

計測記録の波形情報による窒素除去手法

The technology of De-nitrification with the waveform

山崎 卓也 ・ 井上 祥一郎

株式会社 エステム

愛知県名古屋市南区弥次エ町2-9-1

概 要

排水処理における曝気槽のDO、ORP、pHの計測記録の波形情報を用いた窒素除去手法について述べる。この手法は、硝化反応の終点として「DOの立ち上がり」、脱窒反応の終点として「ORPの屈曲点」に着目している。実施設で検証と再現性の確認を行った結果、処理方式、原水性状の異なる3処理場[回分処理(複合ラグーン)方式、連続流入間欠曝気方式、硝化・脱窒(炭素源添加)方式]でいずれの場合も高度な窒素除去効果が得られ、この手法の重要性及び汎用性が明らかになった。

キーワード

窒素除去、計測記録、波形情報、DO、ORP

I. はじめに

生物学的窒素除去を行うため、現在では様々な処理システムが実用化されている。しかし、高度な窒素除去を確実に行うためには、その処理システムを用いるだけでなく、そこに的確な運転技術を組み合わせる必要がある。筆者らは窒素除去を必要とする処理場の管理に携わってきたが、従来の経験とカンの管理技術から脱却し、熟練者でなくても管理できるようマニュアル化するためには、曝気槽でのDO、ORP、pHの連続的な計測記録の波形情報が不可欠であるという結論に達した。

現段階では推測の域を出ない事象もあるが、本報告では現時点までのデータをもとに「計測記録の波形情報による窒素除去手法」について述べる。

II. 各処理方式における窒素除去手法

本報告では下記に示す3つの処理方式の計測波形について述べる。

1. 同一槽内で硝化時間と脱窒時間を設けて窒素除去を進行させる方式(以後、時間的硝化・脱窒法と呼ぶ)
 - 1.1 回分処理(複合ラグーン)方式
 - 1.2 連続流入間欠曝気方式
2. 硝化槽、脱窒槽という異なる槽を設けて窒素除去を進行させる方式(以後、空間的硝化・脱窒法と呼ぶ)
 - 2.1 硝化・脱窒(炭素源添加)方式

1.1 回分処理(複合ラグーン)方式

まず、この手法の基本となる、回分処理(複合ラグーン)方式の計測波形について、漁業集落排水処理施設であるA処理場の例を用いて説明する。A処理場の流入水設計値及び実測値を表-1に示す。

表-1. A処理場(漁業集落排水処理施設)の流入水質

	設計値	実測値 平均
水量 (m ³ /day)	64.8	20
BOD (mg/L)	200	190
COD (mg/L)	100	85
SS (mg/L)	200	210
T-N (mg/L)	-	28
BOD-容積負荷 (kg/m ³ /day)	0.16	0.047
窒素-容積負荷 (kg/m ³ /day)	-	0.007

(1) 計測波形

A処理場で得られた計測波形を図-1に示す。回分処理(複合ラグーン)方式では下記の3工程を経ることにより、窒素除去を行う。

【前攪拌工程】

汚水流入の後、前攪拌工程が始まる。この工程中は無酸素攪拌を行っている。微生物は無酸素状態で流入汚水のBODを水素供与体として、前回のバッチで発生した

硝酸を利用し、硝酸呼吸をする。この反応によりNO₂-N、NO₃-NがN₂ガスとなり、脱窒が起こる。DOは0mg/L、ORPは脱窒反応に伴い下降傾向を示す(図-1 a)。

脱窒反応の終点で、後述する「ORPの屈曲点」が出現する。

【曝気工程】

前攪拌工程終了後(タイマー設定)、曝気工程に移行する。曝気工程ではブローによりエア(酸素)が供給される。微生物はその酸素を用い、BOD酸化、硝化を行う。この時、酸素供給量と酸素消費量が等しい、もしくは消費量の方が多い状態となる。DOは0mg/L付近で横這い、ORPは上昇傾向を示す(図-1 b)。

