

UASB+DHS+A₂SBR システムによる都市下水処理 における物理化学的手法を用いたリン回収技術の開発

長岡技科大 (学) ○坂本健一, (正) 幡本将史, (正) 山口隆司
東北大院 (正) 高橋優信, (正) 久保田健吾, (正) 原田秀樹
長岡高専 (正) 荒木信夫 高知高専 (正) 山崎慎一
木更津高専 (正) 大久保努, (正) 上村繁樹

1. はじめに

我々の研究グループでは, 上昇流嫌気性汚泥床 (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) 法とスポンジ懸垂型リアクター (Down-flow Hanging Sponge : DHS) 法を組み合わせた省エネルギー・低コスト型の下水処理システムの研究開発を行っている。本システムは高い有機物除去性能と硝化性能を有しているが, リン除去および脱窒性能を有していない。そこで, リン除去および脱窒のための生物学的高度処理として, 脱窒性リン酸蓄積細菌 (Denitrifying Polyphosphate Accumulating Organisms : DPAOs) を用いた窒素リン除去プロセスの研究開発を行っている。DPAOs を用いた生物化学的リン除去は, 硝酸を電子受容体とするため, 硝化性能を有する UASB+DHS システムに適した手法である。本手法は, 既存のリン酸蓄積細菌と脱窒細菌を用いる手法と比較して必要な有機物量や余剰汚泥発生量が少なく, エアレーションを必要としないという利点がある。また, DPAOs はリンを高濃度で細胞内に蓄積するため, 汚泥からのリン資源回収が可能であると考えられる。

そこで本研究では, UASB+DHS システムの後段に DPAOs を培養するための嫌気・無酸素回分式リアクター (Anaerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactor : A₂SBR) を設置し, UASB+DHS 処理水に含有する窒素とリンの除去を行った。さらに, A₂SBR 汚泥からのリン回収を行うため, A₂SBR の後段に物理化学的リン回収法である HAP (Hydroxyapatite) 法を用いた HAP 生成リアクターを設置してリン回収を行い, システム全体でのリン除去・回収性能を調査した。

2. 実験装置および方法

本実験に用いた A₂SBR および HAP 生成リアクターの概要図を図 1 に示す。A₂SBR は, 高さ 0.9 m, 外径 0.6 m, 全容量 200 L で, 槽内は嫌気環境を維持した。A₂SBR は 360 分を 1 サイクルとし, 90 分の嫌気条件と 270 分の無酸素条件で構成した。サイクル開始時 (0 分) に炭素源として酢酸ナトリウム溶液 (流入リン濃度に対する COD/P 比は 25 g-COD/g-P) を添加し, 攪拌を開始して槽内を嫌気環境とした。UASB+DHS システムによって有機物除去と硝化を行った都市下水処理水を, 運転開始から 90 分後に槽内に 50 L 流入し, 槽内を無酸素環境とした。290 分後に槽内の攪拌を停止して汚泥を沈降させ, 350 分に分離した上澄み 50 L を排水した。A₂SBR 槽内の pH は, 添加する酢酸ナトリウム溶液の pH を調整することにより, 7.4±0.3 に調整した。槽内の汚泥濃度は, 汚泥を継続的に引抜くことにより, 約 2,000 mg/L に

調整した。植種汚泥には活性汚泥を用いた。

リン回収には, 物理化学的リン回収法である HAP 法を用いた。HAP 生成リアクターは, 高さ 0.4 m, 外径 0.3 m, 全容量 30 L とした。HAP 生成リアクターは A₂SBR の後段に設置し, A₂SBR に蓄積されたリンを移動し, HAP 法を用いて回収した。A₂SBR の嫌気条件下では, DPAOs の有機物摂取に伴って液中にリンが放出されている。この放出されたリンを回収するために, A₂SBR のサイクル開始後 50 分で攪拌を停止し, 85 分の時点で上澄み 10 L を HAP 生成リアクターに送水した。送水後, カルシウム源として塩化カルシウム溶液 (化学量論から Ca/P 比は 2.15 g-Ca/g-P) を添加し, pH を 9.0 付近に調整し, 3 時間攪拌することで HAP を生成した。生成した HAP は攪拌を停止して沈降分離し, 自然乾燥して回収した。HAP 生成リアクターの運転は, A₂SBR 槽内のリン収支から, A₂SBR の運転 4 サイクルに 1 回と設定した。

