研究論文

糸状性バルキングにおける界面活性剤と無機担体併用による沈降性改善相乗効果

The Synergy to Improve the Settleability by Using the Inorganic Powder with the Nonionic Surfactant for Filamentous Bulking

北 辻 桂*・浅 野 美 登*・深 瀬 哲 朗*

ABSTRACT

When the bulking was caused not only by filamentous bulking, but also by other reasons such as dispersed microorganisms, the addition of the surfactant could not work out perfectly. In this case, adding the inorganic powder to the bulking sludge resulted in an overall increase in density and thereby an increase in the settling velocity. It was proved that the addition of the inorganic powder after lysing filamentous bacteria by the nonionic surfactant were efficient to solve compound bulking in the activated sludge process.

Key Words : activated sludge, bulking, filamentous bacteria, nonionic surfactant, inorganic powder

要 旨

糸状性細菌が主なバルキングの原因ではあるが、他の沈降阻害要因が存在する複合的な糸状性バルキングでは、糸状性細菌の溶菌だけでは沈降性改善が不十分な場合がある。そのような糸状性バルキングに対して、ノニオン界面活性剤により糸状性細菌を溶菌した後に無機担体添加による汚泥比重の増加を試みた。実機試験において、ノニオン界面活性剤による糸状性細菌溶菌だけではほぼ完全に糸状性細菌が溶菌しても、沈降性の改善が小さかった。しかし、鉄鋼水砕スラグを無機担体として添加することによって、比重増加の相乗効果により活性汚泥の沈降性は著しく向上した。沈降性の悪化に糸状性細菌以外の要因がある糸状性バルキングにおいても、十分な沈降性改善が可能となった。

キーワード：活性汚泥、バルキング、糸状性細菌、ノニオン界面活性剤、無機担体

1. はじめに

活性汚泥法での排水処理において、固液分離の確保が絶対条件となっている。活性汚泥の沈降性が確保されないと、活性汚泥が沈殿槽より流出し、良好な処理水が得られない。沈降性を悪化させる原因はさまざまに存在する¹⁾が、最も多発する現象には糸状性バルキングが考えられる。

我々は糸状性バルキングに薬剤で対処する方針で研究を開始し、界面活性剤が糸状性細菌を選択的に溶菌させることを見出した。なかでもノニオン界面活性剤のドデシルエーテルポリオキシエチレン7モ

ル付加物(HLB14)が効果的であった²⁾。ドデシルエーテルポリオキシエチレン7モル付加物を使用して、実機においてさまざまな種類の糸状性細菌によりバルキングしている活性汚泥で糸状性細菌を溶菌させて、糸状性バルキングを解消できることを証明してきた²⁻⁵⁾。我々は検討対象として製造業を中心とした産業排水の分野を中心に研究を進めてきた。産業排水の分野でのバルキングの中には糸状性バルキングではあるが、糸状性細菌以外の要因も沈降性の悪化に大きく影響して、糸状性細菌の溶菌のみでは十分な沈降性が確保できない場合が存在した。

糸状性細菌はフロックを形成する骨格となること

* 栗田工業株式会社技術開発センター
Katsura KITATSUJI, Yoshito ASANO, Tetsuro FUKASE

1998年8月3日受付
1998年9月24日受理

が知られている^{6),7)}。極度の糸状性バルキングでは糸状性細菌を骨格としても、非常に長い糸状体の周囲にフロック形成菌が凝集しており、長く増殖した糸状性細菌を除去してもフロックは球状とならず歪んだ形状となることやフロックが空間を抱えるような形状になることがある。これが原因で、全体の密度が低くなることが、沈降性を確保できない原因と考えられた。このような場合、必要な固液分離性を確保するためにはさらに沈降性を向上させる手段が必要であり、糸状性細菌を溶菌除去する以外にフロックの密度を増加、すなわち活性汚泥の比重を増加させる必要があると判断された。

