

水道の安全な運用に貢献する 監視制御・情報処理システム

横井 浩人
Yokoi Hiroto

渡辺 忠雄
Watanabe Tadao

影広 達彦
Kagehiro Tatsuhiko

陰山 晃治
Kageyama Koji

浅野 由花子
Asano Yukako

田所 秀之
Tadokoro Hideyuki

重要社会インフラの代表である水道は規模の拡大から維持管理の時代へ移行しており、安全かつ合理的な管理を実現するICTへの期待が高まっている。安全な水質や安定した給水を主な目的として水道分野のICT開発は進められてきたが、近年の情報インフラの発展や制御ネットワークシステムの多様化に伴い、情報機器のセキュリティ

リスクへの対応も急務である。日立では、将来のIoT普及や社会構造の変化を念頭に、それらの課題を解決する監視制御システムや情報処理システムを開発中である。本稿では、設備機器と水質の安全に寄与する診断制御技術、情報システムセキュリティとフィジカルセキュリティの技術をそれぞれ紹介する。

1. はじめに

国内の水道普及率は97.7%（2013年度）¹⁾を達成し、社会基盤を支える重要インフラとしての役割を担っている。将来にわたって良質な水道サービスを維持するには、水質安全や安定給水の強化に加え、今後の人口変動や情報インフラの発展に対応した取り組みが必要である。

国立社会保障・人口問題研究所によれば、国内の人口はすでに減少に転じ、約1億2,724万人（2013年）から2060年には8,674万人になると予想されている²⁾。そのため長期的に見れば、需要量減少に対応する事業・維持管理業務の合理化が求められる。また、熟練職員が減少することで維持管理ノウハウが伝承されず、水質事故などの非定常時に水質安全を維持することが困難になることも懸念されている。一方で2020年開催予定の東京五輪には、国内外から観客延べ500万人が訪れると試算されており³⁾、短期的・局所的な水需要のコントロールはもちろん、施設の物理的な面での安全性確保が課題とされている。

情報インフラに関しては、例えばIoT（Internet of Things）の普及拡大によって、自動検針、機器の遠隔診断、効率的な制御システムなどが機能し、維持管理の合理化が期待できる。一方で、情報セキュリティに係るリスクは増大する。そのため、内閣サイバーセキュリティセンターは「水道」も13分野の重要インフラの一つに掲げて対策の検討を進めており⁴⁾、これを受けて厚生労働省から「水道分野にお

ける情報セキュリティガイドライン」⁵⁾が発行されている。しかし、ICS-CERT（Industrial Control Systems Cyber Emergency Response Team）の報告⁶⁾によれば米国内の水道制御システムへのサイバー攻撃事例は近年急増しており、喫緊に情報・制御のセキュリティ対策を図る必要がある（図1参照）。

以上の背景の下、日立ではより安全な水道システム、す



注：略語説明 IoT (Internet of Things)

図1 | 水道の安全な運用に貢献する監視制御・情報処理システム
情報インフラの発展により水道の維持管理は合理化が見込まれる。一方で、情報、人に係るセキュリティへの対応がますます重要となる。

なわち、水道水、設備機器、情報のすべてで安全なシステムの開発を推進している。このうち本稿では、浄水運転制御、オンサイト多項目水質分析、故障予知・回復支援、制御セキュリティおよびフィジカルセキュリティに係る技術を紹介する。

2. 設備機器と水質の安全に寄与する診断・制御

水質事故は依然として頻発しており、2012年には利根川水系で大規模なホルムアルデヒド汚染も発生した。高いレベルで水道の安全を維持していくには、PDCA (Plan, Do, Check, Action) サイクルを回して継続的に改善に取り組むことが有効である。日常的な水道水製造に係る Plan としては、水安全計画や水質検査計画がある。計画に従った Do としては運転制御、機器点検や診断が実行されている。供給される水道水の水質は Check され、必要に応じて是正される。これらの活動を定期的に見直して新たな Plan に反映するための Action を行う。本章では、円滑な PDCA サイクルを支援する ICT (Information and Communication Technology) 技術を紹介する。

