

無酸素ゾーンの設定によるりん・窒素除去への影響

○杉井隆造¹、徳永一成¹、平林和也¹

柳 根勇²、海老澤雅美³

1. 安川電機 システムエンジニアリング事業部
公共統括部 技術部 環境技術開発グループ
2. ㈱日水コン 下水道本部 技術開発部開発第1課
3. 東京都下水道局 計画調整部 技術開発課

概要：数学モデルによる下水プロセスのシミュレーションにおいては、槽内全スペースにおいて下水成分が均一と仮定しているが、実際には攪拌や曝気の状態により均一とは言えない。その違いがシミュレーション結果に影響することが考えられる。本稿ではキャリブレーションの一環として、反応槽内の濃度の不均一に着目し、好気槽の一部にDO値がゼロとなる領域（無酸素ゾーン）を設定してシミュレーションし、アンモニア、硝酸、りんの分析値との整合性について比較検討を行った。

その結果、無酸素ゾーンの割合が10～20%の間で3つの水質について全体的な整合がとれる可能性が示された。

キーワード：無酸素ゾーン、シミュレーション、りん・窒素除去、DO濃度、IWA活性汚泥モデル

1 はじめに

閉鎖性水域の富栄養化を防止するため、従来の有機物だけでなくりん・窒素も対象に加える第5次総量規制が施行され、より厳しい排水基準へと強化されようとしている。そのため処理場は高度処理に対応した設計変更や運転条件変更を余儀なくされる場合もある。しかし生物学的にりん・窒素を同時に除去する微生物反応は非常に複雑であり、処理場の運転について高度な知識と探求が必要となる。そのため、微生物反応を数式で表したモデルを使ったシミュレーションが有効な手段の一つと考えられており、国際水学会（IWA）が提唱した活性汚泥モデル（Activated Sludge Model：ASM）が日本でも数年前に導入され、産官学で研究が進められている。

数学モデルによる下水プロセスのシミュレーションにおいては、分析値との整合を改善するためにモデルパラメータの調整や流入水分画などが行われることが多い。しかし従来のキャリブレーションでは取扱いにくい問題もある。例えば、筆者らは好気槽におけるDO濃度の分布を測定し、深さ方向と流れ方向でDO濃度が異なることを把握した¹⁾。一方モデルでは槽内濃度は均一と仮定している。その違いがシミュレーション結果に影響することが考えられる。実プラントでの運用を考えると、難しいパラメータ調整よりも槽内の下水成分の不均一に着目し、一つの反応タンクを濃度によって分割するほうが実用的である場合も考えられる。

そこで本稿では、シミュレーションモデル上の好気槽の一部にDO値がゼロとなる領域（無酸素ゾーン）を設定してシミュレーションし、アンモニア、硝酸、りんの分析値との整合性について比較検討を行った。

2. 施設概要

対象とした処理場である東京都中川処理場は昭和 59 年より供用を開始し、水処理施設は 4 水路 (標準活性汚泥法 2 水路、AO 法、A₂O 法)、平成 12 年度の平均処理水量は 182000m³/d であった。施設概要を表 1 に、処理フローを図 1 に示す。

対象とした水路の生物反応槽は 6 槽に分割され、嫌気槽、無酸素槽 1, 2, 3、好気槽 1, 2 から成る A₂O 法であり、嫌気—無酸素—好気の割合は 17 : 33 : 50% である。

表 1 中川処理場施設概要

散気水深	(m)	4.5
有効水深	(m)	10
槽容量：嫌気槽	(m ³)	1251
無酸素槽 1	(m ³)	826.3
無酸素槽 2	(m ³)	826.3
無酸素層 3	(m ³)	826.3
好気槽 1	(m ³)	1652.3
好気槽 2	(m ³)	2077.5

