

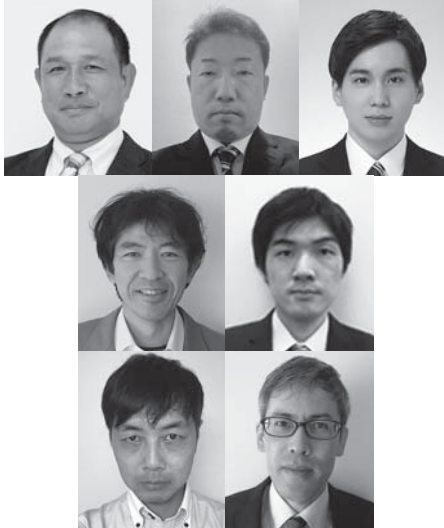
〈第32回環境システム計測制御学会 (EICA) 研究発表会〉

セッション報告

セッション A-1 管理・制御 I

【座長】樋口 能士 (立命館大学)

【副座長】平林 和也 (㈱安川電機)



発表論文

- ① スマートウェアを活用した廃棄物処理施設における安全管理の高度化
- ② 下水管点検画像のブレ補正技術の開発
- ③ 水質や管理指標の制約を考慮した極値制御による下水処理プラントの最適運用
- ④ アンモニアを指標とした OR 制御と送風機最適運転による省エネ効果の検証
- ⑤ A₂O 法下水処理場における窒素濃度制御

本セッションでは、施設の安全管理1件、下水管の維持管理1件、下水プロセスの制御3件と合計5件の研究発表があった。①スマートウェア技術を活かした安全管理、②画像による下水管渠の維持管理の効率化、③下水処理の水質とコストを考慮した運用方法、④⑤下水処理における窒素濃度と省エネルギーの両立に関する検証、など多岐に亘る発表があり、議論が活発に実施された。今回の発表はいずれも、施設運営の安全性や効率性を高めるために必要な技術に関する内容であり、今後の発展が期待される。

【ノート】スマートウェアを活用した廃棄物処理施設における安全管理の高度化

立命館大学大学院 岡本宗一郎, 上鶴喜貴
橋口伸樹, 児玉耕太
立命館大学 橋本征二

スマートウェアを活用し、労働者の熱中症の危険性や労働強度の実態を把握した報告である。研究では、心拍数、気温、相対湿度、心拍数などを測定することで変化を把握し、心拍数、WBGT 値 (暑さ指数) で危険性の判定を行った。そして、心拍数、年齢からの労働強度の計算を行い、評価を行った。その結果、熱中症の可能性が高いケース、危険な労働強度と判定されるケースが確認されている。継続的に測定することで、作業内容の違いにより安全に対する異なる身体的影響があることが分かった。

Q: 労働強度には仕事内容と危険度の側面があると思うが、どのように考えているか?

A: 仕事の内容と個人差が心拍数に表れていると考えている。

Q: 心拍数は上下限値をカットしてデータ処理しているが判断基準は何か?

A: 測定範囲が最大値 255 であること、255 以内であればデータが落ち着いていたこと、および先行研究を参考に決定した。

Q: 心拍数では、個人の正常値は参考にしているか?

A: 個人影響は入れていない、労働強度に対しては平常時の心拍数を考慮に入れている。

Q: スマートウォッチの展開についての考えは?

A: 2020 年 8 年の実証はスマートウェアと並行して導入を進めている。

C: 労働条件や環境の変化などに対する事例を今後期待する。

【研究発表】下水管点検画像のブレ補正技術の開発

(株)日立製作所 陰山晃治, 崎村茂寿
畑山正美

飛行体を使用した下水管の点検技術に注目し、撮影した画像のブレを補正することで、検査を効率的に実施する手法の報告である。ブレが少ないフレームを抽出する非ブレフレーム抽出技術と対象とするフレーム

前後の画像を活用して点広がり関数を推定する機能の2つを組み合わせた、ブレ補正の技術を開発した。模擬画像に対しブレ補正した結果、飛行速度を1.5倍まで高めても模擬クラックを検出できることが分かった。

Q：実際の撮影では位置情報はあるか？

A：下水管の径が60cmと小さく、ドローンが重くなるため、GPSは取り付けていない。但し、ドローンが落ちた時のため回収ひもを接続しており、ひもの長さでの測定を考える。

Q：材質、明るさ、ブレ度合い（ドローン種類）が変わっても対応可能か？

A：ウィナーフィルタ、点広がり関数の形が変わるが、チューニングで可能と考えている。

【研究発表】 水質や管理指標の制約を考慮した極値制御による下水処理プラントの最適運用

東芝インフラシステムズ(株) 大西祐太, 山中 理
西室勇岐, 平岡由紀夫
東京電機大学 日高浩一
慶應義塾大学 大森浩充

下水処理プラントの制御では、放流水質と運用管理指標など複数の制約から優先順位を考慮する必要があるが、その制御手法について検証した報告である。探索型リアルタイム最適制御手法である極値制御手法に優先順位を付けた複数の制約を組み込んだ新たな手法を開発した。シミュレーションモデルを構築して返送率制御を組み込み、本手法を適用した検証の結果、有効であることを確認することができた。

Q：下水処理場では、終沈での汚泥界面をなるべく低く管理していることは多く、汚泥返送率の調整によりMLSSで調整可能な範囲は少ない。このような状況をどう考えるとよいか？

A：MLSSが上昇しない場面では対応はできていると考え、その他の項目の優先順位を上げて制御することになると考える。

Q：実プラントへ適用した場合、PLCに今回のアルゴリズムは組み込まれるのか？

A：PLCで組み込むことは可能と考えている。

Q：水質コストの計算式は濃度に対して線形に見えるが、水質が目標値を越えるとコストが大きくなることを数式で反映できないか？

A：一定値を超えた場合はコストに跳ね返るため、そのような内容を評価関数に入れることは可能である。また、評価関数では、最も安価で水質維持可能な条件を探索することは可能である。