2.1 浄水場のリスク評価・監視制御

プロセス全体のリスクを検討し、危害が生じた際の対応措置をあらかじめ設定しておくのが水安全計画の主要な役割である。厚生労働省が公表した「新水道ビジョン」でも、安全な水供給の保証という観点から、近年増加傾向にある渇水や豪雨などの自然災害を考慮したリスク管理が重要な項目の1つに挙げられている。

日立では計画策定 (Plan) のためのシステムを提供して

いる。アカウントビリティの向上やノウハウの伝承を目的に、対応措置を行うかどうかの判断基準は反応モデルや管網モデルを用いて定量的に設定することを志向している。

また、浄水場の運用 (Do), 特に非正常な操作が要求される自然災害時には熟練職員の経験に基づく手動介入は重要な位置を占めている。浄水場の熟練職員が減少しつつある中で、日立は原水水質の急変時にも自動薬品注入を可能にする制御システムを提供している (図2参照)。

このシステムは、混和池直後の水に含まれる濁質と凝集剤の混合物 (フロック) のうち、凝集の進行が不十分な微小フロック中のアルミニウム濃度を用いて凝集剤注入を制御する点が特徴である。水道原水を用いた試験により、フィードバック時間の短縮と水質急変時における処理水質の悪化抑制を実証した。国内の浄水場で用いられる凝集剤の80%以上はPAC (Polyaluminum Chloride) や高塩基性PACのアルミニウム系凝集剤であることから、本システムは広範な適用が見込まれる。

2.2 オンサイト多項目水質分析技術

近年、水質の分析項目によってはコンパクトな水質計が市販され、オンサイトで定期的に分析することが可能となってきた。しかし、専門の作業者による煩雑な手操作が必要となったり、専門の分析機関に試料水を送付する必要がある分析項目も多く、すべての分析項目に対して急激な水質変化を把握することは難しい。

このような背景から、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST : Japan Science and Technology Agency) のCREST (Core Research for Evolutional Science and Technology) の

