

平成 21 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760369
 研究課題名（和文） 界面活性剤の流入・吸着ダイナミクスと生物学的リン除去に及ぼす影響
 研究課題名（英文） Effect of influent and adsorbed surfactants to enhanced biological phosphate removal
 研究代表者
 藤田 昌史（FUJITA MASAFUMI）
 茨城大学・工学部・講師
 研究者番号：60362084

研究成果の概要：

晴天日における流入下水や生活廃水中の LAS 濃度の日内変動を調べたところ、下水中の界面活性剤の主要な起源として、洗濯廃水が考えられた。そこで、界面活性剤として LAS を含む洗濯洗剤に着目し、ポリリン酸蓄積細菌群（PAOs）の有機物摂取に及ぼす影響を調べた。その結果、界面活性剤が PAOs の酢酸摂取効率を悪化させることに加えて、PAOs の潜在的な PHA 源として利用されることが確認され、PAOs に対して正と負の影響を及ぼすことが明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：生物学的リン除去、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩、ポリリン酸蓄積細菌群、嫌気有機物摂取

1. 研究開始当初の背景

近年、リン資源の希少性が世界的に強く認識されてきており、下廃水処理の分野でもリン回収の研究が精力的に行われている。リン回収の効率を向上させるためにも、安定した生物学的リン除去を達成することが重要となるが、現実には困難な状況にある。

生物学的リン除去が不安定になる要因としては、ポリリン酸蓄積細菌群（PAOs）とグリコーゲン蓄積細菌群（GAOs）との有機物競合や亜硝酸のリン摂取阻害など、生物反応槽における反応に係わるもの、下廃水の有機物負荷の低下や嫌気槽への硝酸の流入など、流入・返流条件に係わるもの、さらには、過

剰なエアレーションなど、運転操作条件に係わるものが、国内外の研究者により報告されているが、未だその機構は十分には説明できていない。その意味では、流入下廃水に含まれる化学物質に着目するなど、新しい視点を持つことが重要になるものと考えられる。

申請者らは、これまでに生物学的リン除去との係わりにおいては、国内外を問わず研究例のない流入下廃水に含まれる界面活性剤に着目して、嫌気条件における PAOs の酢酸摂取に及ぼす影響について、検討を進めてきた。下廃水に含まれる主要な界面活性剤としては、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩（LAS）やアルコールエトキシレート（AE）

が挙げられるが、活性汚泥に吸着されやすいことや好気条件に比べて嫌気条件では分解されにくいことが知られていることから、嫌気条件における PAOs の細胞膜を介した酢酸摂取過程に何らかの影響を及ぼすものと考え、界面活性剤の流入と活性汚泥表面への吸着のダイナミクスと生物学的リン除去の不安定性との関係を探る研究を着想した。

2. 研究の目的

(1) LAS と AE の流入と汚泥表面への吸着のダイナミクスを定量的に明らかにし、嫌気条件における PAOs の動態の不安定性に及ぼす機構を解明する。

(2) LAS と AE の PAOs の PHA 源としての役割を評価するために、嫌気条件におけるこれらの分解経路を明らかにする。さらに、低級脂肪酸以外の中間産物を利用する新規 PAOs を見出す。

3. 研究の方法

(1) 下水の採水

①流域終末下水

流域終末下水処理施設の嫌気槽に流入する最初沈殿池越流水を、採水対象とした。晴天時の平日において、3 時間コンポジットにて、24 時間にわたりオートサンプラー (Model 3700、ISCO 社) により採水した。

②住宅地域から排出された生活廃水

合流式下水道整備地区の上流部に位置する排水区域 (56.2ha) の最下流にあるマンホール部の管渠内を調査地点とした。晴天日の平日において、24 時間にわたり合計 25 回採水した。

(2) LAS の分析

採取した下水を孔径 0.3 μ m のガラス繊維ろ紙 (GF-75、ADVANTEC 社) を用いて、ろ過した。そして、ろ液とろ過残渣をそれぞれ、溶存態の LAS (D-LAS) と SS に吸着している LAS (A-LAS) の分析に供した。

