

B-22 硫酸塩還元による汚泥減量化と脱窒の促進

○池本 良子^{1*}・高橋 彬¹・荒井 久也¹・相川 晃平¹¹金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192金沢市角間町)

* E-mail: rikemoto@f.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

下水道の普及に伴い、余剰汚泥の発生量が増大し、その減量化が重要な課題となっている。汚泥処理施設を有しない小規模処理場では、返送汚泥の一部を可溶化し処理槽で分解する方法が有望である。汚泥可溶化法としては、オゾンや高圧蒸気を用いる方法、ミルで破碎する方法などが提案されているが、装置が複雑になること、エネルギー消費量が大きいことが欠点となっている。硫酸塩還元細菌は自然界に広く分布する嫌気性微生物であり、下水道施設の悪臭や下水管路の腐食、嫌気性消化の阻害の原因として知られている。この活性汚泥内にも活性をもって存在しており、汚泥を嫌気条件におくと容易に硫酸塩還元が進行することから、硫酸塩還元細菌によって汚泥を分解すれば、汚泥の減量化とともに、生成した硫化物を脱窒に活用することが可能であると考えられる。

そこで本研究では、図1に示すような汚泥可溶化法を想定し、基礎的な検討を行なった。

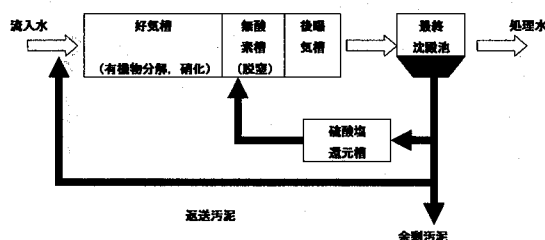


図1 想定する汚泥可溶化、脱窒プロセス

2. 実験装置と実験方法

(1) 硫酸塩還元による汚泥可溶化実験

図2に示す実験装置を4セット20度の恒温室内に設置し可溶化実験を行った。実験装置はジョイントガラス製セパラブルフラスコを用い、RunE-2およびRunE-4ではHot Stirrerにより30℃に調節した。種汚泥として金沢市下水処理場から採取した返送汚泥をMLSS 6,000mg/lに調整して装置内に1L投入し、RunE-3、RunE-4では、さらに硫酸カリウムを硫酸塩で300mg/lになるように添加

した。1週間置後にフラスコ内の汚泥を200ml引き抜き、MLSS 6,000mg/lに調整した汚泥200mlを装置に投入した。RunE-3、RunE-4ではあらかじめ硫酸塩を返送汚泥に混合してから投入した。すべての装置で運転112日目より汚泥の入れ替えの際に装置を開放状態にして窒素置換した（期間2）。冬季休業期間（154～175日）は、3週間汚泥の入れ替えを行わなかった。引き抜いた汚泥のMLSSを測定するとともに0.2μmろ液について陰イオン、陽イオン、有機酸、溶存有機炭素(NPOC)、溶存無機炭素(IC)、pHの分析を行った。

