

下水処理場オンラインデータを用いた動的水質シミュレーション

津村和志*¹、○永森泰彦*²、堤正彦*²、松前学*²

滝沢剛*²、初鹿行雄*³、篠原哲哉*⁴

*1 京都大学工学部
京都市左京区吉田本町

*2 (株)東芝府中工場
府中市東芝町1

*3 (株)東芝
東京都港区芝浦 1-1-1

*4 (株)東芝関西支社
大阪府北区大淀中 1-1-30

概要

下水処理場の COD、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、リンの実測値を用いたパラメータフィッティングを行い、その最適化方法を確立した。入力値としてエアタン流入水のオフラインデータ(手分析測定値)およびオンラインデータ(UV)を用いてシミュレーションを行った。前者は 13 個のモデルパラメータを水温実測値で比例変動させかつ硝化生物の最大増殖速度(μ AUT)によってフィッティングする方法、後者は、それに加えて UV 値と BOD 値との間に相関式を適用する方法により、実測値とほぼ一致する出力値が得られた。このオンラインシミュレータは水質予測、制御支援、仮想センサ、訓練ツールとして使用できることが示唆された。

キーワード

オンラインシミュレータ, IAWQ モデル No.2, パラメータフィッティング

1 はじめに

近年導入されつつある脱窒素・脱リン型の下水処理プロセスは、 A_2O 法、循環式硝化脱窒法、AO 法、循環式変法等の嫌気と好気を組み合わせたプロセスが主流となっている¹⁾。これまで、筆者らはオブジェクト指向技術、IAWQ 活性汚泥モデル、GUI(グラフィカルユーザインタフェース)技術を融合した、種々のプロセスを容易に構築できる下水処理場水質シミュレータについて報告した²⁾。今回、オフラインおよびオンラインデータを用いた動的シミュレーション実験を行うことにより、シミュレータをオンラインで運用することの有用性が明らかになったので、これを報告する。

2 実験方法

2.1 シミュレータの概要

本シミュレータは下水処理プロセスを構成する要素を部品(オブジェクト)としてモデル化しており、これらの部品を GUI 上で組み合わせることによって、プログラムを変更することなく、ソフトウェアの専門家でも容易に、様々な形態の下水処理プロセスを構築することができる。GUI を通して各オブジェクトのパラメータを設定でき、出力値も各オブジェクト単位で得ることができる(図 1, 2)。

本研究で使用したモデルは、IAWQ 活性汚泥モデル No.2³⁾である。このモデルは、有機物のみならず窒素とリンの反応を解析でき、脱窒素・脱リン型下水処理プロセスもシミュレートすることが可能である。