本研究では、既報¹⁾で最も LAS の回収率が高かった BOND ELUT SAX (陰イオン交換樹脂カラム) を用いた。

D-LAS の分析では、この陰イオン交換樹脂カラムに、メタノール 20ml、pH2.5 になるように塩酸を添加した Milli-Q 水 20ml、そして、Milli-Q 水 50ml を順次、流出量が 1 秒間に 1 滴以下となるように流した。引き続き、ろ過済みの試料 100ml を同様にカラムに流して、LAS を吸着させた。その後、塩酸 (7N)・メタノール溶液 7ml (2:5, v/v) を流して、LAS を回収した。この回収液に、水酸化ナトリウム (7N) 2ml を添加して、HPLC (SCL-10A VP、Shimadzu 社) による分析に供した。移動相として、0.1M 過塩素酸ナトリウム・アセトニトリル混合液 (65:35, v/v) を流量 1.0ml \cdot min⁻¹ で、カラム温度を 40 $^{\circ}$ C に設定した ODS カラ

ム (ZORBAX-ODS、 ϕ 4.6 \times 250mm、Agilent 社) に流した。そして、蛍光検出器 (RF-10A XL、Shimadzu 社) により、アルキル基 C₁₀~C₁₄ の同族体をそれぞれ同定・定量した。これらの標準物質として、デシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液、ウンデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液、トリデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液、テトラデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液 (いずれも Wako 社) を用いた。なお、これらのすべての同族体の合計濃度を LAS 濃度とした。

A-LAS の分析では、試料 250ml のろ過残渣にメタノール 50ml を加えて、30 分間振盪抽出した。これを二度繰り返した。回収したメタノール抽出液は、ロータリーエバポレーターを用いて濃縮乾固した。その後、D-LAS と同様に HPLC 分析を行った。

(3) 洗濯洗剤を強制添加した都市下水を用いた連続処理実験

①嫌気好気回分式活性汚泥装置の運転

流域終末下水処理施設内に有効容積 20L の回分式反応装置を設置した。同施設の嫌気好気活性汚泥を植種し、最初沈殿池越流水を流入水として用いて、流入・攪拌工程 2.5 時間 (初期 0.5 時間で流入)、曝気工程 2.5 時間、沈殿・排水工程 1 時間、1 サイクルの合計 6 時間、HRT が 12 時間の嫌気好気回分式活性汚泥運転を行った。SRT は 10 日とした。そして、約 4 ヶ月間運転した。その後、流入水に対して 30mg-C/L となるように洗濯洗剤を添加して、実験を開始した。また、リンを安定して供給するために、37 日目以降、流入水に対して 2.5mg-P/L となるように、リン酸二水素カリウムの添加を開始した。この処理実験は、185 日目まで継続した。

②洗濯洗剤

洗剤には、界面活性剤成分として LAS と AE が合計 25%含まれていると表示されていた。LAS 含有率を実測したところ、13.0%であった。成分表示には、洗剤に含まれているすべての界面活性剤成分が記載されていない可能性があるが、ここでは残りの 12%は AE が占めているとした。また、洗剤の炭素含有率を調べたところ、18.2%であった。ここで、LAS と AE の炭素含有率をそれぞれ次の方法で求めた。LAS の炭素含有率は、アルキル基 C₁₀ から C₁₄ の成分の組成式と実測の含有量をもとに算出した。AE の炭素含有率は、エチレンオキシドのモル数が 10 (EO₁₀) を代表成分と想定して求めた。それぞれの炭素含有率は、61.7%と 61.0%と算出された。これに基づくと、界面活性剤に含まれる炭素は、洗剤全体の 84%を占めると見積もられた。

(4) PAOs の嫌氣的有機物摂取過程の評価

①酢酸または洗剤を添加した嫌気回分試験

実験期間中、酢酸または洗剤を十分量添加した嫌気回分試験を定期的実施して、リン放出速度、酢酸摂取速度、最大リン放出量を調べた。前述の回分式反応装置から曝気工程終了直前に汚泥混合液 300ml を採取し、2,100×g で 10 分間、遠心分離 (H-28F、KOKUSAN 社) して、上澄み液を取り除いた。そこに水道水を加えて、同様の作業を繰り返し、汚泥を洗浄した。一方、酢酸ナトリウムまたは洗剤をそれぞれの最終濃度が 100mg-C/L、50mg-C/L となるように、重曹の最終濃度が 130mg/L となるように、それぞれを十分量加えた。そして、pH7.2 に調整したものを試験液として準備した。この試験液と洗浄した汚泥ペレットを三角フラスコに入れて、水温 20℃、嫌気条件下で試験を開始した。24 時間にわたり定期的にサンプリングして、孔径 0.3μm のガラス繊維ろ紙によりろ過し、そのろ液をリン酸、酢酸の分析に供した。

