

# 活性汚泥モデルに関する共同研究

## 1. 研究の背景と目的

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 (BOD) 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。今日では、地球温暖化防止対策の観点から下水処理施設における CO<sub>2</sub> 排出量削減やエネルギー削減も求められ、また、一方では指定管理者制度や包括的民間委託制度の導入、運転管理業務の見直し等による、コスト削減も強く求められている。

下水処理施設は、立地条件や気候・流入条件による運転方法等によって、反応タンク内に生息する活性汚泥の性状が異なるため、処理性能を一律に評価することが難しい。そこで、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 (以下、ASMと記す) の利用が期待されている。

国内においては、ASMの活用は年々増加し、その効果の事例も発表されている。昨今、ASMの活用手法も整理されつつあるが、内容が専門的であり、また、具体的な作業内容、適用できる処理方式や課題の範囲、予測できる精度等の詳細は整理されていない。

このような経緯から、本研究は、ASMに関するアンケート調査結果により利活用状況等を整理するとともに、ASMの適用範囲、利用目的および適用

効果および利活用上の留意点を初心者立場からわかりやすく記述するとともに、多様な具体的事例を示すことで適用効果の見える化を図り、自治体や維持管理会社でASMを活用していくための利活用マニュアルとして取りまとめ、ASMの有効活用に資することを目的とする。

## 2. 研究体制

本研究は、オリジナル設計(株)、(株)日水コン、(株)東京設計事務所、日本工営(株)、日本上下水道設計(株)、日本水工設計(株)、(株)ニュージェック、(財)下水道新技術推進機構の8者による共同研究で行った。

## 3. 研究内容

### 3.1 ASM利活用状況に関するアンケート調査

ASM利活用の状況について、次の①～③の条件のいずれかに当てはまる全347箇所の下水処理施設を対象にアンケートを行った。

- ①高度処理を行っている処理施設
- ②東京湾、伊勢湾、大阪湾を放流先とする5,000m<sup>3</sup>/日 (計画1日最大汚水量) 以上の処理施設
- ③50,000m<sup>3</sup>/日 (計画1日最大汚水量) 以上の処理施設

アンケートの回収率は73%であり、253箇所の処理施設から回答が得られた。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、「利用予

定がある」,「マニュアル等があれば自分で活用したい」,「専門家に依頼して活用したい」,「試験的に利用した上で活用したい」等の回答が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を利用したと回答したのは,10自治体61下水処理施設(約24%)であり,その利用内容は,図-1に示すとおりである。

ASMを利用した下水処理施設のうち,87%の下水処理施設がステップ比,返送汚泥率と反応タンクMLSS,反応タンクDO等の最適運転条件の検討を行っており,次いで,雨天時等の異常時の対応に関する検討,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していた。

このような利活用の状況から,ASMは,設計支援や運転管理支援での需要が高いと考えられる。さらに,今後は,処理施設の運転管理に係る経験や技術の伝承等の教育用ツールとしての利用も有用と考えられる。

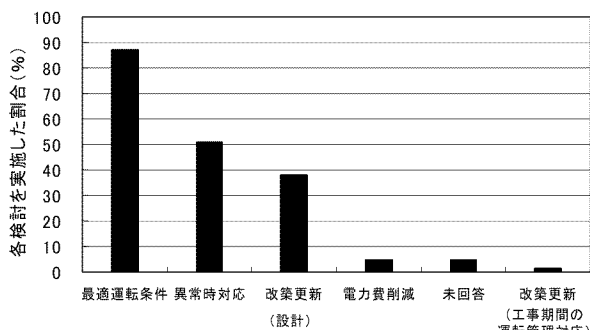


図-1 ASMを利用した内容  
(回答処理施設: 61箇所)

### 3.2 ASM利用対象業務および適用効果の整理

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業務において,ASM利活用が期待できる業務および適用効果を整理した。

#### 3.2.1 ASM利用対象業務

設計支援および運転管理支援の業務において,ASMを利活用できる業務を表-1に示す。表-1は,アンケート結果および表-2に示したASMの適用効果を基にして,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。

#### 3.2.2 ASM適用効果

##### (1)設計・運転管理支援への適用効果

アンケート調査ではASM利活用のメリットに

ついても質問しており,実施設の運転条件を実際に変更しなくても変更した場合の影響を予測できること,実施設への適用が困難な流入条件・運転条件でシミュレーションを実行できること等の回答が得られた。従来の設計・運転管理手法と比較し,ASMを適用した場合に期待できる効果を表-2に示す。