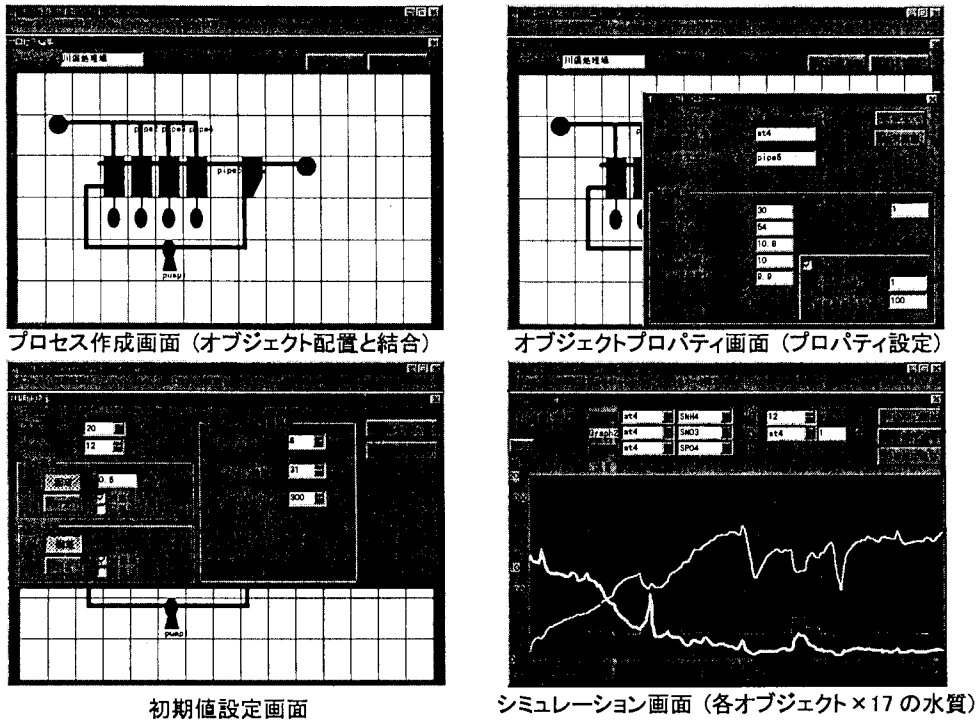


図1 シミュレータ画面構成

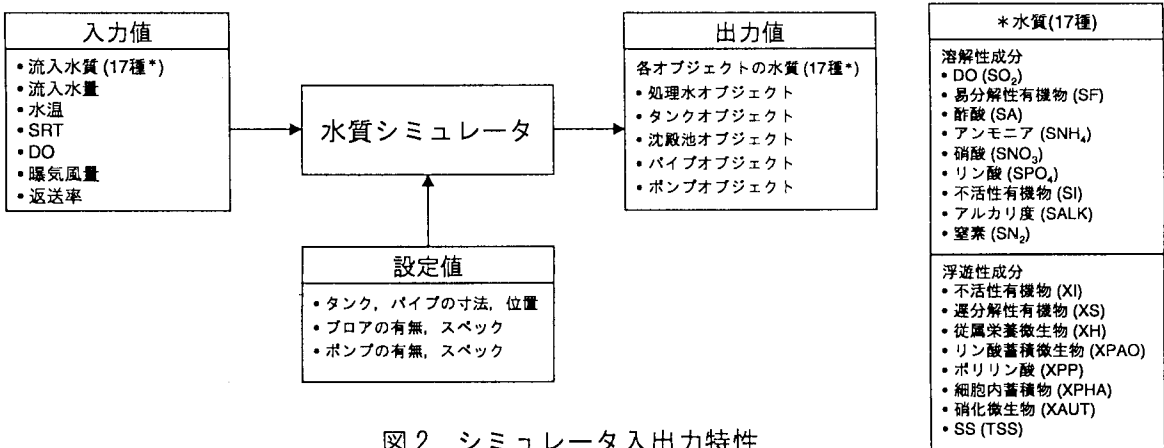


図2 シミュレータ入出力特性

2.2 対象プロセス

本研究では、大阪府寝屋川南部流域下水道川俣処理場を対象とし、その下水処理プロセスをシミュレータ上に模擬した。同処理場はステップエアレーション法を採用した標準的な下水処理を行っており、DO制御、余剰汚泥制御、返送汚泥制御を取り入れている。曝気槽を直列に4槽、その後段に沈殿槽を1槽設定し、沈殿池から曝気槽1へ返送汚泥ラインを設けた。流入水はそれぞれの曝気槽へステップ注入し、注入率はすべて25%とした。また、DO、返送汚泥の返送率の設定は処理場の条件に合わせ、それぞれ1.0mg/L、50%とした。SRTは、処理場が硝化抑制を行っている間は6日、それ以外は12日設定とした。

2.3 パラメータフィッティング方法

実測値により水質シミュレータのパラメータフィッティングを行った。具体的には 13 個のモデルパラメータ(表 1)を流入水の水温実測値で比例変動させ、 μ AUT によりフィッティングした。

