

環境水質（下水）を見守るセンサ技術

宮入 康寿（みやいり こうじゅ）

佐藤 匡則（さとう まさのり）

田中 良春（たなか よしはる）

① まえがき

下水道は、これまで7次にわたる5か年計画の推進により、普及率は全国平均60%（1999年度末）に達し、都市部の生活環境の改善や河川の水質改善などに一定の成果を上げてきた。しかしながら最近の都市化の進展や産業の発展は水循環の変化をもたらし、都市型水害の頻発、大量の廃棄物や微量有害物質の排出による水環境の悪化など深刻な問題を引き起こした。特に環境問題は、人の健康、生活環境に目に見えない形で徐々に影響を与え始めている。こうした背景により、1993年には、下水道法で定められた公共用水域の水質保全を目的とした「水質環境基準」にジクロロメタンなど15項目の水質基準が新たに追加された。

このように環境問題がますます多様化していくと、今後下水道に求められる役割は、大きな水循環システムの中で生態系の維持、自然界の循環システムを健全に保つなど重要な構成要素と位置づけることができる。こうした時代のニーズに対して富士電機は、上下水道分野で長年培ってきたさまざまなセンサ技術、システム技術により水環境問題の解決に貢献している。

本稿では、最近の水環境変化の現状とそれに対応する下水道の新しい水質センサおよび光水位計について紹介する。

② 最近の水環境の変化⁽¹⁾

わが国で採用されている都市下水の処理方式はほとんどが標準活性汚泥法であり、生物処理に依存している。したがって、生物処理の安定化は、放流先の水質基準達成に非常に重要である。しかしながら流入下水中には、法的規制を受けていないさまざまな化学物質が混入していることが最近分かり始めている。こうした背景から今後、流入水質の監視が重要となる。また、下水道から発生する下水汚泥は、全産業廃棄物の約17%（質量比）を占めるため、環境保全の視点から減量化、リサイクル化の促進が求められている。こうした循環型社会構築に加えて、発生活泥量を安定的に連続監視することが、処理水質の安定化と発生活

泥量の減量化を実現するために重要となる。

一方、近年の都市化の発達と異常気象などにより、豪雨時の浸水被害が多発している。雨水対策は、雨水ポンプ場に代表されるように迅速かつ効率的に排水することが求められる。このために広範囲をカバーする河川情報システムとの連携によるポンプ運用ルール作成およびポンプ場上流側に設置した複数箇所の水位データをもとにポンプ運転支援システムの確立を急ぐことが望まれている。

③ 環境変化に対応したセンサ技術

前述のような水環境の変化に対応するため、富士電機では質と量の管理ができる新しいセンサ技術を開発してきたので代表的なセンサを紹介する。

3.1 水質変化への対応技術

生活・生産活動の変化に伴い家庭系排水や産業系排水も変化していくが、これらを受け入れている下水道は、健全な水環境を守る最後の防波堤と位置づけられる。この下水道の機能を守り、良好な放流水質を維持するため、富士電機では新しい水質計の開発に取り組んでいるので以下に紹介する。

3.1.1 下水用毒物センサ⁽²⁾

下水処理場に流入する化学物質の種類はきわめて多く、すべての種類の化学物質を個別に分析することは、理化学分析の煩雑さから限界がある。そこで、生物への影響度を評価するバイオアッセイ法が注目されている。この方法は、化学物質を物質量のかわりに生物に対する毒性面から総括的に評価できる特徴があり、最近注目されている。富士電機は土木研究所との共同研究により、「硝化細菌を用いた毒物センサ」を開発し、下水処理施設における流入水質監視への適用を検討している。

(1) 毒物センサの原理

活性汚泥微生物の中で特に硝化細菌のアンモニア酸化反応が有害化学物質により阻害を受けやすいことに着目し、これを応用した。すなわち、純粋培養した硝化細菌を固定



宮入 康寿

上下水道電気・計装システムの設計に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム本部水処理システム事業部公共技術部長。電気学会会員。



