

活性汚泥モデルを利用した高度処理施設の合理的な 設計・運転手法の開発

○ 後藤 浩之¹、佐藤 茂雄¹、豊岡 和宏¹
大石 亮¹、沢井 賢司²、出口 達也²
中沢 均³、橋本 敏一³、糸川 浩紀³

1. (株) 明 電 舎
2. (株) 荏原製作所
3. 日本下水道事業団

概要：活性汚泥モデルは、排水処理プロセス中で生じている現象を数式として表現した構造モデルである。近年、窒素・りん除去などの高度処理導入により活性汚泥プロセスが複雑化・高度化し、より合理的なアプローチに基づく設計・運転管理手法が必要とされている。そこで、活性汚泥モデルを主体としたシミュレーション技術によりプロセスの挙動を定量的に予測し、下水処理場の設計・運転管理を最適化する手法について検討を行なっている。本稿では、下水道分野での活性汚泥モデルの利用用途を整理し、さらに、設計目的での利用を想定したシミュレーションを行なった結果の一部を紹介する。

キーワード：活性汚泥モデル、シミュレーション、設計、維持管理

1. はじめに

日本の下水道普及率は62% (平成13年3月31日現在) と右肩上がりであり普及が進んでいる。この中で、大都市圏では概ね80%以上の普及率が達成され、高度処理に対応した改造などが主体となってきている。一方、中小都市では、普及率が低いところもあり、処理場の新規建設や増設が必要な場合もある。このような状況の中、既設処理場の効率的な維持管理や施設の有効活用、処理場の設計・建設の効率化に対する要求が高まっている。

一方、近年のコンピュータの高速化によって、数学モデルを用いたシミュレーションが比較的身近なものになり、パーソナルコンピュータレベルで、様々な演算を行うことができ、更にグラフィカルな表示で視覚的にもわかりやすく結果を捉えることができるようになった。

下水分野におけるシミュレーションでは、動力学モデルに基づいた活性汚泥モデルの研究が古くから行われており、近年では、国際水協会 (IWA) が公表しているモデル (ASM)¹⁾ が広く使われるようになってきた。このモデルを用いた下水の水質シミュレーションを、処理場の設計や維持管理に有効に活用しようという試みが国内外で行われてきている。我々も、処理場の設計や維持管理などの実務利用においてシミュレーションを有効活用する目的で平成13年度から調査・研究を開始し、実務利用用途の整理、各用途においてシミュレータとして必要とされる機能の抽出、各種用途を想定したケーススタディ、実施施設におけるデータ採取およびそれを用いたキャリブレーション手法の体系化などの検討を行なっている。今回は、その中で、利用用途の整理方針および施設設計目的での利用を想定したケーススタディ結果の一部を報告する。

2. 利用目的の整理

下水道分野において活性汚泥モデルの利用が有効と思われる項目は、

- ・反応タンク容量・槽割など、土木建造物の設計の最適化
- ・曝気・攪拌機などの容量・台数など機械設備設計の最適化
- ・シミュレーション技術を活用した効率的な運転管理に向けての電気計装設備設計の最適化
- ・流入水質条件、運転制約条件などの変更に伴う処理水質変化の予測、運転操作の最適化
- ・処理水質を維持した上で処理コストを低減化する運転管理手法の検討

など、多岐にわたる。

その際、利用の目的によってモデルに必要とされる条件（入・出力値の種類、計算の精度、組み込むべき反応やパラメータなど）は異なってくると考えられる。そこで、これらを検討するための基礎的資料として、文献調査や実務担当者とのヒアリングなどを通して、想定されるモデルの利用目的・用途を列挙し、目的・用途毎の要件を体系的に整理している（表 1）。

表 1 利用用途リスト（一部）

No	区分1	区分2	区分3	検証項目	シミュレーションの目的	評価項目	内容
1	設計 運転	流入 条件	水量	限界水量条件 または余裕度	処理可能最大・最小水量(変動 パターン)、余裕度の検証	処理 水質	水量変動に対して耐えられるかどうか、計 画水量での余裕度はどのくらいか
2	設計 運転	流入 条件	水質	限界水質条件 または余裕度	処理可能最大・最小水質(変動 パターン)、余裕度の検証	処理 水質	水質変動に対して耐えられるかどうか、計 画水質での余裕度はどのくらいか
3	設計 運転	流入 条件	水温	限界水温条件 または余裕度	水温条件の違いによる現行指 針設計法の余裕度の検証	処理 水質	同じ設計基準で、水温の違いによりどれく らい余裕度に差があるか
4	設計	土木	容量・HRT	最適槽容量	ある流入条件における最適槽 容量の検討	処理 水質	槽容量を変えて処理水質が確保されるか 確認
5	設計	土木	容量・HRT	最適槽割	ある流入水質条件における最 適槽割と処理可能水量の検討	処理 水質	ある流入水質条件（巾）に対して最適な 槽割と最大水量を検討
.....
29	設計	土木・ 機械	設計・運転 条件	し尿・浄化槽 汚泥受入	設計、運転の検証	処理 水質 運転 コスト	シミュレーションによる動的解析をこ のようケースの設計・運転の検証に応 用
30	運転	機械・ 電気	運転条件	リン除去を考 慮した運転方 法	流入水質の変化を予測し、運 転条件変更した場合の効果の 検証	処理 水質 (主に リン)	流入水質変化（特に易分解性有機物量） が予測できたとして、これに対応する運 転方法を検討