そこで活性汚泥の比重増加手段として、従来より活性汚泥の沈降性を改善するために使用されている比重の重い無機担体添加に着目した^{8)~16)}。無機担体による活性汚泥の沈降性改善については、従来より活性炭、アンスラサイト、ゼオライト、石炭灰などの多くの物質が沈降促進剤として研究されていて、その添加により活性汚泥の沈降性を改善できることが基礎的試験により知られている。これを利用して、ノニオン界面活性剤による糸状性細菌溶菌の後、無機担体の添加によるフロック比重の増大を試みた。その結果、この2つの方法により、極めて沈降性の悪い糸状性バルキングで非常に顕著に沈降性を改善することができたので報告する。

2. 方 法

2.1 界面活性剤使用量の決定

糸状性細菌を溶菌するために、ノニオン界面活性剤ドデシルエーテルポリオキシエチレン7モル付加物を使用した。糸状性バルキング汚泥は採取後3日以内のサンプルを使用した。サンプル保存は輸送時も含めて、 -4°C に保った。必要添加量はサンプル毎に回分法によって決定した。200 ml ビーカーに100 ml の糸状性バルキング活性汚泥を入れ、ドデシルエーテルポリオキシエチレン7モル付加物を任意量添加した後、室温でマグネティックスターラーを使用して200 rpm 以下で緩やかに攪拌した。12時間後に活性汚泥を顕微鏡観察した^{4),5)}。この時、目視において、約70%以上溶菌が確認できた濃度を必要添加濃度とした。

2.2 無機担体の選定と沈降性試験

無機担体はカオリン(岩尾磁器製)、木節粘土(岩尾磁器製)、セピオライト(クニミネ工業製)、高炉

水砕スラグ(新日鐵製)を選択した。1 l ビーカーに対象となる曝気槽液を1 l 入れ、マグネティックスターラーによって強く攪拌しながら、無機担体を粉体のまま固まりの生じないようにゆっくりと任意量添加した。さらに30分間マグネティックスターラーにより500 rpm で攪拌した。その後1 l メスシリンダーに移しSVを測定した。

2.3 残存無機担体量の測定

残存無機担体はMLSSとMLVSSを測定した後計算により求めた。無機担体添加前のMLVSSと無機分の比率を測定し、この比率が変化しないと仮定して、無機担体添加後のMLVSSより比例計算で活性汚泥由来の無機分を計算した。実際のMLSSからMLVSSと計算により算出した活性汚泥由来の無機分を引いて、残存無機担体量とした。

2.4 実機試験

回分試験の結果に従って実機試験を実施した。糸状性細菌溶菌のために使用したノニオン界面活性剤は20%水溶液にしてポンプにより、曝気槽入り口に投入した。添加は30分以内に終了した。ノニオン界面活性剤の投入直後に発泡が生じる場合には、その解消のためにシリコン系消泡剤を5-10 mg/l 添加した。糸状性細菌の溶菌を確認した後、無機担体は曝気槽上部より旋回流により上昇流が生じている場所に粉体のまま投入した。

3. 結 果

3.1 無機担体の選択

比較的多量入手の制約が少ないと思われる無機担体を4種類選び、担体による沈降性改善効果を調べた。無機担体を添加してうまく活性汚泥に取り込まれれば、フロックの比重が必ず増加する。そのため、糸状性バルキング以外のバルキングでも沈降性を改善することができるはずである。ここでは対象を糸状性バルキングに定めているため、最初に糸状性バルキングで沈降性が悪化している活性汚泥で無機担体の効果を調べた。

図-1にMLSS 2,640 mg/l の糸状性バルキング活性汚泥に2 g/l の無機担体を添加した後の圧密の結果を示す。攪拌終了後から300分までの圧密では選択した4種類の担体による有意差は認められなかった。長期間に渉る担体の保持能等の条件を考慮しない場合、すなわち短時間の攪拌による活性汚泥への混入試験で見る限り、沈降性は添加した担体の量に

