

高度下水処理運転支援用活性汚泥シミュレータの開発

古屋勇治*、橋田邦彦**、水谷高明*、佐々木康成*、古米弘明***

- * (株) 富士電機総合研究所 環境技術研究所
神奈川県横須賀市長坂 2-2-1
- ** (株) FFC 公共ソリューション部
東京都日野市富士町 1 番地 (富士電機 (株) 東京システム製作所内)
- *** 東京大学工学系研究科都市工学専攻
東京都文京区本郷 7-3-1

概要

高度下水処理プロセスの水質予測、運転支援、管理要員の訓練ツールとして利用できる活性汚泥シミュレータを開発した。本ソフトで対応しているプロセスは、標準活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、嫌気-好気活性汚泥法、嫌気-無酸素-好気法である。活性汚泥モデルは IAWQ 活性汚泥モデル No.2 を使用した。さらに、嫌気-無酸素-好気法のテストプラントでの処理水質予測の検討を行ったので結果を報告する。

キーワード

シミュレーション、活性汚泥、IAWQ ASM No.2

1 はじめに

近年、閉鎖性水域に放流する下水処理場では、嫌気-無酸素-好気法 (A2O 法) 等の窒素・りん除去可能な処理方法が普及し始めてきた。この方法は従来の標準活性汚泥法に比べ、より複雑な微生物群集が処理に関わるため運転管理が難しい。また、雨天時等で流入負荷が変動するとりん除去が悪化することなどが報告¹⁾されているが、対応策は経験的なものに留まっており、運転管理に定量的な指標が望まれている。一方で、1995年に IAWQ から活性汚泥モデル (ASM2)²⁾が発表され、このモデルを使用して下水処理場の運転を定量的にシミュレートできるようになった。これには、運転条件変更による影響を事前に検討できる利点がある。これまでに、当社は回分式活性汚泥法、二槽式間欠曝気法にシミュレーションを適用した研究を行ってきた。^{3) 4)}しかし、シミュレーションを行うにはモデルやプログラミングの知識が必須であり、運転管理者が利用する事は困難であった。そこで、水質予測、運転支援、管理要員の訓練ツールとして利用できる操作が容易な活性汚泥シミュレータを開発した。

2 シミュレータの概要

2.1 シミュレータの機能

本シミュレータのモデルは、IAWQ の活性汚泥モデル No.2²⁾を使用した。このモデルは、有機物だけでなく、窒素・りんの挙動を解析する事ができ、窒素・りん除去を行うプロセスをシミュレーション可能である。図1にシミュレータの画面構成を示す。本シミュレータは、4種類のプロセス (標準活性汚泥法、嫌気-好気活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、嫌気-無酸素-好気法) が用意されている。よって、ユーザーがプログラムを変更することなく、容易に下水処理プロセスをシミュレートできる。主な画面の機能を以下に記述する。
プロセス画面

- ①解析結果リストから既存の解析結果の選択、表示を行う。
- ②再生表示ボタンにより、オンラインイメージで刻々と変化する処理水質等を表示可能。

解析条件設定画面

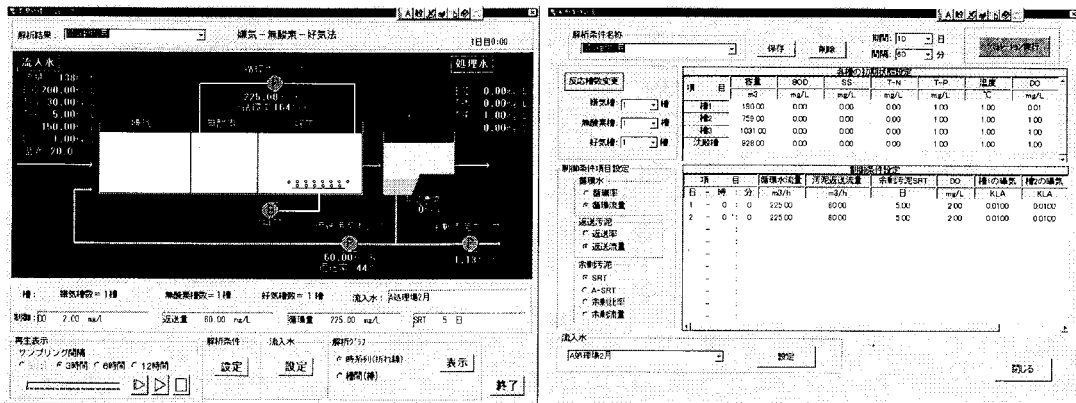
- ③解析条件の新規作成と既存解析条件の編集、削除を行う。
- ④3種類の反応槽(嫌気槽, 無酸素槽, 好気槽)の槽数、容量を任意に設定。(最大 12 槽)
- ⑤任意の時刻で制御条件を変更可能。(最大 10 条件)
- ⑥制御条件は様々な入力方法(流入量比率, 流量, SRT等)が可能。
- ⑦シミュレーション期間を任意に設定可能。(5~60分間隔で予測, 最大 90 日)