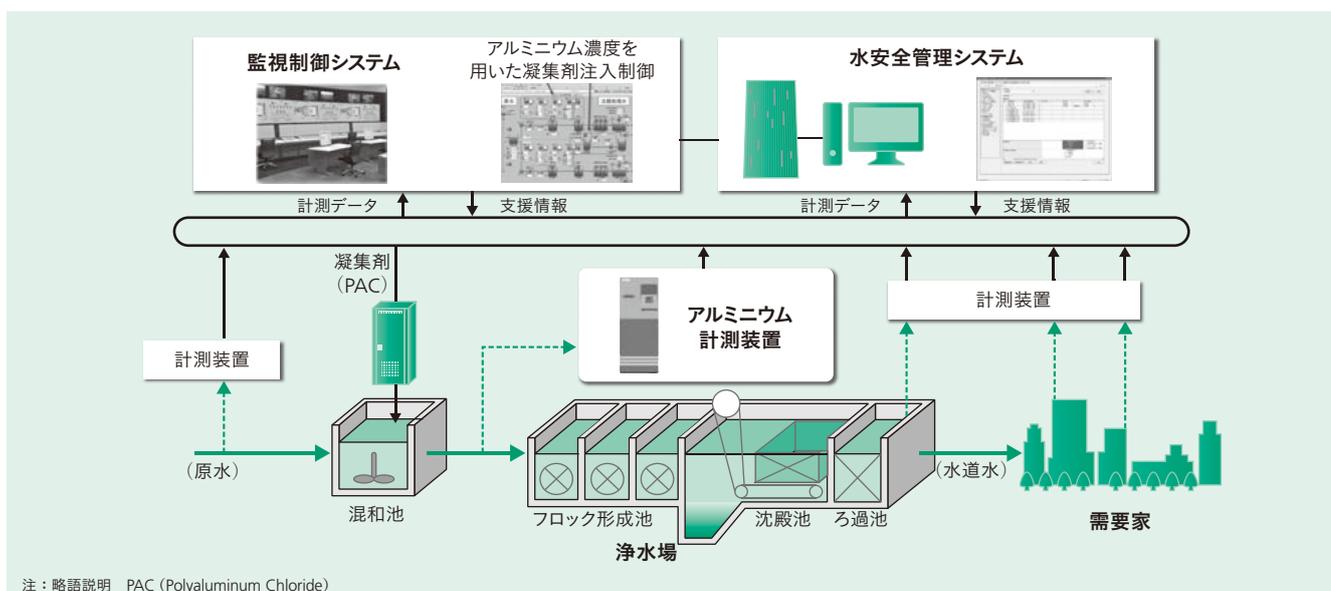


図2 監視制御などのICTを用いた水処理の運用支援

ICT (Information and Communication Technology) によって混和水中のアルミニウムを計測し指標化することで、フィードバック制御の時間遅れを短縮した。水安全管理システムは、原水から需要家への給水の水質などのモニタリング情報を用いてリスク評価し対応措置を支援する。

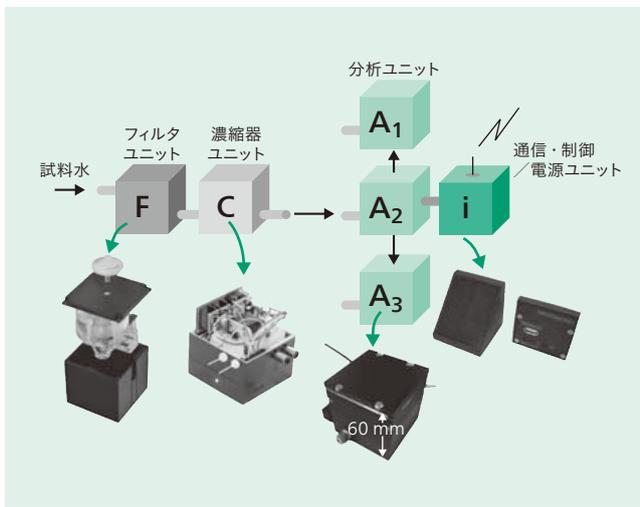


図3 | オンサイト多項目水質計⁷⁾

フィルタユニット、濃縮器ユニット、各分析項目に対応した分析ユニット、通信・制御/電源ユニットなどの各要素ユニットから構成される。

支援を得て、東京大学・三宅教授のグループと共同で、定期的かつ自動的にリアルタイムで多点監視することを目的とした、オンサイト多項目水質計の開発を進めている⁷⁾。本水質計では、微小流路内で流体を制御することにより、試料水や分析に必要な試薬の微量化、分析の迅速化、および分析の再現性向上が可能である。

本水質計は、水質分析に必要な各要素ユニットから成り、具体的には、必要に応じて水中の不純物を取り除くフィルタユニット、必要に応じて試料水の濃縮を行う濃縮器ユニット、各分析項目に対応した分析ユニット、各ユニットを制御し、分析データを送信可能な通信・制御/電源ユニットなどから構成される(図3参照)。残留塩素、硝酸態窒素、バクテリア測定用の分析ユニットを開発しており、順次分析項目を増やしていく。各ユニットは60 mm角サイズを基本としている。

本水質計では、装置の小型化を実現し、オンサイトでの設置が容易となる。また、分析の迅速化および自動化により、リアルタイムで多点監視し、急激な水質変化に対応することが可能となる。したがって、より安全で安心な水道水の安定的な供給を実現可能である。

