

実下水処理場を対象としたASM2dのキャリブレーションと検証

Calibration and Verification of ASM2d Applied to Municipal Wastewater Treatment Plant

○大石 亮¹, 後藤 浩之¹, 豊岡 和宏¹, 出口 達也², 糸川 浩紀³, 村上 孝雄³

¹ (株)明電舎, ² (株)荏原製作所, ³ 日本下水道事業団

○Akira OOISHI¹, Hiroyuki GOTOH¹, Kazuhiro TOYOOKA¹, Tatsuya DEGUCHI²,
Hiroki ITOKAWA³, Takao MURAKAMI³

¹ Meidensha Corporation, ² Ebara Corporation, ³ Japan Sewage Works Agency

Abstract

Computer simulation of activated sludge process using Activated Sludge Model (ASM) is expected to enable more efficient design and maintenance of wastewater treatment plant (WWTP). In this study, intensive measurement campaign, including diurnal fluctuation of influent, effluent and mixed liquor characteristics, was carried out four times in a municipal WWTP with conventional activated sludge process. The plant was modelled with ASM2d, and model parameters were calibrated with one of the data sets, especially in terms of diurnal fluctuations of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, and $\text{PO}_4\text{-P}$ in each tank. Nitrification and denitrification were successfully calibrated by changing the value of two parameters (μ_{AUT} and K_{O_2} for heterotrophs). This result was verified by simulating different data sets with the same parameter values. Calibration regarding biological phosphorus removal remained an issue for further investigation.

Key Words : ASM2d, simulation, WWTP

1 はじめに

日本の下水道は、大都市圏では概ね80%以上の普及率を達成しており、近年では窒素やリンの除去のための高度処理に対応した改造や増設の事例が増えている。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も逐次進められている。いずれにおいても、個々の処理場の状況に応じた効率的な維持管理や施設の有効活用に繋がる運転への要求が高まっており、合理的できめ細かい運転管理方法を決定するための支援ツールが求められている。また、処理場の設計・建設の段階でも、地域の特性や固有の要求に応じた効率的な設計支援ツールへのニーズがある。

一方、排水処理分野におけるシミュレーションでは、活性汚泥による排水の生物処理工程の挙動を表現するための動力学モデルが実用化の段階にある。特に近年では、国際水協会(IWA)のタスクグループが提唱している活性汚泥モデル(Activated Sludge Model, ASM)¹⁾の活用例が増えている。ASMは、活性汚泥中の微生物増殖である生物反応プロセスとそれに伴う有機物、窒素、リンなどの水質変化を表現する数学的モデルである。我々はASMを用いた下水の水質シミュレーションの実務利用を目指し、処理場の設計や維持管理に有効活用するための試みを進めている²⁾。

本稿では、実下水処理場で流入・処理水質等の調査を年4回実施した結果を基に、季節変動に伴う水温や流入水質等の変化を与えた際の処理水質の挙動変化をシミュレーション上で再現するためのキャリブレーションを実施した結果を報告する。キャリブレーションした同一パラメータ群によって異なる季節の挙動を十分再現できるか検証することを目的としてシミュレーション結果を評価した。

2 検討対象処理場の概要および調査方法

今回検討を行った下水処理場の水処理施設構成をFig. 1に示す。本施設は、現有処理能力26,000m³/dの標準活性汚泥法施設で、3系列(1系列は各々最終沈殿池を共有する2池(2列)の反応槽列から成る)が稼働している。但し第3系列は2池のうち片側のみ使用されているので、その容積は第1,2系列の半分である。各池では、4槽に等分された反応槽の第1槽を嫌気槽としているが、これはバルキング抑制を意図したもので、窒素・リンを積極的に除去しようとするものではない。返送汚泥は全3系列のそれぞれの終沈から引き抜かれた後、一度混合されてから再分配されている。

調査期間の流入水量は12,000～15,000m³/d程度 (HRT 12～14h)、汚泥返送率は50%程度、MLSSは1,000～1,300mg/lであった。ブロワからの送風系統は共通で、第2系列第1池末端 (第4槽) に設置されたDO計の指示値により、一律に総送風量が制御されている。

処理場にて、季節ごと (夏:7月,秋:10月,冬:1月,春:5月) にそれぞれ連続的な実地調査を行った。第3系列の初沈越流水質および各反応槽、終沈の水質を2時間ごとに24時間採水しその水質を調査した。水質項目はCOD_{Cr}、NH₄-N、NO₃-N、PO₄-P等である。MLDOは2時間おきに各反応槽にて測定した。

