

上下水道の計画・運用・維持管理に貢献する 情報・制御システム技術

渡辺 忠雄
Watanabe Tadao

田所 秀之
Tadokoro Hideyuki

武本 剛
Takemoto Takeshi

高橋 信補
Takahashi Shinsuke

山野井 一郎
Yamanoi Ichiro

上下水道は、生命の維持に欠かせない水に関わる社会インフラであり、安全・安心・快適な利活用のみならず、水循環系の一翼を担うシステムであることから、生物多様性も含めた水環境への配慮が求められる。

このように多様化するニーズに応えるため、日立グループは、情報・制御技術をベースとしたシステム、ソリューション

を上下水道向けに提供してきた。日常の設備運用に直接関わる監視制御機能とともに、システムに蓄積した運用データを活用し、設備の計画、維持管理を含めたライフサイクル全般にわたって上下水道インフラに貢献するための技術開発も継続して進めている。

1. はじめに

上下水道は生命の維持や社会活動、ひいては水環境の維持に不可欠なインフラであるが、国内においては、高度成長期に大量に整備した施設が更新時期を迎えつつあり、上下水道サービスの持続のためには計画的な更新が求められている。また、2011年の東日本大震災、2012年の利根川水系でのホルムアルデヒド検出によって給水停止に至った事故など、水環境を脅かすリスクは顕在化しており、安全・安心な水環境の実現のためには一層の努力が必要とされる。一方、上下水道事業は、人口減少社会の到来に伴う財政状況の逼迫（ひっ）迫、熟練職員の減少といった厳しい経営環境に置かれており、そのような中で諸施策を推進していかなければならない。

これらの状況に鑑みて、水道分野では2013年3月に厚生労働省が「新水道ビジョン」を策定し、長期を見据えためざすべき方向性を「安全」、「強靱（じん）」、「持続」の観点からまとめた¹⁾。下水道分野では国土交通省が、2014年夏の完成を目標として「新下水道ビジョン2100（仮称）」を策定中である。

日立グループは、制御技術、情報技術とその融合で、これらの時代の要請に応えるシステムを提供してきた^{2), 3), 4)}。

ここでは、情報・制御のコンポーネント技術と、計画・運用・維持管理のライフサイクルの各フェーズで上下水道事業の効率向上と水循環系の健全化を支援するシステム技

術の中から最近の取り組みを紹介する。

コンポーネント技術として、情報・制御システムAQUAMAX-AZシリーズの特に広域化に対応した技術を紹介する。監視制御システムの基盤の上に構築されるシステム技術では、まず運用フェーズで、省エネルギー、電力ピークカット、および環境負荷低減の要請に応える制御技術である水運用計画システム、配水コントロールシステム、下水処理の硝化制御システムについて述べる。次に維持管理フェーズと、このフェーズで蓄積された情報を活用して計画フェーズに生かしていく技術として、アセットマネジメントシステム、水道管路情報管理システムAQUAMAPについて述べる（図1参照）。

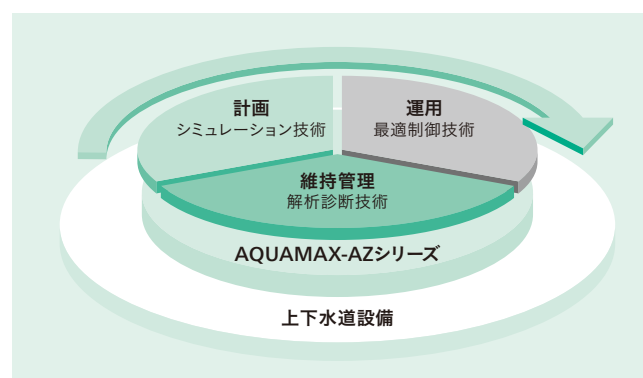


図1 | 計画・運用・維持管理に貢献する情報・制御システム技術
情報・制御のコンポーネント技術であるAQUAMAX-AZシリーズを基盤に、計画・運用・維持管理に貢献できるさまざまなシステム技術を展開する。

2. 広域化を支えるAQUAMAX-AZシリーズ

情報・制御システム AQUAMAX-AZ シリーズでは、スケラブルアーキテクチャ、シームレス化、業務支援型 HMI (Human-machine Interface) の基本コンセプトの下で機能強化を続けてきた。その中から、事業運営の広域化を支える技術として、基幹システムである AQUAMAX-AZ/SP における「ドメイン化」と、情報端末を駆使した情報共有の仕組みを提供する AQUAMAX-web について説明する。

