

## 農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座

### 1. 開講に当たり

生活排水を処理し農業用水や放流先水域の環境保全に大きな役割を果たしている農業集落排水処理施設（以下、処理施設という。）は、供用を開始すると24時間365日常に汚水を受入れ処理しなければならない施設です。

処理施設には、目的によって大きさや形状の異なる水槽が必要な数だけ配置され、配管や開口部によって繋がっています。また、水や汚泥を攪拌したり移動させるための各種ポンプやブロウ、様々なバルブ類が数多く配置され、専用の大型機器類もあります。これらの機器類は管理室の制御盤で運転・停止等の操作ができ、多くの機器はタイマー等で自動運転されています。機器類が正常に稼働していれば、処理は何の問題もなく進行し放流水も計画処理水質を満足できるのであれば、処理施設の維持管理は単純で分かりやすいといえますが、現実はそのような簡単な話ではなく処理状況は日々変化しています。機器類が昨日とまったく同じく動いているにもかかわらず、昨日までは問題なく処理が進み良好だった放流水が突然計画処理水質を満足しなくなる事態が発生するのが処理施設です。

計画処理水質を超過した原因は、必ずあります。しかし、その原因は1つであるとは限りません。むしろ、原因が複数であることの方が多いといえます。水質が良好な状態を維持できたのは、多くの要素がバランスすることで得られた結果なのです。バラン

スには幅があり、そのバランスも1つとは限りません。どのバランスを選ぶかは、管理する市町村と保守点検業者の判断になります。JARUSでは維持管理マニュアル等で、そのバランスをいくつか提示しています。

日々同じ状況が繰り返されているように見えた処理は、実は同じ状態ではなく少しずつバランスは変化しており、あるとき今までのバランスが大きく崩れ水質が悪化したと考えて下さい。バランスが崩れた処理施設を再び安定した処理状況に戻すには、新たなバランスにすることが必要ですが、一度崩れたバランスを再びバランスさせるためには、多くの努力と時間を必要とすることもあります。

本講座では、処理状況を把握する方法や判断材料となる指標を説明し、それらをどのように組み合わせ原因を特定するのか。さらに、どのような手順で処置を実施し処理状況を改善する（バランスされる）のか。そして、実施した処置が正しかったのか、あるいは十分だったのかを確認する方法について、機器類ではなく微生物を中心にこれから数回に分けて説明したいと思います。第1回目の講座では、維持管理の基本である水質管理の考え方についてお話しします。

### 2. 水質管理

一般家庭から排出された生活排水を処理するJARUS型処理施設は、微生物の能力を活用する生物学的処理を中心とした処理施設です。生物学的処理には大きく分けて生物膜法と浮遊生物法（活性汚

泥法) の2方式があります。主なJARUS型処理施設(JARUS-I、III、XI、XII、XIV型等)の位置付けは、表1に示すとおりです。

表1 JARUS型処理施設の生物処理設備

区分	主な生物反応槽	JARUS型処理施設
生物膜法	接触ばっ気槽	S <sub>96</sub> 型、I <sub>96</sub> 型
	嫌気性ろ床槽+接触ばっ気槽	III <sub>96</sub> 型
	嫌気性ろ床槽+接触ばっ気槽(活性汚泥併用)	III <sub>G</sub> 型、III <sub>R</sub> 型、IV <sub>S</sub> 型、IV <sub>H</sub> 型
浮遊生物法	回分槽	XI <sub>96</sub> 型、XII <sub>96</sub> 型、XII <sub>G96</sub> 型、XII <sub>H</sub> 型、XIII <sub>96</sub> 型
	ばっ気槽	XIV <sub>96</sub> 型、XIV <sub>P</sub> 型、XIV <sub>P1</sub> 型、XIV <sub>R</sub> 型、XIV <sub>G</sub> 型、XIV <sub>GF</sub> 型、XIV <sub>H</sub> 型
	OD槽	OD <sub>96</sub> 型、OD <sub>H</sub> 型
	脱窒槽+硝化槽(膜分離装置)	F <sub>M</sub> 型、膜分離活性汚泥法式、高度リッ除去膜分離活性汚泥方式

JARUS型施設の保守点検を行う上で、処理のプロセスや単位装置の構造及び機能を理解することはとても大事なことですが、安定した処理状況を継続し良好な処理水を放流する水質管理を行うにはそれだけでは不十分といえます。生物学的処理を中心とする生活排水では、主役である微生物(活性汚泥や生物膜)に関する基礎的な知識や微生物に影響を与える因子を理解し、実際の維持管理において微生物を意識した水質管理を実践し、工夫や応用を繰り返し経験することが重要といえます。