2.3 故障予知・回復支援技術

水環境インフラで使われる設備や機器が経年劣化などによって故障すると、市民生活や産業に多大な被害を及ぼす場合がある。これを回避するため、故障を事前に予知して早い段階で対応することが課題となっている。

この課題に対し、設備や機器の運転データに基づいた故障予知・回復支援技術を開発中である(図4参照)。これは2つの技術で構成される。1つは適応共鳴理論(ART: Adaptive Resonance Theory)を用いた統計データ処理技術

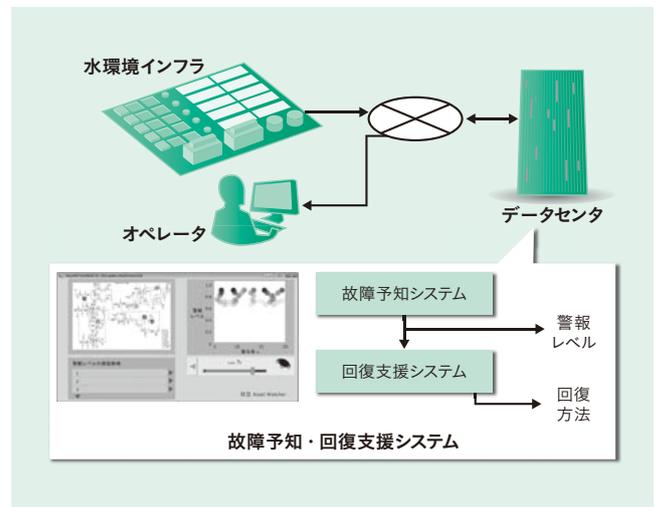


図4 | 故障予知・回復支援システムの構成

プラントの運転データをビッグデータ解析して故障を予知し、予知した故障の根本原因を推察して回復方法を出力する。

である。多数の入力項目の値の関係性に基づき正常状態からの僅かなずれを検知することにより、故障の予兆を早い段階で捉えることができるという特長を有する。

もう1つは、その予兆の根本原因をプラントフローから推察し、回復方法の候補を出力する意味ネットワーク技術である。これにより、故障の予防として取るべき対策を短時間でオペレータに示すことができる。

これらの技術の組み合わせにより、設備や機器の故障を事前に防ぐことが可能となる。その結果、対象となる設備や機器の故障のみならず、その故障が他の設備やシステム全体の運転に及ぼす被害も最小限に抑えることができる。

これまでに上記の技術を浄水施設や海水淡水化施設に適用し、ポンプの軸受損傷事故や逆浸透膜の目詰まりの予知が可能であることを確認済みである。高い汎用(はんよう)性を有しているこの技術を適用することで、他の水環境設備、例えば汚泥処理設備の異常や、さらには水質の異常に対しても事前に対策を取ることが可能となる。

3. 日立が取り組むセキュリティ技術

水道インフラにおける監視制御システムは、ネットワーク技術をはじめとするICTの発展により、多彩なシステムを構築できるようになり、水道事業者の運営効率向上に貢献してきた。例えば、従来、単一の監視制御システムであったものが、隣接するシステムとの連携を図り、複数施設間のシームレスな運営管理、情報の一元化を実現できるようになった。一方で、閉鎖的なネットワークであった従来型システムから脱却し、システム形態を多様化、発展させたことにより、セキュリティリスクへの対応が課題となっている。

また、重要インフラである水道施設のフィジカル面の対

策が重要となる。不審な人物、不審な物の侵入を阻止するためには、人流や物流の日常から非日常に至る動態などの施設運用における特徴から最適なフィジカルセキュリティ技術の組み合わせを検討する必要がある。

ここでは、日立グループにおける制御セキュリティへの取り組みと、監視制御システムAQUAMAX-AZ/SPが備えているセキュリティ施策、およびフィジカルセキュリティ技術について述べる。

