

# 活性汚泥の生物反応シミュレータ

古屋 勇治 (ふるや ゆうじ)

水谷 高明 (みずたに たかあき)

福嶋 俊貴 (ふくしま としき)

## 1 まえがき

閉鎖性水域の富栄養化を防止するため窒素・リンの濃度および総量規制が実施され、下水処理場では高度処理の導入が検討されている。また、CO<sub>2</sub>の排出量削減や下水処理場の省エネルギーの検討も行われている。窒素やリンを除去する循環式硝化脱窒法、嫌気-好気法(AO法)や嫌気-無酸素-好気法(A2O法)などは、標準活性汚泥法に比べてより多くの微生物群(従属栄養細菌、硝化細菌、脱りん細菌)を利用するため、高度な運転管理が求められ、またエネルギー消費量も増加する。

1998年にIAWQ(現在のIWA: International Water Association)から活性汚泥モデル(ASM)<sup>(1)</sup>が発表され、ヨーロッパを中心にこのモデルを下水処理場の運転管理・設計などに応用したさまざまな成果が報告されている。日本においても近年、流入水質に対応した高度下水処理方法の選択や運転・維持管理支援などのツールとして注目され、これを利用してシミュレータを開発し、合理的な処理方式の選定や最適運転条件の検討、下水処理場の設計支援、反応槽内の現象把握への応用が試みられている。

## 2 活性汚泥シミュレーション

### 2.1 活性汚泥モデル

下水処理場の活性汚泥に対するモデルは、各種微生物の増殖と基質除去の反応を数学的に記述した数学モデルと、流入水と処理水の観測結果を統計的に数式化するニューロやファジィのモデルがある。数学モデルでは、この反応モデルと水の流れを記述する物理モデルを組み合わせることにより、各反応槽内の内部現象を把握することができるが、統計的なモデルでは内部情報は、現象的に意味をなさない。

この点から、数学モデルであるIWAの活性汚泥モデルは、活性汚泥内の微生物、流入成分の有機物、窒素、リンの挙動を数学的に記述したモデルであり、各反応槽内の現象が把握できるため注目されている。

### 2.2 活性汚泥シミュレーションの利用目的

下水処理場での一般的な活性汚泥モデルの利用目的は、計画・設計段階では、コンピュータ制御システムの事前評価、制御方法の改良や検討に利用され、運転・維持管理段階においては、運転管理要員を介在して操作点の設定や制御設定値の検討・決定のためのツールとして使用される。最近では、豪雨など通常の流入水質と異なる期間の運転計画の策定や処理水質異常時のガイダンス指示など、熟練運転管理員が必要とされる複雑なプロセスの維持管理を支援するシステムにも利用され始めている。

富士電機では、水質のみならず機器の消費電力なども考慮して下水処理場を総合的に解析・評価し、最適な運転・制御方法を検討する手段の一つとして、活性汚泥シミュレーション技術を利用しようと考えている。

## 3 高度下水処理シミュレータ

### 3.1 シミュレータの概要

富士電機が開発した高度下水処理シミュレータでは、各種下水処理プロセスの生物反応の理解や学習を想定して、ASMによるシミュレーションをパソコン単独で行うことを可能としたものである。処理プロセスは六つの活性汚泥法から選択し、生物反応槽から最終沈殿池での固液分離までの中で水質や微生物量を予測することが可能である。流入水質はTOC(Total Organic Carbon)またはBOD(Biochemical Oxygen Demand)値で入力することで、ASMで採用しているCOD<sub>Cr</sub>(Chemical Oxygen Demand chromium)基準の変数設定が簡単に行える。計算結果もトレンドグラフ、各反応槽間の比較などで表示され、何らプログラミングの知識がなくても操作可能である。このシミュレータでは、有機物・窒素・リンの除去および脱りん細菌の脱窒反応を組み込んだASM2dモデルを使い、次の仮定の下に各種処理方式の計算を行う。