BOD酸化及び硝化が終了すると、微生物の酸素消費量が減少するため、後述する「DOの立ち上がり」がみられる。それと同時にORPの上昇も一段と急になる(図-1 c)。設定DO値に達するとブローが停止し、曝気工程が終了する(A処理場は2.0mg/L)。

【後攪拌工程】

曝気工程終了後、再び無酸素攪拌を行う。このとき微生物は曝気工程で生じた硝酸を利用し、内生脱窒を行う。DOは0mg/L、ORPは内生脱窒に伴い若干の下降傾向を示す(図-1 d)。

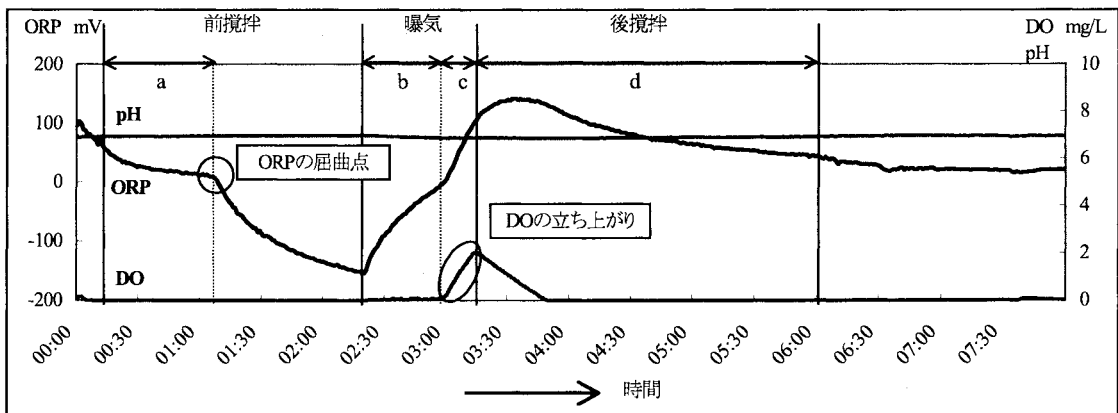


図-1. A処理場の計測波形 (2000年4月28日)

(2)「DOの立ち上がり」について

曝気工程に現れる「DOの立ち上がり」で重要なことは、DOが横這いした後上昇する波形が現れるようにすることである。

図-2はA処理場で冬期にみられた波形である。曝気開始と同時にDOが上昇しており、また一段と急になるORPの上昇もみられない。このDO上昇はBOD酸化、硝化の終点を表しているのではなく、単に酸素供給量が消費量を上回っていることを示すにすぎない。水温の低下と共に、微生物の活性が低下すると、それに応じ微生物の酸素消費速度も低下する。そこに過剰な酸素を送ると、微生物が消費する以上の酸素がDOとして現れてしまう。このような場合はBOD酸化も硝化も終了していない可能性が高いため、図-1の「DOの立ち上がり」がみられるよう曝気出力を低下させる。