流入水データ入力画面

- ⑧任意の日時で細かな流入水質を設定可能。
- ⑨ベース値に対する日間変動を、スライダにより視覚的に容易に入力可能。

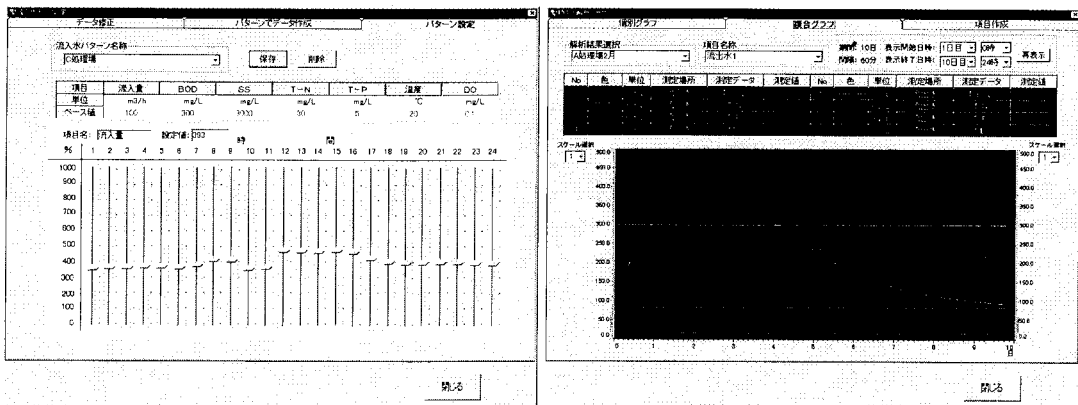
時系列解析グラフ画面

- ⑩任意の水槽水質のトレンドを 8 種類まで一斉表示可能。
- ⑪任意に表示期間を設定可能。



プロセス画面

解析条件設定画面



流入水データ・パターン入力画面

時系列解析グラフ画面

図1 シミュレータ画面構成

2.2 シミュレータの入出力構成

本シミュレータで採用した IAWQ の活性汚泥モデル No. 2 は、有機物量を CODcr で表している。したがって、水質分析結果(BOD, TOC)を CODcr に変換する必要がある。実験開始前に CODcr と BOD, TOC の相関を測定し、換算係数を求める必要がある。シミュレータ使用時は、あらかじめ設定した換算係数で CODcr に変換されるので、BOD, TOC を直接入力可能である。換算 CODcr 値は、任意の分配係数でモデル変数(S_F , S_A , S_1 , X_1 , X_5 等)へ分配している。全窒素、全りんに関しても同様に、任意の変換係数でモデル変数(S_{NH_4} , S_{NO_3} , S_{PO_4} 等)へ変換している。

