

〈論文〉

活性汚泥モデルの利活用に関する研究

阿部 真由美¹⁾, 工藤 和正²⁾, 落 修 一³⁾¹⁾ 財下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811 東京都新宿区水道町3-1 E-mail: m-abe@jiwet.or.jp)²⁾ 財下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811 東京都新宿区水道町3-1 E-mail: k-kudo@jiwet.or.jp)現所属: オリジナル設計(株) 東京支社 施設二部技術課
(〒151-0062 東京都渋谷区元代々木町30-13 E-mail: kudou-a1369@oec-solution.co.jp)³⁾ 財下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811 東京都新宿区水道町3-1 E-mail: s-ochi@jiwet.or.jp)

概 要

活性汚泥モデルの利活用に資することを目的として、日本国内の活性汚泥モデルの利活用状況に関するアンケート調査を実施し、活性汚泥モデルの利活用業務、利活用の効果を整理した。また、キャリブレーションに使用するデータの種類が異なる場合に、それらがプロセスモデルの構築と予測誤差に与える影響を評価し、目的に応じた必要予測精度を段階的に設定し、それぞれに応じた必要資料と調査方法を整理した。

キーワード: 活性汚泥モデル, 設計支援, 運転管理支援

原稿受付 2010.7.16

EICA: 15(2・3) 59-66

1. はじめに

近年、下水処理水に求められる水質基準は厳しくなり、生物化学的酸素要求量および窒素・りんに関する計画放流水質の導入や、流域別下水道整備総合計画における窒素・りんに関する削減目標量の設定等、より高度な処理が求められている。また、地球温暖化防止対策の観点から下水処理施設におけるエネルギー削減も求められている。一方、指定管理者制度や包括民間委託制度の導入等によるコスト削減も強く求められている。

放流水質を確保しつつ、省エネルギー、低コスト対策を行うためには、下水処理施設固有の条件を考慮した水処理方法の構築や運転条件の最適化を進めていくことが必要とされている。処理施設固有の条件を反映して処理プロセスを解析するツールとして、国際水協会(IWA)から提唱されている活性汚泥モデル¹⁾(以下、ASMと記す)の利活用が期待されている。国内におけるASMの利活用は年々増加し、運転方法の最適化や増設・改築更新時の設計検討等に用いられ、その効果の事例も発表されており²⁻¹²⁾、ASMの利活用手法も整理されつつある^{13,14)}。しかし、内容が専門的であり、具体的な作業内容、予測できる精度等の詳細までは整理されていない。また、ASM利活用の目的によっては、詳細なデータを必要としないケースもあり、予測精度とデータレベルについても整理が必要と考えられる。

このような経緯から、活性汚泥モデルの利活用に関

する研究を実施した。研究結果から、利活用目的別の予測精度と必要資料、調査について有用な知見が得られたので報告する。

2. 研究方法

日本国内におけるASMの利活用状況を把握し、ASM利用対象業務、利活用の効果を整理するための基礎情報とするために、ASMの利活用状況のアンケート調査を行った。

また、アンケート結果を基に、ASM利活用の実績がある下水処理施設のデータを用いて、ASM利活用に用いるデータの種別を変えて数値計算を行い、その精度を比較した。この結果から、ASM利活用に必要なデータを取得するための資料、調査について、予測精度別に整理した。

2.1 利活用対象および利活用効果の整理

ASM利活用状況に関するアンケート調査を行い、その結果を踏まえて、ASM利活用が期待される業務内容と利活用の効果を整理した。

アンケート調査は、①高度処理を実施している、②東京湾、伊勢湾および大阪湾を放流先とする5,000 m³/日(計画1日最大汚水量)以上、③50,000 m³/日(計画1日最大汚水量)以上の規模のうちいずれかの条件に当てはまる全347箇所の下水処理施設を対象に、ASM利活用実績の有無、利活用実績が有る場合はその内容、今後の利活用の要望等について調査を実施し

た。

2.2 利活用目的に応じた必要予測精度の検討

ASM を用いた数値計算で期待できる予測精度は、収集したデータの種類、プロセスモデルの構築およびキャリブレーションの精度に影響される。詳細なデータを収集できれば予測精度が高いモデルを構築することが可能であるが、データ収集にかかる費用や労力が多大となる。一方、利活用目的によって、求められる予測精度は異なり、詳細なデータを必要としないケースもある。そのため、利活用目的に応じた必要予測精度を整理することとし、ASM 利活用実績がある下水処理施設の既往データを用いて、キャリブレーションに使用するデータの種類の異なる場合に、プロセスモデルの構築および予測誤差に与える影響を評価した。この結果に基づいて、利活用目的に応じて必要とされる予測精度のレベルを段階的に設定した。

2.3 利活用に必要な資料および調査方法の整理

利活用目的に応じた必要予測精度を確保するために必要なデータについて、既存資料から把握する内容とその資料を分類し、調査方法を予測精度別に整理した。

2.4 検討に用いた活性汚泥モデル

ASM は、IWA より ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3, ASM3C の 5 種類のモデルが公表されている¹⁾。本検討においては窒素・りん除去に対応しており、国内で利活用実績が多い ASM2d を対象とした。