② 酢酸摂取効率と最大リン放出量の算出

試験初期において、リン酸濃度が直線的に増加した部分に着目し、酢酸または洗剤を添加したときのリン放出速度をそれぞれ求めた。この間、pH の変化は 0.1 以内であったことを予め確認している。酢酸を添加した試験では、同時間帯の酢酸濃度の減少直線から酢酸摂取速度も算出した。そして、両速度の比、つまり $+\Delta P / -\Delta Ac$ (g-P/g-C) を求めた。

また、試験 16 時間以降は、リン酸濃度の増加がほとんど見られなくなったことから、これ以降の平均リン酸濃度を最大リン放出量 (mg-P/L) と定義した。そして、酢酸、洗剤を添加したときの最大リン放出量をそれぞれ P^{Ac} 、 P^{Det} として、 $(P^{Det} - P^{Ac}) / P^{Det}$ を百分率にて算出した。 P^{Ac} は、酢酸を摂取するために放出できる最大のリン量であるが、酢酸を摂取する PAOs が含有する可動態ポリリン酸 (以下、ポリリン酸) の量とも言い換えることができる。また、嫌気条件において、洗剤から酢酸が生成したことから、 P^{Det} は、酢酸を含めて洗剤に由来する有機物を摂取できる PAOs のポリリン酸量と見なすことができる。それゆえ、 $(P^{Det} - P^{Ac})$ は、洗剤由来の酢酸以外の有機物を摂取する PAOs のポリリン酸量を示し、それを P^{Det} で除した $(P^{Det} - P^{Ac}) / P^{Det}$ は、酢酸や洗剤由来の酢酸以外の有機物を摂取する PAOs の総ポリリン酸量に対する割合を意味する。

(5) 嫌気条件下で洗剤から生成した有機物のリン放出に対する寄与の評価

① 酢酸の生成速度の算出

嫌気条件における洗剤からの酢酸の生成を調べるためには、活性汚泥による酢酸の摂取を抑制させる必要がある。これは、事前に嫌気条件において活性汚泥に酢酸を十分に与え、PHA を十分量蓄積させることで対応できると考えた。

まず、採取した活性汚泥混合液に酢酸ナトリウムを最終濃度が 500mg-C/L となるように加えた。そして、攪拌と曝気を開始して、16 時間にわたり好気条件下で馴養した。次に、汚泥混合液を取り出し、2,100×g で 10 分間、遠心分離して、上澄み液を取り除いた。残った汚泥ペレットを用いて、(4) ①と同様の方法で、酢酸のみを添加して 8 時間にわたり嫌気条件下で馴養した。

次に、この前処理した汚泥を用いて、(4) ①と同様の方法で、洗剤のみを添加した嫌気回分試験を行った。定期的にサンプリングをして、孔径 0.3μm のガラス繊維ろ紙によりろ過し、そのろ液を酢酸の分析に供した。そして、リン放出速度を算出する方法と同様に、得られた酢酸濃度を用いて、洗剤からの酢酸の生成速度を求めた。

② 生成した酢酸とそれ以外の有機物のリン放出に対する寄与の評価

洗剤から生成した酢酸を摂取するためのリン放出の速度を算出するために、前処理をしていない活性汚泥を用いて、酢酸と洗剤の両方を添加した嫌気回分試験を行い、前述した方法で $+\Delta P / -\Delta Ac$ を求めた。そこで、求めた $+\Delta P / -\Delta Ac$ に上述した洗剤添加時の酢酸の生成速度を乗じてリン放出速度 (r_p^{Ac}) を算出した。一方、洗剤のみを添加した嫌気回分試験も行い、リン放出速度 (r_p^{Det}) を求めた。そして、両者の差から酢酸以外の有機物を摂取するためのリン放出の速度 ($r_p^{Det} - r_p^{Ac}$) を算出した。このように、生成した酢酸やそれ以外の有機物を摂取するためのリン放出の速度を求めることにより、洗剤添加時のリン放出速度に対するそれぞれの寄与を評価した。

4. 研究成果

(1) 晴天時における下水中の LAS 動態

① 晴天日における流域終末下水の D-LAS 濃度の変動

晴天時における流域終末下水の D-LAS 濃度の日間変動を調べた (図 1)。流量は、0~9 時まで減少したが、逆に、9~15 時まで増加し、その後は、それほど変化は見られなかった。DCOD_{Cr} 濃度は、12 時以後に増加していた。したがって、この時間以後に、午前中に排出された有機物濃度の高い生活雑排水

