

日本下水道事業団 ○糸川 浩紀・若山 正憲
神鋼パンテック株式会社 塩田 憲明・長谷川 進

1. はじめに

現在、わが国の下水汚泥の排出量は乾燥重量で年間約 200 万トンに達しており、その 80%が脱水あるいは焼却処理後埋め立て処分されている。下水道の普及にともない、下水汚泥の排出量は今後さらに増加することが予想される一方で、埋め立て処分地の確保が年々難しくなっており、下水汚泥の減量化あるいは有効利用が急務の課題となっている。下水汚泥の有効利用としては、溶融による建材化利用あるいはコンポスト化による農地還元があるが、経済面、品質、需給関係の問題から限られた範囲での実施に留まっている。

一方で、近年、「汚泥減量化の基本は汚泥を極力出さないようにすることである」とのコンセプトから、汚泥の発生量を大幅に低減するプロセスの提案がなされている。水処理系から発生する汚泥を可溶化して通常の微生物が容易に分解できる形にし、可溶化液を水処理系の反応槽に戻して分解することにより発生汚泥量を削減する方法で、汚泥を可溶化する方法として、オゾン法、機械的破砕法、薬剤添加法、好熱菌処理法などが提案されている。本稿では、その中で好気性好熱細菌（以下好熱菌と略する）を用いた汚泥減量化技術について、小規模下水処理場への適用を想定した実設備規模での実証実験結果を紹介する。

2. 対象技術および実証実験設備の概要

ここで対象とした技術では、活性汚泥反応槽から引抜かれた余剰汚泥を汚泥可溶化槽へ流入させ、そこで高温・好気条件下で汚泥を可溶化した後、可溶化液を反応槽へ戻すことにより可溶化された有機物の好気的分解が進み、汚泥の減量化が達成される¹⁾。汚泥可溶化槽中には施設立ち上げ時に *Bacillus stearotheophilus* に分類される細菌を植種するが、本細菌は反応槽中では孢子を形成するため、死滅すること無く系内に維持されると考えられ、基本的には追加の植種は不要である。

本実証実験は、群馬県中之条町沢渡水質管理センターのオキシデーションディッチ（OD）法実施施設において平成 10 年度より約 3 年間実施された。当センターは計画処理水量は 400m³/d であるが、実験期間中の実処理水量は概ね 240～290m³/d の範囲であった（HRT:33～40hr）。図-1 に実験設備の処理フローを示す。