3. 利活用対象および利活用効果の整理

3.1 利活用状況に関するアンケート調査結果

本アンケートの回収率は 73% で、253 箇所の下水処理施設より回答が得られた。回収したアンケートにおいて、ASM の今後の利活用に対しては、利活用予定がある、マニュアル等があれば自分で利活用したい、専門家に依頼して利活用したい、試験的に利活用したい等の回答は 66% を占めており、今後の ASM 利活用が示唆される結果となった。また、実際に ASM を利活用したと回答したのは 10 自治体 61 箇所の下水処理施設であり、有効回答の約 24% を占めていた。

実際に ASM が利活用された内容については、ASM を利活用した下水処理施設のうち、87% の下水処理施設でステップ比、返送汚泥率、反応タンクの MLSS 濃度、反応タンク DO 等の最適運転条件の検討に利用されており、次いで、雨天時等の異常時対応に関する検討、改築更新時の設計検討、電力費削減に関する検討等で利用された実績が多数認められた。このような調査結果から、ASM は運転管理支援および設計支

援での需要が見込まれると判断し、本研究においても、このような利活用目的を主要な内容として進めることとした。

3.2 利活用対象および利活用効果の整理

アンケート調査結果を踏まえて、設計支援および運転管理支援において、ASM の利活用が期待される業務を **Table 1** に示す。

また、アンケート調査では ASM 利活用のメリットについても調査しており、利用者の回答を基に、ASM の利活用により期待できる効果を **Table 2** に整理した。

Table 1 は、アンケート結果および **Table 2** に示した ASM の利活用効果を基にして、実際の設計支援および運転管理支援の具体的な利活用業務を示したものである。このように整理した結果は、下水処理施設の設計および運転管理の実務者が ASM 利活用の可否を判断する上で有用と考えられる。

ASM 利活用の効果としては、従来の手法と比較し

Table1 ASM の利活用対象業務

項目	ASMの利活用例
設計支援	1)計画設計 ① 処理方式の経済性比較のための基礎情報としての必要容量・諸元の検討。 ② 各計画年次の処理水質・コスト予測による長期的な施設建設計画の立案。 ③ 適用事例の少ない処理プロセスや運転条件の処理状況の予測。 ④ 高濃度流入(し尿、返流水等)の影響評価、最適な処理システムや運転条件の検討。
	2)実施設計(改築更新含む) ① 標準的な設計で立案されている高度処理プロセスの処理水質と処理可能量の予測による施設の余裕度の評価。 ② 設計流入水量・水質、目標処理水質、反応タンクの水温等に応じた設計諸元・安全率の検討。
運転管理支援	1)日常運転 ① 流入水量・水質、運転条件を変化させた場合の処理水質の予測と最適な運転条件の検討。 ② 晴天時および雨天時の最初沈殿池バイパスや最初沈殿池汚泥投入による窒素・りんの除去効果の検討。 ③ し尿・浄化槽汚泥の投入による影響把握、許容投入量および最適な投入方法・運転方法の検討。 ④ 返流水による影響の検討。 ⑤ 高度処理法と標準活性汚泥法が混在している場合の各処理方式の処理水質の予測、最適な水量分配の検討。
	2)異常時対応 ① 処理水質悪化の原因解析と処理水質改善ための運転方法の検討。 ② 設備の故障や補修・工事による一部系列の運転停止時の処理水質予測および最適な運転条件の検討。
	3)省エネ運転 ① 既存施設の処理能力評価と各種運転条件における処理水質・コストの比較。 ② 送風量を変更した場合の処理水質予測と処理水質を維持できる最小送風量、ブロウ制御方法の検討。 ③ 各種運転条件における余剰汚泥発生量の比較と余剰汚泥量削減のための運転条件の検討。

Table2 ASM の利活用効果

用途	ASMの利活用例	従来の手法	ASM利活用の効果
設計支援	・処理方法や処理フローの比較検討(既存施設の高度処理化、ステップ流入比の検討等) ・流入水量や流入水質の変化に対する処理水質の予測(施設建設計画、改築更新計画、高濃度流入の検討等)	経験的に得られた設計諸元に基づく容量計算 ↓ 十分な余裕を持った設計(各施設にとって必ずしも最適な設計とは限らない)	各施設固有の条件を考慮した定量的な評価が可能 ↓ 設計諸元の最適化 ・既存施設の有効利用
	・適用事例の少ない処理プロセスの評価	実験や実施設をもちいた検証 ↓ ・多大な検討時間と費用 ・検討ケースに限られる	さまざまな条件下でのシミュレーションが可能 ↓ ・検討時間と費用の短縮 ・選択肢の多様化
運転管理支援	・運転条件の最適化 ・処理水質の悪化等の異常時における対応 ・省エネ運転を行う場合の処理水質の検討		