運用、維持管理、計画フェーズにおけるシステム技術を適用するには、広域に分散した情報を有効に活用することが欠かせない。情報・制御システムではこうした課題の解決が求められる。

2.1 ドメイン化による広域監視制御の実現

上下水道監視制御システムでは、複数年度にわたって段階的にシステムを整備するとともに、広域化に対応するために各設備の監視制御システムを統合して一元管理する必要がある。しかし、多くは監視制御システム間をネットワーク接続し、プロセス入出力信号を相互通信する程度にとどまり、それぞれの監視制御システムのデータベース(運転故障メッセージ履歴やトレンドデータ)の情報を共有することは困難であった。このため、統合システムでは、

各設備の監視制御システムが持つ運転故障やトレンド情報を活用する場合、通信によって収集したプロセス入出力信号に基づいて同様のデータベースを別途構築しなければならず、ソフトウェアの二重管理となり、システムの維持管理が非効率になっていた。

この課題を解決するため、AQUAMAX-AZ/SP は、ミドルウェアのレイヤーで「ドメイン」という概念を導入している。ドメインとは、ネットワーク上の1つの管理単位を意味する。各設備の監視制御システムにドメイン識別番号を付与することで、プロセス入出力信号をはじめ、運転故障メッセージ履歴やトレンドデータといった設備ごとの監視制御システムが保有するデータベースを相互に参照できるようになる(図2参照)。

2.2 情報端末を駆使した情報共有

AQUAMAX-web は、コンシューマ向けに広く利用されているデスクトップ PC (Personal Computer) から、スマートフォンやタブレット端末といったスマートデバイスまで、多様な端末に運転管理情報を配信できるシステムである。

