

脱窒槽 ORP 制御を付加した循環脱窒法の適用例

(Example of added ORP control system to denitrification tank of Recycle process for denitrification.)

塚越 亨*, 由利信太郎**, 井上祥一郎***

* (株)エステム コンサルタント部
 ** 同 エンジニアリング部
 *** 同 研究開発部
 名古屋市 南区 弥次エ町 2-9-1

概要

排水の窒素規制は年々強化され、規制に適合できない既存施設に対応する制御および管理方法を開発することが急務となっている。筆者らは、循環脱窒法を用いる水産加工排水処理施設において脱窒槽ORP値を一定範囲に保つため脱窒槽への攪拌空気量制御を付加した手法を検証した。その結果、脱窒槽のORP値が制御範囲をはずれる場合があり、その原因として原水BOD/N比の他、硝化循環液量による影響が認められ、脱窒素の安定化のためには、脱窒槽ORP値を指標とした硝化循環液量制御、特に抑制制御が必要であることが確認できた。

キーワード

窒素除去・ORP制御・返送水量・循環水量

1 はじめに

BOD および窒素を高濃度に含み、かつ性状変化が激しい排水を循環脱窒活性汚泥法によって処理する場合、DO、pH、ORP等のセンサーによる制御をせずに適正な処理水質を維持することは困難である。

また、窒素に対する規制は年々強化されているが、既存の施設を更新するだけの経済的余裕のない事業者は多く、軽微な改造によって適正な処理を行える方法を開発するとともに、その運転管理方法を確立する事が社会的に必要とされている。

本稿では、循環脱窒活性汚泥法を用いる水産加工排水処理施設(以下当施設)において、窒素除去の制御を目的として脱窒槽ORP値制御を付加した実例を検証し、その有用性と運転管理について検討した。

2 施設の概要

2.1 設計値および処理フロー

当施設の生物処理槽の容量と設計負荷を表-1に、処理フローを図-1に示した。

表-1 槽容量と設計負荷

	脱窒槽	硝化槽	生物処理槽
実容積 (m^3)	264	792	1,056
BOD・容積負荷 ($kg\text{-BOD}/m^3\cdot d$)	1.70	***	0.43
総窒素・容積負荷 ($kg\text{-N}/m^3\cdot d$)	0.57	***	0.14
BOD・SS負荷 ($kg\text{-BOD}/kg\text{-SS}\cdot d$)	0.284	***	0.071
総窒素・SS負荷 ($kg\text{-N}/kg\text{-SS}\cdot d$)	0.095	***	0.024

BOD 負荷量 : 450kg-BOD/d、T-N 負荷量 : 150kg-N/d

MLSS 濃度 : 6,000mg/Lとして計算。

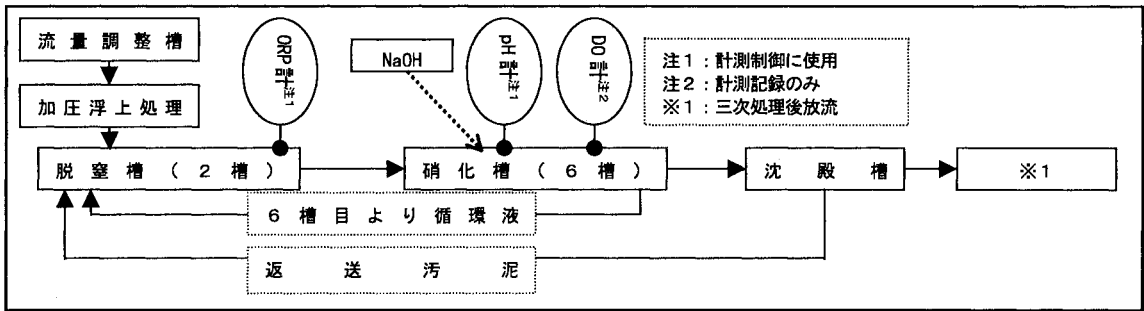


図-1 処理フロー

2.2 生物処理原水（加圧浮上処理水）の性状

実際の生物処理原水の水質および負荷量について表-2に、BOD、T-N 負荷量の変化について図-2に、BOD/T-N 比の変化について図-3に示した。

表-2 生物処理原水の水質と負荷量

	BOD 濃度 (mg/L)	T-N 濃度 (mg/L)	BOD 負荷量 (kg/d)	T-N 負荷量 (kg/d)
平均値	2,391	503	173.3	36.3
最大値	7,300	1,300	525.6	78.0
最小値	340	180	24.5	13.0
設計値 (日最大)	3,000	1,000	450.0	150.0