【研究発表】 アンモニアを指標としたOR制御と送風機最適運転による省エネ効果の検証

(株)ウォーターエージェンシー 池畑将樹, 小池啓介
湛 記先

処理水質を維持しながらエネルギー消費を抑える手法について実プラントで検証した報告である。反応槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ を1mg/LとするOR制御を実施し、DO制御と比較して19.4%の送风量削減を確認した。また、送風機の吐出圧および適切台数を組み合わせることで、29.0%の消費電力削減の計算結果を確認することができた。

Q：BODなどの水質の除去率は同等か？

A：DO制御とOR制御の比較について反応槽末端で評価した結果、BODに影響はなかった。OR制御では反応槽末端で $\text{NH}_4\text{-N}$ を1mg/Lにしているため、窒素については若干上昇しているが省エネ効果が得られた。

Q：センサーとして必要な項目を教えてください。

A：流入濁度、流入アンモニア、反応槽出口アンモニアの計測にセンサーが必要と考えている。

Q：計測器のメンテナンス頻度はどのくらいか？

A：自動制御にアンモニア計、濁度計を使用しているが、1回/月程度で運用している。

【研究発表】 A_2O 法下水処理場における窒素濃度制御

(株)ウォーターエージェンシー 堀岡洋二, 湛 記先

放流水の窒素濃度の安定化と省エネルギーを実現することを目的に、実プラントで運転方法を検討した報告である。OR制御で反応槽出口での $\text{NO}_4\text{-N}$ 濃度の目標値を2mg/Lとして運転した結果、水質は若干上昇したが問題ないレベルであり、電力量は11.9%削減することが確認できた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 制御については、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を平均化するようにシミュレーションを行い循環比率を決定した結果、T-Nにはわずかな違いしか見られなかったことが確認できた。

Q：リンの測定結果、評価については？

A：今回は窒素濃度に着目していたので、リンについては検証していない。

Q：循環比率についてはパターンを決めているが、さらに検討の余地はあるか？

A：実際に現場ではオペレータが手動で数時間おきに循環比率を設定しているが、比率を細かく設定することを考えている。

Q：手動ではどのくらいの周期で運転されているのか？

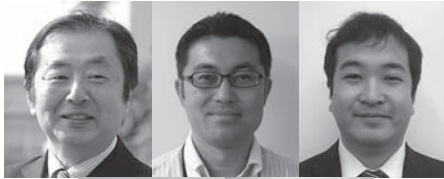
- A：手動では、30分から1時間単位でオペレータが運転をしている。
 Q：自動制御になった場合、どのくらいの周期を想定されているのか？
 A：自動制御での周期は1分程度を想定している。

【研究発表】AIを活用した運転管理設定値予測ガイダンスシステムの下水処理場への適用
 (株)安川電機 藤原 翔, 平林和也
 大場正隆
 前澤工業(株) 綿引綾一郎, 石川 進
 張 亮, グェンタンフォン
 日本下水道事業団 糸川浩紀, 橋本敏一
 国土技術政策総合研究所 松橋 学

セッション A-2 管理・制御II

【座長】藤原 健史 (岡山大学大学院)

【副座長】堀田 卓 (㈱日立製作所)



発表論文

- ① AIを活用した運転管理設定値予測ガイダンスシステムの下水処理場への適用
- ② AIによる下水処理場運転判断導出技術の検証
- ③ 原水水質のリアルタイム推定
- ④ 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術における水処理性能
- ⑤ 単槽型硝化脱窒プロセスにおけるICT・AI制御の風量制御性能と送風電力削減効果

本セッションでは、5件の発表があった。①AIを活用した運転管理設定値予測ガイダンスシステムの下水処理場への適用、②AIによる下水処理場運転判断導出技術の検証、③原水水質のリアルタイム推定、④単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術における水処理性能、⑤単槽型硝化脱窒プロセスにおけるICT・AI制御の風量制御性能と送風電力削減効果、と多岐にわたる発表であった。全てが先進的なAI技術を活用した運転支援技術に関わるものであり、将来的な職員数の減少への対応や環境対策など必要不可欠なテーマであり、今後の発展が期待される。

AI技術(ランダムフォレスト)を用いた水処理の運転管理設定値の予測・ガイダンスを行う技術を規模の異なる複数の下水処理場にオフラインで適用して予測性能、運用方法、経済性等を検証した。本技術の汎用性を検証する目的で、計3箇所の下水処理場を対象としてMAPE(平均絶対パーセント誤差)を指標として予測性能を確認した結果についての報告である。

Q：ランダムフォレストを手法として選定した理由は何？

A：予測値の表示に重要度を出力できることが特徴であり、選択した理由である。

Q：ランダムフォレストは、決定木とその階層を自動的に作られると考えていいか？

A：そのとおり、MLSSや流入流量はAIで自動的に設定され、決定木の作成回数と分岐の回数を設定する形になる。

Q：通年のデータをランダムフォレストに供されたが、下水処理には流入水質や水温など、季節別で入力することは考えられたか？

A：季節変動については考慮したが、今回は年間での評価としているので通年のデータを使用した。

Q：出てきた結果によりAIが学習した内容が分かるか？

A：実際の予測にどれくらい影響したかを可視化できる。

Q：今回の結果では決定木本数が全処理場で500が最も良い結果となっているが、例えば1000にすると予測精度が上がるなどあるか。それとも予測精度の閾値などがあるか？

A：回数を増やしても平均化されていくので、増やしても大きな差が無いと考えている。

【研究発表】 AIによる下水処理場運転判断導出技術の検証

(株)明電舎	三宅雄貴, 木村雄喜 高瀬信彰, 高倉正佳 鮫島正一, 庭川 誠
広島市下水道局 (現日本下水道事業団)	倉本喜文
広島市下水道局	南浦詳仁, 上原洋平
(株)NJS	増屋征訓, 川崎 達 中橋達也
国土技術政策総合研究所	松橋 学

熟練技術者の運転履歴を学習することにより、熟練技術者と同様の運転判断を AI 判断に基づいて導出する技術を、実際の処理場において適用した現地運転試験の結果についての報告である。

