

N-8 DHS リアクターによる下水からのリン回収技術

○石原 茂樹^{1*}・高橋 統気¹・山口 隆司¹
原田 秀樹²・大橋 晶良³

¹長岡技術科学大学 環境システム工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²東北大学 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

³広島大学 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1丁目4番1号)

* E-mail : shigeki@stm.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

下水処理において、処理水中のリンは水域への富栄養化防止の観点から除去されることが望まれている。それだけでなく、リン資源の枯渇が懸念されている背景から、下水中のリンを有用資源として位置づけ、リン回収する必要があると考えられている⁽¹⁾。現在、下水からのリン回収は、活性汚泥法の変法である嫌気・好気法にてポリリン酸蓄積細菌 (PAOs) にリンを過剰摂取させ、リンが蓄積した余剰汚泥から回収する方法である。しかし、リンを含む多量の余剰汚泥の処理は困難とされている。

一方、余剰汚泥の発生がきわ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。しかし、この方法では余剰汚泥の引き抜きを必要としないため、リンは除去されずにシステム内を素通りして放出される。このため、このような余剰汚泥の発生が少ない下水処理法では従来の生物学的リン除去・回収方法は適応することができない。

本研究では、余剰汚泥を利用せずとも下水処理水中からリン回収が可能で、高濃度の微生物保持可能な密閉型の DHS リアクターを用いたリン回収システムを考案した。実験では、この新規システムによる下水処理水中からのリン回収の可能性調査と回収性能を向上させるための運転条件の検討を行った。

2. リン回収原理

原理を示す。密閉型の DHS リアクターは気相部とスポンジ部からなり、スポンジ内部には PAOs が保持されている。流入水はリアクター上部からスポンジに向けて散水され、スポンジ内を自然流下し、処理水としてリアクター下部より流出される。この密閉型 DHS リアクターの気相部を好気及び嫌気条件に制御する事により単一リアクターにおいてリン回収を行う。このリン回収システムでは、PAOs の好気条件下でリンを蓄積し、嫌気条件下でリンを放出するという代謝を用いる⁽²⁾。好気時にリン含有水である下水処理水を流入することにより PAOs にリンを摂取・蓄積させ、リンが除去された処理水を得ることができる。嫌気時には有機物を含む排水を流入し、PAOs が蓄積したリンを放出させ、リンを高濃度に含む処理水を回収する。

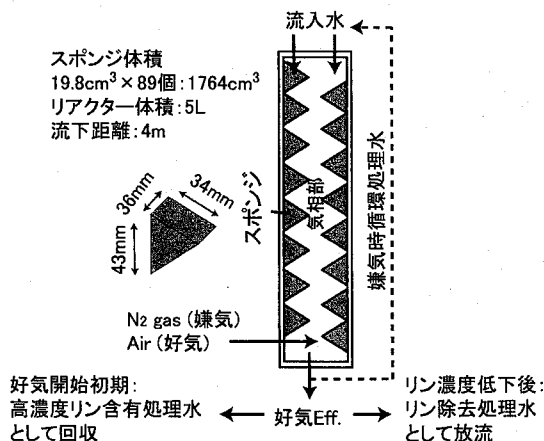


図 1 と図 2 は、それぞれリン回収システムの装置と

図 1 実験装置概要図

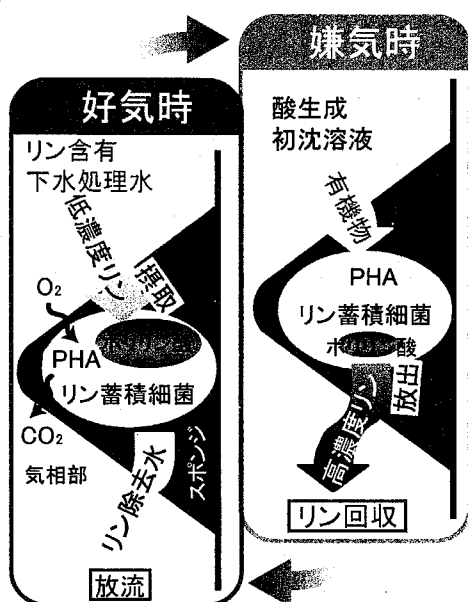


図 2 DHS リアクターによるリン回収原理

3. 実験方法

(1) Plugflow リアクターによるリン回収

生物学的リン除去では、嫌気好気状態の繰り返しが必要である。リン摂取・放出能は嫌気時間と好気時間の長さや割合によって変化する事が考えられる。そこで、始めに Plugflow 型リアクターでのリン回収の可能性とそれに適した時間条件を検討するためにビニルチューブを使用した Plugflow リアクターを運転した(図 3)。嫌気好気の 1 サイクル時間を 4、6、8、12 時間のリアクターを 4 台運転し、リン摂取・放出能を評価した。各サイクルの嫌気好気時間の比は 1:2 とした。植種源として活性汚泥を用い、温度は 20℃ で運転した。好気時には好気基質及び同量の空気を同時に流した。好気基質は、リン酸 5 mgP・L⁻¹、硝酸塩 40 mgN・L⁻¹ を主成分

