

上下水道における共生自律分散コンセプトとエネルギー管理に向けた取り組み

田所 秀之
Tadokoro Hideyuki

藤井 健司
Fujii Kenji

武本 剛
Takemoto Takeshi

山野井 一郎
Yamanoi Ichirou

齋藤 仁
Saito Hitoshi

維持管理の時代を迎えている日本の上下水道事業では、インフラ老朽化、厳しい財政事情の中で安全・安心なサービスの持続が求められている。このため、上水道においては複数の事業者が連携することで効率化を図る広域化が、下水道では水防法などの改正によって河川管理との連携や、流総大改革によって流域全体の管理が推進されている。

このように、個々に運用管理されてきた部門がつながり、連携することで、全体としてのスマート化を図る取り組みは、共生自律分散のコンセプトとも親和性がある。その例として、日立は、水運用計画によるデマンドレスポンスの実証や、事業者間連携支援の検討を進めている。また、下水道分野では、広域連携に向けた要素技術として省エネルギー下水処理制御の実証に取り組んでいる。

1. はじめに

わが国の上下水道は、高度成長期以降に導入された設備が更新期を迎えており、人口減少社会の中、逼（ひっ）迫する財政の下で、安全・安心な水環境を維持しつつ、更新を進めていかねばならない。このため、水道事業者、下水道事業者個々の施策だけでなく、複数が連携、あるいは他の部門と協力して推進する動きが顕在化してきている。

例えば、上水道の場合、事業統合だけでなく、維持管理業務や水質試験業務の共同運営などの管理一体化、施設の共同化など、その業務の一部を連携させる多様な広域化が進められている¹⁾。

一方、下水道においては、近年頻発する豪雨に対処するため、2015年度の法改正によって河川管理者との連携が求められている²⁾。さらに、国土交通省が進める流総大改革では、流域全体としての水質やエネルギー消費について、その地域の実情を考慮して流域全体を総合的に管理する方向づけがなされている³⁾。

また、上下水道はエネルギー消費型セグメントである。それゆえ電力インフラと連携することで、省エネルギーに加えて、ピークカットやピークシフトによって都市全体のスマートなエネルギー活用を実現することも都市の社会インフラの一翼を担う上下水道にとって重要である。

社会インフラの情報制御システムにおいては、個々の事

業体や社会インフラセグメント内の効率、持続を求めて進化してきた。しかし、上下水道インフラは水循環系の構成要素であり、相互依存性があることから、これら複雑化する課題に対処するため、「共生自律分散」の視点が求められてくると考えている。これは、個別のシステムが自律的に動きながら「つながり」、「連携」することでシステム全体の新たな価値創出を図るものである。

本稿では、こうしたコンセプトの下で、水道分野におけるエネルギー管理に取り組んでいる事例を紹介する。また、下水道では、エネルギー管理に向けた要素技術として、下水処理プロセスの省エネルギー制御の事例を紹介する。

2. 上下水道事業における共生自律分散コンセプト

上下水道事業では、財務、人事、広報などの事務系システム、顧客窓口、検針、料金徴収といった営業系システム、さらには、プラント設備系の運転、維持管理を担う監視制御システムが浄水場、下水処理場、ポンプ場など、設備ごとに導入されてきている。従来は、これら個々のシステムが自己完結的にその機能を実現してきたが、前章で述べたような課題を解決すべく、相互に「つながり」、「連携」し、新たな価値を創出する共生自律分散のコンセプトを検討している。