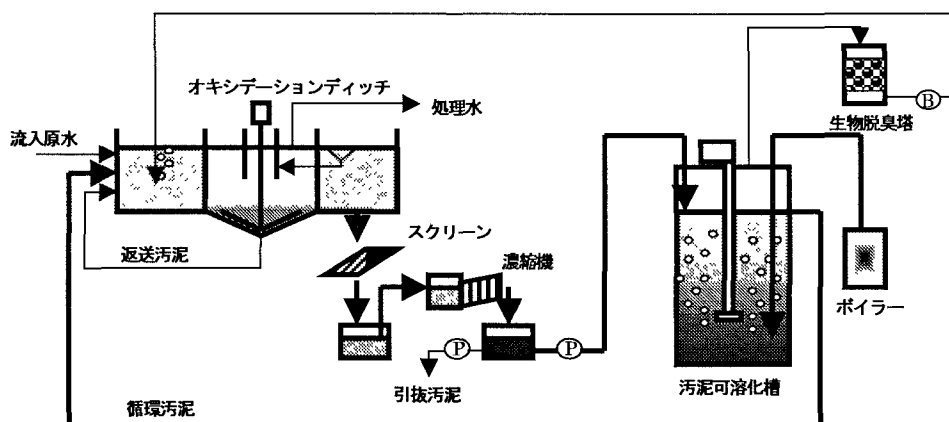


図-1 実証実験設備フロー

表－１ 実証実験運転条件

項目	RUN1			RUN2			RUN3	RUN4
	RUN1-1	RUN1-2	RUN1-3	RUN2-1	RUN2-2	RUN2-3		
運転期間	'98.6/25 -10/5	'98.10/6 -11/16	'98.11/17 -99/6/23	'99.6/24 -9/19	'99.9/20 -12/15	'99.12/16 -00.2/14	'00.2/15 -3/30	'00.3/31 -01.3/31
(運転日数)	(102 日)	(41 日)	(218 日)	(87 日)	(86 日)	(59 日)	(44 日)	(365 日)
<ODの運転条件>								
流入水量 (m³/d)	240～290							
MLSS 濃度 (mg/L)	2,000	2,000～3,500	3,500～4,000					
<汚泥可溶化槽の運転条件>								
投入汚泥濃度 (%)	2.0	1.3	1.7	3.2	5.9	4.1	-	4.5
汚泥循環率 *	(-) 1.0	1.4	2.9	3.6	5.5	4.9	-	2.4
HRT (d)	4.8	1.9	1.5	1.7	1.4	1.2	-	2.6
調査項目	汚泥循環率と余剰汚泥減量化率の関係			濃縮汚泥投入による省エネルギー効果			対照運転	長期安定運転
汚泥循環率＝汚泥可溶化槽投入汚泥量(kgDS/d)／想定汚泥発生量(kgDS/d)								

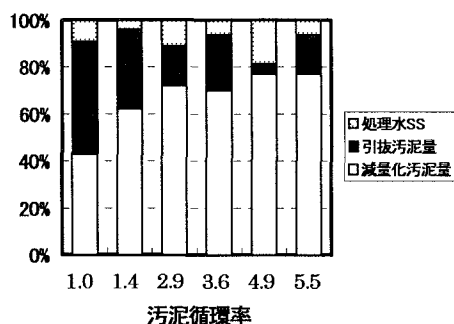
当センターでは、余剰汚泥を反応槽から直接引抜く方式が採用されていたが、本実験では、汚泥可溶化槽の容積を縮小する目的で、反応槽からの引抜汚泥を濃縮して固形物濃度を高め、この濃縮汚泥を汚泥可溶化槽へ供給した。汚泥可溶化槽では、蒸気を直接吹き込むことによって約 65℃に加温し、また、アスピレータ式曝気機により槽内を均一に攪拌すると同時に好気条件を維持した。なお、本可溶化槽の HRT は 1.2～4.8 日の範囲であった。

実施した実験条件を表－１にまとめた。まず、汚泥可溶化槽への投入汚泥量、投入汚泥濃度などを変化させ、汚泥減量化率および処理水質に及ぼす影響を調査し(RUN1,2)、その結果を基に決定した最適運転条件において約 1 年間の長期連続運転を実施した(RUN4)。なお、RUN3 では、汚泥可溶化槽の運転を休止し、対照となるデータを採取した。

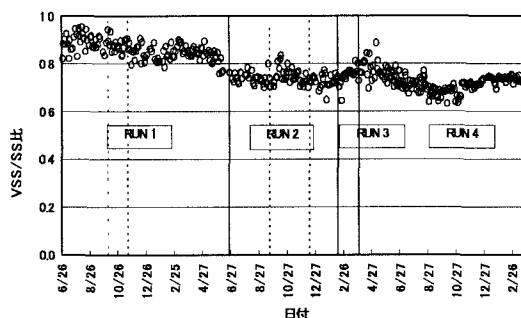
3. 運転経過

(1) 汚泥減量効果

本技術における汚泥減量化率（減量化汚泥量/想定発生汚泥量）は、理論的には、汚泥循環率（可溶化槽への投入汚泥量/想定発生汚泥量）、汚泥可溶化槽での可溶化率、可溶化液の反応槽における汚泥収率などの因子から決まってくる。これらのうち、人為的に操作できるのは汚泥循環率であることから、これを変化させて汚泥減量化率に及ぼす影響を検討した(RUN1,2)。汚泥循環率を 1.0 から 2.9 ままで増加させることにより汚泥減量化率が 43%から 72%まで増加したが、それ以上増加させても汚泥減量化率は増加せず、最大で 77%程度となった（図－２）。原因として、無機物あるいは難可溶化物質の蓄積が考えられたため、RUN4 において、汚泥循環率を必要最小限の 2.4 と低く設定し、汚泥の一部を引抜く運転を約 1 年間実施した結果、汚泥減量化率は平均で 79%となった（停電などによる運転休止期間は除く）。