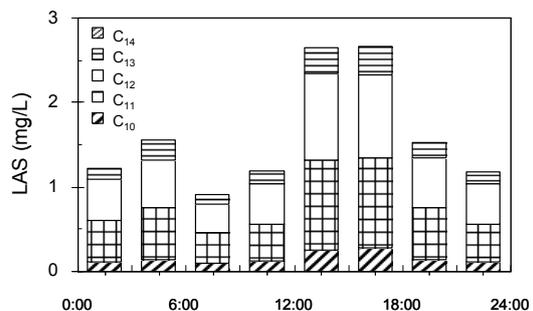


図1 Diurnal change in LAS

が到達したものと予想される。一方、D-LAS 濃度は、流量や DCOD_{Cr} 濃度の増加初期において、上昇していた。また、日内で約 3 倍の差が見られたが、各成分の構成割合は、平均で C₁₀:C₁₁:C₁₂:C₁₃=10±0.7:40±1.5:38±1.7:12±1.5% (C₁₄ は定量限界値未満) であった。一方、本研究で用いた 3 種類の洗剤は、平均で C₁₀:C₁₁:C₁₂:C₁₃=11±0.7:33±0.8:34±1.5:22±0.2% (C₁₄ は定量限界値未満) であった。

日内にわたり下水中の LAS 組成が洗剤に類似していた理由は不明であるが、少なくともこの間の下水に含まれた LAS は、主として家庭から排出された洗濯廃水に由来したものと考えられる。

② 下水処理施設における汚泥 LAS 吸着量の推定

前述したように、LAS 濃度は日内で約 3 倍の変動が見られたことから、汚泥の LAS 吸着量も同時に変動するものと予想される。例えば、汚泥の LAS 吸着量は、汚泥混合液の LAS 濃度を変数とした Freundlich 等温吸着式 (べき数=1) で表現できることが報告されている²⁾。ここでは、現場汚泥の LAS 吸着量を調べ、この吸着平衡を仮定した。そして、前述の観測で得られた晴天時における D-LAS 濃度の日間変動を考慮して、汚泥 LAS 吸着量の変動範囲を推定した。その結果、現場汚泥の LAS 吸着量は、MLSS あたり 0.13% であり、日内で 0.07~0.22% の間で変動すると推定された。

③ 晴天日における生活廃水の LAS 組成の遷移

生活廃水中的 D-LAS と A-LAS を足し合わせたときの LAS の組成の遷移過程を調べるために、市販の洗剤も含めて、MDS 解析を行った (図 2)。本来、下水 10 試料と洗剤 3 試料の合計 13 試料の類似関係を表現するためには、12 次元空間が必要となる。この解析では、視覚的に判断しやすい 2 次元 (平面) 上に各試料を布置することを試みたところ、選択した次元数の適切さを表すストレス値は 0.06、重相関係数は 0.99 であった。Kruskal の基準によれば、目的どおり平面でもほとんど歪みがなく表現できたと判断される。

洗剤の近くに布置されたのは、10 月 30 日の 12 時と翌日の 9 時であった。9 時は流量に

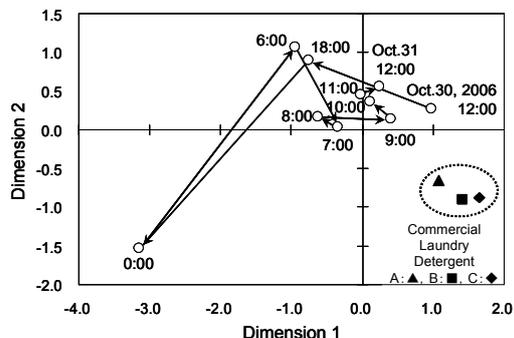


図2 Diurnal shift in LAS composition of the domestic wastewater estimated by MDS analysis