また、ASMで使用する流入水質の画分 (COD_{Cr}で表された有機物を分解速度の違いなどから細分化した成分) を調査するためのバッチ試験も実施した。

3 シミュレーション条件と検討内容

処理場の各季節の反応工程をシミュレーション上で再現することを目的に検討を行った。使用するモデルは、リン蓄積微生物のモデルを含んでおり、使用事例も多いASM No. 2d (ASM2d)を採用した。実処理場ではCODで示される有機物については年間を通じて安定的に除去できているので、窒素除去工程とりん除去工程の再現を目標としてキャリブレーションを実施した。そこで評価対象は各反応槽のNH₄-N、NO₃-N、PO₄-P濃度とし、全3系列の反応槽から最終沈殿池までを対象としたシミュレーションを行った。

流入水量には処理場の実測値に基づいた時間変動パターンを与え、流入水質は最初沈殿池越流水質を2時間毎に24時間実測したデータから、1時間毎の値を作成して使用した。ただし、有機成分の画分の値については、糸川らの手法²⁾をもとにOUR (酸素利用速度) を主体としたバッチ試験で推定した。原水中の各成分を4時間ごとに24時間分測定したデータを使用し、ASMを基にしたモデルを使った簡易シミュレーションでカーブフィッティングを行い、流入水有機成分を決定した。

各反応槽の水質初期値は90日間のシミュレーションののち安定した値を採用した。計算刻み幅は10秒として4次のRunge-Kutta法でシミュレーション計算を行った。余剰汚泥の引抜量は、余剰汚泥内のT-P濃度計算値が実測値と近くなるように調整した。水温は、実測値をもとに冬16℃、春20℃、秋23℃、夏24℃とした。ASM2dパラメータの基準値である水温20℃の春季のデータでキャリブレーションを開始してパラメータ調整した後、そのパラメータで他の季節の水質が再現できているか検証した。

各槽のDOは実測値を平均した一定値にて固定した。春季のキャリブレーションに使用した設定値をTab. 1に示した。

4 結果と考察

生物反応モデル中の各種パラメータはIWAのテクニカルレポート¹⁾に記載されているASM2dのパラメータ参考値、いわゆるデフォルト値を基準にして調整を開始した。Fig. 2 (a)のグラフは春季のシミュレーション結果のうち、第3系列第1, 3, 4槽の各濃度の日内の変化をプロットして実測値と重ねたものである。