Q：今回評価対象反応タンクの「処理法」は？

A：標準法である。

Q：AIへ供するデータは、現在値のみか、過去データも与えているか？

A：過去の百時間以上の纏まったデータを平均して入力している。

Q：将来値を入れれば予測値が出ると思うがいかがか？

A：そのとおりで、今回は検証していないが、将来値を入れれば予測値が出ると思う。

Q：対応判断 AI や運転操作 AI で別々のモデルがあるのか？

A：対応判断 AI は現在のデータで判断し、運転操作 AI はその結果と現在データで判断している。

Q：対応判断 AI は経験データを学習しているが、オペレータの思いもつかない結果を出すことはあるか？

A：学習したものしか出力しない。

【研究発表】 原水水質のリアルタイム推定

東芝インフラシステムズ(株)	松本 隼, 山原裕之 横川勝也, 毛受 卓 黒川 太, 横山 雄
----------------	--

浄水場における塩素注入システムの自動化・最適化に向けた浄水プロセスにおける残留塩素の消費・分解を予測するためのモデル構築を進められている中で、不足する手分析データ情報を原水 pH や水温など他の浄水場内のオンライン測定項目からリアルタイム推定する手法を提案された。手分析データ推定モデルのパラメータ最適化手法の提案および本推定値の実サンプルデータとの比較による妥当性検討についての検証結果の報告である。

Q：求解パラメータ調整とは実際にはどのようなことを行っているか？

A： $f_1 \sim f_3$ の重みづけの値を調整している。学習データのパターンに応じて標準偏差のバラつき具合に一致するように結果を出すように $r_1 \sim r_3$ をモンテカルロ法にて設定している。

Q：恣意的になったりせず、データから導出しているということか？

A：今回は実際の計測値に基づいて出すとどうなるかを検証している。

Q：ホワイトボックスとブラックボックスを組み合わせたハイブリッドということだが、ホワイトボックスである簡易化学モデルは絶対に揺るぎがないものとし、手分析データをブラックボックスで作るとということか？

A：そういうことになる。

Q：全てブラックボックスで考えるということもあると思うがいかがか？

A：以前に深層学習のみで評価したが、定常時と非定常時において達成度の差が出た経験があり、今回はホワイトボックスで補完することで質の高いモデルを作成した。

【研究発表】 単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術における水処理性能

メタウォーター(株)	初山祥太郎, 中村高士 鈴木重浩
日本下水道事業団	橋本敏一
町田市下水道部	松井 穰
国土技術政策総合研究所	藤井都弥子

既設躯体をそのまま活用し、動力設備を追加すること無く、従来の高度処理技術と比べて短い滞留時間で同等の処理水質を得ることが可能であるとともに、ICT と AI を活用して送風量を最適化することで運転電力量を削減することが可能な技術について、冬季における処理性能の実証結果の報告である。

Q：NO_xと NH₄濃度の設定の決め方は？

A：脱窒ゾーンで出た脱窒可能な量を設定値としている。

Q：前半の好気ゾーンで NO_xを設置しているが、亜硝酸と硝酸を同時に検出するタイプか？

A：別々に検出するタイプである。

Q：好気ゾーンと嫌気ゾーンに隔壁が無いことで影響はあるか？

A：逆混合の現象は見られるが脱窒できていることが確認できている。

Q：NO_x計を脱窒ゾーンの後に設置することにより、NO_xを一定量にするような制御は考えられてないか？

A：検証したことはないが、今後の検討とさせていただく。

Q：降雨の影響を受けやすいか？

A：雨天時に結果としてそこまで影響は無かった。

【研究発表】単槽型硝化脱窒プロセスにおける ICT・AI 制御の風量制御性能と送風電力削減効果

メタウォーター(株)	中 大輔, 高橋宏幸
日本下水道事業団	橋本敏一
町田市下水道部	松井 穰
国土技術政策総合研究所	藤井都弥子

要素技術である総合演算制御システムは、ICT・AIを用いて負荷変動に対応してリアルタイムに反応タンク中間のNO_x濃度と末端のNH₄濃度を制御目標値に追従させる為の必要風量を演算・制御する。更に、風量演算結果から配管圧損を計算し、送風機最適吐出圧力設定値を導出する吐出圧力演算機能を有している。その風量制御の機能と吐出圧力制御による送風電力削減効果の報告である。

Q：ブロワの圧力可変制御した時に、送風量と圧力の動きの関係は直線か曲線か？

A：比例関係になる。圧力を高く保っている時と低い時とで比例係数が変わると考えている。

Q：前半のNO_x一定制御をすることによる、後半のNH₄制御への影響はどうか？

A：流入負荷変動の影響が高いのは後半のNH₄制御であり、難易度が高いことは明確である。

Q：圧力を下げると電力が下がると理解するが、風量の調節が難しいのでは。前段と後段の風量調節弁で調節しているのか？

A：そのとおりで、送風機最適吐出圧力演算にて理論的に制御可能である。

Q：対象系列は何池か？

A：対象系列はなく、しっかりとA₂O法相当の水が作れるか。また、圧力一定と可変を行って電力削減効果を通年で実証することが目的である。

セッションB-1 分析・測定

【座長】大下 和徹 (京都大学大学院)

【副座長】山内 進 (榊掘場アドバンスドテクノ)



発表論文

- ① 脱水・乾燥汚泥含水率のリアルタイム計測への誘電率土壌水分計の適用可能性検討
- ② 工業用無補充型 pH 電極”6155”による pH 測定課題の改善とフィールド測定事例の紹介
- ③ 紫外蛍光法による微細藻類中グリーンオイルの測定
- ④ 線虫臭気物質受容体と生物発光共鳴エネルギー移動 (BRET) を組み合わせた水中の極微量カビ臭物質検知 (その2)

本セッションでは、「分析・測定」をテーマに、①乾燥汚泥の含水率リアルタイム計測、②フィールドでの適用範囲を向上させた内部液無補充型 pH 電極、③紫外蛍光法による微細藻類中グリーンオイルの測定、④線虫臭気物質受容体を利用した極微量臭気物質検知の4編の研究発表と質疑応答が行われた。