シミュレーション結果は、入力と同様に CODcr 値から水質分析項目(BOD, TOC 等)に逆変換される。

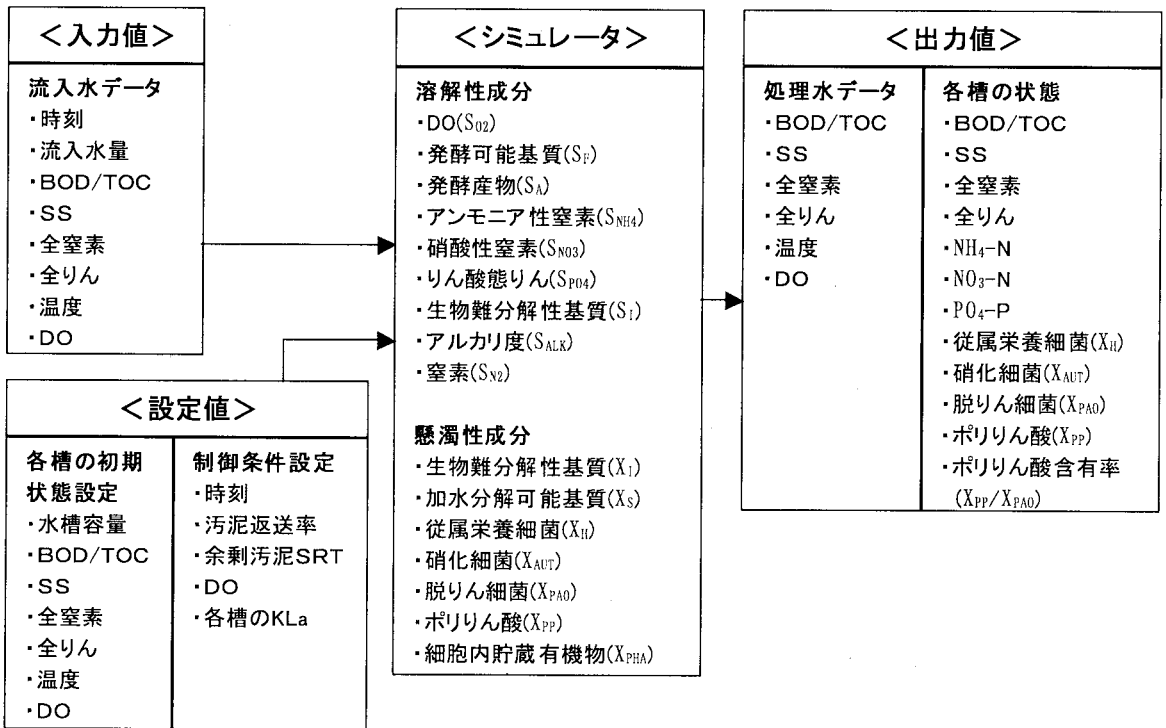


図2 シミュレータ入出力構成

3 シミュレータの利用例

3.1 テストプラントの実験概要

図3にA2O法の実験装置概要を示す。原水受槽、最終沈殿池を設け、生物反応槽は7分割し、総有効容量は200(L)、嫌気-無酸素-好気の分割比は2:3:5である。原水として、し尿、食堂排水、石鹼、洗剤、薬品(りん・窒素・有機物の調整)を調合して下水流入水を模擬したものを用いた。模擬下水の目標水質を表1に示す。流入水量は約320L/日(HRT=約15時間)、硝化液循環水流量は約480L/日(流入水量比=150%)、返送汚泥流量は約160L/日(流入水量比=50%)、MLSSは約1800mg/L、SRTは約18日(A-SRT約9日)で運転を行った。好気槽でのDO濃度を2.0~2.5mg/L、水温は約20℃に制御した。この装置は、間欠曝気法の汚泥を植種し、運転開始から約1年半経過している。なお、実験開始前は、原水の水質が不安定であり、脱りん細菌によるりんの過剰摂取は起こっているものの、りん除去は良好ではなかった。