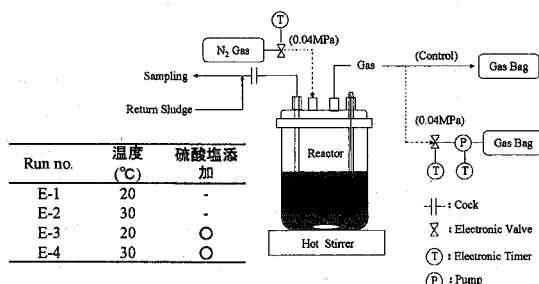


図2 硫酸塩還元実験装置の概要と運転条件

(2) 硫酸塩還元と脱窒を組み合わせた連続実験

図3に示す実験装置を2系列ドラフト内に設置して、連続運転を行った。硫酸塩還元槽は容積500mlの吸引ビンをもットスターラー上に設置したものであり、金沢市下水処理場嫌気性消化汚泥を500ml投入して実験を開始した。RunF-1では、同処理場の返送汚泥を6,000mg/lになるように濃縮し、滞留時間3日になるようにペリスターポンプで装置内に供給し、運転開始後RunF-2では同様に調整した返送汚泥に硫酸ナトリウムを硫酸塩濃度で500mg/lとなるように添加して供給した。脱窒槽は同様の吸引ビンに発泡PP担体を投入し、種汚泥として返送汚泥10mlを添加して実験を開始し、硫酸塩還元槽の流出水と、硝化液を想定した硝酸溶液を装置下層部に滞留時間を0.6日となるように供給した（期間1）。運転開始から半年経過後に、脱窒槽を容積580ml

の円筒型カラムに変更し、硫酸塩還元槽の滞留時間を 1 日、脱窒素槽の滞留時間を 0.2 日として運転を再開した。(期間 2)

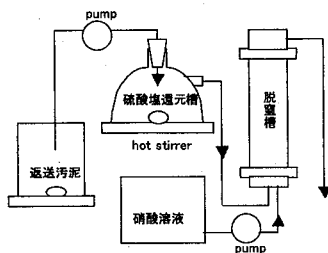


図3 脱窒実験装置の概要

3. 実験結果と考察

(1) 硫酸塩還元による汚泥可溶化実験

図4にMLSS濃度および、ろ液中の硫酸塩、アンモニア、NPOC、酢酸、プロピオン酸の経日変化を示す。期間1ではすべての条件で硫酸塩還元が抑制された状態が続いた。そこで、期間2では汚泥の交換の際に大気開放し窒素置換を行なうことにより硫化水素ガスを除去するとともに装置内を攪拌条件とすることにより溶存硫化物の酸化を促進した結果、硫酸塩還元が促進された。冬季休業中に3週間放置した際にも硫酸塩還元が抑制されたことから、装置内に蓄積された硫化水素による生成物阻害が大きいものと考えられる。一方、硫酸塩を添加していないRunE-1およびRunE-2では徐々にMLSS濃度の減少が認められたのに対し、硫酸塩を添加したRunE-3およびRunE-4では、40週目ごろから大きな低下は認められなくなり、硫酸塩還元が活発化した期間2では当初に一時的な低下は認められたが、その後むしろ増大する傾向

にあった。最終的には硫酸塩還元条件のRunE-3およびRunE-4の方がブランクのRunE-1およびRunE-2よりも汚泥濃度が高くなった。しかし、アンモニア濃度はブランクと同程度であり、汚泥の可溶化は進んでいたと考えられる。そこで、147日目と152日目にMLVSSの測定を行った結果、20℃、30℃両条件で、硫酸塩還元条件がブランクと同程度の値を示した。硫酸塩還元によって生成した硫化物が鉄などの金属と沈殿し汚泥中に蓄積されたために、汚泥量の増大につながったものと考えられる。以上のことから、硫酸塩還元条件での汚泥の可溶化には、生成した硫化水素の除去が不可欠であること、可溶化率は高いが硫化金属の蓄積のために汚泥減量化の効果が少ないことが示された。

表1 MLVSSの測定結果

	RunE-1	RunE-2	RunE-3	RunE-4
12月19日	2830	2640	2810	2670
12月26日	3120	2630	3190	2680

一方、期間1ではプロピオン酸と酢酸の蓄積が認められたが、硫酸塩還元条件のRunE-3およびRunE-4の方がブランクのRunE-1およびRunE-2よりもプロピオン酸の蓄積量が少なく酢酸の蓄積量が増大していることから、硫酸塩還元によりプロピオン酸からの酢酸の生成が促進されたと考えられる。期間2では有機酸の蓄積が抑制され、硫酸塩還元条件では無機炭素が著しく増大した。冬季休業中に硫酸塩還元条件のRunE-3およびRunE-4で酢酸の蓄積が始まり、その後大量の酢酸の蓄積が起こった。以上のことから期間1では不完全酸化型の硫酸塩還元反応が促進され、硫酸塩還元による完全酸化は硫化水素の毒性によって抑制されていたが、期間2では完全酸化型の硫酸塩還元が進行したものと考えられた。さらに冬季

