

下水道新世紀におけるシステム制御技術

Control Technologies for Sewage Treatment Systems under Institutional Reforms

山本 勝也

■ YAMAMOTO Katsuya

小原 卓巳

■ OBARA Takumi

足利 伸行

■ ASHIKAGA Nobuyuki

下水道事業は、下水道法施工令の改正に伴う構造令の制定、維持管理の性能発注など、制度的に新しい時代を迎えようとしている。言いかえれば事業者責任を明確にし、民間も活用した社会資本管理手法を導入する動きが明らかになってきた。これらに対応するためには、従来の静的計画のみならず、動的計画によるリスク管理が望まれるところである。

東芝は、プロセスの詳細を把握したうえで動的に計画立案する水質シミュレーション技術や、水質リスクを評価関数に組み入れた高度処理最適化制御技術を開発してきた。これらのシステム制御技術は、下水道事業者のリスク管理やコスト削減の要求に応えることができると考える。

In recent years, under an environment of institutional reforms such maintenance performance orders, sewage works divisions have been taking a progressive approach to the utilization of private capital. Sewage works become more efficient by sharing risks with companies related to their works. For this to be properly realized, however, the need has arisen for risk management to be implemented not only by the conventional static planning approach but also by a dynamic approach.

Toshiba has been developing system control technologies based on the modeling of biological processes and a hierarchical control structure with an economic performance index. These technologies are suitable for operating sewage treatment plant systems with risk management and reduced costs.

1 まえがき

下水処理では、放流水質の悪化は下水道事業者にとって大きな問題となる。その理由は法令を遵守できないことに加え、水域の利水者や生態系に悪影響を及ぼすことになるからである。放流水質の悪化を避けるためには、下水道における次の2要素の変動を検討する必要がある。これらは、下水道事業者が放流水質に対して抱えるプロジェクトリスクと考えることができる。

- (1) 発生源変動 下水処理場の流入水質・水量の変動
- (2) 処理能力変動 下水処理場内の下水処理能力の変動

また近年の公共工事のコスト縮減、各種業務のアウトソーシング化、更には改正省エネルギー法の適用によるエネルギー原単位削減などを考えると、下水処理におけるリスクの低減には同時に経済的効率性を考慮することが重要となる。

最近の下水処理では、前記プロジェクトリスクに関するものとして、下水道法施工令の改正に伴う構造令の適用⁽¹⁾（放流水質基準を遵守できる構造を要求）、PRTR（Pollutant Release and Transfer Register：微量化学物質の発生源管理）法による管理、ISO/TC224（国際標準化機構／技術委員会TC224）の規格化、維持管理の性能発注⁽²⁾が行われようとしている。

これらは水環境保全の費用負担の公平性（利害関係者が

費用負担）の一環、更にはPFI（Private Finance Initiative）などに代表される民間の技術導入などによる事業効率化の動きの一環と考えられる。しかし、リスク管理の観点から考えると、“下水道事業者の発注者責任を明確にし、確実に遂行するための体制を整備する動き”や、“民間を活用した社会資本管理手法の導入を推進する動き”ととらえることができる。

下水処理場運用の効率性の観点、並びに設備投資に対する行政責任（説明責任、結果責任）などを考えても、リスク管理に基づく新たな下水道事業運営の時代＝“下水道新世紀”への移行は、今後加速するものと考えられる。

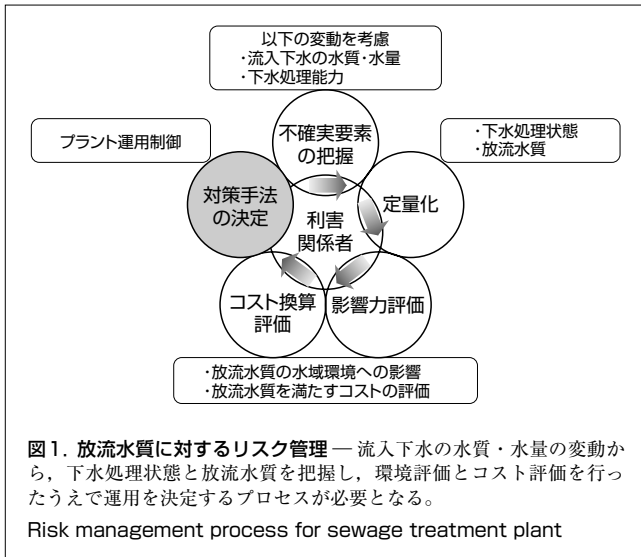
このような下水道新世紀を迎えるなかで、ここでは、東芝がこれまで開発してきた下水処理プラント制御技術を放流水質のリスク管理へ適用することについて検討する。

