

集落排水

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座
(第10回 JARUS 型生物膜法の維持管理 (その2))

(一社) 地域環境資源センター 集落排水部 上席研究員 柴田 浩彦

1 はじめに

今回は、生物膜法の代表的な処理水槽である接触ばっ気槽についてお話をしました。今回は接触ばっ気槽と同じく重要な位置を占める嫌気性ろ床槽についてお話をします。

嫌気性ろ床槽を有する JARUS 型処理方式には、JARUS-Ⅲ型以外にⅡ型、Ⅳ型、Ⅴ型があり、活性汚泥を併用した処理方式を含めると、実に8処理方式になります。このうち、実績が最も多いのが JARUS-Ⅲ型であり、嫌気性ろ床槽の特徴はⅢ型の特徴であるといっても過言ではありません。

表-1に、前回に続き JARUS 型生物膜方式の主な処理水槽と処理方式の関係を示します。

表-1 JARUS 型の生物膜法

主な処理水槽	処理方式 (JARUS 型)	摘 要
沈殿分離槽 接触ばっ気槽	I、S 型	
嫌気性ろ床槽 接触ばっ気槽	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ型	
嫌気性ろ床槽 接触ばっ気槽	Ⅲ _G 、Ⅲ _R 、Ⅳ _S 、Ⅳ _H 型	活性汚泥 併用型

JARUS 型の生物膜法は、接触ばっ気槽の前段に嫌気性ろ床槽あるいは沈殿分離槽を有しています。そのうち JARUS-Ⅱ型～Ⅴ型は、嫌気性ろ床槽と接触ばっ気槽を組み合わせた処理方式です。

2 嫌気性ろ床槽の特徴

JARUS 型の嫌気性ろ床槽の主な特徴は、以下のとおりです。

- ① 1系列当たり、直列3室構造で1室当たりの滞留時間 (HRT) は8時間以上である。
- ② 嫌気性ろ床槽第2室と第3室のろ材は、ボール状ろ材を不規則に充填する施設が多い。
- ③ 槽内攪拌は行わず、対角線流と上下向流で

水流を形成している。

一般に、嫌気性ろ床槽は接触ばっ気槽より、懸濁物質の除去に優れた処理水槽であり、接触ばっ気槽の負荷を低減する能力を有しています。また、汚泥を長く維持する (汚泥滞留時間 (SRT) が大きい) ことができるので、汚泥転換率は低くなります。

一方、槽内に蓄積される懸濁物質等の汚泥量を適切に維持する汚泥管理が最も重要であり、これを適切に行わないと低級脂肪酸 (有機酸) の生成量が多くなり、臭気が発生したり接触ばっ気槽の負荷が高くなることで処理水質に悪影響を与えることがあります。嫌気性ろ床槽内の状態がさらに悪化し槽内の目詰まりが進行すると、硫化水素の生成量が増加し、コンクリート腐食等の問題も発生します。

嫌気性処理は好気性処理より懸濁物質の処理に長けていますが、多くの施設で採用しているボール状ろ材の特徴を上手に生かすことができないと、ろ材の目詰まりに起因する様々な問題が発生し、その対処に苦慮することになるので、嫌気性ろ床槽の汚泥管理には注意が必要です。

表-2に嫌気性ろ床槽と接触ばっ気槽の特徴を

表-2 嫌気性ろ床槽と接触ばっ気槽の比較

反応槽	嫌気性ろ床槽	接触ばっ気槽
細菌	・嫌気性細菌 (硫酸塩還元細菌、 酸生成菌) ・通性嫌気性細菌 (BOD 除去細菌)	・好気性細菌 (BOD 除去細菌、 硝化細菌) ・通性嫌気性細菌 (BOD 除去細菌)
酸素供給	酸素供給しない	散気装置等で酸素供給
有機物の分解	酸発酵により低級脂肪酸、ガス化により二酸化炭素や硫化水素等に分解	酸化分解により二酸化炭素にガス化
微生物の比増殖速度 (例)	遅い (0.02(1/時)) <i>Methanosarcina</i> sp.	早い (0.35(1/時)) <i>Zoogloea ramigera</i>