【論文】脱水・乾燥汚泥含水率のリアルタイム計測への誘電率土壌水分計の適用可能性検討

京都大学大学院 劉 俊榮, 大下和徹, 高岡昌輝
藤森 崇, 日下部武敏

下水の脱水・乾燥汚泥含水率をリアルタイムに計測する方法として、誘電率土壌分析計を用いた研究の論文発表であった。誘電率土壌分析計の出力値にキャリブレーション式を適用することで、乾燥汚泥含水率の計測をリアルタイムに行える可能性が示された。また、誘電率式土壌分析計は、マイクロ波式水分計では計測が困難な低含水率の乾燥汚泥にも適用が可能であり、汚泥乾燥プロセスなど含水率の変動が大きい場面で有効であると考えられる。

Q：今後の実用化に向けての課題は何か？

A：現在は誤差が出にくい試料と出やすい試料の経験値しかないため、今後、誤差が出易い汚泥の性状分析等を行い、誤差要因の調査を行う予定である。一因としてFe濃度の影響があると考

えている。

また、測定結果にばらつきが生じる場合があるため、センサーを複数化して平均値をとることにより、誤差を低減することも検討している。

Q：A, B 処理場とそれ以外で汚泥含水率調整の試験条件が異なる理由は？

A：試験の途中で卓上型ニーダー（混練機）が導入できたため、汚泥含水率調整の条件が一部異なったが、試験結果には大きな影響はないと考えている。

Q：測定はリアルタイムで行えるのか？

A：センサーからの出力値はリアルタイムで出力されるので、キャリブレーション式を入力しておけばリアルタイムで測定が可能である。

【研究発表】工業用無補充型 pH 電極 “6155” による pH 測定課題の改善とフィールド測定事例の紹介

（株）堀場アドバンステクノ 木下隆将, 伊東裕一
西尾友志, 室賀樹興

新しいポリマーゲルを採用した内部液無補充型の pH 電極の研究発表であった。従来の無補充型 pH 電極では、寿命、加圧環境での測定、低電気伝導率サンプルの測定に課題があったが、新 pH 電極では、それらの課題を改善しており、フィールドでの適用範囲の向上や維持管理を含めたトータルコストダウンが期待できる。

Q：新 pH 電極は、アクリレートとメタクリレートの共重合ポリマーゲルが採用されているが、従来電極ではどのようなポリマーゲルを使用していたか？

A：従来電極では、アクリルアミド系のポリマーゲルが一般的であったが、吸水性による問題や酸・アルカリに弱いという弱点を持っていた。新電極では新しいポリマーゲルが開発されたことで従来電極の課題を改善できた。

Q：従来電極に比べて寿命やメンテナンス性が向上したが、新電極のインシヤルコストは高くなったと思われる。ランニングコストを含めたトータルコストはどうなったか？

A：新 pH 電極の単品コストは従来電極より高くなるが、トータルコストは低減できたと考えている。

Q：高圧サンプルでの長期安定性試験結果で、従来電極との比較データはあるか？

A：全く同じ試験条件での比較データはないが、過去の事例を基に安定性改善を確認した。

【研究発表】紫外蛍光法による微細藻類中グリーンオイルの測定

東亜ディーケーケー(株) 浦田美由貴, 大日方 智
電源開発(株) 西村恭彦

グリーンオイル生産用の微細藻類の培養工程において、グリーンオイル蓄積量を、紫外蛍光法により、無試薬で迅速にモニタリングする方法の研究発表であった。本研究では、蛍光強度によるオイル蓄積量のモニタリングが可能であり、また、紫外吸光度の変化により、藻体増殖時期とオイル蓄積期の培養の進捗を判定することができることが示された。グリーンオイルを効率的に生産するには、培養の制御と効率化が欠かせないものであり、実用化に向けた今後の研究成果が期待される。

Q：グリーンオイルとなる藻類の株種が異なった場合でも、同じように測定が可能か？

A：今回はパルミチン酸およびパルミトレイン酸での試験結果を報告したが、他の種類で試験した結果、同じ波長に蛍光ピークを持つことが分かっており、他の種類でも適用可能と考えている。

Q：実際のグリーンオイル生産プラントになると巨大な培養タンクになるが、槽内は攪拌されているか？

A：培養槽では pH コントロールや光合成のための光照射が必要なため、常時攪拌が必要になる。

Q：オンライン紫外蛍光モニターは、培養槽の試料を自動でサンプリングして測定する方法か？

A：実際の生産ラインでは、測定後の試料を槽に戻すことでコンタミネーション等が懸念されるため、槽の上部から非接触で測定できることが望ましいと考えている。

Q：今回の研究では励起・蛍光マトリックス (EEM) を取っているが、特定の蛍光ピーク波長に限定した固定波長式のセンサーにすることは可能か？

A：実用化段階では固定波長式にすることが可能と考えており、センサーのコストダウンが期待できる。

【研究発表】 線虫臭気物質受容体と生物発光共鳴エネルギー移動 (BRET) を組み合わせた水中の極微量カビ臭物質検知 (その2)

メタウォーター(株) 長谷川絵里
 the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) アリーシャ・アンダーソン
 メタウォーター(株) 塩出貞光, 宮崎 俊
 山口太秀

線虫の非常に優れた匂い検知機能を利用した、GPCR (G 蛋白共役受容体) センサーによるカビ臭物質の検知に関する研究報告で、昨年度に続き、その2として報告された。ジェオスミンおよび2-MIBに対して、0.18 ng/L 以上で検出が可能であり、低濃度域における濃度応答性および夾雑物質の影響試験結果について、最新の研究成果が報告された。今後、GPCR センサーの改良や前処理方法の検討により、実用化に向けた研究成果が期待される。

Q : 0.1 ng/L 付近での試験結果とスクリーニングの結果との整合性はどうか?