- 1) 反応槽は完全混合槽列モデルとして取り扱う。
- 2) 最終沈殿池における生物反応は考慮せず、固液分離のみとする。



古屋 勇治

水処理制御システムの研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)環境技術研究所。環境システム計測制御学会会員。



水谷 高明

水処理プロセス、微生物迅速検査装置の研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)機器技術研究所。



福嶋 俊貴

水環境情報ソリューションの開発に従事。現在、富士電機システムズ(株)ソリューション本部情報システム統括部ソリューション一部担当課長。日本水環境学会会員。

3.2 システム構成

図1にシミュレータのシステムメニュー構成を示す。計算対象のプロセスを選択後、それに対応したプロセスフローを含むシミュレーション画面(図2)から、流入水設定, 解析条件設定, 計算結果のグラフ表示を行う。

流入水データの作成では、日平均値などの基準値に対し増加減を指定することにより水量や水質変化のパターンを作成する方法や、表形式で入力することが可能である。また、COD<sub>cr</sub> との相関係数を入力することにより、BODなどの過去の貴重な水質データを有効利用することができる。解析条件では、シミュレーションを行うプロセスの運転条件, 各種ポンプの制御方法の設定や選択を行うことが可能で、時間に対する変動も設定可能である。

シミュレーション結果の表示は、複数項目の時系列変化を個別のグラフや同一のグラフ内で表示する時系列グラフと、棒グラフで各生物反応槽内の結果を比較する槽間グラフ

図1 システムメニュー

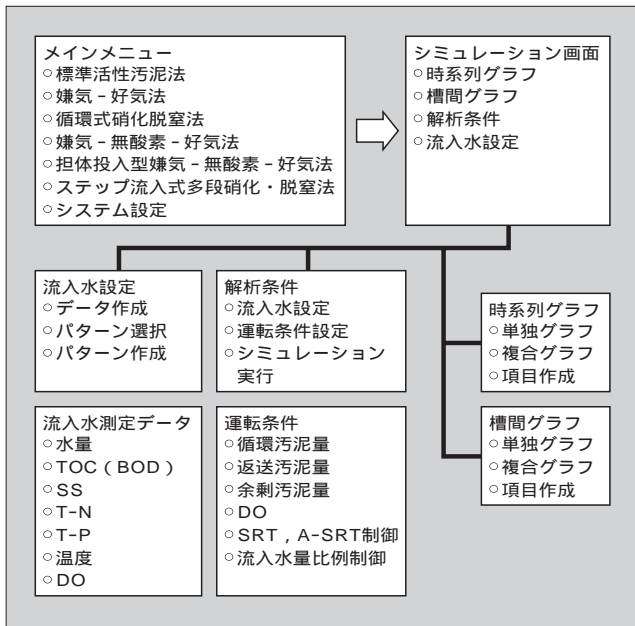
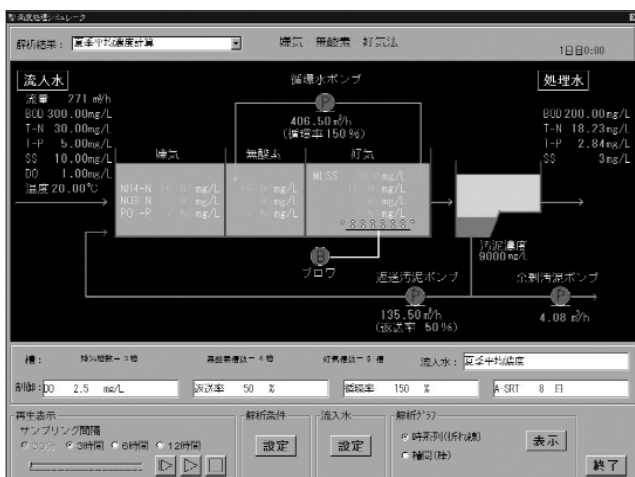