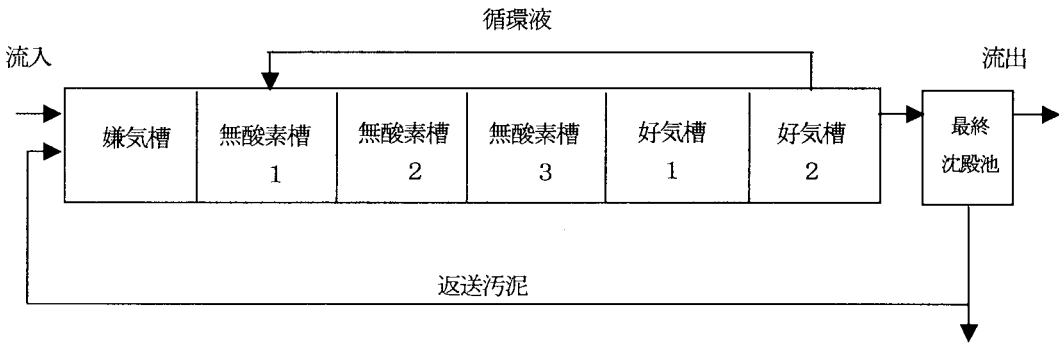


図 1 中川処理場の処理フロー

3. 無酸素ゾーンの設定

無酸素ゾーン設定の概略図を図 2 に示す。無酸素ゾーンの設定は、好気槽 1 と 2 において、DO 供給ゾーンと無酸素ゾーンの 2 つに分け、汚水がいったん DO 供給ゾーンに流入し、次に全量が無酸素ゾーンに流入し、再び DO 供給ゾーンを経由して流出すると設定した。無酸素ゾーンの割合は好気槽容量の 0、10、20、30% とし、好気槽 1、2 とともに同じ条件とした。計算条件を表 2 に示す。

なお、本稿では数学モデルとして ASM No.2d²⁾ を用い、モデルパラメータは IWA 推奨値を使用した。また、流入水分画は Kappeler らの方法によった³⁾。

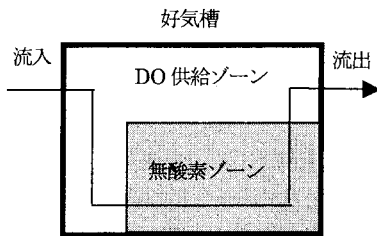


図 2 無酸素ゾーン設定の概略図

表 2 計算条件

SRT	(日)	15
水温	(度)	27
返送率	(%)	50
循環率	(%)	100
DO 濃度：好気槽 1	(mg/L)	0.62
好気槽 2	(mg/L)	2.20

4. シミュレーション結果と考察

図 3 (1) (2) (3) に、無酸素ゾーン 0~30% における、NH₄-N、NO₃-N、PO₄-P の日変動実測値と計算値を示す (代表として好気槽 2 のみ)。