### 3. 微生物に影響を与える因子

生物学的処理において、流入汚水の処理に影響を与える主な因子には、①微生物、②酸素、③温度の3因

子があります。流入汚水と因子あるいは因子と因子の間には密接な関係があり、水質管理を行う上でこれらの関係を理解することは基本といえます。特に生物学的処理では、微生物を中心とした因子間の関係を整理し理解することは処理状況を把握する上でとても意味のあることといえます。

図1は、微生物を中心に流入汚水やその他の因子の関係を示したものです。図中の「運転条件」の部分には、微生物との関係を示す指標があり、これらの指標は水質管理で常に活用できる重要な指標です。

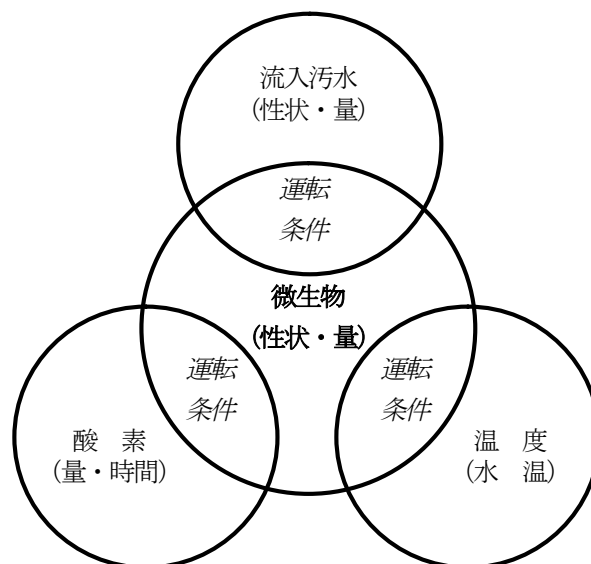


図1 微生物に影響を与える因子

#### (1) 微生物と流入汚水の関係

処理施設にとって流入汚水は処理すべき対象ですが、微生物にとっては自分たちが生きていくために必要な食料(栄養源)になります。流入汚水の性状(有機物や窒素、リンの濃度等)や量は、そこで生存する微生物の種類や量を定める決定的な因子といえます。

栄養源(有機物)は多ければ沢山の微生物を養うこ

とが可能になりますが、多過ぎると食べ残してしまい処理水質の悪化等不具合の発生原因になります。逆に少過ぎると今後は微生物に栄養が行き渡らなくなり、餓死し減少する微生物が出てきます。微生物の中には濃い有機物濃度で競争力があるものもいれば薄い有機物濃度で競争力があるものもいて、それらが生存競争を繰り返しています。維持管理では、水質管理を行う上で水質が良好になる好ましい微生物が生存競争に勝てる環境(運転条件)にするため、ばつ気時間やMLSS濃度の調整等の運転条件の変更を行っています。

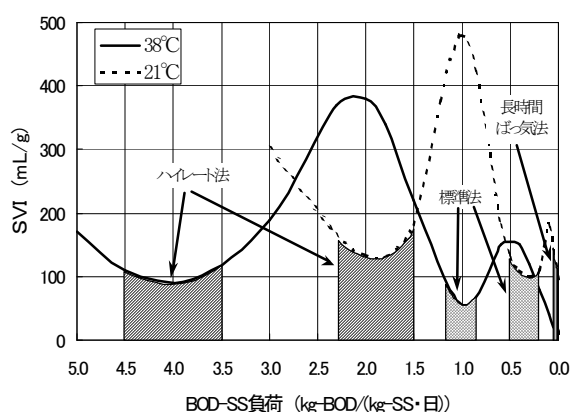
微生物と流入污水の関係を示す重要な指標に F/M 比 (Food/Microorganisms ratio) があります。F/M 比は、単位微生物量当たりあるいは単位容積当たりが 1 日に処理する有機物量を示した数値です。一般的に使われる F/M 比には、BOD-SS 負荷 (kg-BOD/ (kg-SS・日)) と BOD 容積負荷 (kg-BOD/ (m<sup>3</sup>・日)) があります。浮遊生物法 (活性汚泥法) の水質管理で用いる F/M 比は BOD-SS 負荷が一般的であり、その計算式は次のとおりです。

$$\begin{aligned} \text{BOD-SS 負荷 (kg-BOD/ (kg-SS・日))} \\ = \text{流入 BOD 濃度 (mg/L)} \times \text{流入污水量 (m}^3\text{/日)} \\ / (\text{MLSS 濃度 (mg/L)} \times \text{生物反応槽容量 (m}^3\text{)}) \end{aligned}$$

同じ活性汚泥法でも、大規模な污水処理施設の代表である標準活性汚泥法と小規模な污水処理施設に採用される JARUS 型処理施設では、BOD-SS 負荷の設計条件が大きく違っています。標準活性汚泥法の BOD-SS 負荷は 0.2~0.4 (kg-BOD/ (kg-SS・日)) ですが、JARUS 型 (型式によって数値が違う) のは 0.04~0.1 (kg-BOD/ (kg-SS・日)) の範囲となっています。実は BOD-SS 負荷は、活性汚泥の性状に影響を