表の区分 1 は、モデルの利用者（設計・運転）の区別、区分 2 は利用分野、区分 3 はそれぞれに関連する条件を示したものである。これらの条件以外にも、対象となる施設やシミュレータにおける操作条件等も併せて検討している。このようなリストに基づいて実務利用要件を整理し、それぞれについてシミュレータに必要な仕様の検討を行っている。

3. ケーススタディ

現在の高度処理マニュアル²⁾で設計指針として記述されている方法と同等の条件でシミュレーションを行い設計用途を想定したシミュレーションを行った。循環式硝化脱窒法の反応タンクについて、処理水量を固定し、水温及び反応槽容積を変化させたときの処理水質および所要送風量を評価した。シミュレーションの条件を表 2 にまとめた。

表 2 シミュレーション条件

Run	槽容積[m ³]	水温[°C]	総 HRT[h]
Run1	1,000	13	15.0
Run2	700	13	10.5
Run3	700	18	10.5
Run4	700	25	10.5

また、シミュレーション結果の例として、処理水質（S-T-COD_{Cr}、S-T-N、NH₄-N）および好気タンク末端の DO を設定値（1.5 mg/L）に維持するための送風量の時間変動を図 1～8 に示した。処理水質の目標値は、S-T-COD_{Cr}=20mg/L、S-T-N=12mg/L、NO₃-N=10mg/L、NH₄-N=2mg/L 以下とした。反応槽は無酸素槽 2 槽、好気槽 3 槽の構成である。

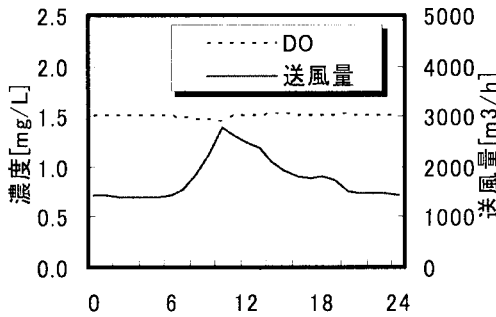


図1 Run1-DOと送風量の変動
(槽容量:1000 m³, 水温:13 °C)

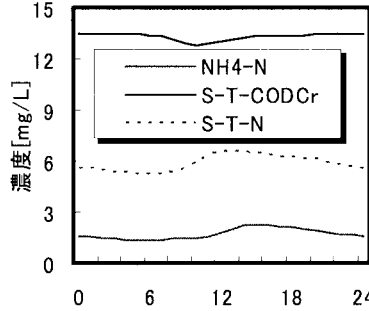


図2 Run1-NH₄-N, S-T-N, S-T-COD_{Cr}の変動
(槽容量:1000 m³, 水温:13 °C)

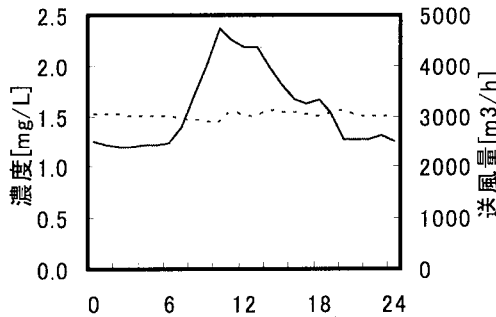


図3 Run2-DOと送風量の変動
(槽容量:700 m³, 水温:13 °C)

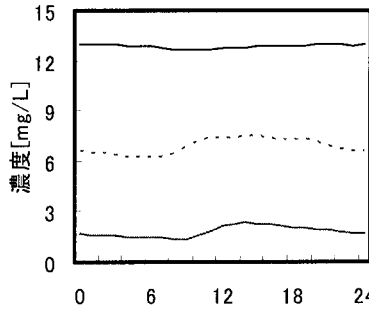


図4 Run2-NH₄-N, S-T-N, S-T-COD_{Cr}の変動
(槽容量:700 m³, 水温:13 °C)

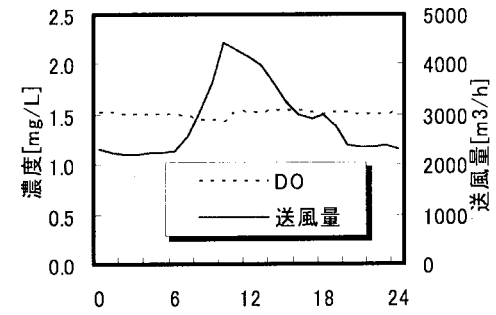


図5 Run3-DOと送風量の変動
(槽容量:700 m³, 水温:18 °C)