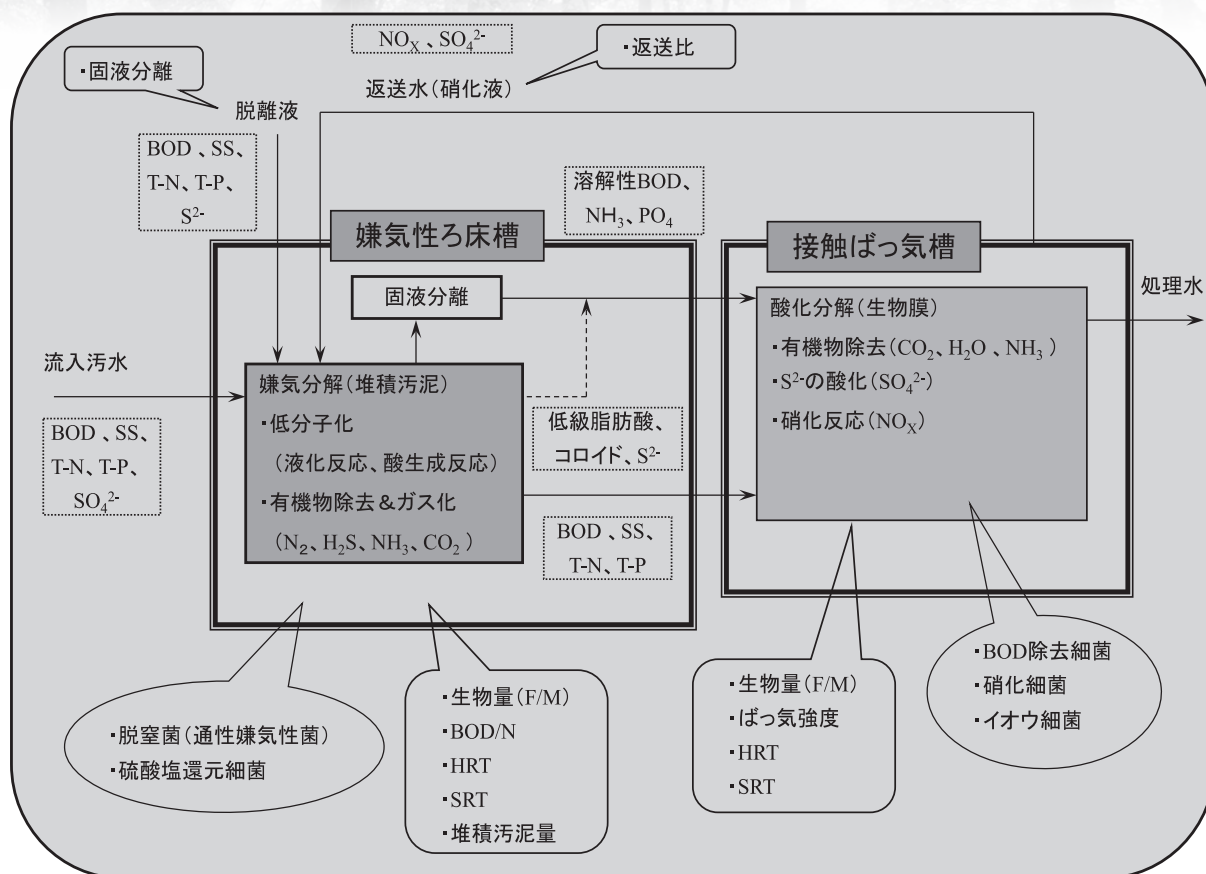


図-1 嫌気性ろ床槽を有する JARUS 型生物膜法の処理メカニズム（概念図）

微生物（細菌）や有機物の分解で比較した表を、図-1に嫌気性ろ床槽を有する JARUS 型生物膜法の処理メカニズムの概念図を示します。

（１）微生物

嫌気性ろ床槽の微生物は、一般に通性嫌気性菌と嫌気性細菌、そして嫌気状態を好む原生動物ですが、原生動物の存在比率は接触ばっ気槽のような好気性処理槽に比べて少なくなります。

（２）有機物の分解

好気性細菌は、低分子有機物の分解を得意としますが分子量の大きな有機物は苦手な難分解性有機物となります。一方、嫌気性細菌は、かなり分子量の大きな有機物も分解することが可能です。

一般に、嫌気性細菌による有機物の分解反応は、酸発酵（液化反応、酸生成反応）とガス化反応（硫化水素やメタンガス（ CH_4 ）の生成反応）からなっており、液化反応は通性嫌気性菌が関与し、ガス化反応は嫌気性細菌が関与する微生物反応です。

酸発酵では、まずタンパク質や炭水化物（多糖類）などの高分子有機物が加水分解し、さらに酢酸、酪酸、プロピオン酸等の低級脂肪酸（揮発性有機酸）まで反応が進みます。同時に、窒素ガスやアンモニアも生成されます。アンモニアはアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）として、槽内に残り一部は微生物の細胞合成に使用されます。