A : スクリーニングは、GPCR 自体で試験を行い、ニトロフェノールの吸光度変化で発現結果を確認したものあり、GPCR センサーでの評価は試験方法を変えている。

Q : 0.1 ng/L 付近の低濃度域では濃度の応答性が見られることから、濃度の定量は可能か?

A : GPCR センサーの LOT 間の感度差を低減することで、濃度の定量は可能と考えている。

Q : 環境基準である 10 ng/L 付近の濃度をターゲットとした場合の対応方法はあるか?

A : 希釈等の前処理を組み合わせることで対応が可能と考えている。

Q : 水道水中に多く含まれるカルシウムイオン等の無機物の影響はないか?

A : GPCR センサーは原理的に選択性があるため、無機物の共存影響はほとんどないと考えている。

セッション B-2 汚泥処理/活用

【座長】 高岡 昌輝 (京都大学大学院)

【副座長】 新井 喜明 (株式会社)



発表論文

- ① 嫌気性消化汚泥のチクソトロピー現象のモデル化
- ② Use of Exogenous Hydrogen for Thermophilic Digestion of Wastewater Sludge
- ③ 下水道資源を用いた固化肥料による海域施肥の基礎的検討
- ④ 流動焼却炉煙道閉塞の未然防止について

本セッションでは4件の研究発表があった。

①は嫌気性消化槽の攪拌混合に大きく影響する汚泥の粘性を数式化、②は高温消化汚泥における水素添加におけるバイオガス生成への影響、③は栄養不足等の海域における下水道資源を用いた固化肥料の海域施肥効果、④はリンの影響による下水汚泥流動焼却炉煙道の閉塞の未然防止と多岐に亘る発表であった。

それぞれ有用な研究発表で、今後の研究の発展が期待される。

【論文1】 嫌気性消化汚泥のチクソトロピー現象のモデル化

北九州市立大学 寺嶋光春, 劉 兵, 安井英育
 (株)日水コン 小手川陽子
 山東建築大学 劉 兵

嫌気性消化槽の攪拌混合には槽内の汚泥のレオロジ特性が大きく影響する。本研究では、まずチクソトロピー性の擬塑性流体として振る舞う嫌気性消化汚泥の粘性をモデル化した。次に、このモデルによるフィッティングが、剪断付与下の嫌気性消化汚泥の擬塑性粘度および構造指数の両方の時間変化の測定結果に良好にあてはまったことが確認され、モデルの妥当性が示された。

Q : 粘性は消化槽の管理に有効と思われる。混合特性には、ポンプ流量や槽構造を考慮しなくてよいか?

A : 混合特性には、ガス攪拌の場合は、ガス流量な

どいくつかの設計パラメータが必要となる。モデル化及び計算により最適化できると期待している。

Q：消化汚泥を対象としているが、実際のメタン発酵槽内で投入汚泥が混在している。その影響は？

A：今回の実験では、実際の運転している槽内の汚泥で検討した。影響はないと考えている。SRTが短くなったり、長くなったりすると影響がでる可能性はある。

Q：UIの求め方について教えてほしい。

A：別の論文からの引用している。UI=(平均のトレーサ物質濃度-各要素におけるトレーサ物質濃度)/槽全体体積の平均で求められる。偏差のようなものである。

【論文2】 Use of Exogenous Hydrogen for Thermophilic Digestion of Wastewater Sludge

Kyoto University Chenchen Li, Kazuyuki Oshita
Masaki Takaoka, Takashi Fujimori
Taketoshi Kusakabe

高温消化下水汚泥に対し、外部から水素を添加した場合のバイオガス生成への影響をバッチ試験で調査した。嫌気性消化槽の気相部分に水素を添加することは、消化阻害を回避し、バイオガスを増量できる可能性が示された。

Q：汚泥中の炭素のマスバランスを考えたときに、全部がメタンになることはできるのか？

それともほとんどが二酸化炭素になるのか？
またどの程度の量の二酸化炭素がメタンになるのか？

A：本研究では、消化で生成された二酸化炭素の1部はメタンになる。

Q：今回は高温についての研究だが、中温の場合はどうなることが起きると予想されるのか？

A：中温の場合、ほとんどは酢酸→CH₄であり、
CO₂+H₂→CH₄は30%程度、酢酸→CO₂+H₂はとても少ない。

Q：水素添加と無添加の消化を比較した際に、methane from butyric acidの量は、水素添加の場合、水素無添加と同等になるまで72時間以上かかるようだが、72時間以上（例えば100時間以上など）の実験は行い、実際に水素無添加の場合と同等になることを確認できたのか？

A：実際長時間の消化実験を行って確認したほうが良いのだろうが、実際の適用を考えたときに、あまりに長時間の消化は現実的でないため、行っていない。

【ノート】 下水道資源を用いた固化肥料による海域施肥の基礎的検討

国立研究開発法人 土木研究所 宮本豊尚, 重村浩之

水中での拡散を抑制できる固化した下水肥料により、栄養塩類を徐々にかつ継続して溶出することで、藻場を再生できる可能性があることを明らかにした研究である。

Q：下水汚泥の肥料化では、窒素、リン、カリなど肥料成分の比率を考慮しているが、海で利用する場合でも、肥料成分の比率を考慮するのか？

A：実際の事例では、塩化アンモニウムや尿素を投入しているが、比率など意識していないようである。肥料成分については今後の調査に生かしたい。

Q：今回の実験結果で、特に強調したい点はあるですか？

A：実験結果としては、まだまだ。今後しっかりやっていきたい。

Q：大阪湾での固化肥料の試算では、驚くような結果であり、下水の季別運転で処理水の窒素やリンを変化させたほうがよいのではないかと？

A：固化肥料は、処理場が近郊になく、磯焼けなどピンポイントの場所に適用できると考えている。

【研究発表】 流動焼却炉煙道閉塞の未然防止について

東京都下水道サービス(株) 佐々木健斗

高度処理の導入により汚泥中のリンが増加し、流動焼却炉の空気予熱器にリンの影響による灰が付着し、煙道閉塞が問題となっていた。空気予熱器の差圧から閉塞予兆値を求めることができ、煙道閉塞を未然に防止できることを確認した研究である。

