

IAWQ 活性汚泥モデルによる担体投入型嫌気-無酸素-好気法のシミュレーション

佐久間 博司*、田之倉 誠**、西本 将明*、藤井 亮*

* (株) 荏原製作所 ** 川崎市建設局下水道建設部

概要

担体投入型嫌気-無酸素-好気活性汚泥法を対象として、IAWQ 活性汚泥モデルによる水質シミュレーションの検討を行った。シミュレーションはパイロットプラントによる実下水の連続処理実験データを用いて行った。検討の結果、シミュレーションによる処理水質の変化は実験結果と概ね一致しており、シミュレーションによりプラントの処理状態をほぼ再現できる考えられた。本結果より、活性汚泥モデルによるシミュレーションは運転管理や設計計画など支援ツールとしての利用が期待できる。

キーワード

下水処理、活性汚泥、生物膜、シミュレーション

1. はじめに

下水処理においては、有機物だけではなく閉鎖性水域における富栄養化の原因となる窒素やりんまで除去を行う高度処理法の導入が求められている。高度処理法として、最近では担体投入型やステップ流入式などの効率的な高度処理プロセス実用化が進められており、筆者等も担体投入型嫌気-無酸素-好気法の実用化を進めてきてきた¹⁾。これらの高度処理法は従来の標準活性汚泥法に比べ複雑なプロセスであり、水質予測が難しく、より高度な運転管理技術が必要と考えられる。このようなプロセスの設計計画や運転管理の支援ツールとして、活性汚泥モデルによるシミュレーションの活用が挙げられる²⁾。これまで、下水処理においてはモデルによるシミュレーションを実用的なツールとして利用する例は少なかったものの、IAWQ 活性汚泥モデルが発表されて以来³⁾⁴⁾⁵⁾、モデルシミュレーションの有効性が検証されてきている⁶⁾⁷⁾。ここでは、担体投入型嫌気-無酸素-好気法のパイロットプラント実験データをもとに、主として窒素除去に関するシミュレーションを行い、シミュレーション結果の妥当性を検討した。

2. パイロットプラント実験の概要

パイロットプラントの運転条件を表1に示し、処理フローを図1に示す。パイロットプラントの反応槽容積は合計で9.5m³であり、好気槽には球状のゲル担体(粒径4.2mm)を嵩容積として16v/v%投入した。原水は最初沈殿池流出水を用い、滞留時間8時間で実験を行った。MLSSは2000mg/L前後(1190mg/L~2660mg/L)、SRTは10日前後で運転した。実験期間中、担体の硝化性能および無酸素槽における活性汚泥の脱窒性能を把握するために、回分実験を行った。シミュレーションには94年5月から95年3月までの約11ヶ月間の連続実験データおよび回分実験データを用いた。

表1パイロットプラントの運転条件

流入水量	28m ³ /d
硝化液循環比	2.5
汚泥返送比	0.5
反応槽滞留時間 (嫌気:無酸素:好気)	8hr (1.3:4:2.7)
SRT	9.6日 (7.3日~12.4日)
担体充填率	16%

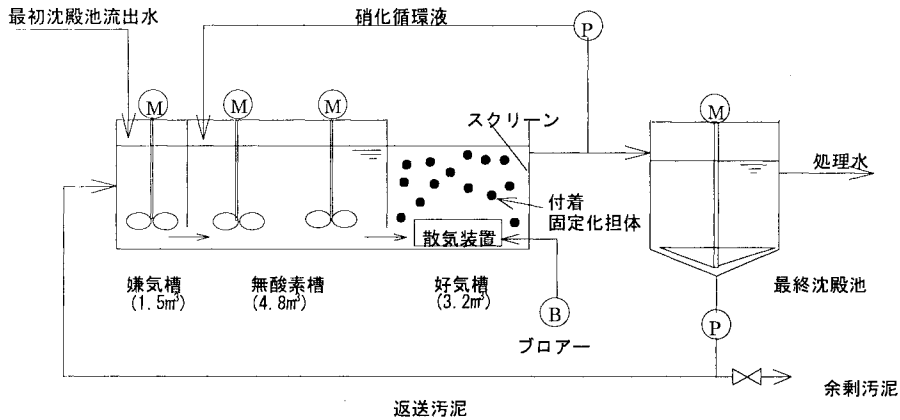


図 1 パイロットプラントのフローシート

3. シミュレーションの条件

シミュレーションソフトは AQUASIM を使用した。AQUASIM には一次元の生物膜モデルが含まれており、担体に付着した生物膜に関する計算はそのモデルに従った。

