

水処理・脱水・消化における初沈汚泥の投入効果について

神戸市建設局東水環境センター施設課 ○上城 博宣・岡野内 晃代

1. はじめに

神戸市東灘区にある東灘処理場の施設概要や2023年度の処理量は表1に示すとおりであり、東灘処理場では、最初沈殿池汚泥（以下、初沈汚泥）の移送先として、(1)生物反応槽、(2)脱水給泥ピット、(3)消化タンクの3ルートが存在する。各ルートにおける初沈汚泥の投入効果は、(1)放流水の全リン濃度低下、(2)脱水ケーキの含水率低下、(3)消化ガス発生量増加であり、初沈汚泥の有機分や纖維分が運転に好影響をもたらしていると考えている。限られた量の初沈汚泥を効果的に利用するため、実証運転と共にPythonを用いたデータ解析を行った。また、効率的に有機分を処理場に流入させるため、処理場流入渠の低水位運転や調整池の貯留量削減を行い、流入固形物量の調査を実施したので、併せて報告する。

表1 東灘処理場の概要

供用開始	1962年10月	処理水量	161,273 m ³ /日
敷地面積	132,408 m ²	初沈汚泥	669 m ³ /日
処理能力	229,500 m ³ /日		固体分：2.43% 有機分：85.4%
処理人口	約39万人	濃縮余剰汚泥	307 m ³ /日
排除方式	分流式（一部合流式）		固体分：4.19% 有機分：81.7%

2. 初沈汚泥の投入効果

(1) 放流水の全リン濃度低下

東灘処理場の放流水の全リン濃度は日曜～水曜日に上昇する傾向がある。これは土日の流入下水量が平日よりも減少するため、流入有機物量が減少し、処理水のリン濃度が上昇していると考えられる。そのため、東灘処理場では放流水の全リン濃度上昇対策として、生物反応槽に初沈汚泥を投入している。データ整理を行い、曜日ごとの初沈汚泥投入の有無による全リン濃度は図1に示すとおりであった。全リン濃度が高い日曜～水曜日に濃度の低下が顕著に見られ、初沈汚泥の効果が確認できた。

(2) 脱水ケーキの含水率低下

東灘処理場では、脱水給泥ピットへ初沈汚泥を投入することが可能であるため、纖維分を多く含む初沈汚泥を混合することで、脱水効率が向上し、含水率を低減できるか検証を行った。

2024年1月より通年で初沈汚泥混合脱水を実施し、その結果を図2に示す。脱水ケーキ含水率は月2回の定期分析結果（データ数30、採水日の運転号機の平均値）を用いた。初沈汚泥の混合割合が8～10%で最も含水率は良好で77.8%であり、14%を超過すると含水率が上昇した。また、混合割合が2～14%で含水率の平均は78.3%であり、少量でも初沈汚泥を混合することで含水率が低下することが確認できたが、脱水機によるばらつきや冬季の含水率上昇もあるため、今後もデータを蓄積し、最適な混合割合を模索していく必要があると考える。

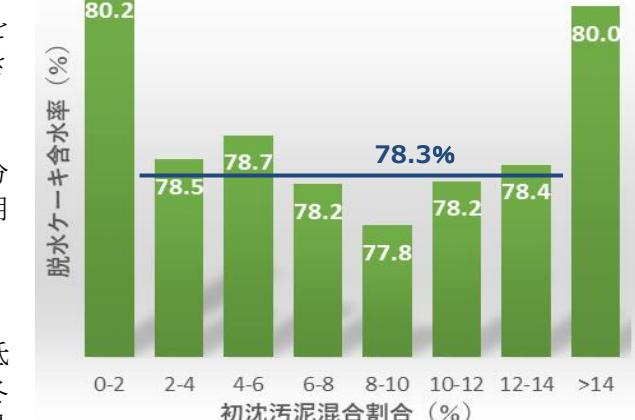
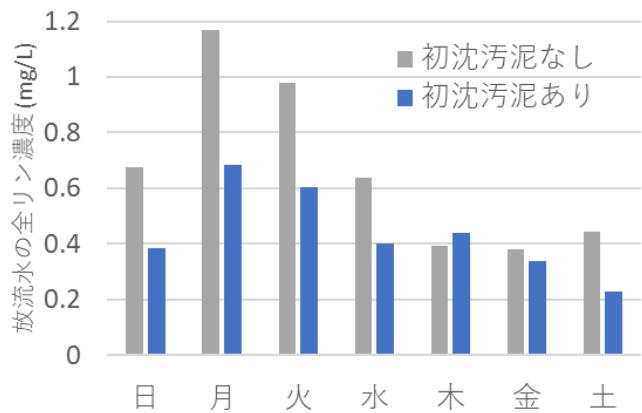


図2 初沈汚泥の混合割合と脱水ケーキ含水率

(3) 消化ガス発生量増加

東灘処理場では2024年7月より、消化ガスの販売を開始することになり、消化ガスの增量が必要となつた。これまで、消化ガス発生量に影響を与える因子については、経験的に気温や投入汚泥量、汚泥濃度が関係していると考えていたが、データを根拠とし、ガス発生量の増産を目指すため、データ分析にPython（科学技術計算や機械学習分野で広く用いられる高水準プログラミング言語）とLightGBM（勾配ブースティング決定木に基づく高性能な機械学習アルゴリズム）を用いた。