3.1 制御セキュリティへの取り組み

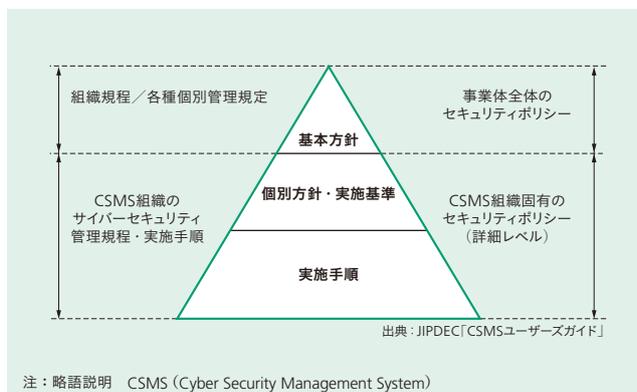
日立グループは、長期間運用を行う社会インフラの特徴、および、サイバー攻撃の潮流を踏まえ、社会インフラに求められるセキュリティ要件として、適応性(Adaptive)、即応性(Responsive)、協調性(Cooperative)の3つの要件を掲げ、これらをH-ARCコンセプトとしてまとめた⁸⁾。H-ARCコンセプトは、監視制御システムの構築から運用までを検討する際の観点を提供している。

国際標準規格においては、電力、石油化学、鉄道といった分野別の業界標準に続いて、制御システム全般を対象としたIEC62443規格の整備が進められている。

IEC62443-1-xシリーズは、共通概念、用語を扱う。IEC62443-2-xシリーズは制御システム保有者を想定し、セキュリティポリシーや組織に関わる管理システムを扱う。IEC62443-3-xシリーズはシステム構築者を想定し、制御システムの技術要件を扱う。IEC62443-4-xは装置製造者を想定し、制御装置のセキュリティ要件を扱う。

制御システムにセキュリティを継続して確保するためには、各システムに求められるセキュリティ要件や監視制御システムの変化に適応するためのPDCAが不可欠である。このPDCAの活動を支えるフレームワークとして、CSMS (Cyber Security Management System : サイバーセキュリティマネジメントシステム) 認証がある。CSMS認証は、情報システムにおいてISO/IEC27001で規定されているISMS (Information Security Management System) の制御システム版と位置づけられ、JIPDEC (Japan Institute for Promotion of Digital Economy and Community: 一般財団法人日本情報経済社会推進協会) がIEC62443-2-1に基づいた認証基準として2014年4月に公表した⁹⁾ (図5参照)。

日立グループは、社会インフラを支える制御システムのセキュリティ強化を目的に産官学連携により2012年3月に設立されたCSSC (Control System Security Center : 技術研究組合制御システムセキュリティセンター) に設立当時から参加し、研究開発に取り組んでいる。こうした活動を背景に、IEC62443-3-xとIEC62443-4-xが扱う制御システ



注：略語説明 CSMS (Cyber Security Management System)

図5 | CSMS認証の体系イメージ

制御システムを運用する個別組織のセキュリティポリシーは、その上位組織のセキュリティポリシーや情報管理規定と関連づけられる。策定したセキュリティポリシーはその経営者の承認が必要となる。

ムや制御装置、すなわち日立グループの製品レパートリーにおけるセキュリティ技術の組み込みにとどまらず、制御システム保有者である水道事業者がCSMS認証を取得できるよう、その支援体制を社内に構築してきた。今後も安心して利用できる持続可能な社会インフラの実現に貢献していく。

3.2 AQUAMAX-AZ/SPにおけるセキュリティ施策

AQUAMAX-AZ/SPは、監視制御システムの基盤コンポーネントとして、多様化する運転管理面の安全性に配慮したセキュリティ機能の拡充を図ってきた。ここでは拡充機能として、ユーザー管理機能とホワイトリスト型ウイルス対策について述べる。