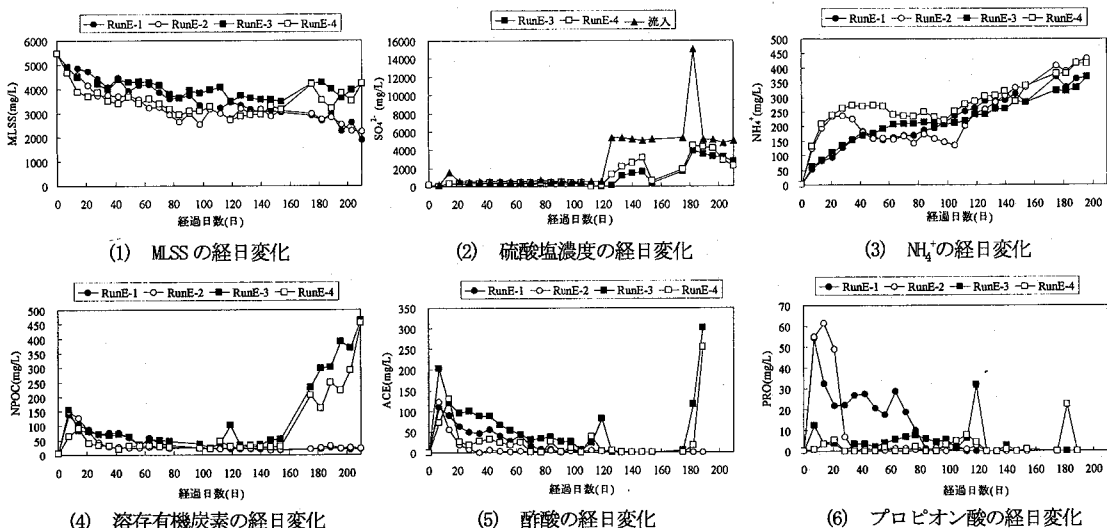


図4 汚泥濃度および液層の水質変化

休業中に再び不完全酸化型の硫酸塩還元が卓越するようになった結果、酢酸の蓄積が進行したものと推定される。

図5に各期間の1サイクルで汚泥が分解して増加したと考えられるガスと溶存有機炭素(NPOC)、溶存無機炭素(IC)の炭素(C)増加量及び窒素(N)増加量を示す。期間1では、硫酸塩を添加していない RunE-1 で 40%, RunE-2 で 50-60%がメタンガスに転換されていた。すなわち、メタン発酵が優先化していたことがわかる。一方、硫酸塩を添加した Run-3, 4 では、多くが無機炭素まで分解されていた。冬季休業以降は、有機酸に転換した分が加算されて炭素量が增大していることから、MLVSS の値では大きな差は認められなかったが、硫酸塩還元によって汚泥の可溶化が進行したことがわかる。

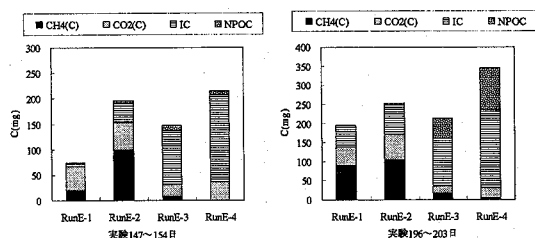


図5 1サイクル間で生成した炭素量

(2) 硫酸塩還元と脱窒を組み合わせた連続実験の結果

図6は、期間1の硫酸塩還元槽において生成した硫化物、プロピオン酸、酢酸および重炭酸塩濃度を示している。硫酸塩を添加した RunF-2 では添加した硫酸塩のほとんどが還元されていた。硫酸塩を添加しない RunF-1 と比較すると、酢酸と重炭酸塩の濃度が高いことから、

