

〈総説〉

上下水道施設におけるシミュレーション技術の現状と今後の展望

長 岡 裕

東京都市大学工学部都市工学科

(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1 E-mail: hnagaoka@tcu.ac.jp)

概 要

シミュレーション技術は、ベテラン技術者の減少、地球環境問題への対応、市民によるより良い環境や安全な水への要求、などの水システムをめぐる課題を、全国レベル、流域レベル、プラントレベル、装置レベルなどの様々なスケールレベルの段階において適切に解決するためのツールとして、きわめて有効である。とりわけCFD技術は装置レベルやプラントレベルでの最適設計に有用なツールとして期待される。また、個別の自治体だけではなく、流域レベルで統合された水システムへのシミュレーション技術の活用が求められるなか、今後はクラウドシステムを活用した全国的なレベルでのシステム構築も期待される。

キーワード：シミュレーション、水道、下水道、流域、クラウド

原稿受付 2012.6.11

EICA: 17(1) 3-6

1. はじめに

近年、上下水道を取り巻く環境は、量的拡大の時代から維持管理・更新の時代へと移り変わりつつあるが、その一方で、都市の高密度化と水利用の高度化に伴い、さまざまな高度化を成し遂げ、さらに発展しつつある。たとえば浄水処理の分野では、水源水質の悪化とユーザーのおいしい水へのニーズに応えるため、オゾン・粒状活性炭などの高度処理の導入が進むとともに、主にクリプトスポリジウム対策として、膜浄水や紫外線消毒の普及も進んでいる。下水処理の分野においても、A2O法などの窒素・りん除去型の高度処理の普及は特に閉鎖性水域を抱える都市において益々重要な課題となっており、処理水質が極めて良い膜分離活性汚泥法を適用する事例もみられている。

一方、地球環境やの変化などに起因する近年の集中豪雨の頻発化などの影響により、都市における雨水排除はますますその機能を強化する必要に迫られている。また、合流式下水道越流水問題などの水質問題に対しても雨水流出の制御とあわせて重要な課題となっている。また、水システムからの環境負荷提言は緊急の課題でもあり、省エネルギー型の水システムへの転換も重要な課題となっている。また、上下水道分野においては、熟練した技術者数の削減が急激に進行しており、これまで蓄積したノウハウを伝承するとともに、熟練者の経験に頼らないシステム構築も望まれている。

これらの状況に対応するためには、上下水道システムの様々なレベルでシミュレーション技術を開発し、これを適用することが期待されている (Fig. 1)。例

えば、リアクターの設計においても、従来の経験に頼ることなく、シミュレーション技術を駆使することによって、より効率的で省エネルギー型のものを設計することが可能となる。また、プラントのオペレーションにおいても、従来は経験豊富なベテランが勘に頼りながら進めていたものを、シミュレーション技術を補助的に用いることによって、経験の乏しい職員でも適切な管理をすることが可能となる。また、水システムの流域管理の必要性が指摘されている中、流域単位で様々な水に関する情報を一元管理しながら、例えば水質シミュレーションなどの技術を駆使して最適な運用を行うことも可能となる。また、国レベルにおいても、上下水道施設に関する事故事例などの情報を一元的に管理することによって、これらを基にしてシミュレーション技術を用いながら、適切な事故時の対応の提案なども可能となり、特に技術者が少ない自治体にとって有用な援助システムとなりうる。

