

活性汚泥モデルを用いた2相汚泥式システムの最適運転条件の検討

九州大学大学院 学生会員 ○外尾 史恵, 正会員 久場 隆広, 学生会員 Torrico C. Vladimir

1.はじめに

活性汚泥の中には、有機物を効率的に利用して窒素・リンを除去可能な脱窒性脱リン菌の存在が報告されている¹⁾。この脱窒性脱リン能を有する菌の存在が示唆されているが、未だ単離されておらず、詳細は未知のままである。活性汚泥中にはさまざまな菌が混在しており、それぞれが相互に複雑に影響し合っている。そのため未だ単離されていない脱窒性脱リン細菌の活性をどのように高めるかを議論するには数値モデルによるシミュレーションが有効である。

1つのシステム内に異なる種類の菌群を保持し、それぞれの菌群に対して最適な条件により運転するには、2相汚泥式システム(例えば、 A_2N や DEPHANOX システム)が最適である。本研究では、数値モデルを利用して、DEPHANOX システムの運転条件が栄養塩濃度に及ぼす影響について検討した。

2. モデルの構造

ASM(Activated Sludge Model)³ に、ASM2d を基に作成したリン除去モジュールを導入した。導入にあたってはEAWAG Bio-P module を参考にした²⁾。本研究では、Hamada et al.³⁾の報告から菌の分別法を依存する基質と電子受容体の種類で区別し、脱リン菌を好気性の脱リン菌と通性嫌気性の脱窒性脱リン菌に、また従属栄養細菌もリン除去菌と同様に好気性従属栄養細菌と脱窒性従属栄養細菌に区別した(表1)。

3. 処理装置の概要と運転条件

図1に本研究で検討した DEPHANOX システムを示す。硝化槽内には担体を投入しており、比増殖速度の遅い硝化菌を高濃度に保持することが可能である。最終段の好気槽は処理水の嫌気化防止を主な目的として配置されており、そのHRTは相対的に短く設定している。したがって、硝化菌以外の汚泥は実質的に嫌気-無酸素条件に維持されている。このように、比増殖速度の遅い硝化菌と、嫌気-無酸素条件下においてリン除去能力を発揮する脱窒性脱リン菌をそれぞれ最適な条件に維持できる。また、本システムでは内部沈殿池から無酸素槽に流入するアンモニウムイオンを除去することができないため、達成可能な最大窒素除去率は bypass 比 $(b)/([a]+[b])$ (図1参照)により規定される。そのため、システム全体の窒素除去率を高めるには、この bypass 比を可能な限り小さく設定することが重要である。

4. シミュレーション条件

まず、種々の bypass 比の条件で実測した水質データ(表2)を用い、モデル上で使用したパラメータ値のキャリブレーションを行った。次に、キャリブレーションにより決定したパラメータ値を用いて、表3に示す条件下で脱窒と脱リン反応の大半が生じる無酸素槽での影響について検討した。流入水のデータとしては前述した実測値を用いた。一旦、定常状態に達するまで計算した後、200日間のシミュレーションを行った。初期値の影響はないものとし、200日間の平均値を用いて結果を評価した。また、シミュレーション上では bypass 比は一定とし、Torrico et al.⁴⁾の報告により0.13を用いた。

表1. モデル上での菌の定義

記号	単位	意味
X_H	[g-COD/m ³]	好気性従属栄養細菌
X_D	[g-COD/m ³]	脱窒性従属栄養細菌
X_{PAO}	[g-COD/m ³]	好気性ポリリン酸蓄積細菌
X_{DNP}	[g-COD/m ³]	脱窒性ポリリン酸蓄積細菌
X_A	[g-COD/m ³]	硝化細菌

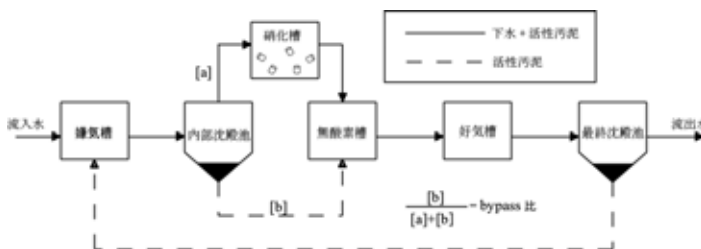


図1. DEPHANOX システムのフロー図

表2. モデル上で使用した流入水

bypass 比		0.25	0.17	0.13	0.08	0.04
濃度	単位	実測した流入水の平均水質				
NH ₄ ⁺ -N	[mgN-/L]	27.4	24.0	29.1	34.0	36.8
NO ₃ ⁻ -N	[mg-N/L]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PO ₄ ³⁻ -P	[mg-P/L]	3.1	2.5	2.9	3.3	3.7
T-COD	[mg-COD/L]	361	327	357	288	386

