

# 下水道における雨水リスク対応技術

下水道は、都市の水循環を司る重要な都市インフラであり、浸水防止や公衆衛生の向上、公共用水域の水質保全といった役割を担っている。近年では、これらの役割に加え、消費エネルギーの低減や運転管理の効率化のニーズも高まってきている。

日立グループでは、このようなニーズに対応する技術の開発とソリューション提供を積極的に進めている。最新の取り組みとして、雨天時の浸水リスクや水質汚濁リスクの低減を目的に、都市型洪水（内水氾濫）と未処理放流に対応する運転支援・制御技術の開発を進めている。これにより、国内外で一層重要性が増す下水道への貢献を図っていく。

西田 佳記 | Nishida Yoshinori

圓佛 伊智朗 | Embutsu Ichiro

田所 秀之 | Tadokoro Hideyuki

畑山 正美 | Hatayama Masayoshi

## 1. はじめに

日本は高い処理水質レベルの維持、運営の安定性などについて世界でも高水準の下水道事業が実現されている国の一つである。そのうえで、今後増加する施設更新、住民からの要求レベル上昇、若年技術者の減少、さらには近年頻発するゲリラ豪雨といった気候変動など、事業環境や自然環境の変化に対して、関連省庁や事業者が将来に向けた施策を推進し、水準維持を図ろうとしている。

このような動向に対して、日立グループは下水道も含めた水環境の新たなニーズに即した技術とシステムの開発に注力し、国内ユーザーはもとより、海外貢献も視野に入れたソリューション提供を進めようとしている。

本稿では、特に下水道における雨水リスク低減に貢献

する運転支援・制御技術の取り組みに焦点を当てて紹介する。

## 2. 日立の下水道監視制御ソリューション

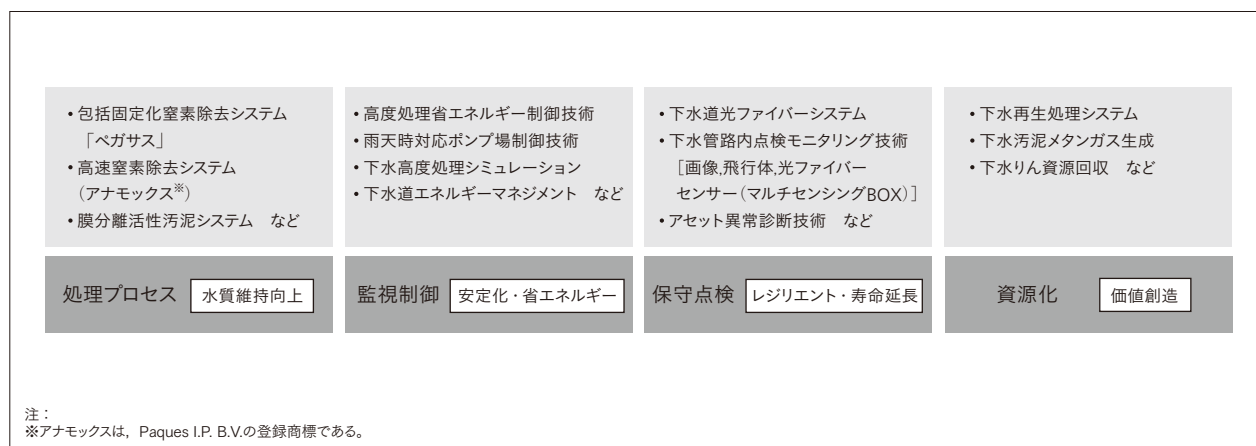
### 2.1

#### これまでの開発概要

下水道に関するフィールドは、日立グループが従来から技術開発に注力している分野である。図1に示す下水道に関わる四つの領域、すなわち、処理プロセス、監視制御、保守点検、資源化を網羅する広範なソリューションを提供するため、これらに関わる現象を模擬して評価・予測するシミュレーション技術やプロセス監視制御技術などを開発し、製品に直接的または間接的に反映してきた。近年では、下水処理におけるアンモニア除去を対象に、目標水質の安定的達成、消費電力低減、維持管理業