佐藤 匡則

上下水道電気・計装システムの設計に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム本部水処理システム事業部企画設計部。



田中 良春

バイオセンサ、水環境計測機器の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所機器技術研究所。電気学会会員、日本化学会会員、日本水環境学会会員。

化した微生物膜と溶存酸素電極により構成された呼吸活性検知型のバイオセンサに、試料水とともに硝化細菌の基質となるアンモニア態窒素を連続的に供給し、硝化細菌の酸素消費速度を連続的に監視する。もし、試料水中に生物の呼吸を阻害するような物質が存在すると、硝化細菌のアンモニア酸化活性が阻害されて酸素電極の出力が変化する。これにより毒物の流入を検知できる。

(2) 装置の構成

装置は、流入下水中のきょう雑物を除去する除濁装置と上記毒物センサから構成される。試料水は污水ポンプ井から水中ポンプによりくみ上げられ、除濁装置、毒物センサの順に通水される。

図1に除濁装置の構成を示す。除濁装置は、スクリーンおよび中空糸膜除濁装置を組み合わせ、下水中の浮遊物などを除去し、装置流路の閉そくを防ぐ目的がある。除濁装置のメンテナンス頻度は毒物センサの頻度と同様の、1回/月を目標としている。図2に毒物センサの装置構成を示す。純水と緩衝液〔pH9.0、10mM（M：mol/L）ほう酸緩衝液〕をそれぞれ3.5、0.5mL/minの流量で酸素律速とならないよう空気と混合し、熱交換器で30℃に加熱してフローセルに送る。このときの硝化細菌の内生呼吸状態のセンサ出力を0%として記憶する。次に緩衝液に換えてアンモニアを過剰に含む緩衝液（フィード液）を送液すると膜内の硝化細菌によりアンモニアが酸化され、溶存酸素が消費されて一定のセンサ出力が得られる。これをセンサの正常な状態の酸素消費率100%としてセンサ出力の校正を

図1 除濁装置の構成

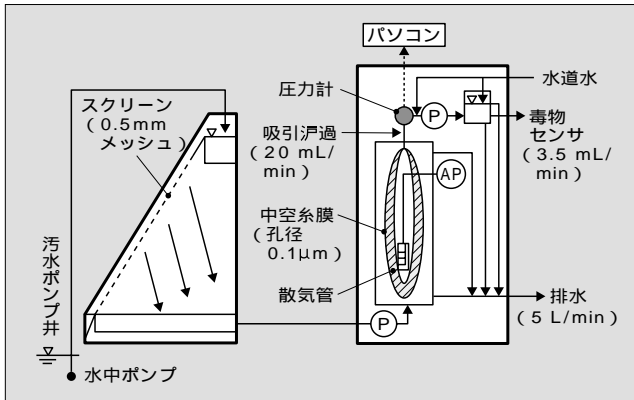
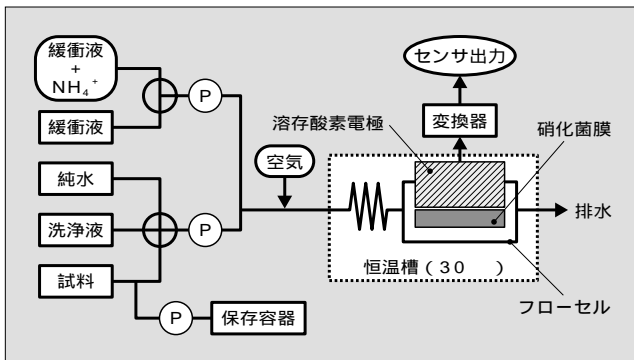


図2 毒物センサの装置構成



終了した後、純水に換えて検水とフィード液を連続的に送液し測定を行う。センサ出力が10%以上変化したときに、検水中に生物に有害な化学物質が混入していると判断し、「水質異常」の警報信号を出力する。この際、採水装置が稼働し、有害化学物質特定のため、精密化学分析用に検水を保存する。