て、固有の条件を考慮した定量的な評価が可能になること、より多くの条件から最適解を抽出できることが挙げられる。

4. 利活用目的に応じた必要予測精度の検討

収集したデータの種類の種類がプロセスモデルの構築に及ぼす影響、キャリブレーション対象とするデータの種類の種類が予測誤差に及ぼす影響を評価するために、用いるデータの種類を変えた2つのケースについて、プロセスモデルの構築とキャリブレーションを実施し、予測精度を比較した。

4.1 対象とした下水処理施設の概要

対象とした施設は下水排除方式が合流式（一部分流式）であり、水処理方式は、嫌気無酸素好気法（深槽式）および標準活性汚泥法が採用されている。今回の検討は、嫌気無酸素好気法が採用されている系列1池を対象として実施した。対象施設のフローを Fig. 1 に示す。なお、対象施設の計画処理水質は、T-N 濃

度で 10 mg/L、T-P 濃度で 1.0 mg/L、目標処理水質は、T-N 濃度で 8 mg/L、T-P 濃度で 0.4 mg/L である。

4.2 収集データ

ASM 利活用に必要なデータを収集するために行った調査を Table 3 に示す。ケース1、ケース2ともに、2時間毎の調査を行い、水質データについては Table 4 に示すデータを、運転データについては Table 5 に示すデータを収集した。さらに、ケース2については、流入水の T-N、溶解性 T-N、活性汚泥中の窒素、りん濃度等の詳細データを調査し、好気槽の流下方向の DO 濃度を測定して DO 濃度変化を調査した。

両ケースの計算には、Table 4、Table 5 のデータを用いたが、ケース2では、好気槽の流下方向の DO 濃度変化の調査結果を踏まえてプロセスモデルを構築し、流入水の窒素濃度、活性汚泥中の窒素、りん濃度等の水質データもキャリブレーションに利用した。

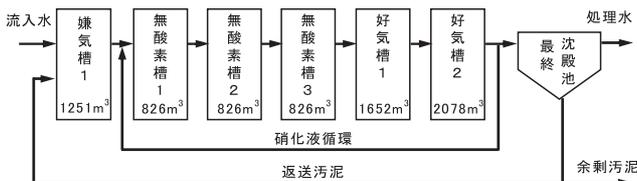


Fig.1 対象施設の処理フロー

Table3 ケース1および2で収集したデータ

	ケース1	ケース2
水質条件	1) 流入水質、反応タンク内水質、処理水質、返送汚泥について、2時間毎のスロット水質を調査	1) 流入水質、反応タンク内水質、処理水質、返送汚泥について、2時間毎のスロット水質を調査 2) 流入水のT-N,T-P,活性汚泥中のT-Nを夏季と冬季に調査
運転条件	1) 維持管理日報より、2時間毎の水量、DO、返送汚泥量等を調査	1) 維持管理日報より、2時間毎の水量、DO、返送汚泥量等を調査 2) 好気槽の流下方向のDO濃度変化を調査

Table4 水質データ

成分	単位	経時変化											
		11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00
S _A	mg-COD/ℓ	6.9	4.6	6.7	7.4	8.1	7.6	7.6	8.1	8.4	9.9	13.2	11.7
S _F	mg-COD/ℓ	39.1	59.1	74.5	91.5	81.4	72.4	63	55.3	47.9	39.3	35	35.4
S _I	mg-COD/ℓ	9.3	9	8.8	8.5	8.6	8.7	8.8	8.5	8.1	7.7	8.2	8.7
X _S	mg-COD/ℓ	62.8	59.6	56.7	53.5	64.3	75.1	85.9	81.8	77.5	73.3	69.7	66.3
X _I	mg-COD/ℓ	16.9	29.7	42.3	55.1	45.6	36.2	26.7	23.6	20.8	17.8	17.6	17.2
X _H	mg-COD/ℓ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{NH4}	mg-N/ℓ	18.9	22.5	22.7	21.9	19.5	18.2	17.1	14.5	13.4	14	16.6	15.7
S _{NOx}	mg-N/ℓ	0.33	0.6	0.41	0.33	0.27	0.81	0.65	0.59	0.27	0.14	0.11	0.12
S _{PO4}	mg-P/ℓ	1.76	2.61	2.33	1.92	1.73	1.7	1.63	1.52	1.47	1.37	1.36	1.32
S _{O2}	mg-O2/ℓ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{ALK}	mmol-HCO ³⁻ /ℓ	3.38	3.21	3.03	2.86	2.83	2.81	2.78	2.70	2.62	2.54	2.82	3.10