図1 | 日立の下水道向けソリューション群

日立は、下水道の環境負荷低減と価値創造に向けた広範な下水道対応ソリューションを提供する。なお、図中のソリューションには開発中・実証中のものを含む。



務の軽減を目的としたブロウ風量制御技術を開発した。この制御技術は、2014～2015年度にわたり国土交通省「下水道革新的技術実証事業 (B-DASHプロジェクト)」において実証し、同省国土技術政策総合研究所より技術導入ガイドライン (案)<sup>1)</sup> が発刊された。

## 2.2

### 新たな取り組みとしての雨水リスク対応技術

新たな取り組みとして、ゲリラ豪雨などの気候変動に伴い、今後さらに必要性が高まると想定される、雨天時の対応技術の開発を進めている。雨天時には、都市域の内水氾濫や下水道施設の水没といった浸水リスクに加え、CSO (Combined Sewer Overflow: 合流式下水道越流水) や下水処理場での簡易処理放流に由来する放流先水域での水質汚濁リスクが懸念される。これらの雨水リスク低減を目的に、貯留施設の設置や分流化などのハードウェア対策が中心に進められてきた<sup>2)</sup>。一方、下水を排除するための施設であるポンプ場や、下水処理場における運用改善などのソフトウェア対策は、経済性に優れた手法として導入が進むものと期待される。日立グループでは、これまでの開発技術も活用し、雨水リスク対策向けデジタルソリューションの開発を進めている。次章以降で、取り組みの状況について述べる。

## 3. 雨水リスクを低減する 下水ポンプ場向けソリューション

本章では、処理区域での浸水リスクや施設水没リスク、水質汚濁リスクを考慮した下水ポンプ場向けソリューションについて述べる。

## 3.1

### 下水ポンプ場動的シミュレータ

合流式下水道における下水ポンプ場では、雨天時の流入流量の増加に関わる複数のリスクに対応して、時々刻々と変化する流入状況を判断しながら運用が行われている。第一義的には、下水処理区に降った雨水を速やかに排除して、当該区での浸水防止を優先しなければならないが、降雨レベルによっては、下水ポンプ場の水没、未処理簡易放流による環境汚濁負荷の増大などのリスクにも同時に対応できる運用が求められる。

こうした複数のリスクを考慮した下水ポンプ場の運用を実現するために、日立製作所では下水ポンプ場動的シミュレータを開発した<sup>3)</sup>。このシミュレータは、ポンプ場の施設や機器の仕様を詳細に反映した要素モデル群を実装したものである。ポンプ場への予測流入量を入力とし、各種の制御方策 (流入先行制御、遮集水量制御、汚水高級処理量との連携制御など) でポンプ制御した場合のリスク (処理区浸水、ポンプ場水没、放流汚濁負荷増加、消費エネルギー増加など) を定量的に評価し、ギリギリの判断が迫られる雨天時のポンプ起動停止タイミングや吐出量の決定を効果的に支援することが可能となる。

## 3.2

### 下水ポンプ場向けガイダンスシステム

前述の動的シミュレータを活用した下水ポンプ場向けデジタルソリューションとして、ガイダンスシステムを開発中である。ガイダンスシステムの機能は、(1) 運用ガイダンス機能と (2) 計画・訓練ガイダンス機能から構成される。運用ガイダンス機能では、下水道光ファイバー網を通じて送られてくる流入流量や管渠 (きょ) 内水位などのオンラインデータを用いて、時々刻々と変化

する状況に合わせた適切なポンプ運用（起動停止，吐出量調整など）を提示する機能を実現する。また，計画・訓練ガイダンス機能は，過去降雨時の雨量データやポンプ場運転実績などを活用し，想定した制御方策での運転結果を動的シミュレータで評価することを想定している。

