

嫌気・好気 DHS リアクターを用いた廃水処理水からのリン回収

広島大学大学院 学生会員 ○小寺 博也
正会員 幡本 将史
正会員 金田一智規
正会員 尾崎 則篤
正会員 大橋 晶良

1. はじめに

リン枯渇が危惧されている現代において、下水中に存在しているリン資源の回収再利用が、リンを 100% 輸入に頼っている我が国の緊急の課題となっている。しかし、従来の生物学的リン回収法は汚泥処理等のコスト面の問題があり採算が取れない。そこで、生物膜型の密閉 DHS(downflow hanging sponge)リアクターによる汚泥に依らない低コスト型リン回収システムが考案されている。これは気相部と微生物膜保持担体のスポンジ部からなり、この気相部を好気・嫌気に制御する事で単一のリアクターでリン回収が行われる。好気時にはリン含有水を流しポリリン酸蓄積細菌(以下 PAOs)にリン摂取させ、リンが除去された処理水を排出する。嫌気時には有機物を含む排水を流し、PAOs に蓄積したリンを放出させ、高濃度のリン含有水として回収する方法である¹⁾。この密閉型 DHS リアクターによるリン回収の特長は、微生物を高密度に保持できるためコンパクトであり、エアレーションの動力エネルギーが必要なことである。本研究では余剰汚泥に依らないリン回収が図れるかどうか人工基質を用いて調査を行った。

2. 運転方法

2.1 DHSリアクターによるリン回収

リン回収実験は容積 1000 mL、高さ 60 cm の密閉カラム内にスポンジ担体(一辺 2cm の立方体)を 15 個(全体積 120 mL)を直列に吊した DHS リアクターを用い、好気 8 時間、嫌気 4 時間の 12 時間サイクルで行っている(図 1)。好気時には下水処理水を模擬した低濃度リン含有水($5 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$)を $0.72 \text{ L} \cdot \text{hr}^{-1}$ (HRT スポンジ体積基準 10 min)で散水した(図 1)。嫌気時には人工有機酸生成液(Phase 1: 80 mL, プロピオン酸 1500mgCOD_{Cr}·L⁻¹, 酢酸 1500mgCOD_{Cr}·L⁻¹, Phase 2: 40 mL, プロピオン酸 3000mgCOD_{Cr}·L⁻¹, 酢酸 3000mgCOD_{Cr}·L⁻¹, 計 6000 mgCOD_{Cr}·L⁻¹)と高濃度リン含有液貯留タンクの循環液(760 mL)でリアクター内のスポンジ担体を浸漬させて、4 時間嫌気状態にしている。嫌気終了後にリアクター内を満たしていた有機性排水を貯留タンクへ移し、また貯留タン

クからリン回収液(添加した人工有機酸生成液と同量, Phase 1: 80 mL, Phase 2: 40 mL)を回収している。

2.2 リアクター内の菌叢解析

FISH 法のための前処理として運転 128 日目のリアクターから汚泥サンプルを採取し、4% パラホルムアルデヒド溶液で固定(4°C, 24 時間)した。FISH 法には全細菌対象とした EUBMIX probe、及び PAOs に特異的な PAOMIX probe を用いた。サンプルは、共焦点レーザー顕微鏡 (LSM510, Zeiss) を用いて観察した。各細菌群の存在割合は 12 視野の最大値と最小値を除いた蛍光面積の平均値 ($n=10$)とした。

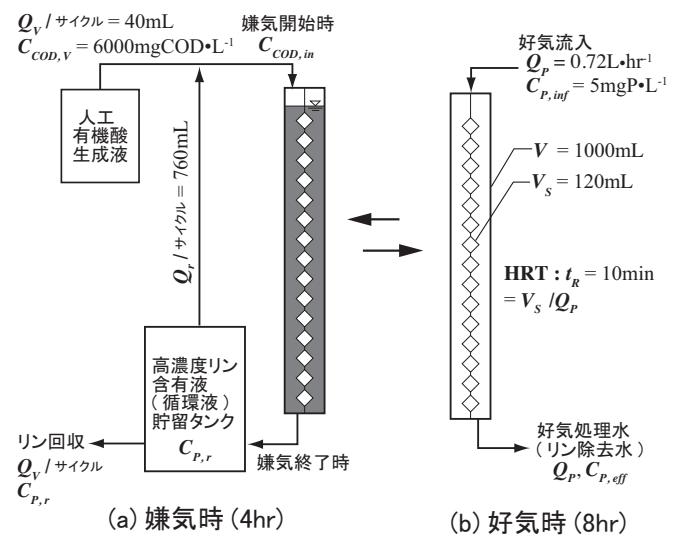


図1 リアクター概要図

3. 実験結果及び考察

3.1 DHSリアクター運転結果

DHS リアクターに活性汚泥を植種して運転を開始し、60 日ごろからリン含有水の好気処理水、回収高濃度リン含有液の濃度は定常状態になった。その後、最終的に高濃度リン含有液のリン濃度は Phase 1 で $95 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ に達した(運転 86 日目)。更に Phase 2 へ条件を移行後、運転 128 日目において濃度は $158 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ に達した。

Phase 2 における好気処理水の濃度の推移を図 2 に示す。好気時において、 $5 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ の流入水は $2 \sim 3 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ にまで処理されていた。また、好気時間の経過とともに処理水リン濃度が少しづつ高くなっている。PAOs のリン摂取速度が低下していた。好気開始直後の処理水のリン濃度

