

生物学的リン除去活性の低下過程における嫌気好気回分式活性汚泥のキノプロファイル変化

東京大学大学院工学系研究科 学生員 藤田 昌史, 正員 古米 弘明, 正員 中島 典之

1. はじめに

近年, 生物学的リン除去機構は次第に解明されてきているが, その中心的な役割を担うポリリン酸蓄積細菌については, 未だに不明な点が多い. 安定したリン除去を行うための最適運転操作条件を検討したり, あるいは, その有効なツールとなり得る, より汎用性の高い処理プロセスモデル¹⁾を開発する上で, 活性汚泥の微生物群集構造と生物学的リン除去機能の関係を評価することは, 非常に重要である.

本研究では, 都市下水に酢酸 (40 mg-COD/L) を添加して嫌気好気回分式活性汚泥運転を行い, 生物学的リン除去が安定した状態から, 酢酸添加量を段階的に減少させることにより, 生物学的リン除去活性が低下する過程を追跡した. そして, その低下過程における活性汚泥の微生物群集構造の変化を, キノプロファイル法²⁾を用いて調べた. また, 実験期間中に行ったリン放出試験の結果から, 動力学的に推定したポリリン酸蓄積細菌の存在比と各キノン種の含有率を比較することにより, リン除去活性やポリリン酸蓄積細菌の指標となり得るバイオマーカーの存在について検討した.

2. 実験条件

(1) 運転条件

回分式実験装置として, 有効容量 100L の角型反応槽を用いた. 流入都市下水に 40 mg-COD/L となるように酢酸ナトリウムを添加した原水 30L を, サイクル初期 1 時間で流入させた. この流入時間を含め攪拌工程 2 時間, 曝気工程 3 時間, 沈殿排水工程 1 時間, 合計 6 時間の嫌気好気運転を行った. HRT は 20 時間である. 曝気工程では, 反応槽内の溶存酸素濃度を 2.5 mg/L に制御した. SRT を 8 日に設定して, 曝気工程終了直前に余剰汚泥の引き抜きを行った. また, サイクルを通じて水温を 20℃ に制御した.

(2) 添加酢酸量の削減方法

上述した運転条件で約 2 ヶ月間運転を行い, 生物学的リン除去が安定したのを確認した後, 酢酸ナトリウム添加量を 40 mg-COD/L から 20 mg-COD/L に削減して本実験を開始した. そして, 16 日目以後は酢酸添加を完全に止めた.

3. 結果および考察

(1) 処理状況

モニタリングは, 実験開始直後から 22 日目まで行った. 実験期間における流入下水の有機物濃度は, 60~250 mg-COD/L (NaAc 40 mg-COD/L を含まない) で大きく変動した. 1 日目, 12 日目に, 降雨により流入下水が希釈されたことに起因していた. 流入下水および処理水のリン濃度を図-1 に示した. 2 日目の処理水リン濃度は 1.3 mg-P/L まで上昇していたが, これは酢酸添加量を削減したことに加え, 降雨により流入有機物濃度が低下したことが影響したものと考えられる. その後, 処理水リン濃度が次第に減少したものの, 12 日目で再び降雨により流入有機物濃度が低下したために, 13 日目以後, リン除去が悪化した. そして, 酢酸添加を止めた 16 日目以後, さらに処理水リン濃度は上昇した.

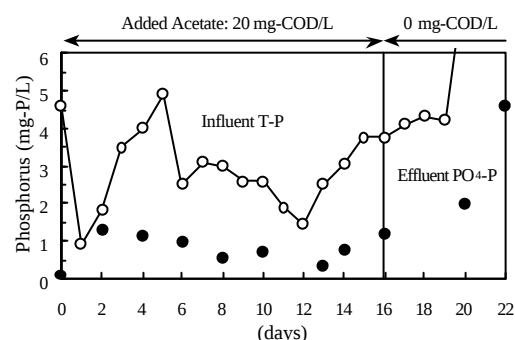


図-1 流入下水および処理水のリン濃度変化

(2) ポリリン酸蓄積細菌存在比の動力学的推定

実験期間におけるポリリン酸蓄積細菌の動態を調べるために, 好気工程終了直前に採取したサンプル汚泥に, 酢酸ナトリウムおよび重曹をそれぞれ 370 mg-COD/L, 200 mg/L 与え, 嫌気条件下でリン放出試験を行った. 13 日目の結果を図-2 にプロットで示した. 試験開始直後からリン濃度が直線的に上昇したが, その後, 時間の経過とともにリン濃度は飽和値に達した. ポリリン酸蓄積細菌の細胞内に蓄えられていたポリリン酸がすべて放出されたためであると考えられる.