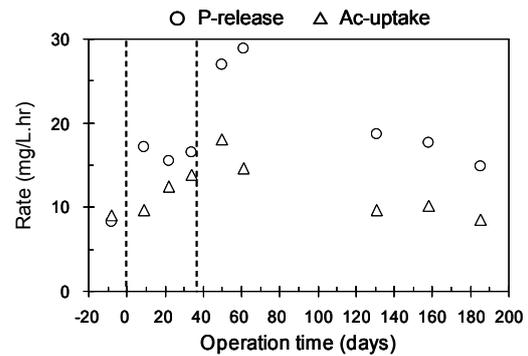


図3 Dynamic changes in P-release and Ac-uptake rates

加えて、LAS の濃度や負荷が最も高かった時間である。したがって、水使用量の多い洗濯廃水が、この時間に集中したものと考えられる。また、この時間の前後にあたる早朝から正午にかけても、この付近に布置されたことから、比較的、洗剤に類似した LAS が流下したものと解釈された。

一方、アルキル基 C₁₀ の同族体が定量下限値未満の 0 時は、明らかに離れて布置された。すなわち、12 時から 0 時にかけて、LAS の組成も明らかに変化していたと判断される。LAS を含む製品は、用途によって、その含有量や組成が異なると言われていた。したがって、それらの排出状況が変化したとすると、このように LAS 組成に違いが見られたのは妥当であると考えられる。以上の結果から、晴天日における生活廃水中的 LAS の組成は、変動することが明らかとなった。

(2) 洗濯洗剤を添加した都市下水を処理する活性汚泥中の PAOs の嫌氣的有機物摂取

① PAOs の酢酸摂取効率の変化

a) リン放出速度と酢酸摂取速度の変化

リン放出速度と酢酸摂取速度を図 3 に示した。リン放出速度は、実験開始前に 8.2mg-P/L.hr であったが、開始後には増加し、リンを強制添加してから 24 日後にあたる 61 日目には 28.8mg-P/L.hr に達し、実験期間中で最大となった。130 日目以降は減少したが、実験開始前よりは依然として大きかった。一方、酢酸摂取速度は、実験開始前には 9.0mg-C/L.hr であった。リン放出速度ほどの変動は見られず、130 日目以降においては、実験開始前とほとんど変わらなかった。

b) PAOs の酢酸摂取効率の変化

+ΔP/ΔAc を算出したところ、実験開始前には 0.92g-P/g-C と見積もられた (図 4)。さまざまな研究者が報告しているように、都市下水処理施設のリン除去活性汚泥は、1g-P/g-C 程度を示すことが知られているが³⁾、本施設の活性汚泥でも同程度であった。しかしながら、洗剤の添加を始めてから徐々に増加し、61 日目には実験前の約 2 倍にあたる 2.0g-P/g-C にまで達した。これは、Smolders

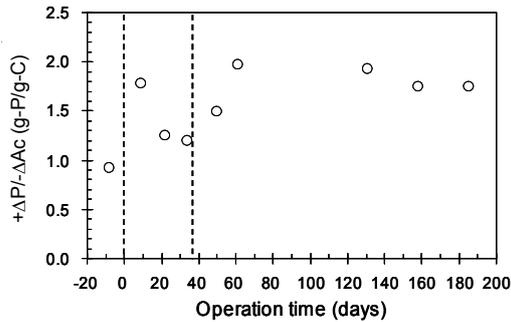


図4 Dynamic change in + ΔP / $-\Delta Ac$ ratio

ら⁴⁾の報告を引用すると、pHが8.5のときの値に相当する。130日目以降はわずかに減少して、1.8g-P/g-Cとなったが、洗剤の添加開始前よりは依然として高かった。すなわち、洗剤を添加し始めたことにより、PAOsの酢酸摂取効率が悪化したと言える。

②洗剤に由来する酢酸以外の有機物を摂取するPAOsの挙動

洗剤添加時と酢酸添加時の最大リン放出量である P^{Det} と P^{Ac} に着目した。実験期間における $(P^{Det}-P^{Ac})/P^{Det}$ を図5に示した。実験開始前では P^{Ac} の方が P^{Det} よりも2.0倍大きかったことから、-100%と見積もられた。しかしながら、実験開始後には増加し、既に22日目では P^{Det} の方が大きくなっており、10.5%と算出された。 P^{Det} が P^{Ac} を上回ったということは、それらの差分に相当するリン量は、洗剤由来の有機物を摂取できるが、酢酸をPHA源として利用できないPAOsが含有するポリリン酸に由来したと考えられる。また、前述したように、この洗剤には嫌気条件で容易に酢酸にまで分解されるAE⁵⁾が含まれていたことから、PHA源という観点では、酢酸とそれ以外の有機物が摂取されたと見なすことができる。そこで、 P^{Det} をこれらの有機物をPHA源とするPAOsの全ポリリン酸量と仮定すると、22日目ではこの10.5%に相当するポリリン酸を含有するPAOsが、洗剤に由来する酢酸以外の有機物を摂取できたと解釈できる。リンを強制添加したことにより、50日目では一時的に2.6%にまで減少したが、その後は増加し続け、185日目には17.4%にまで達した。