3. 実験結果および考察

UASB+DHS+A₂SBR の各プロセスにおけるリンと窒素の濃度変化を図 2 に示す。処理性能を評価した期間は, DPAOs の代謝が安定した実験開始 100 日目から 260 日目とした。リン濃度は, 流入下水 3.9±1.0 mg-P/L だったことにに対し, DHS 処理水では 4.1±0.8 mg-P/L でありほとんど除去されていなかったが, A₂SBR 処理水では 0.7±0.3 mg-P/L であり, リン除去率は 83±6.3% だった。窒素濃度は, 流入下水における全窒素濃度が 36±23 mg-N/L だったのに対し, UASB 処理水では 21±4.9 mg-N/L となり, A₂SBR 処理水では 8.4±4.0 mg-N/L となった。A₂SBR での窒素

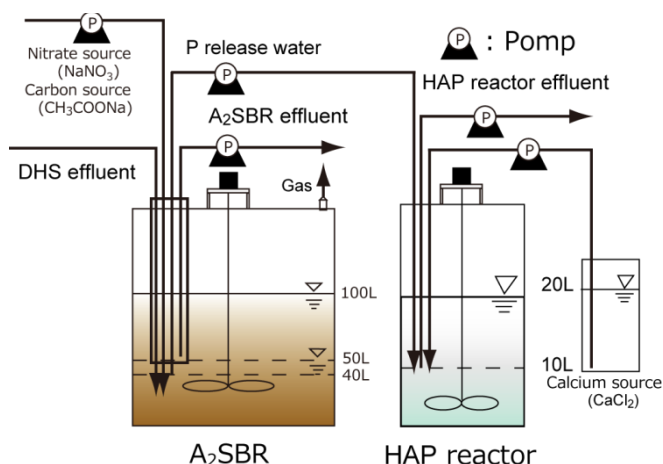


図1 A₂SBR と HAP 生成リアクターの概要図

キーワード リン回収, A₂SBR, リン除去, 窒素除去, HAP 法

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学大学院 工学研究科

水圏土壌環境制御工学研究室 TEL 0258-47-1611 (内線 6466) E-mail : s103325@stn.nagaokaut.ac.jp

除去率は $65 \pm 16\%$ であり、システム全体では $75 \pm 15\%$ だった。A₂SBR を用いることで国内の各地域における上乗せ排水基準として設定されていることが多いリン濃度 1 mg-P/L 以下、窒素濃度 10 mg-N/L 以下を達成することができた。これらの結果から、A₂SBR によって DHS 処理水に残留したリンと窒素の同時除去が可能であり、最終処理水は水質基準を達成していることが確認された。

HAP 生成リアクターを用いたリン回収実験における 1 日あたりのリンのマスバランスを図 3 に示す。1 日の A₂SBR へのリンの流入量が $628 \pm 53.4 \text{ mg-P/day}$ (100%) であることにに対し、リン除去後の処理水のリン量が $177 \pm 74.9 \text{ mg-P/day}$ (28%)、A₂SBR の汚泥濃度調整に伴うリンの流出量は $176 \pm 57.2 \text{ mg-P/day}$ (28%) だった。また、HAP 生成リアクターに送水したリン量は $187 \pm 27.0 \text{ mg-P/day}$ (30%) だった。生成した HAP のリン量は $183 \pm 40.6 \text{ mg-P/day}$ (29%) 程度だった。未回収のリンの 28% は余剰汚泥として系外に排出されており、リン回収率の向上には余剰汚泥からのリン回収技術が必要であると考えられた。

本実験結果を元に、A₂SBR と HAP 生成リアクターの中間にリン放出槽を設置し、リン回収率向上を試みた。リン放出槽を設置した場合の実験装置の概要図を図 4 に示す。A₂SBR の運転サイクル 0 分 (嫌気条件初期) の A₂SBR 汚泥 3.5 L をリン放出槽に送水し、炭素源として酢酸ナトリウムを投入することで槽内を嫌気条件とし、液中へのリン放出を行った (0.36 g-P/g-COD)。2 時間攪拌した後、沈降分離した上澄み 1.75 L を HAP 生成リアクターに送水した。リン放出槽の運転は A₂SBR 2 サイクルに 1 回行い、2 回分の液量で HAP 生成リアクターを運転し、同様のリン回収実験を実施した。

リン放出槽を用いた場合のリン回収実験における 1 日のマスバランスを図 5 に示す。1 日の A₂SBR へのリンの流入量 $852 \pm 131 \text{ mg-P/day}$ (100%) に対し、HAP として回収したリン量は $141 \pm 97 \text{ mg-P/day}$ (51%) だった。この時、リン蓄積汚泥中のリン量 $1074 \pm 137 \text{ mg-P/day}$ に対し、リン放出槽における汚泥からのリン放出量は $472 \pm 97.5 \text{ mg-P/day}$ (56%) だった。リン放出槽を設置しない場合の実験では、リン蓄積汚泥のリン濃度が $175 \pm 57.0 \text{ mg-P/L}$ であったことにに対し、A₂SBR の嫌気条件において生成したリン放出溶液のリン濃度は $18.6 \pm 2.5 \text{ mg-P/L}$ であり、リン放出率は $11 \pm 3.4\%$ だった。この結果から、リン放出槽の設置により高濃度のリン放出溶液が作成可能であり、リン放出槽がリン回収率の向上に有効であると示唆された。

