

B-4 UCT式パイロットプラントにおける脱窒性脱リン活性の評価

○東京大学工学系研究科 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
 東京大学工学系研究科 松尾友矩

1. はじめに

下水からの生物学的栄養塩除去に関して、近年、脱窒性脱リン細菌が注目を集めている。この細菌は、嫌気状態で摂取・蓄積した有機物を用いて、無酸素状態で脱窒と脱リンとを同時に行う。一般に脱リン細菌は、好気条件下で酸素呼吸によりエネルギーを得てポリリン酸を合成するが、脱窒性の脱リン細菌は硝酸によりポリリン酸を合成する。この性質をうまく活用できれば、曝気量の減少や、低C/P比廃水の処理が可能になる。そこで本研究では、脱窒性脱リン細菌が出現すると言われているUCT式のリアクターを設置し、実下水を基質とする運転を約50日間にわたって続けた。この間、流入水および処理水の水質および汚泥の好気・無酸素条件でのリン摂取速度を測定し、脱窒性脱リン細菌の活性とその意義について検討した。

2. 実験の概要

2. 1: UCTタイプリアクターの運転

本研究では、UCTタイプのリアクターを2系列（R系列/L系列・図1参照）運転した。R系列では返送汚泥をDN1に、硝化液をDN2に戻し、さらにDN1からAに汚泥L系列混合液の循環を行った。L系列では返送汚泥と硝化液をDN1に戻し、DN3からAに汚泥混合液の循環を行った。

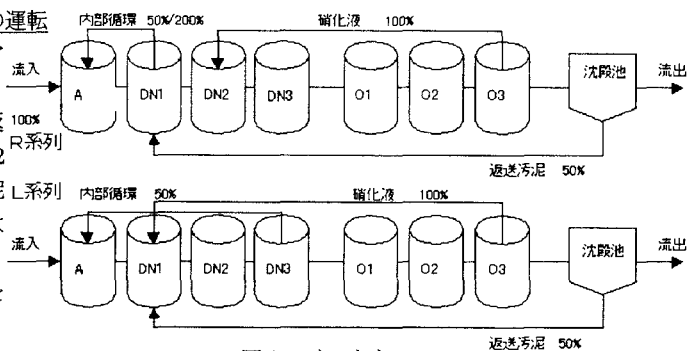


図1：リアクターのフロー

なお、好気槽には硝化菌の包括固定化担体を投入して、完全な硝化をおこすようにした。R系列については、内部循環液の返送率を途中で50%から200%に変更した。両系列ともSRT=12日、HRT=9.4時間に設定した。

2. 2: 活性試験

リン摂取速度を求めるための活性試験は、次のように行った。汚泥混合液を好気槽末端から採取して、遠心分離により汚泥を集め、無機塩溶液に再懸濁させた（MLSSは1000~2000mg/L）。約1Lずつを密閉可能な容器2本に移し、窒素パージを行った後、2000mgC/lの酢酸ナトリウム溶液を5ml加えた。攪拌をしながら嫌気条件下で60分間保持してから、それぞれ好気（曝気による）と無酸素（10000mgN/Lの硝酸カリウム溶液を2ml添加）条件に変えて、140分間保持し、上澄み中のリン酸の減少速度を求めた。この間、pHは7.2以下に制御した。好気状態でのリン摂取速度をすべての脱リン細菌の活性、無酸素状態でのリン摂取速度を脱窒性脱リン細菌の活性と考えた。さらに、すべての脱リン細菌のリン摂取速度に対する脱窒性

脱リン細菌のリン摂取速度を「リン吸収活性比」と定義し、脱窒性脱リン細菌の優先度を示す指標として用いた。実際の測定結果は図3を参照のこと。

3. 結果と考察

年末年始の1週間ほど、流入する固形有機物の量(TOC)が著しく減少したが、それ以外の期間はTOC=60mgC/L、DOC=30mgC/L、全リン=5mgP/L、リン酸態リン=3mgP/L、全窒素=30mgN/L、アンモニア性窒素=15mgN/L程度で安定していた。また、運転の安定していた期間(R:全期間、L:12月下旬～1月上旬を除く期間)の処理水質(図2参照)に注目すると、リンについては、両系列とも順調に処理されており、溶存リン酸態リンはほとんど検出されなかった。窒素については、両系列とも硝酸が6～12mgN/Lとなっていて、硝化が順調であったことと脱窒もかなり起きていたことを示唆している。

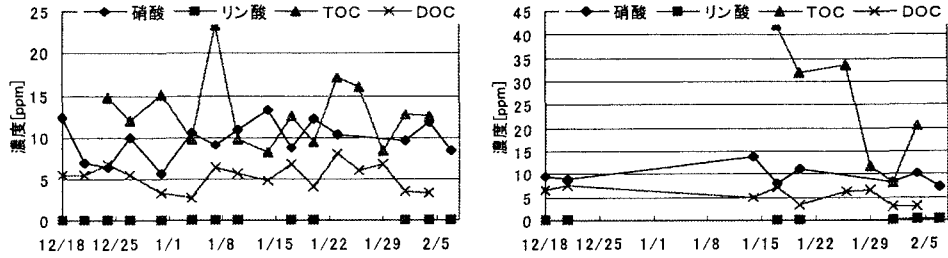


図2：処理水質（左はR系列、右はL系列）

3. 1 活性試験の結果

ある1回の活性試験結果を図3に、リン摂取速度の推移を図4に、リン吸収活性比の推移を図5にまとめた。無酸素状態でのリン吸収速度は、2mgP/gMLSS/hr前後であった。また、リン吸収活性比はL系列の方がR系列よりも大きな値を示したが、これは好気状態でのリン摂取速度の差を反映したものである。