表 1 流入下水水温に依存するパラメータ

パラメータ				水温		
名称	記号	単位	10°C	15°C	20°C	
加水分解	加水分解速度定数	KH	d ⁻¹	2.00	2.50	3.00
	浮遊性 COD の飽和定数	KX	gCOD/gCOD	0.30	0.20	0.10
従属栄養生物	基質による最大増殖速度	μ H	d ⁻¹	3.00	4.50	6.00
	醗酵の最大増殖速度	q _{fe}	gCOD/gCOD/d	1.50	2.25	3.00
	死滅速度定数	bH	d ⁻¹	0.20	0.30	0.40
リン蓄積生物	PHA 蓄積の速度定数	qPHA	gCOD/gPAO ⁻¹ d	2.00	2.50	3.00
	PP 増殖の速度定数	qPP	gPP/gPAO ⁻¹ d	1.00	1.25	1.50
	最大増殖速度	μ PAO	d ⁻¹	0.67	0.84	1.00
	XPAO 分解の速度定数	bPAO	d ⁻¹	0.10	0.15	0.20
	XPP 分解の速度定数	bPP	d ⁻¹	0.10	0.15	0.20
	XPHA 分解の速度定数	bPHA	d ⁻¹	0.10	0.15	0.20
硝化生物	最大増殖速度	μ AUT	d ⁻¹	0.21	0.41	0.60
	死滅速度	bAUT	d ⁻¹	0.05	0.10	0.15

2.4 流入水質の決定

流入水の水質としてエアタン流入水の手分析水質データ(BOD, NH₄-N, NO₃-N, 等)および UV 計のオンライン計測データを使用した。手分析水質データの測定間隔は約 1 週間、一方 UV データの計測間隔は 15 分である。通常は手分析水質データを入力値として水質シミュレーションを行うが、今回は UV オンラインデータを用いた水質シミュレーションについても検討を行った。以後、前者をオフラインシミュレーション、後者をオンラインシミュレーションと称する。オンラインシミュレーションの特徴としては、センサによって連続計測が可能な水質データを入力値として使用することでシミュレータの精度向上や連続表示が可能となる点が挙げられる。

本シミュレータが採用した IAWQ 活性汚泥モデル No.2 では、原水の有機物量を COD_{Cr} 量で表している。したがってオンライン、オフラインシミュレータ共に入力データを COD_{Cr} 量に変換する必要がある。まず、オフラインシミュレーションにおいては、これまでの水質分析の結果から実験的に求めた COD_{Cr}/BOD 比として 10/6 を採用し、BOD 値を COD_{Cr} 値に換算してシミュレータに入力した。

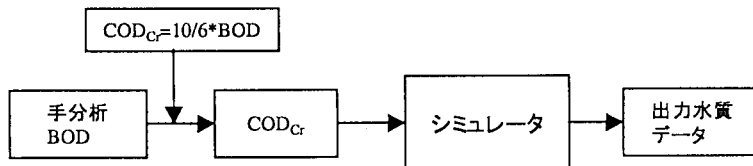


図 3 オフラインデータの入力

一方、オンラインシミュレータでは、1 年間の BOD, UV より回帰直線を求め、これを相関式として UV を BOD に変換した。具体的な相関式は、92 年度の水質データを基にした場合、

$$BOD(\text{mg/L}) = 3.9131 \times UV - 69.314 \quad (BOD < 0 \text{ の場合は } BOD = 0)$$

とした。さらに、得られた換算 BOD 値をオフラインデータと同様に COD_{Cr}/BOD 比 10/6 で COD_{Cr} 値へ換算し、これをシミュレータへの入力値として用いた。また、特に NH₄-N とリンについては、BOD と別に

UV から直接変換し、シミュレータへ入力した。ただし、リンについては全リン(実測値)= $PO_4\text{-P}$ (入力値)として取り扱った。UV と BOD, $NH_4\text{-N}$, リンの相関係数はそれぞれ、0.95, 0.50, 0.84 であった。