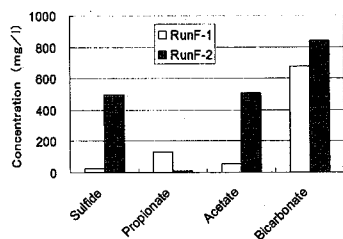


図6 期間1の硫酸塩還元槽における水質変化

硫酸塩還元により汚泥の分解が促進されたことがわかる。図6は期間1の流出水中の硝酸塩および硫酸塩濃度の変化を示している。RunF-1, RunF-2ともに硝酸塩は脱窒により減少しているが、硫酸塩還元槽に硫酸塩を添加した RunF-2の方が脱窒率が高いことがわかる。RunF-2では硫酸塩がほぼ理論値まで回復していることから、脱窒槽で硫化物が優先的に利用されていると考えられる。流入の硝酸塩濃度を高く設定したために脱窒率は低い、脱窒速度は $0.45\text{kg/m}^3\text{day}$ であった。期間2では、両槽の滞留時間を短縮した運転を行なった。その結果を図8に示す。硫酸塩還元槽では、滞留時間1日でも 500mg/l の硫酸塩がほとんど還元され、炭酸塩が増大していることがわかる。酢酸塩やプロピオン塩の増大はほとんど認められず、硫酸塩還元が完全酸化型に移行していた。一方、脱窒槽において理論値(流入の1/5)まで硫酸塩濃度が回復し、流入硫酸塩濃度を増大した後、やや除去率が低下したが、その後回復した。硫酸塩還元速度は $0.4\text{kg/m}^3\text{day}$, 脱窒速度は $1.2\text{kg/m}^3\text{day}$ が得られた。

以上のことから、硫酸塩還元条件での汚泥の分解が進行し、生成した硫化物は優先的に脱窒に利用されることが示された。連続条件では硫化物の阻害が少なく、硫酸塩還元が優先的に進行したものと考えられる。

4. まとめ

返送汚泥に硫酸塩を添加することにより、硫酸塩還元が進行し、汚泥の無機炭素までの分解が可能であった。また、生成した硫化物を脱窒に利用することが可能であった。

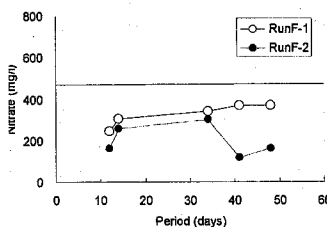
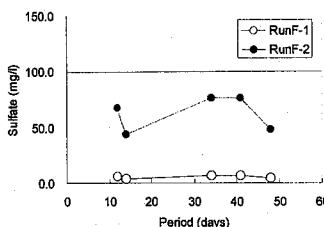


図7 期間2の流出水の水質変化

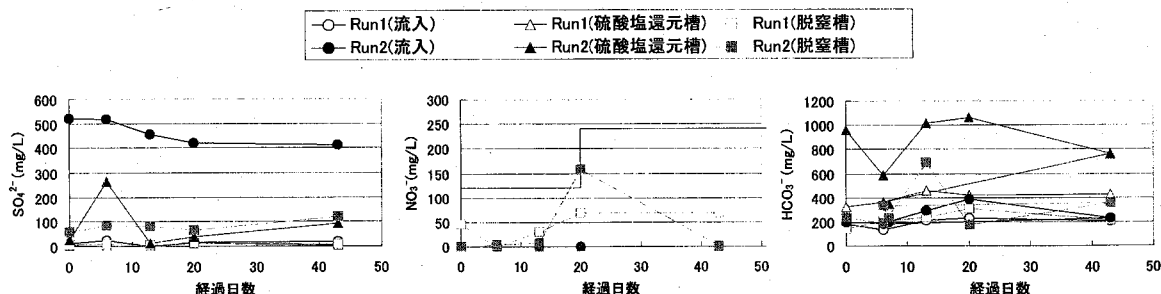


図8 期間2における水質変化