与えます。適正な範囲から逸脱すると活性汚泥の沈降性が悪化する等、処理性能への影響が大きいのが BOD-SS 負荷です。処理方式によって BOD-SS 負荷が異なるのは、沈降性が良くなる BOD-SS 負荷で処理が出来るよう設計されているからです。図 2 に、BOD-SS 負荷と活性汚泥の沈降性を表す指標である SVI (汚泥容量指標 : Sludge Volume Index) の関係を示します。(SVI が小さいほど沈降性が良い)

図 2 BOD-SS 負荷と SVI の関係及び水温の影響



BOD-SS 負荷の調整は、流入污水で調整が出来ないため、微生物量つまり MLSS 濃度を上下させることで行います。BOD-SS 負荷が高すぎるときは MLSS 濃度を高くし、逆に低すぎるときは MLSS 濃度を低くします。ただし、MLSS 濃度は、1,500~5,000mg/L の範囲で調整するのが一般的です。

処理施設の BOD-SS 負荷は定期的に計算し、今の負荷が高いのかあるいは低いのかを、理解したうえで維持管理を行うことは基本中の基本といえます。

## (2) 微生物と酸素の関係

維持管理する者にとって、生物反応槽をばっ気するのは当たりまえのことです。放流水を清澄に保つにはばっ気を十分にすることが最も重要なことであり、ブロワが故障したらそれこそ一大事です。微生物と酸素の話については次回に回すことにして、ここでは、関係する指標について紹介することにします。

微生物（細菌）が酸素を必要とするのは、①有機物を酸化分解するため（BOD除去）、②アンモニア性窒素を酸化分解するため（硝化反応）、③細菌が呼吸をするため（内生呼吸）、の3つに分けられます。これを式で示すと、次のようになります。

$$OD = \frac{a \times (L_r - d \times N_D)}{\text{①BOD除去に必要な酸素量}} + \frac{c \times N}{\text{②硝化に必要な酸素量}} + \frac{b \times S_a}{\text{③呼吸に必要な酸素量}}$$

ここで、

- OD : 酸素要求量 (kg-O<sub>2</sub>/日)
- L<sub>r</sub> : BOD除去量 (kg-BOD/日)
- S<sub>a</sub> : 生物反応槽微生物量 (kg-MLVSS)
- N : 硝化窒素量 (kg-N/日)
- N<sub>D</sub> : 脱窒窒素量 (kg-N<sub>D</sub>/日)

また、JARUS型施設では、a～dの係数に次の数値を使用します。

- a=0.5 kg-O<sub>2</sub>/kg-BOD
- d=2.86 kg-BOD/kg-N<sub>D</sub>
- c=4.57 kg-O<sub>2</sub>/kg-N
- b=0.07 kg-O<sub>2</sub>/(kg-MLVSS・日)

式を見ると、係数cが4.57と大きな数値になっていることに気がきます。この項は、硝化反応に必要な酸素量の係数です。窒素を除去するには多くの酸素が必要になることがこの式から判ります。さらに詳しいこの式の説明は、次回にします。次に酸素供給量の調整に使う指標について、お話しします。

最も一般的な指標はばっ気風量とばっ気強度です。ばっ気風量は、ブロワの配管に付いている風量計を正

しく読み取れば分かります。気を付けることは、単位が時間当たりなのか分当たりなのかを間違わないことです。一方、ばっ気強度は、単位がm<sup>3</sup>/ (m<sup>3</sup>・時) で、1時間当たりに生物反応槽1m<sup>3</sup>をばっ気する風量が生物反応槽1m<sup>3</sup>の何倍なのかを表す指標で、通常は1～2m<sup>3</sup>/ (m<sup>3</sup>・時) に設定します。どちらも酸素供給量を調整する上で重要な指標です。

窒素除去性能を有するJARUS型施設では、窒素を除去するため生物反応槽を間欠ばっ気します。間欠ばっ気方式とは、同じ生物反応槽を時間によって、ばっ気したりしなかったりして酸素のある状態とない状態を交互に繰り返すばっ気方法です。間欠ばっ気方式で最も重要な指標は、ばっ気時間になります。ばっ気時間は通常1時間当たりのばっ気時間をいい、ばっ気工程と非ばっ気工程（攪拌工程）の時間比をどう設定するかで、放流水の窒素濃度が大きく違ってきます。この設定方法については、次回お話しします。

現場で酸素の供給量が適切かどうかを判断するときには、溶存酸素計（DO計）や酸化還元電位計（ORP計）を使います。DO計に比べORP計はあまり使われていませんが、ORP計は使い方が分かればとても便利で情報量の多いセンサーです。間欠ばっ気方式の場合は、ばっ気工程や攪拌工程の終了直前に測定します。

