

B-21 流入有機物濃度変動実験によるASM3Pのキャリブレーション方法の検討

㈱西原環境テクノロジー

○ 和田真澄

山梨大学 大学院医学工学総合研究部

藤田昌史

東京大学 大学院工学系研究科

古米弘明

1. はじめに

下水処理施設の合理的な設計・維持管理が望まれるなかで、IWA タスクグループにより提案された活性汚泥モデル(Activated Sludge Model: ASM)¹⁾は、その有力なツールとして注目されている。現在のところ、日本国内での実務利用には ASM2d が活用されている例が多いが、モデル構造の一般性がより高く、今後のモデル開発のコアモデルとして位置づけられているASM3の利用が推奨されている²⁾。ASM3は、有機物、窒素除去プロセスが考慮されているが、これにリン除去プロセスを追加した新しいモデルも提案されており、そのキャリブレーション手法についても検討され始めている³⁾⁴⁾。実用的な観点では、可能な限り簡便なキャリブレーション方法が求められる。

本研究では、都市下水を用いて嫌気好気回分式活性汚泥運転を行い、その過程で流入有機物成分濃度を変動させた4ケースの応答実験を行った。そして、その結果を用いて、ASM3にリン除去および発酵プロセスを組み込んだモデル(ASM3P)のキャリブレーションを実施した。

2. 実験および計算方法

表1 応答実験原水の有機物濃度(mgCOD/L)

有機物成分	Run			
	1	2	3	4
S_A (発酵生成物)	36	136	79	0
S_F (発酵可能な易分解性有機物)	15	0	14	0
X_S (遅分解性有機物)	141	0	143	197

2.1 実験条件

回分式リアクターとして、有効容量6Lの円筒形反応槽を用いた。原水として都市下水処理場の最初沈殿池越流水を使用した。嫌気工程150分(うち初期30分流入工程)、好気工程150分、沈殿排水工程60分、合計360分の嫌気好気回分式活性汚泥運転を行った。HRTは20時間、SRTは10日とした。水温を20℃、好気工程では反応槽内の溶存酸素濃度を2mg/Lに制御した。処理が安定した後、1サイクルだけ有機物成分濃度を調整した原水を流入させた(表1)。これらの原水は、最初沈殿池越流水または本リアクターの処理水に、酢酸ナトリウム(S_A 成分)または平膜(孔径0.45 μ m)を用いて下水より回収した懸濁物(X_S 成分)を添加することにより作成した。有機物成分の分画方法は、既報⁵⁾に従った。通常運転のRun1に加え3ケース(Run2~4)の応答実験について、1サイクルの水質を測定した。

2.2 計算条件

活性汚泥モデルには、ASM3にASM2dの X_{PHA} 蓄積、 X_{PP} 蓄積(好気/無酸素)、 X_{PAO} 増殖(好気/無酸素)、 X_{PAO} 自己分解、発酵プロセスを組み込んだASM3P⁶⁾を使用した。パラメータは、基本的にASM3標準値⁷⁾を用いたが、新たに導入したプロセスに係わるものについてはASM2d標準値⁸⁾を使用した。ただし、 K_F および K_A については、ASM3の K_S の値に準拠して2mgCOD/Lとした。これに伴い K_E は、 K_F 、 K_A と同じ値とした。また、水質成分として S_{ALK} は十分に存在していると仮定した。原水の分画方法は、既に提案されている方法⁹⁾に従った。反応槽初期濃度のうちバイオマス成分など分析値を与えることができないものについては、流入下水の1日コンポジットサンプルの平均水質を用いて計算を行い、得られた定常解を与えた。なお、キャリブレーションの過程でパラメータ値を変更した場合は、再度、定常解を計算し、反応槽初期条件を与えなおしたうえで、通常運転および応答実験のサイクルの計算を行った。計算には、市販の汎用ソフト(ifak社製SIMBA 4.0)を利用した。

3. 実験・計算結果および考察

3.1 S_A 添加系(Run2)でのキャリブレーション

Run2について、標準パラメータ値を用いた計算結果を実験結果とあわせて、図1に示す。 NH_4-N および

NO₃-N の計算値は、実測値をほぼ再現したので、硝化・脱窒に係わるパラメータは標準値を使用できると考えられる。一方、PO₄-P は、嫌気工程終了時の計算値が、実測値の1/3程度であった(図1 a))。この過小評価は、他のRunでも同様に見られたことから、キャリブレーションを要すると判断される。流入下水にX_SやS_Fが含まれる場合、リン放出過程は加水分解や発酵の速度にも影響される⁹⁾。したがって、流入下水の有機物成分としてS_Aのみを添加したこのRunの実験結果をキャリブレーションに利用するのが適切であると考えた。

(1) $\eta_{NO,PAO}$

標準値での計算では嫌気工程 60~120 分に PO₄-P 濃度の減少が見られる。PO₄-P の生成や消費に係わる各反応の速度を調べたところ、無酸素状態での X_{PP} 蓄積反応の寄与が高かった。上述したリン放出の過小評価はこれが影響していると考え、脱窒性リン蓄積微生物の存在割合に関連すると解釈される $\eta_{NO,PAO}$ を、試行錯誤的に標準値(0.6)⁹⁾より低く設定して計算した。 $\eta_{NO,PAO}=0.3$ としたときに、PO₄-P の減少は計算されなかった(図1 b))。しかしながら、依然としてリン放出量は過小評価されていた。