2 リスク管理時代の下水処理システム制御技術

2.1 放流水質におけるリスク管理への要求事項

一般的なリスク管理の考え方をもとにした、放流水質のリスク管理で検討、把握、実施すべき事項は次のとおりである（図1）。

- (1) 不確実要素の把握
- (2) 定量化
- (3) 影響力評価
- (4) コスト換算評価



(5) 対策手法の決定

放流水質のリスク管理は、“流入下水の水質・水量負荷の変動に対して、放流水質を常に最大許容値以下にできるか”を確認することである。

“流入下水の水質・水量”及び“下水処理場の下水処理能力”は、時間などの条件により変化する不確実要素とみなすことができる。これらの変動により、下水処理状態と放流水質が時間的にどのように変化していくかを把握すること、及びリスク発生頻度（放流水質が許容値を超過する期間）がどの程度になるかを把握することがリスク管理で重要となる。

このような状況でのリスク管理は、“平均的な流入下水水質・水量値”及び“平均的な下水処理能力”を考慮している静的計画より、時間的変動まで考慮できる動的計画によって実施するほうが望ましいと考えられる。動的計画を導入し、“リスクの影響度×発生確率”を評価することで、放流水質に対するリスク対策を決定することができる。

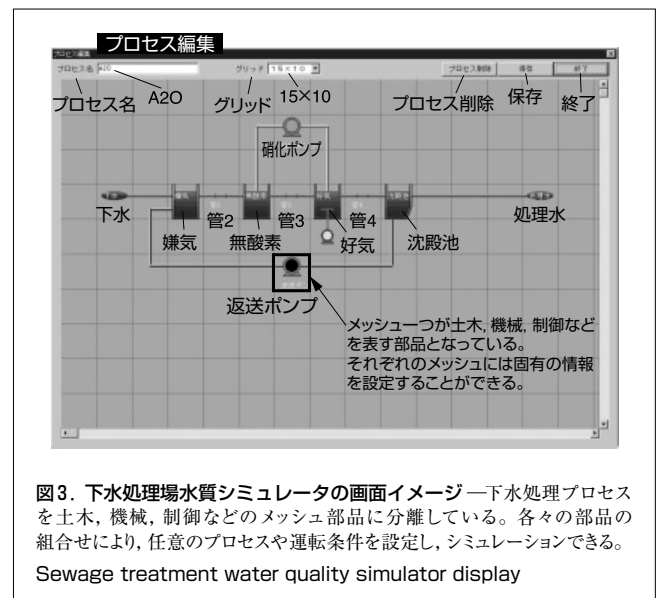
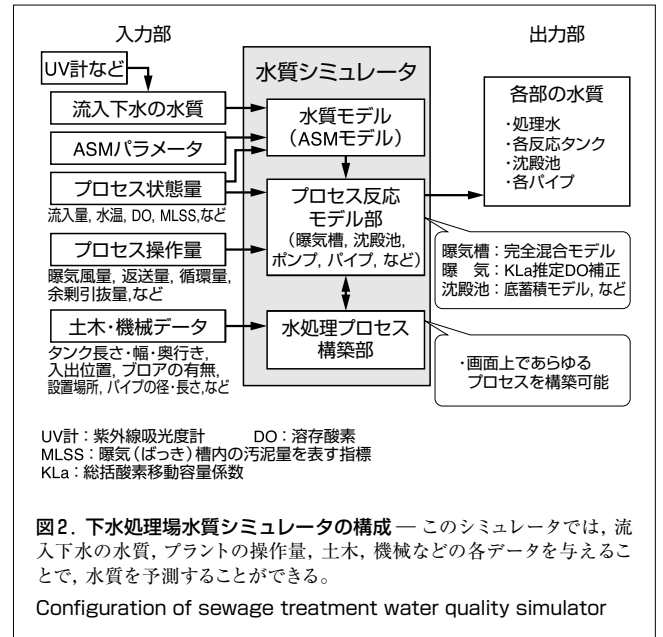
ここでは動的計画に基づく下水処理場の放流水質のリスク管理にあたって、下水処理場計画設計時と下水処理場維持管理時の例を考える。なお、対象となる下水処理プラントは活性汚泥による生物学的処理を行っているものと仮定する。

