

(31) 都市下水処理場の嫌気好気活性汚泥における  
バルキングおよび硫酸塩還元に関する研究

A study on filamentous bulking and sulfate reduction in  
anaerobic-oxic activated sludge system of the municipal plant

池本良子\*・小森友明\*・三宅祐司\*・松井三郎\*\*  
Ryoko YAMAMOTO-IKEMOTO, Tomoaki KOMORI, Yuji MIYAKE, Saburo MASTUI

**ABSTRACT** ; Filamentous bulking and sulfate reduction in anaerobic-oxic activated sludge system of the municipal plant were examined. The anaerobic-oxic system was sometimes not effective to prevent bulking. When the amount of phosphate release in the anaerobic zone was small and sulfate concentrations were low, filamentous bacteria Type O21N grew predominantly. However the organic substances were remained in the end of anaerobic zone. The sulfate reduction rate was obtained from the anaerobic batch experiment using settled sewage. When the sulfate reducing rate was high, filamentous bulking occurred. Sulfate reduction occurred when the returned sludge was stored in 20°C. The rate of sulfate reduction in the storage experiments also related to the amount of filamentous bacteria.. The results showed that sulfate reduction was a course of filamentous bulking due to Type O21N in the actual anaerobic-oxic activated sludge plant.

**KEYWORDS**: activated sludge, anaerobic-oxic activated sludge; filamentous bulking; Type O21N; , sulfate reduction; filamentous bacteria; sulfate reducing bacteria.

1. 緒言

都市下水処理場において活性汚泥中に糸状性細菌が過剰に増殖することによって起こるバルキング問題の解決は重要な課題である。わが国の下水処理場におけるバルキング原因細菌の多くはType O21Nであると報告されており、この細菌の増殖コントロールがバルキング抑制の鍵となっている。Type O21Nは還元型硫黄種を酸化してエネルギーを得ることができることが報告されている<sup>1)</sup>。筆者らは、回分式、連続式の多くの室内実験を繰り返すことにより硫酸塩還元が活発に起こるとType O21N等の糸状性硫黄細菌の増殖によるバルキングが起こりやすいことを見だし、硫酸塩還元がバルキングの一因となっていることを指摘した<sup>2)</sup>。また、硫酸塩還元菌の呼吸阻害剤であるモリブデンを添加した実験により硫酸塩還元菌と糸状性硫黄細菌が活性汚泥中で共生関係にあることを報告している<sup>3)</sup>。実処理場においても硫酸塩還元菌がType O21Nの増殖に影響を及ぼしていることが考えられる。

一方、近年、嫌気好気法の採用によりバルキングが抑制された事例が多く報告されている<sup>4)</sup>。嫌気好気法によるバルキング抑制の機構については、Poly-P蓄積菌との直接的な有機物の摂取をめぐる競合関係として説明されてはいるものの<sup>5)6)7)</sup>、矛盾点が多い。筆者らは、硫酸塩還元が活発に起こるとPoly-P蓄積菌の増殖が抑制されることを報告しており<sup>2)</sup>、硫酸塩還元菌の影響は無視できないと考えられる。安定したバルキング抑制のためには、嫌気好気法のバルキング抑制機構の解明は非常に重要である。

そこで本研究では、嫌気好気法の採用によってバルキング抑制に成功した都市下水処理場を対象として、処理槽内の水質分析、返送汚泥を用いた回分実験および貯留実験を行い、嫌気好気法におけるバルキングと硫酸塩還元との関連について検討を行なった。

\*金沢大学工学部土木建設工学科(Dept. of Civil Engin., Kanazawa Univ.)

\*\*京都大学工学部環境微量汚染制御実験施設(Labo. for Control of Environ. Micropollutant, Kyoto Univ.)

## 2. 調査対象処理場と調査方法

調査を行なった処理施設は、計画処理量181,000m<sup>3</sup>/日の分硫式下水処理場で、現在半分の4系列が稼働している。稼働当初から糸状性細菌Type 021Nの増殖によるバルキング問題が起こり運転に苦慮していたため、第4系列の建設時に水中攪拌機を設置して嫌気好気法による運転を開始したところ（1990年）、バルキング抑制効果が顕著に認められた。1991年からは、残りの3系列についても、曝気槽前段部の空気量を絞ることにより疑似嫌気好気の運転を行なっている。調査は、1991年9月から12月にかけて6回、1992年9月から12月にかけて5回および1993年8月から12月にかけての5回の計16回行なった。Fig. 1は曝気槽のフローと採水地点を示している。4系は曝気槽前半部に水中攪拌機3機が設置されており1機目の攪拌機は通気を行わず、続く2機は攪拌と弱い通気を行なう運転を行っている。後半半分はブローヤーによる曝気を行なっている。1、2、3系は前段1/2のブローヤーの空気量を絞っている。採水時間は午前10時から11時とし、曝気槽流入水、返送汚泥およびPoint 1・Point 4の曝気槽混合液をほぼ同時に採取した。輸送中の水質変化を避けるため、現地で0.45μmのメンブレンフィルターによるろ過を行ない、冷暗所保存で2日以内にBOD（ウインクラアジ化ナトリウム変法）またはTOC（島津TOC500またはTOC5000）、炭水化物（グルコース標準アンスロン法）、蛋白質（牛血漿アルブミン標準ローリー法）、硫酸塩および硝酸塩濃度（イオンクロマトグラフ・島津ICP-6A）、りん酸塩および有機酸濃度（ガスクロマトグラフ・島津GC-8Aまたは液クロマトグラフポストカラム反応法・島津LC-10A）の分析に供した。硫化物については、NaOHを添加してpHを12以上にして実験室に持ち帰り、検知管法にて測定した。また、Point 4の汚泥を用いて沈降性指標であるSVIC（SV<sub>30</sub>が30%以下になるように希釈して求めたSVI）<sup>10</sup>、糸状性細菌の現存量の指標である糸状体長（顕微鏡—パーソナルコンピュータによる方法）<sup>11</sup>および硫酸塩還元菌数（m-ISA培地を用いたMPN法）の測定をおこなった。

