

〔特集〕震災を経て考える液体清澄化の新技術と普及の課題

油脂含有排水の効率処理とスラッジの削減

山本 一郎*, 橋本 隆史**

1. はじめに

活性汚泥法は優れた有機性排水の処理方法として広く採用されている。しかし、従来の標準活性汚泥法では、排水中に含まれている油脂の処理に対しては問題が指摘されている。曝気槽混合液中にオイルボールが発生したり、活性汚泥の活性度が油脂によって阻害され、処理水質が悪化する等多くの問題が引き起こされている。このため、従来は油脂を含む排水は事前に凝集加圧浮上設備等で油脂分を除去した後、活性汚泥処理されている。加圧浮上設備によって油脂は除去可能であるが、浮上スカムに起因する油脂を含む生汚泥が多量に発生することになる。油脂を含む生汚泥は脱水性が悪く、脱水機のトラブルや腐敗による臭気発生も大きな問題である。

本稿では、油脂分を微生物分解することで、生汚泥の発生をなくし、上記問題の発生しない安定した排水処理法として「バイオアタックシステム」の処理原理ならびに導入実績を紹介する。

2. 基本原理

高効率バイオリアクター「バイオアタック」は、旧通産省工業技術院微生物工業技術研究所<現：(独)産業技術総合研究所>にて発明された「二相式活性汚泥法」を基本に実用化された技術である。

一般的に、活性汚泥法の汚泥日齢(SRT：活性汚泥微生物の曝気槽滞留時間に相当)は下水処理で10日程度、産業排水の場合は15~40日である。汚泥日齢は処理装置内に滞留する汚泥量を1日当たりの排泥量で割ることにより求められるため、この逆数は活性汚泥微生物の比増殖速度とほぼ同じ値とし

て取り扱うことができる。すなわち、活性汚泥構成菌群の比増殖速度は0.2~0.03日⁻¹程度と考えられる。

一方、活性汚泥から分離される*Pseudomonas*属、*Flavobacterium*属、*Bacillus*属などの細菌の多くは、最大比増殖速度が24日⁻¹あるいはそれ以上である。このことは、活性汚泥設備内の微生物の増殖速度はきわめて低いレベルに押さえられていると考えられる。

また、活性汚泥による排水処理は、①細菌による有機物の酸化分解資化反応過程、②凝集性・沈降性の良い汚泥の生成過程という2つの過程からなり、②が律速になっている。バイオアタックはこれらの概念を利用し、活性汚泥の沈降性を考慮しないで有機物の除去のみを考慮した高速増殖微生物相(アタック槽)とそこで生成した高速増殖微生物の捕食と残存有機物を処理し、沈降性を考慮した原生動物相(レシーブ槽)で処理するものである。

高速増殖微生物相(アタック槽)では溶解性のBODの80~90%が除去できる。そこで、アタック槽の運転開始に当たって複数の油脂分解能の高い微生物をシーディングすると、油脂分についても60~70%が除去できることが分かっている。また、アタック槽は油脂分解微生物の増殖槽の役割を果たすことになり、アタック槽で増殖した油脂分解能の高い微生物が後段のレシーブ槽に流入することで、レシーブ槽での油脂の分解能も安定かつ効率よく行われることになる。

3. 高機能油脂分解菌の効率利用

3-1. 活性汚泥法による油脂分解と高機能化

グルコース、 starch、 peptone を主基質とする合成排水にサラダ油を乳化分散した含油合成排水を用いた活性汚泥ベンチプラントでの実験結果を表1に示す。

*Ichiro YAMAMOTO；日鉄環境エンジニアリング(株)

水ソリューション事業本部

E-mail : i_yamamoto@nske.co.jp

**Takashi HASHIMOTO；同上水ソリューション事業本部

表1 活性汚泥によるBOD負荷と油脂分解速度

No.	処理条件		分解速度 [g/g-MLSS・日]
	BOD容積負荷 [kg/m ³ ・日]	原水の油脂濃度 [mg/L]	
1	4	100	0.035
2	4	250	0.033
3	4	500	0.038
4	2	500	0.056
5	1	500	0.069

表1の結果は、BOD容積負荷を1, 2, 4 kg/m³・日、初期油脂分濃度を100, 250, 500 mg/Lとし、おのおのの条件で油脂分解速度〔g-油脂/g-MLSS・日〕を示したものである。BOD容積負荷4 kg/m³・日の条件では初期油脂濃度100, 250, 500 mg/Lでの油脂分解速度には明確な差はなかった。

