

硫黄化合物含有高 pH 排水の生物学的処理

Biological Treatment of High-pH Wastewater Including Sulfur Compounds

嘉 森 裕 史⁽¹⁾
Hiroshi KAMORI
福 永 和 久⁽⁴⁾
Kazuhisa
FUKUNAGA

有 留 清⁽¹⁾
Kiyoshi ARITOME
兼 森 伸 幸⁽⁵⁾
Nobuyuki
KANEMORI

藤 井 正 博⁽²⁾
Masahiro FUJII
坂 田 守 生⁽⁶⁾
Morio SAKATA

三 木 理⁽³⁾
Osamu MIKI
松 原 好 直⁽⁷⁾
Yoshinao
MATSUBARA

抄 録

硫黄化合物含有高 pH 排水は、pH のみでなく、COD も高いのが特徴である。この排水を経済的に処理するため、生物学的処理技術の開発に取り組んだ。まず中性 pH 域で活性の高い硫黄酸化細菌の馴養技術を確立し、その馴養細菌を用いてパイロットプラントまでの一連の研究開発を実施した。その結果に基づきフィージビリティスタディを行い、生物処理が化学処理より経済的であることを確認し、処理設備を実機化した。

Abstract

High-pH wastewater containing sulfur compounds is also characterized by high chemical oxygen demand (COD). In order to economically treat such wastewater, we undertook the development of a biological treatment technology. In the process, we first established a technology for cultivating sulfuric acid bacteria which are active in the neutral pH region. Then, using the bacteria, we conducted a series of research and development up to the stage of a pilot plant. Based on the results obtained, we conducted a feasibility study, confirmed the economical superiority of biological treatment over chemical treatment, and installed a commercial biological treatment plant.

1. 緒 言

各種工場排水及び下水の処理には、微生物が広範に利用されており、高炉法による鉄鋼製造プロセスでは、コークス安水が活性汚泥法で処理されている。生物学的排水処理では、微生物が触媒的に働いて反応が促進され、汚濁物質が浄化される。特に、COD (Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量) 成分の多くは微生物で効率的に酸化されるため、オゾン等による化学酸化と比較すると、運転費が非常に割安となり、設備費を含む総処理費でも経済的になることが多い。また、微生物を利用する排水処理では、処理過程において有機塩素化合物等の有害物質が発生しにくいという長所もある。

本論文では、これらの特長を生かすべく技術開発に取り組んだ硫黄化合物含有高 pH 排水の生物学的処理について報告する。

2. 硫黄化合物含有高 pH 含有排水の微生物処理

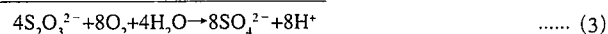
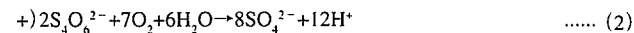
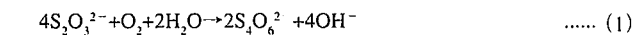
2.1 硫黄化合物含有高 pH 排水

硫黄化合物含有高 pH 排水(以下、本排水と略す)は、水酸化ナト

リウムを吸収剤として使用する硫化水素ガス除去設備等から排出される。本排水は pH が高い(一般的に pH > 10)のみでなく、硫酸根以外の硫黄化合物(例えば、硫化ナトリウム及びチオ硫酸ナトリウム)が COD として測定されるため、COD も高いのが特徴である。したがって、本排水を公共用水域に放流するには、pH を中性にするとともに、硫黄化合物を酸化して COD を削減する必要がある。

2.2 硫黄化合物の微生物による酸化

水中の硫黄化合物を、空気曝気だけで酸化することは困難であるが、硫黄泉中等に生息している硫黄酸化細菌を利用すれば、酸化可能となる。例えば、Thiobacillus thiooxidans は、以下の反応式のように、空気存在下で無機硫黄化合物を酸化することが知られている¹⁾。



この細菌は、硫黄化合物を酸化する際に生じるエネルギーを利用して、二酸化炭素を同化する能力を持っている。したがって、排水中に有機物が存在しない状態でも増殖するので、本排水の処理に適

⁽¹⁾ 技術開発本部 プロセス技術研究所
熱流・環境プロセス研究センター 主任研究員

⁽²⁾ 元 技術開発本部 プロセス技術研究所
熱流・環境プロセス研究センター 主幹研究員
(現 (財)九州環境管理協会 理事)

⁽³⁾ 技術開発本部 設備技術センター 土木建築技術部 部長代理 工博

⁽⁴⁾ 技術開発本部 設備技術センター 土木建築技術部 掛長 工博

⁽⁵⁾ 技術開発本部 設備技術センター 土木建築技術部

⁽⁶⁾ エンジニアリング事業本部 鉄構海洋事業部
水道・土木エンジニアリング部 部長代理

⁽⁷⁾ 君津製鐵所 エネルギー工場 掛長

用可能と考えられる。

ところが、この細菌はpHが2～3.5程度の酸性領域で活性であり、pHが4以上になると活性が極端に低下する。そこで、この細菌を利用して本排水を処理するには、10以上のpHを、酸添加により3程度に調整してから、硫黄化合物を酸化しなければならない。そのため、この細菌を利用すると、以下のような理由で経済性が損なわれる。