2.2 下水道処理場計画設計時のリスク管理

一例として、次のような第5次水質総量規制に対する放流水質のリスク管理を考える。

- (1) 第5次水質総量規制該当区域内で、下水処理場の設備を増築、改修することで、脱窒素と脱リンの高度処理を行いたい。
- (2) 設備の増築改良後、法的規制などから要求される窒素とリンの放流水質基準を満たすことができるか。

このような場合には、IWA (International Water Association: 国際水学会) が統一した活性汚泥モデル (以下、ASMモデルと略記) を使用した水質シミュレータを適用すること



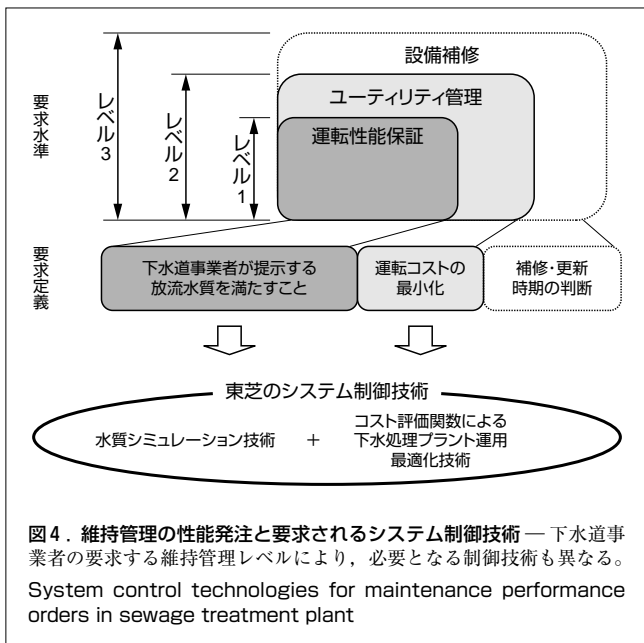
でリスク評価を行うことができる。当社で開発した下水処理場水質シミュレータ⁽³⁾の構成を図2に、画面イメージを図3に示す。

このシミュレーション技術では、プラントの構造条件や機器の運転条件が変更可能である。そのため放流水質のリスク管理と合わせて、設備の増設・改良などがコスト面や処理能力面で適切に行われているかの確認にも応用できると考えられる。この応用により、イニシャルコストの削減検討にもシミュレーション技術が適用できるようにすること、及び水質モデルが変更となった場合の評価と適用検討を継続していくことが今後の課題である。

2.3 下水処理場維持管理時におけるリスク管理

下水処理施設の運転と管理はおおむね90%が民間委託

されている。更にその効率化を図るために、国土交通省から“性能発注の考え方に基づく民間委託のためのガイドライン”が発行されている⁽²⁾。性能発注における維持管理への要求レベルは、図4のように3段階に区分されている。ここではそれぞれのリスク管理レベルに対するシステム制御技術の適用について述べる。