なお、一般的に嫌気性処理という場合は、処理水槽を中温（ $35 \sim 38^\circ\text{C}$ ）や高温（ $53 \sim 55^\circ\text{C}$ ）に加温し、有機物を嫌気性細菌によって二酸化炭素やメタンガスに分解する処理のことを指します。JARUS 型の嫌気性ろ床槽では水温はそこまで高くないため、酸発酵とそれに伴い発生する硫化水素までのガス化反応のことを嫌気性処理といいます。

（３）ガス化反応

嫌気性ろ床槽は、酸素（分子状の酸素： O_2 ）のない状態で嫌気性細菌を用いて、溶存有機物（固形物はろ材に補足する）を分解して、最終的には

二酸化炭素や窒素ガス等の気体に変換するガス化処理を行います。なお、嫌気性細菌の主な代謝物は、二酸化炭素 (CO_2)、窒素ガス (N_2)、硫化水素 (H_2S)、アンモニア (NH_3)、水 (H_2O) 等です。

3 嫌気性ろ床槽の維持管理

JARUS 型の嫌気性ろ床槽は、通常、第 1 室と第 2 室 (第 3 室) で使用しているろ材が異なり、充填方法も第 1 室は規則的に第 2 室と第 3 室は不規則にと異なっています。また、第 1 室には槽底部に汚泥引抜ポンプがあり、タイマーで引抜回数 (回/日) と引抜時間 (min./回) を設定できます。

なお、堆積汚泥の引抜きは、1 度に行わず数回に分けて行い、引抜時間は汚泥濃度が明らかに低くなるまで継続すると、より確実に堆積汚泥を引抜くことができます。

(1) 嫌気性ろ床槽第 1 室

最初の生物反応槽にあたる嫌気性ろ床槽第 1 室は、前処理施設で取り除かれなかった流入汚水中の懸濁物質の大部分を補足します。そのため、槽底部には沈殿した懸濁物質や増殖した生物膜の剥離汚泥が堆積します。規則的に配置されたろ材は、第 2 室や第 3 室と比較し目詰まりし難い構造になっていますが、堆積汚泥は継続的にそして確実に貯まるため、堆積汚泥の引抜きはとても重要な維持管理項目になります。

次の現象が認められる場合は、堆積汚泥の引抜きが不十分と判断できるので、堆積汚泥の引抜き量を増やして下さい。

- ① スカムが槽全体に発生し、厚さが数 cm 以上ある。
- ② 第 1 室の流出部の移流水に、数 cm 大の汚泥が混入している。

また、引抜回数や引抜時間が適正で槽底部に堆積汚泥がほとんどない堆積汚泥の引抜きが十分な状況にも拘わらず①や②の現象が認められる場合は、ろ材の目詰まりが疑われるので逆洗を行って下さい。逆洗の方法については、次回で説明します。

JARUS 型嫌気性ろ床槽の槽底部に汚泥引抜ポ

ンプがあるのは、第 1 室だけです。②の現象は、汚泥引抜ポンプが設置されていない第 2 室や第 3 室に汚泥が移動する現象なので、第 2 室や第 3 室の汚泥管理に直接影響します。第 2 室と第 3 室の汚泥管理は第 1 室より労力を要するので、②の現象には常に留意して下さい。

(2) 嫌気性ろ床槽第 2 室と第 3 室

嫌気性ろ床槽第 2 室と第 3 室は、汚泥の捕捉力が強いボール状ろ材を使用している施設が多く、目詰まりや死領域が発生し易い構造になっています。槽内の汚泥を適切な量に保てる機能が付いていない第 2 室と第 3 室では、汚泥の増加は微生物の増殖と第 1 室から移流する汚泥が主な要因で、汚泥を減少させるには逆洗で後段に移流させるか、槽底部に堆積した汚泥を可搬式ポンプで直接引抜くしか手段はありません。汚泥管理は負担が大きな作業であり、可搬式ポンプによる汚泥の移送を効果的に行うためには、ろ材の目詰まりが進行しないように汚泥管理を適切に行うことが重要です。

槽内が目詰まりしていないかの判断は、次の方法で行って下さい。なお、この方法は、第 1 室でも同様に適用できます。また、判断に用いる ORP 計 (酸化還元電位) は、DO 計 (溶存酸素) や pH 計 (水素イオン濃度) と比較しあまり使用されていませんが、ORP は目詰まり等の嫌気性ろ床槽の状態を把握するには最も適した指標といえます。