広域化された運転管理の現場では、地理的に分散している設備を限られた職員で効率よく管理することが求められ

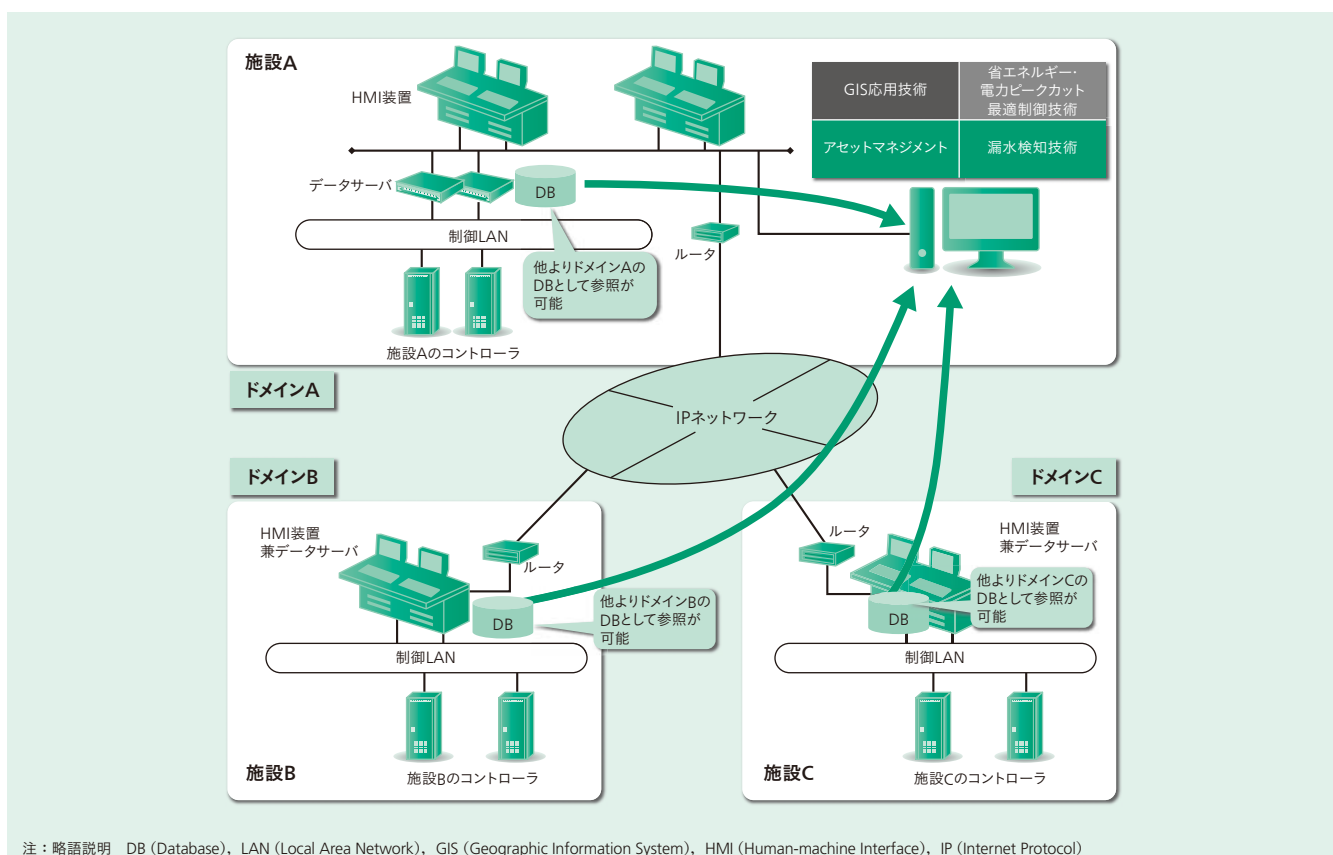


図2 ドメイン化による広域監視制御の実現

ドメイン化により、それぞれのシステムが保有するデータベースを相互参照できるようになる。また、さまざまな上位システムが、広域に分散した情報を効率的に扱うことができる。

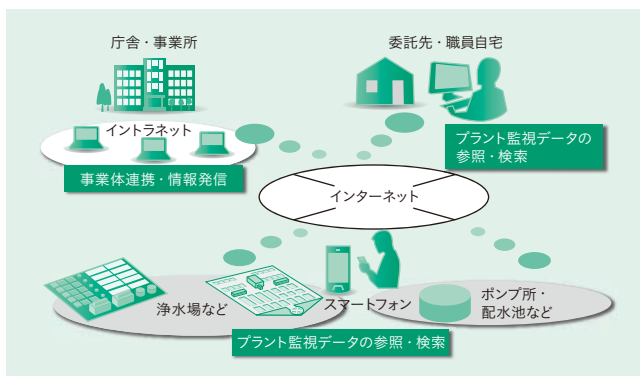


図3 スマートデバイスとインターネットの活用 (AQUAMAX-web)
監視制御システムの情報を共有し、迅速な意思決定に貢献する。また、スマートデバイスを活用して機動力の向上を支援する。

ており、スマートデバイスは現場を巡回する際の監視ツールとして活用できる。また、重要設備の故障信号を電子メールで通知する機能を備え、スピードが要求される緊急時対応に貢献する。上下水道事業体のイントラネットに限らず、インターネット回線で活用できることが特長であり、管理を広域化した複数の事業体どうしの情報連携を可能とした（図3参照）。

3. エネルギーと水環境に配慮した運用技術

3.1 水運用計画・配水コントロールシステム

水道の安定供給や省エネルギーに貢献する送配水系ソリューションとして、水運用計画システムと配水コントロールシステムがある（図4参照）。

水運用計画システムは、複数の浄水場や配水池から成る

水道システムにおいて、天候や原水の濁度、設備状況などの情報を基に、日内の需要変動に対応した浄水量や取送水量の計画を策定するシステムである。多目的最適化手法により、安定運用と環境負荷低減といったトレードオフ関係にある指標のバランスを考慮した計画の立案が可能である⁵⁾。

また、配水池のバッファ機能に注目して運用上下限の間で変動させることにより、ポンプ運転を平準化する運用計画を立案することができるため、電力消費の大口ユーザーとされている水道における電力のピークシフト・ピークカットに貢献する。

配水コントロールシステムは、配水池に蓄えられた浄水を効率的に需要家に供給するためのシステムである。配水圧力は、高すぎるとエネルギーのむだや漏水量の増加などを招く一方で、圧力が低すぎると給水点での流量低下を招くため、配水圧力には適正化が求められる。このシステムは、圧力が低下する地点をオンライン管網シミュレーションによって動的に検出し、その地点の圧力を維持するようにポンプ吐出圧力やバルブ開度を制御する。これにより、水需要の変動に対しても適切な配水圧力に維持できる。