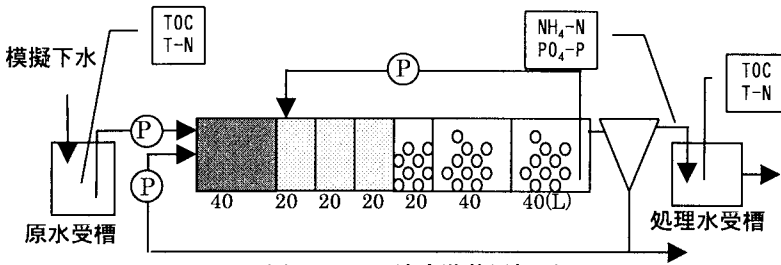


図3 A2O法実験装置概要

表1 模擬下水目標水質

項目	濃度 (mg/L)
BOD	200
TOC	140
T-N	30
T-P	6.0
NH ₄ -N	10.0
PO ₄ -P	5.0

3.2 実験方法

雨天時における流入水質や流量の変動を想定して、以下の操作で流入変動を与えた。

- ・実験開始から1時間は流入量を通常の2倍の640L/日とし、その後通常の320L/日に戻した。
- ・実験期間中、硝化液循環水と返送汚泥の流量は一定にした。
- ・反応槽への原水供給は、実験開始時、原水受槽に通常濃度より約2倍濃い原水を貯蔵(20L)しておき、原水受槽へ通常濃度の模擬下水を供給しながら行った。

したがって、図4に示されるような初期に流入水量と水質にピークのある流入条件を与えたことになる。

TOC, T-N の試料のサンプリングは、原水受槽内と最終沈殿池の上澄み液を貯蔵する処理水受槽から、NH₄-N, PO₄-P の試料は最終沈殿池と処理水受槽を接続しているパイプから行った。TOC, T-N の測定原理は、前処理として試料を攪拌式ホモジナイザーで分散させ、酸添加後15分曝気したものを、それぞれ燃焼触媒酸化法、熱分解/化学発光法で計測するものである。NH₄-N, PO₄-P については、それぞれインドフェノール青吸光光度法、加熱分解/モリブデン青吸光光度法で測定した。

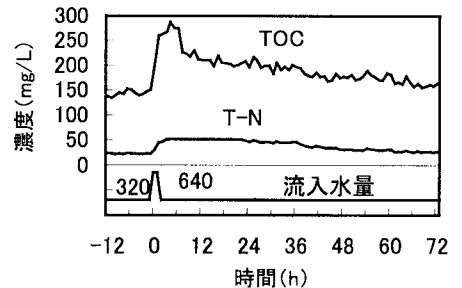


図4 流入水質と流入水量の変化

3.3 実験結果

図4に示すように、流入水のTOC濃度は、実験開始前の約140mg/Lからスタート時に約270mg/Lまで上昇し、約10時間後に220mg/Lとなり、その後徐々に濃度が低下していき72時間後には約60mg/Lとなった。T-N濃度は実験開始前の22mg/Lからスタート時に分析計の測定上限である50mg/L以上となり、約24時間後から72時間後の約30mg/Lまで徐々に低下していった。

処理水質の測定結果を図5に示す。未ろ過処理水のTOCは実験開始前の25mg/Lから開始直後に約35mg/Lになり72時間後までほぼ一定であった。処理水のNH₄-N濃度は、実験開始前はゼロで硝化率は100%であった。実験開始から9時間後にNH₄-Nが確認され始め、24時間後にNH₄-N濃度は約4.5mg/Lと最大となり、72時間後は0.2mg/Lまで低下した。T-N濃度のピーク位置が、NH₄-N濃度より遅れて現れているものの同様の変化を示した。窒素除去率は実験開始前の88%から一時55%まで低下した。PO₄-P濃度は、実験開始前の約2.0mg/Lから17時間後に約5.3mg/Lで最大となり、その後小さな変動をしながら減少傾向を示し、72時間後には約3.5mg/Lとなった。