別に、返送汚泥を用いて、以下の方法で回分実験および貯留実験を行い硫酸塩還元速度を求めた。回分実験では、返送汚泥を遠心分離により濃縮し、容積20mLの複数のサンプル瓶にMLSSで2,000~3,000mg/lとなるように投入する。曝気槽流入水を添加し気泡が入らないように密閉し、20℃で振とう培養する。一定時間ごとにサンプル瓶を2個ずつ開封し、水質分析に供した。貯留実験では返送汚泥を三角フラスコに投入し、20℃で貯留し1~4日おきに汚泥を採取して分析に供した。分析項目および方法は処理場の調査と同様である。

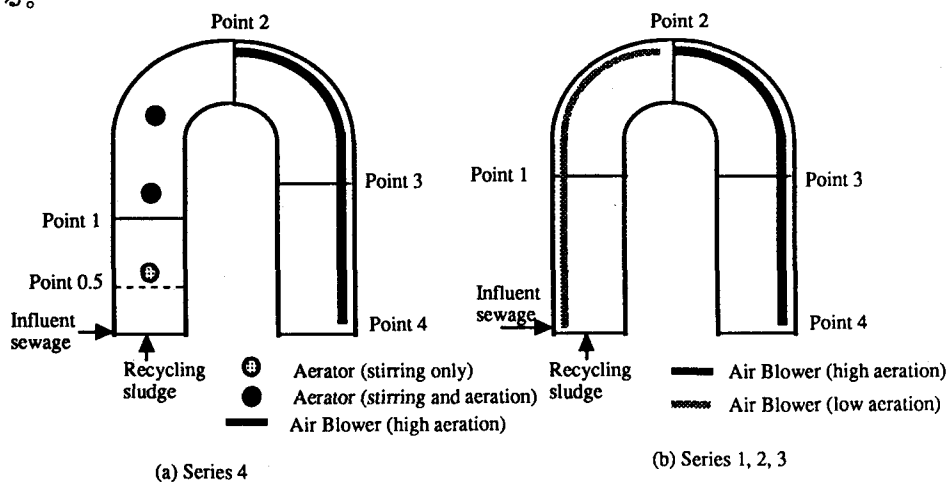


Fig. 1 Flow of aerobic tank and sampling points.

## 3. 調査結果および考察

### 3. 1 沈降性の変化と出現糸状性細菌

Fig. 2は処理場の運転データによる1990年からの各系列のSVIの変化を示している。水中攪拌器による嫌気好気法を採用している4系は運転開始後沈降性が良好な状態が続いていたが、1992年の11月以降沈降性

がやや悪化することがあった。その他の系列については疑似嫌気好気法採用後も主に冬季に特に沈降性が悪化している。1993年以降両者の差は殆ど認められないことから、水中攪拌器により前段部の通気を行わないことがバルキング抑制に必ずしも有効であるとはいえないようである。嫌気好気法のバルキング抑制効果は絶対的なものではなく、そのコントロール方法を開発することが非常に重要である。

Photo 1は、活性汚泥の顕微鏡写真である。汚泥中には常に糸状性細菌Type O21Nが増殖しており、その他の糸状性細菌はほとんど認められなかった。Type O21Nの現存量は300~7030cm/mgMLSSの範囲で調査日によって異なっていた。

### 3. 2 槽内の水質変化とバルキングの関係

Fig. 3は1992および1993年度の槽内のりん酸塩濃度の変化を示している。水中攪拌器によって嫌気好気運転を行っている4系では、攪拌部末端のPoint 1においてりんの最大放出を示しており、攪拌・通気部末端のPoint 2ではりん酸はPoint 1と同程度かやや減少していた。ブローアの空気量を制限することにより疑似嫌気好気運転を行っている1、2、3系では、通気量を制限している曝気槽全段部の中央付近に当たるPoint 1において、4系と同様にりんの最大放出を示しており、Point 2ではりんはかなり取り込まれていた。以上のことより、全系列においてPoint 1までを嫌気部とみなすこととする。Fig. 4は返送汚泥からの持ち込みを考慮した嫌気部におけるりんの放出量と汚泥中の糸状体長の関係を示したものである。嫌気好気を採用している4系と疑似嫌気好気の1、2、3系の差は認められなかった。またりんを多く放出する活性汚泥中には糸状性細菌が少ない傾向が認められた。