運用ガイダンス機能の概要を図2に示す。入力としては，レーダー雨量情報であるXRAIN<sup>※</sup>実況値や予測値，下水道光ファイバーで伝達された降雨量や幹線水位の実況値などを想定している。この入力データに基づいて，ポンプ場動的シミュレータを実行し，ガイダンスソフトを介して，運用ガイダンスを提示する。また，将来的には，下水流入予測や浸水シミュレーションを実行する外部ソフトウェアとの連携を実現する計画である。

図3は計画・訓練ガイダンス機能の概要を示す。入力としては，想定する降雨パターンや各種制御モードでのポンプ運用条件（起動停止タイミング，吐出量ほか）などである。これらの入力データに基づいて，ポンプ場動的シミュレータを実行し，ガイダンスソフトを介して，運用ガイダンスを提示する。また，将来的には，下水流入予測や浸水シミュレーションを実行する外部ソフトウェアとの連携を実現する計画である。

※) XRAINは，国土交通省国土技術政策総合研究所の登録商標である。

的シミュレータをオフラインで実行し，ガイダンスソフトを介して，計画・訓練のためのガイダンスを提示する。想定される降雨パターンや条件での事前シミュレーションを実施しておくことで，降雨パターンごとの望ましいポンプ運用事例を蓄積できる。これにより，実際の降雨時の迅速な対処や雨水リスクの事前評価，既設の雨水関連施設での対応限界や施設改造計画などの基礎判断材料を取得可能とする。

本システムのポンプ運用ガイダンスGUI（Graphical User Interface）の例を図4に示す。このGUIにおいては，降雨量や雨水ポンプ井の現況値などを確認しながら，雨水ポンプに対する制御モードを選択する。さらに必要な制御条件を入力後に，動的シミュレータを実行し，結果を画面中央のガイダンスエリアに提示する。この例では，所定時間先までの雨水ポンプ吐出量の推奨値や，各雨水ポンプの起動停止タイミングに関する情報などを視認しやすく表示している。こうしたガイダンスにより，ポンプ場オペレーションの判断を適切に支援するだけでなく，運用ノウハウの継承にも役立つことを期待している。