##### (2)その他の効果

従来はブラックボックスとして扱われることが多かった活性汚泥中の微生物の挙動について,ASMでは流入条件や運転条件との関係が定量的・理論的に表現されるため,教育・コミュニケーションツールとして,実務者の理解や実務者同士(例えば委託者と受託者)の円滑な意思疎通に役立つことが考えられる。

表-1 ASM利用対象業務

項目	ASMの利活用対象
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・リンの除去効果の検討。 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の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。

表-2 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) ・適用事例の少ない処理プロセスの評価	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
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	実験や実施設をもちいた検証 ↓ ・多大な検討時間と費用 ・検討ケースが限られる	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

### 3.3 ASMの適用方法の整理

既往の文献等を参考に,ASMの適用に必要な作業項目を整理した。標準的な適用手順の概要を

図-2 に示す。

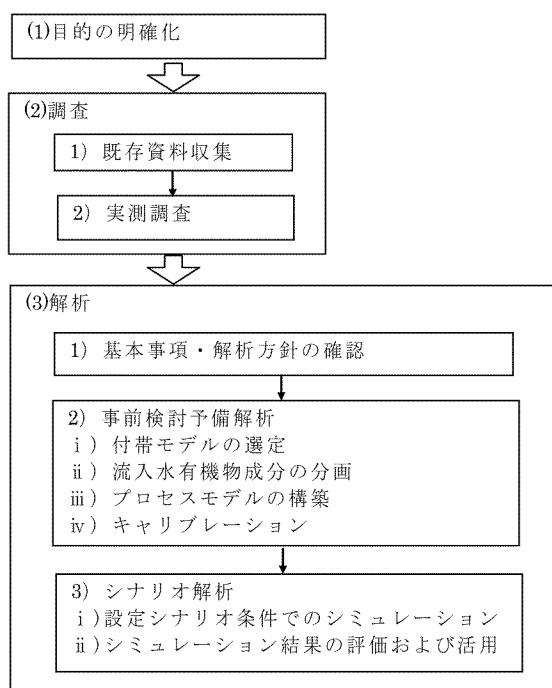


図-2 ASMの標準的な適用手順

### 3.3.1 ASMの予測精度

ASMの予測計算で「期待できる予測精度」は、図-3に示すように、予備解析に利用する入力データ、プロセスモデル構築およびキャリブレーションの精度に影響を受ける。一方、「必要予測精度」はASMの利用目的により異なるため、「必要予測精度」を満たすように予備解析を行う必要がある。そこで、利用目的別の必要予測精度を基本レベル、高レベル、最高レベルと段階的に設定し、必要予測精度レベルと利用データ・キャリブレーションを表-3のように整理した。

なお、設定シナリオ条件によるシミュレーションにおいて利用する入力データやプロセスモデルが予備解析で利用したものと異なる場合には、「期待できる予測精度」にも影響を及ぼすため、留意が必要である。

表-3 ASM利用目的と必要予測精度等の対応

利用目的	必要予測精度レベル	利用するデータ・キャリブレーション
設計支援	基本レベル (高い定量性は不要)	既存データ
	最高レベル (高い定量性が必要)	簡易的なキャリブレーション 既存データ+追加採取データ 詳細なキャリブレーション
運転管理支援	高レベル (高い定量性が必要)	既存データ+追加採取データ 詳細なキャリブレーション
	高レベル (高い定量性が必要)	既存データ+追加採取データ 詳細なキャリブレーション

※活性汚泥プロセスを理解するための教育目的でASMを用いる場合や、設定シナリオ条件に対する定性的な評価を得たい場合には、キャリブレーションを行わずにASMを利用することができる。