次に、油脂濃度500 mg/Lでは、BOD容積負荷の比較的低い1, 2 kg/m³・日の条件で油脂分解速度が高くなった。これは、活性汚泥ではBOD負荷が高くなるとBOD分解微生物が優占的に、逆に低くなると油脂分解菌が優占的に機能すると推測され、BOD分解微生物と油脂分解微生物がそれぞれ特異的に機能していることを示す結果である。

微生物の混合培養系の典型である活性汚泥においては優占種となる微生物はその生育環境に支配され、人为的にコントロールすることは難しい。二相式の生物処理では、微生物の生育環境が系内に二段階(二相)存在するため、それぞれの相で優占種となる微生物が異なっている。二相式活性汚泥法であるバイオアタックシステムにおけるアタック槽とレシーブ槽も同様であり、高濃度の油脂排水が流入するアタック槽では油脂分解微生物が優占的に生育する環境が整っていることになる。このアタック槽に油脂分解能の高い微生物をシーディングし、油脂分解微生物を優占的に増殖させる。そして排水中の油脂分を短時間で分解するとともに、増殖した油脂分解微生物を後段のレシーブ槽に供給することで、レシーブ槽の油脂分解能をも

表2 単離菌株による油脂分解

No.	種類	分解速度 [g/g-菌体量・日]
1	馴致活性汚泥	0.07
2	市販油脂分解剤	0.19
3	単離菌株 MK-1	0.44
4	単離菌株 MK-2	0.37

向上させることができる。

3-2. 高機能油脂分解微生物の探索

高い油脂分解能を示した活性汚泥中に高機能の油脂分解微生物が存在する可能性が高いと考えられる。そこで、高い油脂分解能を有する活性汚泥あるいは長年油脂で汚染されている土壌サンプルから油脂分解微生物の単離を試みた。その結果、いくつかの高機能油脂分解微生物を単離することができた。この中で、増殖速度が速く排水処理設備内でも十分に増殖できることを条件にさらにスクリーニングを進め、実用性の高い菌株の単離に成功した。

表2に単離菌株での油脂分解速度を測定した結果を示す。同時に、市販油脂分解微生物製剤で高い性能を示した市販分解剤Aからの単離菌株ならびに油脂で十分馴致した活性汚泥における油脂分解速度の測定結果を示す。この結果、単離菌株MK-1株は分解速度0.44 g/g-菌体量・日と高い値を示し、活性汚泥の6倍、市販微生物製剤の2倍の値となった。

4. バイオアタックシステムの概要

図1の基本フローチャートに示すように、バイオアタックシステムは排水中の油脂分ならびにBOD成分を高機能油脂分解微生物により高速で分解するアタック槽とアタック槽で増殖した微生物を捕食するレシーブ槽の二槽から成り立っている。排水はまずアタック槽に入り、ここでBOD容積負荷10~20 kg/m³・日の条件で排水中の油脂分の60~70%ならびに溶解性BODの80~90%を除去する。

次に、レシーブ槽では排水をさらに高度処理するとともに、アタック槽から流入する微生物の自己消化と原生動物による捕食が活発に行われ、汚泥の発生量が削減される。バイオアタックシステムでは前段のアタック槽で大半の有機物を微生物体に変換する点に特徴があり、後段のレシーブ槽には溶解性の