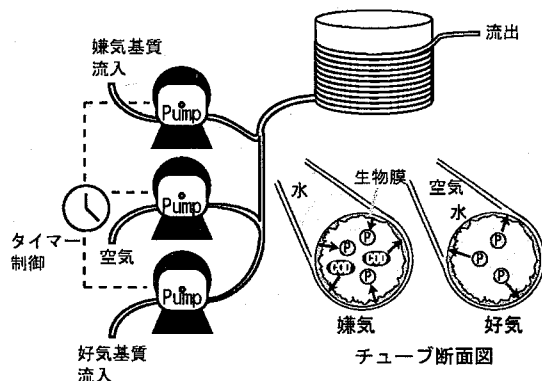


図 3 Plugflow リアクター概要図

とし、嫌気基質は、リン酸 5 mgP・L⁻¹、VFA 200 mgCOD・L⁻¹ (酢酸:プロピオン酸 = 1:1)、アンモニア 40 mgN・L⁻¹ を主成分とした。両基質にはミネラル分を加えた。チューブ長は 3 m、内径 5 mm (容積 0.06 L)、HRT 10 分 (6 ml・min⁻¹) で運転した。

(2) 重力濃縮汚泥からの酸生成実験

下水からリン回収を行う上で、課題の一つに、嫌気時基質の有機源の不足があげられる。嫌気時の有機源不足は PAOs のリン放出に大きく影響すると考えられる。そこで、長岡中央浄化センターから重力濃縮汚泥を採取し、密閉タンク内で酸生成させ有機源を確保する事とした。35000 mgCOD・L⁻¹ の重力濃縮汚泥を 30℃ で密閉、静置し、有機源としての揮発性脂肪酸 (VFA) の生成量を測定した。

(3) リン回収 DHS リアクターによるリン回収実験

図 1 にリン回収 DHS リアクターの概要図を示す。リアクターは高さ 2 m、容積 5 L の密閉容器とした。DHS リアクターは三角柱のスポンジが 87 個 (スポンジ体積 1764 cm³) 連結しており、流入水を上部より散水し、プラグフロー的にスポンジを流下させる形式とした。実験は酸素を電子受容体とした。好気時の HRT を 2 hr と 0.5 hr とした。嫌気基質は重力濃縮汚泥を 20℃ で 20 日間以上酸生成させた後、遠心分離した上澄み液を 4000 mgCOD・L⁻¹ に希釈したものを使用した。好気基質は、リン酸 5 mgP・L⁻¹、硝酸塩 40 mgN・L⁻¹ を含む下水処理水を模擬した人工排水を用いた。リアクターでは嫌気条件と好気条件が繰り返され、1 サイクル嫌気時間 4 時間、好気時間 8 時間として、好気時において好気処理水を HRT 2 hr (14.7 ml・min⁻¹) で流下した。好気時終了と同時に嫌気時が開始される。嫌気時が開始されると、DHS リアクター内が嫌気条件となるように気相部を窒素ガスでパージすることを行った。同時に嫌気基質を 3 分間あたり 176.4 ml 供給した。嫌気時の処理水は、残りの 3 時間 57 分間 DHS リアクター内で循環させ、DHS リアクター外へ排出させないこととした。嫌気工程終了と同時に好気工程を開始し、空気と好気基質を供給する。

4. 実験結果及び考察

(1) Plugflow リアクターによるリン回収実験

図 4 は、サイクル時間別のリン摂取・放出の経日変化を示す。どのサイクルにも好気時でのリン摂取と嫌気時のリン放出が見られたため、Plugflow リアクターでのリン回収は可能である事が示唆できる。12 時間サイ

クルにおいて一番多くのリン摂取・放出が見られた。また、短いサイクルでの運転は PAOs にとって、リンを摂取・放出するための時間が十分でない事が考えられる。これらの結果より、12 時間サイクルを今後の実験に適用して行くこととした。