(3) 開発状況と今後の課題

現在、流入下水による連続モニタリング実験を進めており、以下の結果が得られている。

- (a) 硝化細菌の呼吸を阻害する有機溶剤のアセトン模擬毒物として流入下水を連続的に通水した場合の感度変化を測定の結果、0.5～1.0%のアセトン溶液に対する感度変動は約10%以内であった。
- b) 排水基準の監視項目であるフェノール類について、流入下水と純水とで感度に大きな差異は認められなかった。
- (c) 除濁装置の改良を行い、月1回程度のメンテナンスで連続運転が可能となった。

今後さらに実プラントでの長期モニタリング実験を行い、メンテナンス性のさらなる向上、下水処理プロセスへの適用研究を進める。

3.1.2 超音波式汚泥界面計

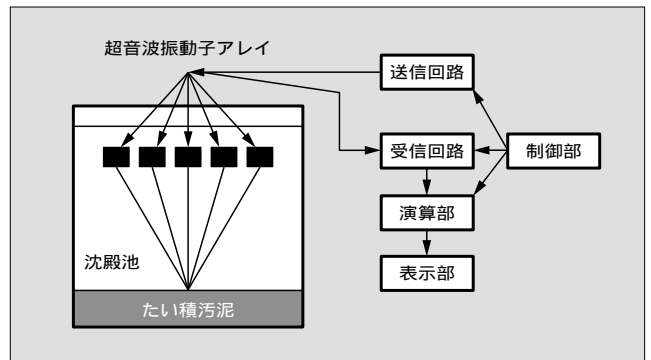
下水処理施設などの浄化処理工程におけるたい積汚泥量の計測器にはさまざまな方式があるが、超音波式は可動部がないのでメンテナンス性が容易という特徴がある。しかしながら、従来の汚泥界面計は、浮遊汚泥による界面の誤認識があり界面検出の信頼性に問題があった。

富士電機では、浮遊汚泥の影響を軽減し、精度よく汚泥界面を検出し、汚泥引き抜き制御への適用が可能な超音波振動子をアレイ化した汚泥界面計の開発に取り組んでいる。

(1) 原理・装置構成

装置の構成を図3に示す。本装置はアレイ化した超音波振動子、位相制御機能を保有した送・受信回路、界面位置を求める演算部と表示部から構成されている。各超音波振動子の送・受信信号に対して、焦点位置で各振動子からの音圧波面が合致するように遅延を施すことにより、焦点位置で音波ビームが集束される。特徴として、水深方向に最大三つの領域に分割し、各領域ごとに集束位置を設定でき、超音波ビームが集束した各領域をつなぎ合わせることに

図3 超音波式汚泥界面計のシステム構成



り、広い領域で高分解能で鮮明な画像が得られる。

(2) 開発状況と今後の課題

(a) アレイ化による効果の確認

実使用上の課題である浮遊汚泥の影響の評価について、浮遊汚泥の模擬体として、100 mm の球体を設定し、超音波振動子アレイの前方 0.5 m の位置で左右に移動した場合の影響をモデルで解析を行い比較した。この結果、単一振動子の場合に比べてアレイ構成の場合は、浮遊物による SN 比の低減がほとんどなく、浮遊物の影響を受けずたい積汚泥の測定が可能なが分かった。

b. 試作品の製作

汚泥界面計の試作品の表示例を図 4 に示す。高解像度なカラー表示部では、設置状況に応じた調整が簡単に行えるように対話形式による設定ができるようにした。

界面画像の表示

水深に対応させて超音波の反射強度を色彩表示する時刻歴表示およびバググラフ表示する受信強度表示。

深さに応じた感度調整

全領域の受信感度の調整以外に各領域の視認性向上のため、水深に対する受信感度を微調整できる感度調整。

監視領域の設定

界面位置を検出する範囲とアラーム設定範囲を水深に対応する形式で設定・表示。

今後は、実プラントでの検証を実施しながら、センサの配置および超音波周波数の選定を行う予定である。

3.2 水量変化への対応技術

富士電機では従来、伝送路に光ファイバを利用した各種センサを光ファイバ式フィールド計装システムとして製品化してきたが、下水管きよの水位測定という要求により、既存の光ファイバ式投込み式水位計をベースにした光水位計を開発したので紹介する。