図一 無機担体の比較

依存していると考えられた。活性汚泥の沈降は直線的であり、一定の割合で沈降していった。当初想定した目的には4種類の担体の差はないと判断できたので、一定品質の物が多量に安価に入手できること、配送が容易なこと、長期の使用でも脱落せずに効果を発揮することなどを考慮して、高炉水砕スラグを無機担体として選択した¹⁷⁻¹⁹⁾。

3.2 糸状性バルキング以外のバルキングに対する無機担体の効果

糸状性バルキングに対する無機担体の沈降性改善効果はあまり大きくなかった。これは糸状性細菌がフロック周辺に広く繁殖しているため、糸状性細菌とフロックを合わせた全体の体積が大きくなって、単位体積に含まれる担体の量が少なくなって比重上昇が小さくなるためと考えられた。そこで、フロック自体の比重上昇効果を見るために、糸状性バルキングではないが、沈降性の悪い活性汚泥に対する無機担体（高炉水砕スラグ）の効果を調べた。対象としたバルキング汚泥のMLSSは4,070 mg/ℓであり、糸状性細菌はほとんど存在しなかった。ビーカー添加試験を行い、大きく沈降性が改善する添加量を測定した。図一2に高炉水砕スラグを2 g/ℓ添加した結果を示す。沈降性の改善が大きく、速やかに沈降し圧密した。このことから糸状性バルキングではないが、何らかの原因で沈降性が悪化している場合、無機担体は効果が大きいことがわかった。糸状性バルキングにおいても糸状性細菌が消滅した後、無機担体を添加すると同様の効果が得られる可能性が示唆された。

3.3 糸状性バルキングに対する無機担体単独使用での沈降性改善

我々は以前の報告で糸状性バルキングに対し、糸状性細菌を溶菌させることで活性汚泥の沈降性を著しく改善できることを報告した⁴⁾。それに対して無機担体の添加でも図一1から推測されるように効果は小さいが、沈降性は改善できると考えられた。そこで、実機において無機担体単独での糸状性バルキング改善効果を調べた。試験はタイプ021Nにより糸状性バルキングが発生しているH工業を対象とした。H工業の装置と運転概要を表1

に示す。試験時にMLSSは4,130 mg/ℓであり、図一3に示すように回分試験において高炉水砕スラグ添加による沈降性改善が現れた。1 g/ℓでは沈降性改善は非常に小さかったため、2 g/ℓの添加で沈降性を改善することにした。

図一4に無機担体投入後の沈降性の推移を示す。無機物を多量に投入して見かけのMLSSが増加す

表1 H工業の排水処理装置および運転概要

装置	
曝気槽	2000 m ³
沈殿槽	500 m ³
運転条件	
原水濃度 BOD	900 mg/ℓ
原水流入量	2300 m ³ /日
pH	7.0
水温	30°C
容積負荷	1.03 kg-BOD/m ³ 日
MLSS	4130 mg/ℓ
MLVSS	3190 mg/ℓ
汚泥総量 (概算)	10575 kg (乾燥重量)
平均余剰汚泥量	800 kg/日

図二 糸状性以外のバルキングに対する無機担体の効果

図一 3 無機担体による糸状性バルキングの沈降性改善

図一 4 無機担体添加後の沈降性

ることや余剰汚泥の引抜きによって無機比率は減少し、MLSSでの評価は複雑になるため、MLVSSにより評価した。無機担体添加により沈降性は改善したが、余剰汚泥の引抜きが進むにつれて再び沈降性は悪化していった。表1に示した汚泥総量と余剰汚泥量からこの装置のSRTは約13日と推定された。その時、無機担体が1/2に減少するには $t = -SRT \cdot \ln(1/2)$ の式より約9日と計算された。