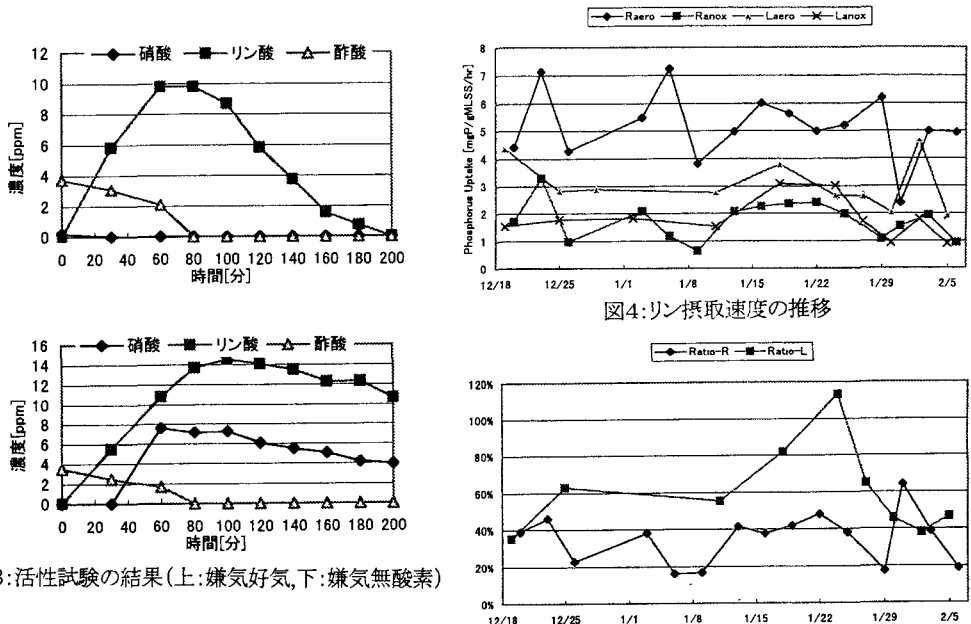


図3：活性試験の結果(上:嫌気好気,下:嫌気無酸素)

図4：リン摂取速度の推移

図5：リン吸収活性比の推移

3. 2 脱窒性脱リン細菌とマスバランス

順調に推移した R 系列の水質データを元に、マスバランスの概算を行った。まず、流入・流出・引き抜きの測定結果と流量から、微生物により摂取もしくは除去された炭素・窒素・リンの量が求まる。

流入：[炭素 4.3 g C (TOC), 窒素 2.2 g N (TN), リン 0.36 g P (TP)]①

流出：[炭素 1.4 g C (TOC), 窒素 0.72 g N (硝酸), リン 0.0 g P (リン酸)]②

引抜：[バイオマス 3.5 g MLSS]③

脱窒には $\text{NO}_3^- + 5\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2$ なる反応を起こすための電子を供給する有機物が必要である。そこで、有機物の組成を $[\text{C}(1)\text{H}(2)\text{O}(1)]$ ④ と仮定すると、有機物 1 mol あたり 8 個の電子を供給できるので、①②③④をあわせて、脱窒に必要な有機物量は 1.6 g C ⑤ と計算できる。

脱リンに必要な有機物量の計算は、次のように考える。まず、除去されたリンはすべてポリリン酸として蓄積されたものと考え、[リン含有率 = 6 %]⑥ という測定値から、脱リン細菌の量が MLSS 単位で求まる。これを炭素の重量として扱うために、微生物の組成も次のように仮定する。

微生物の組成：[C(1) H(2.09) O(0.54) N(0.20) P(0.015)]⑦

さらに微生物の収率を次のように仮定する。

炭素ベースでの微生物の収率：[1.2 g C/g C]⑧

そうすると、①～③および⑥～⑧から、脱リン細菌が増殖するために必要な有機物量が 2.3 g C ⑨ と計算できて、これを脱リンに必要な有機物量とみなす。

以上の結果より、脱窒と脱リンが個別におきた場合の有機物必要量は、⑤と⑨から 3.9 g C ⑩ となる。ところが、①～③の値から本研究での有機物摂取量を求めると 2.9 g C ⑪ であり、⑩よりも 1 g 少なくなっている。これが脱窒性脱リン細菌による有機物節約量 (= 摂取量) である。そこで、有機物の摂取量と生物の活性が比例すると考えれば、通常の脱リン菌に対する脱窒性脱リン細菌の比率 (リン吸収活性比) は、 $1.0 \div 2.3 \approx 35\%$ となり、活性試験の結果と大筋で一致する。

有機物の節約効果については、脱窒性脱リン細菌を用いずに同様の処理水質を得るために、1 万トンの処理水に対して約 150 kg C もの有機物を加えねばならないという試算ができる。この分が節約できることは、処理コストの減少につながるだろう。これだけでも脱窒性脱リン細菌のメリットの大きさが推測できるが、本研究でのリン吸収活性比、すなわち脱窒性脱リン細菌の占有率は最高でも 6 割どまりでしかないのである。一層の処理水質の向上や処理コストの減少のためにも、リン吸収活性比をもっと高めるプロセス・運転管理手方の確立が今後の研究課題である。

4 おわりに

- UCT タイプリアクターにおいて、リンの全量と窒素の 3 分の 1 を除去できた。これは、脱リン細菌の 2 ～ 6 割を占めた脱窒性脱リン細菌によって有機物を節約できたために得られたものである。
- 脱窒性脱リン細菌比率 2 ～ 6 割は、一定量の蓄積に成功したとも、UCT タイプの限界とも考えられる。
- 脱窒性脱リン細菌をもっと優占させることができれば、より高度で安価な処理が期待できる。

謝辞：本研究は、文部省科学研究費補助金 COE 形成基礎研究により行われた。