

# オブジェクト指向による下水処理プロセスの シミュレーション技術の確立に関する研究

倉田学児 津村和志

京都大学工学部環境地球工学教室  
京都市左京区吉田本町

## 概要

有機物の除去だけでなく、窒素・リンなど栄養塩の同時除去も下水処理プロセスに求められるようになり、プロセスの設計から運転条件の設定に至るまで様々な面で、制約因子の増加が複雑性を増加させる原因となっている。

これらの問題に対してシミュレーション技術は、適切な解決法へ導く思考支援道具として有効であるが、現実には限られた対象に対してしか利用されていないのが実情である。

今回、オブジェクト指向のモデル化に基づいたプロセスのシミュレーターを構築したが、これは、下水処理プロセスに関する一般的な表現法によってシミュレーションに必要な情報を与えることができるため、より多くの場面に対して応用する事が可能になるものと期待できる。

本報告では、オブジェクト指向を用いたシミュレーターの考え方と適用法を紹介すると共に、環境系の問題を考える場合に不可欠な「時系列オブジェクト」の扱い方に関する考察を加える。

## キーワード

下水処理、シミュレーション、オブジェクト指向、情報、計算機、運転支援、運転管理

## 1 はじめに

従来のBODの除去を中心に考えた下水処理プロセスにおいても、安定した運転を行うためには、流入の変動をいかに吸収するかとか、余剰汚泥量を減少させたり、パルキングを抑える運転をするために決定しなければならない操作因子は数多く存在していた。

最近では、これらに加えて窒素・リンなどの栄養塩の除去が求められたり、施設を建設する空間的な制約や、その他、環境に係わるありとあらゆる要因が新たな制約条件として課せられる状況となってきており、これらは今後さらに増加していくものと考えられる。

このような状況においては、設計施工・運転管理・維持管理などのそれぞれの場面において従来のような経験的な知識に基づいた意思決定が困難になってきている。特に、どの制約条件を重要と判断するかによって各人の判断基準が大きく変化するために意思疎通上の問題も軽視できない。

これらの問題に対して、シミュレーションの果たすべき役割には次のようなものが求められている。

### 〔意思決定支援〕

個々の装置に課せられた制約条件や各種の規制項目を考慮した上での意思決定を支援できる事。この為には、機器の性能限界などを必要に応じて容易にシミュレーションに反映できる仕組みが必要である。

### 〔意思疎通支援〕

水質管理とコスト管理の間や、設計施工者と運転維持管理者との間など異なる業務間の意思疎通の基盤となる事。それには、視点を自由に変えられるシステム化が必要である。

このような役割をシミュレーションが果たすことによって、どちらかといえば研究者の理論の検証が中心であった従来のシミュレーションの位置付けを、日常業務にまで拡張することができる。

本研究で開発しているオブジェクト指向による下水処理プロセスのシミュレーターは、シミュレーションに用いるモデルの基本単位を、実際の施設に存在する単位装置と同じにすることによって、様々な面でシミュレーションの障害となる問題を改善しているが、まずこの点に関して説明をする。

## 2 オブジェクト指向の利用によるメリット

オブジェクト指向とは、図1の様に各部品毎にデータとそれを操作する手続きを一体とした「オブジェクト」という単位毎にプログラムを作成してシステムを表現するモデル化の手法である。例えば、下水処理プロセスのように単位装置の集合体であるシステムでは、パイプや曝気槽の様な単位装置を「オブジェクト」とみなす事によって、それらの局所的なプログラムの集まりとしてシステムを構築することが出来る。

また、独立したオブジェクト間で、互いに拘束に従ったメッセージ交換によって情報を伝達しながら処理を進めていくので、オブジェクトの境界面の取り決めさえできれば、他人が作ったオブジェクトを利用することもできることから、広域システム・大規模システムのシミュレーションにも適用できる可能性がある。

図2は、具体的に下水処理プロセスをオブジェクトに展開した例である。各オブジェクトは実際の施設と1対1に対応している事になる。当然、このような機器毎のモデル化をすると、「どんな装置があって、どのように繋がっているのか」という情報を外部から得る必要がある。本研究では、このような施設の構造情報は、わざわざシミュレーションのために特別に作成されるようなものではなく、より汎用的に作成された施設データベースから入手するのが自然であるとの認識に立っている。

シミュレーションに必要な情報には、表1に挙げた様なものが含まれる。

属性情報とは、個々の機器・装置の種類や性能・特性などの属性情報を保持するもので、これによって各装置がどのような動作をするのかを決定する事ができる。

リンク情報とは、これらの機器・装置どうしがどのように接続されていて、どのような位置関係にあるのかという情報を保持するもので、これを用いてオブジェクト間でのメッセージ交換が行われて機器間の動作が決定される。

基本的には、この2つの情報によって、実施設と相似なモデル空間が計算機内に構築できるが、より発展させて、視覚的にも実施設の3次元構造を再現するためには、各装置が視覚的にどのような形状をしているのかを表現することで、3次元CAD等への応用も可能となる。これが、3つ目の形状情報である。