図一3から、残存する無機担体量が1g/lでは沈降性改善への寄与は小さいことが推測され、図一4に見られるように実際の沈降性は11日でほぼ元の値に戻っていた。この時に実測した担体含有量は約0.6g/lであり、ほぼ計算通り約2週間で元の沈降性に戻ったと考えられた。この間、顕微鏡観察では担体添加によって、糸状性細菌が減少したりフロックが大きくなるなどの活性汚泥の状態が変化することはなかった。この試験における糸状性バルキングへの

無機担体の重量効果は、活性汚泥中に含有される量に依存するため、十分な量が含まれている短期間だけ効果が存在すると思われた。

3.4 界面活性剤と無機担体の併用による沈降性改善相乗効果

無機担体だけで糸状性バルキングに対処するためには常に一定量の担体を存在させなければならず、余剰汚泥を引き抜く毎に補給する必要があるが無駄が多い。そのため、糸状性バルキングに対応するためには、糸状性細菌を駆除することが必須であると考えられた。我々はこれまでにノニオン界面活性剤で糸状性細菌を溶菌させることにより、糸状性バルキングの解消を行ってきた。それによれば、激しい糸状性バルキングではフロック形状などの点で、糸状性細菌が見当たらなくなっても元々糸状性細菌の存在しない活性汚泥ほど沈降性が良くならない場合があることを確認している。そこで糸状性細菌の溶

菌・駆除とフロック比重の増加を組み合わせ、さらに沈降性の良い活性汚泥に改質することを試みた。

3.4.1 糸状性細菌溶菌と無機担体添加

T食品ではタイプ1701により非常に激しい糸状性バルキング (MLSS 4,000 mg/ℓ, SVI 1,600 ml/g) が発生していた。回分試験によりノニオン界面活性剤の糸状性細菌溶菌濃度を確認すると200 mg/ℓで十分に溶菌した。しかし、この時のSVIを測定すると720 ml/gにしか低下せず、沈降性改善はやや小さかった。活性汚泥の状態を顕微鏡観察すると、糸状性細菌が小さなフロック間でも架橋的に増殖し、そこにフロック形成菌が付着せずに空間が目立った。さらにMLVSSを測定すると3,450 mg/ℓであり、VSS比率は約95%と無機分の比率が極端に低かった。これらの状態より、フロック自体の密度や凝集性などに問題があり^{20),21)}、糸状性細菌を駆除しただけでは沈降性改善は不十分であると考えられた。そのため、さらに沈降性を改善するために高炉水砕スラグを併用することにした。図一5に示すように高炉水砕スラグ単独では2 g/ℓ添加しても沈降性への影響は小さかった。しかし、糸状性細菌を溶菌した後に高炉水砕スラグを添加すると沈降性は飛躍的に上昇した。

3.4.2 実機による沈降性改善相乗効果の確認

回分試験において、ノニオン界面活性剤による糸状性細菌溶菌と高炉水砕スラグによるフロック比重向上の相乗効果は非常に大きいことがわかった。そこで、激しいバルキングにより運転が困難な状態に陥っていたT食品において、実機での相乗効果を確認した。T食品の装置と運転概要を表2に示す。装置は回分処理であり、工場操業中の約8時間に集中して処理原水が曝気槽に流入し、夜間に曝気を止めて汚泥を沈降させた後に放流するという操作法にな

っていた。しかし、活性汚泥の沈降性が悪い場合は、回分式処理であるので汚泥を沈降させるために時間がかかる。そのため、十分な曝気時間が確保できずに、処理水のCOD値が高い場合も多かった。糸状性細菌を一度に溶菌させるとその成分により処理水質が一時的に悪化することがわかっていった。しかし、今回の実機試験においては後段には砂ろ過と活性炭塔があり、糸状性細菌の溶菌による処理水質の悪化に対応可能であった。そのため、界面活性剤を十分な溶菌が確認できる250 mg/ℓ添加した。糸状性細菌の溶菌は工場の操業が低下する休日を利用して実施し、約30時間の反応時間を取った。