図－２ 汚泥循環率と汚泥減量化率の関係



図－３ 活性汚泥 VSS／SS 比の経日変化

(2) 処理水質への影響

長期安定運転を実施した RUN4 において、処理水 SS 濃度は概ね 10mg/L 以下（平均値 6.2mg/L）であった。冬期に 10mg/L を若干越えることがあったが、これは水温の低下による活性汚泥の活性低下、あるいは可溶化による汚泥フロックの一部解体による影響と推察される。処理水 BOD 濃度は、処理水 SS の影響を受け、処理水 SS 濃度が高くなる冬期にやや高い値を示したが、ほぼ 10mg/L 以下（平均値 7.2mg/L）を維持できた。なお、処理水の溶解性 BOD 濃度は検出下限値（2mg/L 以下）であった。処理水 COD_{Mn} 濃度は、水温の低下する冬期に上昇する傾向にあったが、ほぼ 20mg/L 以下（平均値 12.5mg/L）を維持できた。窒素除去については、本 RUN では想定汚泥発生量の 2.4 倍量の汚泥を汚泥可溶化槽へ循環させたため、反応槽の実質的な A-SRT が短くなったが、散気ローター運転時間を延長して A-SRT を十分確保することにより、汚泥減量化運転前とほぼ同程度の 80%以上の窒素除去率を維持できた。なお、本技術では余剰汚泥が大幅に減少することから、良好なりん除去を行うことは原理的に不可能であり、りん除去率は 27%と通常の活性汚泥処理と比べても低い値であった。

(3) 活性汚泥への影響

本技術により実際に減量化されるのは汚泥中の有機成分であるため、無機物が反応槽内に蓄積する可能性が想定されるが、反応槽活性汚泥の VSS/SS 比は最終的に 0.7 程度で安定化した（図-3）。これは、原水由来の無機物量と、処理水あるいは引抜き汚泥中の無機物量がバランスした結果と考えられる。

汚泥の沈降性については、汚泥減量化運転を開始した後に活性汚泥中の糸状性細菌が減少し、沈降性が大きく改善された。可溶化処理により糸状体が解体された可能性がある。

汚泥減量化運転中に引抜いた汚泥の脱水性も調べたが、実験前と同様の条件で脱水したところ、含水率 78～80%と従来と同程度の脱水ケーキが得られた。

(4) 経済性の検討

本技術では余剰汚泥の発生量が大幅に減少するため、脱水薬剤および汚泥処分に係る費用が削減される。一方、汚泥可溶化槽における散気および加熱に要する費用や、反応槽への負荷の増大に伴う電力費等が新たに付加される。今回の実験では、当センターの発生汚泥量が小さかったため、熱交換器やボイラー、曝気機が過大となっており、エネルギー効率が最適化された条件であったわけではないが、従来法より 30%程度の用役費が削減された。

なお、汚泥可溶化槽への投入汚泥濃度を上昇させると同槽の容積を縮小することができ供給熱量が小さくなるが、汚泥の粘度が上昇し、攪拌動力および酸素溶解に必要な散気動力が上昇するため、経済的な投入汚泥濃度は 3～5%程度である。

5. おわりに

好熱菌による汚泥減量化技術を OD 法の実施設へ適用し、以下の知見を得た。

- (1) 種々の条件を検討した結果、汚泥減量化率の上限は 80%程度であった。
- (2) 長期安定運転（汚泥可溶化槽 HRT : 2.6 日、汚泥循環率 : 2.4、投入汚泥濃度 4.5%）の結果、見かけの汚泥減量化率として約 80%を維持しながら、概ね、BOD < 10mg/L、SS < 10mg/L、COD_{Mn} < 20mg/L、窒素除去率 80%程度の良好な水質を得ることができた。
- (3) 活性汚泥の VSS/SS 比は 0.7 程度でほぼ横ばいとなった。また、汚泥の沈降性および脱水性は良好であった。
- (4) 従来の運転よりも処理費用が 30%程度低減された。

参考文献

1) 桂健治, 三浦雅彦, 長谷川進(1998)好熱性微生物を利用した余剰汚泥が発生しない活性汚泥プロセス, 水環境学会誌, Vol.21, 360-366