1998/4/3~2000/1/20, n=57

表-2 から、生物処理原水の BOD、T-N 濃度は設計値（日最大）を超える場合があり、最大と最小の較差も大きいことがわかる。ただし、T-N 負荷量も低く、負荷の高さから硝化不足になることは稀である。

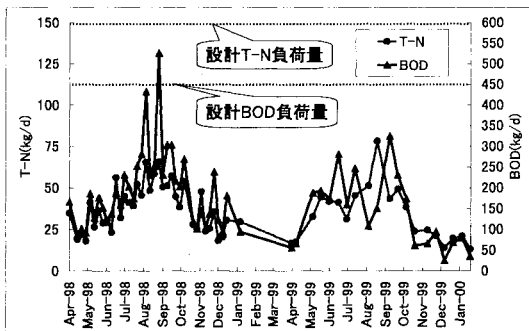


図-2 生物処理原水の BOD, T-N 負荷量の変化

図-2 から BOD、T-N 負荷量は、概ね設計負荷量以下であり、また、夏季に高く冬季に低くなる傾向にあることがわかる。ただし、変動の幅が大きく、短期間に大きく変動する場合もある。

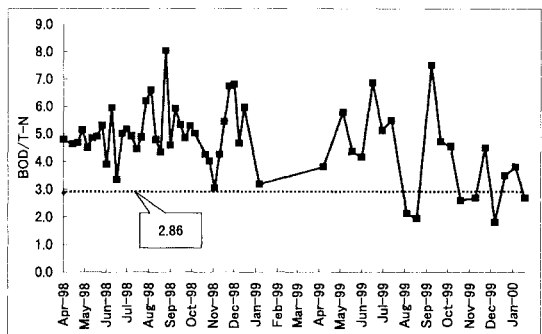


図-3 生物処理原水の BOD/T-N 比の変化

図-3 から BOD/T-N 比は、負荷量と同様に変動の幅が大きい。また、硝酸体窒素から脱窒素するのに必要な BOD/T-N 比の理論値である 2.86¹⁾より低い値を示す場合がある。

2.3 制御方法

2.3.1 脱窒槽 ORP 制御

脱窒槽 ORP 制御の詳細を図-4 に示した。脱窒槽終端に設置した投込式 ORP 計の値を用い、任意の ORP 目標値となる様に脱窒槽攪拌ブローの回転数（空気量）を制御した。また設定した上限値を超えている間は、シーケンサープログラムにより間欠曝気運転に自動的に移行させた。ORP 目標値と ORP 上限値の間の範囲では、回転数制御が有効に機能しており、これを目標値有効範囲と呼ぶ。なお、脱窒槽の攪拌は空気攪拌のみで、他の攪拌装置は設置していない。