機械学習には、2023年1月～2024年12月の731日分、23項目の日データに対して7日間の移動平均値を適用したデータ用いた。データ解析にあたっては、相関関係の少ない独立した項目を選定し、分析の信頼性を高めた。機械学習の結果を図3に示す。この図はSHAP値（Shapley Additive Explanations）の絶対値を示しており、SHAP値とは機械学習モデルの予測結果に対する各特徴量の寄与度を示す指標である。この可視化により、モデルがどの特徴量を重視して予測を行っているかが明らかとなった。

消化ガス発生量に最も影響を与えた特徴量は流入下水の水温であり、次に消化タンクへの初沈汚泥投入量が続いた。これに続く上位の特徴量は余剰汚泥投入量や汚泥濃度であり、経験的に考えていた消化ガス発生量へ影響を与える因子と一致していた。

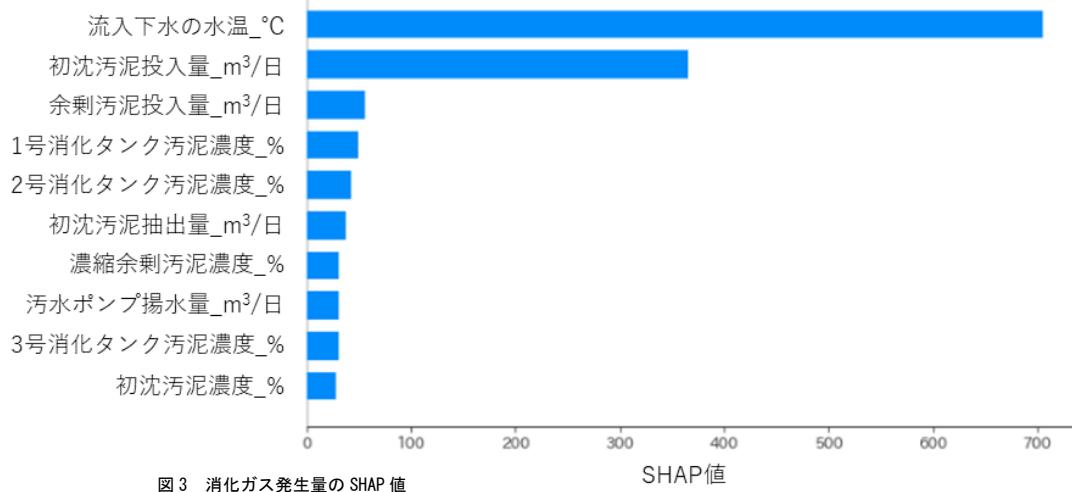


図3 消化ガス発生量のSHAP値

今回得られた機械学習モデルについて、特定の日の消化ガス発生量の予測値に対する影響度をウォーターフォールプロットで示す。ウォーターフォールプロットは、各特徴量が予測値にどのように影響したかを視覚的に示す図であり、モデルの平均予測値を起点として、各特徴量の寄与（SHAP値）を順に加減することで、最終的な予測値に至る構成となっている。各バーはSHAP値を表し、長さが影響の大きさ、色（赤=正の寄与、青=負の寄与）が影響の方向を示す。これにより、モデルがどの特徴量を重視して予測を行ったかが視覚的に把握できる。

図4に流入水温が低い冬季、図5に流入水温が高い夏季の予測結果を示す。冬季は水温が低いため、配管内や処理工程での有機物分解が抑制され、消化槽に多くの有機物が供給される。このため、水温はガス発生量に対して正の寄与を示す。一方、夏季は水温が高く、消化槽に至る前に有機物の分解が進みやすくなるため、基質量が減少し、水温は負の寄与を示す傾向が見られた。

