運転の窒素除去を可能にする。

4. パイロットプラント実験

4-1 装置概要と実験条件

装置諸元と条件を表-1に示す。都市下水最初沈殿池流出水300m³/日を24時間均等流入させた。生物反応槽は、矩形の単一槽であり、硝化槽・脱窒槽の仕切りや硝化液循環設備は設けられていない。流入水流量基準のHRTは5.2時間である。槽全体で硝化と脱窒が同時に生ずることから、SRTとA-SRTを同一と考えた。

4-2 実験結果と考察

図-4に反応槽のNADH、反応槽末端D₀濃度の日間変動を示す。この図は、図-3で示したDTN最小となるNADH値を目標値として運転した状態を示す。D₀濃度は明け方6時頃から10時頃に向かって上昇しており、負荷の増加(均等流入なので濃度上昇を意味する。)に追従したと考えられる。その後、19時頃から負荷の低下に応じて低下している。高負荷時のD₀がそれ以前のままであると硝化未了となるので、このような制御結果が必要となる。D₀濃度0.2~0.5mg/Lは、相当に低濃度である。

図-5に7ヶ月間の窒素の処理状況と水温を示す。流入水TNは30~40mg/L、処理水TNは夏期に4~10mg/L、冬期に5~15mg/Lであった。低水温期の一部を除けばアンモニア性窒素は、ほぼ1mg/L以下であり、0.5mg/L程度以下のD₀濃度でも硝化に支障のないことが分かる。

5. おわりに

風量制御を用いた約6時間の処理で、従来法と同程度の窒素除去率が得られ、高度処理での風量制御の重要性と効果が明らかとなった。この結果から、窒素除去を行う6時間程度の単一槽の前に1~2時間の嫌気槽を持つ窒素・りん同時除去法も標準活性汚泥法施設容量で可能と考えられ、実施設での実証運転を検討している。また、本法のD₀濃度0.2~0.5mg/Lは、従来プロセスに対し相当に低濃度・省エネと考える。表-2に従来の窒素除去法の開発手段を纏めた。構造やMLSS高濃度化の工夫により種々のプロセスが開発されたが、制御的工夫にはなお開発の余地があり、高度処理の今後の発展普及に必要な研究分野と考えられる。

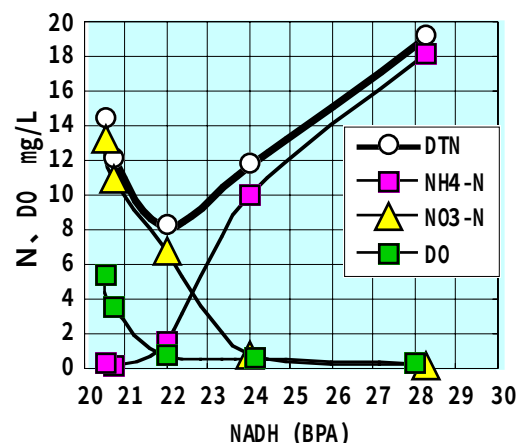


図-3 NADH値による風量制御効果

表-1 パイロットプラント諸元と運転条件

1. 施設規模
単一反応槽 W1.0m×L16.0m×H4.4m(He4.0m)=64.0m³(有効容量)
最終沈殿池 W2.4m×L8.0m×H4.4m(He3.0m)=57.6m³(有効容量)
2. 流入条件: 連続式、24時間均等流入
流入水: 分流水都市下水最初沈殿池流出水 (BOD/TN比=2.5~4.5)
処理水量: 300m³/日
生物反応槽HRT: 5.2時間
3. 運転制御: NADHセンサーによるブローおよびバルブ制御
MLSS (前段から後段での最低~最大値): 1950~3110 mg/L
汚泥返送率=40~50%
SRT (=A-SRT): 夏期6.5日程度~冬期10.5日程度

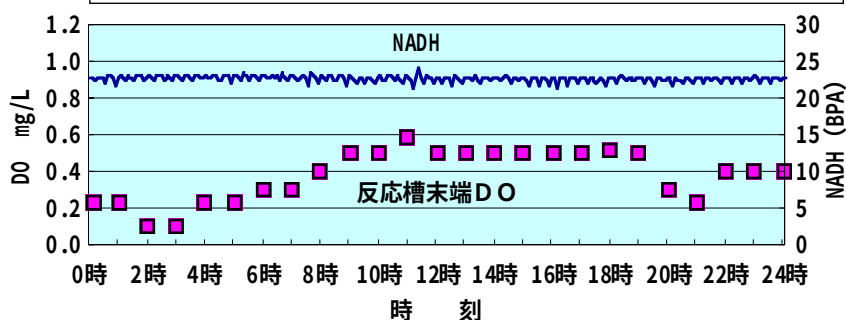


図-4 風量制御結果 (NADH、D₀の変化)

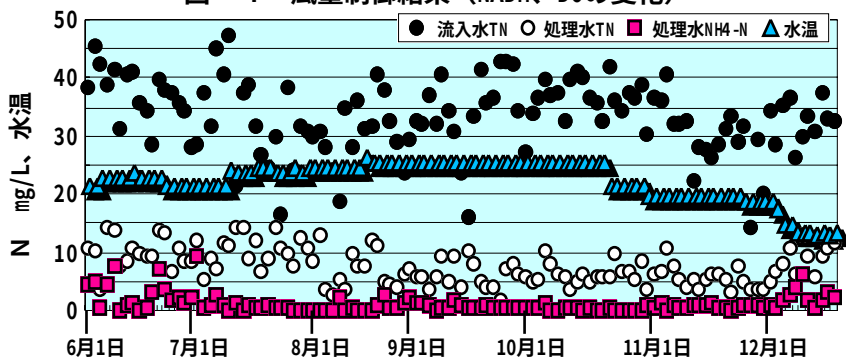


図-5 風量制御結果 (水質変化)

表-2 窒素除去法の開発手段

1. 構造的工夫
・硝化槽・脱窒槽の配置
・循環ラインの配置と循環方法 (ポンプ循環、エアリフト循環)
・ステップ流入の導入
2. MLSS高濃度化の工夫
・固定化担体
・膜分離
3. 制御的工夫
・D₀制御 (過剰曝気の抑制)
・間欠曝気 (OD法)