

〈第27回環境システム計測制御学会(EICA)研究発表会〉

査読論文/口頭発表

研究発表会(査読論文/口頭発表)

【座長】倉田 学児(京都大学大学院)

【副座長】山田 顕寛(㈱日立製作所)

発表論文

- ① アンモニアセンサーを使用した空気量制御運転の活性汚泥モデルによる最適化
- ② 膜ろ過高度浄水処理システムに関する研究
- ③ 流動電流値を指標とした凝集剤注入制御の実用化

本セッションでは3編の研究発表があった。

以下に、各論文の概要と主な質疑応答の要約を報告する。いずれの発表も活発な討議が行われ、今後の研究開発への助言・参考となり、ますます環境システム分野の研究につながる事が期待される。

【論文1】アンモニアセンサーを使用した空気量制御運転の活性汚泥モデルによる最適化

水ing(㈱) 蒲池一将, 本間康弘, 鈴木 悟

下水に含まれる栄養塩除去を目的とした高度処理施設では、窒素除去方法として微生物による硝化・脱窒を元にする窒素除去方法が採用されている。近年、曝気風量の制御には従来の溶存酸素センサーに加えて、アンモニアセンサーを利用する事例が増えている。本報告ではアンモニアセンサーによる曝気風量制御を行っている嫌気-硝化内生脱窒法の適用した実プラントデータを基に、活性汚泥モデルを用いたシミュレーションを用いて最適条件の検討を行ない、その特徴を明らかにした。

Q: 内生脱窒が進んだ時のBODと総窒素の比が判れば教えて欲しい。

A: BODは流入しか測定しておらず、内生脱窒槽でのBODのデータを持ち合わせていない。

Q: 処理フロー3においてXs濃度が高いのはフロー1,2に比較して1段上流側の水槽である、とはどういう意味か?

A: 処理フロー1では無酸素槽がNo6~7の2槽で処理フロー3ではNo5~7の3槽になっている。今回Xsを評価したものがフロー1ではNo5槽、フロー3ではNo4槽になっているという意味である。

【論文2】膜ろ過高度浄水処理システムに関する研究

メタウォーター(㈱) 村田直樹, 青木伸浩, 本山信行
岐阜大学流域圏科学研究センター 李 富生

地球温暖化対策として低炭素化を向上する社会システムの構築が世界的な緊急の課題となっている。水道事業は、浄水設備の稼働や高所へのポンプ揚水のため多大な電力を要し、全国の電力消費の約1%を消費する産業であり、一層の省電力対策の導入を図る必要がある。水道技術研究センターでは水道事業における省電力対策をテーマに産学官による共同研究を実施し、小水力発電等省電力対策の導入状況調査、費用対効果分析、ケーススタディ及び省電力対策の知見の取りまとめを行い、水道分野における省電力対策導入の手引きを作成した。

Q: 次の実験では塩素の代わりに、あるいは減らすとともに、オゾンを使うという考え方は無いか?

A: 別の実験で進めているが、微粉末活性炭を減らすと臭気が高い傾向にある。このためAOP(過酸化水素)を使う。

Q: 飲んでみてどうか?

A: 浄水場の水はやや苦味を感じる。活性炭は少しまろやか。オゾンはつややかとを感じる。

【論文3】流動電流値を指標とした凝集剤注入制御の実用化

㈱東芝 福田美意, 村山清一, 阿部法光
黒川 太, 毛受 卓, 服部 大
宇和島水道局 寺崎啓二, 居村研二

ゼータ電位に相関のある流動電流値を指標とする凝集剤注入制御システムの現地試験での検討結果を報告する。濁質と凝集剤の荷電中和点から凝集剤量を決定するため、混和池水の流動電流値を0付近に維持する凝集剤注入制御を行った。流動電流値は水源由来の濁質流入時は負側に推移するが、未反応の凝集剤を含む返送水の流入時は正側に推移するため、返送水流入時は凝集剤必要量が低減することを確認した。本制御を用いると、適切に運用されている浄水場においても、10%以上の凝集剤削減効果が得られる可能性が明らかになった。

Q: 浄水場の薬品費は40%程度を占めるため、適正注入率で制御することは非常に有効。一方攪

拌強度の要因も大きいと思うがそのあたりはどうか？

A：今回混和槽では $200\sim 300\text{ min}^{-1}$ で実験したが $600\sim 900\text{ min}^{-1}$ にしても SC 値は変わらない。混ぜ過ぎると後段の緩速攪拌でフロック形成池でフロックが大きくなる。実際に使う時は浄水場ごとの適正回転数を目標にするのが良いと思われる。

Q：フロックは経験的にカメラなどで見ているが、SC 値を使うことでフロック形状を最適化可能か？

A：凝集が上手く行っている時の PH や導伝率を固定（目標値）しておき、その時の条件に戻し、かつ SC 値になるように PAC を注入することで再現性があると考えている。