各反応槽は完全混合槽とし、最終沈殿池は設定せずに余剰汚泥は処理水とともに流出する構造にした⁷⁾。

生物反応のモデルには IAWQ 活性汚泥モデル No.2d (ASM2d) を用いた⁵⁾。ASM2d は有機物、窒素、りん除去の生物学的反応を表現しており、りん除去については脱窒時におけるりんの摂取も考慮している。モデル上の各パラメータ値や係数は基本的に ASM2d に示されている代表的な値を用いた。

実験期間中の原水 COD は 200mg/L 前後であり、この中の有機物成分の比率は SS や COD の分析値をもとに、表 3 のように推定した。原水の窒素濃度やりん濃度および好気槽の DO や水温は実験での測定値をそのまま用いた。

担体に付着した生物膜に関する主な設定条件を表 3 に示す。生物膜の厚みは 100 μm で一定と仮定し、バルク相から生物膜表面あるいは内部への SS 成分の移動がないものとした。すなわち、生物膜内部へは溶解性成分のみが移動し、菌体の増殖分は生物膜表面から剥離する構造とした。生物膜内の溶解性成分の拡散係数は鈴木⁶⁾の値を用いた⁷⁾。

回分実験のシミュレーションでは、回分実験実施日の活性汚泥や生物膜の状態を表現するために、連続実験データによる計算を実験開始から回分実験実施日まで行い、その状態から回分実験がスタートするようにした。

表 2 原水中の有機物成分の比率

<S ₁ を除いた溶解性 COD に対する比率>	
生物分解しやすい成分 (S _F)	: 0.6
有機酸 (S _A)	: 0.4
(不活性な溶解性成分 (S ₁))	: 20mg/L)
<SS 性 COD に対する比率>	
不活性な SS 性成分 (X _I)	: 0.12
分解速度の遅い成分 (X _S)	: 0.72
従属栄養細菌 (X _H)	: 0.15
りん蓄積細菌 (X _{PAO})	: 0.01
硝化細菌 (X _{AUT})	: 0

表 3 生物膜の設定条件

担体径	4.2mm (球状)
生物膜厚	100 μm
生物膜の密度	25,000gCOD/m ³

4. シミュレーションの結果

4.1 連続実験のシミュレーション

好気槽の MLVSS および処理水の窒素シミュレーション結果を図 2 に示す。図 2 には水温の実験データも併せて示した。

(1) MLVSS

計算結果は実験値と同様の挙動を示しており、実験における微生物の増殖・死滅のバランスがシミュレーションで表現できていることがわかる。

(2) NH₄-N

計算結果は通水後半（冬期）で実験値よりやや高いものの、実験結果を概ね再現している。なお、通水開始当初の実験値が極端に高いのは、新品の担体を投入して実験を開始したためである。シミュレーション上ではある程度の硝化菌が付着している担体を初期条件として設定しているため、通水開始からNH₄-Nが低下している。

(3) NO₃-N

通水開始当初を除き、計算結果は実験結果と同様の挙動を示している。

今回の検討では原水中のCOD成分比率を実験的に求めている。原水のキャリブレーションはシミュレーション結果に大きく影響することから、原水のキャリブレーションを行うことでさらに、精度の高いシミュレーションができるものと考えられる。

4.2 回分実験のシミュレーション

(1) 担体の硝化

担体の硝化回分実験のシミュレーション結果を図3に示す。通水開始90日目に行った夏期の実験では、計算結果が実験結果とほぼ一致しているが、90日目に行った冬期では計算結果の硝化速度が実験結果に比べ遅い結果となった。この原因としては、生物膜の厚みを一定と仮定しているため実際の厚みを反映していないことや、SS性成分が生物膜内に移動できない設定としているため生物膜内の微生物の分布が実際と異なっていることが考えられる。