その結果、写真1中段に示すように糸状性細菌はほぼ溶菌して、糸状性細菌の駆除は目的を達した。その後、高炉水砕スラグを2 g/ℓ、曝気槽に投入した。両方の処理による沈降性の改善を図一6に示す。高炉水砕スラグは活性汚泥に良く定着し、明らかに密度増加に寄与していて、写真1下段に示したように状態の良い活性汚泥フロックになった。なお、無機担体だけの試験同様に、沈降性の評価にはMLVSSを使用した。糸状性細菌の溶菌によりMLVSSでのSVIは820 ml/gに低下し、高炉水砕スラグの添加によりさらに220 ml/gにまで低下した。

放流時の沈降状況を観察すると、糸状性細菌の溶菌のみの場合でも通常の沈降時間をとれば放流に支障はなかった。水砕スラグの添加により沈降に必要な時間は著しく短縮されて、十分な曝気時間が確保できるようになった。そのため、従来は放流水がCOD_{Mn}で50 mg/ℓを上回ることもあったが、処理水のCOD_{Mn}は図一7に見られるように糸状性細菌溶菌直後は溶菌由来成分によりやや上昇したものの、そ

図一5 糸状性細菌溶菌と無機担体添加の相乗効果

表2 T食品の排水処理装置および運転概要

装置	
曝気槽	1600 m ³
回分処理、沈殿槽無し	
運転条件	
原水濃度 BOD	1500 mg/ℓ
原水流入量	400 m ³ /日
pH	7.4
水温	28°C
容積負荷	0.38 kg-BOD/m ³ 日
MLSS	3630 mg/ℓ
MLVSS	3450 mg/ℓ
汚泥総量	5808 kg (乾燥重量)
平均余剰汚泥量	300 kg/日

図－6 界面活性剤と無機担体の相乗効果による沈降性改善（実機）

の後は低下して常時10 mg/ℓ前後となり、処理水水質は非常に向上した。

T食品の SRT は約19日であり、余剰汚泥の引抜きを考えればH工業同様、無機担体量は約13日程度で半減して無機担体の効果は小さくなるはずである。しかし、T食品においては、図－6に見られるように24日後でも安定した沈降性が得られていた。さらに50日後でも、SVIは200 ml/g 前後で安定していた。顕微鏡観察では活性汚泥構成菌が無機担体を核としてフロックを形成していき、空間のない密度の高いフロックができたためと推測された。

4. 考 察

4.1 無機担体の選択について

今回の無機担体使用の意図は活性汚泥の比重増大にあった。無機担体には多種多様な材料があり、単なる比重の効果だけではなくその他の効果があるとされている材料がある。たとえば活性炭は糸状性細菌を消滅させる¹²⁾、高炉水砕スラグは成分中のカルシウムが溶出して活性汚泥の表面電荷を中和してフロックを形成しやすくする¹⁷⁻¹⁹⁾などのことが報告されている。本検討では、短時間に比重を増加させるということのみに着目したため、添加量が主要な因子となり、材料の差は認められなかった。活性汚泥に吸着される大きさの粒子であれば良いと考えられた。今回選択した高炉水砕スラグは平均粒径が12 μm であり、活性汚泥に均一に吸着され、一度吸着されるとほとんど脱落することはない、結果的ではあるが、長期でも今回の目的に適している優れた素材であった。