(SC：Streaming Current)

〈第27回環境システム計測制御学会（EICA）研究発表会〉

一般論文/概要発表・ポスター発表

一般論文概要発表

【座長】高岡 昌輝（京都大学）

【副座長】山内 進（㈱堀場アドバンステクノ）



産・官・学の研究者・技術者による全15編の一般論文概要発表が行われた。また、併せてポスター発表によるパネル前ディスカッションが行われ、活発な議論が交わされた。

1. 海水淡水化前処理としての砂ろ過における種々の有機物類の除去性の検討

水ing(株) 林 益啓, 鳥村和彰
神戸大学大学院 三好太郎, 松山秀人

海水淡水化RO膜のファウリング指標となる有機物類として、TEP（透明細胞外重合物質粒子）やバイオポリマーの除去にUF膜処理が比較的有効であることは報告されている。しかし実際に現場で後段のRO膜ファウリングの問題が多い砂ろ過におけるこれらの有機物類の挙動を同時に長期間、調査した例は限られていた。今回の発表では、東京湾の海水を原水として、パイロットスケールの砂ろ過装置を長期連続運転し、S-TEP（溶解性TEP）、バイオポリマーは比較的良好に除去されることが示された。今後、海水水質の差による影響などの課題検討が必要だが、ファウリング物質の迅速な計測制御装置、および新規前処理装置の開発への応用が期待できる。

2. 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

(株)日立製作所 西田佳記, 山野井一郎
武本 剛, 中村信幸
茨城県土木部都市局 豊岡健司
茨城県霞ヶ浦流域下水道事務所 小泉洋人
国土技術政策総合研究所 道中敦子

下水処理水質の維持と省エネルギーを両立する生物反応槽の制御システムとして、アンモニア計を活用した効率的な硝化制御システムの研究に関心が高まっている。今回の発表では、B-DASHプロジェクト（下水道革新的技術実証事業）で実証中の茨城県霞ヶ浦浄化センターでの実証実験結果を報告した。反応槽上流と中間点に2台のアンモニア計を設置し、フィードフォワード（FF）制御とフィードバック（FB）制御を行い、従来のDO一定制御と比較して14.1%の曝気風量の低減効果が示された。実証実験に先立って実施した採水調査に基づき、系列による流入・運転条件、散気装置の性能等の違いを補正する風量補正方法を構築したことで、実証実験における風量削減効果の評価の信頼性を高めた。今後、様々な施設の条件で制御効果を確認することで、より多くの実施設への導入促進が期待できる。

3. セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥法の運転条件最適化

(株)明電舎 打林真梨絵, 豊岡和宏, 新井喜明
埼玉県飯能市 宮崎好弘, 佐野 勇
日本下水道事業団 山下喬子, 橋本敏一

膜分離活性汚泥法（MBR）は、省スペースで高効率の下水処理が行えることが大きな利点であるが、中大規模の合流式下水道への適用とエネルギーの削減が課題となっていた。今回の発表では、セラミック平膜を用いた浸漬型MBRで処理水量 1 m^3 あたりの消費電力 0.4 kWh 以下を目標にし、処理水量 $30\text{ m}^3/\text{日}$ の実験プラントにおける省エネルギー化・合流対応の検討結果を報告した。消費エネルギーに最も寄与の大きい膜洗浄風量を最低化する運転条件の検討実験においては、膜洗浄風量を基本条件の75%に削減、または断続洗浄により85%に削減しても、プラントの安定運転が可能であることが確認された。また、長時間の降雨を想定した処理流量増大実験において、フラックスを基本条件の2倍にしても24時間の連続運転で、膜ろ過特性と水処理性能への影響がないことが確認で

きた。一方、ろ紙ろ過量と膜差圧上昇速度は相関が見られておらず、今後、更なる汚泥の膜ろ過特性を評価・管理できる指標を検討し、中大規模施設への実用化に向けた取り組みを期待する。

4. 赤外線レーザー光を用いた汚泥消化ガス中メタン濃度の連続測定技術の開発

東京都下水道サービス(株) 野本陸志, 曾根啓一
東京ガスエンジニアリングソリューションズ(株)
安部 健
アンリツ(株) 原 毅

東京都下水道局森ヶ崎水再生センターでは、発生した下水汚泥の一部を消化槽で嫌気性消化させ、PFI事業により発電を行っている。原料となる汚泥の性状は刻々と変化し、発生する消化ガス中のメタンガス濃度も変動するが、これまでメタンガス濃度をリアルタイムで連続測定する方法がなく、消化槽運転条件とメタンガス濃度の関係は不明であった。今回の発表では、半導体レーザーを用いたメタン連続測定装置を開発し、その装置を実際に設置して長期間に渡って連続的に測定できるシステムの構築について報告した。リアルタイムにメタン濃度をモニタリングしながら、消化日数、投入汚泥性状、消化温度、攪拌強度などのパラメータを変化させることで、より効率的な消化槽の運転条件の設定が可能となる。また、将来、消化ガスの多方面での利用が求められる中で、消化ガス精製などの際のメタン濃度管理にも活用が期待される。