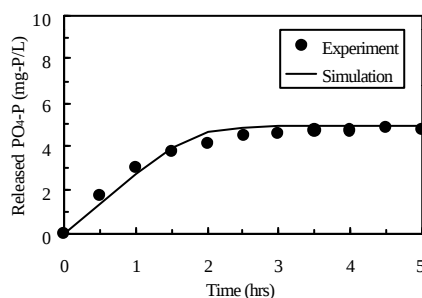


図-2 リン放出試験 (13 日目)

$$r_{P\text{-release}} = Y_{PO4} \cdot q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{X_{PP} / X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP} / X_{PAO}} \cdot X_{PAO} \quad (\text{式-1})$$

$r_{P\text{-release}}$: P-release rate (mg-P/L.day)

Y_{PO4} : Poly-P requirement for PHA storage; 0.4 (mg-P/mg-COD_{PHA})

q_{PHA} : rate constant for storage of PHA; 3 (mg-COD_{PHA}/mg-COD_{PAO}.day)

K_A : saturation constant for acetate; 4 (mg-COD/L)

K_{PP} : inhibition coefficient for X_{PP} storage; 0.02 (mg-P/mg-COD_{PAO})

S_A : acetate concentration (mg-COD/L)

X_{PP} : stored Poly-P in PAO (mg-P/L)

X_{PAO} : PAO concentration (mg-COD_{PAO}/L)

キーワード: 嫌気好気回分式活性汚泥, ポリリン酸蓄積細菌, 動力学式, キノプロファイル法, バイオマーカー

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 Tel: 03-5841-6248, Fax: 03-5841-8530, E-mail: fujita@env.t.u-tokyo.ac.jp

IAWQ ASM2³⁾で定義されているリン放出速度式を式-1 に示した。S_A、X_{pp} および X_{PAO} は時間的に変化するパラメータであるが、K_A の文献値³⁾が 4 (mg-COD/L) であるのに対し、前述したように、本試験では S_A を 370 mg-COD/L 添加しているため、S_A/(K_A+S_A)を 1 と見なすことができる。そこで、t=0 における X_{pp} に、リン放出試験終了時のリン濃度を与え、式中の化学量論係数および動力定数に文献値³⁾を与えた後、非線形最小二乗法(図-2、実線)により初期の X_{PAO} を推定した。X_{PAO} の推定値を MLVSS で除して算出した X_{PAO} 存在比を図-3 に示した。実験期間中、ポリリン酸蓄積細菌の存在比は、約 6%減少したと推定された。

(3) 活性汚泥微生物群集構造の変化

4 日目から 20 日目までのキノプロファイル変化を図-4 に示した。実験開始日のデータは、分析ミスによりメナキノン(MK)が全量回収されなかったため、表示しなかった。実験開始日におけるユビキノン(Q)優占分子種は、Q-8 であり、これに次いで Q-10、Q-9 が検出された。また、MK については、MK-8 (H4)が優占分子種であり、これに次いで MK-7、MK-10 が検出された。これらの結果は、都市下水を用いて生物学的リン除去機能が発現する過程を追跡したスタートアップ実験⁴⁾において、リン除去機能が十分に安定した後の Q および MK 存在比の順序と一致していた。実験期間を通じて、Q の存在比の順序は変わらなかったが、酢酸添加を止めた 16 日目以後、MK の存在比は、MK-8 (H4)、MK-7、MK-9 (H2)の順序になった。

次に、活性汚泥の微生物群集構造変化を定量的に評価するために、図-4 に示した各キノン種の存在比の違いから非類似度解析²⁾を行った(表-1)。非類似度は 0~1 の範囲をとり、0 に近いほどサンプル間の類似性が高いことを意味する。本実験では、リン除去が悪化したものの、非類似度がすべて 0.1 以下であることから、活性汚泥の実質的な微生物群集構造変化は起こらなかったと解釈された。

(4) 推定したポリリン酸蓄積細菌存在比とキノン含有率の関係評価

ポリリン酸蓄積細菌の増減を示し得るバイオマーカーを調べるために、各キノン種の含有率と推定したポリリン酸蓄積細菌存在比との関係を調べた。図-5 に MK-8 (H4)の結果を推定値とあわせて示した。前述したスタートアップ実験⁴⁾では、MK-7 および MK-8 (H4)の変化が、好気工程におけるリン摂取速度の変化と高い相関を示した。本実験でも、他のキノン種は、ポリリン酸蓄積細菌存在比の推定値と明らかに異なる傾向を示したのに対し、MK-7 および MK-8 (H4)は相対的に似た傾向を示した。しかしながら、16 日目に逆の傾向を示しており、完全には対応していなかった。ポリリン酸蓄積細菌を動力学的に推定することに限界があるのか、あるいは、仮に MK-7 や MK-8 (H4)をポリリン酸蓄積細菌が有していたとしても、その優占度が低い可能性も考えられる。

