

流域管理に向けた下水道ソリューション

Solution Technologies for Sewerage Facilities Utilized in River Basin Management

初鹿 行雄

■ HATSUSHIKA Yukio

梅田 賢治

■ UMEDA Kenji

山本 勝也

■ YAMAMOTO Katsuya

近年、下水道では窒素やリンなどによる富栄養化及び、局所的な豪雨による都市型水害、雨天時の合流式下水道越流水による水質汚濁などが顕在化しており、水環境に大きな影響を与えている。これらの問題に対して、複数の下水道管理者が流域全体で連携した取組みを始めている。

東芝はこれまで、下水道施設の計測技術や、予測・制御技術、運転管理支援技術などの開発をしてきた。ここでは、流域管理を実施していくうえで必要となる制御技術と評価技術について述べる。

Serious issues in the water environment related to sewerage systems include eutrophication caused by nutrients such as phosphorus and nitrogen, urban type flooding due to sudden storms, and river water pollution from combined-sewer overflows. Sewerage facilities are required to provide countermeasures against such issues. In order to provide countermeasures effectively and efficiently, efforts are being made to realize basin-wide management of sewerage systems based on cooperation between multiple municipalities.

Toshiba has been developing instrumentation systems, prediction systems, control systems, and operational support systems for sewerage facilities. This paper outlines our control systems and evaluation techniques for performing basin-wide management.

1 まえがき

これまで下水道は、生活環境の改善や、浸水対策、河川・海域などの水質保全を主目的に整備が進められ、重要な成果を上げてきた。しかし、近年の局所的な集中豪雨による都市型水害や閉鎖性水域における窒素・リンなどの富栄養化問題、合流式下水道越流水による水質汚濁問題などが顕在化するようになり、その改善はあまり進んでいない。これは、個々の下水道管理者による単独の整備だけでは限界にきているためであり、もっと広い範囲、つまり流域での全体最適が必要になっている。

また、国土交通省が流域管理小委員会を設置し、下水道の将来像を踏まえた流域管理のあり方について検討と議論を重ね、その最終報告が既に公表されている⁽¹⁾。今後は、複数の下水道管理者が相互に連携し、かつ流域レベルで下水道以外の事業主体とも協調していく流域管理が求められる。

ここでは、このような流域管理の動向に対して、東芝が提供できる下水道のソリューション技術について述べる。

2 流域管理の方向性

2.1 求められる流域管理

下水処理場からの放流水は、河川や湖沼などの公共用水域に流入し、放流先河川を中心とする水循環の行われる地域、すなわち流域全体の水環境に大きな影響を与えている。

例えば、渇水時の河川水は地域によって50%程度を下水処理水が占めるという。また、湖沼や湾などの閉鎖性水域におけるアオコや赤潮の発生原因となる窒素やリンの多くも下水処理場から放流されている。下水道は、今や流域の水循環を形成する重要な社会基盤になっている。しかし下水処理場は、原則的に基礎的行政単位である市町村を事業主体に、地方公共団体みずからが役割を果たすことで運用されてきた。また、下水道に限らず、流域の水循環を構成する湖沼や河川、上水道なども、大半が個別行政単位ごとに管理されてきた。

このような状況のなかで、近年の環境意識の高まりに伴い、水質や生態系にかかわる問題など、複数の相互に関連する課題に対して、下水道と他の事業主体が積極的に連携して、流域単位で総合的に取り組む流域管理が強く求められるようになってきている。流域管理の概念を図1に示す。

2.2 流域管理に期待する水環境の改善と雨水対策

下水道における流域管理への期待には、大きく次の二つがあると考えられる。

- (1) 水環境の改善
- (2) 雨水対策

(1)の水環境については、その悪化要因として、アオコや赤潮などの発生原因となる閉鎖性水域における窒素やリンなどによる富栄養化がある。この問題は10年以上も前から注目されてきたが、その対策はあまり進んでいない。閉鎖性水域での水質を改善するには、下水処理場における窒素と