これらのシステムは国内の水道事業体に導入され、水道の安定供給や省エネルギーに寄与している。また、水運用計画・配水コントロールの両システムを連携して取水から配水までを一括で適正化する機能を開発中であり、さらなる安定化と省エネルギーが期待できる。

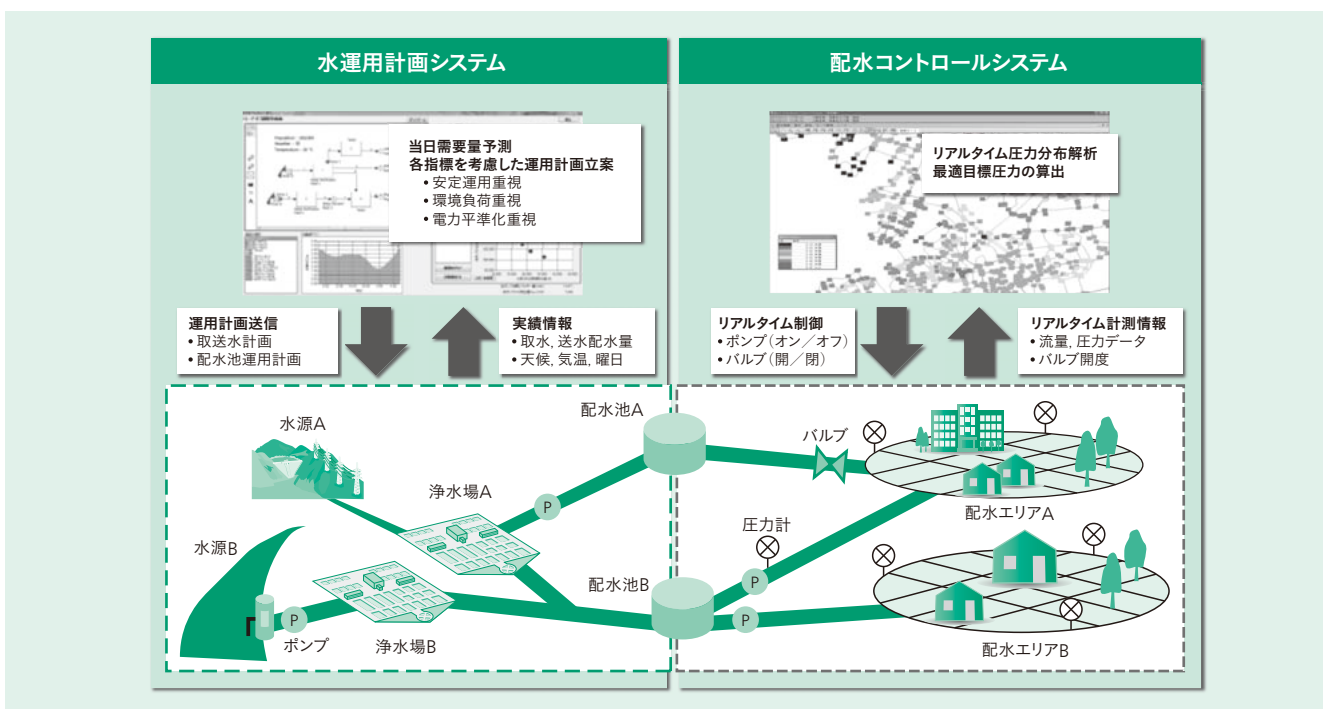


図4 水運用計画システムと配水コントロールシステム

取水、送水、配水の安定供給や省エネルギーに貢献する送配水系ソリューションである。

3.2 環境負荷低減型下水硝化制御システム

ローカーボンの意味での環境負荷低減と、水環境負荷への配慮（水環境保全）は「下水道ビジョン2100」⁶⁾にも掲げられている。そのため、下水処理プロセスにおいても、省エネルギー・ローカーボンと水質向上を両立する技術が求められている。

水環境保全の課題の1つである窒素の除去は、硝化反応と脱窒反応のプロセスから成る。流入水中のアンモニア性窒素を硝酸性窒素に酸化する硝化反応は、酸素を必要とし、エアレーションのためのブロウ電力を消費する。このため、ブロウのきめ細かな制御による硝化反応の適正化が省エネルギーと水質向上のポイントとなる。