3.2.1 ユーザー管理機能

ユーザー管理機能は、監視制御システムを利用するユーザーごとにきめ細かな権限付与とその制御を行う機能であり、3つの機能群から構成している (図6参照)。

(1) ユーザー認証機能は、ログインIDとパスワードによ



図6 | AQUAMAX-AZ/SPのユーザー管理機能

AQUAMAX-AZ/SPは、ユーザー認証をキーとしたセキュリティ機能を備え、制御システムの運用管理面におけるセキュリティリスクの低減に貢献する。

る個人認証によって、制御システムへの不正なアクセス利用を排除する。

(2) 権限制御機能は、ユーザーごとに操作可能な範囲を設定することができる。運転管理者、一般オペレータ、委託業者オペレータといった、運転管理チームの各担当に割り当てられた権限を事前に定義しておき、監視制御システムで管理できる。例えば、一般オペレータには機器操作と設定値変更のみを許可し、管理者には制御パラメータまで変更を許可するなど権限レベルを区別できる。また、緊急ログイン機能を備え、一時的な権限制御の無効化を可能とした。これは、緊急時に迅速なオペレーションを実行することが目的であり、キーボードからの決められた特別なキー操作により、権限制御の無効化を行う。

(3) トレーサビリティは、施設の操作記録にユーザーIDと操作元端末情報を付加することで、プラントへの指令が運転管理上適切だったかどうかの事後検証に活用できる。

3.2.2 ホワイトリスト型ウイルス対策

昨今、監視制御システムからデータを取り出すためにUSB (Universal Serial Bus) メモリを利用することや、隣接する他システムとの接続が容易になっているなどの背景もあり、監視制御システムがコンピュータウイルスに感染する事例が散見される¹⁰⁾。ひとたび感染すると、水道施設の運転管理上、予期しない支障を生じるなど、ウイルス除去を含めたシステムを復旧させるための期間が長期化する場合があります、運転管理上の課題となっている。これに対し

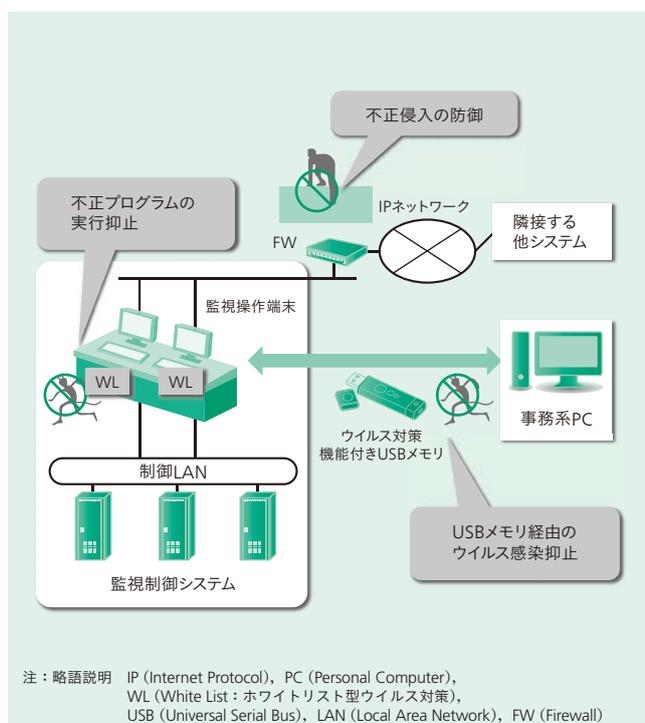


図7 | AQUAMAX-AZ/SPが提供するセキュリティ施策

AQUAMAX-AZ/SPは、それぞれの運用管理に適したセキュリティ施策を提供する。

て、AQUAMAX-AZ/SPでは、ホワイトリスト型のウイルス対策を行っている。これは、実行を許可したプログラムをあらかじめリストに記述しておくことで、実行可能なプログラムを制御する方式で、許可なく侵入したウイルスプログラムの実行を抑止できる。