- ・ 硫黄化合物の酸化水槽を、耐酸性にせねばならない。
- ・ 排水中の硫化物濃度が高い場合には、硫化水素が大気中に拡散するため、その捕集設備が必要となる。
- ・ 排水pHを3程度まで低下させるため、酸使用量が多くなる。
- ・ 処理水を放流するには、pHを中性(6～8)にする必要があるもので、アルカリによる再中和が必要となる。

したがって、本排水を経済的に処理するには、中性又はアルカリ性で硫黄化合物を酸化することが必要である。そのためには、中性又はアルカリ性で活性の高い硫黄酸化細菌を利用することが不可欠である。

2.3 pH中性域で活性の高い硫黄酸化細菌の探索実験

2.3.1 生物脱臭塔内汚泥

下水処理場の生物脱臭処理において、pHが中性付近の脱臭塔内で、硫黄化合物が酸化されていた。そこで、その脱臭塔内に本排水の処理に適した硫黄酸化細菌が生息していると考え、脱臭塔内汚泥を用いて、チオ硫酸の酸化実験を実施した。

(1) 実験方法

表1に示す培養液300mℓに、希硫酸又は水酸化ナトリウム水溶液を添加して、pHを2, 3, 4, 5, 6, 7, 8に調整後、硫黄酸化細菌抽出液10mℓを添加した。その後、30℃に保ちながら振盪して、 $S_2O_3^{2-}$ 濃度を毎日1回測定した。なお、硫黄酸化細菌抽出液は、以下の方法で製造した。表1の組成からチオ硫酸ナトリウムを除いた液100mℓに、生物脱臭塔内から採取した汚泥5gを添加した。それを30℃に保ちながら1時間振盪して、5A濾紙で濾過した濾液を抽出液とした。

(2) 実験結果

チオ硫酸酸化完了日数(培養液中の $S_2O_3^{2-}$ 濃度が、50mg/ℓ以下になるまでに要した日数)を、図1に示す。

(3) 考察

- ・ pHが4～7の広い範囲でチオ硫酸を酸化する細菌(写真1参照)が存在し、中性に近いpH(5～6)で高活性になっていることが確認された。そこで、その特性を文献²⁾と比較した結果、この細菌はThiobacillus thiooxidansではないが、Thiobacillus属の細菌

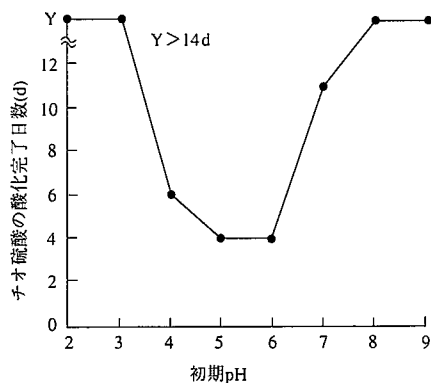


図1 生物脱臭塔内汚泥によるチオ硫酸の酸化

表1 培養液組成

チオ硫酸	5g*	塩化アンモニウム	0.1g
第一りん酸カリウム	3g	塩化カルシウム	0.25g
塩化マグネシウム	0.1g	蒸留水	1ℓ

*: 5水塩($S_2O_3^{2-}$ = 2258mg/ℓ)

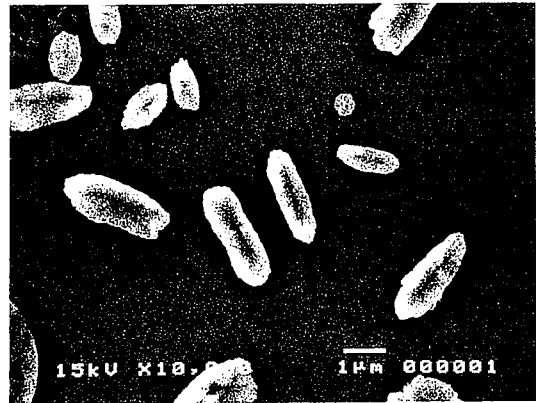


写真1 硫黄酸化細菌の電子顕微鏡写真

と推定できた。

- ・ 生物脱臭塔は、種汚泥として下水処理活性汚泥を使用していたので、この硫黄酸化細菌は下水処理活性汚泥中に生息していたと考えられた。

2.3.2 下水処理活性汚泥

中性pH付近で、高活性の硫黄酸化細菌が、下水処理活性汚泥中に生息していたと考えられたので、下水処理活性汚泥を用いて、チオ硫酸の酸化実験を実施した。

(1) 実験方法

2.3.1項の実験に準拠した。但し、pHは4, 5, 6に調整後、下水処理活性汚泥の上澄み液10mℓを添加した。

(2) 実験結果

培養液中の $S_2O_3^{2-}$ 濃度変化を、図2に示す。

(3) 考察

- ・ 予測通り、pH中性域で高活性の硫黄酸化細菌が、下水処理活性汚泥中に存在していた。
- ・ 下水活性汚泥中の硫黄酸化細菌を馴養すれば、大量培養できる可能性が高い。