Table5 運転データ

	単位	経時変化											
		11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00
流入水量	m ³ /日	14160	12000	11760	5760	12240	12240	13200	12240	12000	2160	5760	12960
送風倍率	倍	3.2	3.8	3.7	7.9	4	4.6	4.1	4.7	4.5	17	4.5	2.7
MLDO	好気1 mg/ℓ	1.94	1.93	1.92	2.28	1.78	2.01	2.03	2.18	1.9	2.25	2.08	1.62
返送汚泥率	%	43	51	52	106	50	50	46	50	51	279	105	47
循環水量	m ³ /日	13584	13560	13416	7320	13464	13368	13320	13296	13224	3336	4320	13248
HRT	時間	12.6	14.9	15.2	31.1	14.6	14.6	13.6	14.6	14.9	82.9	31.3	13.8
SRT	日	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
水温	℃	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.8	15.9	16.7	17.1	16.9	17	16.2

4.3 プロセスモデルの構築

プロセスモデルの構築に当たっては、物理的条件として反応タンクの水理学的特性を考慮する必要がある。反応タンクに隔壁が設置されている場合には、隔壁で区分された1区画を1つの完全混合槽としてプロセスモデルを構築すれば十分であることが多い¹³⁾。

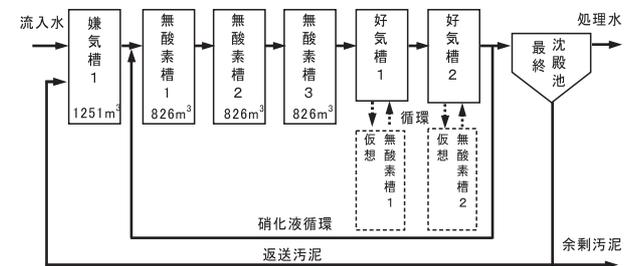
本検討では、収集したデータの違いから、以下の2ケースのモデルを構築した。いずれのプロセスモデルの構築に当たっても、対象施設は深槽式反応タンクが採用されており、水質データから好気槽での脱窒反応が確認できたため、各好気槽における脱窒反応を再現するよう各好気槽に仮想無酸素槽を設置した。また、付帯モデルとして、酸素移動モデルはDO固定制御モデル、最終沈殿池モデルは生物反応が考慮されていない単純固液分離モデルを採用した。構築したプロセスモデルの概要を Fig. 2 に示す。

(1) ケース 1

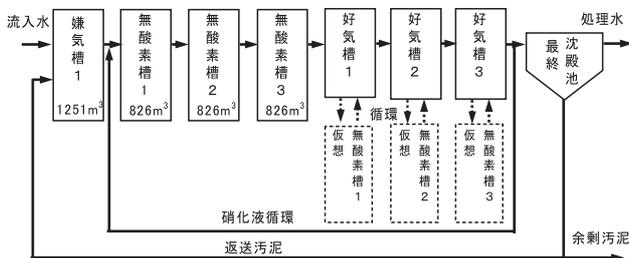
施設の設計図を基に、反応タンクの水理モデルとして、隔壁毎に分割した完全混合槽列モデルを利用した。

(2) ケース 2

好気槽における流下方向の DO 濃度変化の調査結果から、Fig. 1 の好気槽 2 の前段と後段では DO 濃度分布に差が見られたため 2 槽に分割し、全体として好気槽を 3 槽とした完全混合槽列モデルとした。



a) ケース 1 のプロセスモデル



b) ケース 2 のプロセスモデル

Fig. 2 プロセスモデルの概要

4.4 キャリブレーション方法

キャリブレーションは、処理プロセスの挙動、処理水質、汚泥発生量および酸素消費量等のシミュレーション結果が対象とする水処理施設の実態に合致するように各種パラメータを調整して実施する。パラメー

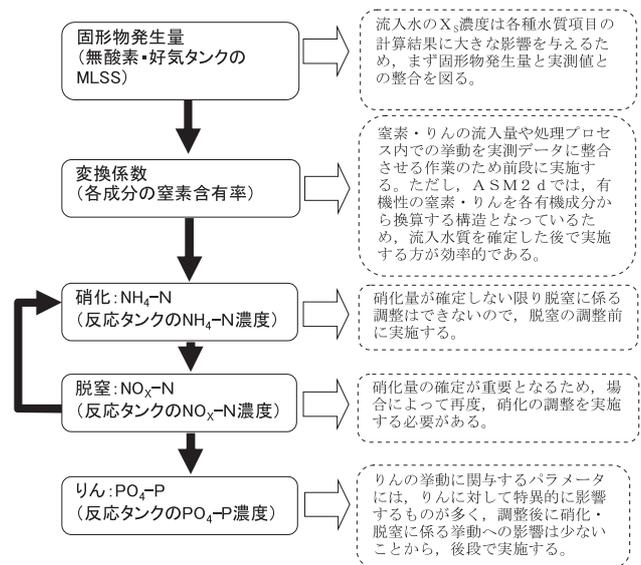


Fig. 3 パラメータ調整の手順フロー

タの調整方法を Fig. 3 に示す。パラメータの調整は、まず固形物発生量の調整、次に汚泥の窒素含有率および流入水の有機性窒素・有機性りん濃度の変換係数の調整、そして硝化 (NH₄-N)、脱窒 (NO_x-N)、りん (PO₄-P) の順に調整を行った。また、好気槽内の仮想無酸素槽の割合を把握するのは難しいことから、脱窒状況を再現するための調整対象項目とした。各パラメータは、デフォルト値から大幅に変更しない範囲で調整し、また、パラメータの大小関係に意味を持つものについては、その関係を崩さないように調整した。