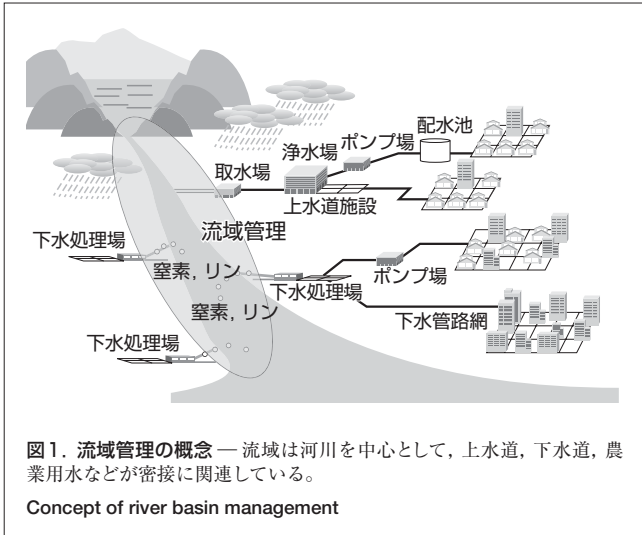


表1. 流域管理に関連する東芝のソリューション技術
Toshiba solution technologies related to river basin management

下水道における流域管理への期待		東芝のソリューション技術
水環境の改善		<ul style="list-style-type: none"> ・水質シミュレータ ・NH₃除去型曝気(ばっき)風量制御システム ・リン除去型成素源投入制御システム ・水質・コスト最適化制御システム ・汚水融通の評価手法
	浸水対策	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨予測技術* ・雨水流出解析技術* ・雨水流入予測技術* ・河川水位予測技術 ・雨水ポンプ自動制御システム* ・雨水ポンプ運転支援システム
	合流改善対策	<ul style="list-style-type: none"> ・流入水質予測技術 ・貯留施設の水質予測技術 ・塩素注入制御システム

*合流改善対策にも該当。

リンを除去できる高度処理の導入が必要不可欠となっている。しかし、日本における高度処理人口普及率は、2004年度末時点で13%と極めて低い(図2)。

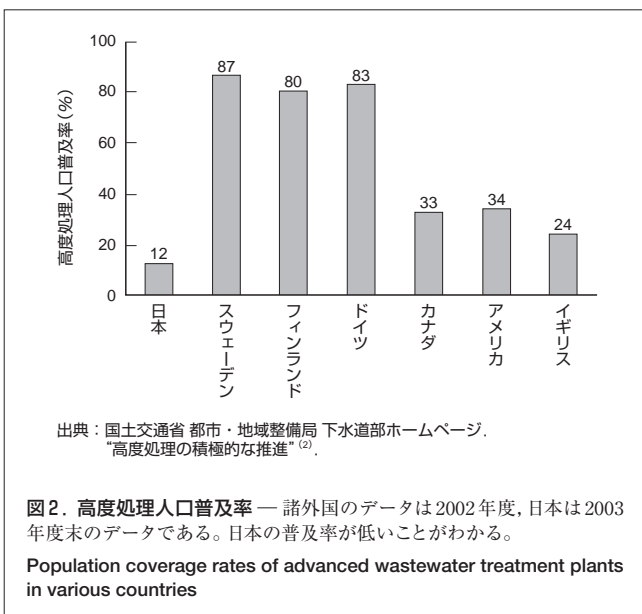
高度処理の普及を妨げてきた原因として、公平性の観点から対象となる下水処理場すべてに一律の計画水質が定められていたことや、高度処理を実施する費用が地方公共団体財政の重荷になっていたことが挙げられる。そこで新たに、能力のある下水処理場がより多くの汚濁負荷量を削減して、高度処理の推進が困難な下水処理場がその費用の一部を負担するという“排出負荷量調整手法”が導入された⁽³⁾。これにより、流域全体で汚濁負荷量の目標値が達成できればよいことになり、結果的に水環境の改善が図れるようになる。

(2)の雨水対策については、浸水対策と合流改善対策がある。まず、浸水対策については、都市に降った雨を速やか

に排除することを目的に整備が進められてきたが、市街化の進展による雨水の地下浸透率低下や局所的な集中豪雨の多発に伴って、雨水流出量が増大し、浸水に対する都市の被害は増大している。そして、その被害も市町村を超えた広域的な範囲に広がってきており、浸水対策の面においても、流域での管理が求められている。