3.2.1 光水位計

情報インフラストラクチャーの発展とともに、下水道管きよ内に光ファイバケーブル（OFC）を布設する都市が急増している。この光ファイバネットワークを利用して、下水道施設の関連データ（プロセスデータ、音声・画像データ）を集中管理することにより施設の運転管理、維持管理を安全かつ効率的に行うことが可能となった。特に大都市の雨水ポンプ場は、ポンプ井の水位による台数制御だけでは運転管理が難しい場合がある。こうした状況の中で、既設の雨水ポンプの最適制御と雨水排水区の広域的な防災管理に光水位計を導入し有効利用することが期待されている。

富士電機では、名古屋市上下水道局との共同研究により伝送路に OFC を利用し、下水道管きよ内に設置できる新しい光水位計を開発した。

(1) 装置の構成

本装置は光水位計、光中継器、中空光ケーブルから構成される。今回開発した光水位計システムの特徴は、従来地

図 4 超音波式汚泥界面計試作品の表示画面例

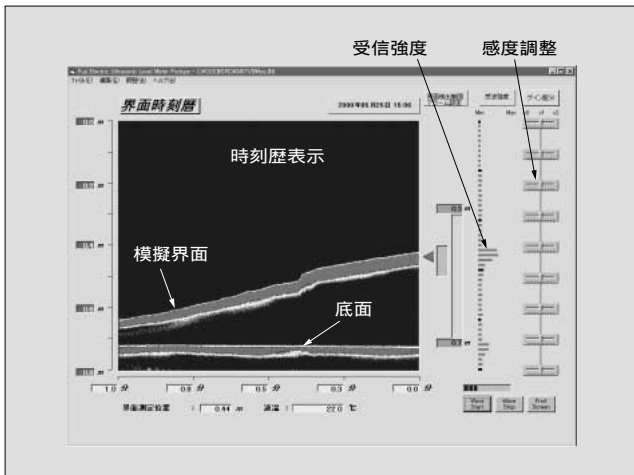


図 5 光水位計のシステム構成

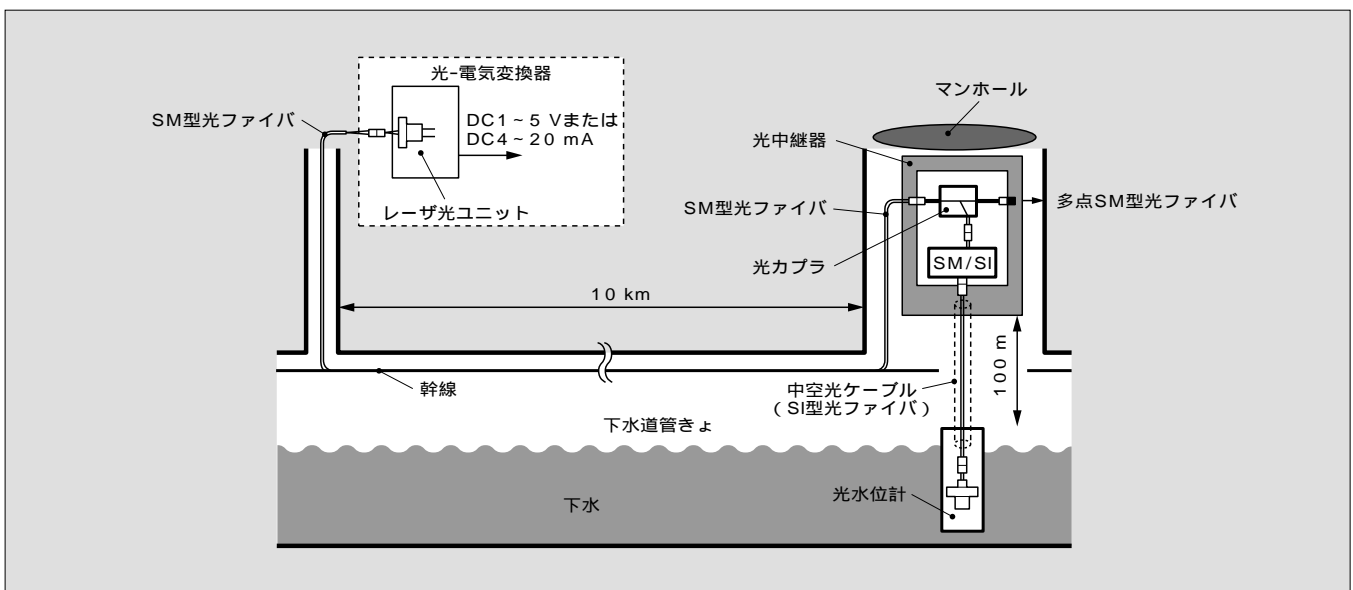


表1 光水位計の仕様

項目	機能・性能
測定範囲	0 ~ 15 m
適用光ファイバ	SI (Step Index) 型 コア/クラッド径 110/150 μm
伝送距離	最大100 m (光水位計-光中継器)
バッテリー寿命	10年
自己診断	測定範囲異常, 検出部異常 バッテリー電圧低下
精度	±0.5 %
材質	外筒: SUS316 検出ダイアフラム: SUS316L 保護ダイアフラム: クロロブレンゴム 中空光ケーブル: PVC 被覆
材質外皮構造	JIS C 0920 水中型