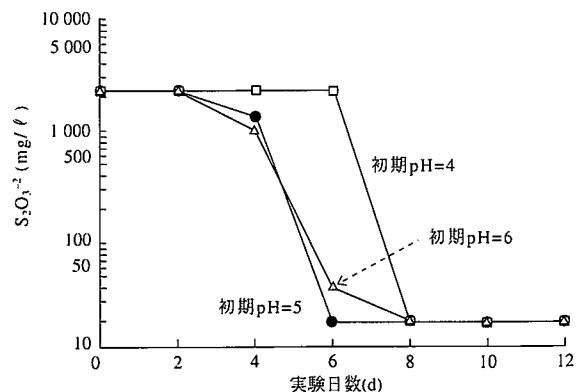


図2 下水処理活性汚泥によるチオ硫酸の酸化

2.4 下水処理活性汚泥の馴養実験³⁾

探索実験の結果、pH中性域で高活性の硫黄酸化細菌が、下水処理活性汚泥中に存在していることが確認されたので、その馴養実験を実施した。

(1) 実験方法

図3に示すベンチレベル実験装置に、MLSS $\approx 1500\text{mg}/\ell$ (Mixed Liquor Suspended Solids: 混液浮遊物質濃度: 硫黄酸化細菌濃度の簡易指標) の下水処理活性汚泥を添加した。表2に示す模擬排水のpHを12程度に調整したのち、曝気槽滞留時間が8時間となるように、曝気槽に模擬排水を供給した。曝気槽内pHは5~7、曝気量は5 ℓ /min、水温は20℃とした。

(2) 実験結果

馴養期間中の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、COD、MLSS及びORP (Oxidation Reduction Potential: Ag/AgCl 電極基準) を、図4~7に示す。

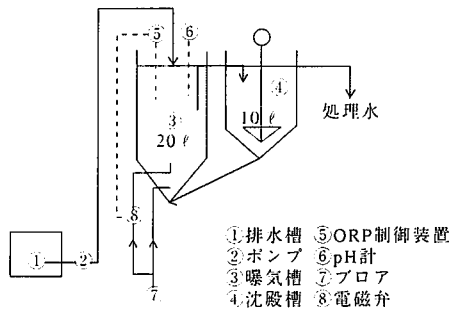


図3 ベンチレベル実験装置

表2 模擬排水組成

チオ硫酸ナトリウム	1g*	塩化アンモニウム	0.02g
第一リン酸カリウム	0.6g	塩化カルシウム	0.05g
塩化マグネシウム	0.02g	蒸留水	1 ℓ

*: 5水塩($\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 452\text{mg}/\ell$)