2.3.2 曝気槽 pH 制御

曝気槽の pH は、硝化槽前段に設置してある投込式 pH 計の値を用い、苛性ソーダ注入ポンプを on/off 制御した。

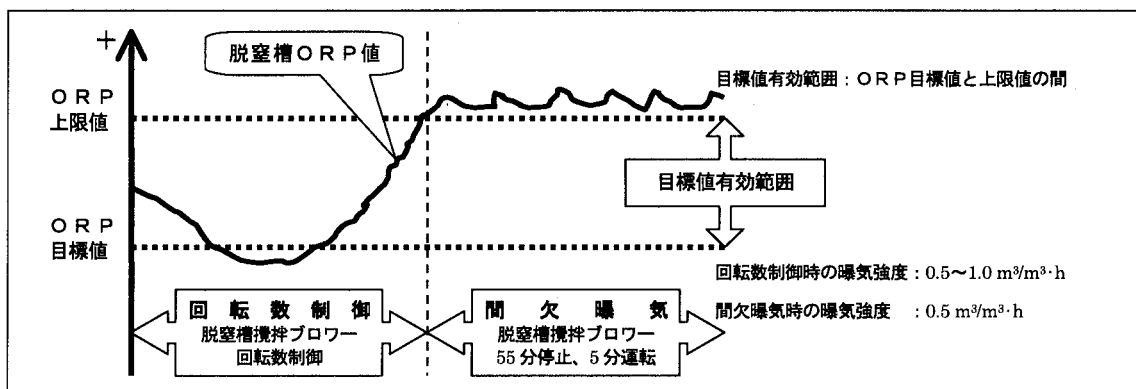


図-4 脱窒槽ORP制御の詳細(脱窒槽攪拌ブローの制御方法)

2.4 その他の運転条件

2.4.1 硝化循環液量の調整

硝化循環液量(以後、循環液量と返送汚泥量の和をこう呼ぶ)は、1998/4/3~1999/1/8の期間、生物処理原水量をQとした場合、8.3Qとなる様に調整した。

1999/4/1以降は3.0Qを下限として、脱窒槽ORP値が目標値有効範囲を超えた場合は削減、有効範囲内であれば増加させた。

2.4.2 硝化槽の曝気量調整

硝化槽の曝気量調整は、1999/12/2以前は連続曝気を行い、生物処理水のNH₄⁺-Nが概ね0.5mg/L未満となる様に調整した。

1999/12/2以降は、間欠曝気によって硝化を抑制し、生物処理水のNH₄⁺-N濃度が10~20mg/L程度残留する様に調整した。

2.4.3 硝化槽の送気バランス

硝化槽(計6槽)の送気バランスは、1998/11/17以前は全槽とも同程度の送気量となる様に調整した。

1998/11/17以降は、前段2槽はDO値が0~0.1mg/L、末端槽はDO値が0.1~0.3mg/Lになる様に、3~5槽目がそれぞれ同程度となる様に空気量を調整した。

3. 結果および考察

3.1 生物処理水(沈殿槽水)の水質

生物処理水のT-N値の変化を図-5に示した。

参考としてORP制御付加(改造工事)以前の値も示したが、改造工事により脱窒槽容積が2倍となっているため、工事前後の値を単純に比較できない。

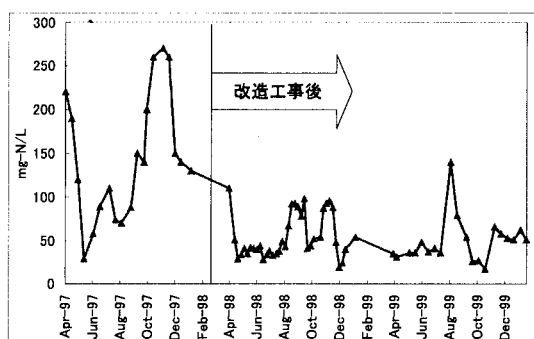


図-5 生物処理水のT-N値の変化

図-5から、改造工事後はT-N値の変動幅が小さく、処理が安定したことがわかる。しかし、工事後であってもT-N値が上昇し、処理が不安定となる期間があった。

3.2 ORP制御の状態と窒素除去率

脱窒槽ORP値、目標値有効範囲、生物処理による窒素除去率の変化を図-6に示した。

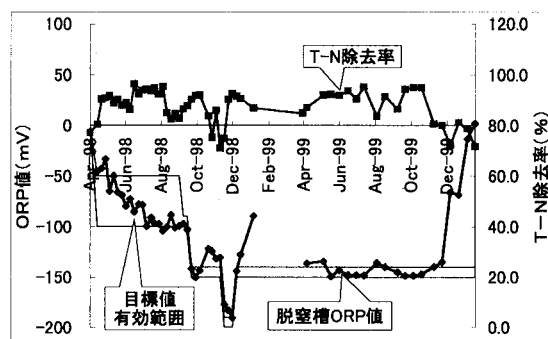


図-6 ORP制御の状態と窒素除去率の関係

1998年11月上旬の様に脱窒槽 ORP 値が目標値有効範囲をはずれた場合、窒素除去率も低下していた。また、1998年の7月の様に脱窒槽 ORP 値が目標値有効範囲内にあり、かつ上昇傾向にない場合は、ORP 値がその他の時期と比較して高いにも関わらず高い除去率を示していた。