は、嫌気終了時のスポンジに保持された高濃度リン含有液の一部が混入するため、流入水よりも非常に高くなっていた。

リアクターに満たした有機性排水(人工有機酸生成液+循環液)の濃度推移を図3に示す。貯留タンクの循環液と人工有機酸生成液が混合されることで、嫌気開始時のリアクター内のリン濃度は $139 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ 、COD_{Cr}は $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ になっている。嫌気時においては、バイオマスから摂取されたリンが放出され、嫌気開始時 $139 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ から徐々に増加して、終了時には $155 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ に高まった。リン放出と共に有機物は消費され、 $300 \text{ mg COD}_{\text{Cr}} \cdot \text{L}^{-1}$ ほどあった有機性排水は嫌気終了時には $30 \text{ mg COD}_{\text{Cr}} \cdot \text{L}^{-1}$ 程度まで減少した。嫌気時に高濃度化されたリン含有液は貯留タンクに移され、最終的にこの液が回収された。その結果、 $5 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ の低濃度リン含有水が約30倍の $150 \text{ mgP} \cdot \text{L}^{-1}$ に濃縮した液として回収された。

DHSリアクター内のバイオマスのリン含有量を測定した結果、DHSリアクター内のバイオマス濃度(スポンジ体積基準)は $47,800 \text{ mgVS} \cdot \text{L}^{-1}$ であり嫌気終了時 $24.8 \text{ mgP} \cdot \text{gVS}^{-1}$ から好気終了時 $28.3 \text{ mgP} \cdot \text{gVS}^{-1}$ に増加していた。このリアクター内でのリンの増加量 18 mgP は、好気時に処理されたリン含有水のリン除去量(14 mgP)とおおよそ一致しており、処理されたリンはバイオマスに移動したと考えられる。一方、嫌気時におけるリン放出量は 15 mgP であり、好気時におけるリン摂取量とほぼ一致した。

DHSリアクターにおいて、定常状態ではリンの摂取と放出に次のような物質収支が成立すると考えられる。

$$Q_P t_P (C_{P,\text{inf}} - C_{P,\text{eff}}) = Q_V C_{P,r}$$

ここで、 Q_P :好気時のリン含有排水の散布流量 [$\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$]、 t_P :好気時間 [h]、 $C_{P,\text{inf}}$:好気時の流入排水リン濃度 [$\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$]、 $C_{P,\text{eff}}$:好気時の流出水リン濃度 [$\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$]、 Q_V :嫌気時の有機酸生成液流入量(=リン回収液量) [L]、 $C_{P,r}$:リン回収液(=高濃度リン含有液)のリン濃度 [$\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$]であり、左辺は1サイクルにおけるリン摂取量、右辺はリン放出量を表している。よって、リン回収液のリン濃度は、回収液量が少ないほど高くなり、利用価値は高まる。しかし、回収されたリンの量はPhase 1(7.68 mgP)とPhase 2(6.32 mgP)で異なっていた。これは好気開始直後にPhase 1よりもPhase 2の方が高濃度のリンを放出してしまっているためにこのような結果となったと考えられる。

3.2 FISH法による菌叢解析

PAOs (Rhodococcus-reRelated PAOs) に特異的なDNAプローブを用いたFISH法によるバイオマスのPAOsの顕微鏡カウントでは、全細菌中41%という数値が得られた。

本実験ではよってバイオマスに存在する細菌の過半数をPAOsが占めていた事が分かった。この事から嫌気好気DHSリアクターがPAOsの集積に適しており、リアクター内に高密度に存在していることによって、このようなリン含有排水の高速処理及びリンの高濃度化が可能となったと考えられる。

4まとめ

本実験の結果より DHS リアクターを用いる事で余剰汚泥に依らないリン除去及び濃縮による回収が確認された。今回の実験では $5 \text{ mg P} \cdot \text{L}^{-1}$ の人工排水から $158 \text{ mg P} \cdot \text{L}^{-1}$ のリン濃縮液を回収出来た。更に DHS リアクターが PAOs を高密度に集積出来る装置である事が分かった。ただし、一度濃縮したリン含有液を放出してしまう問題が発生しているため、より高濃度化を行うためにはリンを排出しないような工夫が必要である。

<参考文献>

1)大竹久男:リン資源の回収と有効利用, pp. 100~110, サイエンスアンドテクノロジー株式会社, 2009

謝辞:本研究は NEDO の「微生物群のデザイン化による高効率型バイオ処理技術開発」の助成を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

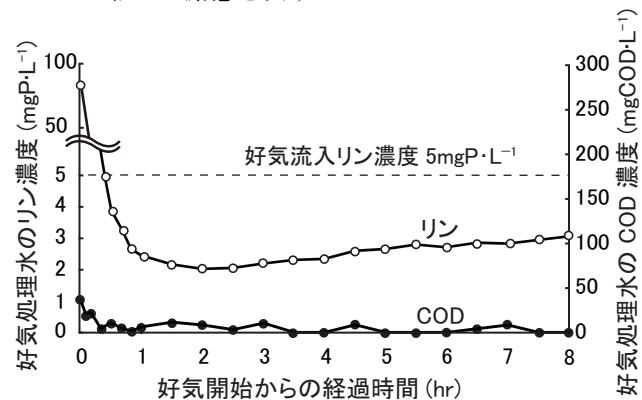


図2 Phase 2における好気処理水の濃度の推移

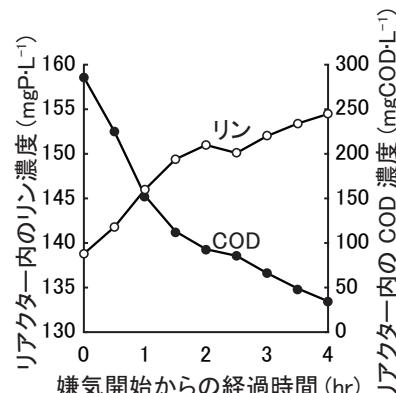


図3 Phase 2における有機性排水の濃度推移