表3. モデルにより検討する運転条件

ANA \ ANO	HRT(hour)		
	2.5	3.5	4.5
1.2	シナリオ5	シナリオ3	シナリオ7
2.2	シナリオ1	シナリオ0	シナリオ2
3.2	シナリオ6	シナリオ4	シナリオ8

表4. 変更したパラメータ値

パラメータ	推奨値	変更後	パラメータ	推奨値	変更後
X_H			X_D		
$K_{A,H}$	2.00	4.00	$K_{A,D}$	2.00	4.00
$K_{F,H}$	2.00	4.00	$K_{F,D}$	2.00	4.00
X_{PAO}			X_{DNP}		
$K_{A,PAO}$	2.00	4.00	$K_{A,DNP}$	2.00	4.00
$K_{PP,PAO}$	0.01	0.05	$K_{PP,DNP}$	0.01	0.05
$K_{IPP,PAO}$	0.02	0.05	$K_{IPP,DNP}$	0.02	0.05
$q_{PHA,PAO}$	3.00	6.00	$q_{PHA,DNP}$	3.00	6.00
$q_{PP,PAO}$	1.50	4.00	$q_{PP,DNP}$	1.50	4.00

5. 結果及び考察

パラメータ値は、IWA によって提唱されているデフォルト値を基本としたが、キャリブレーションにより一部のパラメータ値を調整した(表4 参照)。キャリブレーションの結果、各反応槽での栄養塩濃度を概ね再現可能となった(図2)。

表3 に示すシナリオ結果の無酸素槽内における菌濃度と栄養塩濃度の平均値を図3 に示した。全シナリオを通して、全菌の濃度に大きな変化は見られなかったが、それぞれの菌の占有率に変化が見られた。嫌気槽の HRT を延長すると、本研究で注目している脱窒性脱リン菌(X_{DNP})は、増加傾向に、その他の菌は減少傾向にあった。また無酸素槽の HRT を 4.5 時間に延長したシナリオ 2,7,8 では X_{DNP} の増加が特に目立った。このように脱窒性脱リン菌の濃度を高めるためには、嫌気槽並びに無酸素槽の HRT をできる限り長くとる必要がある。

図4 は、脱窒性脱リン菌の占有率の高かったシナリオ 2,7,8 での各反応槽における栄養塩濃度の変化を示している。3 つのシナリオを比較すると、嫌気槽における HRT の延長に伴い、無酸素槽内の NO_3^- -N 濃度は増加傾向にあることが見てとれる。これは、嫌気槽における HRT 増加に伴い、脱窒菌が減少したためであった。各シナリオにおいて、無酸素槽内の PO_4^{3-} -P は、 X_{DNP} によりほぼ除去されており、図5 に示す嫌気槽での PHA(細胞内貯蔵物質)/ X_{DNP} の割合と無酸素槽での PP(ポリリン酸)/ X_{DNP} の割合が同程度であることから、3 つのシナリオにおけるリン除去活性にはほとんど差がないと言える。問題は、無酸素槽内で、 X_{DNP} によって処理されなかった NO_3^- -N をどのように除去するかということである。システム内では脱窒性脱リン菌を最大限利用し、かつ未処理の硝酸塩を脱窒菌に除去させることが重要である。

6. まとめ

数値モデルを用いて、DEPHANOX システムの嫌気槽と無酸素槽における HRT について検討した。脱窒性脱リン菌を高濃度で維持するには、嫌気槽と無酸素槽の HRT を可能な限り長く確保する必要があった。しかし、脱窒菌をある程度システム内に保持し、硝酸塩除去に有効的に利用するには、短い HRT が好ましい。リン除去は、嫌気槽における HRT が 2.2 時間でも十分に達成された。そのため窒素・リン同時除去を効率的に達成するには、嫌気槽での HRT は 2.2 時間、無酸素槽での HRT は 3.5 時間以上が望ましいという結論を得た。効率的に窒素・リン同時除去を進めるためには、脱窒性脱リン菌と脱窒菌の両方の性質を考慮して HRT を設定する必要がある。

