

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座 (第8回 窒素の除去 (その2))

1. はじめに

農業集落排水処理施設では、有機物の除去（酸化分解）は微生物の存在を特に意識しなくても酸素を十分に供給するだけで進行し、BOD 濃度の低い処理水を得ることができますが、硝化反応と脱窒反応を組み合わせる窒素の除去では、溶存酸素濃度 (DO) や有機物濃度あるいはpHを適切に制御し脱窒反応を進行させる必要があります、酸素を供給するだけではT-N（全窒素）濃度を十分に低くすることはできません。これは、硝化反応と脱窒反応に関与する微生物がそれぞれ違う細菌であり、しかもその生息環境が大きく異なることに起因する現象です。

このように、窒素除去には有機物除去以上に微生物（細菌の活動）を意識した運転管理が必要になり特に留意が必要な点は、生物反応槽内のDO濃度と有機物濃度の推移を把握し調整することです。そこで、今回はまず細菌の活動（生態）に基づいた分類について話をし、その後に窒素除去タイプではありませんがJARUS・I型やJARSU・S型のpH低下について話を進めていきたいと思います。

2. 細菌類の分類

生活排水に関わる細菌は、利用する「酸素の形態」や「エネルギーの生成方法」によって分類することができます。

(1) 利用する「酸素の形態」による分類

排水処理に関与する細菌の種類は処理方式によ

って異なります。例えば、接触ばっ気方式のJARUS・III型では嫌気性ろ床槽は嫌気性細菌が優占種になり、接触ばっ気槽は好気性細菌（偏性好気性細菌）と通性嫌気性細菌が優占種になります。この優占種の決定には「酸素の形態」が大きな役割を果たしており、細菌の分類の基礎になります。

「酸素の形態」には、分子状酸素 (O_2) と結合酸素 (NO_x (NO_2 , NO_3) 中の酸素、 SO_x 中の酸素、 $C_xH_yO_z$ 中の酸素) があり、このうちどの種類の「酸素」を使うかによって細菌の種類が変わります。好気性細菌は分子状酸素のみを利用できる細菌であり、偏性好気性細菌とも呼びます。通性嫌気性細菌は、分子状酸素と NO_x 中の結合酸素を利用できる細菌であり、脱窒反応に関与する細菌（活性汚泥を構成する細菌の約 8 割が通性嫌気性菌で脱窒能があります。）です。嫌気性細菌は、 NO_x 以外の結合酸素を利用できる細菌であり、 SO_x の酸素を利用すると硫化水素 (H_2S) が発生します。

表－1に、「酸素の形態」とそれを利用できる細菌の関係を示します。

表－1 利用できる「酸素の形態」による細菌の分類

酸素の形態	N0.	物質	細菌
分子状酸素	①	O_2	好気性細菌 通性嫌気性細菌
	②	NO_x (NO_2 , NO_3)	通性嫌気性細菌
結合酸素	③	SO_x	嫌気性細菌 (硫酸塩還元細菌)
	④	$C_xH_yO_z$	嫌気性細菌 (酸発酵菌、メタン発酵菌など)

表－１の「酸素」は、①から④の順に使い易く O_2 と NO_x が存在する環境下では、好気性細菌はもちろん通性嫌気性細菌も O_2 のみを利用し NO_x 中の結合酸素は利用しません。脱窒反応は、 NO_x 中の結合酸素を利用した結果 N_2 が発生する反応ですが、通性嫌気性細菌が NO_x 中の結合酸素を利用するには、 O_2 が消費され NO_x しか存在しない環境にする必要があります。 O_2 が存在する環境では脱窒反応が進行しにくい理由は、この通性嫌気性細菌の酸素の利用方法にあります。

一方、 O_2 や NO_x が存在する環境では、 SO_x や $C_xH_yO_z$ (有機物) 中の結合酸素を利用する細菌は出現しません。これらの細菌は嫌気性細菌とよばれ、 SO_x と $C_xH_yO_z$ の結合酸素とでは SO_x の方が使われ易く、 H_2S の生成が先に生じます。

(2) 「エネルギー生成方法」による分類

細菌が生存するために必要なエネルギーや増殖(菌体合成)するために必要なエネルギーを得る方法によって、細菌を分類する方法を「エネルギー生成方法」による分類をいいます。

有機物の分解によりエネルギーを得る細菌を従属栄養細菌といい、無機物の分解によりエネルギーを得る細菌を独立栄養細菌(化学合成独立栄養細菌)といいます。

細菌が増殖するためには、新しい細胞の基本となる炭素源(C源)が必要ですが、従属栄養細菌は有機物を炭素源に使用する細菌であり、独立栄養細菌

は炭酸イオンや炭酸ガスを炭素源に使う細菌になります。

表－２に、「エネルギー生成方法」による細菌の分類を示します。

表－２ 「エネルギー生成方法」による細菌の分類

エネルギー生成方法	特 徴	細 菌
従属栄養細菌	有機物中の炭素源と有機物を分解する際に得られるエネルギーを使って新細胞を合成する細菌であり、一般に BOD 除去細菌 という。	有機物酸化細菌 脱窒菌 硫酸塩還元細菌 酸生成菌 メタン細菌等
独立栄養細菌	炭酸ガス、炭酸イオン中の炭素源と無機物を分解した際に得られるエネルギーを使って新細胞を合成する細菌である。	硝化細菌 硫黄細菌 メタン細菌等