図1は、プラント設備系監視制御システムを対象とした

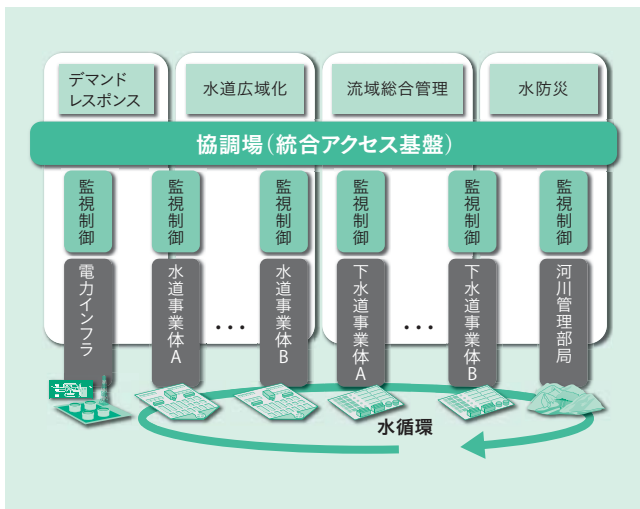


図1 上下水道監視制御システムにおける共生自律分散コンセプト
水道、下水道、河川の水循環に関連するシステム、さらには電力インフラが協調場を介して「つながり」、「連携」することで全体として新たな価値創出をめざす。

同コンセプトを示したものである。

水道事業者、下水道事業者、河川管理部局は、おののおで監視制御システムを有しており、浄水場、下水処理場、ポンプ場などの運転管理を行っている。これらのシステムは、閉じたシステムとしてそれぞれの業務に活用されてきている。現在、これらが「つながり」、「連携」する統合アクセス基盤の整備を進めている。共生自律分散コンセプトでは、このような情報共有のための基盤を「協調場」という。

この協調場を通じて水道事業者間の監視制御システムが相互連携し、水道事業の多様な広域化につなげることがができる。また、流域の下水道事業者のシステムが連携することで、流域総合管理をIT面から支援することが可能となる。さらに、河川管理部署のシステムと協調することで内水・外水の両者を考慮した総合的な水防災支援に発展させることができる。協調場を通じて電力インフラと上下水道事業が連携することで、デマンドレスポンス (DR: Demand Response) などのスマートな電力利用も可能になる。

次章では、協調場を活用して新たな価値を創出するシステム技術の成果として、水道分野におけるエネルギー管理の事例を紹介する。

3. 水道×電力インフラ間連携によるエネルギー管理

3.1 電力デマンドレスポンスと水運用計画

電力の安定供給のためにピーク時の電力をコントロールする仕組みとして、DRが検討されている (図2参照)。この仕組みでは、電力の需要家は、電力会社と直接的に節電量 (ネガワット) と時間帯を取り引きするアグリゲータ (複数の事業者の調整量をまとめて取り引きする事業者)

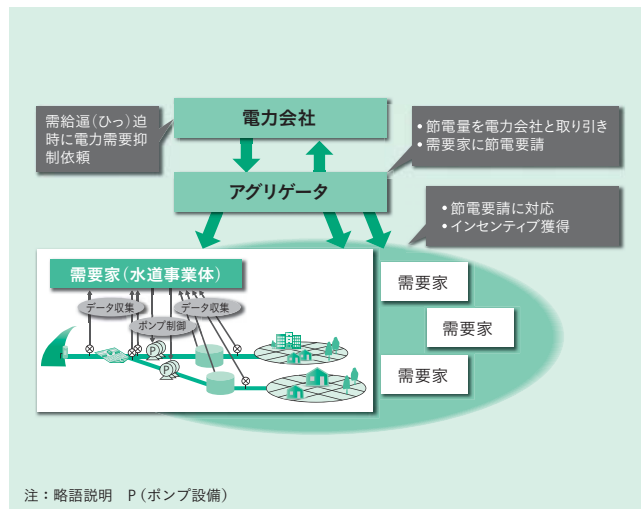


図2 電力デマンドレスポンスの概要

電力需要家 (水道事業者を含む) は、電力会社よりアグリゲータを介して電力削減要請を受け付け、対応し、実施状況に応じたインセンティブを獲得する。

を介し、電力消費削減量と期間の依頼を受け付ける。そして、節電の実施状況に応じてインセンティブ (対価) を受け取る⁴⁾。水道事業者が、電力の大口需要家の一つとしてこの仕組みに参加することが考えられる。このとき、水道事業者にとっては、水道水の安定供給が優先するため、それを阻害しない範囲で対応できることを見極める必要がある。

これを解決するため、水道分野で導入されてきている水運用計画システム⁵⁾を活用する (図3参照)。このシステムは、時々刻々変化する日々の水需要量を予測し、安定給水と省エネルギーを考慮して、水道事業者内の浄水場、取水・送水ポンプ施設の流量計画を策定する。このシステムにDRによる電力削減要請への対応機能を追加することで、安定給水を実現しながらもインセンティブ獲得が可能な運用計画を立案できる。