表2 光中継器の仕様

項目	機能・性能
接続台数	6台
伝送距離	最大10 km (光中継器-光電気変換器)
適用光ファイバ	SM (Single Mode) 型 コア/クラッド径 9.5/125 μm
周囲温度	0 ~ 50
計測/通信周期	2秒
バッテリー寿命	2年

上部に設置していたディストリビュータ, テレメータ装置などを収納した伝送装置盤をなくし, その機能をすべて管きょ内に設置したことである。これにより, 周囲の景観を損なうことなく設置が簡単に行える。図5に光水位計のシステム構成を示す。

(2) 装置の仕様

従来の光水位計は, 主に上水向けに使用されてきたが, 今回は下水の流入管, ポンプ井などの水位を測定するために開発したものである。このことから耐環境性, メンテナンス性について改良を加えた光水位計の構造, 伝送部, 電源部について以下に説明する。また, 表1に光水位計の仕様, 表2に光中継器の仕様を示す。

(a) 光水位計の構造

検出部筐体(きょうたい)材質は, 腐食性ガス, 湿気, じんあいなどに対して十分な耐久性を持つ構造, 材質とした。また圧力検出部への下水汚泥などの付着・たい積対策として検出ダイアフラムの外側に保護ダイアフラムを設ける構造とした。図6に光水位計の外観, 図7に光中継器の外観を示す。

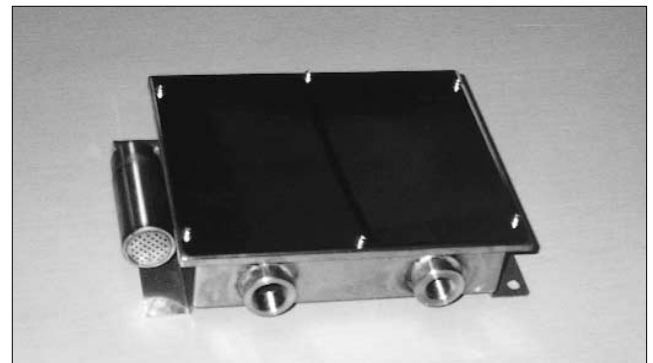
b) 光伝送部

光中継器からの信号伝送路は, シングルモード (SM) 型光ファイバを採用することにより, 最大10 kmまで無中継で伝送が可能である。また, 光ファイバの有効利用を図るために, 同一心線上に最大6台まで光水位計をマルチドロップ接続できるようにした。この接続には光