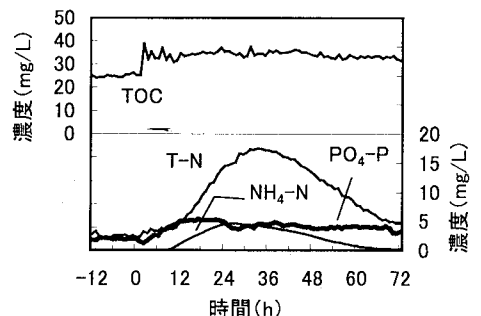


図5 処理水質の変化

3.4 シミュレーションモデル

7槽の反応槽は完全混合槽列プロセスとして取り扱った。最終沈殿池における汚泥濃度分布、濃縮および生物反応は考慮せず、固液分離のみが起こると仮定した。微生物は従属栄養細菌、硝化細菌、脱りん細菌の3種類である。有機物は発酵産物(S_A)、発酵可能基質(S_P)、加水分解可能基質(X_S)と溶解性および懸濁性の生物難分解性基質(S_I, X_I)の5成分、無機物はアンモニア性窒素、硝酸性窒素、りん酸態りんを考慮した。

3.5 計算条件

計算に使用する流入水の水質は、TOC、T-Nの値から次のように推定した。CODcr/TOC=3.5として、有機物 S_A, S_P, S_I, X_I, X_S の合計値が流入水TOCの分析結果と一致する条件で、溶解性成分と懸濁性成分を溶解性TOC/TOC=0.5で分配し、 S_I, S_A, X_I をそれぞれ70、20、50(mgCODcr/L)として S_P と X_S を算出した(図6)。NO₃-NとPO₄-P濃度はそれぞれ0.0、5.0(mg/L)で一定とした。また、T-Nの分析結果と、 S_P, S_I, NH_4 -N、 X_I, X_S の含有窒素合計量が一致するようにNH₄-Nで補正した(図7)。各菌体濃度の初期条件は、実験開始前一週間の流入水の代表的な水質を用いて、NH₄-N、NO₃-N、PO₄-P濃度を再現できるように与えた。

計算に使用した流入水質は、0~12時間の間は6時間毎に、それ以降は12時間毎に変化させた。モデル内の化学量論係数、反応速度定数はIAWQの活性汚泥モデルNo.2²⁾の標準値を用いた。

3.6 実験結果についての計算結果

処理水NH₄-N濃度の計算結果は、測定結果に比べ、濃度上昇時間が若干早く、ピーク濃度も高く評価されているが、濃度変化の傾向は一致している。(図8)窒素除去率は71%まで低下すると計算された。計算では、流入水の有機成分の割合を一定とし、T-Nの不足分をNH₄-Nで補正したが、実際には、NH₄-N負荷が少なく、有機成分に含まれる窒素の割合が高かったと推測される。

りん酸の計算結果は、りん酸濃度が上昇した後、徐々に減少する傾向は一致している。最大濃度が低く計算された理由は、実際には、りんの負荷が高かった、もしくは、嫌気槽でりんを放出させる有機成分が多かったと推測される。

3.7 運転方法の検討

一般的に下水処理場で変更可能な運転条件は、硝化液循環流量、返送汚泥流量、好気槽D0濃度が考えられる。設備によっては、無酸素槽のエアレーションなどが可能な処理場もある。