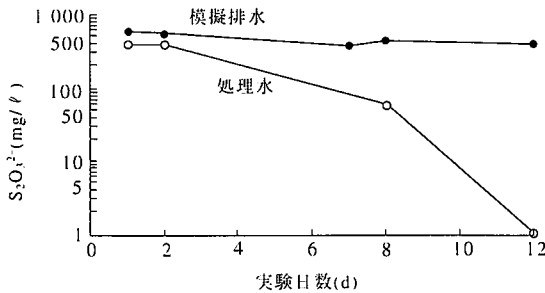


図4 ベンチレベル実験馴養期間中の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

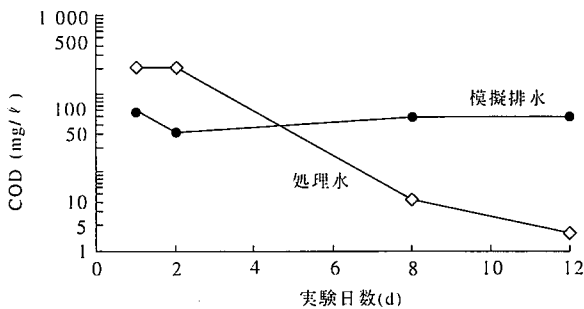


図5 ベンチレベル実験馴養期間中のCOD

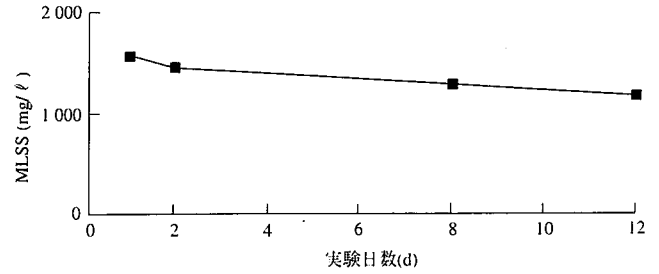


図6 ベンチレベル実験馴養期間中のMLSS

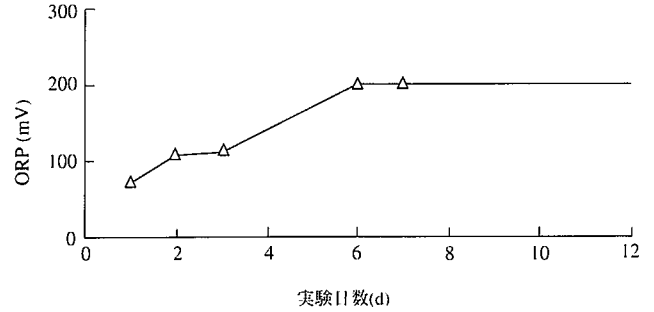


図7 ベンチレベル実験馴養期間中のORP

(3) 考察

- ・チオ硫酸イオンを含む模擬排水で下水処理活性汚泥を馴養すると、12日後にはチオ硫酸イオンがほぼ完全に酸化されていた。したがって、硫黄酸化細菌の馴養期間は1数日程度であり、実用化可能な範囲である。
- ・馴養開始後数日間のCODは、模擬排水よりも処理水の方が高くなっていった。これは、下水活性汚泥中の硫黄酸化細菌以外の微生物、例えば有機物を分解している従属栄養細菌が処理水に流出し、それがCOD源になっているためと考えられた。
- ・上記微生物の流出によりMLSSが低下しており、その後も上昇傾向は見られなかった。この事実より、硫黄酸化細菌の増殖率は、かなり低いと考えられた。
- ・曝気槽のORPは徐々に上昇し、6日目に+200mVとなり、7日目は変化がなかった。そこで、7日目以降はORPが+200mVとなるように曝気量を制御した。その条件で $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ が順調に酸化されているので、pH6付近でのORPは+200mV程度が適切と考えられた。

2.5 ベンチレベルでの連続処理実験⁴⁾

2.5.1 模擬排水での曝気時間短縮

馴養実験の結果、500mg/ ℓ 程度のチオ硫酸イオンは、8時間以下で酸化できることが確認された。そこで馴養実験に引き続いて、チオ硫酸イオンの必要酸化時間を把握するため、曝気時間短縮実験を実施した。

(1) 実験方法

曝気槽内の滞留時間を8時間から、6,4,3,2時間と徐々に短縮して、処理水水質を測定した。処理水COD目標は、20mg/ ℓ 以下とした。

(2) 実験結果: 図8参照

(3) 考察

- ・下水処理活性汚泥から馴養した硫黄酸化細菌で、400~500mg/ ℓ 程度のチオ硫酸イオンを酸化する場合、曝気3時間では処理水CODは、20mg/ ℓ 以下でほぼ安定していた。ところが、曝気2時

