

VII-29

生物学的リン除去を考慮した回分式活性汚泥法の数値モデルの検討

茨城大学大学院 学生員 藤田 昌史
茨城大学工学部 正 員 古米 弘明

1. はじめに

単一反応槽において嫌気状態、好気状態を適切に組み合わせることにより、有機物の除去に加えさらに窒素やリンなどの栄養塩類の除去も可能な回分式活性汚泥法が、小規模での下水処理において有望視されている。しかし、有機物に比べて栄養塩類の除去は運転条件に左右されやすいため、窒素、リンも含めて処理水質が予測可能なモデルを用いて事前に運転条件を検討することは非常に有用であると考えられる。そこで本研究では、有機物除去、窒素除去とともに生物学的なリン除去過程が考慮されている IAWQ（国際水環境学会）の活性汚泥処理モデル NO.2¹⁾ の概念を基礎に、時間的に水質が変動する回分式活性汚泥プロセスのための非定常モデルを作成し、人工下水による処理結果に適用することによりモデルの有効性を検討した。

2. モデルの概要

流入水質成分として有機物、窒素、リンを対象とし、反応槽内においてそれらの変換・除去に関わるバイオマス成分として、従属栄養細菌、硝化細菌、脱リン細菌を定義し、さらに不活性バイオマスを考慮している。本数値モデルは、下水投入による反応槽体積の変化、処理水や汚泥の引抜きなどの非定常過程を組み込んだ物質収支式で構成されている（表-1）。バイオマスによって水質成分が変換・除去されるプロセスやバイオマス自体が増殖・死滅するプロセスに対し反応速度式¹⁾を定義し、水質7成分、バイオマス4成分、脱リン細菌細胞内蓄積物質2成分、合計13成分について物質収支式を立て Runge-Kutta 法により数値計算を行っている。反応速度式は、主に Monod 型動力学式で表現されており、溶存酸素などの影響が考慮されている。反応槽は完全混合型を仮定している。

表-1 物質収支式

$$\frac{d(V C)}{dt} = Q^{\text{in}} C^{\text{in}} - Q^{\text{e}} C^{\text{e}} + \sum R_P - \sum R_C$$

$$\frac{d(V X)}{dt} = Q^{\text{in}} X^{\text{in}} - Q^{\text{e}} X^{\text{e}} + \sum R_G - \sum R_D$$

$$\frac{dV}{dt} = Q^{\text{in}} - Q^{\text{e}}$$

Q:流量, C:水質成分濃度, X:バイオマス濃度
R:反応速度, V:反応槽体積
上付添文字 in:流入, e:流出
下付添文字 P:生産, C:消費, G:増殖, D:死滅

3. 定常状態における処理特性の評価

(1) 運転条件および初期条件の設定

モデル検証には、グルコース/ペプトン系の人工下水による回分処理実験結果²⁾を用いた。運転条件を表-2に示す。初期条件におけるバイオマス濃度については、その合計が実験値の MLVSS に一致するように各濃度を与えた。そして、運転条件や分析値を与えた後数サイクル計算し、サイクル内における各成分の初期値と最終値が一致した段階、つまり定常状態における1サイクルの水質およびバイオマス等の変動データを評価対象とした。ただし、人工下水を対象としたためリンの凝集・沈殿に関する反応速度式は除いた。

(2) 動力学定数の検討

IAWQ の活性汚泥処理モデル NO.2¹⁾ の動力学定数の標準値にて解析した結果を図-1に示す。1サイクル目から曝気工程後半においてリンの取り込みが行われないうちにリンが残存し、その結果、数サイクル後には初期濃度が上昇しリン挙動の再現は不可能であった。また、硝酸性窒素の過大評価、汚泥濃度の不一致という問題もあり、標準値として提案されている動力学定数値を調整した（表-3）。

表-2 運転条件

流入下水	グルコース/ペプトン(各140mg/L)
サイクル	6時間(機拌:曝気:沈殿排出=2:3:1)
基質流入	1時間(一定流量、サイクル初期投入)
SRT	20[days]
HRT	24[hr]
水温	20[°C]
DO制御	2.5[mg/L]

