

生物膜型リアクターによるリン除去システムの開発

水圏土壌環境制御研究室 石原茂樹
指導教員 山口隆司

1. はじめに

余剰汚泥の発生が極めて少ない下水処理法として UASB 法と DHS (Downflow Hanging Sponge) を組み合わせたシステムが注目されている。この方法では、余剰汚泥の引き抜きを必要としない利点を有している一方、処理水中のリンは除去されずにシステム内を素通りして排出される。すなわち、従来の嫌気・好気法によるリン回収が適応できない。

そこで、余剰汚泥を利用せずとも下水からリン回収をする方法として、高濃度微生物保持が可能な密閉型の DHS リアクターを用いたリン回収システムが考案された。これは、密閉リアクター内のスポンジにポリリン酸蓄積細菌 (PAOs) を保持させ、好気条件にリンを摂取・蓄積させて、リン除去水を得、嫌気条件時において高濃度のリン含有水を放出させてリンを回収する方法である。

この方法を用いた DHS リアクターのリン回収実験において、リン含有処理水を得ることはできたが、嫌気・好気時間、基質濃度、運転温度、pH 等の影響因子の最適化が図られていなかったため、リン摂取・放出能において安定した性能が得られなかった。このため、より高濃度のリン含有水を得るためには、各因子の最適条件を見出す必要があるが、DHS リアクターでは、様々な運転条件で検討することは運転操作上困難を要する。そこで、本研究では、チューブ内壁に生物膜を付着させ、様々な条件を容易に制御できるチューブ型の生物膜リアクターを用いて、ポリリン酸蓄積細菌 PAOs の優占化に最も影響を及ぼし、リンの摂取・放出が最適に起きる嫌気・好気

時間について検討した。

2. 実験方法

図 1 に本実験で用いた生物膜型リアクターを示す。リアクター本体はビニルチューブで、内径を 5 mm、長さを 3 m (容積 0.06 L) とし、内壁に生物膜を形成させた。植種源として活性汚泥を用い、温度は 20 °C で運転した。タイマーで嫌気好気条件を交互に繰り返すように制御し、好気条件時には好気基質及び同量の空気を同時に流し、また嫌気条件時には密閉タンクに保持した嫌気基質を流した。好気基質の組成はリン 5 mgP・L⁻¹、硝酸塩 40 mgN・L⁻¹ を主成分とし、ミネラルを加え作成した。嫌気基質の組成は VFA 濃度を 200 mgCOD・L⁻¹ (酢酸 : プロピオン酸 = 1 : 1)、リン 5 mgP・L⁻¹、アンモニア 40 mgN・L⁻¹ とミネラルを加え嫌気状態に保持した。

生物学的リン除去では、嫌気好気の時間が短ければ十分なリン摂取・放出を行う時間の不足となり、長ければ内生呼吸の発生や競合細菌の増殖等により、PAOs の性能に影響を及ぼすと考えられる。そこで、4 台のリアクターを同時に動かし、嫌気好気の 1 サイクル時間をそれぞれ 4、6、8、12 時間で運転した。また、1 サイク

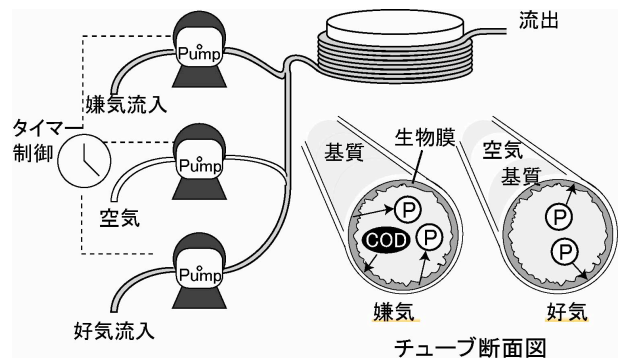


図 1 生物膜型リアクター概略図

ル時間を 12、16、18、24 時間でも行い、計 8 回の 7 条件で嫌気好気 1 サイクル時間のリン摂取・放出能への影響を調べた。嫌気と好気の時間比は 1 : 2 とした。嫌気条件時において、リン放出に十分な基質が流入するように、HRT を 10 分 (360 mL・h⁻¹) で運転した。チューブ内壁に生物膜が付着し、リン摂取・放出能が安定するまで (30 日以上) 運転した後、各条件における 1 サイクルの PO₄³⁻-P 濃度と COD 濃度の経時変化を測定した。また、単位汚泥当りのリン摂取・放出能を知るために、チューブ内の生物濃度、リン含有量を測定した。