図6 光水位計の外観



図7 光中継器の外観



ケーブルを使用して光学的に伝送路を分岐しているため, 一つの水位計が故障しても他の正常な水位計の信号伝送に影響を与えることがなく, システムとして信頼性の高いものとなっている。

(c) 電源部

電源は自立駆動できる内蔵バッテリー方式とした。このバッテリーは検出部の回路用と光中継器内の SM ユニット用に使用される。それぞれ, 低消費電力回路, 低消費電力素子によりバッテリーの長寿命化を図っている。

4 用途

4.1 下水用毒物センサ

下水道への有害化学物質の流入事故は年々増加傾向にあり, 下水の二次処理・高度処理工程に障害を与え, 放流水の水質悪化を招くことが懸念されている。図8に1999年度の一級河川の原因物質別水質事故発生件数を示す。こうした事故を未然に防止し, 生物処理工程の正常な機能を維持するためには, 下水道へ流入する有害物質を早期に把握し, 処理場への流入を回避することが重要となる。適用例としては, 工場, 事業場排水の流入量の多い主要な幹線に連続

図8 1999年度一級河川の原因物質別水質事故発生件数

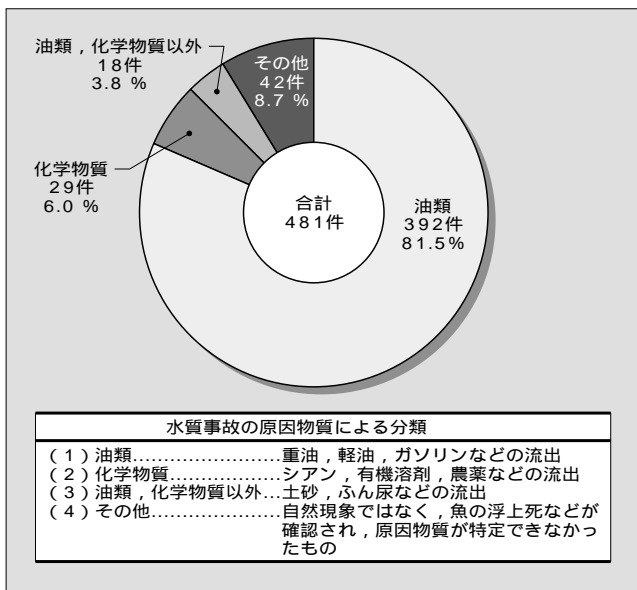
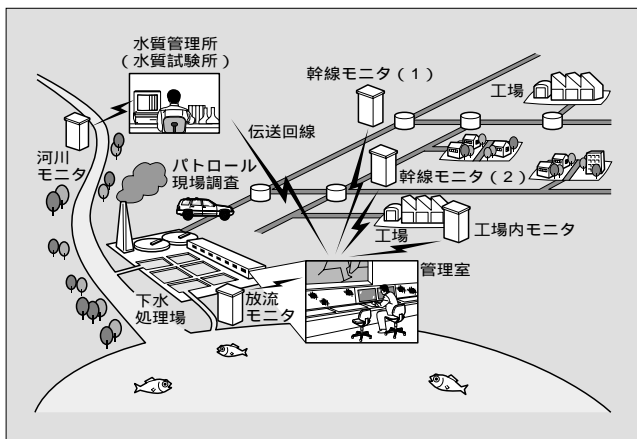


