

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座 (第6回 有機物の除去)

1. はじめに

私たちは、農業集落排水処理施設に流入した污水が処理され放流できる状態になっているかどうかを判断するとき、処理水の BOD や SS の分析結果を活用しています。BOD は有機物の代表的な指標であり、JARUS 型処理施設では BOD20mg/L 以下（型式によっては、10mg/L 以下あるは 5 mg/L 以下）の処理性能を満足できる設計になっています。

生活排水を対象とする JARUS 型処理施設では、例えばブロワ故障のような何らかのトラブルがない限り、有機物の除去が問題になることは一般にありません。処理水の BOD が高い場合でも、有機物由来の BOD（C-BOD）ではなく窒素由来の BOD（N-BOD）が原因である場合がほとんどです。それは処理システムを中心である生物学的処理が、もともと有機物を除去するために開発された処理方式であり、処理施設の設計においても有機物除去への対応が十分に検討されているからです。

今回の講座では、微生物がどのように有機物を分

解し除去するのかについてと、有機物の指標である BOD と COD の関係について、お話ししたいと思います。

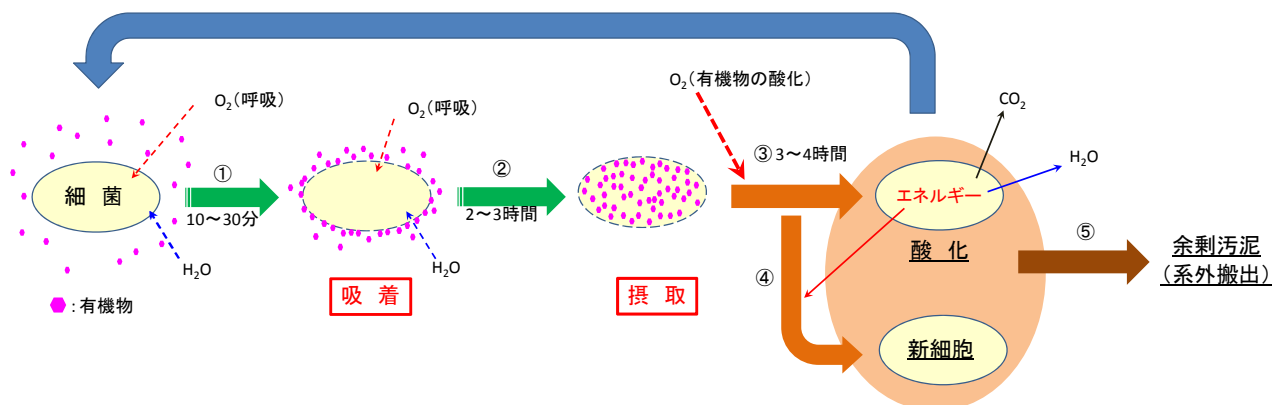
2. 微生物を用いた有機物の除去

本講座の「第4回 汚泥管理と微生物（その1）

3. 活性汚泥の構成員」において、活性汚泥を構成する微生物は、大きく細菌類と原生動物、小動物（後生動物）に分類できることを示しました。実はこの中で流入污水中の有機物を直接摂取し分解できる微生物は、細菌類のみです。残りの原生動物と小動物は、有機物を摂取し増殖した細菌類を捕食し細菌類を減らすことで処理水の清澄度を高めているのです。したがって、安定した処理性能を維持するためには、有機物を分解する細菌類を活躍させることが最も重要であり、維持管理では適切な量の細菌類を維持すること（MLSS 濃度）と処理に必要な酸素量を供給すること（ばっ気時間等の調整）が必要になってきます。

（1）細菌類による有機物の除去

細菌類による有機物の摂取や分解は、一般に、①



図ー1 細菌類による有機物除去

有機物の吸着（捕捉）、②吸着した有機物の細菌体内への摂取、③摂取した有機物の分解、の3段階に分けて考えることができます。図－1に示した①から⑤の各段階について、順番に説明していきます。

① 流入汚水中の有機物は、生物反応槽内の細菌類と混合（接触）すると短時間（10～30分）で細菌類の表面に吸着され、反応槽内の有機物の大部分はこの時点で水中から除去されます（この段階で75%以上の有機物が水中から除去されるといわれています。）。ただし、有機物は水中（液相）から細菌類の表面に移動しただけであり、まだ細菌類の体内に取り込まれていません。また、細菌類の吸着能力（量）には限界があり、能力を回復させるために②～④の過程が必要になるので注意が必要です。

② 細菌類は、自身の細胞表面に吸着した有機物を徐々（2～3時間）に体内に取り込み（摂取）します。

③ 摂取した有機物を順次分解します。有機物は3～4時間程度の時間で、最終的に二酸化炭素と水に分解し、細菌類の活動（生きていくため）に必要な物質やエネルギーになります。