ここでは、計算条件1で実験スタートから運転条件のみを変更して水質が良好になる条件を検索した。

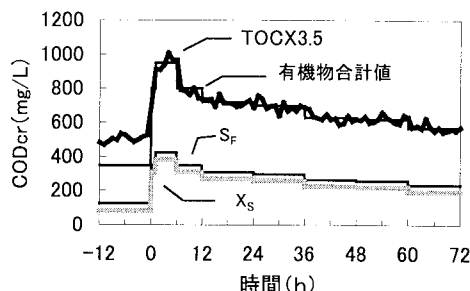


図6 計算に用いた流入水有機物濃度変化

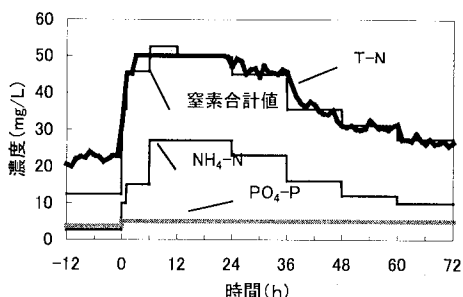


図7 計算に用いた流入水窒素とPO₄-Pの濃度変化

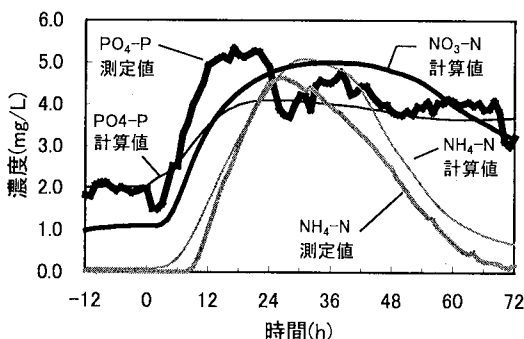


図8 処理水測定結果と計算結果

条件①好気槽のD0濃度を4.0mg/Lに上昇させる。

条件②硝化液循環流量を流入水量比200%に増加させる。

条件③後段無酸素槽をエアレーションする。

条件①, ②では処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度への影響は少なかった。

条件③は効果が認められた。図9に後段無酸素槽をエアレーションする条件で計算した結果を示す。硝化細菌は各槽に存在するため、好気時間を増加することで処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は低減し、窒素除去率が76%に留めることができると思われた。りんに関しても、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を低下させることができると予想された。ASM2では、脱りん細菌によるりん酸の取込みは脱りん細菌濃度、貯蔵有機物量、りん含有率と好気時間に関わる。本実験では、一時的に有機物負荷が多くなり、脱りん細菌の貯蔵有機物は十分にあると考えられる。条件③では、脱りん細菌によるりん酸の取込みが行われる好気時間が長くなり処理水のりん濃度が低下したと考えられる。

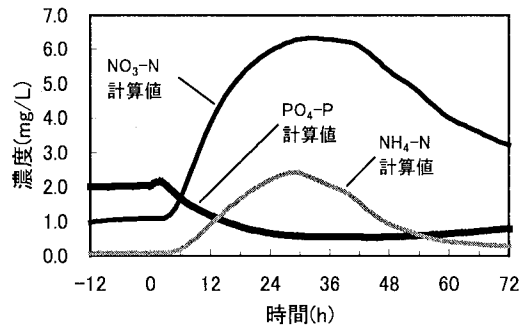


図9 後段無酸素槽をエアレーションした計算結果

4 まとめ

本報告では、活性汚泥シミュレータとその利用例を紹介した。

本シミュレータは、4種類のプロセス（標準活性汚泥法、嫌気-好気活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、嫌気-無酸素-好気法）が用意されており、プログラミングの知識が無くとも運転管理者が容易に利用でき、便利な簡易入力画面や解析画面を持っている。

利用例として、雨天時を想定した処理実験を行い、さらに、シミュレーションにて本実験条件での運転対応策を検討した。モデル変数の流入水成分をTOC、T-Nの分析結果から算出し、流入水質を6時間毎に変化させる条件で計算した。計算結果は実験結果に詳細には一致しないものの、濃度変化の傾向は再現できた。さらに、本実験条件での運転対応策を検討した結果、後段無酸素槽をエアレーションすることにより、実験期間内のりん除去率、窒素除去率が向上すると予測された。

このことから、今回開発した活性汚泥シミュレータが、水質予測、運転支援、管理要員の訓練ツールとして容易に利用でき、運転条件変更の事前検討ができる事を示した。

今後の課題として、実施設での検証を進める予定である。

6 参考文献

- 1) 船越:「生物学的窒素・りん同時除去法における雨水等の影響について」, 東京都下水道局技術調査年報(1996)
- 2) Henze, M., et al.: Activated Sludge Model No. 2. IAWQ Scientific and Technical Report No. 3(1995)
- 3) 古屋:「回分式活性汚泥法による活性汚泥シミュレーション技術の研究」, Journal of EICA, vol. 1, No. 1, (1996)
- 4) 倉田:「低有機物負荷時の生物学的窒素りん除去のシミュレーション」, Journal of EICA, vol. 2, No. 4, (1998)

問合せ先: 〒240-0194 神奈川県横須賀市長坂2-2-1、富士電機(株)総合研究所、環境技術研究所

電話(0468)57-6733, FAX(0468)57-6656 水谷 高明