窒素除去率が低下する脱窒槽の条件は、脱窒槽 ORP 値の高低ではなく、ORP 値が目標値有効範囲を超えてなお上昇傾向であり続ける条件と考えられ、空気量の制御を行わない場合、単純に脱窒槽 ORP 値が上昇傾向であり続ける条件と推察できる。

3.3 脱窒槽 ORP 制御の阻害因子

脱窒槽 ORP 値が目標値有効範囲を超えてなお上昇傾向であり続ける状態は、当初目的とした制御が何らかの因子によって阻害され、機能していない状態である。ここで、その阻害因子について検討した。

3.3.1 生物処理原水の BOD/T-N 比

生物処理原水の BOD/T-N 比が低い場合、脱窒槽 ORP 値を上昇させ、目標値有効範囲を超えることがある。

生物処理原水の BOD/T-N 比、脱窒槽 ORP 値、目標値有効範囲の変化を図-7 に示した。

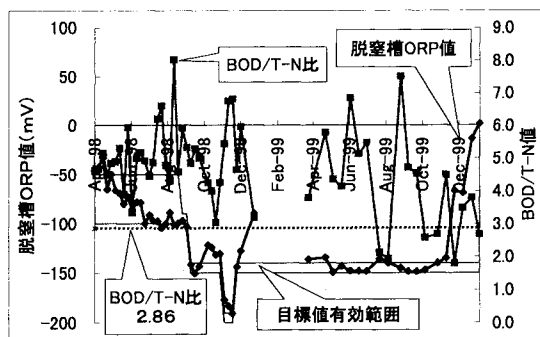


図-7 BOD/T-N 比の低下による ORP 制御への影響

1998年11月上旬の様に、生物処理原水の BOD/T-N 比が、硝酸体窒素から脱窒素するのに必要な理論値 (2.86) 付近かそれ以下を示す場合、脱窒槽 ORP 値が上昇し、目標値有効範囲を超えていることがわかる。

この結果から、脱窒槽 ORP 制御を阻害する因子の一つとして、生物処理原水の低 BOD/T-N 比が挙げられる。

これは、BOD/T-N 比が低いために NO_x 呼吸に必要な水素供与体が不足し、供給される NO_x -N 量に対して NO_x -

呼吸量が不足している状態と考えられる。この状態が継続されることで、槽内の NO_x -N 濃度が上昇し、脱窒槽 ORP 値が上昇していくと考えられる。

3.3.2 硝化循環液 (循環水および返送水)

硝化循環液量が過剰な場合に、脱窒槽 ORP 値を上昇させ、目標値有効範囲を超えることがある。

図-8 に硝化循環液量と脱窒槽 ORP 値の変化について示した。

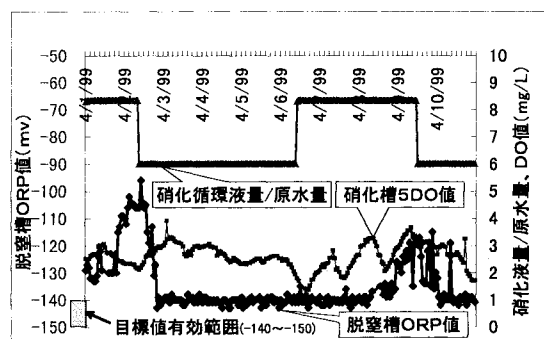


図-8 硝化循環液による ORP 制御への影響

図-8 の期間、硝化槽 5 (硝化槽の末端から 2 槽目) の DO 値が 2~3mg/L となる様に硝化槽の曝気量を手動調整した。また、硝化槽末端で 9:00 および 13:00 に測定した DO 値 (4/4 を除く) は 0.0~0.3mg/L、平均値で 0.1mg/L (n=18) であった。