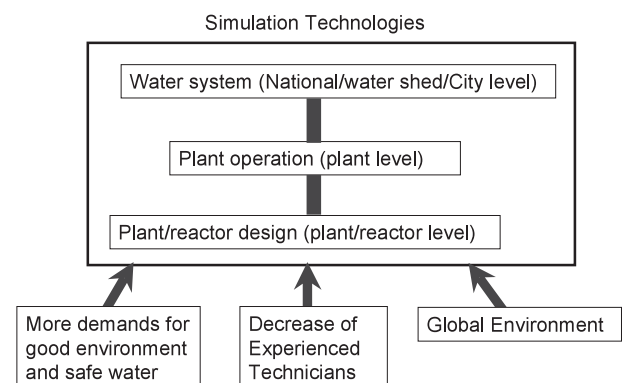


Fig. 1 Influence of Social Circumstances on demand for simulation technologies

本論は、将来の水システムのあり方を見据えながら、現在のシミュレーション技術の状況とこれからの報告性について論じるものである。

2. リアクターおよびプラントレベルにおけるシミュレーション技術の現状と方向性

2.1 CFDの利用

上下水道分野で用いられる様々なリアクターや装置の設計において、益々求められる省エネルギー性や省スペース性に対応するため、シミュレーション技術を活用することが有用であるが、近年特に発展の著しいCFD（数値流体力学）の技術の適用が様々な分野で用いられあるいは提唱されている。

浄水処理の分野においても、残留塩素消費など水質変換に影響を及ぼす配水池内や貯水槽内の流動状態の把握を実験をすることなく再現できるCFD技術の適用はきわめて有望と考えられている。また、浄水場への取水位置と上流の排水の放流口の位置によって流入水質が大きく左右されることが知られているが、これについても、河川の流動状況のシミュレーションを行うことによって予測が可能となる。

排水処理の分野においても、沈殿過程を効率的にするための沈殿地の最適設計、エアレーションにおける酸素移動過程を最適化してブローアに関わるエネルギーを最小化するための散気装置の設計などの分野においても、CFDが利用されている。将来の排水処理システムとして注目されている膜分離活性汚泥法のモジュールやリアクターの最適化においても、CFDの活用が提唱されている¹⁾。

2.2 プラントオペレーションの分野における適用例

浄水場や下水処理場などの水質変換システムにおいて、プラントの設計を流入条件と処理条件に合わせて最適化する、あるいは流入水質の急激な変動などに対応するために運転条件を変更するなどの目的で、水質変換シミュレーションプログラムの活用が求められているが、特に下水処理の分野においては、活性汚泥モデル²⁾が有効である。本モデルはどちらかというところ研究者の研究テーマとして取り上げられることが多く、パラメータの決定手法や様々な水質変換過程に対する適用などについて多くの成果があるものの、実プラントで適用されている例はそれほど多くない。しかしながら、技術者数の減少や水質事故などの頻発という現状を踏まえると、このシミュレーション技術への期待は今後益々大きくなると考えられる。

浄水分野においても、高度処理においては、例えばオゾン処理によって生成する臭素酸への対応が必須であるが、従来は実験データや経験に基づいた残留オゾ

ン濃度による制御が適用されてきたが、今後はさらなる処理効率の向上や流入水質の変動のリスクに対応するためには、水質変換過程をシミュレートできるモデルによって、迅速かつ適切な対応を経験に頼ることなく達成する技術の開発も求められよう。

3. 流域単位における水システムシミュレーション技術

上下水道に関わるプラント（浄水場、下水処理場）などは、個別の分野における機能の高度化は達成されつつあるものの、流域的な視点に立つと、これらの上下水道施設の運営は、必ずしも連携されながら、一体管理されているとはいえない。例えば、浄水場の上流に下水処理場の放流口がある事例は数多くあるが、両施設は河川水質へ影響を与えるあるいは影響を受けるという関係で、間接的には結び付けられているものの、これらの両施設を流域的な視点から一体管理するという例はほとんどないであろう。これらの背景をもとに、流域的な視点から、今後の上下水道施設において一体管理がされることが望まれている。

Fig. 2は、長岡³⁾によって提案された流域単位における統合的な水システム制御システムの概念図であり、流域内の水関連の情報、たとえば河川の水質モニタリングデータ等を各処理施設からの運転データとともに一つの統合流域管理システムに集約し、そこから各処理施設の最適な制御を行うシステムとしている。流域内の公共用水域（河川、湖沼、海域）および地下水の水質データと水量データ、浄水場および下水処理場における運転データ（流入および処理水の水質および水