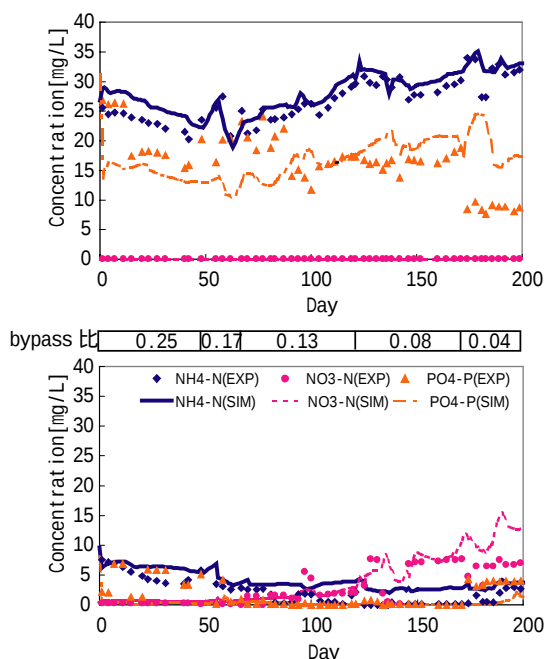


図2. 嫌気槽(上)、無酸素槽(下)の栄養塩濃度の実測値と計算値

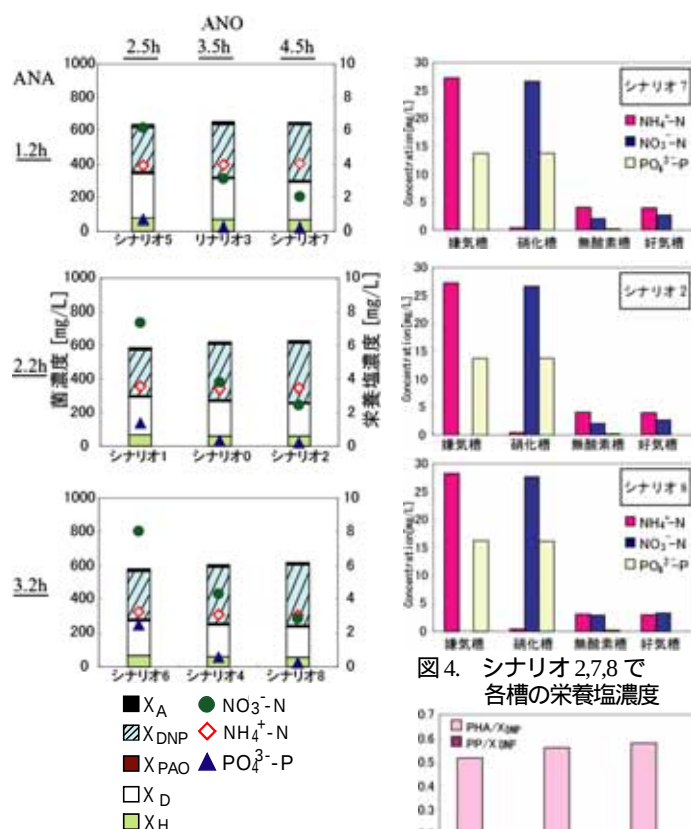


図3. シナリオ 2,7,8 の各槽の栄養塩の平均濃度

図4. シナリオ 2,7,8 で各槽の栄養塩濃度

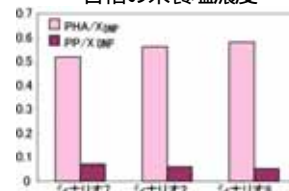


図5. シナリオ 2,7,8 での嫌気槽内の PHA/ X_{DNP} と無酸素槽内の PP/ X_{DNP} の割合

参考文献

- 1) Kuba, et al. (1996): Biotechnol. Bioeng. 54, 685-695.
- 2) Rieger, et al. (2001): Wat Res. 35, 16, 3887-3903.
- 3) Hamada, et al. (2001): Proc. IWA 3rd World Water Congress, e21335a.
- 4) Torrico, et al. (2006): 環境工学研究論文集, 43, 327-332.