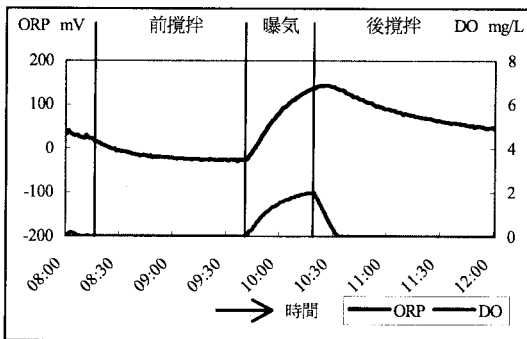


図-2. A処理場の冬期にみられた計測波形

(3)「ORPの屈曲点」について

「ORPの屈曲点」が脱窒反応の終点を示していることを確認するため、弊社複合ラグーンテストプラントの前攪拌工程において連続採水を実施した。分析結果を図-3に示す。

まずORPの若干の下降傾向に伴い、硝酸濃度は直線的に低下した。そして「ORPの屈曲点」が出現した時点で硝酸濃度が一定になり、脱窒反応が終了した。

この結果から、「ORPの屈曲点」が脱窒反応の終点、すなわち無酸素状態から嫌気状態への移行を示すことが確認された。

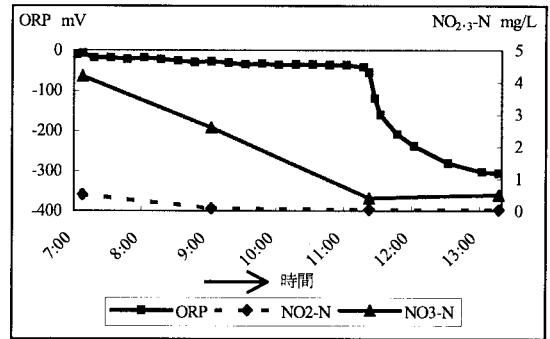


図-3. 前攪拌工程の連続採水

図-4にA処理場の処理水窒素濃度の変化を示す。当初、A処理場の運転プログラムでは前攪拌時間が20分と短く「ORPの屈曲点」が現れないまま、曝気工程に移行していた。そのため、処理水T-N値が平均9.9mg/Lあり、そのほとんどが硝酸態窒素であった。そこで脱窒反応の促進を図るため、前攪拌時間を最大2時間20分まで延長し、前攪拌工程で「ORPの屈曲点」が出現するようになったところ、図-4のように処理水T-N値は減少かつ安定し、平均2.8mg/Lとなった。

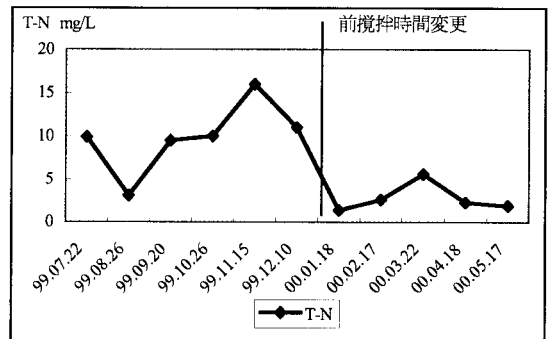


図-4. A処理場の処理水窒素濃度の変化

上記のように、回分式活性汚泥法の運転に「DOの立ち上がり」と「ORPの屈曲点」の波形情報を導入することにより、高度な窒素除去が実現できることが確認された。

1.2 連続流入間欠曝気方式

連続流入間欠曝気方式は回分処理(複合ラグーン)方式と同様、時間的硝化・脱窒法であるが、回分処理方式がバッチ処理であるのに対し、この方式は連続処理であることが違いとなる。連続流入間欠曝気方式の計測波形について、畜産排水処理施設であるB処理場の例を用いて説明する。B処理場の流入水設計値及び実測値を表-2に示す。

表-2. B処理場(畜産排水処理施設)の流入水質

	設計値	実測値 平均
水量 (m ³ /day)	50	40
BOD (mg/L)	2100	1800
COD (mg/L)	1100	800
SS (mg/L)	7300	1900
T-N (mg/L)	-	340
BOD-容積負荷 (kg/m ³ /day)	0.64	0.44
窒素-容積負荷 (kg/m ³ /day)	-	0.083

(1)3種類の波形

この処理方式での波形の考え方は、前述の回分処理の1バッチを1回のブロー機運転・停止に置き換えるということである。

B処理場は循環脱窒方式であったが、脱窒槽の容量不足から硝酸が処理水に残存する傾向にあった。そこで硝化槽においても脱窒反応を促進させるため、硝化槽

を間欠曝気とした。ただし、硝化槽に攪拌機が設置されていなかったため、ブロー機1台運転時を脱窒時間、2台運転時を硝化時間とした。

B処理場の処理水窒素濃度の変化を図-5に示す。計測記録を開始し、それに基づく運転調整を実施したところ、平均94mg/Lあった処理水T-N値は、図-4のように減少かつ安定し、平均31mg/Lとなった。