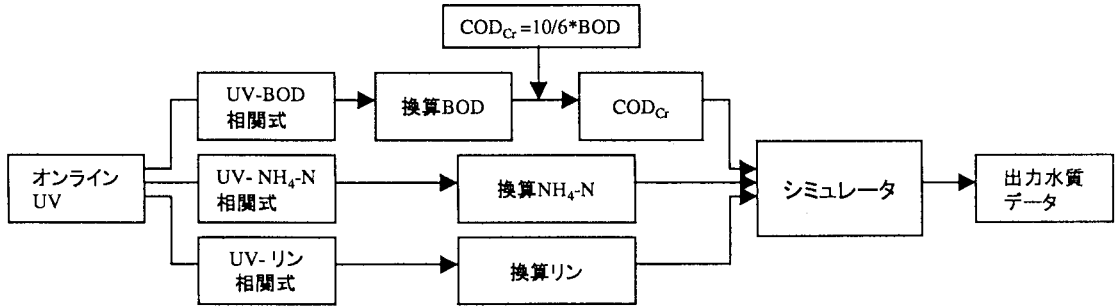


図4 オンラインデータの入力

3 結果および考察

3.1 パラメータフィッティング

実測値とのフィッティングによりモデルパラメータの調整を行った。種々のパラメータフィッティング実験の結果、 $NH_4\text{-N}$ については、13 種のモデルパラメータ(表 1)を流入水の水温で比例変動させ、 μ AUT によりフィッティングすることにより実測値と傾向が一致することが分かった(図 5)。 $NO_3\text{-N}$ についても同様の手法でフィッティングを行った。

3.2 オンラインとオフラインシミュレーションの比較

川俣処理場の過去の実績データを用いてオンラインおよびオフラインシミュレーションの比較を行った(図 6)。COD のシミュレーション出力値は不活性有機物量(SI)を用いた。また、リンのシミュレーション出力値にはリン酸量($PO_4\text{-P}$)を用いて手分析実測値の全リン量(TP)と比較した。

オンラインシミュレーションはデータ入力間隔が短いため、1 日の流入水質の変動や、雨天時のファーストフラッシュによる影響も反映した結果となっており、オフラインシミュレータや手分析による実測に比べてより詳細に水質変化を把握することが可能である。

$NH_4\text{-N}$ の手分析実測値は 4 月から 6 月、10 月から 12 月の間、高くなっている。これはこの期間 BOD-SS 負荷を指標として余剰汚泥引抜量を多くし、硝化抑制を行っていたためである。硝化が抑制されたため、この間の $NO_3\text{-N}$ の検出量は 0mg/L 付近まで低下している。シミュレータはオフライン、オンライン共に、この硝化抑制にともなう $NH_4\text{-N}$, $NO_3\text{-N}$ の変化を良く捉えている。また、COD, リンについては値に大きな変動は少ないが、おおよそ良く