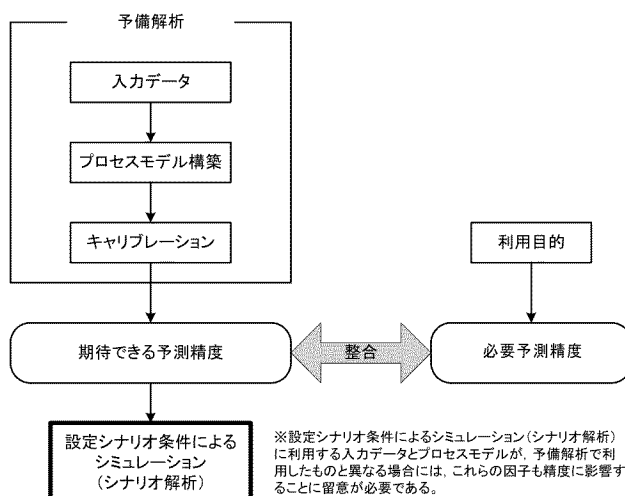


図-3 ASMの予測精度に対する影響因子

### 3.3.2 ASM利活用目的の明確化

ASMは、対象施設における処理状況を適切に再現することで机上での各種検討を可能とする。しかしながら、シミュレーションは設定シナリオにおける処理プロセスの挙動や処理水質等を予測するツールであり、3.3.1ASMの予測精度に示したように検討目的と必要予測精度により、予測の信頼性が異なる。そのため、以下の基本事項を確認して解析方針を設定する。

#### (1)解析の基本事項

基本事項として、①検討の目的、②検討の目的に整合した予測精度を確認する。

#### (2)解析方針の設定

検討目的に応じた解析方針として、以下の3点を設定する。

##### ①評価指標

評価指標として、処理水質、発生汚泥量、送風量、処理の安定性等を設定する。なお、それらの評価指標を総合的に捉えることで処理コストについても評価することが可能である。

##### ②必要予測精度

上記の①の指標を評価する上で求められる必要予測精度を設定する。

##### ③解析ケース

検討の目的に対応した解析ケースの条件を設定する。ここで設定した解析ケースは固定するのではなく、検討する過程で随時見直していくことを基本とする。

### 3.3.3 調査方法

ASM適用における調査フローを図-4に示す。ASMは、検討の目的に応じて必要な予測精度が異なるため、必要予測精度に合わせた必要資料を抽出し、既存資料の収集と評価を行うとともに、必要に応じ

て追加データの採取などの実測調査を行い、プロセスモデルを構築するための基本条件を整理する。検討目的別の必要予測精度と調査概要を表-4に示す。

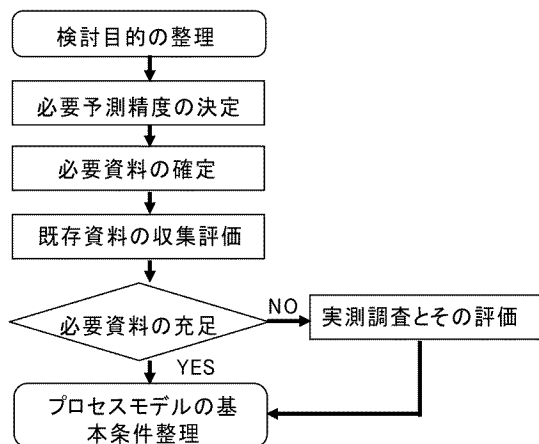


図-4 調査フロー

表-4 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							プロセスモデルの基本条件の整理
		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		
		運転条件		水質条件					
施設諸元	年報	月報	日報	年報	月報	日報			
計画設計	基本レベル	○	○		○				○
実施設計	最高レベル	○		○		○	○	○	○
運転管理	高レベル	○	○		○		○	○	○
異常時対応	高レベル	○	○		○		○	○	○
省エネルギー運転	高レベル	○	○		○		○	○	○

(1) 必要資料

検討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、表-5に示す。

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働および運転状況に関する情報である。

(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。必要予測精度別の実測調査項目を表-6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に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に、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。

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。

表-5 必要な収集資料と把握内容

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 ・通日試験結果	① 反応タンク流入水質 ② 反応タンク混合液水質 ③ 反応タンク流出水質 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 稼働/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 余剰汚泥の引抜き方法 ⑥ 最終沈殿池での脱室 ⑦ 採水場所・採水方法と計測センサの設置状況

表-6 実測調査項目

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	24時間スポット調査
項目				
概要	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て、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※1)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実滞留時間によ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、シブリア解析の際には、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、それぞれの処理場の実態に合わせた間隔(一般的には2時間ごと※1)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※2	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

※1 通日試験結果等の既存資料で負荷変動の傾向を把握している場合には、4~6時間間隔で採水すること等も考えられる。

※2 有機物は、採水後、長時間保存できないものがあるため、24時間コンポジット調査の場合には分析検体数の設定に注意が必要である。

### 3.3.4 解析方法

解析は、ASMの選定、付帯モデルの選定、流入水有機物分画、プロセスモデルの構築、キャリブレーション、キャリブレーション結果の検証、シナリオ解析・評価の順で実施する。解析フローを図-5に示す。