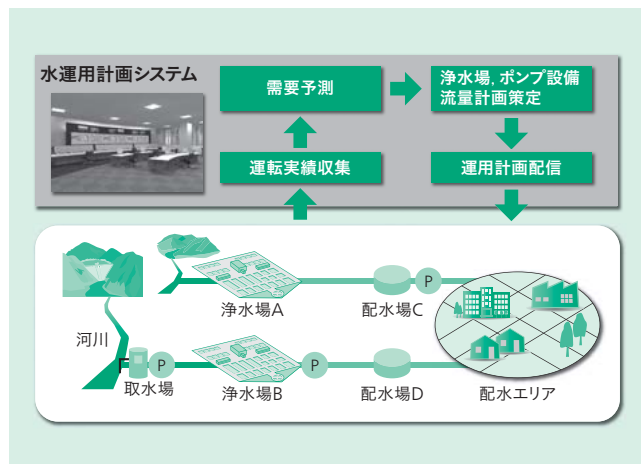


図3 水運用計画システムの概要

日々の水需要を予測し、水道事業者内の浄水場、ポンプ設備の流量計画を策定し、運用計画として配信する。

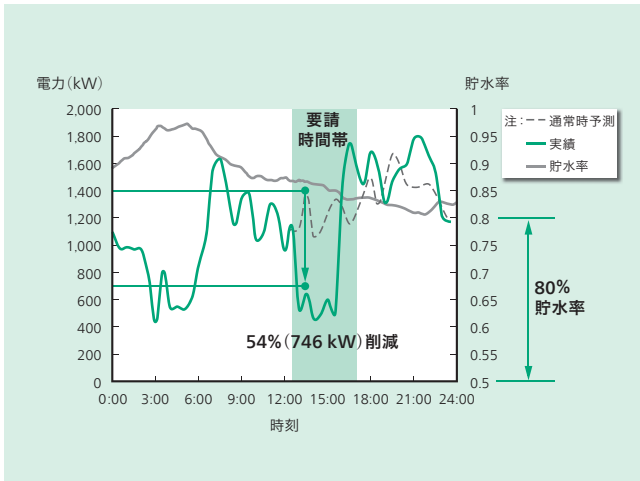


図4 | デマンドレスポンス実証試験の結果

夏期のFast DR (Demand Response) 実証試験の結果を示す。本例は13～17時の間の電力削減要請に対して実施したもので、80%以上の安定した貯水量を維持しつつ、要請に対応した電力削減ができた。

3.2 実証試験

水運用計画システム技術の活用により、水道施設のDR対応の可能性とその効果を検証するべく、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会の2014年度「次世代エネルギー・社会システム実証事業」に需要家として日立市企業局が参画した。実証試験であることから、アグリゲータからの要請はメールで配信するとともに、運用計画立案は監視制御システムとは独立したPC (Personal Computer) 上で立案して、その運用計画を手で確認し、計画に従ったポンプ設備の運転停止を、監視制御システムより手動操作で実施した。

本実証では、DR開始時間の15分前に削減要請が発動されるFast DRを想定し、日立市企業局の6施設（ポンプ18台、合計契約電力2,901 kW）を対象として4回実施した。このうち夏期に実施した結果を図4に示す。13～17時にDR要請に対応し、ピーク電力を54%削減するとともに、要請時間帯後も80%以上の貯水率を維持できた。

この実証試験により、水運用システム技術の活用で電力インフラと連携しつつ、水道水の安定供給と電力費の削減を両立することが可能である見通しを得た。

4. 事業者間連携への取り組み

新たな取り組みとして、上下水道事業者間が連携することで全体最適を実現するソリューションを開発している。一例として、複数の水道事業者が広域連携し、高いDR効果を実現する上水道連携支援ツールを紹介する(図5参照)。

このツールは、連絡管などで水融通可能な水道事業者を対象とし、前章に示したDR対応水運用計画について、より広域の範囲で実施することで全体最適(地域全体でのDR効果を最大化)となる運用計画を立案するものである。