図2 シミュレーション画面



フなどを用意してある。

4 シミュレータを適用した実処理場のシミュレーション<sup>(2)(3)</sup>

流入水質データとして水質変動を平均化したコンポジット試料(1時間ごとに一定量採取し、24時間分を混合した試料)を利用して、各反応槽内の水質変動をどの程度シミュレーションで再現できるか検討した。

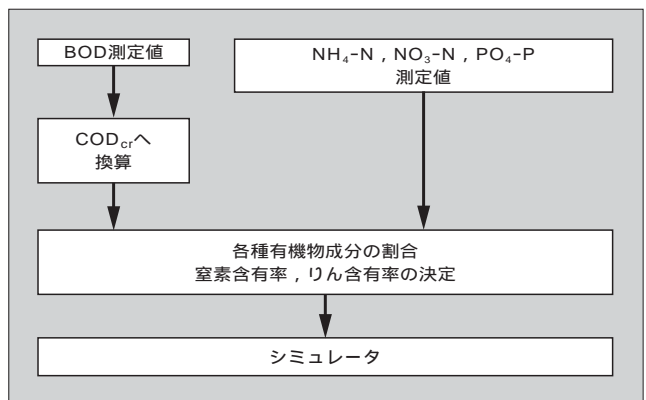
4.1 下水処理場の概要

分流式で高度下水処理方式のステップ流入式2段AOAO法とA2O法を採用している。検討対象としたA2O系列の反応槽総容量は約4,000 m<sup>3</sup>、槽の分割比は1:4:5.4である。流入水量は約7,300 m<sup>3</sup>/日、HRT (Hydraulic Retention Time) は約12時間、返送汚泥率は約56%、SRT (Sludge Retention Time) は約21日、A-SRT (Aerobic Sludge Retention Time) は約12日、MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) は約2,200 mg/L、硝化液循環水流量は固定で約10,800 m<sup>3</sup>/日(流入水量比150%)であった。好気槽の溶存酸素(DO)濃度は0.5~2.0 mg/Lを目標に運転しており、水温は平均して約22℃であった。

4.2 流入水水質条件の設定

ASMを基本としているため、図3に示すように流入水のコンポジット試料を用いてCOD<sub>cr</sub>とBODを測定し、相関係数を求める必要がある。調査期間は、2000年2月から翌年12月までの10か月間である。最初沈殿池越流水のBOD値からCOD<sub>cr</sub>に換算し、ASMで使用する5種類の有機物に対する分配係数を求めた。その際、流入水のNH<sub>4</sub>-N濃度、NO<sub>3</sub>-N濃度、PO<sub>4</sub>-P濃度を考慮して、窒素、りん、の収支が保たれるように、各有機物、窒素、りん成分の全窒素濃度ならびに全りん濃度が、測定値と一致するように各ASM成分の窒素含有率、りん含有率を決定した。流入水質条件によっては各ASMの有機物に対する窒素、りんの含有率を一定にすると収支が保たれなくなることがあったが、この事例では含有率は一定とした。図4に示すような最初沈殿池越流水の実測値を基に、計算に使用する