したがって、洗剤を強制添加し続けたこと

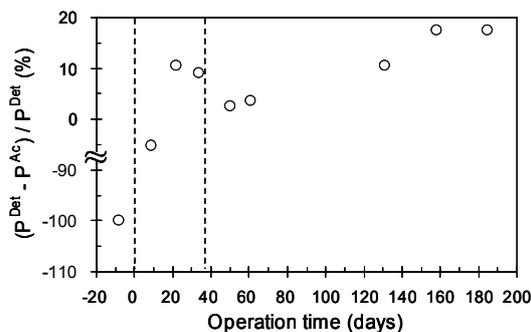


図5 P-release rate and $(P^{Det} - P^{Ac})/P^{Det}$ with addition of acetate or the detergent

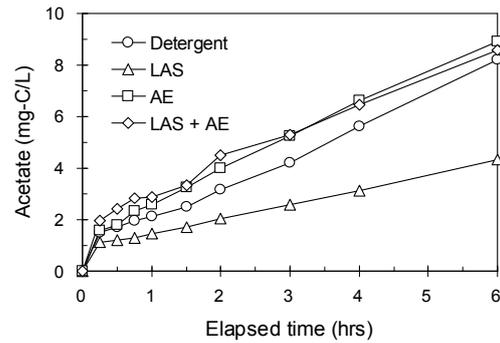


図6 Production of acetate from the detergent, LAS and AE

により、酢酸を摂取しPHAとして蓄積できないが、洗剤に由来する酢酸以外の有機物は蓄積できるPAOsのリン摂取量が次第に増していったと判断できる。つまり、リン除去に寄与するようになっていったと考えられる。③洗剤から生成した酢酸とそれ以外の有機物のリン放出への寄与

酢酸の摂取を抑制させるための前処理をした活性汚泥を用いて、洗剤やその界面活性剤成分であるLAS、AEを添加した嫌気回分試験を行い、酢酸の生成を調べた図6。酢酸添加には、試験6時間以内に酢酸濃度の減少はほとんど見られなかったことから、前処理をした活性汚泥の酢酸の摂取を抑制できたと判断できる。AE添加時には、酢酸濃度が増加していたことから、既報⁵⁾と同様に、本試験でもAEから酢酸の生成が確認された。LAS添加時にも、AE添加時ほど早くはないが、酢酸の生成が確認された。また、同じ汚泥を用いて、何も添加しないブランク試験も行ったが、試験6時間以内で酢酸は検出されなかった。したがって、LASは、好気条件では分解されるが、嫌気条件では分解されにくいと考えられている⁵⁾が、本試験では、酢酸摂取を抑制するための前処理を行ったため、分解産物である酢酸の生成を明確に確認できたと考えられる。このように、LASやAEから酢酸が生成したことから、両者を同時に添加したときも、酢酸の生成が観察されたと考えられる。それゆえ、それらが主要な有機物として含まれる洗剤からも、同様に酢酸が生成したのと考えられる。いずれの試験でも、酢酸以外の低級脂肪酸は検出されなかった。

そこで、生成した有機物を酢酸とそれ以外にわけて、リン放出への寄与を調べた(図7)。AE添加時では、リン放出速度の99%が生成した酢酸を摂取するためのものであったと判断される。すなわち、嫌気条件下における最終産物である酢酸にまで分解されてから⁵⁾、PAOsに摂取されたものと見なされる。このときのリン放出速度は4.6mg-P/L.hrであり、酢酸添加時のわずか31%であった。AEが酢酸にまで分解され、それをPAOsが摂取するという一連の反応を想定すると、前者の過程