硝化時間、脱窒時間の調整により、3種類の異なる波形が得られた。その中で、処理水T-N値が特に低く推移したのは、図-6に示す脱窒の終点である「ORPの屈曲点」を出現させ、残りの時間を硝化に当てた運転(硝化・脱窒同量進行の運転)であった。

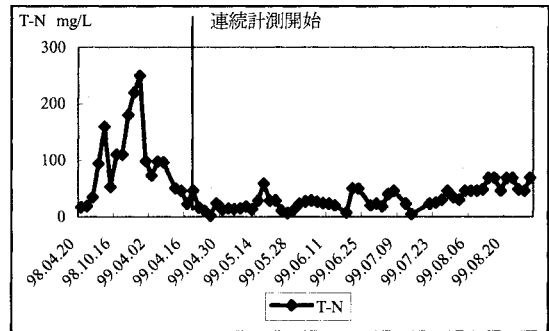


図-5. B処理場の処理水窒素濃度の変化

連続流入間欠曝気方式においても波形情報の有効性が確認されたといえる(「計測記録を用いた窒素除去改善事例報告¹⁾)。

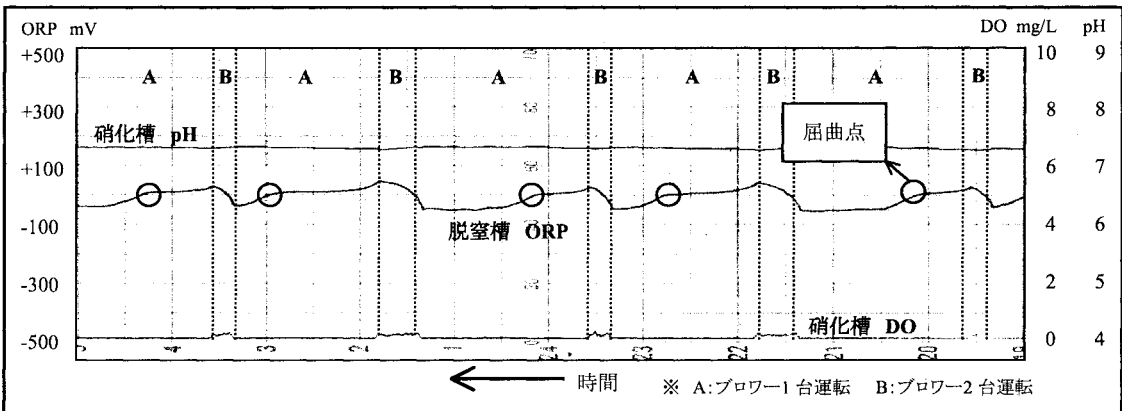


図-6. B処理場の計測波形 (1999年5月11日)

2.1 硝化・脱窒(炭素源添加)方式

硝化・脱窒(炭素源添加)方式は、前者2方式と異なり、硝化と脱窒を異なる槽でそれぞれ行う空間的硝化・脱窒法である。硝化・脱窒(炭素源添加)方式の計測波形について、廃棄物埋立処分場の浸出水処理施設であるC処理場の例を用いて説明する。C処理場の流入水設計値及び実測値を表-3に示す。

表-3. C処理場(埋立処分場・浸出水)の流入水質

	設計値	実測値 平均	
水量	(m ³ /day)	70	45
BOD	(mg/L)	3500	130
COD	(mg/L)	600	380
SS	(mg/L)	300	50
T-N	(mg/L)	-	530
BOD-容積負荷	(kg/m ³ /day)	0.70	0.017
窒素-容積負荷	(kg/m ³ /day)	-	0.068