図3 流入水質の入力方法



流入水質の T-N ( Total-Nitrogen ), T-P ( Total-Phosphorus ) の負荷を計算した。

4.3 シミュレーション結果

流入水設定で決定した条件にて, 2001 年 11 月から約 2 か月間のシミュレーションを行い, その結果を図 5 に示す。

図 4 最初沈殿池越流水の水質

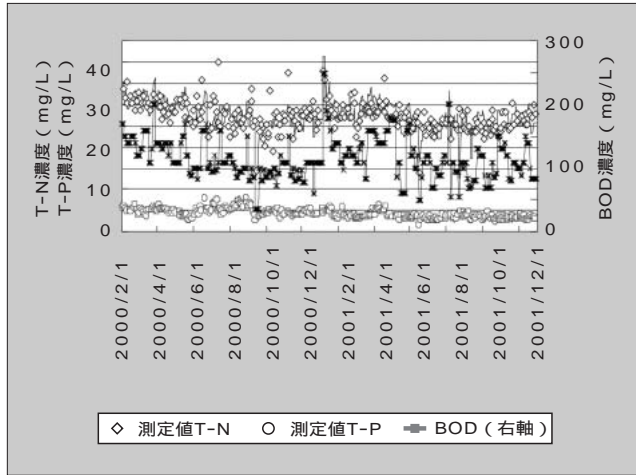
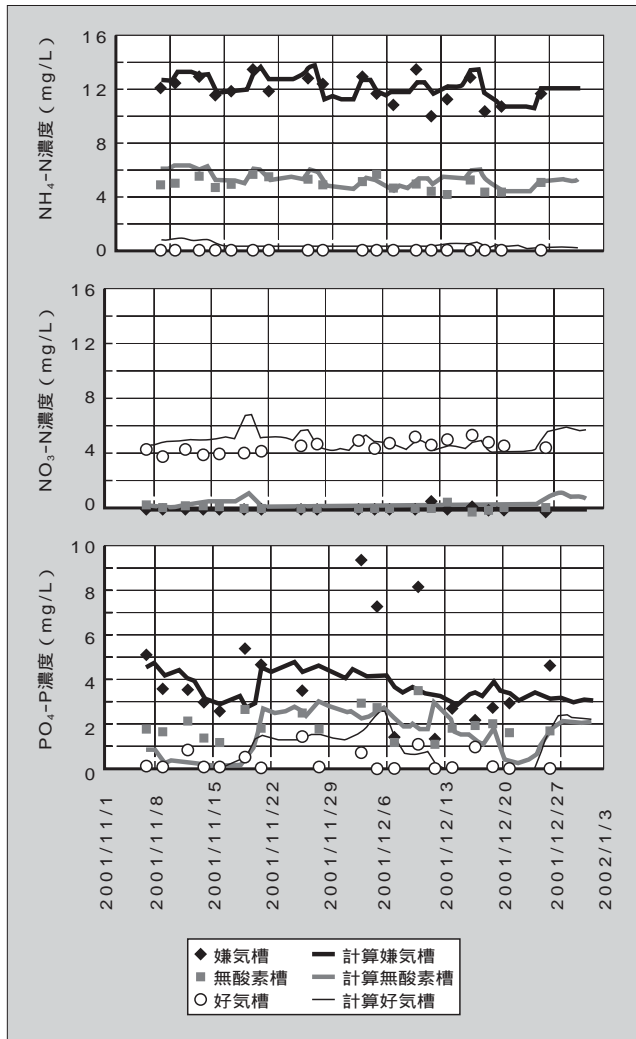


図 5 シミュレーション結果



各反応槽の測定値 (プロット) は, 朝 10 時のスポット試料を示している。各反応槽の NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P 濃度の実測値とシミュレーション結果は, ほぼ一致している。りんについては 12 月上旬にシミュレーション値と一致しない部分があるが, これは, 降雨による有機物濃度の低下やりん濃度が高い返流水の影響などで, 嫌気槽でのりんの放出や好気槽でのりん吸収が十分ではなかったためと考えられる。

5 これからのシミュレータの利用方法

5.1 運転支援システム

下水処理場で通常実施される水質分析結果のコンポジット試料の分析結果によるシミュレーションでは, 流入水質の時間変動をとらえきれず, 実際の運転管理では, 流入水質を計測する計測器と連動したシミュレータが理想的である。

図 6 に示す運転支援システムは, 監視・制御システム, シミュレータおよび水質計から構成されており, 水質計にて流入水の水質を計測して, コンピュータシステムに計測データを送り, コンピュータシステムでは, 受け取った水質データと運転条件を抽出・作成し, シミュレーションに必要なデータとしてシミュレータへ送る構成となっている。

最初沈殿池越流水の TOC, T-N などを計測することにより, 流入水質の変動をリアルタイムでシミュレータに送り, 監視・制御システムは各ポンプ流量, DO 濃度などの現在の運転状態をシミュレータに送る。シミュレータは生物反応槽の水質, 処理水質の予測結果を監視・制御システムへ送り返す。