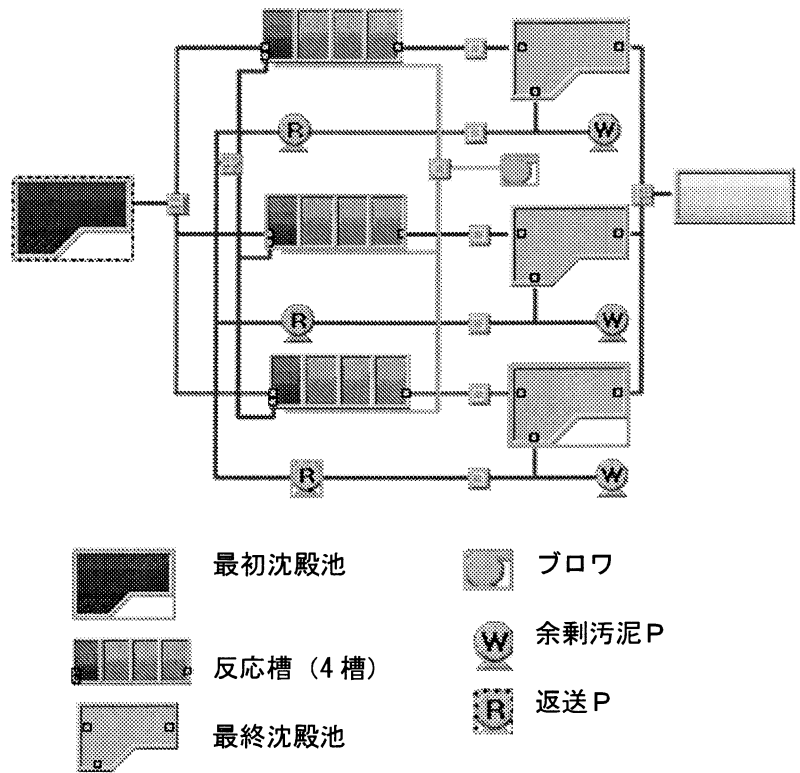
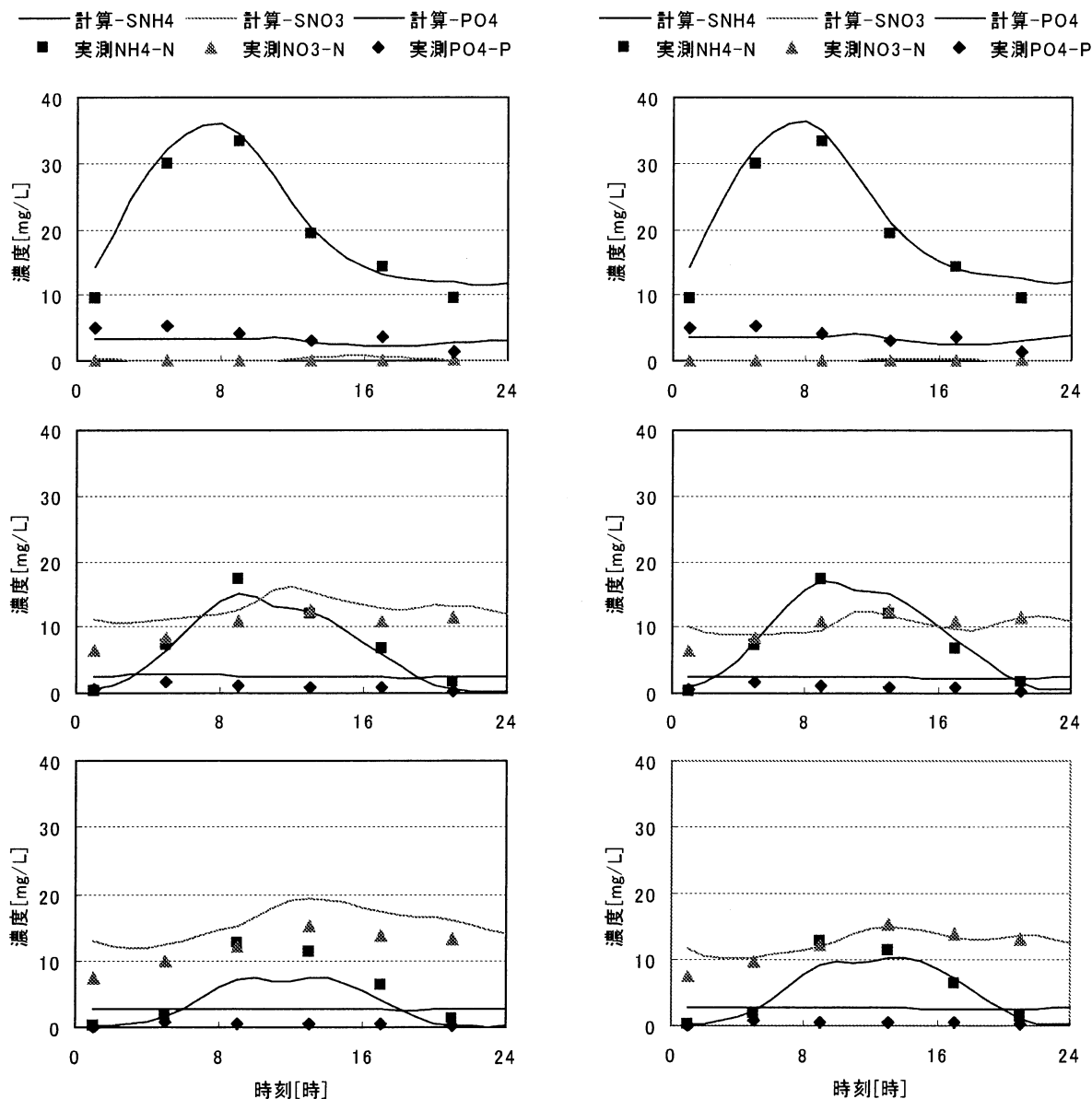


Fig. 1 対象処理場の水処理施設構成

Tab. 1 DO 分布設定値 (春季)

単位 mg/L	1槽	2槽	3槽	4槽
1系	0.0	0.8	1.0	2.2
2系	0.0	0.8	1.0	1.16
3系	0.0	0.4	0.8	0.3



(a) デフォルト値でのシミュレーション結果 (b) キャリブレーション結果

Fig.2 キャリブレーション前後の比較
 それぞれ上段：1槽、中段：3槽、下段：4槽

NH₄-Nの計算結果については、挙動は表現できているものの全体的に実測値より低い傾向だったので、硝化生物の最大増殖速度定数 μ_{AUT} を1.0から0.9に変更して硝化速度を下げることでこれを合わせた。するとNO₃-Nが全体的に実測値より高くなった。3系2~4槽のDOはTab. 1のように低い値にとどまっていたために、ここでは硝化だけではなく脱窒の効果も大きい。そこで2~4槽での脱窒量を増やす狙いで、従属栄養生物X_Hの溶存酸素に対する飽和/阻害定数K_{O₂}を0.2から0.3に上げ、Fig. 2 (b)のようにNO₃-Nもより実測値に近づけた。