図9 水質常時監視システムのイメージ

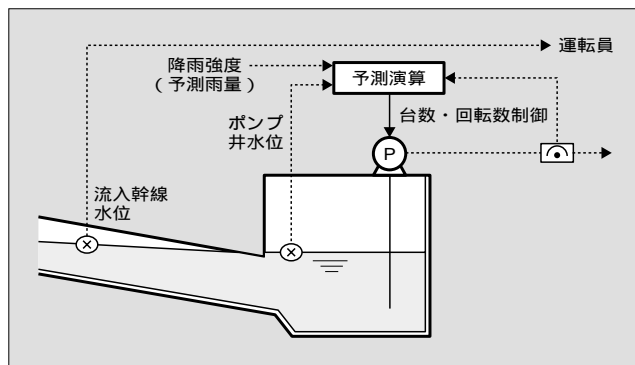


モニタリング装置として設置し、処理場または水質管理所にて有害化学物質の流入の有無を一括集中監視したり、また処理場内の放流点に設置し、有害化学物質の除去や希釈などの無害化処理の管理指標として使用することなどが考えられる。図9に水質常時監視システムのイメージを示す。

4.2 超音波式汚泥界面計

汚泥の減量化の度合いは、汚泥処理プロセスの濃縮工程の管理をいかに適正に行えるかに大きく依存する。また、適正管理を行うことにより、後続の汚泥処理施設（消化槽、脱水機、焼却炉など）の設備容量を縮小することが可能となり、脱水プロセスにおいても薬添率の節減が図れる。また、水処理プロセスにおいては余剰汚泥引抜量を適正に管理することで最終沈殿池のMLSS（Mixed Liquor Suspended Solids）濃度を一定に保つことができ、安定処理を行うことができる。従来、汚泥重力濃縮槽または最終沈殿池からの汚泥引抜量は、1回/日の割合でサンプリングにより汚泥濃度を測定し引抜量を調整していたが、本設備の導入により汚泥界面を逐次測定できるので、より精度の

図10 雨水ポンプの予測運転システム



高い汚泥引抜量制御が実現できる。

4.3 光水位計

都市部における雨水排出機能は、流入傾向の急しゅん化に伴い、雨水ポンプの運転をより迅速に行う必要がある。このため、流入幹線の上流水位をリアルタイムに監視し、豪雨時の急激な流入を早期に把握することによりポンプ運転の迅速な操作判断に役立てることができる。さらに上記運転の実績を積み重ね、データを収集解析することにより流入予測モデルを作成すれば、より迅速で効率的な予測運転制御が可能となる。このシステムを図10に示す。

5 あとがき

下水用毒物センサ、超音波式汚泥界面計および光水位計について紹介した。これらは近年、新たに顕在化してきた有害化学物質の監視、汚泥発生量の監視、ポンプ場流入側水位の監視を行うことで環境保全、廃棄物の減量化および浸水被害の防止に貢献することを説明した。今後は、IT（Information Technology）化時代の到来により下水道をより効果的に運転管理するためには、広域的な情報収集と河川管理システムとの連携によるリスク管理の合意が重要となる。これらの課題に対して本稿がその一助となれば幸いである。

今後、水環境・水循環の保全、安全な都市生活の確保に貢献する新たなセンサ技術の開発、制御技術の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

(1) 下水道ハンドブック（1997年度版）. 建設産業調査会, p.42-60 .
 (2) 乾貴誌ほか. 発生源監視をきちんと行おう～効率的な事業所監視とバイオセンサの可能性～. 月刊下水道. vol.23, no.12, 2000, p.10-12 .
 (3) 岡安祐司ほか. 硝化細菌を用いた毒物センサの下水道施設への適用. 第34回日本水環境学会年会講演集. 2000, p.76 .
 (4) 乾貴誌ほか. 硝化細菌を用いた毒物センサの下水道施設への適用試験. 第38回下水道研究発表会講演集. 2001, p.924-926 .



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。