曝気槽流入水中には、蛋白質、炭水化物の他に酢酸、プロピオン酸等の有機酸、アミノ酸等が検出されたが、これらの濃度と糸状性細菌の現存量との間には関係は認められなかった。槽内に検出された有機物は、蛋白質がほとんどで、炭水化物と酢酸が微量に検出されたが、その他の有機酸はほとんど検出されなかった。Fig. 5は、槽内の溶

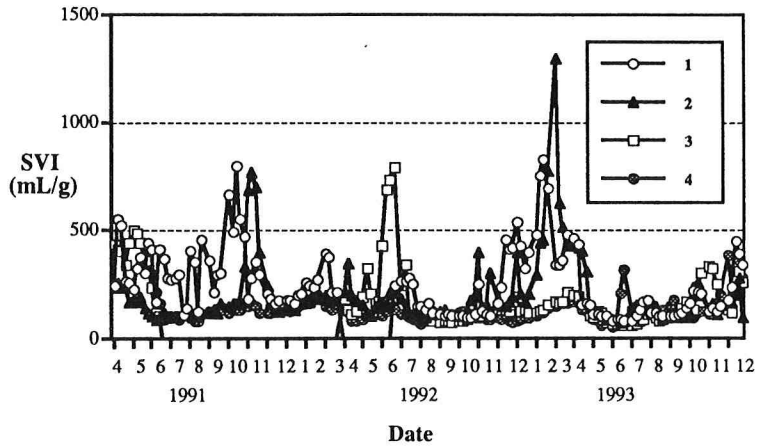
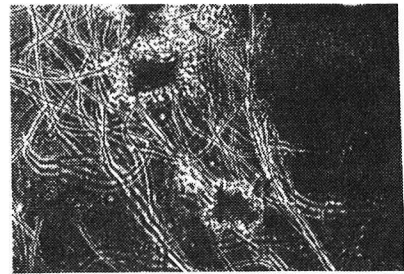


Fig. 1 The course of SVI from 1991 to 1993.



Phot. 1 An example of the activated sludge in the Plant A. (1992.11.16, Series 3)

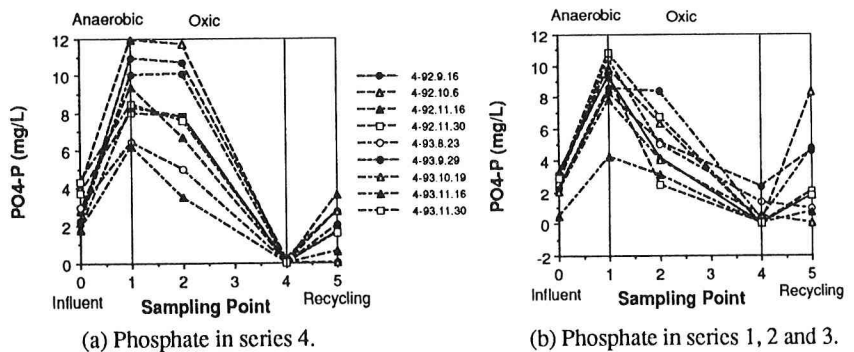
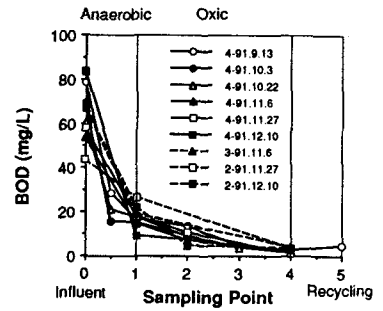
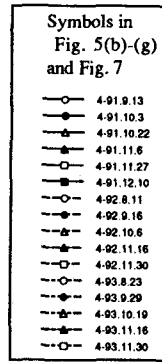
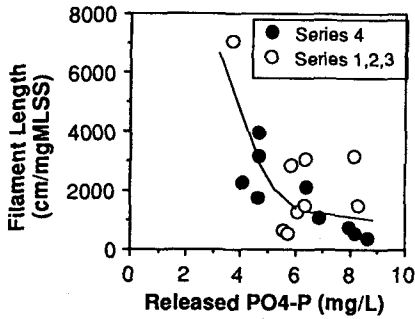
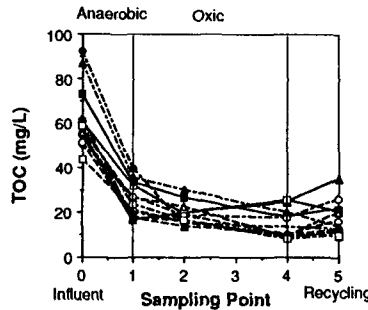


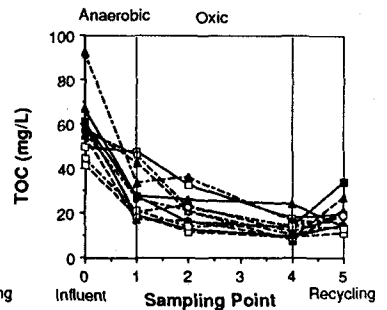
Fig. 3 The courses of phosphate concentrations in the aeration tank.