④ 有機物の一部は、細菌類の増殖に必要な新細胞の素材となり、細菌類は③で得たエネルギーと素材を使って新細胞を合成し、子孫を残します。

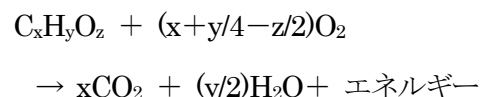
⑤ 有機物を摂取・分解し増殖した細菌類（他の微生物も含む）を余剰汚泥として処理フローか

ら系外に搬出します。適切な量を搬出することで、細菌類（微生物）の量を制御します。

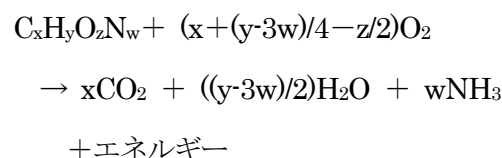
（2）有機物の酸化分解

農業集落排水処理施設では、主に好気的な条件で有機物を処理（酸化分解）します。つまり、好気性細菌による酸化分解あるいは新細胞の合成で、汚水中の有機物を処理しています。好気性細菌は汚水中の有機物の約半分を水（ H_2O ）や二酸化炭素（ CO_2 ）、アンモニア（ NH_3 ）、硝酸（ HNO_3 ）、硫酸（ H_2SO_4 ）などの無機物に酸化分解し、残りの半分で新細胞を合成しています。これらの生物反応は、細菌類による有機物の代謝反応ともいわれ、以下に示す反応式（（i）から（iv））で説明することができます。

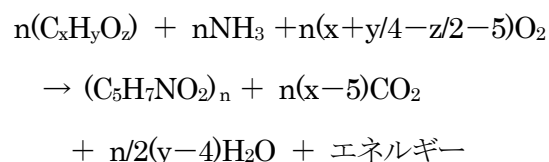
（i）「有機物が炭水化物や脂肪のとき」の酸化反応式



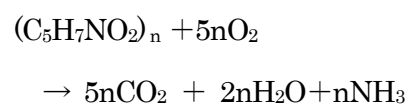
（ii）「有機物がタンパク質のとき」の酸化反応式



（iii）「有機物から新細胞を合成するとき」の反応式



（iv）「有機物が不足し細菌類が自己酸化するとき」の反応式



+ エネルギー

式 (iii) と式 (iv) にある $C_5H_7NO_2$ は、細菌類の細胞組成を化学式 (示性式) で表現したものです。また、(iv) は細菌類が減少する反応であり、内生呼吸ともいいます。

(i) から (iii) が図-1 の有機物除去の生物反応の過程を示した反応式です。標準活性汚泥方式は、

(i) から (iii) の反応式を中心とした処理方式で有り、標準活性汚泥方式と比較し生物反応槽の容量が大きい (水理的滞留時間 (HRT) が長い) 農業集落排水処理施設は、(i) から (iii) の反応式の他に (iv) の反応式が定常的に進行する処理方式になっています。(iv) の反応式があることにより、農業集落排水処理施設では標準活性汚泥方式より汚泥の生成量が小さくなっています。

(3) 水温の影響

有機物の除去や増殖 (生物反応) は、水温や pH の影響を受けます。pH の影響は運転条件や薬品の使用等によって制御することができますが、水温は気温に依存し季節の移り変わりによって変化するため、処理システムで制御することは困難です。水温の影響に対しては、変化に応じて MLSS 濃度やばつ気時間等の調整を維持管理で行い、適切な運転条件を設定することが基本となります。

微生物は増殖最適範囲内 ($5\sim35^{\circ}\text{C}$) であれば、温度が高いほど生物反応は活発になります。一般に、水温が 10°C 上昇するごとに活性度 (除去速度) は 2 倍高くなるといわれています。つまり、平均水温が冬季は 15°C 、夏季が 25°C の生物反応槽では、夏季

の有機物除去や増殖は冬季の 2 倍になるということです。したがって、夏季は冬季より MLSS 濃度を低く ($500\sim1,000\text{mg/L}$ 程度) し、ばつ気風量を多くする運転に変更することが必要になります。また、ばつ気風量 (酸素供給能力) が十分な場合、除去速度が大きくなるので、ばつ気時間を短くすることも可能になります。

なお、代表的な BOD 除去細菌の増殖範囲は、 $4^{\circ}\text{C}\sim45^{\circ}\text{C}$ (*Pseudomonas* 属: $4\sim43^{\circ}\text{C}$ 、*Zoogloea* 属: $10\sim45^{\circ}\text{C}$) といわれています。

