

## 嫌気/無酸素回分式リアクターを用いた UASB+DHS 処理水からの生物学的窒素・リン除去に対する有機物の影響

長岡技術科学大学 ○(学) 蝶勢智明, (学) 出濱和弥, (学) 坂本健一  
長岡技術科学大学 (正) 幡本将史, (正) 山口隆司, 東北大学 (正) 高橋優信  
木更津工業高等専門学校 (正) 上村繁樹, (正) 大久保努, 香川高等専門学校 (正) 多川正

### 1. はじめに

UASB+DHS 法は、嫌気性処理法の一つとして知られる UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) 法と、大気中の酸素を利用することで好気性処理を行う DHS (Down-flow Hanging Sponge) 法を組み合わせた省エネルギー型の廃水処理システムである。UASB+DHS 法は、都市下水や産業廃水の処理において優れた有機物除去能を有する。今後、このシステムを普及させていくためには、UASB+DHS 処理水に残存する窒素化合物やリンを除去するシステムの構築が必要となる。そこで本研究グループでは、UASB+DHS の後段に嫌気/無酸素回分式リアクター (Anaerobic/Anoxic sequencing batch reactor : A<sub>2</sub>SBR) を設置し、脱窒性リン蓄積細菌 (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms : DNPAOs) の代謝を利用した生物学的窒素、リン除去システムの開発を進めている。

DNPAOs は、嫌気条件下で菌体内から PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>を放出すると同時に、揮発性脂肪酸 (Volatile fatty acid : VFA) の一種である酢酸やプロピオン酸などを摂取する。また、無酸素条件では NO<sub>3</sub><sup>-</sup>を電子受容体として PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>を過剰摂取する性質がある。UASB+DHS プロセスにおいて DNPAOs の代謝を利用するためには、UASB+DHS によって除去された VFA を補うための有機物添加が必要となる。

そこで本研究では、A<sub>2</sub>SBR への添加有機物として酢酸、または下水処理場の余剰汚泥を発酵させて回収した溶液を用いた場合で処理実験を行い、脱窒およびリン除去性能に対する有機物の影響を調査した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置

A<sub>2</sub>SBR は全容量 200L で、長岡中央浄化センターにて下水の連続処理実験を行っているパイロットスケールの UASB+DHS の後段に設置した。植種汚泥に

は、活性汚泥法によって都市下水を処理している長岡中央浄化センターの返送汚泥を用いた。DNPAOs 特有の代謝が確認された 88 日目までを A<sub>2</sub>SBR の立ち上げ期間とした。A<sub>2</sub>SBR の 1 サイクルの処理時間は 360 分間とし、有機物の添加から 90 分間を嫌気条件、その後 UASB+DHS 処理水 50L を流入させてからの 200 分間は無酸素条件とした。そして、60 分間静置後の上澄み液 50L を処理水として排出した。

#### 2.2 添加有機物

A<sub>2</sub>SBR に添加した有機物は、Phase 1 (0~243 日目) では酢酸ナトリウム、Phase 2 (244~270 日目) では長岡中央浄化センターの重力濃縮汚泥に炭酸水素ナトリウムを 100mM 添加し、35°C で 6 日間静置し、酸発酵させた上澄み液とした。1 サイクルにおける有機物の添加量は、UASB+DHS 中のリン酸量 (g-P) に対して 25 倍の有機物量 (g-COD) とした。その有機物量は、Phase 1 では添加有機物中の COD 量、Phase 2 では、酢酸とプロピオン酸の COD 量で計算した。Phase 1 では添加有機物の pH を 4.9 に調整し、Phase 2 では無調整 (5.9±0.81) とした。

### 3. 実験結果および考察

Phase 1 における A<sub>2</sub>SBR 流入水中の PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>および TN は、それぞれ 3.5±0.77 mg-P/L と 24±8.5 mg-N/L であった。そして、A<sub>2</sub>SBR 処理水では 1.2±1.4 mg-P/L と 9.6±6.4 mg-N/L まで減少した。Phase 1 における PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>の平均除去率は 64%、TN 除去率は 60%であった。

図 1 (a), (b), (c) は、それぞれ 243, 244, 265 日目の 1 サイクルでの COD<sub>cr</sub>, VFA, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>の推移を示す。図 1 (a) と (b) のどちらにおいても、DNPAOs 特有の代謝が確認することができた。よって、A<sub>2</sub>SBR に添加する有機物は、酸発酵液でも適用可能であることが示唆された。Phase 2 開始直後は 90%以上の高い PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>除去率を示していたが、翌日か

キーワード A<sub>2</sub>SBR, DNPAOs, 生物学的窒素除去, 生物学的リン除去, 下水汚泥

連絡先 〒940-2166 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 水圏土壌環境制御工学研究室 TEL 0258-47-1611

ら  $PO_4^{3-}$  の除去が確認できなくなった。しかし、この期間でも脱窒は起こっていた。したがって、この期間では  $A_2SBR$  に添加した有機物が嫌気条件で消費しきれずに無酸素条件での脱窒にも利用され、 $DNPAOs$  の利用できる  $NO_3^-$  が不足していたものと考えた。そこで、245 日目に有機物の添加量を半分にした結果、 $PO_4^{3-}$  除去能の回復が確認された。