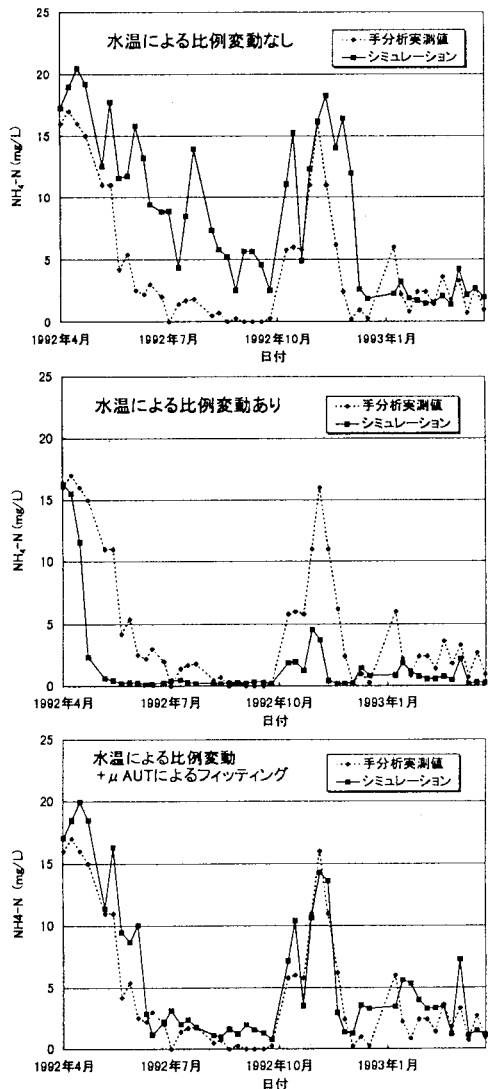


図5 パラメータフィッティング

一致していた。

今回、オンラインデータとして入力したのは流入水質(UV)と流入水量のみであったが、全般的にシミュレータは年間を通じて実測値におおよそ追従していた。

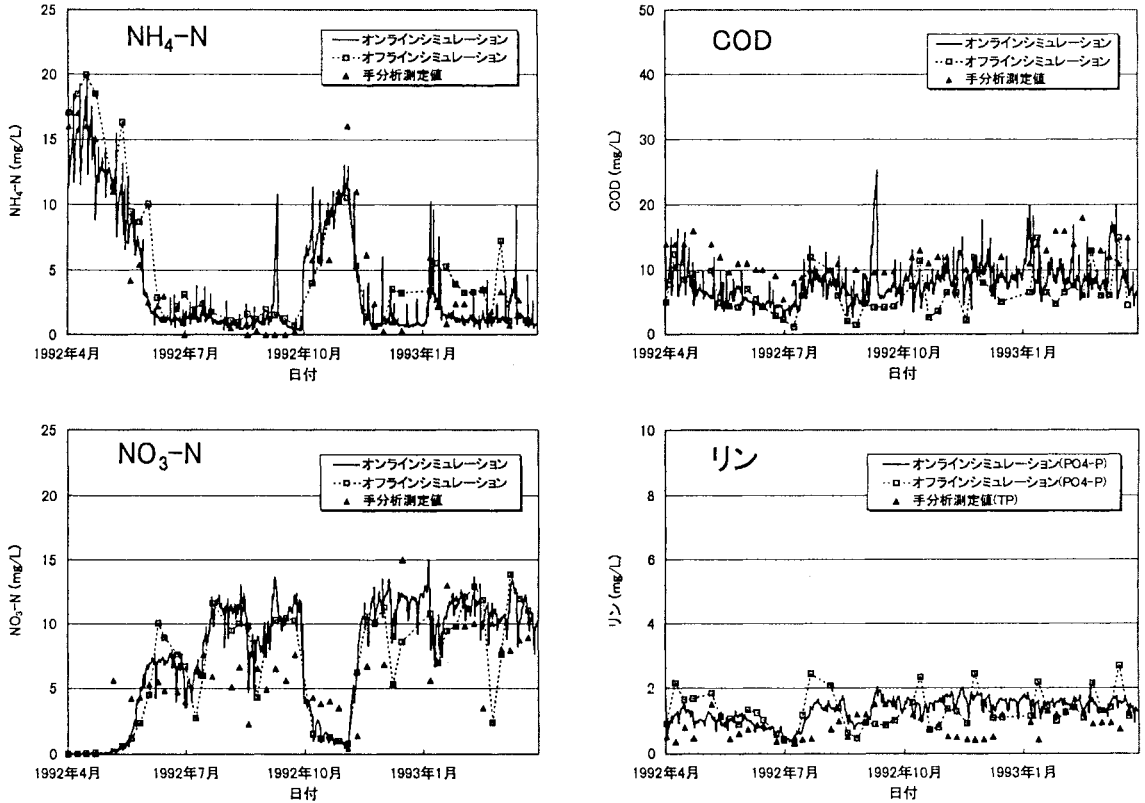


図 6 シミュレーション結果比較

3.3 シミュレーション精度の比較

オンライン UV データは短いスパンでの連続計測が可能であるためシミュレーション精度の向上が期待できる反面、UV から BOD, NH₄-N, リンへの変換を行う必要があるため誤差が増大することも考えられる。92年度のシミュレーション結果について、実測値との差の平均値を用いて比較を行った(表 2)。この結果、オンライン、オフラインのシミュレーション精度に大きな差がないことがわかった。

表 2 シミュレーション出力値と手分析値との平均差(単位: mg/L)

		COD	NH ₄ -N	NO ₃ -N	リン
92 年度	オンライン	4.17	1.57	2.54	0.48
	オフライン	5.36	1.97	3.11	0.61

4 まとめ

オンラインシミュレータは、短いスパンで自動入力されるセンサデータを使用することで1日の水質変動もシミュレート可能であるなど、従来の手分析水質データを用いたオフラインシミュレータより機能的に有利な面が多い。また、オンライン計測データを相関式によって水質データに変換することでシミュレーション精度を損なわず利用できることもわかった。今回の実験においては、UVと流入水量のみオンラインデータとして入力し、その他のSRT、DO等は定数的に取り扱い、シミュレーション期間を区切ることで値に幅を持たせた。また、下水処理プロセスにおいても曝気槽を1系列で構築するなどの一部簡略を行っている。このような制限があるにもかかわらずある程度の精度を持ったシミュレーション結果(図6)を得られたことで、本シミュレータが運転支援、訓練ツールとして使用できることがわかった。