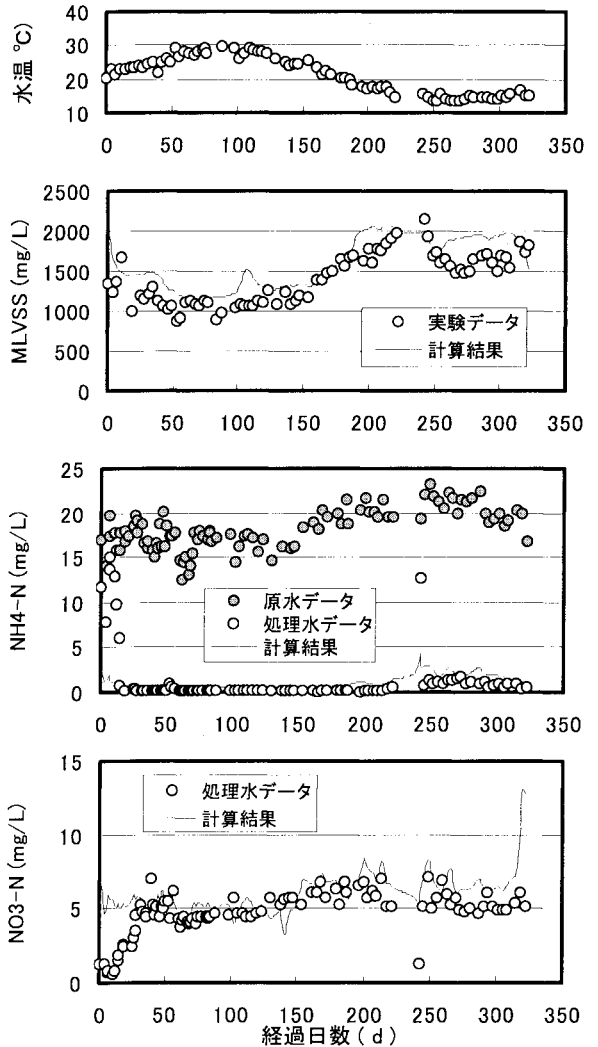


図2 連続実験のシミュレーション

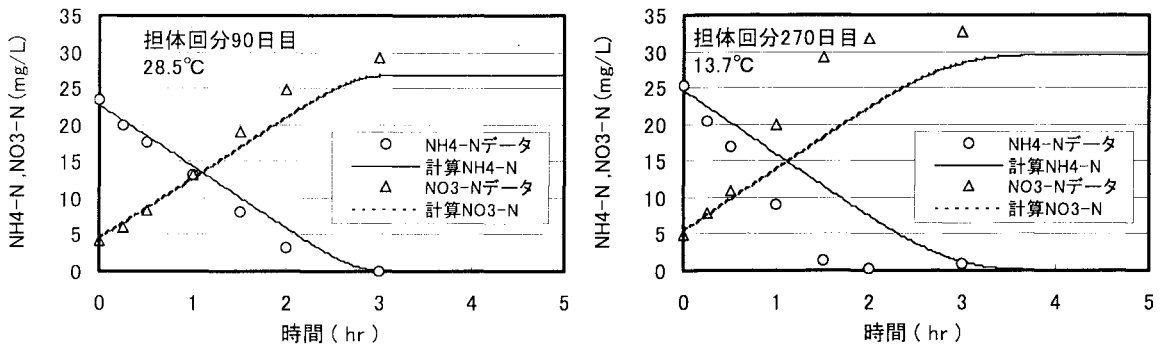


図3 担体の硝化回分実験のシミュレーション

(2) 活性汚泥の脱窒

通水開始 271 日目に行った冬期の脱窒回分実験のシミュレーション結果を図 4 に示す。計算結果は実験結果と良く一致しており、従属栄養細菌の状態をシミュレーションで再現できていると考えられる。