他の季節(夏、秋、冬)の水質データについても、同一の μ_{AUT} 値と、X_Hに関わるK_{O₂}値を適用してシミュレーションを実施した。この夏、秋、冬の結果について、第3系列第4槽の各濃度をFig. 3の上段、中段、下段に示す。夏と秋では春と共通の値を使用することでNH₄-NとNO₃-Nが実測値と実用的な範囲で一致した。冬ではNO₃-N計算値が低

めだが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の総合的な一致は K_{02} を0.2に戻した計算結果より良い。

りんについては、春季データに基づくシミュレーション (Fig. 2 (b)) で、1~2槽での $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度レベルは再現できていたものの、好気槽後段でのりん蓄積の再現が不十分であった。そこでりん蓄積生物の挙動に関わる幾つかのパラメータ変更を試みたが、傾向は変わらなかった。りん蓄積生物 X_{PAO} は存在していたが、嫌気工程での発酵生成物 S_A (有機物) の不足のため細胞内貯蔵物質 X_{PHA} 蓄積が進行していなかった。他の季節のシミュレーション (Fig. 3) では、デフォルト値で濃度のレベルをおおむね再現できた。

ASM2dでは水温の違いによる生物反応速度の差を $a^{(T-20)}$ の形の補正項で表現しており、水温が 20°C の場合を基準に増減するようになっている。異なる季節の窒素の挙動を概ね再現できたことで、温度依存性が高い μ_{AUT} を中心に、温度補正定数値が妥当であることを確認できた。

5 まとめ

実下水処理場を対象に、ASMパラメータのキャリブレーションを行い、四季を通じての水質等の調査の結果に基づいたシミュレーションを実施した。OUR測定結果をもとに流入水質を設定し、 μ_{AUT} および X_H の K_{02} を調整することで、同一のパラメータにて $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度について十分な実測値との一致が得られたが、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の挙動の表現については検討の余地が残った。反応速度の水温依存性を表す補正項も十分実測値を表現できていると考えられるので、同一のパラメータを利用して実下水処理場の年間を通じたシミュレーション表現が可能であることが示唆された。

今後、水温依存パラメータを含め、下水処理場の状態を全年で再現するシミュレーションを実現するためのキャリブレーション手法について、更に検討を進めたい。

【謝辞】 調査にご協力くださった下水処理場の皆様に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) IWA Task Group on Mathematical Modeling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment (ed.) (2000) Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3, Science and Technical Report No 9, IWA Publishing.
- 2) 豊岡ら「活性汚泥モデルを利用した既設処理場高度化の検討」第40回下水道研究発表会講演集 pp177-179, 2003
- 3) 糸川ら「活性汚泥モデルのための下水中の有機成分の分画測定」環境工学研究論文集 第40巻 pp41-52, 2003

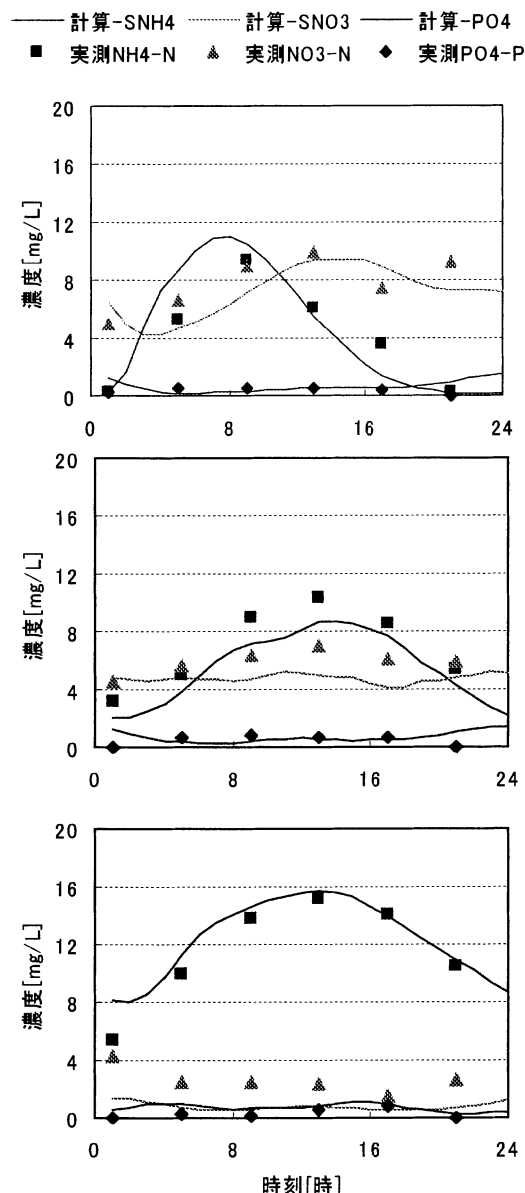


Fig. 3 夏、秋、冬季シミュレーション結果