本研究では、シミュレーションの実行のためにデータベースの情報を利用するという立場を取っているが、視点をデータベース管理者の側に移せば、シミュレーションが実行できるかどうかをデータベースの情報量や完全性の基準として利用することも可能であり、将来的には相互依存の関係になる事は間違いない。現時点においては、接続関係などの2次元的な視覚化と、シミュレーションの実現を中心に考えているので、①と②のデータベースのみを用いている。

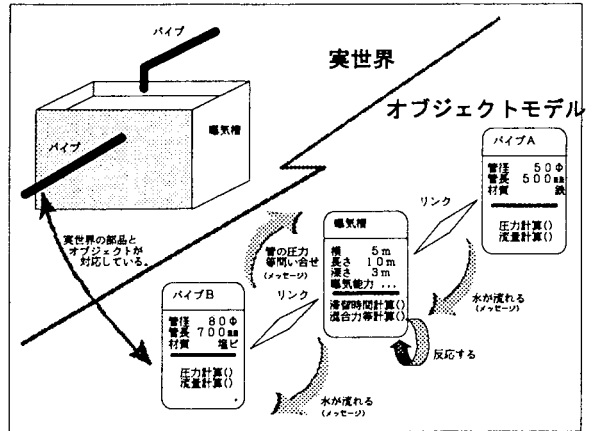


図1 オブジェクト指向モデルの概念図

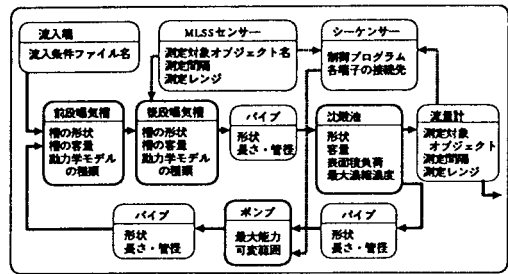


図2 オブジェクト指向モデルによる下水処理フロー

表1 データベースの種類

①[属性情報]	個々の機器・装置の種類や性能・特性などの属性情報で、これによって各装置の動作を特定できる
②[リンク情報]	機器間の接続情報・位置情報などを保持し、これを用いてメッセージ交換を行なって機器間の動作を決定できる。
③[形状情報]	各装置がどのような形状をしているのかを3次元的な視覚化を前提として保持する...

### 3 シミュレーションの実例

このようなオブジェクト指向モデルを用いて、これまでに幾通りかのシミュレーションを行った。主にシミュレーター自体あるいは用いたモデル等の検証用のシミュレーションであるため、体系的な結論が得られる段階には至っていないが、対象と目的および開発項目を整理すると表2の様になる。

次に一例を挙げておく。

#### ● 間欠曝気法の制御系構築の問題

図3は、窒素・リンの同時除去を目的とした間欠曝気方式の制御手法を考えるためのシミュレーションである。施設の概要は表3に示したコミュニティプラント規模である。曝気槽は前後2槽で、前段で脱窒とリン放出を、後段で硝化とリンの過剰摂取を行なっている。制御のポイントは、前段部で脱窒の後に十分なリン放出の為の嫌気状態を確保できるかどうかであり、曝気時間と攪はん時間の配分によって状態が変化する。一般に生物学的窒素・リン除去では、窒素とリンの除去率にトレードオフがあると認識されているが、SRT等を適切に保ちつつ、曝気時間と攪はん時間を決め細かく制御することで、窒素・リンの同時除去を安定化することが可能である。

しかし、これらを安定化する為の最適な条件は施設毎の構造の違いや流入条件の違いなどによって大きく左右されるので、施設の個性を反映させなければ、本当に役立つ情報とはならない。この点で、施設毎の個性を完全に表現できるオブジェクト指向シミュレータは有効である。

また、ここで扱っているような小規模施設では、必要以上にセンサー類を設置できない点や維持管理コストの制約が大きい事も考慮を要するが、これもセンサー類をオブジェクト化しているため検討が可能である。

ところで、シミュレーションに必要な情報には、上記の施設構造の情報だけでなく、初期条件や施設を制御するための制御情報、流入条件などの時系列情報などが必要であるが、これらは今回はファイルから与えている。

実行結果は、図4の様にシミュレーション経過をリアルタイムにグラフ化したり、図5の様に複数のセンサーの情報を一括してグラフ化するなどの表示をさせることが出来る。図4の画面では、シミュレータとは独立したユーザーインターフェイスとして作成しているので、例えばこれを実プラントの計装盤と同じ様に作れば教育用にも利用できる。

これらの表示も、センサーオブジェクトや次に述べる時系列オブジェクトが、データをグラフ化する方法を知っていることで非常に簡便化することができた。さらに統計解析や異常値検索など時系列データ関連の知識と一体化することができれば、さらに有効性が高まると考えられる。

表3 これまでに行ったシミュレーションの一覧

シミュレーション例	対象施設	目的	利用モデル
間欠曝気	小規模施設	制御性の確認	Stenstrom
硝化液循環法	中規模	硝化・脱窒特性の検証	〃
A/R制御	大規模処理場	動的モデルの検証	〃