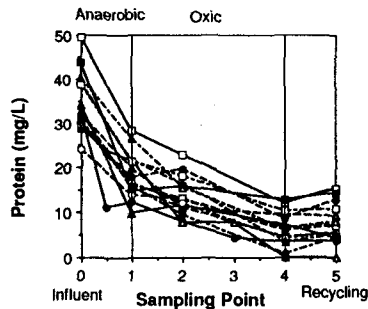
(a) BOD in series 1, 2 and 3.



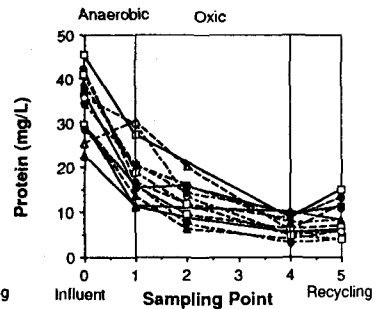
(b) TOC in series 4.



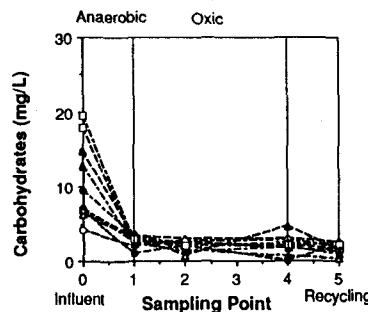
(c) TOC in series 1, 2 and 3.



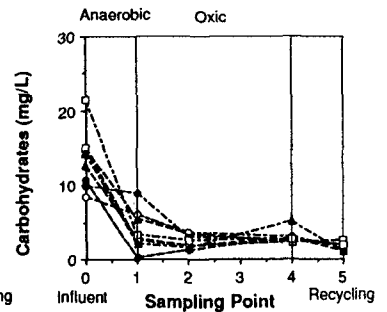
(d) Protein in series 4.



(e) Protein series 1, 2 and 3.



(f) Carbohydrate in series 4.



(g) Carbohydrate in series 1, 2 and 3.

Fig. 4 Relationship between released phosphate in the anaerobic-zone and filament length in the sludge.

解性BOD (1991年度)、溶解性TOC (1991~1993年度)、蛋白質 (1991~1993年度) および炭水化物 (1992~1993年度) の変化を示している。有機物は嫌気部で多く除去され、残存した有機物が好気部で除去されていることがわかる。Shao and Jenkins<sup>9)</sup>は室内実験結果から、嫌気部においてPoly-P蓄積菌が有機物を摂取して、好気部に有機物が持ち込まれないと、絶対好気性細菌である糸状性細菌に栄養源が供給されないのでバルキングが抑制されると説明している。また、Wanner and Grau<sup>10)</sup>は栄養塩除去活性汚泥法においては、発酵細菌、Poly-P蓄積菌、脱窒素能のある細菌および低栄養下で増殖可能な好気性細菌のみが増殖でき、溶解性有機物が嫌気部で残存した場合と浮遊性有機物がフロックに吸着されて好気部に持ち込まれた場合に、糸状性細菌が増殖可能であると説明している。Fig. 6はPoint 1における有機物濃度と汚泥中の糸状体長の関係を示しているが、両者の間に関係は認められず、嫌気部末端で有機物が残存してもバルキングが生じないことがあった。実処理場においては、Poly-P蓄積菌と糸状性細菌の直接的な競合関係以外にもバルキング

Fig. 5 The courses of organic substances in the aeration tank.

を抑制する要因があると考えられる。

筆者ら<sup>4,5)</sup>は、連続式および回分式処理装置の室内実験において硫酸塩還元が活発に起こると、糸状性硫黄細菌の増殖によるバルキングが発生することを報告している。Fig. 7は、槽内の硫酸塩および硫化物濃度の変化を示している。硫酸塩の変化には、嫌気部、好気部を通して槽内で増加する場合と、嫌気部で一定もしくは減少し好気部に入っても殆ど増加しない場合の2通りのパターンが認められた。前者のパターン

の場合には好気部のみならず嫌気部においても硫酸塩の還元よりも酸化が優先し、蛋白質の分解によって生成した硫化物が酸化されて硫酸塩が増加したと考えられる。すなわち、硫黄の酸化はきわめて起こりやすく、嫌気部においても攪拌に用いたわずかの酸素が硫黄の酸化に用いられたと考えられる。一方後者の場合、嫌気部で硫酸塩の還元が優先したために、硫酸塩濃度が前者のように増加することはなかった。好気部に入っても硫酸塩が増加しない理由として、嫌気部で硫酸塩還元によって生成された硫化物が気相に放出されたか、硫化金属として沈殿したかもしくは硫黄顆粒として細胞内に蓄えられたために、硫酸塩に再酸化されなかったことが考えられる。しかし、好気部に持ち込まれた蛋白質の分解によって生成されるはずの硫酸塩の増加も認められないことから、好気部の曝気条件下でも硫酸塩還元が起こっていることが示唆される。いずれにしても、後者のパターンは硫酸塩還元が活性汚泥中で顕著に起こった結果と考えられる。硫化物は嫌気部でやや増加し好気部で減少する傾向が認められたが、その濃度は0.01~0.2mg/lと低く、硫酸に再酸化されなかった硫化物のほとんどが気相中に放出されたものと考えられる。硫酸塩還元菌はきわめて還元性の強い雰囲気ではしか単離できない絶対嫌気性細菌であるが、ある種の