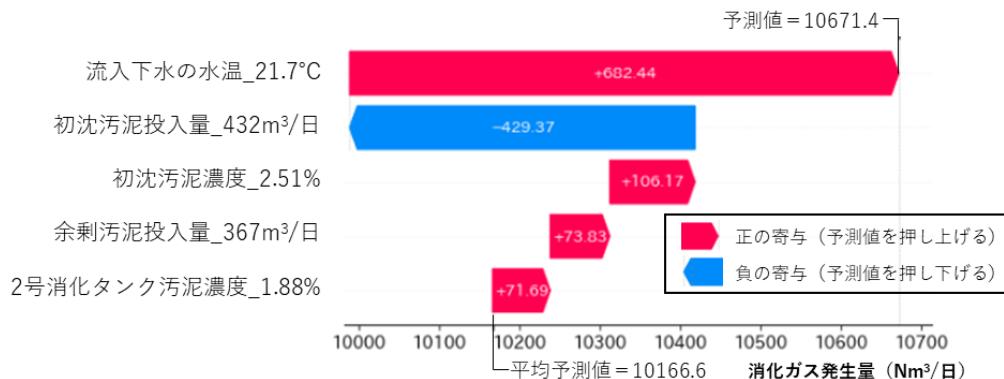


図4 冬季の消化ガス発生量予測値のウォーターフォールプロット

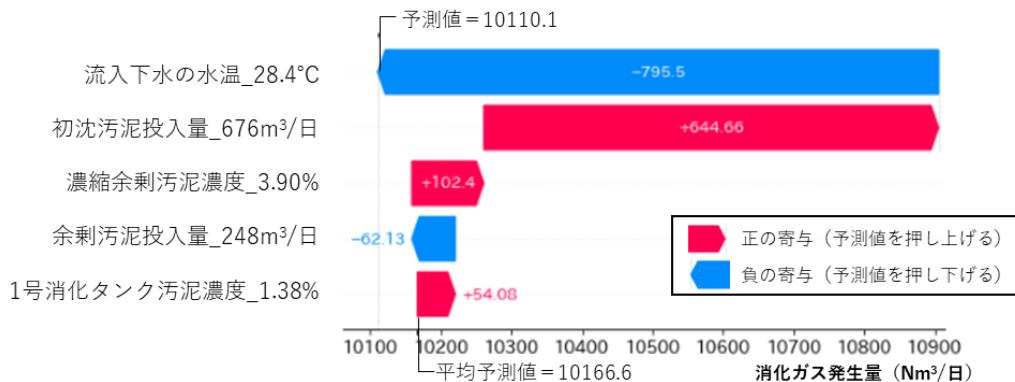


図5 夏季の消化ガス発生量予測値のウォーターフォールプロット

図4に示す冬季の事例では、初沈汚泥が脱水機へ投入されていたため、消化タンクへの投入量が432m³/日と少なく、初沈汚泥投入量は負の寄与を示した。初沈汚泥投入量は、消化槽に供給される有機物の直接的な指標であり、通常は投入量が多いほどガス生成量も増加するため、強い正の相関が確認されている。

流入水温は季節変動の影響を受けるため制御が困難である。一方、初沈汚泥の投入量は、消化槽に供給される有機物量を左右する重要な要因であり、その適切な管理が消化ガス発生量の増加に寄与することがデータから示された。今後は、日々の運転状況を可視化し、より良い運転方法を継続的に議論することで、有機物を効率的に消化槽へ導入し、分解を最小限に抑える運転制御の工夫につながることが期待される。

3. 初沈汚泥量の増加に向けた取り組み

前項で述べたとおり、初沈汚泥にはリン濃度の低下、含水率の低下、消化ガス発生量増加に大きく寄与することが明らかとなった。様々な好影響をもたらす初沈汚泥量を増やすため、流入してくる有機物の分解を最小限に抑えるよう、2024年12月より下記の対策を実施している。

- ① 調整池での貯留量を14,000m³/日から9,000 m³/日に削減
- ② 幹線での滞留を防ぐため、1日に1回、流入渠の最低水位まで水面を下げる「底引き運転」を実施

また、初沈からの汚泥抽出を概ね1時間に1回で行っていたが、これを最適化するため、流入水の調査を実施した。流入下水を15分ごとに24時間サンプリングし、SS濃度と処理水量から、時間当たりの流入固形物量(kg/h)の変動について、2025年2月13日および2月20日に調査した結果を図6に示す。流入固形物量の変動は16時～18時に日平均値よりも大きく増加し、1時～6時には大きく減少している。これを踏まえ、初沈汚泥の抽出を16時～19時は45分に1回、23時～8時は1時間間に1回に変更した。今後も定期的に24時間調査を行い、最適な抽出をし、初沈汚泥を有効活用していく。

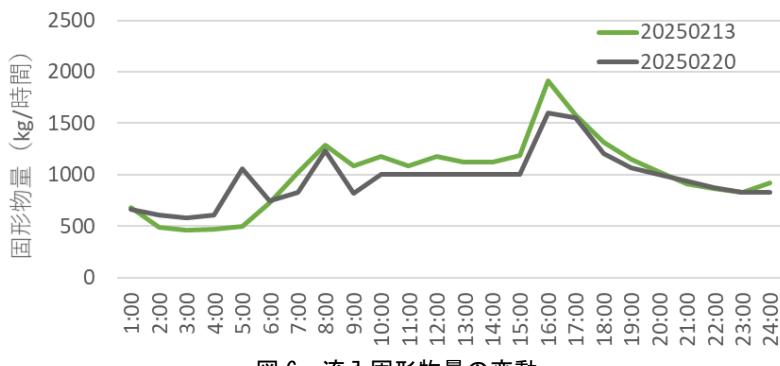


図6 流入固形物量の変動

4. おわりに

本報告では、初沈汚泥の投入ルートごとの効果について、実証運転結果やPythonによるデータ解析で紹介した。また、初沈汚泥抽出の最適化による効果については今後もデータを蓄積し、検証していく。

謝辞

本市のPythonの環境構築にあたり、京都市上下水道局の恒吉様に深く感謝申し上げます。