本検討では、反応タンク末端の実測値と計算値の誤差が、NH₄-N+NO_x-N で 1.0 mg/L、PO₄-P で 0.1 mg/L となるように、かつ反応タンク各槽での水質変化状況も再現できるように各種パラメータを調整した。なお、この許容誤差は対象施設の計画放流水質である T-N 濃度の 10%、T-P 濃度の 20% となるように設定した。ただし、使用するデータの精度と予測精度を比較するために、キャリブレーション対象とするデータをケース 1 とケース 2 で次のように設定した。

(1) ケース 1

反応タンクおよび処理水の日平均水質を対象にキャリブレーションを実施した。

(2) ケース 2

反応タンクおよび処理水の経時的な水質変化を対象にキャリブレーションを実施した。

4.5 パラメータの調整結果の比較

ケース 1 および 2 で調整したパラメータを Table 6 に示す。ケース 2 では流下方向の DO 濃度変化を考慮してプロセスモデルを構築したこと、反応タンク流出水および処理水の経時変化を考慮したことから、ケース 1 では調整しなかったパラメータを調整する必

Table6 ケース1およびケース2で調整したパラメータ

調整項目	パラメータ	単位	デフォルト値	調整後		
				ケース1	ケース2	
固形物発生量	反応タンク流入水のXIとXSの比	X_I/X_S 比	gCOD/gCOD	0.40	—	0.60
	X_H の比自己分解速度	b_H	d^{-1}	0.40	0.29	0.20
	X_{AUT} の比自己分解速度	b_{AUT}	d^{-1}	0.15	—	0.08
	X_{PAO} の比自己分解速度	b_{PAO}	d^{-1}	0.20	—	0.10
	X_{PHA} の比自己分解速度	b_{PHA}	d^{-1}	0.20	—	0.10
	X_{PP} の比自己分解速度	b_{PP}	d^{-1}	0.20	—	0.10
流入水のT-N	X_I の窒素含有率	$i_{N,XI}$	gN/gCOD	0.02	—	0.04
	X_S の窒素含有率	$i_{N,XS}$	gN/gCOD	0.04	—	0.08
	S_F の窒素含有率	$i_{N,SF}$	gN/gCOD	0.03	—	0.06
	S_I の窒素含有率	$i_{N,SI}$	gN/gCOD	0.01	—	0.02
活性汚泥のT-N濃度	X_H, X_{AUT}, X_{PAO} の窒素含有率	$i_{N,BM}$	gN/gCOD	0.07	—	0.10
硝化反応	X_H による最大比発酵速度	q_{fe}	d^{-1}	3.0	—	0.5
	X_{AUT} の比増殖速度	μ_{AUT}	d^{-1}	1.0	2.0	1.5
	S_{NH4} に対する X_{AUT} の飽和定数	K_{NH4}	gN/m ³	1.0	0.3	0.5
	S_{PO4} に対する飽和定数	K_P	gP/m ³	0.010	—	0.001
	返送汚泥ラインの仮想無酸素槽容量	—	m ³	—	—	1000
脱窒反応	X_H の無酸素増殖減少係数	η_{NO3}	—	0.80	—	0.40
	X_H に関する S_{O2} に対する飽和定数	K_{O2}	gO ₂ /m ³	0.20	0.48	0.30
	S_{NO3} に対する飽和・阻害定数	K_{NO3}	gN/m ³	0.50	0.10	—
	好気槽1の実容量に対する仮想無酸素槽容量の割合	—	—	—	0.40	0.25
	好気槽2の実容量に対する仮想無酸素槽容量の割合	—	—	—	0.40	0.25
	好気槽3の実容量に対する仮想無酸素槽容量の割合	—	—	—	—	0.25
りん除去反応	X_{PAO} に関する S_{O2} に対する飽和・阻害定数	$K_{O2,PAO}$	gO ₂ /m ³	0.20	—	0.40
	X_{PHA} の貯蔵に必要な S_{PO4} 放出量	Y_{PO4}	gP/gCOD	0.40	0.22	—
全体	無酸素槽1から嫌気槽1への逆混合比	—	—	0.0	—	1.0
	各無酸素槽間の逆混合比	—	—	0.0	—	1.0
	好気槽1から無酸素槽3への逆混合比	—	—	0.0	—	2.0

要があった。また、嫌気槽および無酸素槽のNH₄-N、PO₄-Pの計算値が実測値よりも高くなっていったこと、各槽の隔壁の開口部の大きさから逆混合の可能性があることから、嫌気槽から好気槽1の間について隔壁を通した逆混合があると想定し、調整項目とした。また、流入のT-N濃度、活性汚泥中のT-N濃度の実測値と、ASMで計算された各成分に変換係数を乗じて求めた換算値に差が見られたことから、各成分の窒素含有率を変更する必要がある。