写真1 糸状性細菌の溶菌（T食品）

上段：添加前，中段：添加後，下段：スラグの定着

図-7 処理水水質の変化

4.2 無機担体との併用

無機担体は活性汚泥の比重を増加させるので、沈降性の悪化した活性汚泥に必要な添加量を投入・定着させることができるならば、すべて効果を表すと考えられる。産業排水の分野では糸状性バルキング以外にも粘性バルキング^{22),23)}などのバルキング現象が発生する。コスト・手間・担体定着等の面を無視すれば、無機担体は糸状性バルキングも含めてバルキングすべてに対応可能であるといえる。しかし、今回示したように無機担体は一定の比率以上に常に活性汚泥中に存在しなければならず、無機担体のみで沈降性を確保しようとすると、継続的に添加し続けねばならない。また、糸状性バルキングは菌の空間的な広がりから無機担体の比重増加効果が出にくく、非常に多量の添加が必要になる。今回の検討でも図-5に示したように、2 g/l程度の添加ではほとんど沈降性を改善しない場合も多い。また、実機を想定した場合、多量に大容量の曝気槽に投入するには価格や供給面からの制約もある。そのため、無機担体のみでバルキングに対応することは無駄の多い対応法であると考えられる。

我々は糸状性細菌の溶菌が糸状性バルキングに有効であることを示してきた。一方、糸状性バルキングが沈降性悪化の最大要因であっても、さらに他の要因も存在することが少なくない²⁴⁾。今回の結果により、このような場合には無機担体の併用が有効であることが分かった。溶菌処理後の無機担体は沈降性を大幅に改善させた。糸状性バルキングではフロック自体が歪んだ形状であったり、空間を多く抱えたフロックとなっていることがある。今回の検討でも無機担体の添加後はフロックの形状が整い、密度

が増加して良好な活性汚泥に変わったことを観察でき、糸状性細菌溶菌とフロック比重増大の連続した処理の有効性は非常に大きいことが示された。また、密度の高いフロックを一度形成させれば、余剰汚泥の引抜きで無機担体が減少しても、良好な沈降性が長期に確保されることがわかった。界面活性剤の溶菌と無機担体の添加により、それぞれの単独の効果以外にフロック形成促進作用が現れて、活性汚泥を良好な状態に改質できたと考えられる。

本研究を含む我々の一連の糸状性バルキングへの対応²⁻⁵⁾は、糸状性細菌によって沈降性が悪化した処理場に非常に有効な手段を提供できたと確信している。

5. ま と め

複合的な沈降性悪化要因がある糸状性バルキングに対して、ノニオン界面活性剤による糸状性細菌溶菌と無機担体添加による比重上昇を同時に実施した。それによって、極めて沈降性の悪い糸状性バルキング汚泥を非常に沈降性の良い活性汚泥に改質することができた。

- 1) 活性汚泥の比重を上げるために4種類の担体を比較した。沈降性の改善は材料による差は小さく、添加した担体量に依存した。
- 2) 糸状性バルキングに無機担体だけで対応すると、活性汚泥中の担体の残存量に沈降性は依存するため、余剰汚泥の引抜きにより、徐々に沈降性は元の値に戻っていった。
- 3) 糸状性細菌以外に沈降性を悪化させている要因が存在する活性汚泥に対し、溶菌を行った後に、無機担体である高炉水砕スラグを添加した。糸