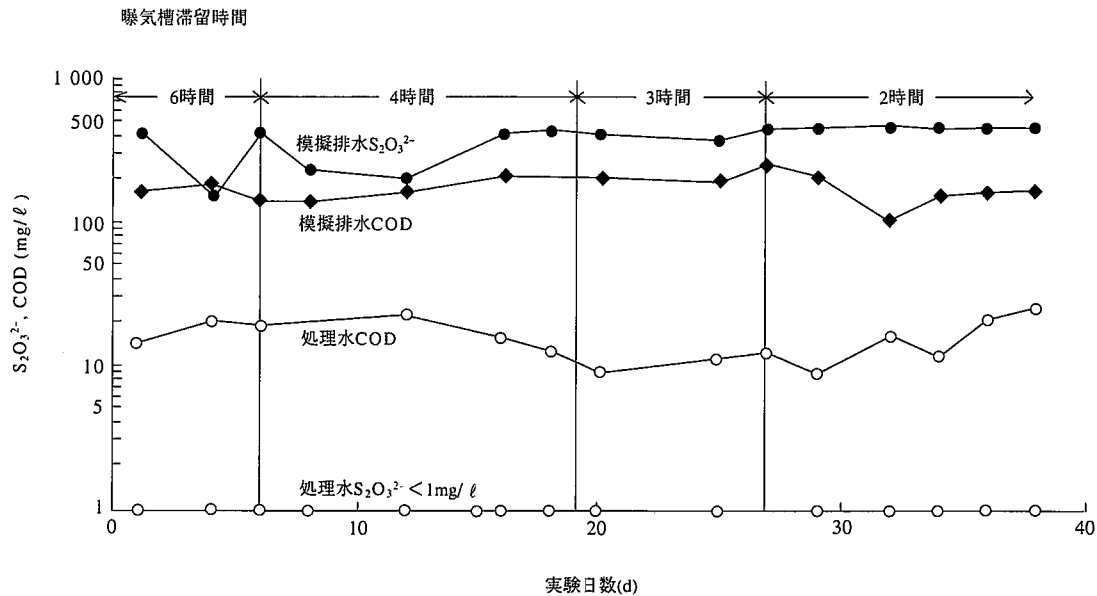


図 8 曝気槽滞留時間短縮実験結果

間では処理水CODが20mg/lを超過していたので、曝気3時間を必要酸化時間とした。

- ・必要酸化時間が3時間であれば、設備費及び運転費を合計する総処理費で比較しても、化学的酸化方法より有利となる可能性が高い。
- ・中和に使用した5%硫酸使用量は、模擬排水1ℓ当たり約2.4mℓであったが、模擬排水をそのまま中和すると、約17mℓ/ℓ必要であった。この差が生じるのは、模擬排水中のチオ硫酸が酸化されて硫酸になるためであり、中和用薬品削減の可能性が確認された。

2.5.2 実排水での必要酸化時間把握

模擬排水実験で、硫黄酸化細菌処理の経済性が確認されたので、実排水を用いて必要酸化時間の把握実験を実施した。

(1) 実験方法

曝気槽内の滞留時間を3時間として、供給液を実排水(表3参照)に切替えた。なお、実排水は模擬排水には含まれていなかった S^{2-} を含み、窒素及びりん濃度は模擬排水より大幅に低くなっている。

表 3 実排水分析平均値

pH	12.3	$S_2O_3^{2-}$	232	ケルダール-N	2.0
COD	335	S^{2-}	89	T-P	0.08

pH以外の単位はmg/l

(2) 実験結果

図9に水質測定値を、図10に曝気槽のORPを示す。

(3) 考察

- ・模擬排水から実排水に切替えた直後から、 $S_2O_3^{2-}$ 及び S^{2-} は順調に酸化されている。この事実より、 $S_2O_3^{2-}$ 水溶液で馴養した硫黄酸化細菌が、 S^{2-} も酸化することを確認できた。
- ・切替え約16日後に、 $S_2O_3^{2-}$ 及び S^{2-} の酸化が不調となった。もし、実排水に硫黄酸化細菌に対する毒性物質が含まれていたのであれば、実排水に切替えた直後に酸化性が悪化したはずである。したがって、この不調パターンは、毒性物質が不調原因ではないことを示唆している。

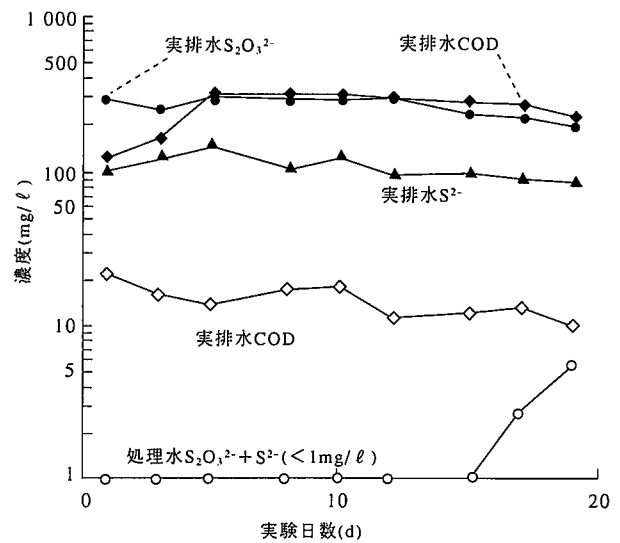


図 9 実排水処理実験結果

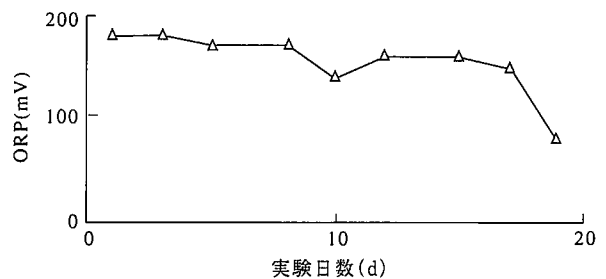


図 10 実排水処理の曝気槽ORP

- ・逆に言えば、実排水は毒性物質を含まないことを間接的に示しており、毒性物質以外の酸化不調原因があると考えられた。
- ・ORPは水種切換え後徐々に低下し、処理水中の $S_2O_3^{2-}$ 及び S^{2-} が増加したときに大幅に低下していた。これは、硫黄酸化細菌の活性が徐々に低下し、ある時点で急激に低下したことの傍証と