- ① 流出部の移流水の ORP が、0 ～ -200mV の範囲にある時は槽内の目詰まりはあまり進行していない状況にあると考えられます。
- ② 一方、流出部の移流水の ORP が、-200mV を下回った時はろ材による懸濁物質の捕捉や生物膜の増殖が進行し、低級脂肪酸の生成量が多くなり、一部で硫化水素の生成が進行している状況にあると考えられます。ORP の数値が低いほど、目詰まりが進行していると考えて下さい。
- ③ ②の状況が進行すると接触ばっ気槽では、発泡 (白くきめの細かい石けん状の泡。ホー

ス等の水で泡を叩くと直ぐ消えるが、止めるとまた泡が発生する。) 量が多くなり、槽内のエア配管(ライザー管)が見えなくなったり、覆蓋まで届くほど泡が発生します。

②や③の現象が認められる場合は、ろ材の目詰まりが疑われるので逆洗を行って下さい。

嫌気性ろ床槽の汚泥は沈降性が良く、通常の活性汚泥で観測される SVI (Sludge Volume Index : 汚泥容量指標) の最小値 75mL/g を下回る 60mL/g (MLSS 4,000mg/L とすると SV₃₀ 24%) 以下と非常に重い汚泥になりやすい傾向があります。この原因は、槽内攪拌を行わないので水流による剪断力が小さい、浮遊生物法と異なり槽内にろ材があるため、通常の活性汚泥と比較し大きなフロックが形成されやすい条件にあると推測されます。このような汚泥が第2室や第3室のボール状ろ材に捕捉されると、1～2時間程度の逆洗では簡単にろ材外に出て行かないため、槽内の目詰まりは容易には改善しません。第2室や第3室の汚泥管理で最も重要なことは、ボール状ろ材に捕捉される汚泥を1～2時間程度の逆洗で取り除くことができない程まで蓄積しないことにあります。

(3) 嫌気性ろ床の逆洗時期

表-3に、嫌気性ろ床槽の逆洗頻度(例)を示します。

定常状態の嫌気性ろ床槽の逆洗時期は、ORP計がある場合は、以下の方法で判断できます。

- ① ORPは0～-200mVの範囲を指標とします。逆洗は、ORPが-200mV以上であっても年に1～2回の頻度で実施するが望ましいといえます。逆洗時間は1室当たり約

1時間程度で十分ですが、逆洗後は必ず第1室は汚泥引抜ポンプで、第2室と第3室は可搬式ポンプで槽底部の堆積汚泥を引抜いて下さい。

- ② ORPが-200mV以下の場合、逆洗頻度を多くする、逆洗時間を長くする、ことで通常より念入りの逆洗を行い槽内の目詰まり状態の解消を目指します。ただし、多くの場合、1回の逆洗作業で目詰まりを解消させることは困難なので、逆洗は継続的(短期間)に数回行うことを勧めます。

ORP計がない場合は、スカムの発生状況や移流水の懸濁物質量を目視で観察し、逆洗時期を判断して下さい。

4 Ⅲ型改良運転手法とは

JARUS-Ⅲ型施設では、硫化水素(H₂S)によって、主に臭気の発生とコンクリート腐食が問題になっています。嫌気性条件下で硫酸塩還元細菌は、流入汚水中の栄養(有機物)を利用し硫酸イオン(SO₄²⁻)を還元し硫化水素を生成します。これが悪臭として感じられます。また、コンクリート腐食については、好気性条件下で硫黄細菌が硫化水素を酸化して生成する硫酸によって引き起こされます。Ⅲ型改良運転手法とは、これらの問題の原因である硫化水素の発生を抑制することを目的とした運転手法です。

図-2に接触ばっ気槽の硝化液を前段の嫌気性ろ床槽に返送する循環脱窒法で窒素を除去する処理メカニズムを組み込んだⅢ型改良運転の処理フローと各処理水槽の役割分担を示します。また、嫌気性ろ床槽第2室に水中ポンプを設置し、槽内

表-3 嫌気性ろ床槽の逆洗頻度(例)

嫌気ろ床槽	逆洗頻度	留意点
第1室	2回/年以上	実施は、水温が15℃程度になった春先と15℃以上ある秋から冬には必ず実施する。 逆洗後、底部堆積汚泥は汚泥引抜きポンプによる自動引抜きで移送する。
第2室	1～2回/年程度	実施時期は、第1室同様、水温が15℃程度になった春先と15℃以上ある秋から冬の2回が考えられる。 逆洗後、底部汚泥(ホッパー部分)は、可搬式ポンプで移送する。
第3室	1回/年程度	実施時期は、水温が15℃程度になった春先と水温が15℃以上ある秋から冬が考えられる。 逆洗後、底部汚泥(ホッパー部分)は、可搬式ポンプで移送する。