図2| 運用ガイダンス機能の概要

降雨情報や幹線水位の情報をポンプ場動的シミュレータに入力し，ガイダンスソフトを介して運用ガイダンスを提示する。

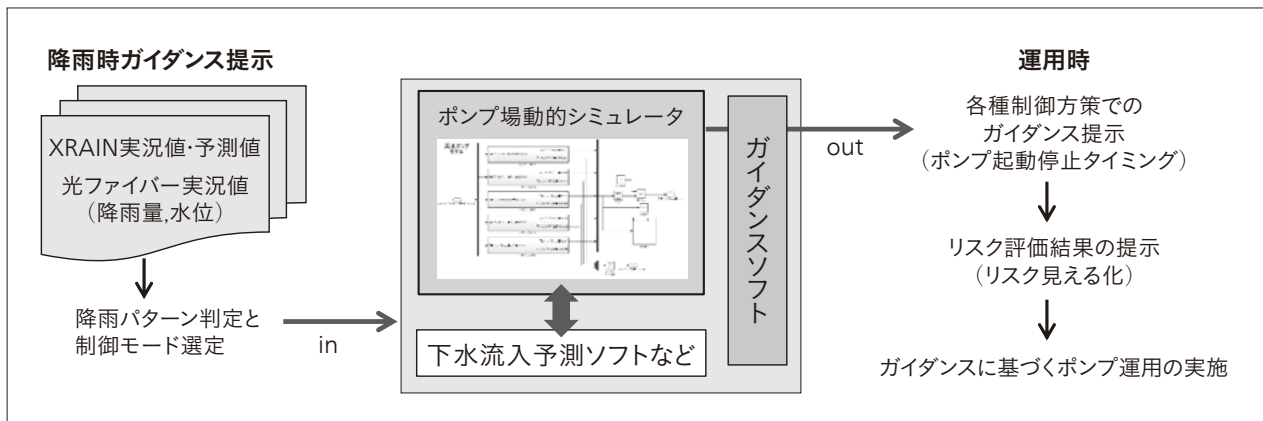


図3| 計画・訓練ガイダンス機能の概要

想定される降雨パターンや各種ポンプ運用条件での事前シミュレーションを実施することで，望ましい運用事例を蓄積する。

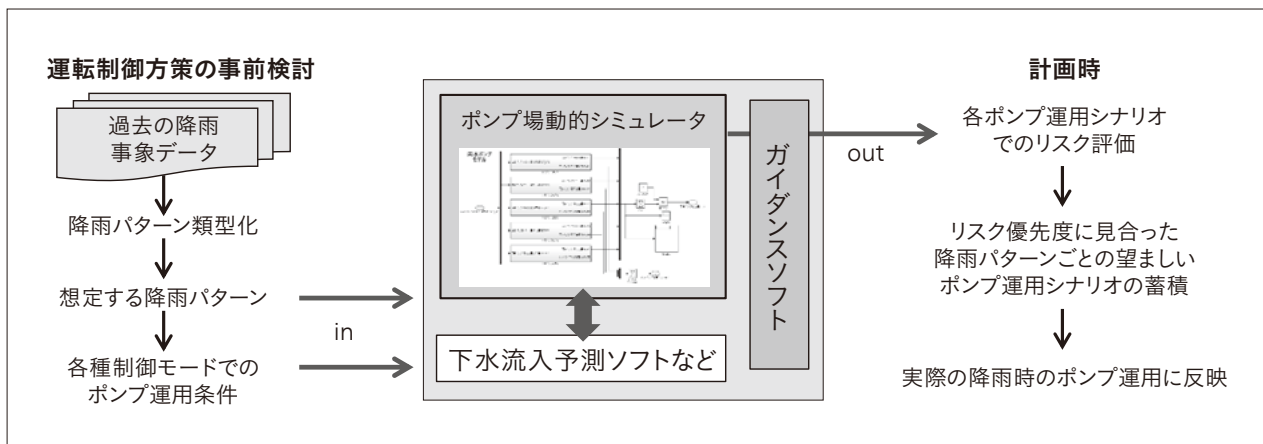
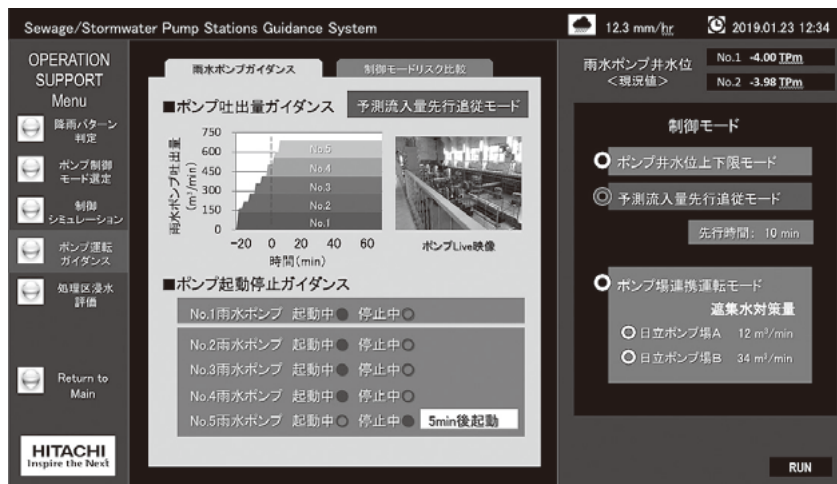


図4 | ポンプ運用ガイダンスGUIの例

降雨情報や施設運転状況を表示するとともに、各種制御モードに対するシミュレーション結果を表示することで、オペレーション判断を適切に支援する。



## 4. 放流汚濁負荷を低減する雨天時下水処理制御

下水処理場では、雨天時に流入水量が増加した際、一部の下水が生物処理を経ずに放流される場合があります。放流先水域の水質改善や、衛生的安全性の担保が課題となる。これらの課題に対して、生物反応槽での処理水量（以下、「二次処理水量」と記す。）を最大限確保し、放流汚濁負荷の低減を図る手法<sup>4)</sup>などが実施されている。日立製作所では、二次処理水量増大時のボトルネックである最終沈殿池からの汚泥流出を抑制し、安定的な運転に寄与する雨天時下水処理制御技術を開発中である。