本シミュレータを発展させ、今後、図7のようなシステムを構築することも可能になると思われる。オンライン水質シミュレータが監視制御システムの制御用データベースに蓄積されているデータと水質データベースに保存されたデータを随時引き出すことでシミュレーションの入力データとして使用することができる。ユーザはデータの種類やフォーマットを意識することなく容易に水質シミュレーションを行うことができる。

これまで単独で用いられがちだった水質シミュレータをオンラインで使用することにより、水質予測、訓練ツールとしての利便性が向上するのはもちろんのこと、さらにシミュレータの精度・機能を向上させ、実際の処理場をより詳細にシミュレート可能とすることで、制御支援ツール、仮想センサとしての展開が開けることも期待できる。今後は、水質シミュレーション機能の向上に加え、実際の処理場運用で大きな比重を占める、消費電力量などを取りこんだコストシミュレーション機能や、仮想センサ機能等も盛り込んでいく予定である。

5 参考文献

- 1) (社)日本下水道協会, 高度処理施設設計マニュアル(案), 平成6年
- 2) IAWQ Task Group, Activate Sludge Model No.2, Science and Technical Report No.3, IAWQ, 1995
- 3) 堤正彦, 倉田学児, 津村和志, 脱窒素・脱リン型下水処理プロセスのシミュレーション実験, 第34回下水道研究発表会講演集, 560-562, 1997

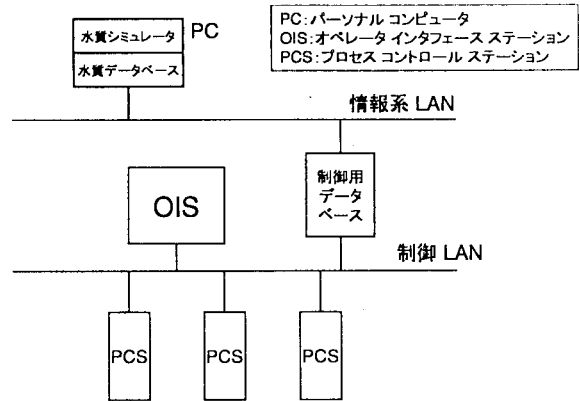


図7 水質シミュレータのシステム構成