(1)処理場の軽微な改造

C処理場は窒素除去の施設がなかったため下記①～

- ④及び図-7に示す軽微な改造を実施した。
- ①No. 1、2 曝気槽を硝化槽とした。
- ②No. 3曝気槽を脱窒槽とし、エアーを止め攪拌用ポンプを2台設置した。
- ③No. 3曝気槽にメタノールを連続注入した。
- ④No. 2曝気槽でDOとpH、No. 3曝気槽でORPを連続計測した。

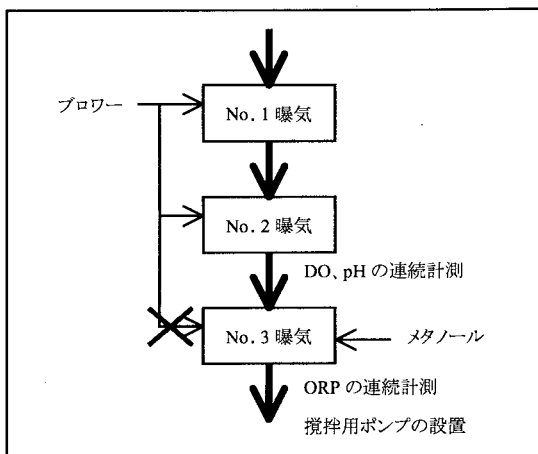


図-7. 改造内容

この処理方式での波形の考え方は、回分処理(複合ラグーン)方式の硝化の終点である「DOの立ち上がり」を硝化槽で継続させ、脱窒の終点である「ORPの屈曲点」を脱窒槽で継続させるということである。波形の概念を図-8に示す。

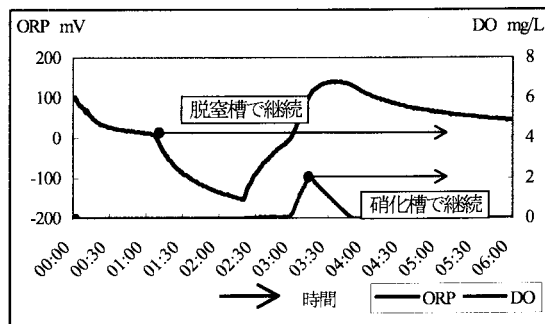


図-8. 空間的硝化・脱窒法の波形概念

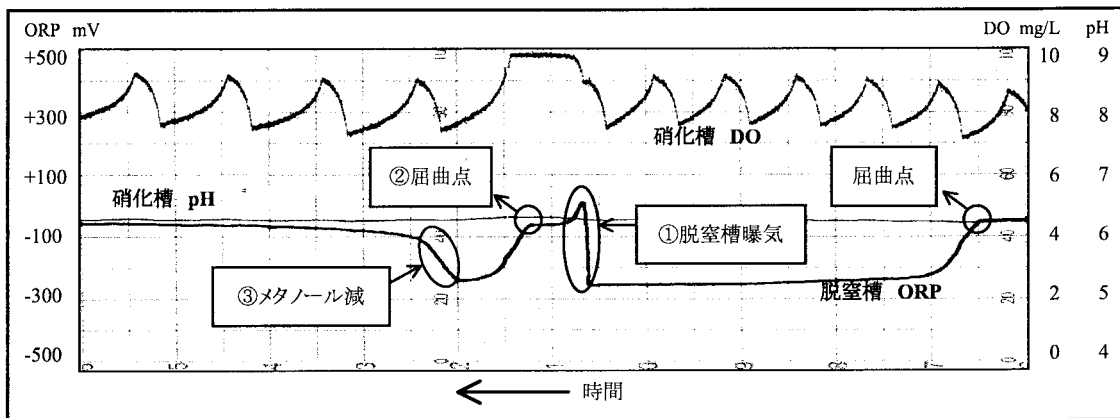


図-9. C処理場の計測波形 (2000年3月9日)

(2)硝化槽の運転

C処理場で得られた計測波形を図-9に示す。

硝化槽は、時間的硝化・脱窒方式における硝化の終点である「DOの立ち上がり」を迎えている状態で運転する。硝化を確実に完了させるため、C処理場でのDO運転値は6.0mg/L以上とした。