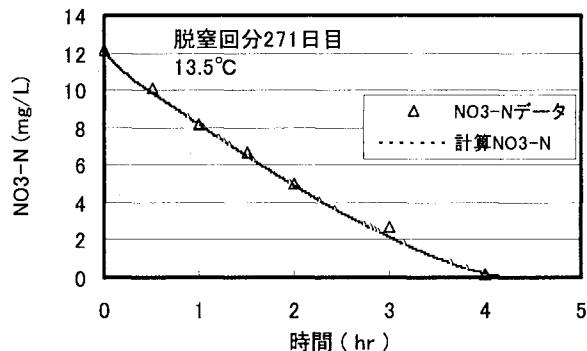


図 4 脱窒回分実験のシミュレーション

4.3 生物膜内の硝化菌の分布

連続実験の 100 日目（夏期）および 250 日目（冬期）における生物膜内の硝化菌濃度の分布を図 5 に示す。夏期では生物膜表面に硝化菌が多く、冬期では担体表面（厚さ $0 \mu\text{m}$ ）まで硝化菌が存在している。これは、夏期は基質（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）が生物膜表面で消費されてしまうのに対し、冬期では基質が除去しきれないことを表している。前述のように、生物膜の厚みの変化や SS 成分の生物膜内での拡散も考慮することで、生物膜内の微生物の分布状態をより正確に把握できると考えられる。

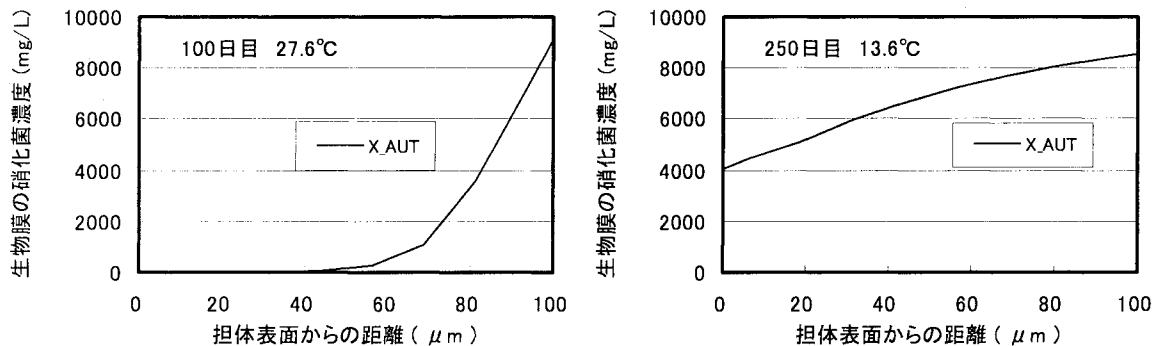


図 5 生物膜内の硝化菌濃度

5. まとめ

担体投入型嫌気-無酸素-好気法を対象に活性汚泥モデルによる水質シミュレーションについて検討した。この結果、シミュレーションにより実験結果を概ね再現できることがわかった。今後、原水有機物の成分比率や生物膜モデルを改善することで、シミュレーションの精度向上が期待でき、設計計画や運転管理の支援ツールとして利用可能と考えられる。

(参考文献)

- Mishima, K., Nishimura, T., Goi, M., and Kastukura, N. (1996) Characteristics of Nitrification and Denitrification of the Anaerobic-Anoxic-Oxic Process, *Wat. Sci. Tech*, **34**(1), 137-143.
- 味埜俊 他 (2000) 実利用が見えてきた活性汚泥プロセスシミュレーション, *水環境学会誌*, **23** (5), 2-20
- Henze, M., Grady, C. P.L., Gujer, W., Marais, G. v. R and Matsuo, T. (1987). Activated Sludge Model No.1, IAWPRC Scientific and Technical Report, No.1, IAWPRC, London. ISSN 1010-707X
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C. and Marais, G. v. R (1995). Activated Sludge Model No.2, IAWQ Scientific and Technical Report, No.3, IAWQ, London. ISBN 1 900222 00 0.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais, G. v. R., and Van Loosdrecht, M. C. M. (1999). Activated Sludge Model No.2D, ASM2D, *Wat. Sci. Tech*, **39**(1), 165-181.
- 船水尚行, 工藤亜佐子, 高桑哲男 (1998) ステップ流入式多段硝化脱窒プロセスの段数効果に関する研究, *下水道協会誌*, **35** (434), 119-130
- Yutaka Suzuki (1995). Modeling of Combined Activated Sludge and Biofilm Process for the Removal of Nitrogen and Phosphorus, Technical Memorandum of PWRI No.3405, ISSN 0386-5878.