3. 排水処理に出現する細菌

生活排水を含む排水処理に関与する代表的な細菌を、前項に基づいて分類したものを示します。また、図－１には分類した細菌と代表的な反応式を示します。

なお、細菌(属名)の後に付いている“*spp.*”は、「species (種小名)」の略字“*sp.*”の複数形という意味であり、例えば *Zoogloea spp.*とは *Zoogloea* 属の複数種ということになります。

(1) 好気性細菌

1) 従属栄養細菌

ここでは便宜上、 O_2 (分子状酸素) の存在下のみで増殖可能な細菌群の好気性細菌と、 O_2 存在下では

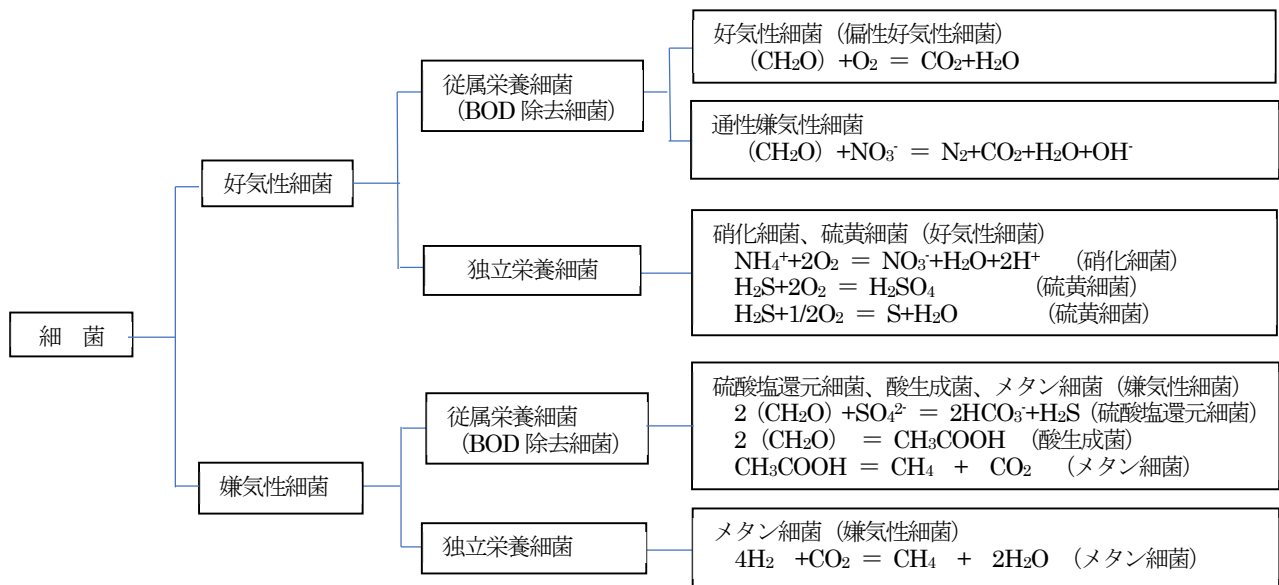


図-1 微生物の分類（酸素の形態とエネルギー生成方法）

O_2 を O_2 が存在しない環境下では NO_x の結合酸素を使って有機物を酸化分解し増殖する細菌群の通性嫌気性細菌を併せて好気性細菌に分類します。活性汚泥中の好気性細菌と通性嫌気性細菌の割合は、好気性細菌：通性嫌気性細菌＝20%：80%と、圧倒的に通性嫌気性細菌の方が多く存在します。したがって、条件さえ整えば脱窒反応は進行する反応といえますが、JARUS 型の処理施設では意識して溶存酸素濃度や有機物濃度の運転条件を整えないと脱窒反応は十分に進行しません。

『好気性細菌』

- *Zoogloea* spp.
- *Xanthomonas* spp.
- *Acetobacter* spp.
- etc.

『通性嫌気性細菌』

- *Bacillus* spp.
- *Pseudomonas* spp.

- *Escherichia coli*
- *Aeromonas* spp.
- *Aerogenes* spp.
- *Citrobacter* spp.
- etc.