4. まとめ

流入都市下水への酢酸添加量を段階的に削減して、生物学的リン除去活性を次第に低下させた実験を 22 日間にわたって行い、活性汚泥微生物群集構造の変化をキノプロファイル法により調べた。非類似度解析結果から、実験期間中、活性汚泥の実質的な微生物群集構造の変化は起こっていなかったと推定された。リン除去活性やポリリン酸蓄積細菌の指標となり得るバイオマーカーを検索するために、動力学的に推定したポリリン酸蓄積細菌存在比と各キノン含有率との関係を調べた。その結果、過去の実験でリン除去活性と相関があった MK-7 および MK-8 (H4)が、ポリリン酸蓄積細菌存在比の推定値と相対的に似た傾向を示したものの、ポリリン酸蓄積細菌のバイオマーカーになり得ると結論づけるまでには至らなかった。

参考文献

1) H. Furumai et al. (1999) *Wat. Res.*, **33**, 2708-2714, 2) A. Hiraishi et al. (1998) *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**, 992-998, 3) M. Henze et al. (1995) *IAWQ Scientific and Technical Report No.3*, 4) M. Fujita et al. (1999) *Proc. 7th IAWQ Asian-Pacific Reg. Conf.*, Taiwan, **1**, 499-504

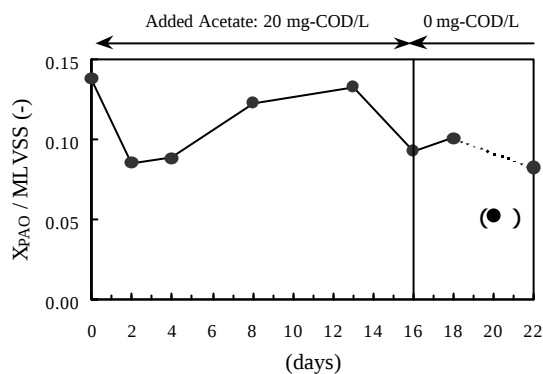


図-3 ポリリン酸蓄積細菌存在比の推定値

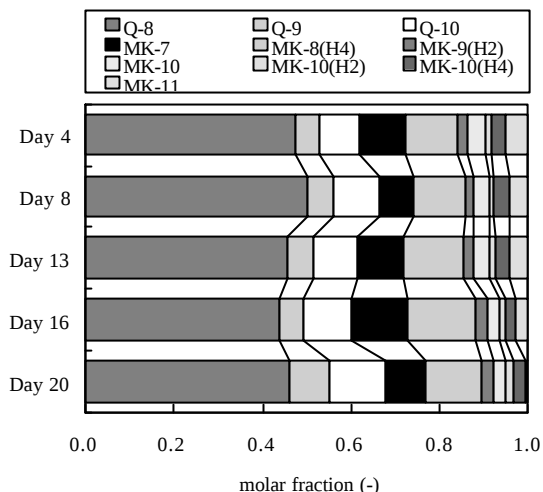


図-4 キノプロファイル変化

表-1 非類似度解析

	Day 8	Day 13	Day 16	Day 20
Day 4	0.04	0.04	0.08	0.09
Day 8		0.05	0.10	0.09
Day 13			0.05	0.07
Day 16				0.09

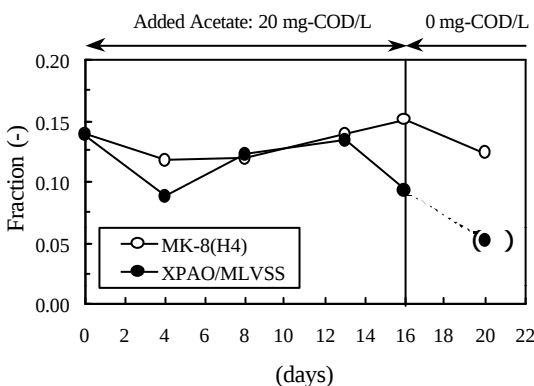


図-5 推定したポリリン酸蓄積細菌存在比と MK-8(H4) 含有率との関係