ブラックリスト型に比べて、監視制御システムのCPU (Central Processing Unit) 負荷が少なく、ウイルスワクチン更新のためのインターネット接続が不要である特長を有する。また、ゼロデイ攻撃や未知のウイルスからの攻撃の予防にもつながる。

AQUAMAX-AZ/SPは、ホワイトリスト型ウイルス対策のほか、ファイアウォールやセキュリティ対策機能付きUSBメモリを併用することで、運転管理に適した強固なセキュリティ施策を提供している (図7参照)。

3.3 フィジカルセキュリティ技術

浄水場設備は社会インフラとして重要であり、公共性が高く、テロ攻撃などを受けた際の社会的な影響が大きい。365日滞りなく運用業務を継続しつつ、破壊行為やテロ行為から設備装置を守り、被害を最小化するためには、下記の3点が重要である。

- (1) 不審な人物を施設内に侵入させない
- (2) 危険物を持ち込ませない
- (3) 事件発生時には原因究明し被害を最小化する

以下に日立の保有技術を紹介する (図8参照)。

(1) に関しては、施設周辺の監視と、出入口での認証が必須となる。カードによる入退管理が一般的であるが、生体情報を用いた個人認証を適用すればさらに厳重な管理が可能となる。生体情報には、指紋、虹彩、顔、声紋、遺伝子、静脈などがある。これらの中でも静脈パターンは形状が生涯変わらず、また体内に埋没しているため複製が困難

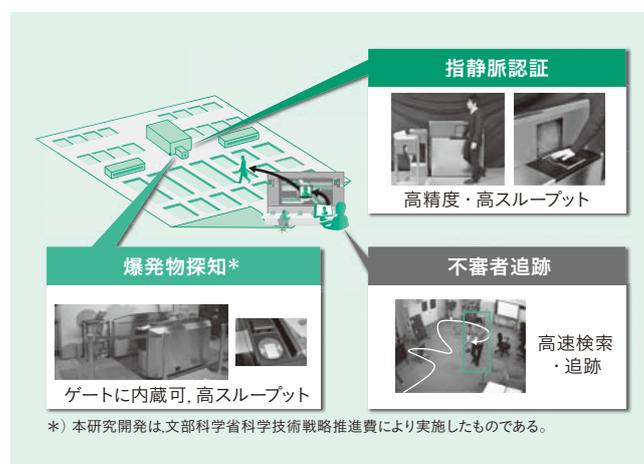


図8 | 社会インフラ向けフィジカルセキュリティ技術

不審者の侵入と危険物の持ち込みを未然に防止するとともに、事件発生時に対応するシステムを開発した。

である。日立では、指静脈パターンを用いた個人認証装置を製品化し、入退管理システムに適用している。また、認証精度を確保したまま、利便性を向上させるために、タッチパネル型指静脈認証装置、ウォークスルー型指静脈認証装置の試作を行った。これらは、アンコンシャス（無意識）な認証や、スループットの向上を実現し、作業員の負荷を低減しつつ厳密な管理を可能としている。

(2) に関しては、爆発物や危険な薬品の持ち込みを阻止するために、手荷物や身体を検査を行うことが必要となる。作業員すべてに対し、人手で上記の検査を行うことは手間がかかり現実的ではない。そこで、入退ゲートに質量分析器を実装した危険物探知装置を適用すると、ウォークスルーで危険物を検知することができる。本装置は、作業員に空気を当て、その空気を吸引し濃縮加熱し、質量分析器に投入する。これにより、作業員に付着した微量な粒子の質量スペクトルを観測することができ、付着物質を特定できる。

(3) に関しては、施設周辺の監視カメラのデータや入退時に撮影された画像データを蓄積しておき、異常事態が発生した際、膨大な画像データから手がかりを探し、迅速に対策を打つ必要がある。そこで、大量の画像データに対し、類似画像検索と呼ばれる、似ている画像を高速に検索するエンジンを適用し、断片情報から適切な画像データを検索する。これにより、不審人物や不審物を素早く発見することができ、被害最小化のための対策を打つことができる。