監視・制御システムでは, 計算結果から反応槽内の水質比較や処理水質のトレンドの表示を行う。予測結果が規制値をオーバーするような状態になれば, 現在の流入水に対応して, 滞留時間後に放流される水質に対して, 何らかの対処が可能となる。また, 現在の処理プロセスにおいて, さまざまな制御設定値の変更のタイミングや操作量の検討, 運転条件変更による処理水質の予測が可能となる。

5.2 下水処理場プラントシミュレータ

これまでに紹介した事例は, ASM を中心とした活性汚泥の生物反応に関するシミュレーションの事例である。富士電機では, 図 7 に示すように下水処理場全体を一つのプラントとしてとらえ, 雨水ポンプ場や汚泥処理設備に関してもシミュレータに応用可能なモデルの開発を行っている。雨水ポンプ場では, 降雨データからポンプの運転制御を行うモデルや汚泥処理設備では汚泥発生量, 薬品使用量の予測や汚泥焼却にかかわるコスト, エネルギーを評価するモデルの開発に取り組んでいる。

ポンプ場や汚泥処理設備の運転は, 水処理設備にも影響を与えるため, 生物反応モデルと組み合わせて下水処理場全体の総合的な運転管理コスト, エネルギー消費量, CO<sub>2</sub> 排出量などと処理水質の評価を試みている。総合的な評価

特集

図6 運転支援システム

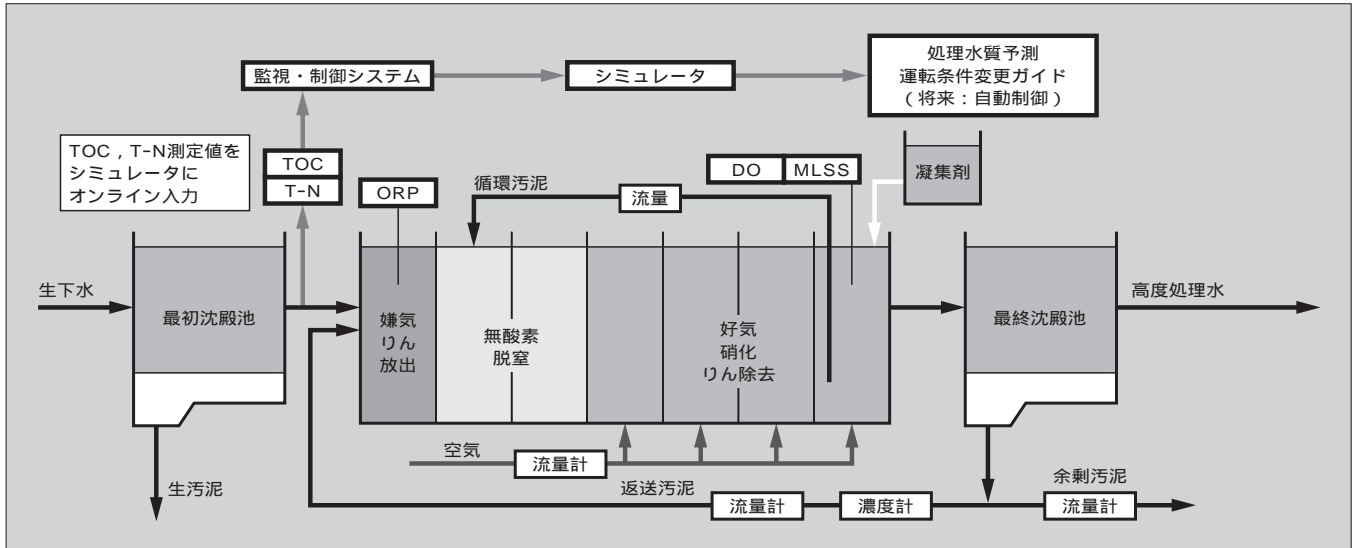
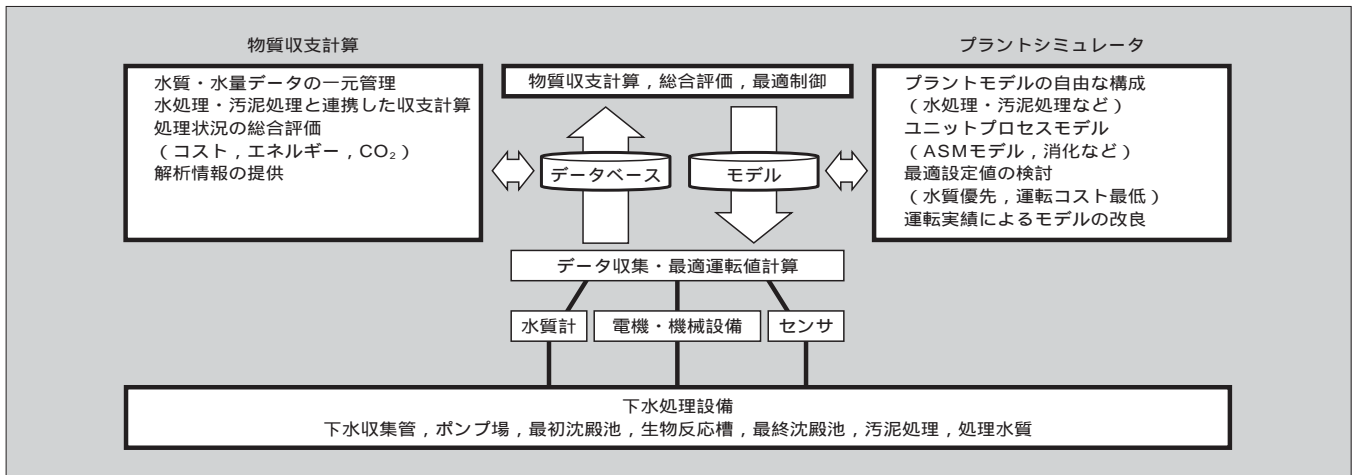