### 4.1

#### 雨天時下水処理制御技術の概要

本技術は、最終沈殿池内の汚泥沈降モデルにより汚泥

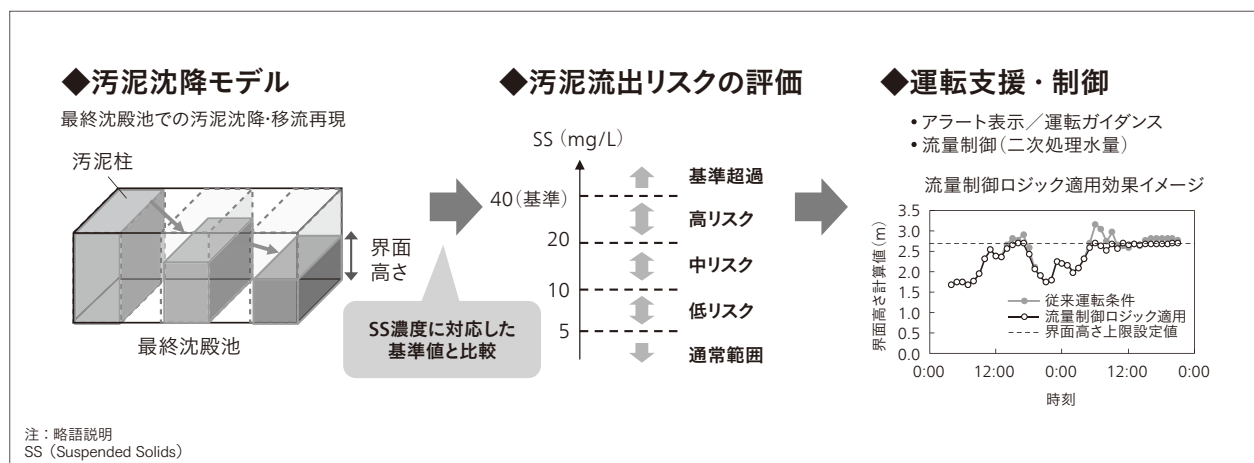
流出リスクを評価し、運転管理や運転制御に反映するものである（図5参照）。

汚泥沈降モデルでは、単位時間当たり最終沈殿池に流入した活性汚泥塊を一つの汚泥柱と定義する。そして、最終沈殿池内の汚泥柱の移流や界面下降を模擬し、汚泥流出リスク指標として最終沈殿池末端での汚泥界面高さ（以下、「界面高さ計算値」と記す。）を算出する。そして、汚泥流出リスクを評価し、アラート表示や運転ガイダンス、二次処理水量の制御に反映する。

二次処理水量の制御ロジックは、汚泥沈降モデルによる界面高さ計算値が界面高さ上限設定値を超過しないように、二次処理水量の上限値を算出するものである。これにより、最終沈殿池からの汚泥流出を抑制しつつ、二次処理水量を最大化でき、放流汚濁負荷低減を図る。

図5 | 雨天時下水処理における運転支援・制御システム(イメージ)

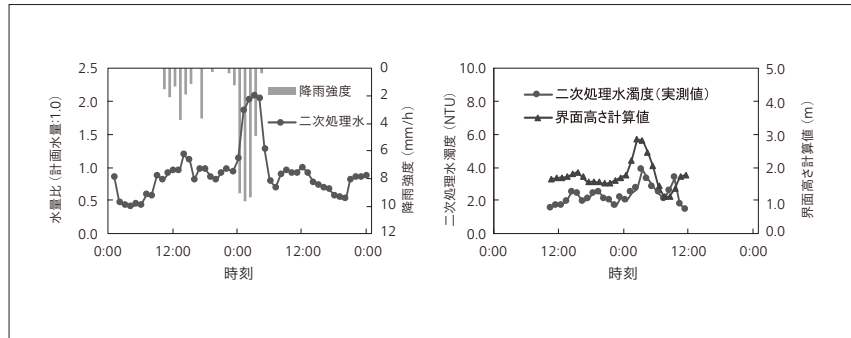
最終沈殿池における汚泥沈降モデルに基づき、汚泥流出リスクを評価し、運転支援・制御に反映する。それにより、汚泥流出を抑制しつつ、放流汚濁負荷低減を図る。