そこで、一般的に設置されている好気槽末端のDO（Dissolved Oxygen：溶存酸素）計に加えて、好気槽中間点と、好気槽よりも上流側の2か所にアンモニア計を設置し、上流側と下流側で個別に目標風量を演算し、風量を適正化するシステムを開発した。この方式では、処理水のアンモニア濃度目標値に加えて中間点のアンモニア濃度目標値を考慮した硝化制御により、処理を安定化して過曝気（ばっき）や曝気不足を抑制し、水質を確保しつつブロウの消費電力の削減を図る。上流側風量は、上流側のアンモニア濃度計測値と中間点のアンモニア濃度目標値から演算する。下流側風量は、中間点のアンモニア計の計測値、流量、DO計測値から演算する。

演算に用いる制御パラメータは、下水水質シミュレータを活用した設定により、試運転期間の短縮を図ることができる。さらに、実績値に基づいた制御パラメータの自動更新機能を追加することにより、経年変化に伴うパラメータの再チューニングが不要となるため、維持管理性を向上することができる（図5参照）。

4. 維持管理・更新計画業務を支援するシステム技術

維持管理の時代を迎えた日本国内では、計画業務においても更新計画のウエイトが高まっている。ここでは、日常の維持管理業務の効率化と、これを通じて蓄積された情報を更新計画に活用していくシステム技術を紹介する。

4.1 アセットマネジメントシステム

高度経済成長時代に整備した上下水道設備が耐用年数を迎える中、更新費用が増大する見通しであり、限られた財源での計画的かつ適正な更新が求められている。このため、上下水道事業体にはアセットマネジメントの手法を導入し、中長期的な更新計画の策定が望まれている。

アセットマネジメントは、(1) 必要情報の整備、(2) ミクロマネジメントの実施、(3) マクロマネジメントの実施、および(4) 更新需要・財政収支見通しの活用という要素で構成される。

この中でミクロマネジメントの実施では、(1) 個別施設の保有すべき性能や健全度などの要求条件の設定、(2) 個別施設ごとの点検実施、(3) 点検結果を基にした施設の健全度などの性能の評価、(4) 性能評価結果を基にした将来の費用の予測、(5) 補修・補強・更新を実施するものとされている⁷⁾。すなわちミクロマネジメントは、日常の維持管理業務による成果を、長寿命化や更新計画に反映することを可能とするものであり、アセットマネジメントのPDCA（Plan, Do, Check, Act）サイクルを回すキーポイントになると考えられる。

そこで、設備管理システムや設備台帳の設備情報、監視制御システムの運転履歴、機器の点検データを活用してミクロマネジメントを実行するシステムを開発した（図6、図7参照）。