雨に関するもう一つの問題として、合流式下水道の越流水による水質汚濁がある。早くから下水道が整備されてきた地域では、汚水と雨水を同一の管で流す合流式下水道が多く採用されている。この合流式下水道では、雨天時に下水処理場の処理能力を越えた分が未処理のまま河川などの公共用水域に流出し、水質汚濁の原因となっている。しかも、流域の広い範囲に影響を及ぼすことになる。このため、雨天時の合流式下水道の越流水による水質汚濁を軽減する対策(合流改善対策)も重要となっており、この点においても流域管理のアプローチが必要とされている。

流域管理に期待される水環境の改善と雨水対策に対して、当社のソリューション技術を表1に示す。その中から、水環境の改善技術として、水質・コスト最適化制御システム及び汚水融通の評価手法を、雨水対策技術として、浸水対策のための雨水ポンプ自動制御システム及び合流改善のための塩素注入制御システムを以下に述べる。

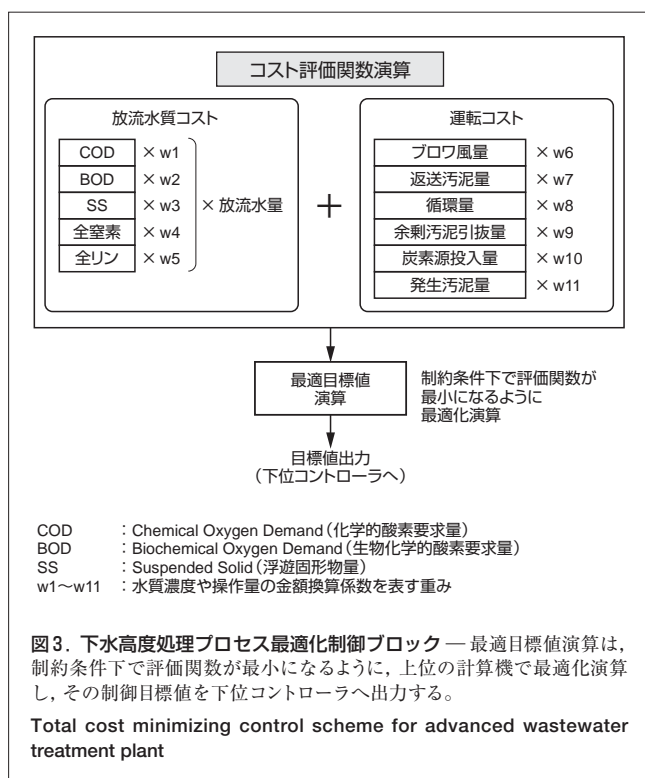


3 水環境の改善に貢献するソリューション技術

3.1 水質・コスト最適化制御システム

下水処理プロセスの運用は、要求される放流水質を満足しつつ、運転コストを削減できることが望ましい。しかし、放流水質の向上と省エネルギーにつながる運転コストの削減は一般的にトレードオフの関係があり、これを同時に評価する指標が必要となる。デンマークやオランダなど欧州の一部

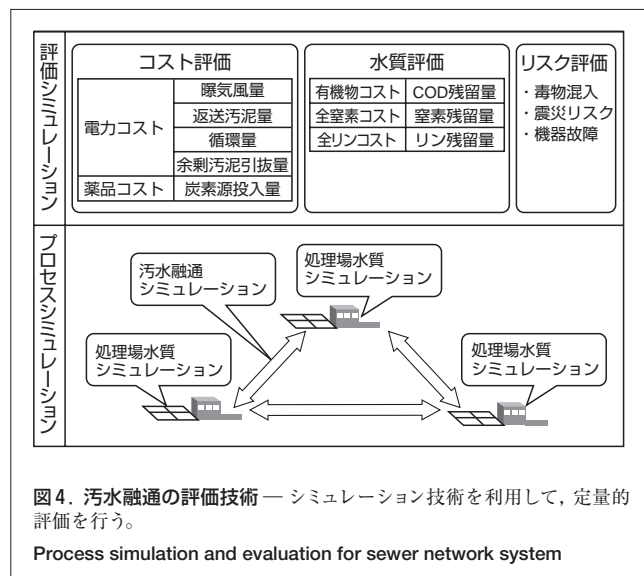
では、放流量×放流水質濃度で表される定量的な環境負荷量をコスト換算する考え方がある。この放流量×放流水質濃度に対して排水賦課金という税金を課している。当社もこの考えを用いて、金額換算した放流水質コストとポンプやブロウの運転コストを合わせた総コストをコスト評価関数として定義している。このコスト評価関数が最小になるように、プロセスシミュレーション技術や各種最適化技術を駆使して演算を行い、最適な制御目標値を算出する。そして、この最適な目標値に追従するようにPI（比例，積分）制御などのフィードバック制御を行うことで、水環境の改善と省エネルギーを両立させた下水高度処理プロセスの運用が実現可能となる（図3）。この技術を流域内の各下水処理場で採用することにより、流域全体でバランスの取れた運転が期待できる。