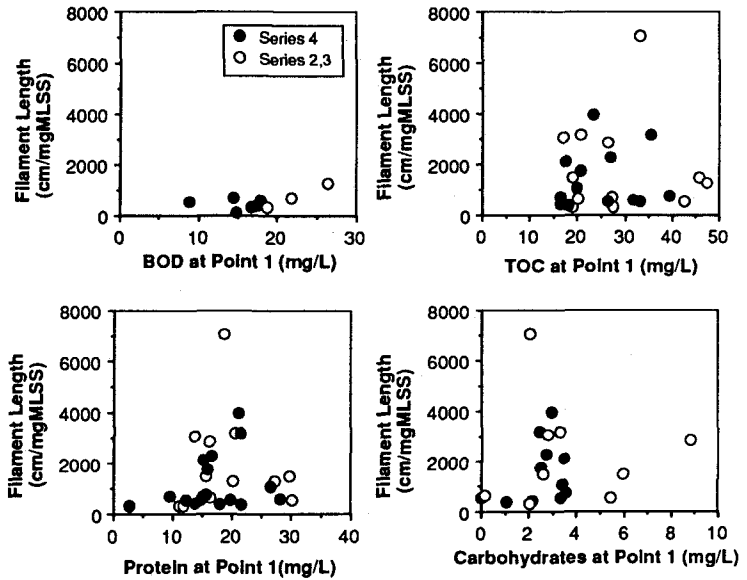


Fig. 6 Relationship between remained organic matters in the anaerobic-zone and filament length in the sludge.

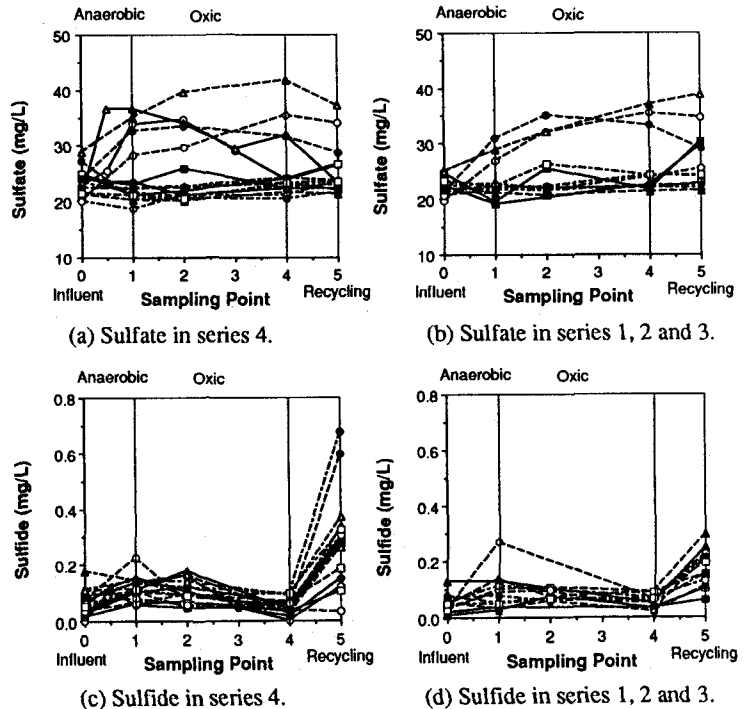


Fig. 7 The courses of sulfate and sulfide concentrations in the aeration tank.

硫酸塩還元菌は、酸素に対する耐性があり酸素の存在下でも活性を保つことができる<sup>12)</sup>。また、底泥や海水性の湿地の嫌気好気境界域およびCyanobacterial matでは、好気条件でも硫酸塩還元が起こることが知られている。これは、硫化物と酸素の反応によって形成される部分的な嫌気域で硫酸塩還元が起こるため、もしくは、実験室で単離する場合に絶対嫌気性のものだけが単離されたり性質が変わるためと考えられている。いずれにしても、自然環境中では酸素の存在は硫酸塩還元の制限因子にはならず、電子供与体の供給が制限因子になっていると報告されている。活性汚泥においても同様に好気条件でも硫酸塩還元が起こりうるものと考えられる。

Fig. 8はPoint 1における硫酸塩濃度と糸状体長の関係を示したものである。硫酸塩濃度が低い場合にバルキングが起こりやすい傾向が認められた。実処理場に於ても硫酸塩還元が糸状性硫黄細菌の増殖の一因となっていたことが考えられる。