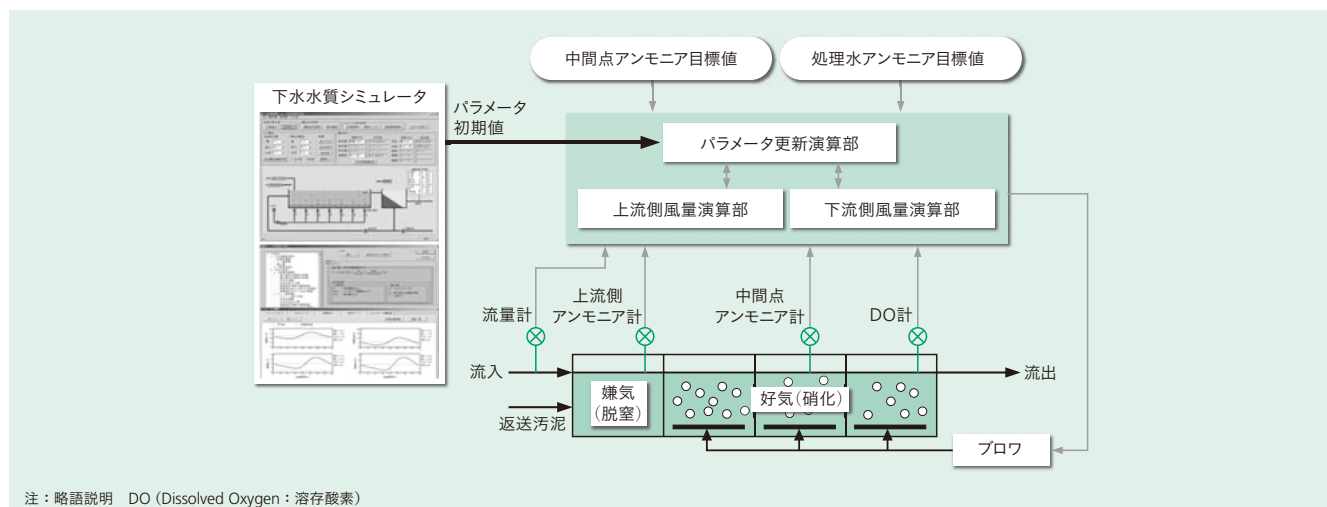


図5 環境負荷削減型下水硝化制御システム

アンモニア計を追加し、上流側と下流側に分けて必要風量を算出して風量を適正化することでブロウのエネルギーを削減する。また、実績値に基づいてパラメータを自動更新し、維持管理性を向上する。なお、初期値は下水水質シミュレータを活用して試運転期間の短縮を図る。

(1) 健全度評価

点検データを基に設備の健全度を算出する。健全度は設備の現在の状態を表す指標である。点検項目ごとに結果に応じて現在の状態を表す指標として個別健全度を求め、次に、個別健全度から機器・設備の(総合的な)健全度を算出する。なお、算出は定量的な点検データだけでなく、定性的(例えば「正常/異常」や「○/△/×」)な検出データでも可能である。

次に、個別健全度を平均し、対象設備の健全度とする。健全度は、点検を実施してデータが更新されるごとに更新される。これを時系列にプロットすることで、当該設備の健全度の傾向を把握することができる。

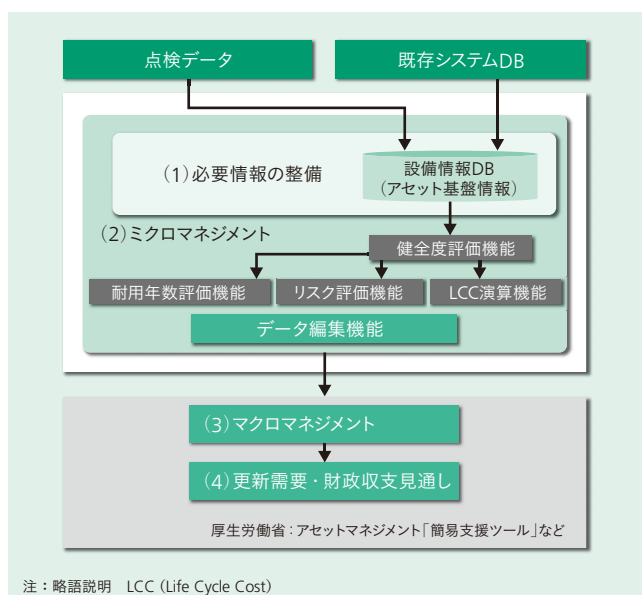


図6 アセットマネジメントシステムの概要

点検データ、既存システムの運転履歴などの情報を基にマイクロマネジメントを実施できる。

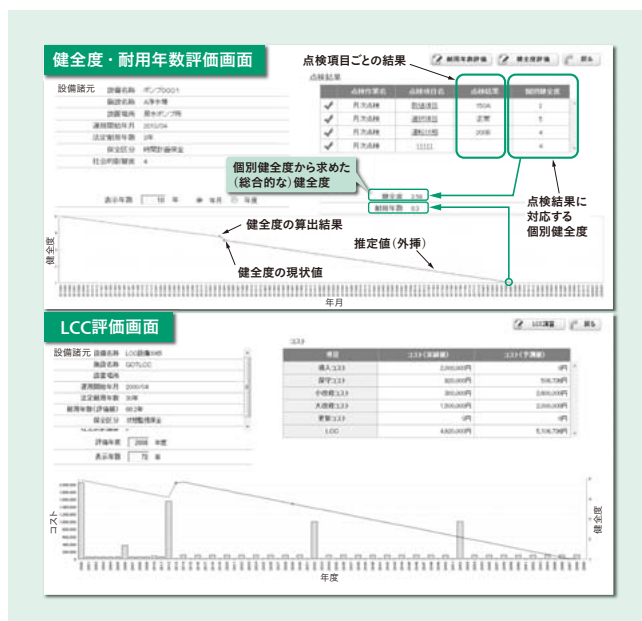


図7 アセットマネジメントシステムの画面例

健全度、耐用年数評価、LCC評価の画面例を示す。

(2) 耐用年数評価

耐用年数は、健全度の経時変化を外挿し、更新が必要となる健全度に達するまでの期間とする。改修によって健全度が改善した場合は、改善後の外挿から算出することで維持管理活動の成果を反映した耐用年数を求めることができる。