3.2 処理場ネットワーク化による汚水融通評価手法

流域管理の実現手段の一つとして、複数の下水処理場をネットワーク化し、連絡管などで物理的に結合して、汚水や汚泥、電力、情報などを相互に融通する検討も進められている。下水処理場のネットワーク化には、改築・更新時の相互補完や施設の共同化による費用削減、管理の統合・合理化による維持管理費削減、震災の異常時対応など下水道事業の効率化という目的もあるが、互いに融通し合うことで水環境の改善にも寄与する。

しかし、複数の下水処理場を連絡管で連結して汚水の融通を行うと言っても、具体的にどのように融通運転を行えば



よいのか、定量的に検討されたことはなく、また、定量的に検討するツールもなかった。そこで当社は、保有するシミュレーション技術などを利用して、汚水融通方法について検討・評価できる技術を開発した（図4）。

この評価技術では、今まで定性的に良いと推測していたことが、定量的な結果として判断できる。推測と相反する場合もあり、汚水融通を計画するうえで、放流水質と運転コストのバランスを考えた最適な運転計画の立案に役だつ。

4 雨水対策を支えるシステム技術

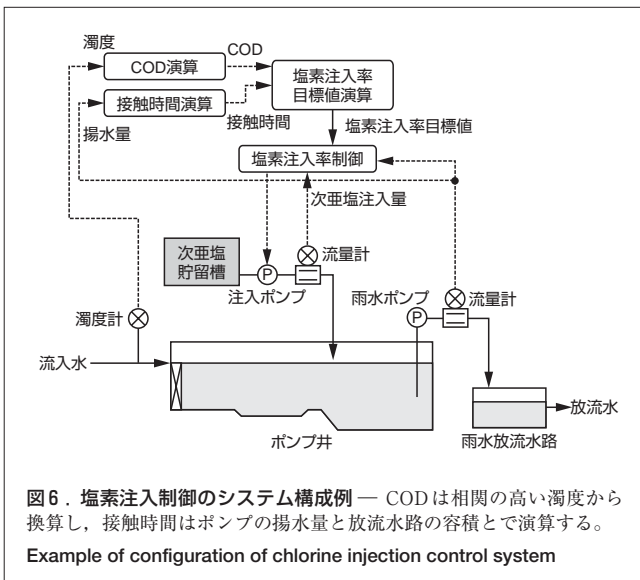
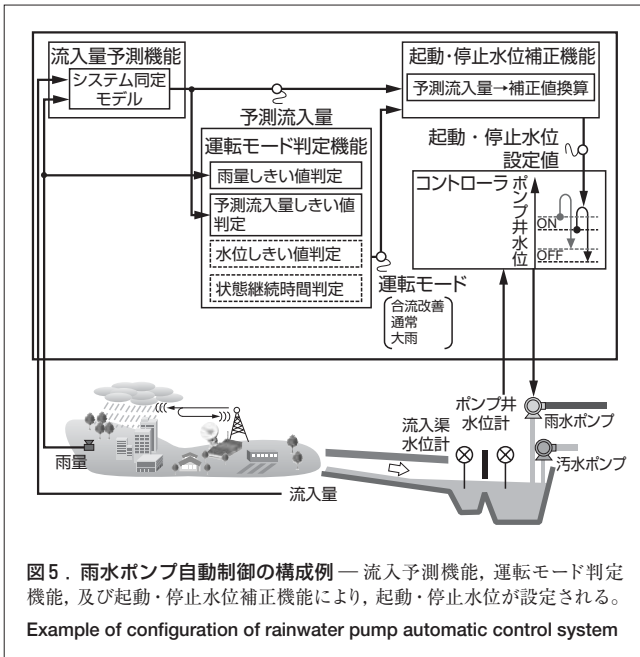
4.1 雨水ポンプ自動制御システム⁽⁴⁾