考えられた。

- ・ 上記の2項目及び排水中の窒素・りん濃度の低さより判断して、酸化能力低下原因は、硫黄酸化細菌の活性維持・増殖に必要な栄養塩類の不足と考えられた。

2.5.3 実排水栄養塩添加処理

実排水実験において、栄養塩類不足が酸化能力低下の原因と考えられたため、窒素及びりんを添加して処理実験を実施した。

(1) 実験方法

図3の装置に新たに下水処理活性汚泥を仕込み、実排水に塩化アンモニウム60mg/ℓ、りん酸二水素カリウム6mg/ℓを添加し、連続的に処理した。

(2) 実験結果

図11に水質、MLSS及びMLVSSを示す。なお、MLVSSは、Mixed Liquor Volatile Suspended Solids(混液浮遊揮発性物質濃度)であり、硫黄酸化細菌濃度の指標である。

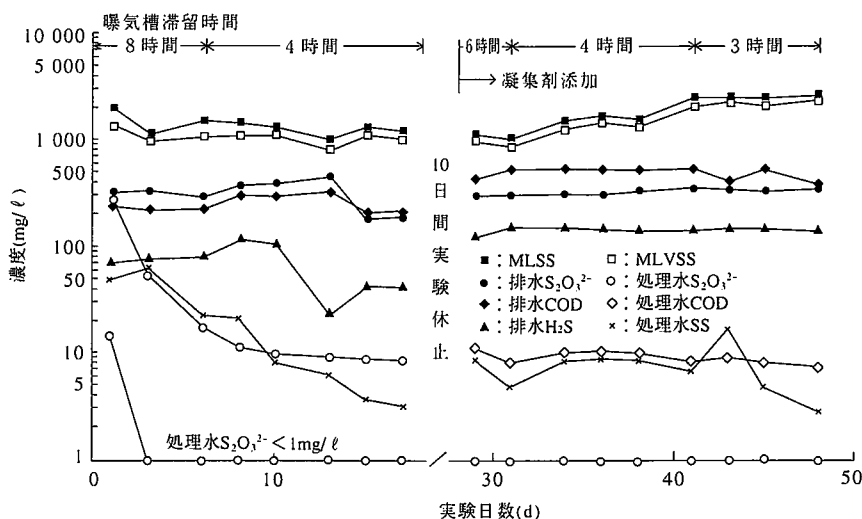


図11 栄養塩添加実験結果(凝集剤添加実験結果を含む)

(3) 考察

- ・ $S_2O_3^{2-}$ 及び S^{2-} は順調に酸化されており、実験開始後6日目には、CODが20mg/ℓ以下となり馴養を完了した。これは、別途実験した栄養塩未添加の実排水による馴養期間の、半分以下であった。これにより、栄養塩として窒素及びりんを添加することが、硫黄酸化細菌活性向上に有効であることが確認された。
- ・ 処理水中のSS(Suspended Solids: 浮遊物質)が順調に減少しているのに、MLSSは増加しておらず、逆に減少の傾向が見られた。これは、硫黄酸化細菌の増殖率が低いのが原因と考えられたので、MLSS増加対策が必要と判断した。

2.5.4 凝集剤添加処理

実排水栄養塩添加処理において、MLSS増加対策が必要と判断されたので、凝集剤添加処理実験を継続して実施した。凝集剤には、酸化促進効果も期待できる鉄塩(塩化第二鉄)を使用した⁵⁾。

(1) 実験方法

実排水栄養塩添加処理条件に、沈殿槽入口で塩鉄(塩化第二鉄)100mg/ℓ as Feを添加した。

(2) 実験結果

図11に水質、MLSS及びMLVSSを示す。(実験開始29日目

目以降のデータ。19～28日目は、5月連休のため実験休止。)

(3) 考察

- ・ 処理は順調であり、MLSS及びMLVSSとも予測通り上昇し、凝集剤添加の有効性が確認された。
- ・ 添加した塩化第二鉄は、水酸化第二鉄として沈殿するので、MLVSS/MLSSは減少すると予想していたが、あまり変化していなかった。これは、塩鉄添加により硫黄酸化細菌の増殖が促進されたためと考えられた。

2.5.5 水温の影響

冬季における低温時の処理能力を調べるため、水温を5℃まで低下させて実験し、以下の結果が得られた。

- ・ 硫黄酸化細菌は耐低温性があり、下水処理の活性汚泥等と比較すると、低温での活性低下が小さい。
- ・ 設備を屋外に設置しても、原水又は曝気槽の加温は必要ないと考えられる。

2.6 パイロットプラントテスト

ベンチレベル実験結果より、実機化の可能性が高いことが確認されたので、パイロットプラント実験を屋外にて実施した。1年間以上実験を継続したが、微生物にとって条件の厳しい、低水温時の冬季実験の結果について記述する。なお、曝気槽滞留時間は、実機での想定操業パターンに合わせて設定した。