このような運用計画は、連絡管を含めた複数事業者を1つの送水系として計画問題を解くことで立案可能であるが、問題が大規模化するために高速求解が難しくなるといった技術的な課題がある。これに加え、個々の水道事業者は独立した経営主体として水運用計画を実施しているため、一体システムの構築は難しいのが通常である。

上水道連携支援ツールは、各事業者の水運用システムと連携することでこれらの課題を解決する。すなわち、連携支援ツールは、境界条件(連絡管の水融通量)を、全体としてDR効果が改善する方向に逐次修正する。各事業者はその修正された境界条件の下でDR対応水運用計画問題を繰り返し解く。

上述のアルゴリズムにより、問題を大規模化することなく、各水運用システムの独立性を維持しつつ、全体としてDR効果が最大(厳密には近似的に最大)となる運用計画を高速に立案することができる。

試算例として、連絡管で相互接続された4都市の送水系を仮想したシミュレーション結果を図5に示す。このケースでは、4都市の事業者が連携運用したときのDR時間帯のトータル電力削減量は、個別運用の場合に比べて2倍程

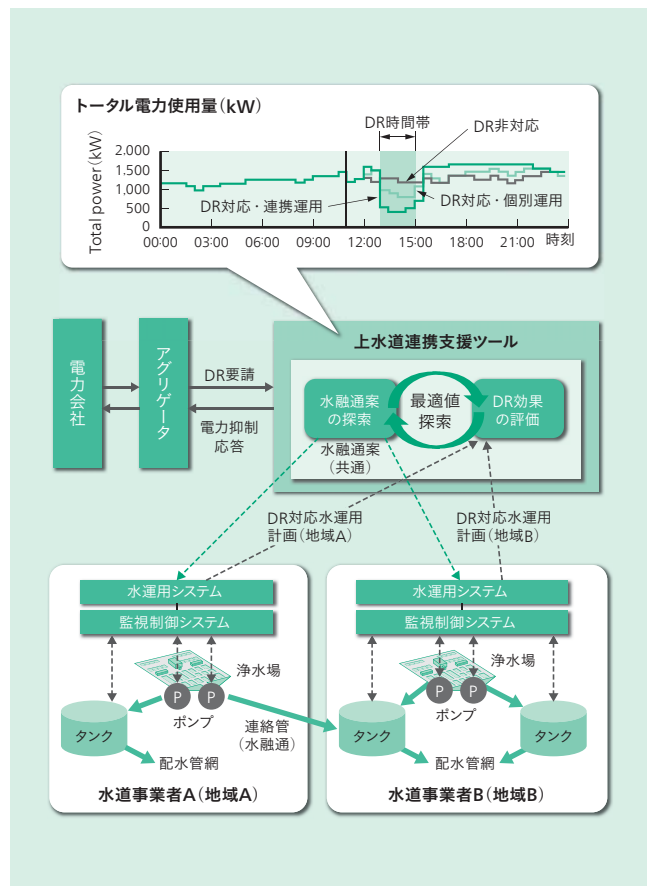


図5 | 上水道連携支援ツールの仕組みとDR要請時の電力削減効果
各事業者の水運用システムと連携し、各システムによる事業者別のDR対応水運用計画の立案と、本ツールによるその運用計画案に対する地域全体でのDR効果の評価およびそれを改善する水融通案の探索とを繰り返すことにより、DR効果を最大化した水運用計画を立案することができる。

度に増加することが確認できた。

これと並行して日立は、社会インフラ構築の投資対効果を事前検証するNEXPERIENCE/Cyber-PoC (Cyber-PoC)⁶⁾の開発を進めている。この上水道連携支援ツールの活用により、水道事業を広域化した際の水運用による省エネルギー効果の事前評価が可能であることから、上水道版NEXPERIENCE/Cyber-PoCを構築できると考えている。

5. 下水処理プロセスの省エネルギー制御

下水道事業においては、流域別下水道整備総合計画の改訂³⁾により、公共用水域の水質環境基準の達成・維持に加えて、省エネルギー化や広域連携を実現する高度な制御技術がますます求められている。

