

B-3

実下水を用いた嫌気無酸素プロセスにおける脱窒性脱リン活性評価

○東京大学大学院工学系研究科 庄司 仁
 東京大学大学院環境学専攻 佐藤 弘泰
 東京大学大学院環境学専攻 味埜 俊

1. はじめに

排水処理における生物学的な脱リンは、いわゆるポリリン酸蓄積細菌（脱リン細菌）の性質を利用したものである。この微生物は、嫌気状態において、細胞内のポリリン酸を分解することによってエネルギーを得て、有機物を摂取し、PHA などの形で蓄積する。好気状態になると、PHA を酸化して得たエネルギーで、リン酸を摂取し、ポリリン酸の形で体内に蓄積する。このような嫌気-好気のサイクルを通して、排水中のリン酸は、微生物の細胞内、すなわち汚泥にとりこまれて除去されることになる。

一方、PHA を分解するための電子受容体として、酸素だけでなく硝酸も使える「脱窒性脱リン細菌」の存在が確認されている。脱窒性脱リン細菌を高度に集積すれば、嫌気状態で得た有機物のみで脱窒と脱リンが行えるため、C/P 比や C/N 比の低い下水でも良好な処理水質が得られる。そこで本研究では、脱窒性脱リン細菌を集積するために、嫌気-無酸素汚泥と硝化菌担体を組み合わせたリアクターで、実下水を基質とする運転を行った。そして、このリアクターで馴致された汚泥について脱リン活性を測定して、その値の評価を行った。また、比較のために、実処理場の汚泥についても同様の測定を行った。

2. 実験の方法

2.1 実験装置

実験に用いたリアクターを図1に示す。

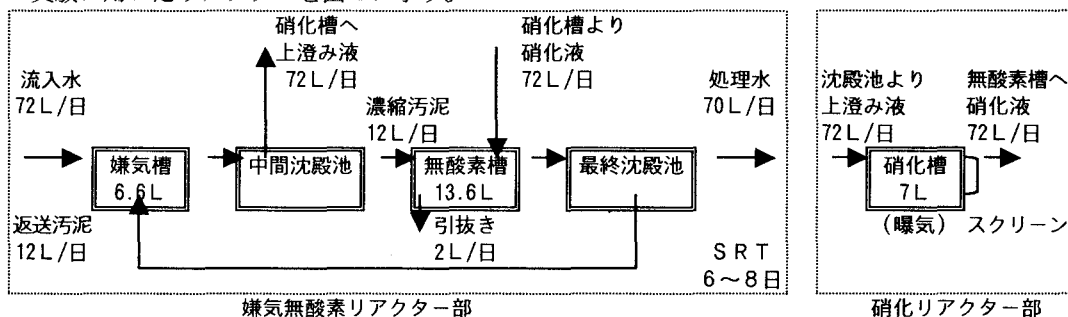


図1: プロセスのフロー

このプロセスが理想的に機能すると、まず、嫌気槽でほとんどの有機物が脱リン細菌に摂取される。次に、中間沈殿池で、上澄みと有機物を蓄積した汚泥とに分離して、上澄みだけを担体の入った硝化槽で曝気し、硝化を行う。最後に、汚泥と上澄みを再混合することで、汚泥中に蓄積された有機物と、硝化槽から持ち込まれる硝酸とによって、脱窒性脱リン細菌が脱窒を伴うリン摂取を行う。有機物が嫌気槽のみで供給されること、および、電子受容体が硝酸だけであることから、脱窒性脱リン細菌にとって望ましい環境になっていると考えられる。