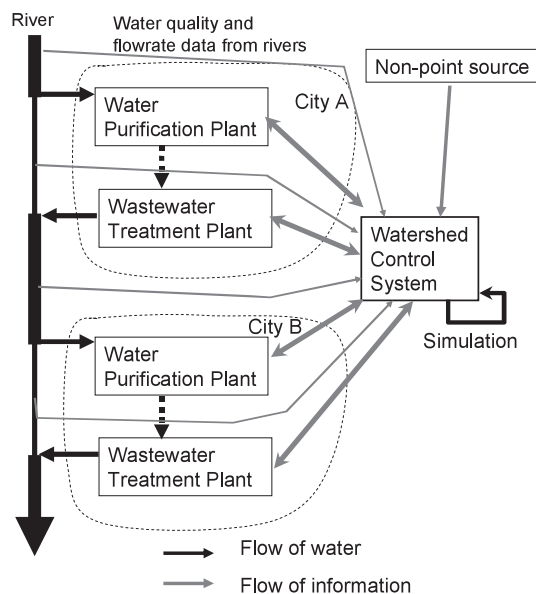


Fig. 2 Control of water purification plants and wastewater treatments plants by integrated river basin management system³⁾

量を含む)、上下水道施設以外の水質変換施設(農村集落排水処理施設, コミュニティープラント, 畜産排水処理施設, 浸出水処理施設, 工場排水処理施設, リサイクル処理施設など)からのデータ, さらには場合によりノンポイント汚濁源からの汚濁負荷量データなどを統合し, シミュレーション技術を駆使し, 各処理場において最適で効率的な運転制御を行うことが可能になるであろう。

たとえば, 下流の河川水質をモニタリングしながら, 最適な上流の下水処理場と下流の浄水場の運転を行いつつ, さらに流域全体で最も効率的な運転を行うための制御を行いつつ, 流域管理をすることが可能となると期待される。

水システムを上下水道だけでなく工業用水や浄化槽などの他の水システムと統合しながら, さらに廃棄物, 大気環境, 輸送システム, 電力システムなどの都市インフラシステムと統合しながら, 理想的な都市システムを構築しようとするインテリジェントウォーターシステムあるいはスマートシティーシステム⁴⁾が提唱されている。

Fig. 3 はインテリジェント水システムをスマートシティーシステムと融合させた総合的な都市水システムの概念図である。水システムは既存の上下水道システムだけではなく, 工業用水システム, 水再生システム, あるいは分散型の水供給・排水処理システム, さらには河川水や地下水などの公共水系の水システムと密接に連携しており, これらを束ねた統合的な水システムと, 廃棄物処理, 大気環境保全, 交通輸送システム, 電力供給システムなどの都市インフラシステムと水システムをあわせた包括的な都市システムを対象としながら, 環境負低減型のすみよい都市づくりを目指そうというものである。

このような統合システムでは, シミュレーション技術を活用した予測制御手法が欠かせない。例えば, 限られた水資源を元にして, もっとも効率的な水分配を実現しながら, 都市全体の環境負荷を最小化するため

には, 都市全体のシステムを視野に入れて, 様々なシナリオを想定しながら1日単位から10年単位にいたるまでの様々な時間軸における予測が不可欠であろう。

4. クラウド水システムへの期待

近年, 様々な分野においてクラウドコンピューティングシステムが注目されているが, クラウドを利用した水システムが提唱されている⁵⁾。流域内での複数の自治体の浄水場あるいは下水処理場からの維持管理データをクラウドシステムにおいて一元管理し, 各自治体の管理部門や委託を受けた民間会社に遠隔支援サービスや阿線とマネージメントサービスを提供しようというものである。