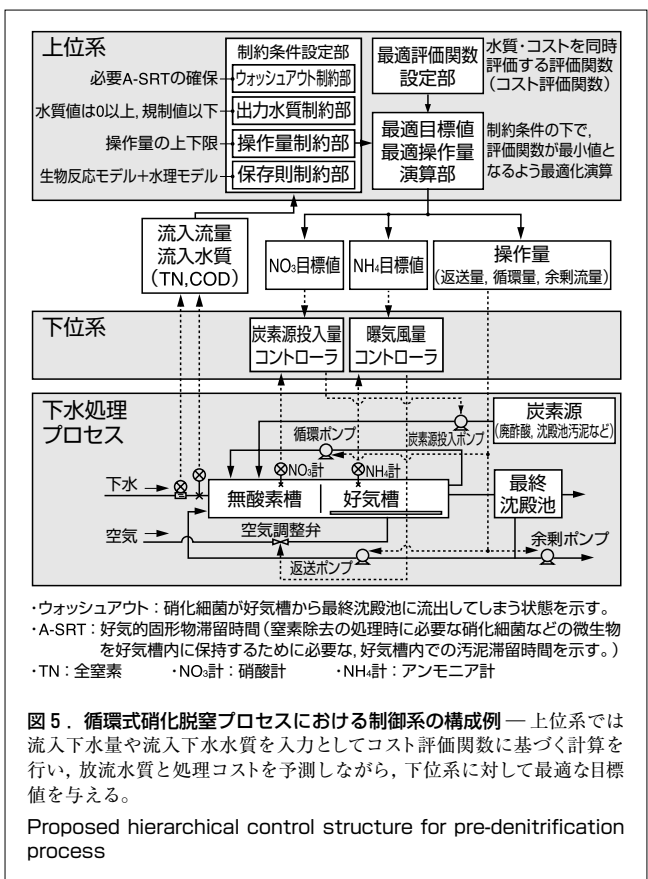


レベル1：運転性能保証 “下水道事業者が提示する流入下水の水質・水量変動に対して、放流水質を常に下水道事業者が要求する許容値以下にできるか”が問題となる。この場合は、2.2節同様、水質シミュレータの活用によりリスク評価を行うことができると考える。

レベル2：レベル1＋ユーティリティ管理 レベル1での放流水質に対する要求に加え、“下水処理プラントのランニングコストを最小化すること”が必要となる。ここで考慮すべきランニングコストとしては、例えばポンプやブロワなどの動力費、薬品費 (PAC (ポリ塩化アルミニウム) などの凝集剤の注入量、酢酸投入量などにより換算) などが挙げられる。このような場合には、当社が開発した“コスト評価関数による下水処理プラント運用最適化技術” (コストに換算した放流水質とプラント運用コストを同時に評価する関数の値を最小化し、プラント操作量を決定する制御)⁽⁴⁾を適用することで、性能要求を満たす運用とリスク評価を行うことができる。

窒素とリンの除去を対象とした高度処理プロセスである、循環式硝化脱窒プロセスへこの制御技術を適用した場合の、制御系構成例を図5に示す⁽⁵⁾。

この制御系の構成は、プロセス制御技術でよく用いられている上位系＋下位系の二層構造となっているのが特徴である。上位系では水質シミュレータ、各種制約条件、コスト評

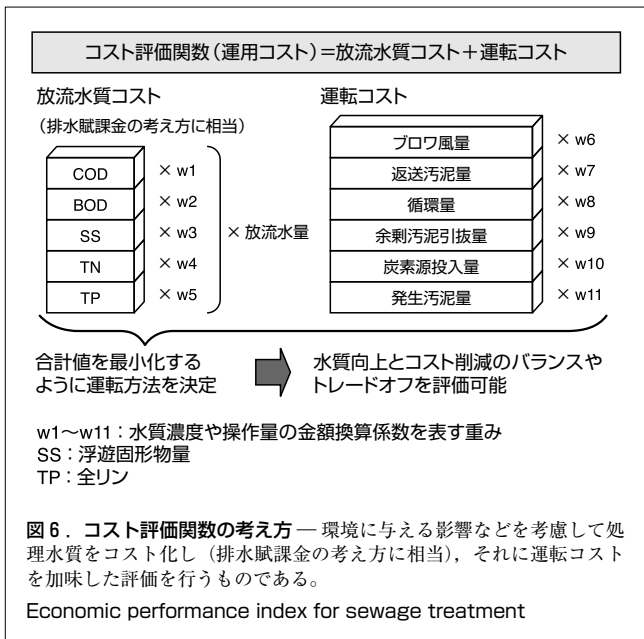


価関数などにに基づき最適な目標値を演算し、下位系では上位系から与えられた最適な目標値に追従するようにPI制御 (比例＋積分制御) などのフィードバック制御を行っている。

図5におけるコスト評価関数とは、プラントの運転コストに加え、水質汚濁負荷を金額換算した放流水質を同時に考慮した経済的指標である。コスト評価関数の概念を図6に示す。コスト評価関数を使用することで、水質向上とコスト削減のバランスやトレードオフを評価することができる。

国土交通省では、2002年から“下水道事業における排出枠取引制度の検討”⁽⁶⁾が行われている。この手法は、公共用水域の汚濁負荷削減に関して経済面からのインセンティブを与え、結果的に汚濁負荷削減費用の最小化や費用負担の主体間調整が行われる有効な手法と言われている。このような考え方におけるリスク検討に際しても、水質に対する重み付けの定義を与えることで、この技術を有効に活用できると考える。コスト評価関数内の水質負荷に関する重み付けの定義には、排水枠取引制度の検討結果や各下水道事業者の意見などを反映したものを今後採用していきたい。

