導水式無閉塞水流発生装置（AS）のスカム堆積抑制効果について（その4）

東京都下水道サービス(株)　○木本　温敬
イービストレード(株)　寺井　健太　　エビスマリン(株)　中村　光
八千代エンジニヤリング(株)　後藤　早苗

1．はじめに

東京都墨田区、江東区の大部分を下水処理区に持つ砂町水再生センターでは、浮上性の高いスカムが最初沈殿池及び導水渠で大量発生し、既存のスカム収集設備の処理能力を超えるスカムが堆積する（写真－1）。

堆積したスカムは、人力による掻き寄せ作業（写真－2）やバキューム車による吸引、搬出等の対応に苦慮しているほか、高濃度硫化水素による作業環境悪化等が課題である。この課題に対してスカムを堆積させないために、点検口に容易に設置可能な小型の「導水式無閉塞水流発生装置（アクアストリーマー）（以下「AS」という。）を開発し、実用化している。

今回は、赤外線カメラで取得した水路内のスカム画像をリアルタイムで解析し、スカム堆積の有無を数値化することによりASの運転・停止（ポンプの発停）の判定を行った。スカム堆積状況に応じた的確な装置の運転制御方式について検証し、評価を行ったので報告する。



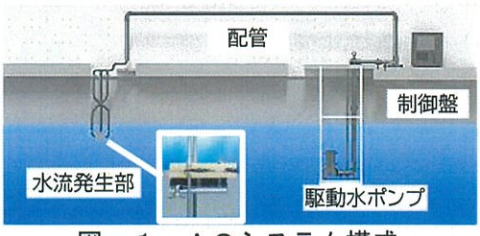
写真－1　スカム堆積例



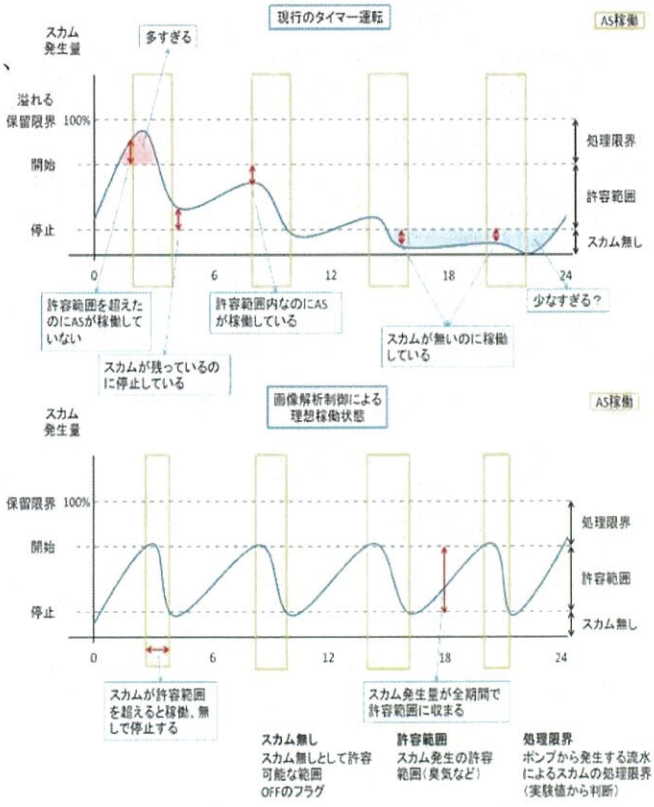
写真－2　スカム清掃状況

2．ASシステム概要

ASシステムは、駆動水ポンプ（以下「ポンプ」という。）、水流発生部、配管、制御盤等により構成される（図－1）。ポンプから取水した最初沈殿池汚水を駆動水として屋外配管により圧送し、水流発生部のノズルから噴射することで水路周囲の水を引き込む「導水効果」により大量の水を下流側へ送り込む。しかし、このASシステムはタイマー制御であるため、タイマー制御では「スカムが堆積しているにもかかわらず装置が停止している（除去不足）」、あるいは「スカムが堆積していないにもかかわらず装置が稼働している（非効率な運転）」となることが課題である（図－2）。水表面を赤外線カメラで撮影し、得られた映像から画像解析によりスカム堆積状況を数値化し、発停を行う制御システムを適用した。