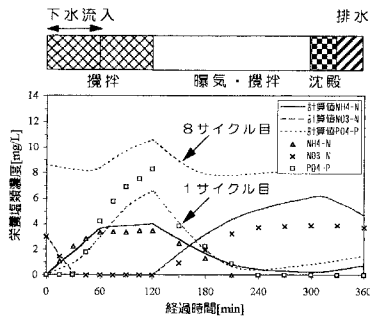


図-1 栄養塩濃度変化（文献値使用）

動力学定数値を調整して解析した結果を図-2に示す。リン放出や酢酸生成およびPHA蓄積に関係する動力学定数を標準値より高く設定することにより、嫌気工程におけるリン放出や曝気工程におけるリン取り込みが適切に再現できた。さらに、酸素の飽和定数や死滅係数を変更することにより、硝酸性窒素の過大評価や、汚泥濃度の不一致の問題も解消された。しかし、流入工程初期におけるリン挙動が再現されておらず検討する必要がある（図-2中の○印）。

(3) 脱リン菌の脱窒能の検討

一部の動力学定数値を調整することにより、全体の再現性は高くなったものの、実験値では下水流入初期においてリンの流入があるにもかかわらずリン濃度が上昇していない。無酸素状態で脱リン細菌がリンを摂取しているためと考えられる。しかし、モデル上では無酸素状態における脱リン菌の挙動は定義されていない。一方、Minoら³⁾は既にサブモデルとして脱リン菌の脱窒能の組み込みを検討している。本研究でも脱リン細菌に脱窒能を組み込んだところ、流入工程初期におけるリン挙動が再現できた（図-3(a)）。有機物挙動については、本モデルでは対象としていない微生物代謝産物⁴⁾や有機物の菌体内貯蔵等を考慮することにより、適切に再現することができるものと予想される。（図-3(b)）。

4. まとめ

- IAWQの活性汚泥処理モデルNO.2¹⁾において標準値として提案されている動力学定数では、リン挙動や汚泥濃度を再現することができず、リンの放出や取り込みに関する定数と死滅係数を調整する必要があった。これらの調整の一部は、本実験で人工下水を使用していることと関係していると思われる。
 - NO.2モデルに脱リン細菌の脱窒能を組み込むことにより、リンの除去過程がより精度よく再現できた。
- 〈参考文献〉

- IAWQ Scientific Technical Reports(1994),Activated Sludge Model NO.2
- 古米弘明ら(1996), 回分式活性汚泥法におけるリン挙動の数値モデルによる評価, 第30回水環境学会年會講演集, p128
- Takashi MINO et al.(1995),Modeling Glycogen Storage and Denitrification Capacity of Microorganisms in Enhanced Biological Phosphate Removal Processes,Wat. Sci. Tech.,Vol.31,NO.2,pp25-34
- 古米弘明(1994), 回分式活性汚泥法における処理過程の非定常モデル, 用水と排水, Vol.36,NO.6,pp483-490

表-3 動力学定数の変更

問題点	動力学定数	文献値	変更値	単位
硝酸性窒素の過大評価	酸素の飽和定数	0.2	0.5	[mgO ₂ /L]
リンの放出・取り込み	リンの放出に関する定数	0.4	0.6	[mgP/mgCOD]
	最大加水分解速度定数	3	5	[1/day]
	最大発酵速度定数	3	5	[mgCOD/mgCOD/day]
	最大PHA蓄積速度定数	3	4	[mgCOD/mgPAO/day]
汚泥濃度	死滅係数（従属栄養細菌）	0.4	0.15	[1/day]
	死滅係数（硝化菌）	0.15	0.1	[1/day]
	死滅係数（脱リン菌）	0.2	0.1	[1/day]

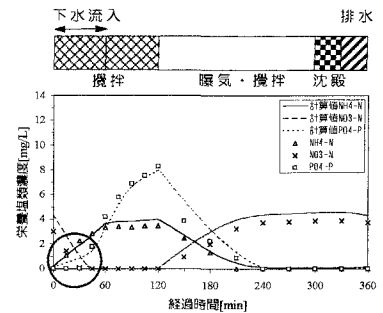


図-2 栄養塩濃度変化（調整後）

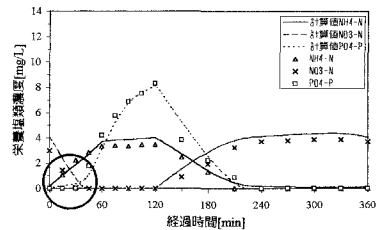


図-3(a) 栄養塩濃度変化（脱窒能有）

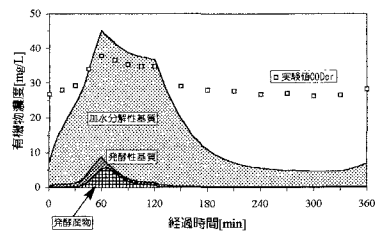


図-3(b) 有機物濃度変化（脱窒能有）