Q：過去の閉塞防止の研究では、ポリ鉄添加や画像センサーの利用などの報告があったと思いますが、今回の研究との関連は？

A：画像センサー利用の調査については、把握していない。脱水機にポリ鉄添加の試験を行ったが、灰に金属が多いと茶色や赤みがあり、その灰は閉塞しにくい。ポリ鉄添加を行っても、灰は白色のまま、効果が見られなかった。

Q：ポリ鉄添加試験の汚泥は、閉塞したのですか？

A：閉塞はしていないが、閉塞しにくい汚泥にはなっていない。

Q：冬季に閉塞が多いそうですが、冬季には発生汚泥量が多いからではないでしょうか？それとも汚泥の質的原因があるのでしょうか？

A：発生汚泥の量より質に原因があると思う。都市

域の季節における水質調査において、道路や交通には降雨が多いと車由来の金属が増えていると報告されている。降雨が少ない冬季では、流入する金属が少なくなり、閉塞しやすい汚泥になるのではないかと考えている。

Q：分流の処理場でも同じ傾向でしょうか？

A：分流の処理場では、雨水に起因する金属類が少ないので、閉塞しやすい汚泥になりやすいと考える。

Q：焼却炉によって、閉塞予兆値が異なると報告があったが、今回の2号炉が高い原因は？

A：灰の集塵装置によって異なると考えている。

Q：そもそも、圧損が異なるのか？

A：はい、そのとおりである。

Q：運用上、圧力を測定することは大変有用であると思う。閉塞した時と閉塞していない時の付着物などの組成を測定しているか？

A：灰を測定している。閉塞していない通常の灰は、茶色か赤みを帯びて、灰中の金属が多い。閉塞している灰は白色化しており、灰中の金属が少ない結果である。

過技術の適応研究 (V)，という4件の研究発表がなされた。

【ノート】浄水場における遊離残留塩素の紫外線分解に関する一考察

東芝インフラシステムズ(株) 毛受 卓, 黒川 太
鷹箸幸夫, 松本 隼
横山 雄

浄水場における塩素注入システムの自動化・最適化に向けた残留塩素の消費・分解の予測モデル構築において、紫外線量を考慮した遊離残留塩素の分解モデルを新たに立案・構築するとともに、分解に寄与する紫外線量は、水の紫外線透過率以外に、少なくとも濁質および凝集フロックにも影響を受けることを明らかにした。

Q：フロック形成池では 有機物、無機物による塩素の消費は考慮する必要はないのか？

A：今回得られた採水データからは、フロック形成池に関しては、日射量以外の影響は考慮する必要は無いと考えている。

Q：紫外線の光吸収係数を設定する際に、攪拌の影響を考慮していないのか？

A：本論文では考慮されていないが、研究過程において、攪拌によるフロックの成長とともに光の吸収率が下がり透過率が上がるという現象が確認された。現在は同現象を反映したモデルへの変更を行っている。

Q：今後の課題として挙げられている「次亜塩素酸の分解に伴う HClO と ClO⁻の平衡を考慮する」とはどのような意味か？

A：本来は、モル吸収係数の大きい ClO⁻が先に分解され、その後、非乖離の HClO がイオン態に変化していくと想定される。しかし現状では両者の濃度を初期値で固定して計算を行っているため、今後は平衡を考慮したモデルに変更していく予定である。

セッション C-1 浄水/産業排水処理

【座長】鈴木 祐麻 (山口大学大学院)

【副座長】中村 高士 (メタウォーター(株))



発表論文

- ① 浄水場における遊離残留塩素の紫外線分解に関する一考察
- ② 逆浸透膜のナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復する『ナノスケールバンドエイド』の開発
- ③ 高速沈殿槽の流体解析モデルの確立と処理性能評価
- ④ 淀川へのセラミック膜ろ過技術の適応研究 (V)

本セッションでは、①浄水場における遊離残留塩素の紫外線分解に関する一考察、②逆浸透膜のナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復する『ナノスケールバンドエイド』の開発、③高速沈殿槽の流体解析モデルの確立と処理性能評価、④淀川へのセラミック膜ろ

【研究発表】逆浸透膜のナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復する『ナノスケールバンドエイド』の開発

山口大学大学院 原田美冬, 岡村正樹
新苗正和, 鈴木祐麻

逆浸透膜 (RO 膜) に存在するナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復し、かつ透水性を低下することなく汚染物質の除去率を向上させる『ナノスケールバンドエイド』を開発した。少量のポリビニルアルコール (PVA) 水溶液をろ過することで RO 膜に存在する欠

陥を PVA で塞ぎ、グルタルアルデヒドによって PVA の安定化を行った結果、透水性を損なうことなく 2.0 MPa における NaCl およびローダミン-WT の透過量を約 67% および約 85% 減らすことが確認された。また、PVA は薬品洗浄に対しても安定であることを示した研究である。

Q：PVA 処理によって非常に高い除去率が得られるようになったとのことだが、透過量は具体的にどの程度減っているのか？

A：NaCl については、未処理の状態に比べて、透過量は約半減した。

Q：さらに高い除去率を得るために、今後 PVA の処理方法などを更に検討していく予定はあるのか？

A：今回の研究では、PVA の処理時間を 1 分として設定したが、処理時間を延ばすことや、その他の条件を変えることで除去効果を向上させることが出来るか否か、については今後の検討課題としたい。

Q：海水淡水化に膜を用いる場合、ホウ酸の除去が問題になると言われているが、今回の PVA 処理はホウ酸除去にも効果が期待できるのか？

A：ナノスケールバンドエイドではホウ酸除去には効果は期待できないと考えている。

【研究発表】高速沈殿槽の流体解析モデルの確立と処理性能評価

東芝インフラシステムズ(株) 田中夕佳, 出 健志
松代武士, 高橋秀昭

産業排水処理で多く採用される高速沈殿槽は、原水水質や処理規模によって処理性能が異なり、装置の大型化に際しては構造検討や性能検証期間が長期化し、費用が増大するなどの問題があった。そこで、槽内の懸濁物質の挙動を CFD によって可視化して処理性能を評価する解析モデルを立案し、その妥当性を検証した研究である。