3. 実験結果及び考察

図 2 に一例として、8、12、16、18 時間サイクル条件における 1 サイクルのリンと COD 濃度の経時変化を示す。各条件とも流出リン濃度は、流入に比べ嫌気時では高く、好気時では低くなっており、チューブ内生物膜によるリン摂取・放出が起きていることを示している。中でも 12、16 時間サイクルの運転において、リン摂取・放出能が大きく、流入リン濃度 5 mgP・L⁻¹ が流出では嫌気時に 12 mgP・L⁻¹ にまで増加している。一方、8 時間サイクルでは他サイクルと比べリン放出能が低く、また 18 時間サイクルでは嫌気時に一旦 12 mgP・L⁻¹ まで放出されるが、徐々に放出能は低下しており、好気時のリン摂取能についても同様に低下する傾向が見られ、嫌気、好気時間共に長過ぎることが原因と考えられる。また、どのサイクルにおいても嫌気時のリン放出が時間と共に低下しても COD は摂取されていることから、生物膜内に PAOs の競合細菌が存在していることがわかる。他の 4、6、24 時間サイクルでは、リン摂取・放出は極少量であった。

図 2 からではどのサイクル条件が PAOs の生息にとってよいか明瞭に判断できない。そこで図 3 に嫌気・好気それぞれの時間におけるチューブ内汚泥

(gVSS) のリン摂取と放出量を作成した。最もリンの摂取・放出量が見られたのは、16 時間サイクルで嫌気時に 6.4 mgP・gVSS⁻¹ のリンを放出していた。また、図 4 に生物濃度と生物膜内全リン含有量 (嫌気時と好気時の平均) を示しているように、16 時間サイクルの条件が生物膜中に最も多くリンを保持しており、この条件が PAOs の生息には好環境と考えられる。しかし、この 16 時間サイクルでさえ全リン含有量は 35 mgP・gVSS⁻¹ と一般的な汚泥と変わりなく、PAOs の存在割合は低いと考えられる。DAPI 染色による PAOs の顕微鏡観察からでも多くは検出できなかった。ただし、各チューブ内生物濃度は 20,000 から 30,000 mgVSS・L⁻¹ であり、DHS リアクターも同程度の微生物を保持できるところから、嫌気に僅か 6.4 mgP・gVSS⁻¹ のリンを放出しても、DHS リアクターから回収するリン含有排水のリン濃度は 160 mgP・L⁻¹ となり、リンの高濃度化が可能である。

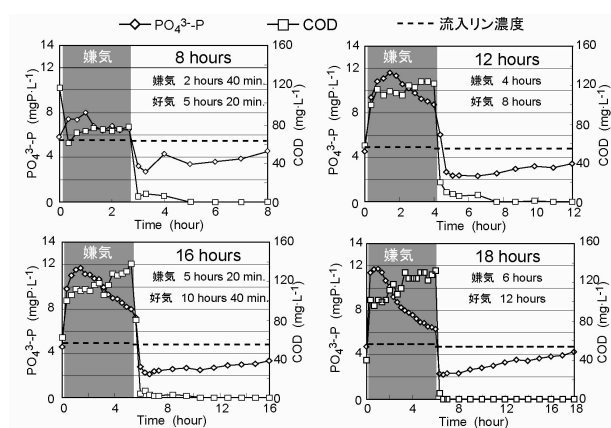


図 2 生物膜型リアクターにおける 8、12、16、18 時間サイクルの経時変化

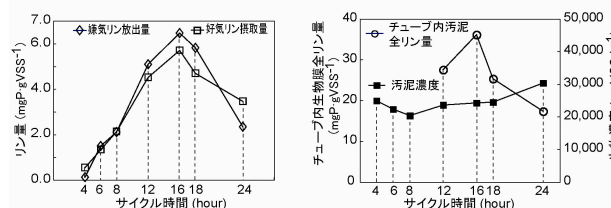


図 3 嫌気・好気それぞれの時間におけるチューブ内汚泥 (gVSS) のリン摂取・放出量

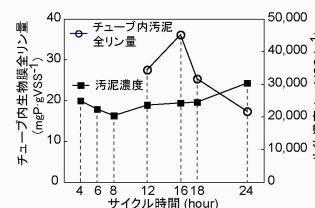


図 4 生物濃度と生物膜内全リン含有量 (嫌気時と好気時の平均)