浸水対策・合流改善対策の一つとして、連続計測している雨量や流量、水位などのデータを有効に活用して、ポンプや貯留ゲートを制御するリアルタイムコントロール（RTC：Real-Time Control）の技術開発が期待されている。

このRTCの積極的導入と広域的な流域管理により、効率的な雨水対策が推進されることになる。このニーズに応えるため、当社は流入予測を用いた雨水ポンプ自動制御システムを開発した。この制御システムの構成例を図5に示す。

雨量、水位、流入量のプロセスデータを基に、統計的手法であるシステム同定モデルを用いて流入量を予測している。この予測流入量に応じて小雨時の合流改善モード／通常モード／大雨モードを判定し、ポンプの起動水位設定値を高めにあるいは低めに補正して、ポンプの起動タイミングを調整することが可能となっている。

これにより、小雨の時は管渠（かんきょ）内の貯留能力を有効に活用して、合流改善効果が期待できる。また、大雨時は浸水対策に移行して浸水を防除できる。つまり、浸水対策と合流改善対策の両方の効果が期待できる。



4.2 合流改善のための塩素注入制御システム⁽⁴⁾

合流改善対策として, 下水処理場で処理できない越流水を河川などに放流する前に, 未処理下水を消毒する場合がある。例えば塩素消毒であるが, この方法では, 消毒後河川へ放出された残留塩素が水中の有機物と反応してトリハロメタンなど副生成物を生じ, 放流先の生態系に影響を及ぼすことが懸念される。このため, 適切な率で塩素を注入する必要があるが, 雨天時の合流下水の水量と水質は変動が大きく, 適切な塩素注入率を決定することが困難であった。

そこで, 当社はこの課題を解決する方法として, 塩素注入率の指標をモデル化することによって適切な塩素注入率を算出し, 過注入を防止して放流水を適切に消毒できる塩素注

入制御システムを開発した。その構成例を図6に示す。

塩素消費量は対象とする合流下水の水質や, 下水と塩素の接触時間によって変化する。実験の結果, 塩素消費量は下水のCODと塩素の接触時間によって求まることが明らかになり, これらを入力値として塩素注入率の目標値を演算で決定している。

この制御システムの適用により, 運転員の経験に基づいて塩素注入率を設定する従来のパターン制御に比較して, 塩素の過注入を防止できる。また, 雨天時の未処理下水を適切に消毒して, 流域の生態系に与える影響を低減できる。

5 あとがき

流域管理における水環境の改善と, 浸水対策及び合流改善に関する制御技術と評価技術について述べた。制御技術はまだ改善の余地があり, 更に流域管理に適合し, かつ安全と安心を提供できるよう技術開発を進めていく考えである。

また, 処理場ネットワーク化の汚水融通評価はまだ取組みが浅いため, 今後は, より実用的かつ効果的な汚水融通運転方法を開発していくとともに, 汚水以外の污泥融通などについても検討していく計画である。

文献

- (1) 下水道政策研究委員会. 流域管理小委員会最終報告“今後の下水道の整備と管理及び流域管理のあり方はいかにあるべきか”. < <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/info/ryuiki/matome030414.html> >, (参照2006-04-04).
- (2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部. 下水道法の改正の参考資料“高度処理の積極的な推進”. < http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/info/seirei/050622_04.pdf >, (参照2006-04-03).
- (3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道政策研究委員会. 法制度小委員会報告“今後の下水道法制度の方向性”. < <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/gyosei/seiken.html> >, (参照2006-04-03).
- (4) 梅田賢治, ほか. 合流式下水道の越流水対策におけるシステム制御技術. 東芝レビュー. 59, 1, 2004, p.66-69.



初鹿 行雄 HATSUSHIKA Yukio

社会システム社 水・環境システム事業部 水・環境システム品質管理部グループ長。公共をはじめとする各種システムの品質管理業務に従事。環境システム計測制御学会会員。Environmental Systems Div.



梅田 賢治 UMEDA Kenji

社会システム社 北海道社会システム営業統括部 北海道制御システム技術課主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。Hokkaido Region Systems Engineering Section



山本 勝也 YAMAMOTO Katsuya

社会システム社 水・環境システム事業部 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, 電気学会会員。Environmental Systems Div.