(3) リスク評価

「社会的影響度-健全度」のリスクマトリクス表をあらかじめ作成しておき、対象設備のリスクレベルを評価する。健全度が低下し、設備が劣化することでリスクレベルは高くなる。リスクレベルは設備更新優先順位づけに活用できる。

(4) LCC (Life Cycle Cost) 評価

導入、保守、改修、更新の各コストの実績値と予測値の合計をLCCとして算出する。

このシステムには蓄積データを編集して出力する機能があり、例えば、厚生労働省が示したアセットマネジメントの簡易支援ツール⁸⁾の入力情報を作成することができる。作成した情報を入力することで容易に簡易支援ツールを活用した評価を実行できる。

4.2 水道管路情報管理システム(AQUAMAP)

このシステムは、水道管路や送配水設備など広範囲に分布している設備の位置をGIS (Geographic Information System) 技術によって管理するものである。これと併せて寸法や材質などの属性情報も管理することにより、例えば以下の機能で水道管路設備管理を効率化できる。

(1) 位置情報に基づく地域ごとの需給量の収支や事故発生件数などのデータ統計機能

(2) 工事や事故に伴う断水をシミュレーションして影響範囲を事前確認する断水領域表示機能

管路のリスク評価として、漏水事故発生場所、エリアごとの漏水事故発生件数、漏水事故が発生した管路と類似の属性を有する管路、アセット情報から推定した漏水確率ごとに分類した管路を表示する機能がある。これらの管路のリスクに基づいて管路の更新計画の策定を支援できる。

また、需要家の使用量データや監視制御システムの計測データを、位置情報と関連づけて一元管理することで各種機能を提供している。前述の配水コントロールシステムでもGIS技術を活用することで、圧力や流量の解析結果や計測値を地図上に表示し、リアルタイムに監視できる。

さらに、漏水分布推定システムでは、対象エリアを仮想で分割し、この仮想エリアごとに管網シミュレーション、管路属性データ、設備情報、計測データを用いて漏水量を推定する。漏水量の比較から仮想エリアに順位を示し、順