Q：実測値と解析値の比較の図において、原水濃度が高い割に、処理水 SS 濃度が低くなるような結果が示されているが、どのような理由が考えられるのか？

A：沈降速度の異なる粒子の存在割合が影響するものと考えられる。また、凝集槽における凝集性の違いも影響すると考えられる。

Q：φ3 m から φ5 m へのスケールアップをシミュレーションしたとき、当初は処理性が悪くなると予想されたが、実測は良好であった、と報告されていたが、同じような想定外の現象が起き

る可能性はあるか？

A：現状は、沈殿槽内でのフロックが成長する反応についてはシミュレーションに反映しておらず、また、掻き寄せ機部分でのフロック破碎による影響についても今後の検討課題と考えている。

Q：粒子同士の干渉は考慮しているのか？

A：干渉はせず、独立したものとして設定している。

【研究発表】淀川へのセラミック膜ろ過技術の適応研究 (V)

メタウォーター(株) 村田直樹, 青木伸浩, 本山信行

水質変動が大きく、高度に利活用された淀川原水への膜ろ過技術の適応性に関して、5 年にわたり大阪市水道局と共同で行った研究結果が報告された。前・後段にオゾン処理を配置した高度浄水膜ろ過システムは、現行高度浄水処理と同等の水処理性能が確保可能であり、水量変動や停電等の事故時を想定した検証の結果からは、膜差圧は安定し、運転維持管理性においても膜ろ過技術の適応可能性が高いことが示された。

Q：淀川水系に特有の水質的な特徴はあるか？

A：藻類（植物ピコプランクトン）が夏場に発生しやすく、凝集剤注入率やオゾン消費量が上がるためにランニングコストの増加要因となっている。また、ここ 5 年間の傾向として、冬場に臭気や原水濁度が一時的に上昇することが増えてきているが、現行高度浄水処理と比較して安定した処理ができていると判断している。

Q：処理水については、現行高度浄水処理 (GAC) と比較するとどのような特徴があるか？

A：オゾン注入率の適正化により、臭素酸などを含めた各水質項目について、現行高度浄水処理 (GAC) と同等程度であることを確認している。ただし、DOC（発表資料中の TOC と同義）については、僅かではあるが、砂ろ過に比べて 10% 程度高い結果を示すこともあった。

Q：処理水の TOC 濃度が現行高度浄水処理と変わらない（或いは僅かに上回る）理由として、オゾン処理によって有機物が低分子化 (AOC) されたことが、結果として浸水性を高めたとは考えられないか？

A：可能性はある。AOC の挙動については、今後も継続して調査していく必要があると考えている。

セッション C-2 環境・エネルギー

【座長】清水 芳久 (京都大学大学院)

【副座長】小野 俊生 (東芝インフラシステムズ㈱)



発表論文

- ① タイ王国・ヨム川流域における統合的水資源管理へ向けた水需給バランスと渇水リスクの評価
- ② A ステージによる下水からのエネルギー回収最適化を目的とした運転制御条件の検討
- ③ 送水ポンプ設備を活用したバーチャルパワープラント構築実証
- ④ 雨天時簡易処理放流発生時の塩素消毒効果に対する実験的研究

本セッションでは、1 件の論文、3 件の研究発表があった。①タイ王国のヨム川流域に関する時空間的な渇水リスクの評価、②生物吸着効果を用いる A ステージに関する有機物の生汚泥への転換率を最適化する条件の検討、③水道事業者の送水ポンプを用いたデマンドレスポンス実証の結果報告、④下水処理場で雨天時に必要となる塩素注入量と接触時間に関する実験の結果報告と、いずれの研究発表も、環境・エネルギーに関する問題解決に寄与するための有用なテーマであり、今後の研究の発展が期待される。

【論文】タイ王国・ヨム川流域における統合的水資源管理へ向けた水需給バランスと渇水リスクの評価

立命館大学大学院 岡林あゆみ
立命館大学 矢澤大志, 橋本征二, 佐藤圭輔

タイ王国・ヨム川流域を対象地とし、合理的な統合的水資源管理へ向けた時空間的な渇水・水不足リスクの評価を目的として、流域内の小流域ごとにおける地形特性や水文特性を考慮することが可能な分布型流域モデルを構築した。そして、水需要に基づく社会経済的渇水と河川流量に基づく水文的渇水を把握し、この両面からリスクを評価した。社会経済的渇水は流域東側で高リスクとなり、その影響因子は小流域人口と農地面積であり、水文的渇水リスクは流域下流部東側で

高リスクとなり、その影響因子は小流域人口であった。

Q：低流量時を優先してモデルへの合わせ込みを実施されているが、渇水時期と降雨時期の変化が激しい地域では、水を有効活用するために降雨時期の流量の管理も重要と考えられる。そのためには、高流量時の大きいモデル誤差が問題にならないか？

A：今回は、低流量時のリスク評価を目的としたため、低流量時の合わせ込みを重視した。今後、水の管理を検討していく上で、高流量時のモデル精度も向上させていく必要があると考えている。

Q：高流量時のモデルへの合わせ込みはどのように行うのか？

A：表面流出、貯流量のパラメータを見直すことが考えられる。

Q：対象とした河川の源流はどこにあるか？

A：源流はタイの北側の付近である。

Q：国境を越えてタイ国内へ流れこむ河川はあるのか？

A：国境を越えて流れこむ河川は無い。

Q：タイ国政府や地方政府として、渇水で農業を離れる人に対する対策を講じているのか？

A：渇水も問題になっているが、国や自治体が講じているのは洪水に特化した対策が多い印象があり、ヨム側流域において渇水対策を講じている実例はほとんど無い状況である。

共同研究者のコメント：

今回のアプローチでは水需要を全て人口依存にしているため、人口と土地に依存する水需要を区別して扱うことが精度向上の重要なポイントと考えている。また、近隣の河川の水の活用可能性を検討していくことも、ヨム川流域のリスク低減のためのアイデアになると考えている。