これらの技術を連携させ、統合的なフィジカルセキュリティシステムを構築することにより、浄水場設備のさらなる安全を保障することができる。

4. おわりに

本稿では、水道の安全な運用に貢献する監視制御・情報処理システムとして、将来のIoT普及や社会構造の変化を念頭に、設備機器と水質の安全に寄与する診断制御技術、および、情報システムセキュリティとフィジカルセキュリティの技術について述べた。これらは、主な適用対象である上下水道システムはもちろん、他の社会インフラと連携した健全性維持や運転支援の実現に向けても今後ますます有用な技術と考えている。より優れた自主技術・製品の開発とソリューション提案を通じて引き続き社会に貢献していく所存である。

参考文献など

- 厚生労働省：水道普及率の推移、
<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000077465.pdf>
- 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成24年1月推計）、
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/gh2401.asp>
- みずほ総合研究所：みずほレポート（2014.12）、
<http://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/report/report14-1210.pdf>
- 内閣サイバーセキュリティセンター：重要インフラ防護に関する内閣官房のこれまでの取組、
http://www.nisc.go.jp/active/infra/torikumi_past.html
- 厚生労働省：水道分野における情報セキュリティガイドライン（改訂版）（2008.3）、
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/houkoku/dl/guideline.pdf>
- 独立行政法人情報処理推進機構：2009-2011 ICS-CERTインシデントレスポンス・サマリーレポート概要（2012.8）、
<http://www.ipa.go.jp/files/000025084.pdf>
- 三宅：モデルベースによる水循環系スマート水質モニタリング網構築技術の開発、「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域 第3回公開シンポジウム「変化する世界の水問題解決に向けたCREST水利用プロジェクトの挑戦」講演集（2015.1）
- 中野，外：社会インフラを支える制御システムセキュリティ，日立評論，96，3，205～209（2014.3）
- JIPDEC（一般財団法人日本情報経済社会推進協会）情報マネジメント推進センター：制御セキュリティにおけるサイバーセキュリティマネジメントシステム（CSMS）認定・認証制度に関する文書の公表について、
<http://www.isms.jipdec.or.jp/csms/csmspublish.html>
- JPCERT/CC：Stuxnet - 制御システムを狙った初のマルウェア（2011.2）、
<https://www.jpCERT.or.jp/cs/2011/20110210-oguma.pdf>

執筆者紹介



横井 浩人

日立製作所 研究開発グループ 材料イノベーションセンタ
プロセスエンジニアリング研究部 所属
現在、上下水道向け水処理・制御技術の研究開発に従事
技術士（上下水道）
環境システム計測制御学会会員



渡辺 忠雄

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インフラシステム社
大みか事業所 電機システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在、上下水道監視制御システムの開発に従事



影広 達彦

日立製作所 研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センタ
顧客協創プロジェクト 所属
現在、画像処理、認識の研究開発に従事
博士（工学）
電子情報通信学会会員、情報処理学会会員、視聴覚情報研究会会員



陰山 晃治

日立製作所 研究開発グループ 材料イノベーションセンタ
プロセスエンジニアリング研究部 所属
現在、水環境システムの研究開発に従事
博士（工学）
環境システム計測制御学会会員



浅野 由花子

日立製作所 研究開発グループ 機械イノベーションセンタ
高度設計シミュレーション研究部 所属
現在、マイクロ流体システムの開発に従事
博士（理学）
化学工学会会員、化学とマイクロ・ナノシステム学会会員、
International Society for Pharmaceutical Engineering (ISPE) 会員



田所 秀之

日立製作所 電力・インフラシステムグループ インフラシステム社
大みか事業所 電機システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在、上下水道監視制御システムの開発に従事
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