### 3. 3 硫酸塩還元菌数および硫酸塩還元速度とバルキングの関係

硫酸塩還元菌は活性汚泥中に $10^6 \sim 10^8$ MPN/mgMLSS存在していた。流入下水中の硫酸塩還元菌数は $10^5 \sim 10^7$ MPN/L程度であったので、活性汚泥中に硫酸塩還元菌が増殖しているものと考えられる。筆者らは、室内実験において、バルキング活性汚泥中に $10^6 \sim 10^8$ MPN/gMLSSと同程度の硫酸塩還元菌を計数している。また、脱窒を行う活性汚泥中ではバルキングが抑制され、そのときの硫酸塩還元菌数は $10^4$ MPN/gMLSS以下になることを経験した<sup>9)</sup>。実処理場の活性汚泥中に硫酸塩還元菌が $10^6 \sim 10^8$ MPN/gMLSSと多く計数されたことは、硫酸塩還元菌が室内実験と同様に生態系に影響を及ぼし得ることを示している。Fig. 9は硫酸塩還元菌数と糸状体長の関係を示したものである。硫酸塩還元菌数が多いと糸状性細菌が多く増殖する傾向はやや認められたが、明確な相関は認められなかった。

Fig. 10は返送汚泥に流入下水を添加した嫌気性の回分実験の結果の一例を示したものである。硫酸塩が減少し硫化物が生成していることがわかる。また、硫酸塩還元とリンの放出が同時に起こっていることから、硫酸塩還元によるPoly-P蓄積菌への直接的影響は少ないと考えられる。Fig. 11は総ての回分実験における減少した硫酸塩濃度と生成した硫化物濃度の関係を示したものである。硫酸塩1分子が減少し硫化物1分子が生成していることから硫酸塩の減少は硫酸塩還元によるものであると判断できる。硫酸塩の減少速度から硫酸塩還元速度を求め、糸状体長との関係をFig. 12に示す。硫酸塩還元速度の速い活性汚泥は糸状性細

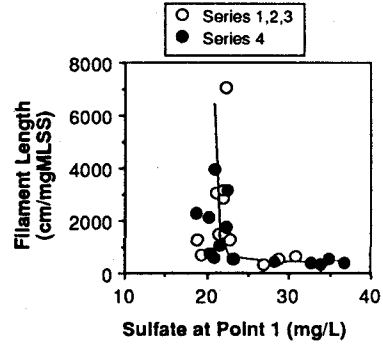


Fig. 8 Relationship between sulfate in the anaerobic-zone and filament length in the sludge.

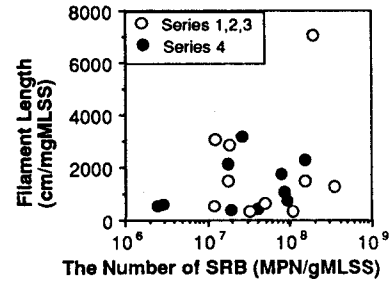


Fig. 9 Relationship between the number of sulfate reducing bacteria (SRB) and filament length in the sludge.

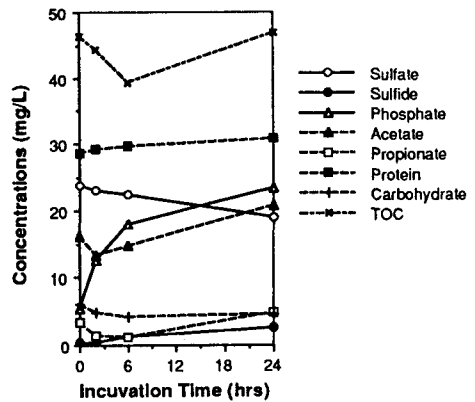


Fig. 10 A result of batch experiment.

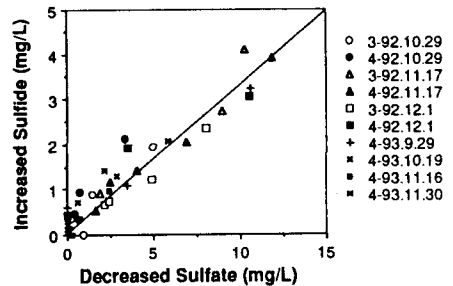


Fig. 11 Relationship between decreased sulfate and increased sulfide in all batch experiments.

菌の現存量が多いことがわかる。回分実験における硫酸塩還元速度は活性汚泥の硫酸塩還元活性を表していると考えられるので、硫酸塩還元が活発に起こると生成した硫化物を利用できる糸状性硫黄細菌にとって有利な条件となるものと考えられる。筆者らは、グルコースとエタノールを用いた室内実験において、活性汚泥中の硫酸塩還元菌数と硫酸塩還元速度はほぼ一致し、単位硫酸塩還元菌の硫酸塩還元速度は $10^6 \sim 10^7$ MPN/hr.であったと報告している<sup>9)</sup>。本研究で得られた実処理場の活性汚泥の単位硫酸塩還元菌の硫酸塩還元速度は $10^8 \sim 10^9$ MPN/hr.であり、室内実験で得られた速度よりも2オーダー低かった。この理由として、実処理場の場合流入下水中の硫酸塩還元菌の影響があること、硫酸塩還元菌の測定では硫酸塩還元能のある細菌を全て計数するために、実処理場の様に複雑な生態系の場合には必ずしも活性とは一致しないこと、流入下水中の有機物が複雑であるために、硫酸塩還元速度が遅くなること等があげられる。硫酸塩還元速度と糸状体長の相関が高いにも関わらず、Fig. 9に示したように硫酸塩還元菌数と糸状体長の相関が低いのも上記の理由によると考えられる。