2.6.1 実験方法

(1) 実験装置：図12参照

曝気槽 1m×1m×2mH 沈殿槽 1.2mφ×1.6mH

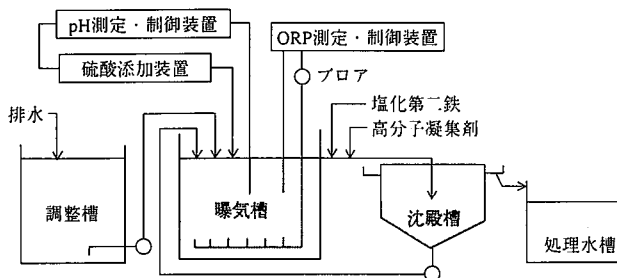


図12 パイロットプラントフローシート

(2)排水水質：表4に平均値を示す。

(3)硫黄酸化菌馴養

当初汚泥：下水処理活性汚泥

(4)操業条件

曝気槽滞留時間：3～30時間

曝気槽ORP：+100mV

曝気槽pH：6～7

汚泥返送量：供給水量の約25%

水温：3～15℃

(5)栄養塩添加

硫酸アンモニウム：5mg-N/ℓ，りん酸：1mg-P/ℓ

(6)凝集剤添加

塩化第二鉄：5mg/ℓ，高分子凝集剤：0.5mg/ℓ

表4 パイロットプラント実験排水平均水質

pH	12.4	$S_2O_3^{2-}$	197
COD	158	S^{2-}	29

pH以外の単位はmg/ℓ

2.6.2 実験結果のまとめと考察

(1)処理水水質

- ・曝気槽滞留3時間で、 $S_2O_3^{2-}$ 及び S^{2-} は確実に酸化されており、本処理システムは排水濃度変動に対しての適応力がある。
- ・冬季の低温期においても、CODは安定して20mg/ℓ以下になっており、低温耐性も十分であった。
- ・SSはCODより変動が大きく、凝集の最適化等の安定化対策が必要である。

(2)曝気槽滞留時間変更の影響

- ・滞留時間変更直後には、処理水中SSが多少増加することがあるが、硫黄化合物の酸化にはほとんど影響がない。したがって、実機において多少の排水量変動があっても、障害とはならないと考えられた。
- ・装置停止後の立ち上げ時も、処理水CODには大きな変化は見られないので、ON-OFF運転可能である。

(3)硫黄酸化細菌の増殖

- ・MLSS及びMLVSSは、滞留時間3時間では増加しているが、滞留時間が30時間では減少傾向を示す。これらが減少するのは、硫黄酸化細菌の増殖量よりも、処理水への流出及び自己消化により失われる量の方が多いことを示している。したがって、表4の排水濃度で滞留時間を30時間以上にすると、曝気槽に流入する硫黄化合物が不足し、長期連続運転は困難となる。
- ・停止期間中もMLSS及びMLVSSが減少しているが、その減少率は比較的低い。これは、停止期間中は処理水へのMLSSの流出がなく、また、曝気を微量にしていたので、硫黄酸化菌の自己消化量が減少したためと考えられた。

(4)総合評価

- ・本システムによる硫黄化合物の酸化処理は安定しており、実機化可能である。
- ・排水量の大幅減少が継続する場合は、少量処理するよりもON-OFF運転の方が適している。但し、処理開始直後には、処理水中のSS(硫黄酸化細菌の流出)が増加するので、処理水の返送

を可能とすべきである。

- ・硫黄酸化菌の増殖量が少ないため、余剰汚泥の発生量は少ない。操業条件次第では、余剰汚泥量をほとんど発生させない操業も可能である。
- ・排水量720m³/dの処理施設に関する費用比較を表5に示す。なお、この表では所定の計算式により、設備費を年間費用に換算し、運転費と合計して総処理費を算出している。

表5 硫黄化合物含有高pH排水の処理費比較

項目	方法	硫黄酸化細菌	オゾン酸化
設備費		1	1.9
運転費		1	15.6
総処理費		1	4.3

2.7 実機化

2.7.1 スケールアップ検討

パイロットプラントデータを実機設計に適用するにあたっては、研究成果を踏まえ、確実にスケールアップすることが必要である。特に、硫黄酸化細菌のような特定の微生物を、大容量の曝気槽の中で大量に増殖させ、その活性を高く維持するためには、その微生物に適した成育環境を実現しなければならない。そのために、本設備のスケールアップでは、以下の2点を中心に検討した。

(1)二段pH制御プロセスの導入

流入する排水のpHはかなり大きく変動しており、排水を直接曝気槽に送水すると、曝気槽内のpHが制御目標範囲を外れる危険性があった。そこで、排水pHを事前調整して安定させるため、曝気槽の前端にpH調整槽を設置した。これにより、曝気槽流入水pHが安定し、曝気槽では最適pHを中心とした狭い範囲で、安定した制御が可能となった。