【研究発表】A ステージによる下水からのエネルギー回収最適化を目的とした運転制御条件の検討

㈱明電舎 松田祐毅, Lai Minh Quan, 酒井孝輔
中田昌幸, 三溝正孝, 福崎康博
神戸市 建設局 細田菜摘, 森本隆夫, 梶本 力

生物吸着効果を用いることで、従来の最初沈殿池と比べ有機物除去率が高く、バイオマス回収能力に優れた処理技術である A ステージについて、下水からのエネルギー回収を最適化することを目的として、運転制御条件を検討した。実験結果から、滞留時間 (SRT) と溶存酸素 (DO) をパラメータとして生汚

泥への COD 転換率を最大化できることを確認した。また、T-CODCr 除去率 60%、生汚泥 T-CODCr56% 転換率を達成する条件として、DO 1.0 mg/L, SRT 0.5 日が最適なパラメータであった。

Q：エネルギー回収の最適化を目的としているが、A ステージを設けることで最終の汚泥処分量に影響を及ぼさないか？

A：消化ガスを発生させるために生汚泥と余剰汚泥が送られるが、余剰汚泥より生汚泥の方が消化ガスの発生量が高いという結果が得られている。

Q：消化槽で消化ガスを回収後に廃棄しなければいけない汚泥が発生するが、A ステージを設けることで汚泥の発生量に影響を及ぼさないか？

A：汚泥発生量への影響まで調べられていないので、今後の課題としたい。

Q：消化ガスの回収量が多く、最終の汚泥処分量が少ないことが理想であるので、ぜひ検討を進めていただきたい。

Q：最終沈殿池の汚泥が最も有機物の欠乏状態であるが、最終沈殿池で発生する余剰汚泥を A ステージに入れることを検討していますか？

A：現在、最終沈殿池で発生する余剰汚泥を最初沈殿池に入れることで、より多くの生汚泥が回収できる可能性も検討している。その検討結果についても、今後、報告していく。

【研究発表】送水ポンプ設備を活用したバーチャルパワープラント構築実証

(株)日立製作所 鯉淵裕史, 小熊基朗, 田所秀之

電力の安定供給を目的に構築が進んでいるバーチャルパワープラント (VPP) において、水道事業における送水ポンプ設備の需要家エネルギーリソース (DSR) としてのポテンシャルを検証した。フィールド実証において、配水池の貯水バッファを活用した送水ポンプ設備のデマンドレスポンス (DR) をアグリゲーションコーディネーターからの指令に基づいて実施し、指令値を満足できることを確認した。また、水道事業体にとって過度な業務負担とならず DR を実施でき、水道の安定供給も維持できた。この結果から、水道事業の送水ポンプ設備は、VPP の DSR として有望であることが確認できた。

Q：電力低減指令に対して、配水池の水位が不足した場合、オペレーターやポンプ制御において、どのように対応したのか？

また、そのような対応をした時、浄水場として負わなければならない責任、義務があるのか？

A：水道の安定供給を優先するため、VPP から離脱し、電力低減の運用を中止した後に、配水池

の水位回復を優先した運用に変更すると考える。ただし、今回の実証ではそのような状況は生じなかった。

また、今回は実証試験であったため、ペナルティは無かったが、DR 指令を達成できなかった場合には電力会社側からペナルティが発生すると考えられる。

Q：VPP の成否は、電力低減指令受付時の配水池の水位状態やその後の水需要の増減変化に依存する部分が多いと考えるが、今回 VPP 対応をした際に通常とは異なる運用や準備をしたか？

A：DR の指令が届くまでは通常通りの運用をしており、DR の指令が届いてから VPP に対応した運用を開始した。これは、普段と異なる運用をすると、基準となる電力に影響を与えてしまうため、事前に配水池の水位を上げておく、といった準備はできない。

【研究発表】雨天時簡易処理放流発生時の塩素消毒効果に対する実験的研究

京都大学大学院 張 浩然, 西田光希
張 浩, 竹内 悠
井原 賢, 田中宏明

雨天時の下水処理場での放流水の塩素注入量と接触時間の変化が及ぼす消毒効果への影響を把握するため、ラボスケールで一次処理水と二次処理水を混合して実験した。大腸菌、大腸菌群は、CT 値の増加にともない、不活化率が増加するが、簡易処理水の割合が高いほど、不活化率が低下する結果となった。しかし、大腸菌ファージについては、実験範囲では消毒効果が確認されなかった。また、修正 Collins-Selleck モデルでは、簡易処理水の割合が高いほど不活化速度定数 k は小さく、遅滞期 b は大きくなる傾向が見られた。簡易処理放流発生が観測された時に、晴天時放流水レベルまで大腸菌濃度を下げするために必要な残留塩素濃度は、0.10~0.23 mgCl/L という結果が得られた。

Q：修正 Collins-Selleck モデル式では、 $\text{Log}(N_0/N) = k(\text{logCT} - \text{log}b)$ となっているが、 k が $\text{log}b$ にも掛かっている理由は何か？

A：今回はこのモデル式を使用して検証したが、 k が $\text{log}b$ にも掛かっている理由は把握していない。

Q：実験は異なった雨天日のサンプルに対して実施したのか？それとも同じ日に採水し、混合比を変えたサンプルなのか？

A：晴天時に採水した 1 次、2 次処理水を混合してサンプルに使用した。また、RUN 1~4 については異なる日に採水した。

Q：同じ日に採水し、異なる1次、2次処理水の混合比で比較検証したか？

A：していない。

Q：大腸菌ファージに消毒効果が見られなかったが、今回以外の実験でも同様に消毒効果が見られな

い結果なのか？

A：大腸菌ファージに関する今回以外の実験データは無い。

Q：ウイルスに対する消毒効果は重要になるので、研究を続けていただきたい。