図-8 を時系列にしたがって説明する。4/2 に硝化循環液量を削減、目標値有効範囲を超えて不安定に推移していた ORP 値が低下し目標値有効範囲上限付近で安定、4/6 に再び硝化循環液量を増加、約 2 日後に ORP 値が上昇し目標値有効範囲を超えて不安定に推移、4/9 に硝化循環液量を再び削減、ORP 値が低下し目標値有効範囲上限付近で安定というパターンを繰り返した。

図-8 から、硝化循環液に含まれる DO 値の変化による影響が小さい場合でも、硝化循環液量の増減によって脱窒槽 ORP 値が上下することがわかる。

この結果から、脱窒槽 ORP 制御を阻害する因子の一つとして、過剰な硝化循環液量が挙げられる。

硝化循環液量が過剰な状態とは、脱窒素可能な NO_x -N 量 (NO_x 呼吸量) に対し、供給される NO_x -N 量 (脱窒槽内などで生成される NO_x -N も含む) が過剰な状態と考えられる。この状態が続くことで、槽内の NO_x -N 濃度

が上昇し、脱窒槽 ORP 値を上昇させると考えられる。

逆に、供給される $\text{NO}_x\text{-N}$ 量が脱窒素可能な $\text{NO}_x\text{-N}$ 量に対して少ない状態が続いた場合、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が減少し、脱窒槽 ORP 値も低下すると考えられる。

硝化循環液量の増減によって脱窒槽 ORP 値が上下するのは、脱窒素可能な $\text{NO}_x\text{-N}$ 量に対する $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量の過不足により脱窒槽内の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が増減し、それに伴って脱窒槽 ORP 値も上下するためと考えられる。

3.4 阻害因子による影響を除くための制御

脱窒槽の攪拌に空気を利用する方法は、水中に機械を設置しないため機械的トラブルが少なく、原水 BOD 濃度の上昇などによって過度の脱窒槽 ORP 値低下が起こりやすい施設では、攪拌空気量を ORP 値によって制御することで、硝化槽での硝化反応の低下を防止²⁾するなどメリットも多く、原水 BOD/T-N 比が十分に高い場合には有効である。

しかし、この方法は攪拌空気によって硝化および脱窒を伴わない BOD 酸化が起こると考えられ、先に述べた阻害因子などにより、 NO_x 呼吸量が $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量未満となった場合は、処理が不安定になりやすいと考えられる。

阻害因子による影響を除くためには、常に NO_x 呼吸量を $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量以上にする必要があり、そのために次の制御を組み合わせることでより適正な処理が実現できると筆者らは考えた。

3.4.1 脱窒工程 $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御

筆者らは、既存設備が、攪拌空気量の増減によって $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量を増減させ、 NO_x 呼吸量とのバランスをとっていると考え、また前述した様に硝化循環液量によっても $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量が増減し、脱窒槽 ORP 値に与える影響が大きいとした。そこで新たに必要と考える脱窒工程 $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御について図-9 に示した。

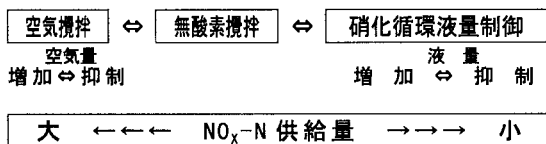


図-9 脱窒工程 $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御

①無酸素攪拌

攪拌空気量が最低となっても脱窒槽 ORP 値が上昇する場合には、空気攪拌による硝化および脱窒を伴わない BOD 酸化を避けるため、空気攪拌から無酸素攪拌に切り替える。これにより、攪拌による $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量の増減の幅を広げることができる。

無酸素攪拌装置として、機械式の水中攪拌装置がある。この方法のデメリットとして、機械が水中にあるため、機械的トラブルが増えること、故障した場合に攪拌機能を復旧させるまでの時間と手間がかかることなどが挙げられる。このため、次に述べる硝化循環液量抑制制御で対応できる場合、管理上および節電などの点から必ずしも水中攪拌装置を採用することが好ましいとは言えない。