茨城県と日立製作所は、流域の省エネルギー化の実現に向けた基盤技術として、「ICT (Information and Communication Technology) を活用した効率的な硝化運転制御技術」のテーマで実証研究を行っている。本研究は、国土交通省の「下水道革新的技術実証事業 [B-DASH (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology) プロジェクト]」における、同省国土技術政策総合研究所からの委託研究であり、2014年度より茨城県霞ヶ浦浄化センターの一部の水処理系列において推進している。

5.1 開発制御方式の特長

この技術は生物反応槽へのブロワ送風量を制御することで、生物処理に共通する硝化 (アンモニアを酸化除去する工程) 運転を適正に管理する技術であり、アンモニア濃度の目標達成後の過剰送風の抑制による動力費の低減、さらに水質の安定化、維持管理効率化を図るものである。

実証中の制御システム⁷⁾の概要を図6に示す。生物反応槽の好気槽下流側の溶存酸素 (DO: Dissolved Oxygen) 計に加え、好気槽よりも上流側と、好気槽中間に設置したアンモニア計 [おのおのアンモニア計 (1), (2)], ならびに流量計を用いる。制御ループは、アンモニア計 (1), (2) で計測するアンモニア濃度を入力としたフィードフォワード (FF: Feedforward) と、アンモニア計 (2) を用いたフィードバック (FB: Feedback) の組み合わせから成る。

FF制御では、まずアンモニア計 (1) の濃度計測値と、処理水アンモニア濃度目標値から、好気槽中間のアンモニア濃度を予測する。次にこの2つの値の差分、つまり上流から中間点までに処理すべきアンモニア濃度 (処理アンモニア濃度) より、今回開発した処理特性モデルでブロワ風量を決定する。

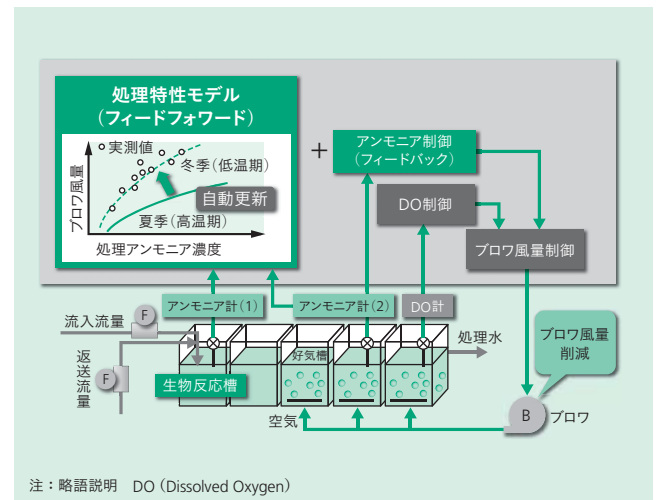


図6 | 省エネルギー硝化運転制御の概要

好気槽の中間地点および好気槽より上流側に設置する2つのアンモニア計をセンサーとして用い、処理特性モデルによる予測と実測値を組み合わせた制御機能、処理特性モデルの自動更新機能、処理特性の見える化機能により、水質維持と風量削減を実現した。

FB制御では、好気槽中間点のアンモニア濃度予測値とアンモニア計 (2) による実測値との偏差をフィードバックしてブロワ風量を決定する。

FB制御にFF制御を組み合わせることで、流入変動への追従性向上や処理の安定化、風量の適正化を実現する。

FF制御の処理特性モデルは、2点のアンモニア計とブロワ風量の実測値から作成している。また、このモデルは最新の計測値で日々自動更新されるため、下水プロセスの処理特性の変化に追従が可能であり、維持管理の効率化にも寄与している。

5.2 実証実験

実証実験は、茨城県霞ヶ浦浄化センターの凝集剤併用型循環式硝化脱窒法のNo.5, No.6池で実施した。風量制御方式は、No.5池に開発制御を導入して実証系とし、No.6池では、現状と同様に好気末端である3槽目のDO濃度を一定とするDO一定制御を行い、これを対照系とした。ここで、対照系のDO設定値は現在の運転目標値である2.0 mg/Lのままとし、開発制御を導入した実証系は処理水アンモニア濃度の平均値を1.0 mg-N/L以下として、現状同様の硝化促進を目標とする運転とした。