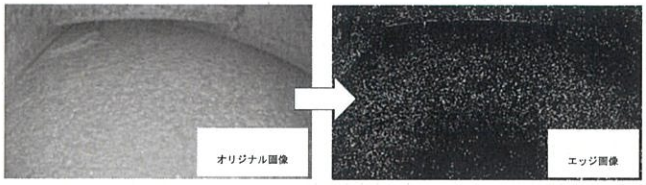
図－1　ＡＳシステム構成



図－2　タイマー運転と画像解析制御運転

3．解析方法

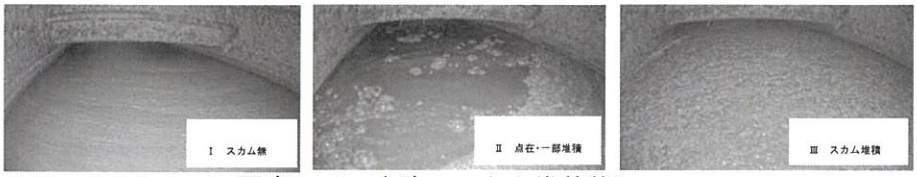
本研究の解析対象画像は赤外線カメラによるグレースケール画像である。スカム発生箇所は光源がないことから目視では判断できない。スカムの有無を把握するため、画像の明るさが不連続に変化する箇所を特定して物体の輪郭や特徴を検出する「エッジ検出」技術を採用した（図－3）。グレースケールの画像から輝度が急激に変化している部分をエッジ(輪郭)として検出する。抽出したエッジは白色で表示されることから、画像全体に対する白色の占有割合を「エッジ割合（以下「WB値」という。)」としてスカム量を数値化した。現場におけるスカム堆積状況による分類（7区分：①～⑦）を設定し、それらの分類をもとにAS発停制御のための分類（4区分：Ⅰ～Ⅳ）を設定した（表－1)。また、表－1で分類した水路におけるスカム堆積状況の例を写真－3に示す。



図－3　水路の解析画像

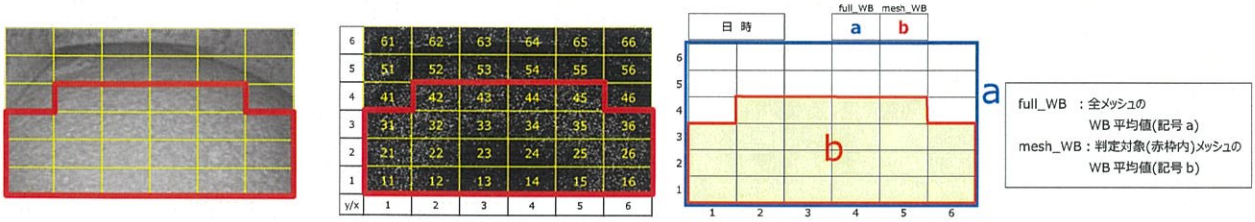
表－1　スカム堆積状況の分類

現場におけるスカム堆積状況による分類	AS 発停制御のための分類	
7 区分	4 区分	AS 制御
①スカム無	Ⅰ スカム無	AS 停止
②点在	Ⅱ 点在・一部堆積	AS 待機
③一部堆積		
④全面膜状	Ⅲ スカム堆積	AS 運転
⑤全面堆積		
⑥水蒸気発生	Ⅳ 水蒸気発生	-
⑦除外	-	-



写真－3　水路のスカム堆積状況

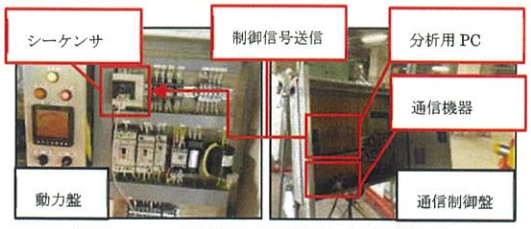
画像解析範囲はカメラ画像全面を対象とすることで、水面以外の躯体や設備等のエッジ量が加わり、スカム有無の判定精度低下の原因となる。そこで、カメラ画像に対してメッシュを作成し、躯体や設備等が写った範囲を対象外とすることで、水域のメッシュのみを解析対象とする判定システムを構築した（図－4)。これにより、カメラ設置地点変更に伴う背景や周辺機器が変化しても対象とするスカムの堆積状況のみを的確に解析することができる。



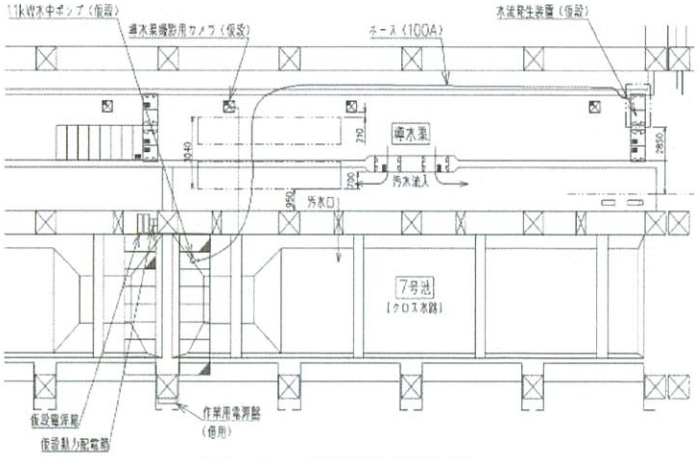
図－4　メッシュ化イメージ

4．AS 運転検証

現場への機材設置作業を行い、機器及びプログラムが動作することを確認した（図－5、6)。設置した機材へのリモート接続が可能なよう設定を行い、遠隔地からの稼働状況確認や設定変更が可能なことを確認した。