2) 独立栄養細菌

O_2 (分子状酸素) の存在下のみで増殖可能な細菌群です。独立栄養細菌のうち、硝化細菌は BOD 値が 50mg/L 以下にならないと増殖が進みません。一方、硫黄細菌は BOD 濃度に関係なく、硫化水素 (H_2S) が存在すると増殖します。

- *Nitrosomonas* spp. 亜硝酸菌
- *Nitrosococcus* spp. 亜硝酸菌
- *Nitrobacter* spp. 硝酸菌
- *Nitrococcus* spp. 硝酸菌
- *Beggiatoa* spp. 硫黄細菌
- *Thiothrix* spp. 硫黄細菌

(2) 嫌気性細菌

分子状酸素が存在すると生存が困難な細菌群で、 SO_x 中の酸素や $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ 中の酸素を使用します。

1) 従属栄養細菌

- ・ *Desulfovibrio* spp. 硫酸塩還元細菌
- ・ *Clostridium* spp. 酸生成菌
- ・ *Methanosarcina* spp. メタン細菌
- ・ *Methanotherix* spp. メタン細菌

2) 独立栄養細菌

- ・ *Methanobacterium* spp. メタン細菌

4. JARUS- I 型や S 型の pH 低下について

JARUS- I 型や JARSU-S 型では、流入汚水量が計画流入汚水量と比較し半分程度と少なかったり、流入汚水濃度が 100mg/L 前後と低かったりすると、有機物の除去が処理の途中で終了しアンモニア性窒素を亜硝酸性窒素や硝酸性窒素に分解する硝化反応が進行し始めることがあります。窒素除去タイプでない JARUS- I 型や JARSU-S 型にとって硝化反応の進行は意図しない現象ですが、有機物処理（酸化分解）の延長線にある硝化反応は酸素の供給が続き硝化菌が増殖する環境が整えば自然に進行する微生物反応といえます。

一方、生物膜法である JARUS- I 型や JARSU-S 型は、酸素の無い状態で進行する脱窒反応を組み込むことが構造上難しい処理方式といえます。したがって、JARUS- I 型や JARSU-S 型では、硝化反応は進行するが硝化反応の次の段階である脱窒反応が進まない状況になることは、予想できる処理状況

といえます。

そのため JARUS- I 型や JARSU-S 型では硝化反応によって生成した $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ や $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 濃度が高くなると放流水の pH が下がりはじめます。流入汚水のアルカリ度が 200mg/L 以上と pH 緩衝能力が高い農業集落排水処理施設では、pH の低下が問題にならないこともありますが、アルカリ度の低い農業集落排水処理施設では pH が排出基準（水質汚濁防止法）の 5.8 を下回ることがあります。特に、気温が高くなる夏季は、注意が必要です。このような状態になると、pH を高くする対応が必要になりますが、対策には限りがあるため、多くの場合大変苦勞することになります。

対策としては、まず接触ばっ気槽のばっ気風量を少なくします。ばっ気強度を計算し、0.5～1.0Nm³/(m³・時)程度で、攪拌（旋回流を維持できる風量）に影響がないばっ気風量に設定します。なお、通常のばっ気強度は 1.0～2.0 Nm³/(m³・時)なので、ばっ気風量を半分程度にする感じになります。この対策で pH の低下を抑制できる場合は、ばっ気強度の変更で pH を制御して下さい。なお、接触ばっ気槽の逆洗が不十分な場合、ばっ気強度を低くすると接触ろ材の閉塞が進行する等の影響があるため注意が必要です。

次の対策は、構造的に脱窒反応が難しい処理方式ですが、少しでも脱窒反応を促進し処理水中の $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ や $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 濃度の低下を図ります。具体的には、沈殿槽のスカムスキマを常時運転し、沈殿槽の上澄みを沈殿分離槽に出来るだけ多く戻します（硝

化液の返送)。なお、これによって沈殿分離槽から接触ばつ気槽に流出する水量が増加するため、沈殿分離槽の清掃が不十分だと、沈殿分離槽の堆積汚泥が一気に接触ばつ気槽に流出し処理水質が悪化することがあるので注意が必要です。

3つ目の対策は、汚水計量槽の移送量を1日中平均的な水量にするのではなく、できる限り多くし(設計時の時間当たりの平均汚水量までは問題ありません。)、意識的にBOD容積負荷の高い時間帯を作り出します。当然、流入汚水の移送がない時間帯が増えますが、処理への影響は基本的にありません。また、可能なら、ブロワをタイマー運転に変更し、接触ばつ気槽を間欠ばつ気すると硝化反応の抑制が期待できます。

これらの対策は、通常運転時より接触ばつ気槽を積極的に制御することになります。したがって、対策を実施する前提として、沈殿分離槽の清掃や接触ばつ気槽の逆洗が適切であることが重要です。これらが不十分で沈殿分離槽や接触ばつ気槽の機能が低下していると、実施した対策の効果が得られないばかりか、逆に処理性能が不安定になる場合も考えられるため実施に当たっては十分な注意が必要です。

今回は、生物膜法のJARUS型処理方式の維持管理についてお話しします。