レベル3：レベル2＋設備補修 レベル2の要求に加え、設備の補修時期を最適化しようとする考え方が必要になる。故障を予期できずに、設備故障が発生したため放流水質を許容値以下にできなかった、という事態をできる限り避けることが重要になる。



この条件ではレベル2で述べた制御技術に加え, 下水処理場の環境診断結果に基づき, 設備の機能診断や劣化診断を行うプラント保全技術も合わせて要求される。これにより, 設備の補修・更新のサイクルを機能とコストの両面から最適化できると考える。各々の技術は一部当社にて実用化されているが, 保全技術+システム制御技術の組合せによるコスト最適化は今後検討すべき課題である。

3 今後の水処理システム制御技術に要求されるもの — “逆演算思考”の下水処理支援システム

2章で紹介した下水処理システム制御は, 主に“与えられた条件に対して, 放流水質がどのように変化するか”というリスク評価の思考を中心とした技術である。この技術の今後の課題としては, 流入下水に対する水質センシング技術 (あらかじめ流入下水の水質・水量を可能な限り正確に把握できることが, 水質シミュレーション技術と下水処理制御技術の向上につながる) や, 下水処理に影響を与える有害物質に対する検討が挙げられる。

しかし, 実際の水処理プラント運用を考慮した場合には, リスク評価の場合とは逆演算の思考となる“放流水質が悪化した場合, その理由は何か (結果から原因を探る)”を判断する手法が必要である。更に考え方を進めると, “設備故障などにより放流水質が悪化した状況で, 要求される放流水質をできる限り満足する運転方法は何か”をオペレーターに指示する支援系としてのシステム制御技術が求められるだろう。これらは, 放流水質が悪化した場合の有効なリスク解消手段であるため, 今後研究を行っていく。

4 あとがき

ここでは, 下水道事業者のプロジェクトリスクの一つである放流水質の管理という観点から, 当社で開発した下水処理におけるシステム制御技術を紹介した。“下水処理の放流水質を把握, 管理できる”, “下水処理プラント運用において, システム導入によりコストを削減できる”という点で, 当社の下水処理システム制御技術は, 近年の下水道事業での要求に応えることができると考える。

下水処理プラントのシステム制御全体を取り扱っている当社としては, 関係各位のご指導とご意見をいただきながら, 今後更に進むであろう下水道事業の変革において, 下水道事業者の利便に貢献できるシステム制御技術の開発を継続していく所存である。

文 献

- (1) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部. 下水道法施工令が改正されました. <<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/seirei/kaisei030925.html>> (参照 2003-12-25)
- (2) 国土交通省. 性能発注の考え方に基づく民間委託のガイドライン. 2002-03, p.1 - 41
- (3) 堤 正彦, ほか. 下水道プラントの水質モデルとコストモデルの評価. 東芝レビュー. 56, 6, 2001, p.46 - 50.
- (4) 山中 理, ほか. “下水高度処理プロセスにおける運用コスト評価関数の導入と評価関数に基づく制御系の評価”. 第14回環境システム計測制御学会研究発表会予稿集. 2002, p.61 - 64
- (5) 山中 理, ほか. “窒素除去型下水高度処理プロセスのプラントワイド制御 - コスト評価関数の導入と物質収支式制約を持つ最適目標値設定計画法 -”. 平成15年度電気学会産業応用部門大会予稿集, 2002, p.II-5 - II-10.
- (6) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部. 下水道事業における排出枠引制度に関する検討について. <<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/04/040418.html>> (参照 2003-12-25).



山本 勝也 YAMAMOTO Katsuya

電力・社会システム社 社会システム事業部 公共システム技術第二部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。計測自動制御学会, システム制御情報学会, 電気学会, 失敗学会会員。Infrastructure Systems Div.



小原 卓巳 OBARA Takumi

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部。下水処理プロセス制御・支援技術の研究・開発に従事。Power and Industrial Systems Research and Development Center



足利 伸行 ASHIKAGA Nobuyuki

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部主務。下水処理プロセス制御・支援技術の研究・開発に従事。Power and Industrial Systems Research and Development Center