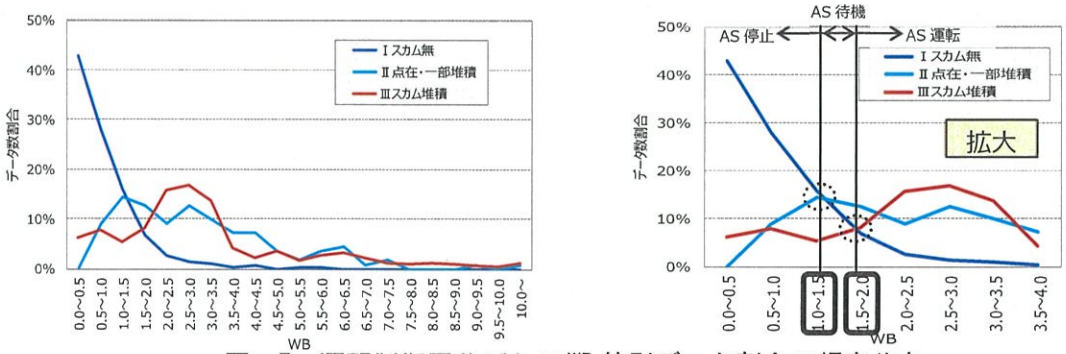
図－5　現場に設置した仮設盤



図－6　機器設置位置

5．検証結果及び考察

AS の発停制御では、スカム有で稼働、スカム無で停止することから、スカム有無の境界値を閾値として解析結果を制御システムへ送信する。まずは、閾値を設定するため、試運転時の 2024/10/23～11/4 に解析対象として取得した 10 分毎の画像 1659 枚について、スカム堆積状況を表－1 に基づき目視にて分類を行った。その後、WB 値別データ割合の頻度分布に整理（図－7）し、ON/OFF 制御の閾値を決定した（表－2）。



図－7　運転制御区分ごとの WB 値別データ割合の頻度分布

表－2　決定した ON/OFF 制御の閾値

スカムの状態と WB の値	AS 運転制御
「スカム無」と「点在・一部堆積」との交点（WB=1.5 未満）	OFF
上記及び下記の間である WB=1.5～2.0	待機
「スカム無」と「スカム堆積」との交点（WB=2.0 以上）	ON

表－3　決定した ON/OFF 制御の閾値

WB値	Ⅰスカム無	Ⅱ点在・一部堆積 Ⅲスカム堆積
0.0～1.5	86.7%	19.9%
1.5～2.0	6.8%	8.7%
2.0～	6.5%	71.4%
合計	100%	100%

表－3 に目視で分類した画像に対する閾値の精度を示す。WB 値＜1.5 の画像で「スカム無」に分類された割合は 86.7%に達し、AS を停止させる指標の精度として十分な精度を得た。一方、AS を運転する必要があるスカムがある状態である「スカム有」「待機」は、WB 値≧1.5 で計 80.1%を占めており、スカムの存在により的確に運転開始の制御命令を指示する精度を確保できていることが確認できた。

この閾値をもとに 2024/11/11～12/2 に実証運転を行ったところ、WB 値の推移と目視によるスカムの堆積状況は概ね合致していることが確認できた。

6．おわりに

今回の検証では、画像解析による自動運転制御機能を導水式無閉塞水流発生装置（AS）に付加し、スカム堆積状況に応じて的確に運転制御を行えるかを検証した。設定した閾値では、AS 発停制御区分ごとの判定精度が高いことを確認した。現状タイマーで運用している AS をスカム堆積状況に応じて自動発停することで消費電力節減も期待できるが、一方で本運用に向けたハードウェアやソフトウェアの構成の見直しなど新たな課題も確認した。今後も、本装置の利便性や経済性向上等のため、開発技術の更なる研鑽に取り組んでいく。なお、本調査の実施にあたり、ご協力を頂いた東京都下水道局に心から感謝の意を表する次第である。

参考文献

1）後藤早苗、遠藤幹大、沼田太郎：下水処理施設における画像解析を用いた堆積スカム除去装置発停制御システム（2025）

2）兼子清隆、池田恵一ほか：導水式無閉塞水流発生装置(AS)のスカム堆積抑制効果についてその 3(2022)

問合わせ先：東京都下水道サービス(株)　技術部技術開発課　設備技術開発担当　木本　温敬
電話番号：03-3241-0961　E-mail：yasuyuki-kimoto5@tgs-sw.co.jp