2.2 脱リン活性の測定方法

脱リン活性は、次のようなバッチ実験を行い、測定した。

- 1) 適量の汚泥混合液（SSで1000～1500mgを含む）を沈殿させて、上澄みは捨てる。

- 2) 汚泥を密閉できる容器に移し、無機塩を加えた純水で希釈して約1Lにする。2系列用意する。
- 3) スターラーで攪拌しながら、窒素ガスで15分ほどパージする。
- 4) 酢酸ナトリウム水溶液を約6mgC/Lになるように添加する。
- 5) 嫌気状態で60分間保持する。pHは硫酸で7.2以下に制御する。
- 6) 1系列は曝気を開始、もう1系列には硝酸カリウム水溶液を約15mgN/Lになるように加える。
- 7) 好気および無酸素状態を、それぞれ60分間保持する。この間pHは7.2以下に制御する。
- 8) 嫌気状態では30分ごと、好気および無酸素状態では10分ごとにサンプリングする。
- 9) 水質は、GF/F(孔径0.7 μ m)でろ過した後、キャピラリー電気泳動法(酢酸)、アスコルビン酸法(リン酸)、ブルシン法(硝酸)で測定。
- 10) リン摂取速度は、グラフ直線部分の傾きから求める(図2参照。この例では好気・無酸素とも60~100分の値から速度を求めた)。

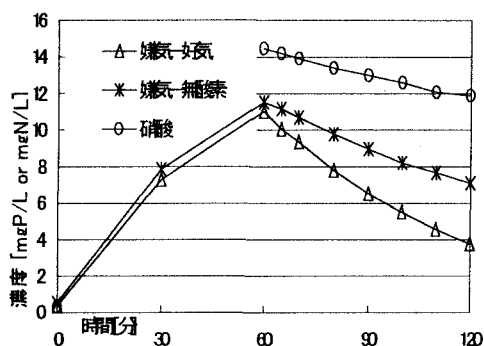


図2：バッチ実験の結果例

3. 結果と考察

各反応槽における平均的な水質の変化は図3のようになった。また、好気状態および無酸素状態におけるリン酸摂取速度の測定結果は表1のようになった。

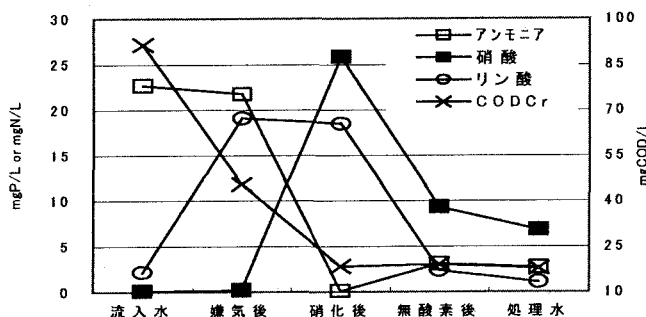


図3：平均的な水質変化の様子(溶存性物質)

表1：リン摂取速度

	(mgP/gVSS/時)
好気(A)	24.9
無酸素(B)	12.2
(B)/(A)	49 %

3. 1 各槽における水質変化

図3および表1は、十分な馴致期間を取った後、約1ヶ月半の運転期間中の平均である。このとき、嫌気無酸素リアクター内部のSSは1000mg/L程度で安定していた。なお、期間中の流入水質は、CODCr：130~210mgCOD/L(溶溶性：80~110mgCOD/L)、アンモニア性窒素：20~30mgN/L、全リン：3~4mgP/L(溶溶性リン酸2~3mgP/L)であった。

有機物については、嫌気槽で多少の取り残しが見られるが、最終的には除去されている。窒素については、硝化・脱窒とも順調に行われているが、中間の沈殿池から無酸素槽に、汚泥とともに未処理のアンモニアが持ち込まれてしまう。とはいえ、処理水中の溶溶性窒素の合計は10mgN/Lを下まわっている。亜硝酸はどの段階でもほとんど検出されなかった。リンについては、リン酸の嫌気条件での放出・無酸素条件での摂取ともに観察されており、脱窒性脱リン細菌の存在が水質変化から確認できるが、除去率として6~7割にとどまった。処理水質を総合的にみると、曝気や内部循環の量を削減しながらこの処理水質が得られるという点について、評価できるのではないだろうか。