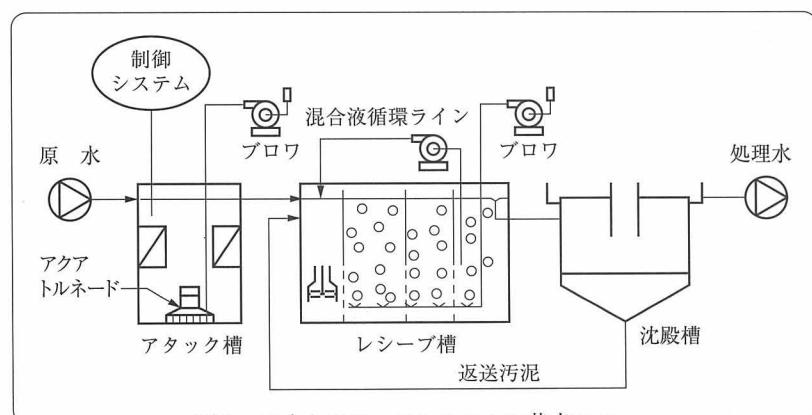


図1 バイオアタックシステムの基本フロー

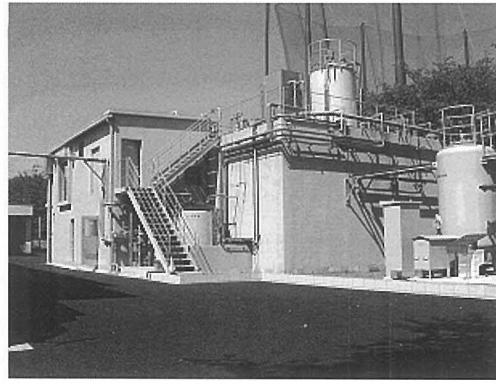


写真1 バイオアタックシステム全景

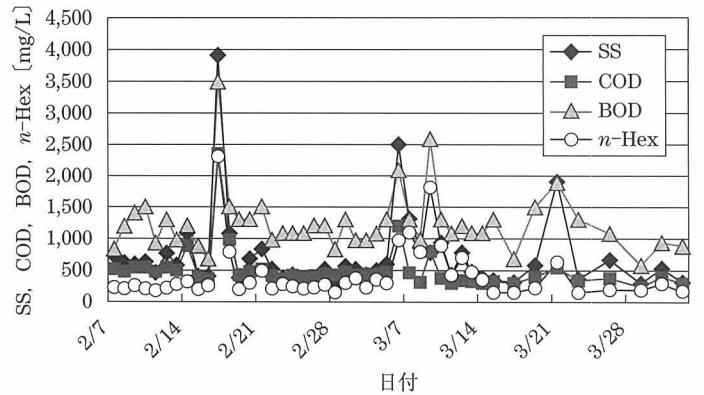


図2 原水水質の経日変化

表3 原水量および原水水質

	原水量 [m ³ /日]	pH [—]	SS [mg/L]	COD [mg/L]	BOD [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]	油分 [mg/L]
最大値	620	6.9	3,900	2,380	3,500	65	17	2,300
最小値	250	5.5	280	230	600	22	5.2	140
平均値	530	6.0	760	504	1,200	29	9	420
設計値	600	中性	600	580	1,200	35	15	300

表4 アタック槽処理水質

	pH [—]	SS [mg/L]	T-BOD [mg/L]	S-BOD [mg/L]	S-BOD 除去率[%]	油分 [mg/L]	油分除去 率[mg/L]
最大値	8.1	3,500	2,380	550	92	85	88
最小値	7.2	13,00	230	50	83	52	58
平均値	7.6	1,600	504	130	88	66	65
設計値	中性	1,000～ 2,000	<600	<240	>80	<120	>60

表5 最終処理水質

	pH [—]	SS [mg/L]	COD [mg/L]	BOD [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]	油分 [mg/L]
最大値	8.0	9	12	2	7.5	0.6	<2
最小値	6.8	2	8	<1	3.8	0.1	<2
平均値	7.2	4	10	1	4.8	0.3	<2
設計値	6～8	20	15	15	15	1	10

有機物はほとんど流入せず、代わりにアタック槽で増殖した微生物が流入することになる。このため、レシーブ槽ではバクテリアの増殖はきわめて緩慢であり、逆にアタック槽から流入した微生物を捕食する原生動物が活発に増殖することになる。

レシーブ槽は通常の活性汚泥に比較すると異様なまで原生動物の密度の高い生物相を示し、この原生動物がアタック槽の微生物を活発に捕食することで、余剰汚泥の発生量が大幅に削減されることも大きな特長である。

表6 原水水質

項目	処理量 [m ³ /日]	SS [mg/L]	BOD [mg/L]	n-Hex [mg/L]
原水水質	1,100	800	2,000	300

5. 実機設備への適用例

バイオアタックシステムは2000年に工場排水処理施設として実機1号機が稼働してから適用排水種を増加し、現在までに50基あまりが稼働している。適用排水種も食品加工、飲料・酒類製造、化学工業、製薬と広範囲におよんでいる。

5-1. 惣菜・弁当製造工場排水への適用

当工場は弁当を中心に1日当たり10数万食の惣菜を製造しており、計画排水量は600 m³/日である。

当工場の系列姉妹工場では、排水処理設備の前段に凝集加圧浮上設備を設けて、油脂分を除去した後、活性汚泥処理を行っていた。当工場では加圧浮上設備をなくすことなく油脂分を含む生汚泥の発生をなくすことを目的として、バイオアタックシステムを採用したものである。

①設備概要

写真1に本バイオアタックシステムの全景を示す。排水の処理経路は調整槽を経てアタック槽→レシーブ槽→沈殿槽→凝集沈殿→放流の順である。リン規制があるため最終段で凝集沈殿処理を行っている。

②原水量および原水水質

図2に原水水質の経日変化を、表3に原水水質の最大、最小、平均値および設計値を示す。

排水の平均水質はBOD 1,200 mg/L、油分 430 mg/Lであるが、時として極めて高濃度な排水が流入

することができ、BOD で 3,500 mg/L, 油分 2,300 mg/L の排水が流入している。

③アタック槽処理水質および最終処理水質

アタック槽処理水質を表 4 に示す。

アタック槽処理水の SS は高機能油脂分解微生物および高速増殖微生物の菌体に起因するもので、1,000~2,000 mg/L になるように設計されている。

溶解性 BOD の除去率は設計値の 80% 以上を維持し、90% を超えることもあった。油分についても 60% 以上の除去率を示し、油脂分の前処理装置としての役割を十分に果たしていることが確認できた。