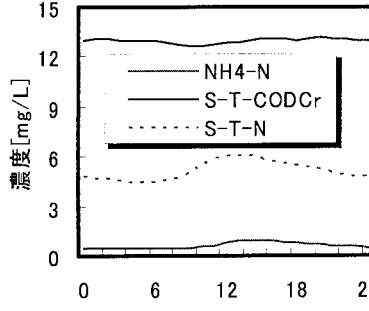


図6 Run3-NH₄-N, S-T-N, S-T-COD_{Cr}の変動
(槽容量:700 m³, 水温:18 °C)

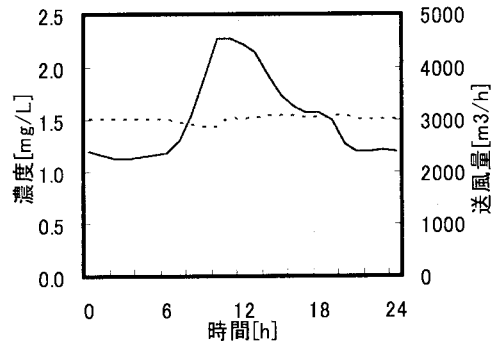


図7 Run4-DOと送風量の変動
(槽容量:700 m³, 水温:25 °C)

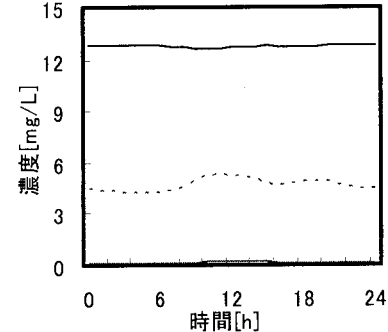


図8 Run4-NH₄-N, S-T-N, S-T-COD_{Cr}の変動
(槽容量:700 m³, 水温:25 °C)

処理水質

図 2, 4 に示したとおり、水温 13°C の条件において、槽容量の違いは処理水質に大きな影響を与えなかった。両条件において、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は高負荷時に一時的に 2 mg/L を超えることがあったものの、S-T-N は常に目標値を満足していた。

送風量

図 1, 3 より、Run1 と比較すると Run2 では DO1.5 mg/L を保つための送風量は 1.5 倍程度である。これは、 $K_L a$ 値を同じ値で試算して

いるためである。図 5, 7 より Run3, 4 で DO1.5 mg/L を保つために必要な送風量は Run2 と比べて大差ない。これは図 6, 8 で Run3, 4 の $\text{NH}_4\text{-N}$ がほとんど残っておらず、S-T-COD_{Cr} は Run2~Run4 までほぼ同等な値であることから、水質的に大きく異なっていないためと推定できる。但し、Run2~Run4 では、MLSS 濃度を同じ値に保つことができなかったため、MLSS 濃度を一定に保って送風量を比較する必要がある。

表 3 シミュレーション結果

	処理水質		
	S-T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	S-T-COD _{Cr}
Run1	目標水質クリア。Run1	同程度。高負荷の時は目標	同程度
Run2	が Run2 より 1mg/L 高い	水質を共にクリアせず	目標水質をクリア
Run3	目標水質をクリア	目標水質をクリア	目標水質をクリア
Run4			

課題

Run1, Run2 での送風量の違いは、反応槽の容積にかかわらず $K_L a$ を同じ値で演算しているため、槽の容積が大きな程処理効率の面からは有利になるためと考えられる。曝気装置の諸元が不明な状態で槽容積比較をする場合、送気倍率をもとに $K_L a$ を設定するなどの手法が有効と思われる。

4. おわりに

今後は、利用目的・用途を更に具体化し、目的毎のアウトプット/インプット条件（設計条件や運転操作条件、分析項目など）を検討する。

・設計支援の事例

プロセス選択、土木構造、機械装置、電機計装選定など

・運転管理支援の事例

水質を優先した曝気量制御・汚泥引き抜き量などの運転操作因子、処理水質を維持しランニングコストを低減する運転操作方法の策定など

さらに、モデルのキャリブレーション・検証用の一連のデータを実施設において定期的に採取し、実務利用を想定した流入水質の設定法やキャリブレーション手法を検討する。

シミュレータに係る検討としては、各種プロセスモデルの設計において、対象プロセス、利用目的に応じたシミュレーションモデルを設計する。その場合、活性汚泥モデルだけでなく、プロセスの水理学的条件や制御構造（機械設備を含む）を適切にモデル化するための検討も行なう必要がある。

参考文献

- (1) IWA task group on mathematical modeling for design and operation of biological wastewater treatment Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3
- (2) 高度処理施設設計マニュアル（案）平成 6 年 日本下水道協会