3. 2 脱リン活性

バッチ実験によって求めたリン摂取速度は表1に示したとおりである。これらの値は、単位汚泥量あ

たりの脱リン活性、すなわち脱リン細菌の量を反映したものであるといえるだろう。

今回の値と、文献値、下水処理場汚泥の値とを比較したのが表2である。文献(*1)の研究は、酢酸を主とする人工下水で馴致された、実験室の嫌気無酸素汚泥について検討した結果で、本研究のリアクターと異なり、無酸素槽に酸素がほとんど混入しない条件になっている。この値と比べると、本研究では、無酸素条件の脱リン活性が3

表2：リン摂取速度およびリン吸収活性比の比較

	汚泥の種類	好気 (mgP/gVSS/時)	無酸素	活性比
Kuba ら(*1)	嫌気無酸素汚泥	40～50	30～50	約9割
下水処理場	嫌気好気汚泥 (2ヶ所平均)	7.3	1.3	18%
	A2O汚泥 (2ヶ所平均)	5.7	2.0	39%
今回の結果	嫌気無酸素汚泥	24.9	12.2	49%

割程度になっている。しかし、実処理場汚泥と比べると数倍の活性であり、本研究では、脱窒性脱リン細菌および全脱リン細菌について、単位汚泥量あたりでみて集積に成功したと言える。

3.3 リン吸収活性比による脱窒性脱リン細菌の評価

「脱リン細菌のリン摂取速度は電子受容体の種類によらず一定である」と考えると、

$$\begin{aligned} \text{好気条件のリン吸収活性} &= \text{酸素しか使えない脱リン細菌の活性} + \text{脱窒性脱リン細菌の活性} \\ &= \text{すべての脱リン細菌の活性} \quad \cdots (A) \end{aligned}$$

$$\text{無酸素条件のリン吸収活性} = \text{脱窒性脱リン細菌の活性} \quad \cdots (B)$$

という関係が成り立ち、(B) / (A) によって、脱窒性脱リン細菌がすべての脱リン細菌に占める割合を推定できる。好気と無酸素でのリン吸収活性の比、すなわち「リン吸収活性比」は、脱窒性脱リン細菌の優占度を示す重要な指標である。今回の結果では、活性比の値が48%となっているので、全脱リン細菌の約半分が脱窒性脱リン細菌であったということになる。この値は、実下水処理場よりも高くなっており、やはり脱窒性脱リン細菌の集積に成功したことを示唆している。

リアクターにおいても、活性比どおりに脱リン細菌がはたらいているとすると、嫌気槽で摂取された有機物の半分が、脱窒性脱リン細菌によるものと考えられる。本研究では、嫌気槽でCODが50mg/L脱リン細菌に摂取されているが、その半分にあたる25mg/Lの全量が還元力として脱窒に使われると、約8mgN/Lの硝酸が処理できる。活性比が高くなるほど、脱窒と脱リンに重複して用いられる有機物が増えるので、脱窒性脱リン細菌の利点が発揮される。その意味では、本プロセスに関して、活性比をさらに高めるために、溶存酸素の混入による無酸素槽初めの好気化を防ぐなどの改良が必要である。

4. 結論

硝化リアクターと嫌気無酸素リアクターを組み合わせた「嫌気無酸素プロセス」を運転した結果、以下のような結論が得られた。

- 栄養塩に関して、溶存性の窒素で10mgN/L、溶存性のリン酸で1mgP/Lという処理水質が得られた。これは、両者とも除去率で7割程度に相当する。
- 無酸素条件におけるリンの摂取速度からみて、本プロセスでは、実下水処理場に比べて数倍の量の脱窒性脱リン細菌を定着させられる。
- リン吸収活性比から、脱窒性脱リン細菌の全脱リン細菌に占める割合は約50%と推定され、この値も実下水処理場に比べて高いものであった。

●参考文献

(*1)Kuba et al.(1995) デルフト工科大学報告書

「Biological phosphorus removal under denitrifying conditions.」

●本研究は、文部省科学研究費補助金COE形成基礎研究（OFCE2002）により行われた。また、リアクターの運転等に関して、東京都下水道局の協力を得た。