(2) Y_{PO4} および q_{PHA}

モデル上、リン放出速度は X_{PHA} 蓄積反応速度に Y_{PO4} (蓄積 X_{PHA} 当たりの X_{PP} 放出量) を乗じることで表現される(式1)。そこで、キャリブレーションすべきパラメータについて検討した。

$$Y_{PO4} \times q_{PHA} \times \frac{S_A}{K_A + S_A} \times \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \times \frac{X_{PP} / X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP} / X_{PAO}} \times X_{PAO} \dots (式1)$$

本 Run では酢酸ナトリウムを添加しており、サイクル初期の X_{PP}/X_{PAO} 計算値も 0.3gP/gCOD と見積もられていたことから Monod 項の制限はほとんどなかった。したがって、リン放出の過小評価には Y_{PO4} , q_{PHA} (X_{PHA} の速度定数) あるいは X_{PAO} が関与している可能性がある。X_{PAO} の存在量には、X_{PHA} の蓄積量自体が最も影響することが報告されている⁹⁾。したがって、ここでは Y_{PO4} および q_{PHA} に着目すべきであると考えた。標準値の Y_{PO4} (0.4)⁹⁾ では原水から供給される S_A 全量が X_{PHA} 蓄積に利用されたと仮定しても、実測されたリン放出量には達しないと見積もられた。したがって Y_{PO4} を高めに設定する必要があるがリン放出を再現する Y_{PO4} と q_{PHA} の組み合わせは何通りもあることに留意する必要がある。ここでは試行錯誤的に Y_{PO4} を 0.4 から 0.7 に、 q_{PHA} を 3 から 6 に変更した(図1 c))。

3.2 通常運転(Run1)でのキャリブレーション

既にキャリブレーションを行ったパラメータセットを用いて、通常運転を計算した結果を図2に示した。本 Run では、リン放出が逆に過大評価されていた(図2 a))。

(1) Y_{PO4}

添加した有機物の種類により、 Y_{PO4} は異なる値をとることが知られている⁷⁾。通常運転の下水の有機物組成は、Run2 で添加した酢酸ナトリウムのみではないことから、 Y_{PO4} の値が異なる可能性がある。そこで、 Y_{PO4} のみを変更したところ、0.5 に設定したとき、リン放出を再現できた。しかしながら、好気工程におけるリン摂取は、過大評価されていた(図2 b))。

(2) K_{PHA}

好気工程におけるリン摂取は、X_{PAO} による X_{PP} 蓄積

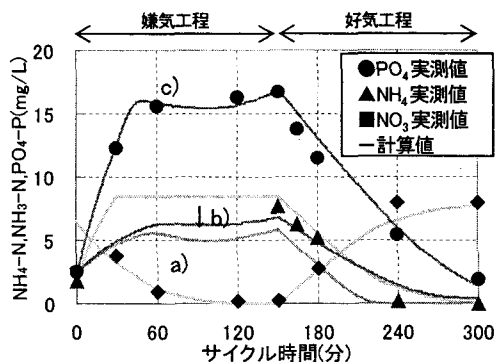


図1 Run2の実測値および計算値 変更パラメータ:
a)なし b) $\eta_{NO,PAO}=0.3$ c) $\eta_{NO,PAO}=0.3$, $Y_{PO4}=0.7$, $q_{PHA}=6$

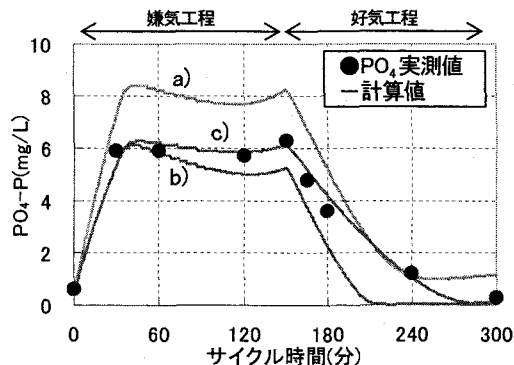


図2 Run1のPO₄実測値および計算値 変更パラメータ:
a) $\eta_{NO,PAO}=0.3$, $Y_{PO4}=0.7$, $q_{PHA}=6$
b) $\eta_{NO,PAO}=0.3$, $Y_{PO4}=0.5$, $q_{PHA}=6$
c) $\eta_{NO,PAO}=0.3$, $Y_{PO4}=0.5$, $q_{PHA}=6$, $K_{PHA}=0.05$

反応の寄与が高い。したがって、この反応速度(式2)が過大評価されているものと考えられる。

$$q_{PP} \times \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \times \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \times \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \times \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \times \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + (K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO})} \times X_{PAO} \dots (式2)$$