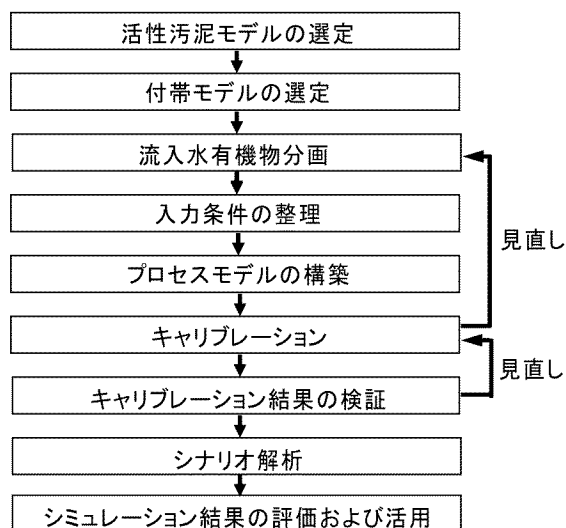


図-5 解析フロー

#### (1) 活性汚泥モデルの選定

ASMには、ASM1、ASM2、ASM2d、ASM3、ASM3Cの5種類があり、3.3.2 ASM利活用目的の明確化で評価指標とした水質項目および各種ASMで計算可能な水質項目を考慮して利用するASMを選定する。

#### (2) 付帯モデルの選定

ASMは生物反応を記述したものであるため、予測計算を行うためには、反応タンク内の水理モデル、酸素移動モデル、最終沈澱池の固液分離モデル、流量制御モデル等の付帯モデルを選定する必要がある。対象施設の諸元・運転方法や解析の目的等に応じて、付帯モデルを選定する。

#### (3) 流入水有機物分画

シミュレーションを実施するためには、流入水中の有機物をASMで定義されている成分にふるい分ける（分画）必要がある。国内で実務利用実績がある4種類の分画方法を整理し、留意点とともにマニュアルに記載した。

#### (4) 入力条件の整理

3.3.3 調査方法にて収集した既存資料および実測調査の結果から、プロセスモデル構築の前作業として、施設データ、水温水質データおよび運転データを整理する方法をマニュアルに記載した。

#### (5) プロセスモデルの構築

プロセスモデルを構築に当たっては、対象施設のうちモデル化する系列およびフローを整理する必要

があること、物理的条件として施設状況に応じた反応タンクの逆混合ラインや仮想無酸素槽の設置も検討すること、設備的条件として各種ポンプ類の水量を設定することを整理し、マニュアルに記載した。

#### (6) キャリブレーション

キャリブレーション手法として、処理水質や処理プロセス等の解析結果が対象施設の実態に合致するように、ASMの各種パラメータを調整するため、使用データ、数値計算条件、計算方法、パラメータ調整手順等の具体的な方法を整理し、マニュアルに記載した。

#### (7) キャリブレーション結果の検証

キャリブレーション結果の妥当性を検証するために、キャリブレーションで利用したデータとは異なる時期に採取されたデータを用いて実測値の再現性を確認する必要がある。

また、キャリブレーションの処理水の計算値と実測値の差とキャリブレーション検証結果の処理水の計算値と実測値の差の大きい方を予測誤差とし、3.3.2 ASM利活用目的の明確化で示した予測の許容誤差を満たせない場合、再度、流入水分画やキャリブレーションからやり直す必要があり、それでも予測の許容誤差を満たせない場合には実測調査からやり直す必要がある。

#### (8) シナリオ解析

検討の目的に応じた解析ケースを設定し、シミュレーションを行うための具体的な変更条件と設定例を整理し、マニュアルに記載した。

#### (9) シミュレーション結果の評価および活用

シミュレーション結果として得られた処理水質、発生汚泥量、必要酸素量および処理の安定性等の評価項目について、現状や他シナリオ解析結果と比較評価することで、設計支援、運転管理支援および教育等に利活用することが可能となる。