3. 有機物の指標

(1) BOD と COD

BOD は、生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand) といい、“水温 20°C の状態で好気性微生物が 5 日間に消費する酸素 (O_2) の量を mg/L で表した数値であり、水中の好気性微生物が分解できる有機物 (汚濁物質) の濃度を表したもの”です。処理水を河川へ放流する場合は、BOD が水質基準になります。

COD は、化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand) といい、BOD と同様に、水中の有機物汚濁程度を表す指標として用いられています。BOD が好気性微生物の酸化分解に消費される溶存酸素量で表しているのに対して COD は、“水中の有機物等 (被酸化性物質) を一定の条件下で酸化分解させ、酸化分解に要した酸化剤量から換算した酸素量を表したもの”です。湖沼、海域に放流する場合は、COD が水質 (環境) 基準になります。また、

総量規制も COD が基準になります。

COD は用いる酸化剤の種類によって、有機物の酸化能力に違いがあるため数値が異なります。特に記載がない場合、日本においては過マンガン酸カリウム (KMnO_4) を酸化剤とする酸素 (O_2) の消費量 COD_{Mn} が COD になります。一方、海外においては、二クロム酸カリウム ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) を酸化剤とする酸素 (O_2) の消費量 COD_{Cr} が COD になることが一般的です。海外の文献等を引用する場合、COD は COD_{Cr} である可能性が高いため、日本国内の COD (COD_{Mn}) と単純に比較することができないことに注意が必要です。

3種類の排水について、平均的な BOD と COD_{Mn} 及び COD_{Cr} を比較した例を表-1 に示します。表では BOD の数値を 1.0 とし COD_{Mn} と COD_{Cr} の数値を比較しています。例えば、生活排水では COD_{Mn} は BOD より低い 0.5 倍で COD_{Cr} は BOD より高い 1.7 倍ということになります。この様にすべての排水において、酸化力が強い酸化剤である二クロム酸カリウムを用いた COD_{Cr} の数値が過マンガン酸カリウムを用いた COD_{Mn} より高い数値になっています。特に、食品排水における COD_{Cr} は、BOD1.0 に対しては4倍以上、 COD_{Mn} 対しても3倍以上高い数値になっています。

表-1 BOD と COD_{Mn} 及び COD_{Cr} の比較例

排水の種類	BOD	COD_{Mn}	COD_{Cr}
生活排水	1.0	0.5	1.7
家畜排水	1.0	0.7	2.5
食品排水	1.0	1.3	4.2

注) BOD を 1.0 とした場合の数値

(2) BOD と COD や SS の関係

JARUS 型処理施設の流入水と処理水について、一般に認められる BOD と COD (COD_{Mn}) の関係を表-2 に示します。

表-2 BOD と COD の関係 (JARUS-XIV_R型)

	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
流入水	200 (1.0)	100 (0.5)
処理水	10 (1.0)	15 (1.5)

注) 表中の BOD は、C-BOD である。

注) BOD を 1.0 とした場合の数値

特徴的なのは、流入水は BOD の方が COD より高い数値になっているのに対して、処理水は逆に COD の方が BOD より高い数値になっていることです。これは、好気性微生物が分解しやすい有機物 (易分解性有機物) の比率が、流入水では高く処理水では低いために起こる現象です。

処理水では好気性微生物による有機物分解が十分進行しているので好気性微生物を用いて分析する BOD は当然低くなりますが、酸化剤 (過マンガン酸カリウム) で有機物を酸化分解している COD では好気性微生物が分解しにくい有機物 (難分解性有機物) でも酸化できるものは有機物として検出するため、結果として BOD より高い数値を示す傾向があります。

処理水の BOD が高いとき、COD との比率 (COD/BOD) を求めることで N-BOD の影響が大きいかどうかを判断することができます。N-BOD は、アンモニア性窒素の硝化反応に伴う酸素消費量が影響する現象なので、COD には全く関係があり

ません（亜硝酸性窒素は影響するが、処理が安定している場合、農業集落排水処理施設では、ほとんど検出されない。）。つまり、N-BOD の影響があるときは、BOD だけが高くなるので、COD/BOD は 1.5（15 mg/L/10 mg/L）より明確に小さくなります。

最後に、処理水における BOD と COD 及び SS との一般的な関係を示します。

$$\bullet \text{C-BOD} = (2/3) \times \text{COD}$$

$$\bullet \text{C-BOD} = \text{D-BOD} + (0.5 \sim 0.6) \times \text{SS}$$

$$\bullet \text{COD} = \text{D-COD} + 0.7 \times \text{SS}$$

なお、C-BOD は有機物由来の BOD、D-BOD と D-COD はそれぞれ溶解性 BOD と溶解性 COD、SS は浮遊物質であり大きさ $1 \mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ の水中に懸濁している物質のことです。

次回は、窒素の除去について話をします。