(3)脱窒槽の運転

脱窒槽はORP値を低い値で運転する。では、脱窒に最適なORP値は何mVとなるのであろうか。「流入水質によって違う」「硝酸の量によって違う」「ORP計によって違う」ということになり、「一般化することはできない」となるのではないだろうか。

しかし、時間的硝化・脱窒法で述べた「ORPの屈曲点」を用いれば、最適ORP値を求めることが可能である。つまり空間的硝化・脱窒法に一時的に時間的硝化・脱窒法を導入するのである。

現在、C処理場では、1日1回脱窒槽にエアを送る方法を用いている。脱窒槽にエア供給を開始するとORP値が上昇し、「脱窒反応の崩壊」が起こる(図-9 ①)。ORP値を上昇させ、ブローのエアを止める。するとORP値は再び下降し始めるが、この際、前述した「ORPの屈曲点」が出現する(図-9 ②)。これは時間的・硝化脱窒法で述べた脱窒の終点と同じものと考えられる。つまり屈曲点の出現したORP値で脱窒反応は終了し、それ以降は嫌気状態となっているのである。

流入負荷に応じ高低差があるが、屈曲点の出現するORP値は、脱窒に最適なORP値となる。メタノール注入量を調整し(図-9 ③)、屈曲点の出現したORP値を追従する運転をすることによって、メタノールの過剰な注入を防ぐことができ、同時に高度な窒素除去が可能となる。

この波形を用いた運転前・後の処理水窒素濃度を図-10に示す。平均360mg/Lあった処理水T-N値は、この波形を用いた運転を実施してからは、図-10のように減少かつ安定し、平均20mg/Lとなった。

硝化・脱窒(炭素源添加)方式においても波形情報の有効性が確認されたといえる。

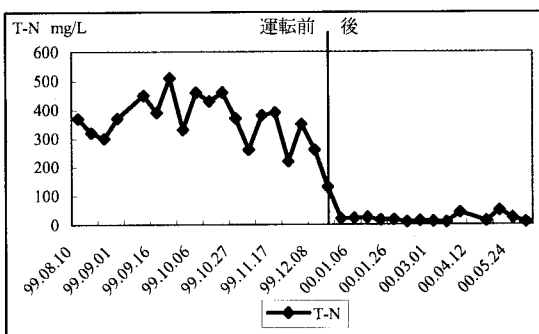


図-10. C処理場の処理水窒素濃度の変化

III. まとめ

1. 曝気槽のDO、ORPの連続的な計測記録の波形情報から、微生物の硝化・脱窒反応を知ることができた。
2. 特に「DOの立ち上がり」と「ORPの屈曲点」に着目することにより、高度な窒素除去が可能となった。
3. 硝化・脱窒(炭素源添加)方式において、一時的に微生物の環境を変化させることにより、脱窒に最適なORP値を求めることが可能となった。

IV. 最後に

以上が筆者らの考える「計測記録の波形情報による窒素除去手法」である。本報告の中では触れていないが、pHの波形情報も硝化と脱窒のバランスを知る上で重要な因子となった。pHは硝化が優先であると低下し、脱窒が優先であると上昇することから、これを利用してDO、ORPの計測情報を補う役割をさせることができた。

この計測記録の波形情報で大事なことは、上記の波形が現れることにより窒素が除去されるのではなく、窒素が除去される結果、上記の波形が現れるということである。人為的でない微生物活動を反映した波形情報から、微生物のおかれている環境を読みとり、理想的な波形になるような環境を創り出すことが重要である。

参考文献

- 1) 山崎 卓也・伊藤 富則・井上 祥一郎
「計測記録を用いた窒素除去改善事例報告」
(第7回 北海道大学 衛生工学シンポジウム)
- 2) 中村 和憲「環境と微生物」(産業図書)