## 3.4 ケーススタディ

3.1 ASM利活用に関するアンケート調査結果の紹介で示した日本国内で適用実績のある下水処理施設より収集したデータを利用して、8件のケーススタディを行った。検討概要を表-7に示す。

事例1については、3.3 ASM適用方法の整理に示した手順に沿って、全工程を詳細に示し、実際のデータを活用した具体的な作業が分かるようにした。事例2～7については検討の概要のみを示した。また、3.3.1 利用目的に応じた必要予測精度で示した高レベルと最高レベルの相違を示す根拠として、使用するデータとプロセスモデルの精度がASMの予測誤

差に及ぼす影響を検討した結果を事例8に示した。

第6章 解析

表-7 適用事例の概要

	検討の概要	予測精度 レベル
事例1	効率的な後脱窒条件の検討：後脱窒タンクの容量、メタノール注入率を段階的に変化させ、最も効率的な条件を検討した。	最高レベル
事例2	現有施設における許容処理水質の検討：現有施設の運転状況の範囲内で、処理水質を悪化させずに、どの程度の高濃度流入水質（窒素）を処理できるかを検討した。	高レベル
事例3	硝化促進のための運転方針の検討：冬季に水温が低くなり処理水にNH4-Nが残存するため、冬季における硝化進行の条件を検討した。	高レベル
事例4	雨天時のりん除去に関する検討：合流式であるため、降雨後にりん除去が悪化する傾向があり、雨天時の処理水りん濃度を低減するための運転法案を検討した。	高レベル
事例5	省エネルギー運転の可能性に関する検討：現状の処理水質を維持しつつ、反応タンクの送風量削減の可能性を検討した。	基本レベル
事例6	硝化促進と窒素・りん除去の悪化抑制に関する検討：反応タンクのDO不足によって硝化が進行しない状況が見られたため、硝化を進行させ、かつ脱窒、りん除去が悪化しない運転条件を検討した。	高レベル
事例7	施設・設備の改造による高度処理に関する検討：ステップ流入式多段硝化脱窒法や嫌気無酸素好気法に変えた場合の処理水質を比較し、最適な処理方式を検討した。	高レベル
事例8	キャリブレーションに使用するデータとプロセスモデルの精度が予測誤差に及ぼす影響の検討：日平均水質を対象としてキャリブレーションを行った場合と経時変化水質を考慮してキャリブレーションを行った場合の結果を比較し、キャリブレーションに利用するデータの種類の種類が予測誤差に及ぼす影響を検討した。	最高レベル 高レベル

適用事例編

第7章 活性汚泥モデルの適用事例

事例1：効率的な後脱窒条件の検討

事例2：現有施設における許容処理水質の検討

事例3：硝化促進のための運転方針の検討

事例4：雨天時のりん除去に関する検討

事例5：省エネルギー運転の可能性に関する検討

事例6：硝化促進と窒素・りん除去の悪化抑制に関する検討

事例7：施設・設備の改造による高度処理に関する検討

事例8：キャリブレーションに使用するデータとプロセスモデルの精度がASM予測誤差に及ぼす影響に関する検討

参考資料

1. アンケート調査結果の紹介
2. 活性汚泥モデルに関する理論情報
3. 引用文献リスト
4. 積算資料
5. 問い合わせ先
6. 索引

4. マニュアルの構成

本マニュアルは、基礎編、応用編、適用事例編、参考資料から構成される。各編の内容は以下のとおりである。

基礎編

第1章 総則

第2章 活性汚泥モデルの概要

第3章 活性汚泥モデルの適用手順

応用編

第4章 活性汚泥モデル利活用目的の明確化と調査・解析フロー

第5章 調査

5. まとめ

自治体や維持管理者でASMを活用していくための利活用マニュアルを作成し、ASMの有効活用に資することを目的として、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、利活用状況等を整理するとともに、ASMの適用範囲、利用目的および適用効果および利活用上の留意点をわかりやすく示すとともに、多様な具体的事例を整理した。

今後、本マニュアルが下水処理施設における設計支援、運転管理の効率化の検討や技術継承に活用されることによって、より一層、効率化・最適化が推進されることに貢献することを期待する。

●この研究を行ったのは

資源循環研究部長	石田 貴
資源循環研究部副部長	落 修一
資源循環研究部総括主任研究員	内田 賢治
資源循環研究部研究員	工藤 和正

●この研究に関するお問い合わせは

資源循環研究部長	石田 貴
資源循環研究部副部長	落 修一
資源循環研究部研究員	阿部真由美

問い合わせ先 電話 03-5228-6511