4.6 予測誤差の比較

ケース1とケース2の予測誤差を評価するために、2つのケースについて反応タンク各槽の形態別窒素およびりんの計算値と実測値を比較し、キャリブレーションおよびプロセスモデルの精度が予測誤差に及ぼす影響について検討した。

両ケースの反応タンク各槽の実測値と計算値の差異をTable7に示す。反応タンク末端での予測誤差はケース1および2で大きな差異は認められなかったものの、反応タンク内ではいずれの水質もケース1の方が予測誤差が大きくなる傾向が見られた。このことから、ケース1のキャリブレーション結果を用いてシナリオ解析を実施する場合、施設条件または運転条件を大きく変更するシナリオに関しては、予測誤差が大きくなる可能性があると考えられる。そのため、高い必要予測精度が求められる場合には、シナリオ解析にお

Table7 反応タンク各槽の実測値と計算値

	ASM予測誤差(計算値-実測値)					
	NH ₄ -N(mg/l)		NO _x -N(mg/l)		PO ₄ -P(mg/l)	
	ケース1	ケース2	ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
嫌気槽1	1.07	-0.29	-0.10	-0.09	0.01	-0.11
無酸素槽1	-0.23	0.45	-0.32	-0.21	-1.80	1.53
無酸素槽2	0.24	0.50	-0.16	-0.12	-0.76	1.94
無酸素槽3	1.71	0.10	-0.25	0.05	1.60	0.80
好気槽1	-1.47	0.07	1.53	0.10	-0.74	-0.16
好気槽3	0.17	0.07	0.41	1.14	-0.04	0.02
返送汚泥	-4.95	-3.36	3.55	0.15	-3.56	-2.14

※ケース2の予測誤差=計算値の日平均値-実測値の日平均値

ける予測の信頼性を確保するために、水質データや運転データ等を詳細に調査する必要があることに加えて、反応タンク内のDO濃度分布や隔壁間の逆混合等の実態把握も重要な要素となる可能性が示唆された。

以上の結果から、ケース1のように日平均水質を対象にキャリブレーションした予測精度を高レベル、ケース2のように詳細なプロセスモデルを考慮し、経時変化を考慮してキャリブレーションした予測精度を最高レベル、また、必要予測精度に高い定量性を必要としないケースは基本レベルとして、利活用目的に応じた必要予測精度を段階的に整理した。

下水処理施設の維持管理で日常的に収集されている資料としては維持管理年報、月報、日報があると考えられる。これらの資料を利用してASM利活用に必要なデータを収集する場合、検討目的とその検討に必要な予測精度レベル別に、必要資料をTable8のよう

Table8 検討目的別の必要予測精度と調査概要

検討目的	必要予測精度	調査概要								
		既存資料収集と評価				現地調査とヒアリング		実測調査と評価		プロセスモデルの基本条件の整理
		施設諸元	運転条件			水質条件		現地調査	実測調査	
設計 計画設計	基本レベル (高い定量性は不要)	○	○							○
設計 実施設計	最高レベル (高い定量性が必要)	○					○	○	○	○
運転 管理	高レベル (高い定量性が必要)	○	○					○	○	○
管理 異常時対応	高レベル (高い定量性が必要)	○	○					○	○	○
管理 省エネルギー 運転	高レベル (高い定量性が必要)	○	○					○	○	○

※実測調査：既存資料では不足する水質データを採取するための調査

※評価：収集したデータが通常の状態と大きく異なっていないかを確認すること

に整理した。

5. 利活用に必要な資料および調査方法の整理

ASM 利活用に当たって、対象処理施設の諸元、運転条件、プロセスフロー、水量、水質データ等の収集および収集したデータの評価を行うことが必要となる。Table 8 に示す検討目的に応じた必要予測精度に基づいて、必要資料を確定し、資料収集およびその評価を実施する。必要資料が充足していない場合には、実測調査を実施し、その結果を評価した上でプロセスモデル構築のための資料とする。

5.1 必要資料

利活用目的に応じた予測精度を確保するために必要なデータについて、既存資料から把握できる内容とその資料を分類し、収集資料名および把握内容を Table 9 に整理した。

把握する項目は、対象とする施設諸元であり、運転条件、水質条件等のデータに加え、現地視察やヒアリング調査に基づいた施設の稼動および運転状況に関する情報である。

5.2 実測調査

収集した資料でキャリブレーションおよびキャリブレーションの検証に必要なデータが不足する場合には、実測調査を行い、詳細なデータを把握する必要がある。水質条件に関して、必要予測精度別の実測調査項目を Table 10 に示す。必要予測精度が最高レベルの場合には、経時変化水質を把握するための 24 時間スポット調査が必要であり、必要予測精度が高レベルの場合には、日平均水質を把握するための 24 時間コンポジット調査または反応タンク内の水質変化状況を把握できる水塊調査が必要であり、必要予測精度が基本レベルの場合には、定時スポット調査が必要である。