両池へ送風した風量 (以下、「曝 (ばっ) 気風量」と記す。) の時間履歴を図7に示す。すべての時間帯で開発制御による曝気風量は対照系のそれを下回っている。一方で処理水アンモニア濃度は実証系で0.3 mg-N/L、対照系で0.1 mg-N/Lであり、対照系と同様に、実証系においても硝化促進運転の目標である処理水アンモニア濃度の平均1.0 mg-N/L以下を達成している。

対照系に対する開発制御の曝気風量比は77.7%であっ

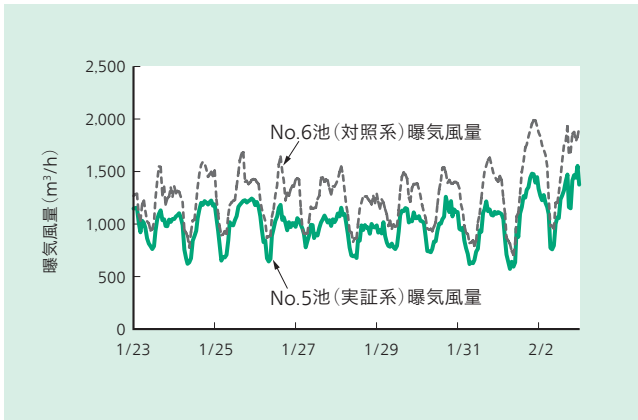


図7 実証実験の曝気風量

補正後の曝(ばっ)気風量比は85.9%となり、開発制御(実証系)によって従来のDO一定制御(対照系)に対して曝気風量を14.1%低減できた。

た。No.5池(実証系)はNo.6池(対照系)と比較して同じ濃度のアンモニアを処理する際に必要な曝気風量が少ない傾向があり、必要酸素量および散気効率を考慮した補正方法を検討した⁸⁾。この結果、補正後の曝気風量比は85.9%となり、開発制御によって従来のDO一定制御に対して曝気風量を14.1%低減できることが分かった。

2015年度も実証実験を継続し、開発制御の長期的な安定性を評価している。

6. おわりに

本稿では、上下水道における共生自律分散のコンセプトに従い、複数の事業主体が「つながり」、「連携」することでの全体最適に向けた取り組みを、ならびにその要素技術の例として、エネルギー管理、省エネルギー性に関する成果を述べた。

安全・安心・快適な水循環の持続に貢献すべく、同コンセプトの下に、引き続き各種のソリューションの充実を図っていく所存である。

謝辞

本稿で紹介した実証成果は、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会、日立市企業局との実証事業、ならびに国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究で茨城県との共同研究体によるものである。関係各位に謝意を表す。

参考文献など

- 1) 公益社団法人日本水道協会：水道広域化検討の手引き－水道ビジョンの推進のために－(2008.8)
- 2) 橋：水防法等の一部を改正する法律の概要について、下水道協会誌(2015.8)
- 3) 国土交通省、流総計画再構築検討会、http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo_sewage_tk_000311.html
- 4) 経済産業省、デマンドレスポンス(Demand Response)について、http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku_system_kaikaku/002_s01_01_05.pdf
- 5) Tadokoro, et al.: Development of Water Supply Control System for Energy Saving and Stable Water Supply, Proceeding IWA-ASPIRE (2013.9)
- 6) 鈴木：顧客と課題を共有し、新たなソリューションを協創－社会イノベーション協創センター、日立評論, 97, 6-7, 340~341 (2015.7)
- 7) 山野井, 外：アンモニアセンサを活用した高効率硝化制御システムの開発, 第51回下水道研究発表会講演集, p. 598~600 (2014)
- 8) 西田, 外：アンモニア計を活用した効率的な硝化制御システムの実証研究, 学会誌「EICA」, Vol. 20, No. 2・3, p. 31~35 (2015)

執筆者紹介



田所 秀之

日立製作所 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



藤井 健司

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター
インフラシステム研究部 所属
現在、上下水道向け情報制御システムの研究開発に従事
電気学会会員



武本 剛

日立製作所 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)
化学工学会会員、電気学会会員



山野井 一郎

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ー
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



齋藤 仁

日立製作所 インフラシステム社 水・環境ソリューション事業部
社会システム本部 事業企画部 所属
現在、上下水道システムの事業推進に従事