## 図6| 汚泥沈降モデルによる評価結果の例

汚泥沈降モデルによる界面高さ計算値により、汚泥流出（二次処理水濁度の上昇）の傾向を検知できる見通しを得た<sup>5)</sup>。



## 4.2

### 汚泥沈降モデルおよび制御ロジックの検討

これまで、実際の下水処理場での雨天時処理データを用い、汚泥沈降モデルおよび制御ロジックの机上検討を実施した<sup>5)</sup>。

汚泥沈降モデルによる計算結果の例として、図6に下水処理場Aでの雨天時処理データ、および界面高さ計算値を示す。水量増加時に二次処理水濁度が高くなっており、界面高さ計算値も追隨して上昇していた。このように、汚泥沈降モデルにより、二次処理水濁度の上昇傾向を検知できる見通しを得た。

流量制御ロジックの適用効果については、図5に示したように界面高さを所定値以下に維持でき、汚泥流出リスクを低減できる試算結果を得た。また、返送流量など運転条件変更による放流汚濁負荷低減効果の増大についても試算結果より確認した。

今後、実施設の運転データ取得やパイロット装置での検証を通じて、制御技術の構築を進め、雨天時下水処理における水質維持、放流汚濁負荷低減、運転効率化に貢献していく。

## 5. おわりに

下水道インフラを取り巻く環境は、時代とともに変わりつつあるが、その重要性は不変である。日立グループでは、事業環境や自然環境の変化に対応し、下水道の安全、安心、効率化に寄与するソリューション開発を進めている。今後も、さらなる技術開発に注力し、監視制御技術やデジタルソリューションを通じた都市水循環への貢献を一層進めていきたい。

### 謝辞

本稿で述べた下水ポンプ場向けソリューションは広島市B-DASHプロジェクト自主研究の一環で実施したも

の、また雨天時下水処理制御については国立大学法人京都大学大学院工学研究科・田中宏明研究室との共同研究の一環で進めているものであり、関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

### 参考文献など

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0938.htm>
- 2) 国土交通省：下水道部重点施策, <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/11pro/>
- 3) 圓佛伊智朗, 外：ポンプ場動的シミュレータを応用した雨水リスク対策技術の検討, 公益社団法人日本下水道協会, 第55回下水道研究発表会講演集, pp.365~367 (2018.7)
- 4) 山本高弘, 外：大阪市における既存施設を利用した合流式下水道の改善—雨天時下水活性汚泥処理法の開発と実用化—, 学会誌「EICA」, Vol.10, No.2, pp.8~13 (2005)
- 5) 西田佳記, 外：放流汚濁負荷を低減する雨天時下水処理制御技術の開発, 公益社団法人日本下水道協会, 第56回下水道研究発表会講演集 (2019.8) (掲載予定)

### 執筆者紹介



#### 西田 佳記

日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンター  
産業システム制御研究部 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  
環境システム計測制御学会会員



#### 圓佛 伊智朗

日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンター  
産業システム制御研究部 所属  
現在、上下水道・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, 電気学会会員,  
日本水環境学会会員



#### 田所 秀之

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット  
制御プラットフォーム統括本部 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に従事  
技術士(情報工学, 上下水道, 総合技術監理)  
電気学会会員, 環境システム計測制御学会会員,  
計測自動制御学会会員



#### 畑山 正美

日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部  
技術開発部 所属  
現在、上下水道システムの研究開発企画業務に従事  
博士(工学), 技術士(上下水道)