また、運転データに関する実測調査項目を Table 11 に示す。4.6 予測誤差の比較において、高い予測精度が求められる場合には、反応タンク内の DO 分布等の把握も重要な要素となることが示されたことから、

Table9 必要資料

必要資料	収集資料名	把握内容
施設諸元	① 調査共通 ・容量計算書 ・設計図	① 処理方式 ② 流入水質と処理水質 ③ 反応タンク ・容量と構造 ・流入方式 ・曝気方式 ・制御方法 ・運転条件 ④ 最終沈殿池 ・面積と容量 ・返送率 ⑤ 機械設備の仕様
運転条件	① 簡易調査 ・維持管理年報 ② 一般調査 ・維持管理月報 ③ 詳細調査 ・維持管理日報	① 反応タンク流入水量 ② 反応タンク水温 ③ 硝化液循環量 ④ 返送汚泥量 ⑤ 余剰汚泥量 ⑥ 薬品添加量 ⑦ 反応タンクMLSS, MLDO, pHの計測値 ⑧ HRT, SRT ⑨ 送風倍率
水質条件	① 簡易調査 ・水質年報 ② 一般調査 ・水質月報 ③ 詳細調査 ・適日試験結果	① 反応タンク流入水質 ② 反応タンク混合液水質 ③ 終沈流出水質 ④ 処理水質 ⑤ MLSS, 余剰汚泥濃度 ⑥ 返送汚泥中の溶解性水質等
現地視察・ヒアリング情報 (一般調査と詳細調査で実施)		① 運転中の処理方式 ② 稼動/休止・トラブル履歴 ③ 流入水・返送汚泥の分配状況、返流水影響 ④ 反応タンクの流れ状況 ⑤ 余剰汚泥の引抜方法 ⑥ 最終沈殿池での脱窒 ⑦ 採水場所・採水方法と計測センサの設置状況

※予測精度と調査の分類は、以下のとおり

簡易調査：基本レベル、一般調査：高レベル

詳細調査：最高レベル

Table10 推奨される実測調査項目（水質条件）

調査方法	定時スポット調査	24時間コンポジット調査	水塊追跡水質データ	24時間スポット調査
項目	平均的な水質を示す時間帯が把握できている場合に、定時採水し、その試料の分析を行う。24時間コンポジット調査に比べるとデータレベルとしては劣る。	1日の平均濃度の把握を目的とし、それぞれの処理場の実態に合わせた間隔（一般的には2時間ごと）で採水した試料をコンポジット（混合）して分析を行う。	反応タンク流入水から最終沈殿池流出水までを実滞留時間に沿って区画ごとに採水し、それぞれの試料の分析を行う。なお、シナリオ解析の際には、別途日平均流入データのセットが必要である。	時間的な濃度変化、平均濃度、負荷量の把握等を目的として、それぞれの実態に合わせた間隔（一般的には2時間ごと）で採水し、それぞれの試料の分析を行う。
作業性	簡易的な調査 ◎	検体の保冷、時間流量比混合等の対応が必要となる。 △	検体の保冷対応が比較的容易である。 ○	DO固定や検体の保冷等、サンプリング箇所毎に対応が必要となる。 ×
データ精度	概ねの平均水質 △	日平均水質 ○	水塊追跡水質 ○	時間的な変化 ◎
費用 (検体数等)	分析1検体 採水1検体 非常に安価 ○	分析1~12検体 採水12検体 経済的手法 ○	分析1検体 採水1検体 経済的手法 ○	分析12検体 採水12検体 非常に高価 ×
予測精度	基本レベル	高レベル	高レベル	最高レベル

必要予測精度が最高レベルの場合には、運転条件の詳細を把握するための実測調査が必要である。

なお、これらのデータ収集に当たっては、既存データをできる限り利用することが望ましい。

Table11 推奨される実測調査項目(運転条件)

項目	調査概要
反応タンクへの流入水・返送汚泥の分配状況	モデル化を行う対象系列の流量が不明の場合には、対象系列の流量を実際に測定する。測定が困難な場合には、分配前の流入水にトレーサーを投入し、反応タンク上流端におけるトレーサー濃度の変化より、分配状況を推定する。
反応タンク内の混合特性	反応タンク内のDO、MLSS、NH ₄ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P等の分布状況を調査する。必要に応じて、トレーサー試験を行うことが望ましい。
反応タンクへの酸素供給状況	反応タンク内のDOについて、複数箇所の測定、連続的なモニタリング等により、酸素供給状況を把握する。

6. ま と め

日本国内のASMの利活用状況に関するアンケート調査を実施し、その結果を参考に、ASM利活用業務、利活用効果の具体的内容を示し、下水処理施設の設計および運転管理者がASM利活用の判断材料となるよう整理した。