状性細菌の溶菌と無機担体の加重の相乗効果により、活性汚泥の沈降性は飛躍的に改善した。

謝辞：本研究をまとめるにあたり有益なご助言を頂きました京都大学教授松井三郎先生に深謝いたします。

参考文献

- 1) Pipes, W. O. (1969): Types of activated sludge which separate poorly, J. Wat. Pollut. Control Fed., **41**, 714-724
- 2) 北辻 桂, 深瀬哲朗(1999): ノニオン界面活性剤添加による糸状性細菌溶菌に起因する処理水 COD 上昇の防止, 環境技術, **28** (No.1), 59-65
- 3) Kitatsuji, K., Miyata, H. and Fukase, T. (1996): Lysis of filamentous bacteria by surfactants, Wat. Sci. Tech., **34**, 145-153
- 4) 北辻 桂, 深瀬哲朗(1998): ノニオン界面活性剤ドデシルエーテルポリオキシエチレン付加物による糸状性バルキングの解消, 環境技術, **27** (No.10), 48-56
- 5) Kitatsuji, K., Miyata, H. and Fukase, T. (1996): Isolation of microorganisms that lyse filamentous bacteria and characterization of the lytic substance secreted by *Bacillus polymyxa*, J. Ferment. Bioeng., **82**, 323-327
- 6) Sezgin, M., Jenkins, D., and Parker, D. S. (1978): A unified theory of filamentous activated sludge bulking, J. water Polln. Control Fedn., **50**, 362-381
- 7) Sezgin, M., Palm, J. H. and Jenkins, D. (1980): The role of filamentous micro-organisms in activated sludge settling, Prog. Water, Technol., **12**, 171-182
- 8) 三木 理, 嘉森裕史, 藤井正博(1993): 下水の活性汚泥処理に用いる無機系担体の性能評価, 下水道協会誌論文集, **30**, 72-83
- 9) 戸塚好之, 松本 豊, 杉山 昌(1984): 流動媒体を用いた排水処理, PPM, **15**, 41-48
- 10) 野納敏展 (1987): クリストバライトを用いた活性汚泥の沈降性改善, PPM, **18**, 21-26
- 11) 阿部時男, 小島秀行, 菅井 修(1987): 石炭灰添加によるバルキング抑制, 下水道協会誌, **24**, 34-40
- 12) Rudolph, W. and Trobnic, E. H. (1935): Activated carbon in sewage treatment, Sewage Works Journal, **7**, 852
- 13) Hamoda, M. F. and Fahim, M. A. (1984): Enhanced activated sludge waste treatment by the addition of adsorbent. Environmental Pollution, **36**, 283-294
- 14) Kesraoui-Ouki, S., Cheeseman, C. R. and Perry, R. (1994): Natural zeolite utilisation in pollution control: a review of applications to metal's effluents, J. Chem. tech. Biotechnol., **59**, 121-126
- 15) Cailleaux, C., Pujol, E., de Dianous, F. and Druoton, J. C. (1992): Study of weighted flocculation in view of a new type of clarifier, J. Water SRT-Aqua, **41**, 18-27
- 16) Chudoba, P. and Pannier, M. (1994): Use of clay to upgrade activated sludge process, Environmental Technology, **15**, 863-870
- 17) 福永和久, 藤井正博, 石谷邦治(1992): 高炉水砕スラグ微粉を用いた曝気沈殿一体型リアクターの処理特性, 下水道協会誌, **29**, 71-80
- 18) 三木 理, 嘉森裕史, 藤井正博(1993): 高炉水砕スラグを用いた下水の高効率活性汚泥処理技術の開発, 下水道協会論文集, **17**, 84-95
- 19) 三木 理, 嘉森裕史, 藤井正博(1994): 高炉水砕スラグ系担体を用いた難分解性廃水の生物学的処理, 水環境学会誌, **17**, 443-450
- 20) Tezuka, Y. (1969): Cation-dependent flocculation in a Flavobacterium species predominant in activated sludge, Appl. Microbiol., **17**, 222-226
- 21) Kakii, K., Kitamura, S., Shirakashi, T. and Kuriyama, M. (1985): Effects of calcium ions on sludge characteristics, J. Ferment. Technol., **63**, 263-275
- 22) 滝口 洋(1971): 活性汚泥中の粘質物に関する研究(第2報) 活性汚泥中の粘質物とその沈降性との関係, 用水と廃水, **13**, 414-419
- 23) 西川正三, 栗山光央(1974): 活性汚泥中の粘質物に関する研究(第2報) 活性汚泥中の粘質成分としての核酸, 醣酵工学, **52**, 335-338
- 24) Novak, L., Larrea, L., Wanner, J. and Garcia-Heras, J. L. (1994): Non-filamentous activated sludge bulking caused by Zoogloea, Wat. Sci. Tech., **29**, 301-304