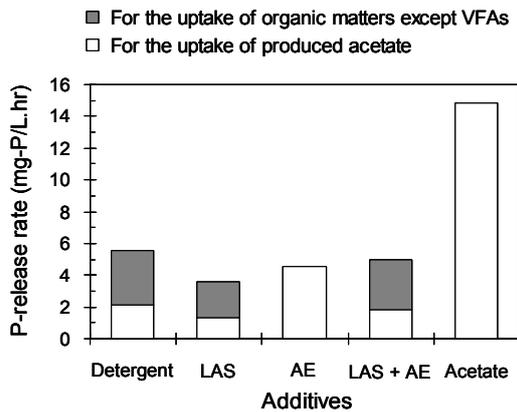


図7 Contributions to phosphate release of acetate and the other organic matters produced from the detergent LAS and AE

に律速段階があるために、酢酸添加時のようなリン放出速度が得られなかったものと考えられる。

LAS 添加時では、生成された酢酸の寄与が 40%程度と見積もられた。この酢酸を摂取したときのリン放出速度は 1.3mg-P/L.hr であったことから、酢酸添加時の 8.9%に過ぎなかった。AE 添加時と同様に、酢酸にまで分解される反応が相対的に遅かった可能性が考えられる。また、酢酸などの低級脂肪酸に至る前の分解産物が、PAOs に摂取されていたことから、酢酸の寄与が相対的に小さかった可能性も考えられる。

LAS、AE をともに添加したときも、LAS 添加時と同様に、酢酸とそれ以外の有機物のリン放出への寄与があった。LAS、AE を界面活性剤成分として含有する洗剤でも、これと同様の寄与を示していた。したがって、洗剤添加時には、主として LAS、AE の分解産物を摂取するために、リン放出が起こっていたものと解釈できる。また、実験期間中、強制添加した洗剤中の LAS に由来する酢酸に至る前の分解産物が、PAOs に摂取されていたと考えると、前述したように、酢酸は摂取できないが、洗剤に由来する酢酸以外の有機物を摂取できる PAOs が、リン除去に寄与するようになっていったという推察は、あらためて支持される。

参考文献

- 1) 真名垣ら(2005)高速液体クロマトグラフィー質量分析計による直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩および分解産物の分析方法の開発と環境試料への応用, 水環境学会誌, 28(10), 621-628.
- 2) Painter, H. A. and Zabel, T. (1989) The behaviour of LAS in sewage treatment, *Tenside Surfactants Deterg*, 26, 108-115.
- 3) Mino, T. *et al.* (1998) Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process, *Water Res.*, 32 (11), 3193-3207.
- 4) Smolders, G. J. F. *et al.* (1994) Model of the anaerobic

metabolism of the biological phosphorus removal process-stoichiometry and pH influence, *Biotechnol. Bioeng.*, 43 (6), 461-470.

- 5) Ying, G.G. (2006) Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment, *Environ. Int.*, 32 (3), 417-431.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Tsuji, K., Fujita, M. and Furumai, H., Acetate uptake efficiency of polyphosphate-accumulating organisms under exposure to surfactants, *Water Science and Technology* (掲載決定), 査読有.
- ② 辻幸志, 藤田昌史, 赤司昭, 福島寿和, 古米弘明, 嫌気好気活性汚泥のリン放出活性の上昇過程における *Candidatus 'Accumulibacter phosphatis'* の Real-time PCR 解析, 水環境学会誌, 32 (2), 87-91, 2009, 査読有.
- ③ 辻幸志, 藤田昌史, 古米弘明, 坂本康, 洗濯洗剤を添加した都市下水を処理する活性汚泥中のポリリン酸蓄積細菌群の嫌氣的有機物摂取, 水環境学会誌, 31 (12), 755-762, 2008, 査読有.
- ④ 辻幸志, 藤田昌史, 金元載, 真名垣聡, 中島典之, 古米弘明, 晴天日に住宅地域から排出された生活廃水中の LAS の動態, 水環境学会誌, 30 (10), 579-583, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 辻幸志, 藤田昌史, 古米弘明, 坂本康, 洗濯洗剤を添加した都市下水を処理する活性汚泥中のポリリン酸蓄積細菌群の嫌氣的有機物摂取, 第 11 回日本水環境学会シンポジウム, 213-218, 2008 (大阪).
- ② Tsuji, K., Fujita, M. and Furumai, H., Acetate uptake efficiency of polyphosphate-accumulating organisms under exposure of surfactants, IWA-ASPIRE Regional Conference and Exhibition, 186 in USB-Memory stick, 2007 (Perth).

[その他]

<http://env3.civil.ibaraki.ac.jp/fujita/>

6. 研究組織

研究代表者

藤田昌史 (FUJITA Masafumi)

茨城大学・工学部・講師

研究者番号: 60362084