(2)水中攪拌式散気装置の導入

本曝気槽では、水槽の角部分等で混合不良が発生すると、pHが制御範囲から外れ、硫黄酸化細菌活性が低下する危険性があった。そのため、一般の活性汚泥処理設備と比較すると、より完全な槽内混合が必要と考えられた。そこで、通常の散気装置に加えて、水中攪拌式散気装置を曝気槽底部に設置し、槽内を均一に混合することとした。

2.7.2 実設備の概要

スケールアップ検討結果を基に、処理能力720m³/dの設備(処理フロー：図13参照)を建設した。この設備の処理機能は、以下の通りである。

(1)排水は、水量・水質変動を緩和するため調整池に受けた後、原水ポンプで前pH調整槽へ送水される。このポンプは、自動分析計で測定する原水COD値に基づき、COD負荷量が一定となるように送水量の調節が可能である。

(2)排水は前pH調整槽でpHを調整された後、曝気槽へ自然流下する。

(3)曝気槽では、排水と硫黄酸化細菌を、曝気により攪拌混合しながら好氣的に反応させ、排水中の硫黄化合物を酸化する。曝気槽は、槽内pHを一定に保つためのpH調整剤の注入、ORPに応じた曝気量制御及び栄養剤を添加する機能を持つ。

(4)曝気後の排水は、自然流下で沈殿槽に送られるが、その途中で塩鉄及び高分子凝集剤が添加される。

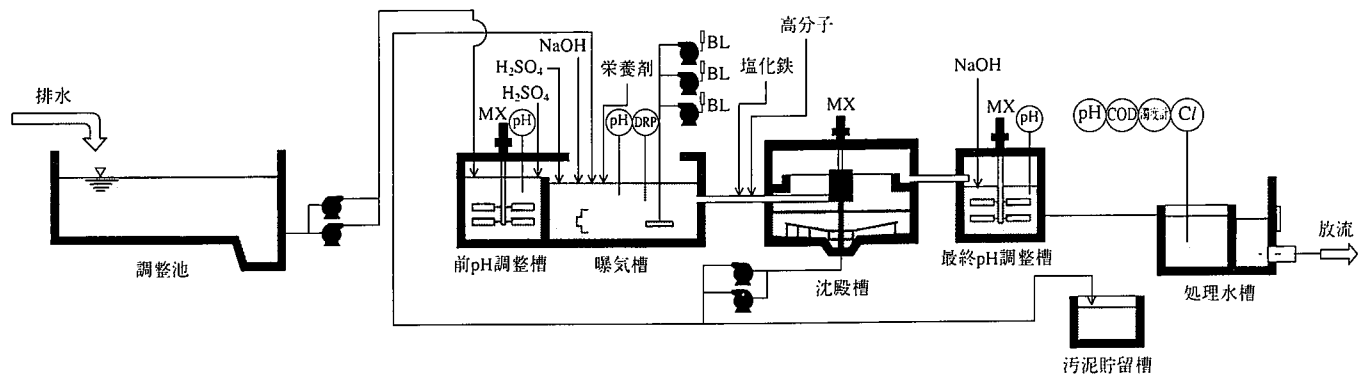


図 13 実設備フローシート

- (5) 沈殿槽では、硫黄酸化細菌を含む汚泥が上澄水と分離され、沈殿した汚泥は曝気槽に返送される。
- (6) 沈殿槽上澄水は最終pH調整槽でpH調整後、処理水槽経由で処理水として排出される。
- (7) 曝気槽のMLSS管理濃度以上に汚泥が増殖したら、余剰汚泥として污泥貯留槽へ引き抜く。

3. 結 言

本論文では、硫黄化合物含有高pH排水が、低コストで安定して生物学的に処理できることを、実験データを中心に記述した。実機も順調に稼働しているので、所期の目標は達成済みであるが、開発したプロセスは、他の硫黄化合物含有排水処理に応用可能と考えられる。そこで、当面はゴミ処理場浸透水の処理等を対象として、技術力の向上を図るつもりである。しかしながら、硫黄酸化細菌は、

石炭等に含まれる固形硫黄及び有機硫黄化合物も酸化できる可能性があるなど、生物処理の応用範囲は極めて広く、さらなる技術開発が望まれている。著者らもその一端を担い、地球環境に優しく経済的な生物学的処理技術の確立をめざして、今後とも努力する所存である。

参考文献

- 1) 今井和民：独立栄養細菌。第1版、京都、(株)化学同人、1984、p.63-76
- 2) Starley, J.T.: Bergey, Manual of Systematic Bacteriology, vol.3, Williams & Wilkins, 1989, p.1843
- 3) 三木 理、嘉森裕史、井上展夫、藤井正博：水環境学会誌、18(3)、231 (1995)
- 4) 三木 理、嘉森裕史、矢部英昭、藤井正博：水環境学会誌、19(1)、40 (1996)
- 5) 小泉淳一：用水と廃水、31(4)、26 (1989)