Fig. 13は返送汚泥の貯留実験の結果の一例を示したものである。回分実験と比較すると遅い速度であるが有機物を添加しないにも関わらず硫酸塩還元が起こっている。これは硫酸塩還元が汚泥の自己分解産物を利用することができることを示している。貯留実験では反応槽を密閉していないために、硫化物の気相への拡散が起こり、検出された硫化物濃度は硫酸塩の減少量よりも少なかった。また、回分実験と同様に硫酸塩還元と同時にりん放出が認められた。硫酸塩の減少速度から硫酸塩還元速度を求めて糸状体長との関係をFig. 14に示す。貯留実験においても硫酸塩還元速度が速いと糸状性細菌の現存量が多いという明確な関係が認められた。Fig. 15は硫酸塩還元速度とりんの最大放出量の関係を示したものである。硫酸塩還元速度の速い活性汚泥はりんの放出量が少ない傾向が認められた。硫酸塩還元菌とPoly-P蓄積菌の間に何らかの競合関係もしくは阻害関係があり、硫酸塩還元の活発化により汚泥のりん蓄積量が減少したものと考えられる。

### 3. 4 硫酸塩還元菌、糸状性硫黄細菌およびPoly-P蓄積菌の関係

以上の結果より、実下水処理場における硫酸塩還元菌、糸状性硫黄細菌およびPoly-P蓄積菌の関係をFig. 16のように推定することができる。糸状性細菌が多く増殖した場合には処理槽内の硫酸濃度が低くなること回分実験

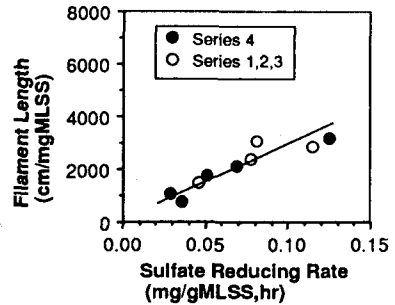


Fig. 12 Relationship between sulfate reducing rate obtained from the batch experiments and filament length in the sludge.

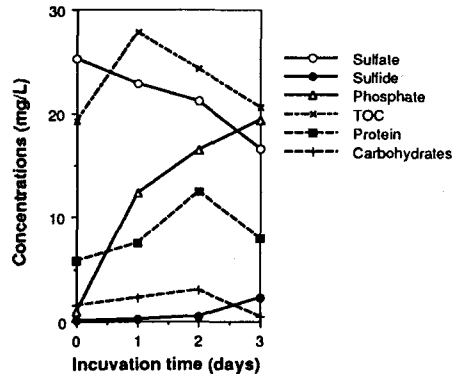


Fig. 13 A result of storage experiments.

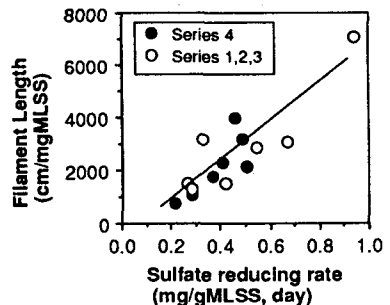


Fig. 14 Relationship between sulfate reducing rate obtained from the storage experiments and filament length in the activated sludge.

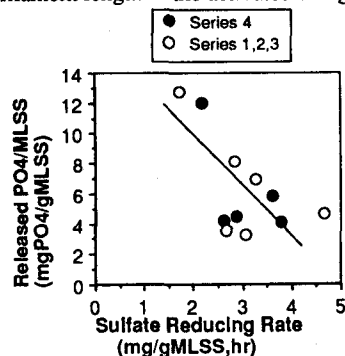


Fig. 15 Relationship between sulfate reducing rate and released phosphate in the storage experiments

および貯留実験で求められた硫酸塩還元速度が速いことから、活性汚泥中で硫酸塩還元菌により生成した硫化物を糸状性硫黄細菌Type 021Nが酸化するという硫黄のサイクルが形成され、硫酸塩還元が起こるとType 021Nの増殖に有利になると考えられる。糸状性細菌とPoly-P蓄積菌の間に直接的関係はなく、硫酸塩還元が起こるとりんの放出が抑制されることが、りんの放出量と糸状性細菌の現存量の関係として現れたものと考えられる。

筆者らは、室内実験において硫酸塩還元菌の阻害剤であるモリブデンを添加するとバルキングが完全に抑制されることを報告している<sup>6)</sup>。モリブデンの添加は実用的でないが、何らかの形で硫酸塩還元を抑制するれば、バルキングを制御することが可能である。本研究で対象とした都市下水処理場は、全系列嫌気好気運転を行っており標準法と対比を行うことができなかったために、嫌気好気法によるバルキングの抑制に硫酸塩還元が直接的に関わっているかどうかについては明らかにすることができなかった。嫌気部の付加は一見すると硫酸塩還元菌にとって有利な条件ではあるが、本研究結果から、バルキングが抑制されているときには硫酸塩還元も抑制傾向にあったことから、嫌気好気条件の設定方法によって、硫酸塩還元が抑制された場合にバルキングが抑制されるものと考えられる。前述したように、硫酸塩還元は利用できる電子供与体の供給によって制限される。都市下水のような複雑な有機物が供給された場合、硫酸塩還元菌が直接利用できる有機物は少なく、好気条件で他の微生物によって生成された低分子化合物を主に利用すると考えられる。嫌気好気法では、標準法に比べ硫酸塩還元菌に有機物が供給されにくいことが予想される。今後、活性汚泥中の硫酸塩還元菌の利用する有機物を明らかとし、それを制限する方法を開発する必要がある。