リン摂取速度が、好気工程前半に比べて後半で低下する現象が再現できないのは、計算上、 X_{PHA} の利用に制限がかからないためであることがまず考えられる。言い換えると、 K_{PHA} の設定値が小さすぎると考えられる。既報でも、この値は標準値から高めに設定している³⁾⁶⁾。そこで、ここでは標準値である0.01から0.05に変更した。このとき、好気工程における $PO_4\text{-P}$ の挙動が再現できた。また、嫌気工程後半の挙動も実測値に近づいた(図2 c)。これは、嫌気工程での X_{PAO} による X_{PP} 蓄積が抑制されるようになったためである。

以上のキャリブレーションにより、Run1において、嫌気工程・好気工程とも実測値を再現するパラメータセットが得られたと判断した。なお、Run2については本パラメータセットのうち、 Y_{PO_4} のみを0.7に変更したとき、概ね $PO_4\text{-P}$ の挙動を再現できることを確認した。

3. 3 Run3, Run4での検証

新たに得られたパラメータセットについて、他の応答実験結果を用いて検証を実施した。まず、下水に SA を添加した系(Run3)のデータを用いた。標準値では $PO_4\text{-P}$ の挙動を再現できないものの(図3 a)), 新たに得られたパラメータセットを用いた計算では、通常運転より増大しているリンの放出・摂取の挙動を再現できた(図3 b))。

次に、 X_S 添加系(Run4)について同様に検討した。Run4の原水に含まれる有機物成分は X_S のみであるので、 X_{PAO} が好気工程で $PO_4\text{-P}$ を摂取するためには $X_S \rightarrow S_F \rightarrow SA$ の有機物変換プロセスを前提とした X_{PHA} の蓄積が必要となる。すなわち、この系では $PO_4\text{-P}$ の放出を介して有機物変換プロセスに関するパラメータの妥当性を検討することが可能となる。パラメータ変更することで、好気工程において $PO_4\text{-P}$ の挙動がおよそ再現できたことから、前サイクルからの持ち込みの X_{PHA} や X_{PAO} 濃度が再現できているものと推察された(図4 b))。

以上より、キャリブレーションしたパラメータセットにより、Run3およびRun4の挙動も再現できることが示された。

4. まとめ

実下水を流入させた嫌気好気回分式活性汚泥法において、1サイクルのみ原水有機物条件を変更した応答実験結果を、ASM3Pのキャリブレーションに利用した結果、以下の成果が得られた。

- (1) 異なる流入有機物条件を設定した応答実験を利用することで、リン除去にかかわるパラメータについて簡便で実用的なキャリブレーションが可能となることが示された。
- (2) $PO_4\text{-P}$ の挙動は、 $\eta_{NO_{PAO}}$, Y_{PO_4} , q_{PHA} , K_{PHA} の4つのパラメータ値を調整することで、ほぼ再現された。

参考文献

- 1) IWA task group; Scientific and Technical Report No.9, 2000. 2) 味埜: EICA, 7(3), 83-86, 2002. 3) 花田ら: 下水道協会誌論文集, 41(496), 114-125, 2004. 4) Rieger et al.: Water Research, 35(16), 3887-3903, 2001. 5) 和田ら: 下水道研究発表会講演集, 41, 122-124, 2004. 6) Fujita et al.: Proc. of IWA Asianwaterqual2003, 3Q2B14 in CD-ROM, 2003. 7) 松尾ら: 衛生工学研究論文集, 23, 287-298, 1987.

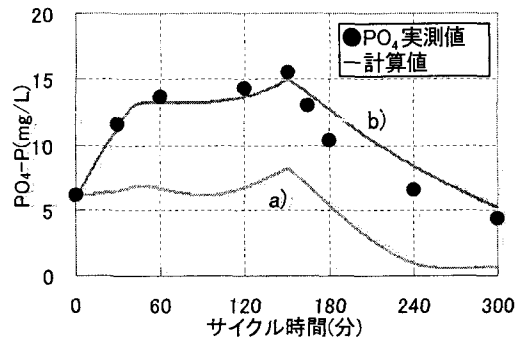


図3 Run3の PO_4 実測値および計算値
変更パラメータ:

a)なし b) $\eta_{NO_{PAO}}=0.3$, $Y_{PO_4}=0.5$, $q_{PHA}=6$, $K_{PHA}=0.05$

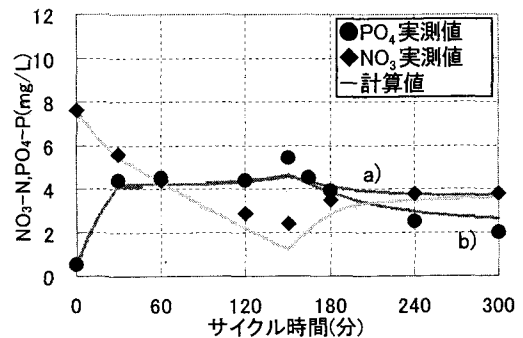


図4 Run4の PO_4 , NO_3 実測値および計算値
変更パラメータ:

a)なし b) $\eta_{NO_{PAO}}=0.3$, $Y_{PO_4}=0.5$, $q_{PHA}=6$, $K_{PHA}=0.05$