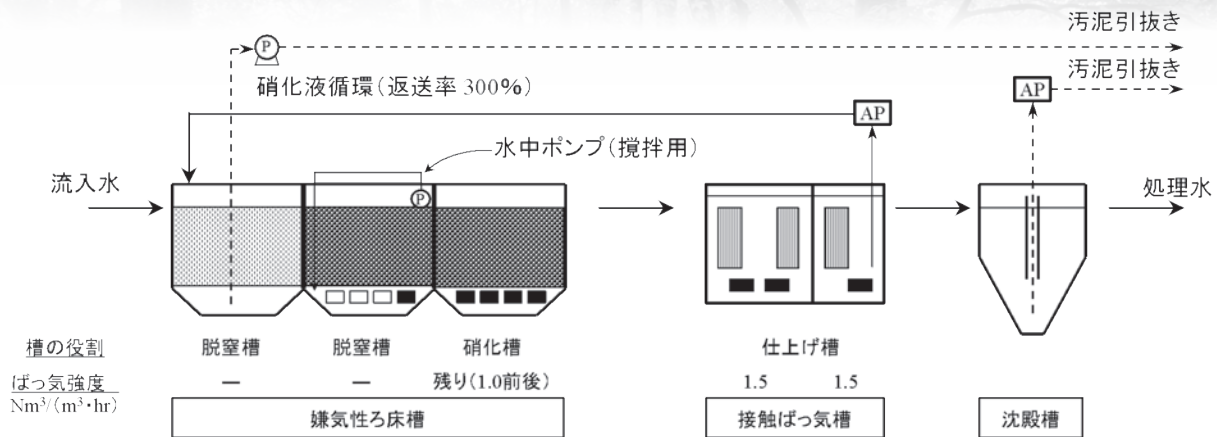
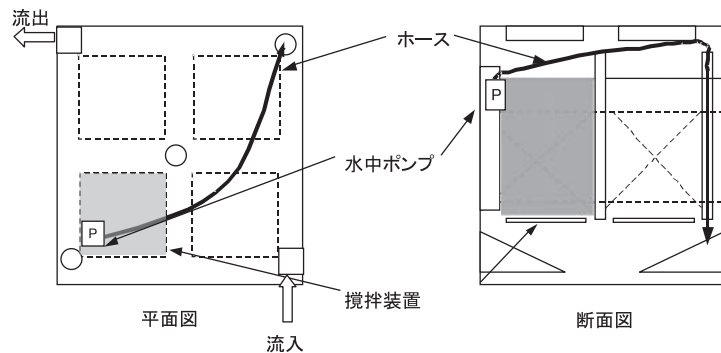


図-2 III型改良運転の処理フローと役割分担 (循環脱窒法)



※水中ポンプを設置し、その直下の攪拌装置（散気管）でばっ気する。

図-3 嫌気性ろ床槽第2室の攪拌方法

攪拌を強化する方法を図-3に示します。

JARUS-III型施設をIII型改良運転に変更するときのポイントを、以下に示します。

- ① 嫌気性ろ床槽第2室を攪拌する。攪拌方法は、新たに水中ポンプを設置し攪拌装置（散気装置）で部分ばっ気することにより行う。第2室は第1室とともに脱窒槽として使用するが、槽内が過度に嫌気化することを防ぐために、好気化しない程度のばっ気攪拌を行う。さらに、ろ材の目詰まり防止を目的に、水中ポンプで水流を形成する。
- ② 嫌気性ろ床槽第3室を攪拌装置で全面ばっ気する。第3室は、BOD₅の分解と硝化を行うため、好氣的処理を行う槽とする。
- ③ 接触ばっ気槽第2室から嫌気性ろ床槽第1室に硝化液を返送率（流入汚水量に対する返送水量）300%で返送し、硝酸性窒素の

脱窒を行う。

III型改良運転では、限られた酸素量（空気量）で完全硝化を行う必要があります。硝化反応のみを組み込んだ場合、BOD除去に加えて硝化反応の酸素量が必要となり、BOD負荷が高くなると酸素量が足りなくなる恐れがあります。また、硝化反応では水素イオンが生成されるためpHが低下しますが、アルカリ（OH⁻）を生成する脱窒反応を組み込むことでpHを回復します。

このことから、III型改良運転では脱窒反応を組み込むことが重要であり、硝化脱窒によって得られる利点を生かした処理システムとなっています。

5 おわりに

今回は、JARUS型の嫌気性ろ床槽の逆洗方法と、浮遊生物法の維持管理についてお話しします。