最終処理水の水質を表 5 に示す。

油分の値は常に 2 mg/L 以下を示し、極めて良好な処理水質を示した。SS, BOD, COD, T-N, T-P についても計画値を大幅に下回る値を示した。

5-2. 食肉加工排水への適用（加圧浮上代替）

某食肉加工団地の既存排水処理設備にバイオアタックを導入した例を示す。排水処理設備へは冷凍食品工場、食肉加工工場（屠場を含む）、製麺工場からの排水を受け入れている。流入水の特徴としては、各工場の生産状況に左右され、水量および水質の変動が大きく、また n-Hex 抽出物質濃度が 300 mg/L と高濃度に含有されていることである。流入水量及び水質を表 6 に示す。

バイオアタック導入以前は、この n-Hex 抽出物質の処理を目的に PAC および高分子凝集剤を添加する加圧浮上処理を実施し、その処理水を標準活性汚泥法にて生物処理を行う処理システムであった。加圧浮上設備からは浮上スカムが 8 トン/日発生し、その処分、また装置のメンテナンスに多くの費用と時間を費やしていた。

この加圧浮上設備の代替設備としてバイオアタックを導入したシステムへの改造を実施した。バイオアタックシステムの立ち上げに当たっては、高機能油脂分解微生物からなるシーディング用微生物製剤「サーブワン」を使用した。

バイオアタックでの BOD および n-Hex 抽出物質の除去性能を表 7、表 8 に示す。バイオアタック処理水は、滞留時間 5.5 時間、BOD 容積負荷 9 kg/m³/日の運転条件において、トータル BOD の除去率で 50% 以上の値が得られ、溶解性 BOD は 90% と高い除去性能が確認された。また、n-Hex 抽出物質についてもバイオアタック槽への油分負荷 1.3 kg/m³/日の条件において 60% 以上の除去性能が得

表 7 バイオアタックでの BOD 除去性能（平均値）

原水 BOD 濃度 [mg/L]		処理水 BOD 濃度 [mg/L]		BOD 除去率 [%]	
トータル BOD <i>a</i>	溶解性 BOD <i>b</i>	トータル BOD <i>c</i>	溶解性 BOD <i>d</i>	トータル BOD (<i>a</i> - <i>c</i>)/ <i>a</i>	溶解性 BOD (<i>b</i> - <i>d</i>)/ <i>b</i>
3,700	3,000	1,500	290	59	90

表 8 バイオアタックでの n-Hex 抽出物質除去性能（平均値）

原水 n-Hex 濃度 [mg/L] <i>a</i>	処理水 n-Hex 濃度 [mg/L] <i>b</i>	n-Hex 除去率 [%] (<i>a</i> - <i>b</i>)/ <i>a</i>
280	100	64

表 9 汚泥発生量の削減効果

汚泥発生量 [kg-SS/日]	導入前	導入後	削減率
	加圧浮上スカム	1,150	0
	生物処理余剰汚泥	250	660
合計		1,400	660
脱水ケーキ（含水率 85%）[kg/日]		9,300	4,400
		53%	

られることが確認された。加圧浮上処理を中止したにもかかわらず最終の放流水は従来と同等の処理水水質であった。

また、汚泥発生量の削減効果を表 9 に示す。バイオアタックの導入により排水処理設備から搬出処分される脱水ケーキ量は、加圧浮上設備からの浮上スカム発生量が「ゼロ」となったことにより、53% を削減することが可能となった。

以上の結果より、高油分含有排水の前処理装置である加圧浮上設備の代替としてバイオアタックの適用が可能であり、さらに発生する脱水ケーキを大幅に削減できることが確認された。

6. まとめ

バイオアタックはコンパクトな設備で高い排水の処理能力を有する、新規な排水処理設備として急速に普及し、産業活動の裏方として活躍している。特に、油脂分を含む排水ではその処理の高速性が發揮されて、コンパクトな加圧浮上設備代替設備として有効性が確認され、処理の困難な含油スカムの発生がないことも産業的価値が高いものである。

さらに、安定な処理水質は当然として、汚泥発生量の削減、油脂分の効率処理、濃厚廃液の内部処理、バルкиングの抑制等広い用途と応用範囲がある。適用排水種も食品加工、化学・製薬、製紙、染色と幅広い納入実績を有している。