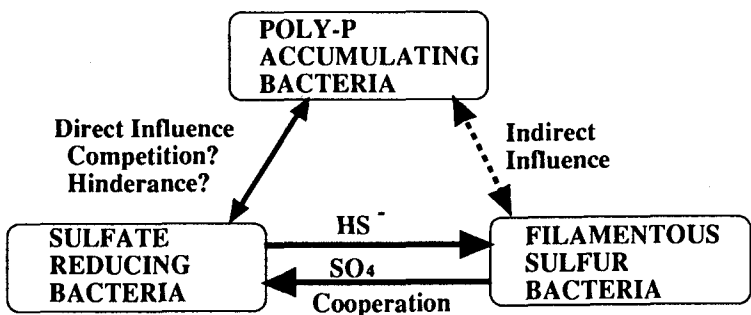


Fig. 16 Interactions among Sulfate reducing bacteria, filament sulfur bacteria and poly-P accumulating bacteria.

#### 4. 結 言

嫌気好気法を採用している都市下水処理場の調査を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 嫌気好気法に、バルキング抑制効果が認められたが、その効果は絶対的なものではなかった。
- 2) 嫌気槽におけるりんの放出量が多いと糸状性細菌が少ない傾向が認められたが、嫌気部における有機物の残存量との関係は認められなかったことから、Poly-P蓄積菌と糸状性細菌の有機物摂取をめぐる競合関係以外にもバルキング抑制因子があると考えられた。
- 4) 槽内の硫酸塩濃度が低いときに、バルキングが起りやすい傾向にあったことから、活性汚泥中でも硫酸塩還元が起りバルキングの一因となると考えられた。
- 5) 流入下水を添加した嫌气的回分実験により硫酸塩還元速度を求めた結果、硫酸塩還元速度が速いと糸状性細菌の現存量が多いという明確な関連があった。
- 6) 返送汚泥を貯留することによっても硫酸塩還元が起り、その速度が速いと糸状性細菌の現存量が多い関係があった。また、硫酸塩還元速度が速い場合にりんの放出量が少ない傾向が認められた。



以上の結果から、実下水処理場においても、硫酸塩還元がType 021Nの増殖に起因するバルキングの一因となっていることが明らかとなった。

<謝辞> 本研究に協力をいただきました金沢大学工学部卒業生、庵昌也氏、山田泰久氏、早津隆広氏、濱本幸一氏に感謝いたします。本研究の一部は、文部省科学研究費補助金奨励研究A(No.02855141、05750519)の補助により行いました。

<参考文献>

- 1) 中村正雄・境好雄・河野哲郎：下水処理場における糸状性バルキングについて、下水道協会誌、Vol. 22, No. 252, pp. 2-12.
- 2) Kohno, T. and Inomata, S. (1989). Discrimination, physiology and dissimilatory sulfur nutrition of filamentous bacteria in activated sludge. *Journal of Water and Waste*, Vol. 31, pp. 17-41, in Japanese, 1989.
- 3) Williams T. M. and Unz R. F.: Filamentous sulphur bacteria of activated sludge: Characterization of Thiothrix, Beggiatoa, and Eikelboom type 021N strains. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 49, pp. 887-898, 1985.
- 4) Yamamoto, R. I., Komori, T. and Matsui, S.: Filamentous bulking and hindrance of phosphate removal due to sulfate reduction in activated sludge. *Wat. Sci. Tech.*, obtained from the storage experiments Vol. 23, 927-935pp., 1991.
- 5) 山本（池本）良子・小森友明・松井三郎：酢酸とペプトンで馴養した活性汚泥における硫酸塩還元と糸状性バルキングの関係、衛生工学研究論文集、Vol. 28, pp. 93-103, 1992.
- 6) Yamamoto-Ikemoto, R., Matsui S., and Komori, T.: Ecological interactions among denitrification, poly-P accumulation, sulfate reduction, and filamentous sulfur bacteria in activated sludge., *Water Quality International '94, Budapest*, 1994.
- 7) 橋本奨他10名：特集／バルキング対策を考える－活性汚泥の固液分離障害くその1＞－、月刊下水道、Vol. 13, No. 3, 1990.
- 8) Shao, Y. J. and Jenkins, D.: The use of anaerobic selectors for the control of low F/M activated sludge bulking. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 21, pp. 609-619, 1989.
- 9) Wanner, J., Kucman, K., Ottova, V. and Grau, P.: Effect of anaerobic conditions on activated sludge filamentous bulking in laboratory systems. *Water. Res.*, Vol. 12, pp. 1541-1546, 1987.
- 10) Wanner, J. and Grau, P.: Filamentous bulking in nutrient removal activated sludge systems. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 21 No. 4/5, pp. 1-8, 1988.