また、設計図に基づいてプロセスモデルを構築し、日平均水質を対象としてキャリブレーションを行ったケース(ケース1)と、槽内のDO濃度変化を考慮してプロセスモデルを構築し、経時変化水質を対象としたキャリブレーションを行ったケース(ケース2)について、その予測誤差を比較した。その結果、ケース1の予測誤差の方が大きくなる傾向が見られ、高い予測精度が求められる場合には、ケース2のような詳細なモデルを構築する必要があることが示唆された。この結果から、詳細なプロセスモデルを構築し、経時変化水質を考慮してキャリブレーションした予測精度を最高レベル、日平均水質を対象にキャリブレーションした予測精度を高レベル、予測精度に高い定量性を必要としないケースを基本レベルとして、必要予測精度を整理し、必要予測精度別に必要なデータ、資料、調査項目を整理した。

本研究の内容は、活性汚泥モデル利活用マニュアルとしてとりまとめており¹⁵⁾、活性汚泥モデルの機能について基礎編を通して初心者の方からわかりやすく示すとともに、応用編には調査・解析手順を示し、資

料編には7箇所の下水処理施設から収集したデータを用いたケーススタディを行い、利活用効果の見える化を図った。

参 考 文 献

- 1) 味埜 俊(監訳): 活性汚泥モデル ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3, 環境新聞社(2005)
- 2) 伊藤由季子, 川崎 達, 大久保俊治: コンサルタントにおける活性汚泥モデルの活用 その1, 月刊下水道, Vol.25, No.14, pp.62-65(2002)
- 3) 後藤浩之, 佐藤茂雄, 豊岡和宏, 大石 亮, 沢井賢司, 出口達也, 中沢 均, 橋本敏一, 糸川浩紀: 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, 環境システム計測制御学会誌, Vol.7, No.2, pp.65-68(2002)
- 4) 海老澤雅美, 柳根 勇, 徳永一成: 雨天時におけるりん除去悪化に対する活性汚泥モデルの適用, 第40回下水道研究発表会講演集, pp.174-176(2003)
- 5) 小林康太, 西村孝彦, 関口洋史, 鈴木純二: 担体を利用した高度処理施設の運転支援における活性汚泥モデルの活用, 第40回下水道研究発表会講演集, pp.183-185(2003)
- 6) 北村清明, 海老澤雅美, 石田恵一: 東京都下水道局における活性汚泥モデル導入とその活用, 用水と廃水, Vol.46, No.10, pp.45-51(2004)
- 7) 八木政雄, 関口洋史, 内田 浩: 担体利用高度処理施設(合流式)の活性汚泥モデルを用いた検討, 第41回下水道研究発表会講演集, pp.131-133(2004)
- 8) 久古真由美, 武田誠一郎, 坂口研三, 岩元次男: 擬似嫌気好気法で運転されている実施設への活性汚泥モデルの適用事例, 第41回下水道研究発表会講演集, pp.134-136(2004)
- 9) 宮川和則, 瓜生昌弘: 活性汚泥モデルを利用した凝集剤添加嫌気-無酸素-好気法の効率化に関する検討, 下水道研究発表会講演集, pp.139-141(2005)
- 10) 宮川和則: 滋賀県における活性汚泥モデル活用事例・高度処理対応について, 月刊下水道, Vol.29, No.6, pp.17-20(2006)
- 11) 八木政雄: 川崎市における活性汚泥モデル活用事例, 月刊下水道, Vol.29, No.6, pp.21-24(2006)
- 12) 井上善之: 活性汚泥モデルを用いた再構築基本計画(高度処理化)について, 第44回下水道研究発表会講演集, pp.61-63(2007)
- 13) 日本下水道事業団: 活性汚泥モデルの実務利用の技術評価に関する報告書, (財)下水道業務管理センター(2006)
- 14) 活性汚泥モデル研究会編: 活性汚泥モデルの実務利用に関する検討報告書(2001)
- 15) (財)下水道新技術推進機構: 活性汚泥モデル利活用マニュアル(2010)

Utilization method of Activated Sludge Model, for designing and operation of wastewater treatment plant

Mayumi Abe^{1)†}, Kazumasa Kudo²⁾ and Syuichi Ochi¹⁾

- ¹⁾ Formation of Energy and Resources Circulation, Japan Institute of Wastewater Engineering Technology
²⁾ Facilities Department, Original Engineering Consultants Co., Ltd.

† Correspondence should be addressed to Mayumi Abe :
(Formation of Energy and Resources Circulation, Japan Institute of Wastewater Engineering Technology E-mail : m-abe@jiwet.or.jp)

Abstract

This research was intended to contribute the utilization of Activated Sludge Model (below, "ASM"). A questionnaire survey was conducted to clarify the utilization situation of ASM in wastewater treatment plant in Japan. By the results of the questionnaire survey, we classified the application effect of ASM and the work that ASM can be expected to be used. We evaluated the influence of the data precision on the prediction precision. According to the purpose of use, the prediction precision was classified as 3 levels, in addition the documents and examination methods which are necessary to ensure the precision of each level were classified.

Key Words : Activated Sludge Model (ASM), operating management support, design support