4. まとめ

1) UASB+DHS+A₂SBR を用いた下水処理によって、 $83 \pm 6.3\%$ のリンおよび $75 \pm 15\%$ の窒素を流入下水中から除去することができた。

2) 物理化学的リン回収方法を用いた A₂SBR からのリン回収において、A₂SBR における DPAOs の代謝を用いたリン放出では、リン放出率は $11 \pm 3.4\%$ であり、リン回収率も 29% と低い値だった。0.36 g-P 放出/g-COD 摂取の化学量論を用いたリン放出槽によるリン蓄積汚泥からのリン放出を行った場合、リン放出率は $60 \pm 26\%$ であり、リン回収率は 51% に向上した。これらの結果から、リン放出槽の設置が本実験におけるリン回収率向上に有効であるということが確認された。

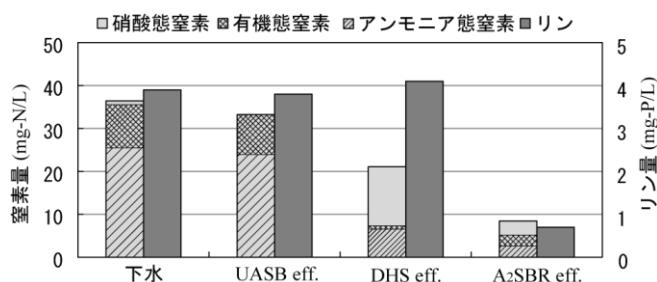


図 2 UASB+DHS+A₂SBR の栄養塩除去

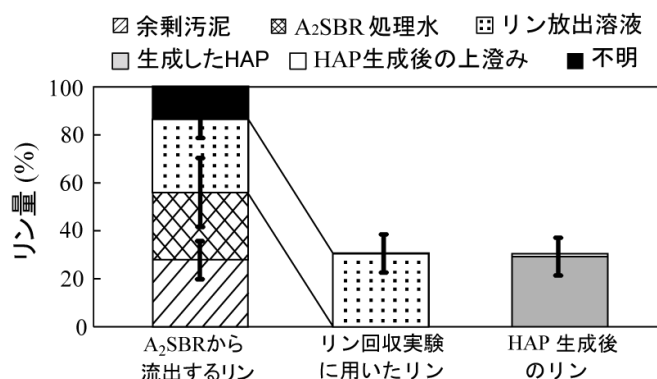


図 3 A₂SBR と HAP 生成リアクターにおけるリンのマスバランス

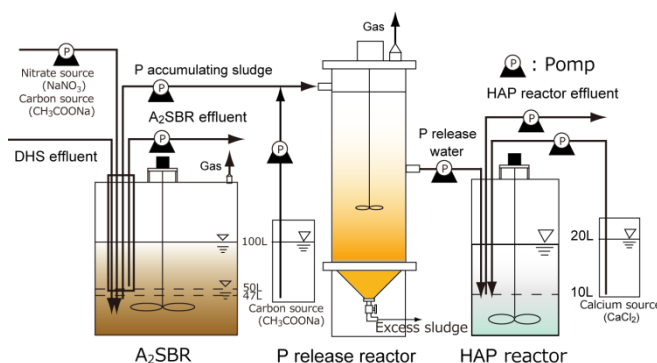


図 4 リン放出槽を設置した場合のリン回収システムの概要図

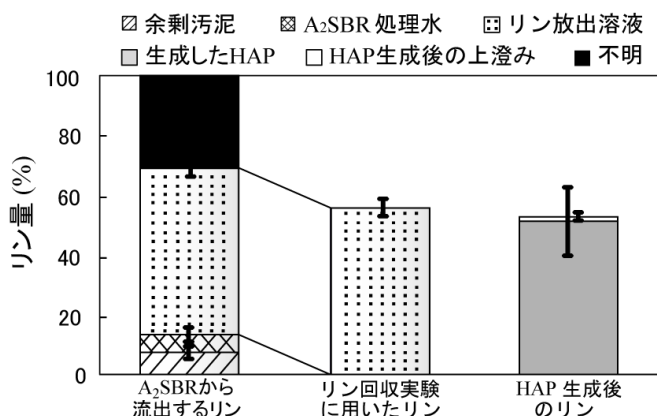


図 5 リン放出槽を設置した場合のリンのマスバランス