②硝化循環液量制御

攪拌による $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量削減を行ってもなお供給量が過剰で脱窒槽 ORP 値が上昇する場合、脱窒槽 ORP 値がある一定値より高くならない様に液量抑制を行う。これにより、 NO_x 呼吸量が減少し、除去率が低下することを防止するため、脱窒素を安定して行うことができる。

この制御は除去率を一定基準以下に下げないところに特徴があり、その基準を定めるための硝化液循環量の下限量は、沈殿槽での分離状況や処理水 T-N 濃度によって必要な値に設定する必要がある。

3.4.2 脱窒工程 NO_x 呼吸量制御

当施設における NO_x 呼吸量の制限因子として、生物処理原水の BOD/T-N 比による水素供与体不足が確認できた。 NO_x 呼吸量の制限因子として水温や微生物量もあるが、簡便あるいは短時間で制御できる因子ではないため、本稿では考察しないこととした。

水素供与体が不足する場合、メタノール添加により NO_x 呼吸量を増加させる方法が一般に用いられるが、当施設では常時不足しているわけではなく、不足量や窒素負荷の変化も激しい。また、メタノールの保管および取り扱いの危険性、ランニングコストなどの面から、メタノールの添加は可能な限り行わないことが望ましく、生物処理原水中に含まれる BOD 源や微生物自身の細胞物質を最大限に利用することが望ましいと考える。

1) 原水BOD源の利用

生物処理原水に含まれるBOD源を最大源に利用する方法は、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御で述べた無酸素攪拌を行い、脱窒を伴わないBOD酸化を避けることである。

2) 内生呼吸型脱窒の利用

BOD源が無い場合でも微生物自身の細胞物質を利用した NO_x 呼吸(内生呼吸型脱窒)を最大限に利用し、 NO_x 呼吸量を増加させることができる。当施設の場合は、硝化槽における間欠曝気運転が考えられる。この方法は、硝化量の制御も同時に可能なことから $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御の一方法と捉えることもできる。

この方法は、間欠曝気を行っても十分に硝化できることが前提条件で、十分な硝化菌量さえ確保できれば、硝化槽末端のORP値を利用した硝化確認方法²⁾を利用することで実現可能と考えられる。

ただし、注意点として、急激な窒素負荷上昇により硝化菌量が不足した場合、硝化不足により処理水中に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が残留する可能性が高い。

3) メタノールの添加

無酸素攪拌による原水BOD源の利用、硝化槽の間欠曝気運転による内生呼吸型脱窒の利用を行っても、脱窒槽ORP値が上昇していく場合、メタノール添加による NO_x 呼吸量制御を行うことになる。具体的には、脱窒槽ORP値が $\text{NO}_x\text{-N}$ 供給量制御の上限値以下となる様にメタノールを添加することになる。

4. まとめ

- ① 対象とした脱窒槽ORP制御は、生物処理原水のBOD/T-N比が大きい場合は、安定して効率よく窒素除去を行うことができた。
- ② 対象とした脱窒槽ORP制御の阻害因子として、生物処理原水の低BOD/T-N比、過剰な硝化循環液量が確認できた。
- ③ 生物処理原水のBOD/T-N比が低いなどの条件によってORP値が上昇しやすい場合は、脱窒素を安定させるために硝化循環液量抑制制御が必要である。
- ④ 生物処理原水の低BOD/T-N比の対策として、メタノール添加は最終的な手段とし、基本的には生物処理原水のBOD源、内生呼吸型脱窒を最大源に利用することが望ましい。

参考文献

- 1) 5訂 公害防止の技術と法規 水質編(1995)210-214, 産業環境管理協会
- 2) 三木 理, 坂田守生, 嘉森裕史, 近藤三雄(1998)
ORP管理活性汚泥循環変法による高濃度窒素含有下水からの窒素除去
下水道協会誌, Vol. 35, No. 431, pp. 107-115
- 3) し尿処理施設構造指針解説(1998)91-96, 全国都市清掃会議