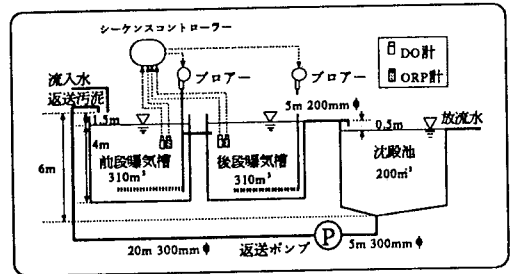


図3 間欠曝気法プロセスフロー

表3 施設概要

処理対象	一般家庭排水
処理方式	2槽式間欠曝気
処理人口	約2500人
設計排水量	200m <sup>3</sup>
曝気槽容量	620m <sup>3</sup>

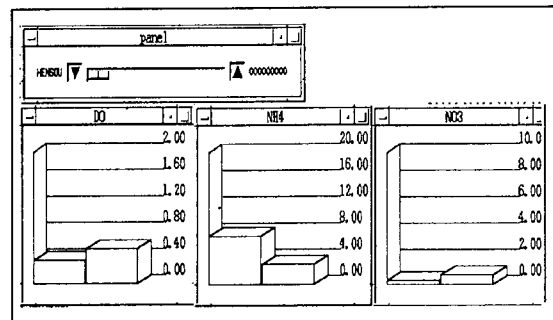


図4 シミュレーション結果（リアルタイム表示）

#### 4 「時系列情報」の扱い

前節までに述べた様にオブジェクト指向を利用したシミュレーション技術は、現実のプロセスのイメージに近い形であるというメリットがあった。しかし現実の世界がそうであるように、各オブジェクトは基本的にはある瞬間の情報しか持たず、自己及び直接的に関連する近接のオブジェクトの現在の状態から、次の時刻の自己の状態を決定していくだけであり、過去の状態がどうであったかは記憶されない。

これに対して、シミュレーションにおいては、当然の事ながら計算の過程におけるオブジェクトの履歴が重要な情報を持っている。特に間欠曝気制御などの動的制御や時間変化のある流入を考慮に入れた場合などのように非定常状態のシミュレーションでは、ある瞬間の値よりも変化パターンの方が情報の価値が高いため、これらの時系列情報を何らかの形で保存し利用する必要があることから、「時系列オブジェクト」という特別なオブジェクトを考えることにした。

また、実際の流入条件等を用いたシミュレーションの場合には、通常はファイルなどの媒体から情報を与えるが、これらの操作も時系列オブジェクトの持つ仕事であると考えられる。言い換えると「通常のオブジェクトが現実の世界との空間的インターフェイスであるのに対して、時系列オブジェクトは現実世界との時間軸方向のインターフェイスである」と言える。

このような時系列オブジェクトのシミュレーター内での役割を表すと図6のようになる。

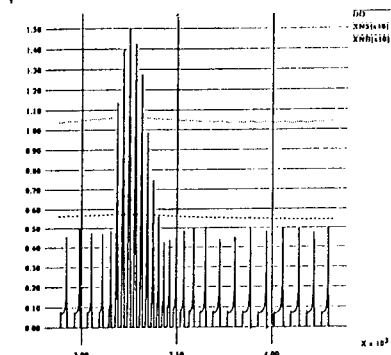


図5 複数の項目のトレンドグラフ

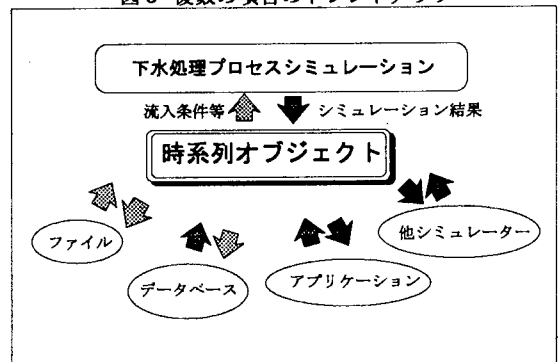


図6 時系列オブジェクトの概念図

#### 5 まとめ

以上のようにオブジェクト指向を用いたシミュレーターの構築を進めてきた。さらにモデルを拡張したり、施設データベース・時系列データなどの扱いを確固としたものとし、実際にシミュレーションの有効性を検証していく必要がある。

しかし、先にも述べたようにオブジェクト指向のモデルを採用する事の意義は、オブジェクト単位の開発が可能であり、境界面のメッセージ交換の仕様さえ統一しておけば、他人の作成したオブジェクトであっても自在にシミュレーションに利用できるところにある。また、オブジェクトが単にデータとプログラムの集合体だけではなく、関連した知識のドキュメントや文献をも付属させたような存在になることができれば、全く新しい形態の「知識継承」や「知識公開」の手段となるのではないかと期待できる。

#### 参考文献

- 1) 倉田学児：環境システムにおける統合的管理支援システムの構築に関する研究、京都大学修士論文、1994
- 2) James Clifford and David S. Warren: *Formal Semantics for Time in Databases*, *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 8, No. 2, June 1983