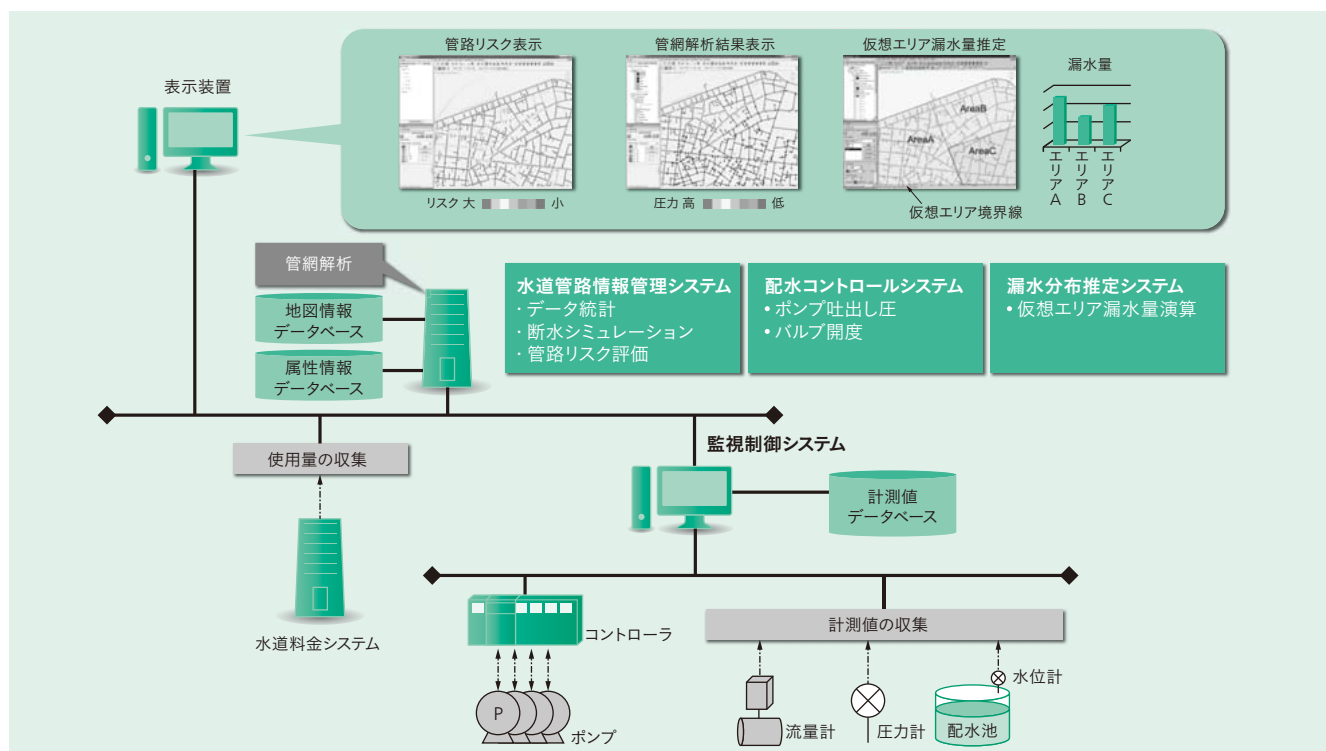


図8 | 水道管路情報管理システム他システムとの連携例

リアルタイムの計測値と管網データ、位置データなどを組み合わせて解析し、配水適正化、漏水推定を実施することで、省エネルギーと維持管理の効率化を図る。

位の高い仮想エリアから漏水調査を実施することで、漏水調査の効率向上を図る（図8参照）。

5. おわりに

日立グループは、上下水道事業が抱えている課題解決に情報・制御システム技術を通じて応えるべく技術開発を続けている。ここではその中から、コンポーネント技術としてAQUAMAX-AZシリーズの広域化に向けた取り組みと、システム技術として、省エネルギー、環境負荷低減を実現する運用技術、健全度を考慮した更新計画立案によって投資平準化に寄与するアセットマネジメントシステム、配水系の維持管理、更新計画を総合的に支援する水道管路情報管理システムについて述べた。

参考文献など

- 1) 厚生労働省健康局水道課：「新水道ビジョン」について、
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/index.html>
- 2) 田所，外：上下水道の安全・安心を支える情報制御システム，日立評論，91，8，638～643（2009.8）
- 3) 田所，外：上下水道の安全・安心・持続に貢献する情報制御システム，日立評論，93，9，606～611（2011.9）
- 4) 武本，外：上下水道向け情報制御システムの進化，日立評論，95，8，528～533（2013.8）
- 5) H. Tadokoro, et al.: Development of Water Supply Control System for Energy Saving and Stable Water Supply, IWA Aspire 2013 Daejeon Proceeding 09D1-1（2013.9）
- 6) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道ビジョン2100，
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040902_2_.html
- 7) 厚生労働省健康局水道課：水道事業におけるアセットマネジメント（資産管理）に関する手引き～中長期的な視点に立った水道施設の更新と資金確保～（2009.7）
- 8) 厚生労働省：アセットマネジメント「簡易支援ツール」，
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision/am/130605-1.html>

執筆者紹介



渡辺 忠雄

日立製作所 インフラシステム社 電機システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道向け監視制御システムの開発・設計に従事



田所 秀之

日立製作所 インフラシステム社 電機システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道向け監視制御システムの開発・設計に従事
技術士（上下水道，情報工学，総合技術監理）
電気学会会員，計測自動制御学会会員



武本 剛

日立製作所 インフラシステム社 電機システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道向け情報制御システムの開発・設計に従事
技術士（上下水道）
化学工学会会員，環境システム計測制御学会会員，電気学会会員



高橋 信補

日立製作所 横浜研究所 情報サービス研究センタ 社会インフラシステム研究部 所属
現在，上水道の制御・計画技術の研究開発に従事
博士（工学）
電気学会会員，計測自動制御学会会員



山野井 一郎

日立製作所 日立研究所 材料研究センタ プロセスエンジニアリング研究部 所属
現在，下水道向け監視制御・情報システムの研究開発に従事
博士（エネルギー科学），技術士（上下水道）
環境システム計測制御学会会員