また、各時刻の計算値と実測値との誤差 (計算値—実測値) を平均し、各槽別に無酸素ゾーンの割合に対してプロットしたものを図 4 (1) (2) (3) に示す。

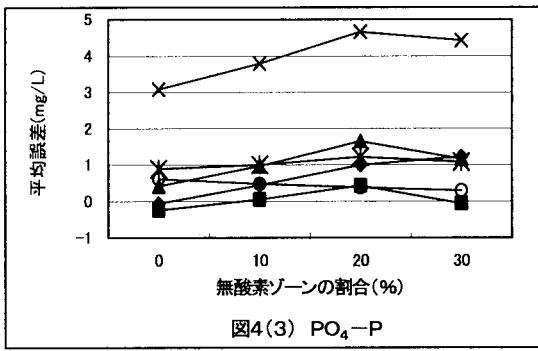
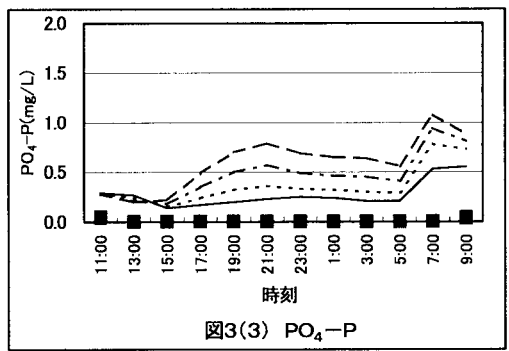
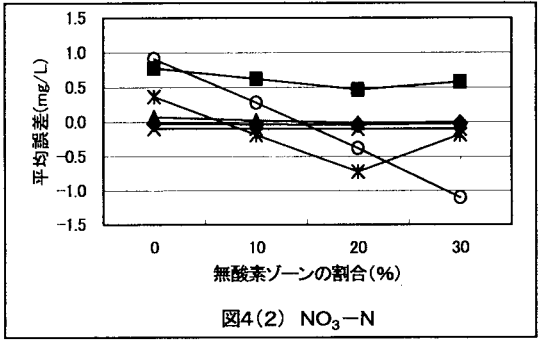
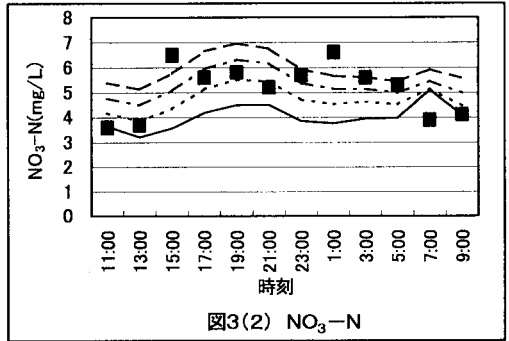
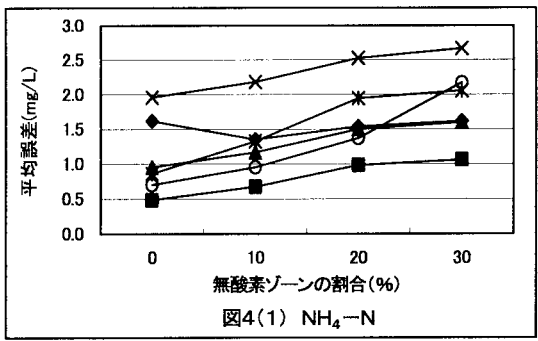
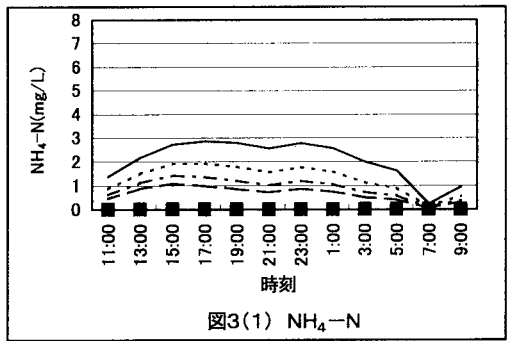
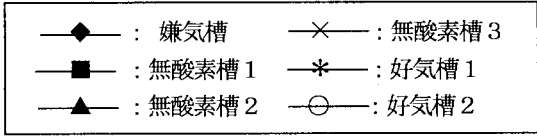
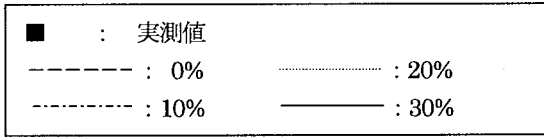


図3. 日変動シミュレーション結果 (好気槽2のみ)

図4. 無酸素ゾーンによる平均誤差への影響

4.1 NH₄-N と NO₃-N

図3(1)より、好気槽2のNH₄-Nの実測値がほぼゼロであるのに対し、計算値では無酸素ゾーン0%でもNH₄-Nが残存していることから、全体的に計算上の硝化が不十分である。これは硝化菌増殖速度のIWA推奨値が小さいことが原因と考えられる。