図7 下水処理場シミュレータの構成



に利用するモデルは、基本的に数学モデルの利用を考え、有機物、窒素、リンの処理過程における物質の流れを把握し、各ユニットプロセスのみならず全体的なコスト削減や省エネルギー方法の検討が可能になると考えている。また、物質収支を重視することで制御のみならず設計や計画にも応用可能なプラントシミュレータを目指している。

6 あとがき

以上、富士電機が取り組んでいる活性汚泥のシミュレーション技術を紹介した。現在、下水処理場で利用されている計測器では、流入水の水質を十分な精度で安定に計測することが不可能である。今後は、シミュレーション技術の開発のみならず、計測器の開発と連動して下水処理場シミュレータの開発を行っていく。

ここに紹介したシミュレーションのほかにも下水処理場に関するシミュレーション技術や制御技術<sup>(4)-(6)</sup>を蓄積しており、

今後はエネルギーやコストの面からも下水処理場の総合的な設計・計画・管理・運営に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) Henze, M. et al. Activated Sludge Model No.2d. Wat. Sci. Tech. 1998.
- 2) 水谷高明ほか。実施設 A2O 法のシミュレーションについての事例報告。下水道研究発表会講演集。2000.
- 3) 水谷高明ほか。実施設 A2O 法運転状態のモデルによる検討。下水道研究発表会講演集。2001.
- 4) 中辻勝ほか。活性汚泥処理のシミュレーション。富士時報。vol.50, no.11, 1977, p.588-596.
- 5) 高見澤真司ほか。下水道プロセスにおける計測制御技術。富士時報。vol.71, no.6, 1998, p.352-357.
- 6) 古屋勇治ほか。下水処理シミュレーション。富士時報。vol.74, no.6, 2001, p.340-343.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。