このようなシステムを統合して全国的に展開すれば, 各流域に限られた水質シミュレーションのみではなく, 水システムに関するあらゆる情報を一括して管理することができる。**Fig. 4** はこのようなクラウド水システムを用いて複数の流域水システムを束ねるような全国レベルでのクラウド水システムの概念を表したものである。

流域単位でのシミュレーションは各流域システムにおいて計算され, 各自治体の浄水場や下水処理場, さらには市当局や民間企業において活用されるが, それらの過程で他の流域でも参考になるような災害や事故などへの緊急対応の事例やアセットマネジメントの基づいて施設更新の事例などを集約し, 全国でこれらの情報を活用することの可能となるだろう。このような全国レベルのクラウドシステムでは蓄積された情報を元にシミュレーション技術を活用しながら, 緊急時にはどのように行動したらよいかなどの指針をオンラインで提供することも可能となるであろう。ベテラン技術者の減少と過去の事例や経験の継承が課題となっている今, このようなクラウドシステムの構築が望まれていると考える。

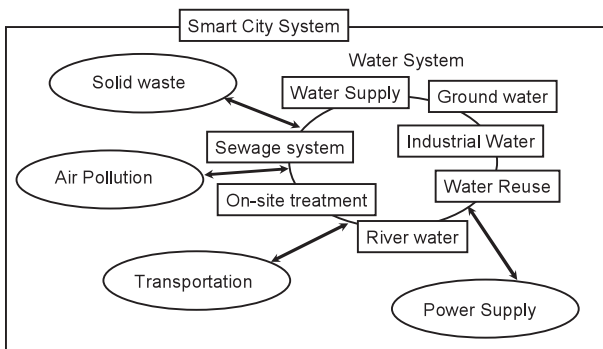


Fig. 3 Intelligent water system in a smart city system

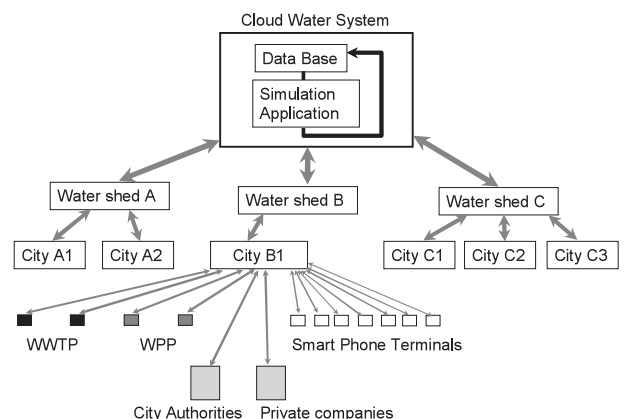


Fig. 4 Cloud water system for watershed management systems

5. ま と め

シミュレーション技術は、ベテラン技術者の減少、地球環境問題への対応、市民によるより良い環境や安全な水への要求、などの水システムをめぐる課題を、全国レベル、流域レベル、プラントレベル、装置レベルなどの様々なスケールレベルの段階において適切に解決するためのツールとして、今後益々その重要性を増すであろう。シミュレーション技術の発展にとっては、単に計算技術の向上だけではなく、そのアプリケーション手法の独創性が今後求められよう。特に、個別の事象に関するシミュレーション技術のみではなく、水システムあるいは都市システムの中での統合的なシミュレーション技術の発展が望まれている。

[参考文献]

- 1) 李 泰日, 長岡 裕: 数値流体力学 (CFD) 手法を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法における膜面せん断応力の評価, 土木学会論文集 G, Vol. 65, No. 1 (2009)
- 2) The IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Publishing (2000)
- 3) 長岡 裕: 流域における上下水道事業の一体管理のあり方, 平成 22 年度電気学会産業応用部門大会 2-S3-1 (2010)
- 4) 日立製作所ホームページ:
<http://www.hitachi.co.jp/products/smartcity/smart-infrastructure/index.html> (2012. 6. 4)
- 5) メタウォーターホームページ
<http://www.metawater.co.jp/news/2011/0421.html> (2012. 6. 4)