### （3）微生物と水温の関係

気象現象や生活様式で変化し決定される流入汚水の温度（水温）は、処理施設の維持管理で制御することができない因子です。しかし、微生物は、水温の影響を強く受けます。微生物がどの様にそしてどの程度、水温の影響を受けるかを理解することは、水質管理を

行う上でとても大事なことといえます。

### 1) 除去速度

微生物には活動可能な温度範囲があり、栄養源の除去速度は温度に依存しています。排水処理に出現する微生物の最適活動水温（最大増殖速度）はおおむね 25～32℃であり、活動（増殖）可能な水温範囲が 5～45℃の微生物が多くいます。有機物を栄養源とする微生物（従属栄養細菌）は、水温が 10℃上昇すると約 2 倍の除去速度で有機物を分解し増殖します。つまり、水温が高い方が楽に処理できるということになります。

### 2) 沈降性（MLSS 濃度）

水温は、活性汚泥の沈降性にも影響を与えます。BOD-SS 負荷と SVI の関係を示した図 2 では、21℃に比べ 38℃のグラフが横にずれています。これは水温が高くなると処理能力も高くなり、その結果最適負荷も高くなるためグラフが左に移動し、BOD-SS 負荷と SVI の関係が変化するためです。このことから、気温が高い夏期では MLSS 濃度を低く保ち BOD-SS 負荷を高くし、気温が低い冬期には MLSS 濃度を高くし BOD-SS 負荷を低くする運転条件にすると、活性汚泥の沈降性を良好な状態に維持することができます。

### 3) 溶存酸素量

水に溶け込む酸素量は水温により変化します。流入汚水を処理したり増殖する微生物（好気性細菌等）活動には、酸素が必要です。処理施設の生物反応槽では、高密度状態で微生物が生息しているため、生物反応槽の溶存酸素濃度はブロワを使って人為的に酸素を供給しないとあっという間に減少し 0 mg/L の状態になってしまいます。

一方、微生物が必要とする以上に酸素を供給すると電力量の無駄になるばかりか、活性汚泥の性状に悪影響を及ぼすことにもなります。

表 2 に水温と飽和溶存酸素量の関係を示します。飽和溶存酸素量は水温が高くなると小さくなるので、水温が高く微生物活性が高くなる高温期は、低温期よりばっ気時間を長くする等、酸素をより多く供給する運転条件に変えた方が良いことがあります。

表 2 水中の飽和溶存酸素量

水温 (°C)	飽和溶存酸素量 (mg/L)
10	10.92
15	9.76
20	8.84
25	8.11
30	7.53

## 4. 水質管理の実践

水質管理で重要な指標について、微生物との関係に主眼を置いて説明しました。表 3 に、今回説明した水質管理の指標をまとめて示しました。

表 3 水質管理の主な指標

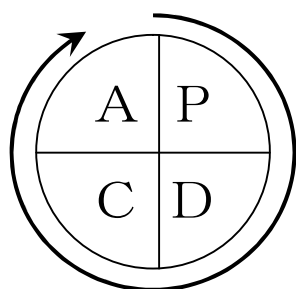
	微生物
流入汚水	・ BOD-SS 負荷 (kg-BOD/ (kg-SS・日)) ・ BOD 容積負荷 (kg-BOD/ (m <sup>3</sup> ・日))
酸素	・ ばっ気時間 ・ ばっ気風量、ばっ気強度 ・ 生物反応槽の DO や ORP
温度	・ 汚濁物質の除去速度 (BOD、硝化反応) ・ MLSS 濃度 ・ 飽和溶存酸素量

水質管理を実践するに当たっては、採取した試料の水質分析結果や維持管理時に収集したデータを総合的

に評価し、運転条件に反映させることが大切になります。現状の運転状況の評価するには総合的な知識と経験を必要としますが、過去の運転条件と処理状況を記録した帳票（運転設定履歴一覧等）があれば、過去の事例と現在の運転条件を比較し、大まかな評価を行うことができます。

維持管理では、運転条件を設定（Plan）し、処理を実行する（Do）とともに、その結果を観察・測定・分析（Check）し、さらにその評価に基づき対策・処置を行う（Action）、ことの繰り返しです。表3の指標を用いて図3のPDCAサイクルを回しその記録を残すことは、今後の維持管理にきっと役立つことなのでぜひ実践してください。

次回は微生物と酸素の関係について、今回紹介した指標の考え方やその使い方をお話することにします。



Plan : 運転条件の設定	} PDCA サイクル を回す。
Do : 処理の実行	
Check : 観察、測定、分析	
Action : 評価、対策、処置	

図3 維持管理のPDCAサイクル