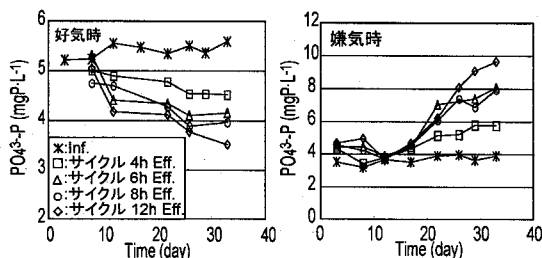


図 4 サイクル時間別のリン摂取・放出の影響

(2) 重力濃縮汚泥からの酸生成実験

図 5 は酸生成実験の結果として各 VFA の生成量と pH の変化を示す。酸生成は 120 hour 程で pH の低下により止まった。生成 VFA 量は投入 COD 量の約 20～30 % (7000～10500 mgCOD·L⁻¹) であった。この生成 VFA 濃度は、PAOs 代謝の有機源として使用することが可能である。そこで、DHS リアクター運転の嫌気基質として使用する事とした。

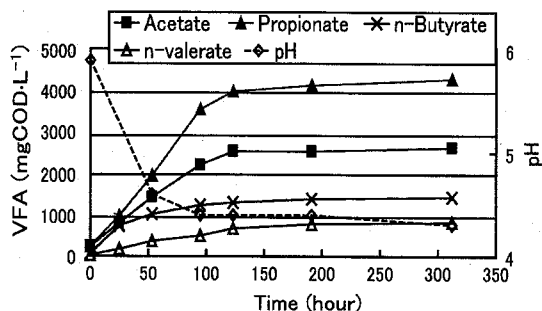


図 5 VFA 生成量と pH の変化

(3) DHS リアクターによるリン回収実験

リン回収の可能性を見るため、図 6 に好気時における水質特性を示す。流入リン濃度 5 mgP·L⁻¹ に対し、好気開始直後 (0 hour) のリン濃度は 37 mgP·L⁻¹ (流入の 7.5 倍) となって、このことから嫌気時にリン放出され濃度が高められているのが分かる。その後、処理水リン濃度は徐々に低下し、4 時間後に 0.7 mgP·L⁻¹ と最低となった。このことから、DHS リアクター内でリン摂取と放出が起きていることが分かった。実験での DHS リアクターでは流入リン濃度 5 mgP·L⁻¹ に対し 37 mgP·L⁻¹ という高濃度リン含有処理水を得ることができ、リン回収装置と

して利用できることが分かった。

図 7 は全流出水量に対するリン回収のための水量とリン回収濃度、リン回収率の関係を示す。回収流量 15 % (好気開始後 72 分間の処理水回収) では、リン回収濃度は 27 mgP·L⁻¹ に下がるが、リン回収率は 78 % まで上昇する。

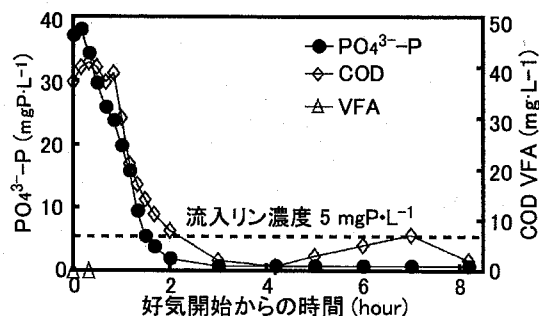


図 6 好気時における水質特性

(電子受容体：酸素、39 日目)

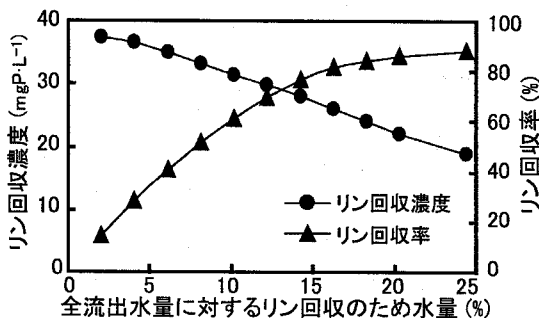


図 7 リン回収のための水量とリン回収濃度・率の関係

5. 結論

今回の実験で、DHS を用いた下水処理水中のリンを高濃度化することが可能であることが示された。また、リン摂取・放出の性能は、供給 COD 濃度 4000～8000 mgCOD·L⁻¹ の間であれば変化せず、下水処理水からリン含有処理水を得ることができる。

参考文献

- 1) 森山克美 (2004) “都市廃水からのリン回収技術の現状と展望” 水環境学会誌, Vol. 27, No. 10, pp20-23
- 2) Oehmen, A, Lemos, PC, Carvalho, G, Yuan, Z, Keller, J, Blackall, LL, Reis, MA, Advances in enhanced biological phosphorus removal: From micro to macro scale., Water Res, 41, 11, pp2271-2300, 2007