Phase 2 のうち、添加有機物量を変更した 245 日目から 270 日目までの  $A_2SBR$  流入水中の  $PO_4^{3-}$  および  $TN$  の平均値は、それぞれ  $2.1 \pm 0.56$  mg-P/L と  $16 \pm 3.2$  mg-N/L で、 $A_2SBR$  処理水では  $1.7 \pm 2.0$  mg-P/L と  $9.6 \pm 4.9$  mg-N/L であった。 $PO_4^{3-}$  と  $TN$  の平均除去率は 17% と 42% にとどまった。嫌気条件下での  $MLSS$  に対するリン放出量 (mg-P/g- $MLSS$ ) を見ると、243 日目は 8.8、244 日目は 5.4 であったが、265 日目には 0.30 にまで減少した (図 1 (c))。図 2 は、243 日目 (Phase 1) および 265 日目 (Phase 2) における無酸素条件開始直後の  $A_2SBR$  内 (start) と  $A_2SBR$  処理水 (end) に溶存している窒素化合物のマスバランスを示す。 $TN$  に対する  $NH_4^+$  の割合が 243 日目に高かった要因は、冬季に伴う水温低下によって  $DHS$  の硝化能が低下したためであると考えられた。一方、265 日目は  $NH_4^+$  の割合が低かったが、Phase 2 において  $UASB$  へ下水を送水するポンプのトラブルがあり、 $UASB+DHS$  の  $HRT$  が通常よりも 2 倍程度増加した。よって、265 日目は  $DHS$  での硝化が進行し、この時に多く含有していた有機態窒素は酸発酵液由来であることが示唆された。

嫌気条件開始時における  $A_2SBR$  内の  $pH$  を見ると、243 日目が 7.5 だったのに対し、265 日目には 6.9 にまで低下していた。嫌気条件での  $pH$  低下は、 $PAOs$  と  $VFA$  摂取で競合関係にある  $GAOs$  (Glycogen accumulating organisms) に有利に働くという報告がある<sup>1)</sup>。本研究でも、嫌気条件開始時の槽内  $pH$  が添加有機物の影響で徐々に低下し、 $GAOs$  が優先的に  $VFA$  を摂取する環境に変化したことが考えられた。

4. おわりに

$DNPAOs$  による脱窒・リン除去のために必要な有機物は、短期間であれば汚泥の酸発酵液でも適用可能であり、独立した廃水処理プロセスとなり得ることが示唆された。しかし長期的に見ると、嫌気条件での  $PO_4^{3-}$  の放出を増加させることが脱窒とリンの

除去を維持するために必要であると考えられた。

そこで、嫌気条件開始時における  $A_2SBR$  内の  $pH$  を 7.5~8.0 の間で制御し、下水汚泥由来の有機物を用いて長期的に連続運転を行い、その適用性を評価する予定である。

参考文献

1) Zhang *et al.*, *Chemosphere*, 69, 1713-1721, 2007.

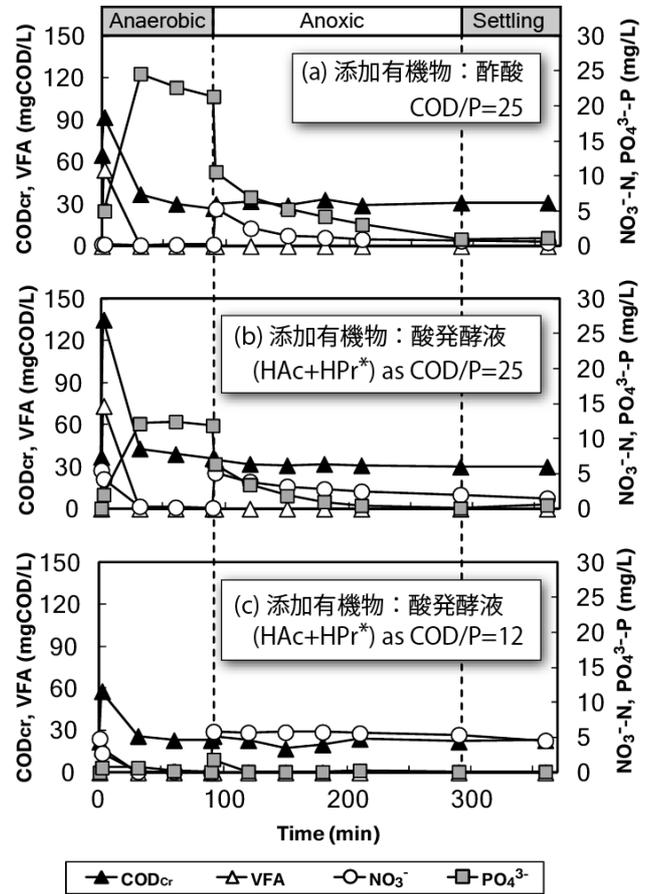


図 1 1 サイクルにおける  $COD_{cr}$ ,  $VFA$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  の推移 (a) 243 日目 (b) 244 日目 (c) 265 日目

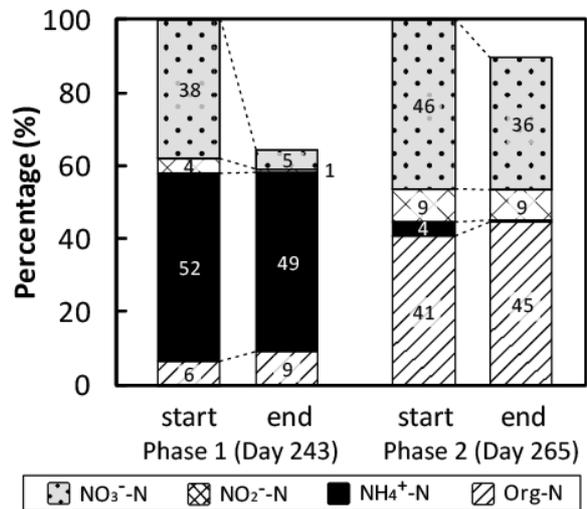


図 2 無酸素条件での溶存態窒素のマスバランス