無酸素ゾーンの割合が増えるにつれてどの槽においてもNH₄-Nの計算値が増加した結果、図4(1)のように、実測値との乖離が増加した。変化の幅は槽により0.5~1.4mg/Lである。これは

設定された無酸素ゾーンで硝化が抑制されたことが原因と考えられる。

図 3 (2) より、無酸素ゾーンが増えるにつれて好気槽 2 の $\text{NO}_3\text{-N}$ の計算値が減少した。上述のように硝化が抑制された結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成が減少したことになる。

嫌気槽から無酸素槽 3 までは計算値が無酸素ゾーンの割合には影響を受けなかったため、図 4 (2) のようにそれらの槽の誤差も変化がない。好気槽 1, 2 ではともに $\text{NO}_3\text{-N}$ は減少し、その減少分は好気槽 2 で最も大きく約 2mg/L 、好気槽 1 で約 1mg/L である。

また無酸素ゾーンが 10% を超えると $\text{NO}_3\text{-N}$ の計算値が実測値を下回った結果、誤差がゼロを通過している。すなわち 10% から 20% の間で実測値との整合がよくなっていることになる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の誤差を総合して考えても、無酸素ゾーンの割合は 10% から 20% の間が好ましいと言える。

4.2 $\text{PO}_4\text{-P}$

図 3 (3) より、各態窒素濃度と比べてりんは変化が小さいものの、好気槽 2 では無酸素ゾーンが増えるにつれて計算値が減少した結果、実測値との乖離が小さくなった。無酸素ゾーンでりんを吐き出した結果、好気ゾーンで過剰に摂取したと考えられる。

嫌気槽から無酸素槽 3 までは無酸素ゾーンの増加によって計算値が増加した結果、図 4 (3) のように平均誤差は増加している。しかし好気槽 1 ではほぼ横ばい、好気槽 2 では減少している。これは循環液の $\text{NO}_3\text{-N}$ が減少して無酸素槽の嫌気度が増した結果りんが吐き出されたことと、前段 4 槽に加えて無酸素ゾーンでもりんの吐き出しがおこった結果、好気槽 2 では過剰に摂取し、好気槽 1 はその中間であったと考えられる。結果として、最終槽では実測値に近づいているが、他の槽での誤差の増加を考えると、無酸素ゾーンの割合は 10% 前後が望ましいと言える。

5. おわりに

好気槽に無酸素ゾーンを設定してシミュレーションした結果、硝化抑制とりん摂取促進の効果が確認され、10 から 20% の間で窒素とりんの全体的な実測値との整合を向上させる効果があることがわかった。

今後は流入水分画やパラメータ同定作業と整合をとりながら、広義のキャリブレーションの一環として取り組んでいく。また、ある実プラントでは好気槽において脱窒が生じている現象が報告されており、その原因として槽内の無酸素ゾーン、汚泥フロック内の局所的な無酸素領域、好気条件で脱窒する細菌の存在、の可能性が提唱されている⁴⁾。このような現象を説明できるのか、また AO 法にも同様の効果があるのかも検討してゆく。

参考文献

- 1) 中司哲郎、ハンス ヨアヒム グツケ、杉井隆造、平林和也：窒素・りん除去のための活性汚泥モデルキャリブレーション、第 1 2 回環境システム計測制御研究発表会、Vol 5、p95-100、2000
- 2) M.Henze、W.Gujer、T.Mino、T.Matsuo、M.C.Wentzel、G.v.R.Marais、and M.C.M.Van Loosdrecht：Activated Sludge Model No.2d、Water science and technology、Vol.39、No.1、pp.165-182、1988
- 3) J.Kappeler and W.Gujer：Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modelling、Water science and technology、Vol.25、No.6、pp.125-139、1992
- 4) 東京都下水道局：好気槽における脱窒に関する調査（浅川処理場と小菅処理場の共同調査）、東京都下水道局技術調査年報—2001、平成 13 年 10 月