5. インバータ装置の高調波ノイズ対策

東京下水道サービス(株) 三輪康夫, 内山和樹
染谷 愿, 藤原 久

汚泥処理施設の再構築工事でインバータを用いた新設備が導入され、省エネや利便性の向上が図られたが、一方で、インバータ装置による高周波ノイズが発生し、既設の各液位等の計測値が変動し安定な運転に支障を来した。今回の発表では、ノイズ対策に一定の成果を上げた、遠心脱水機運転による薬品溶解槽液位の変動を例に、ノイズ発生調査、ノイズ発生源対策、ノイズ伝搬防止対策、機器への影響防止対策について報告した。なお、今回の調査では、大幅なコストと時間を費やした。インバータ装置導入時には、装置の設置場所や設置間隔、既設及び新設ケーブルの離隔等、ノイズ影響に対する事前検討が重要であり、既設計器の耐ノイズ性能向上も必要であることを示唆した。今後、更なる対策事例の知見を集めることで、インバータ装置導入時のノイズ対策の標準化に繋がることを期待する。

6. 脱水用高分子凝集剤の溶解濃度変更による脱水性の調査

東京都下水道サービス(株) 齊藤英治, 龍ノ口 豊

水処理施設の運用変更により、余剰汚泥の受入量が減少したことにより、汚泥中の汚泥固形物の含水比率が高くなっている。既設の高分子凝集剤注入設備では、固形物比率の高い汚泥性状において、薬液注入量の制御範囲の下限以下とする必要が生じた。今回の発表では、既存の高分子凝集剤注入設備をそのまま使用し、高分子凝集剤の溶解濃度変更による汚泥の脱水性の検証結果を報告した。高分子凝集剤の低濃度溶解水を用いた実機調査の結果、薬液注入ポンプの制御範囲が広がり、安定した注入率制御が可能となり、凝集剤使用量が月平均15%、年間使用量3.0tの削減効果が確認できた。また、高分子凝集剤の過剰注入により発生していた低含水率汚泥による搬送設備の閉塞及び脱水ろ液の発泡現象にも抑制効果が確認できている。薬品使用量の削減および含水率の最適制御の両面で、今後、他の施設への応用が期待できる。

7. 固定床型アナモックスプロセスにおける間欠運転の最適条件に関する検討

(株)タクマ 高木啓太, 水澤幸太
熊本市上下水道局 福田政昭
日本下水道事業団 糸川浩紀

アナモックスは近年新しく見出された生物学的窒素変換反応であり、これを利用したアナモックスプロセスは新たな窒素除去技術として期待されている。海外ではすでに実用段階に入っており、国内でも本格導入に向けての検討が進められつつある。今回の発表では、B-DASH プロジェクト(下水道革新的技術実証事業)で実証中の熊本市東部浄化センター内に設置した実規模実証施設(処理水量50m³/日)を用いた、固定床型アナモックスプロセスによる汚泥処理返流水(嫌気性硝化汚泥脱水ろ液)の窒素除去実証試験について報告した。今回の研究成果として、流量調整槽の容量縮減を目的とした間欠運転(停止・再稼働)の運転条件に関する検討結果では、最大11日間原水供給がない場合も速やかな再稼働が可能であることを確認した。また、亜硝酸化槽では水温が30℃でも安定した亜硝酸化反応を確認した。省スペースで高効率な窒素除去プロセスとして、本格導入が進むことが期待できる。

8. リアルタイム下水道管きょ内情報モニタリング装置の開発

(株)明電舎 齋藤千穂, 中島満浩
興津俊幸

東京都下水道サービス(株) 熱田 孝
日之出水道機器(株) 堀ノ内卓

下水道管きょでは、近年の局所的な短時間集中豪雨に対する浸水への対応や侵入水対策をはじめ管理上多くの課題があり、下水道管きょ内の状態を正確かつ迅速に把握することが求められている。今回の発表では、リアルタイムに管内情報を監視できる多機能型マンホール蓋の開発およびフィールド試験結果について報告した。多機能型マンホール蓋は、マンホール鉄蓋の表面に通信用アンテナを組み込み、裏面に通信装置やバッテリー、水位計などの変換器などを搭載したもので、収集データは携帯電話回線を介してクラウド管理され、ユビキタスでリアルタイムな情報把握ができる。フィールド試験では、浸水対策工事の効果検証および雨水侵入水の調査を行い、降雨量と各地点水位の相関性が確認できた。多機能型マンホール蓋は、多地点の情報をネットワークで管理することにより、効率的かつ効果的な管きょ内状況の把握、更には、地域住民への情報提供など、今後の発展性に大いに期待できる。

9. 消化污泥脱水分離液の脱アンモニア処理における窒素処理特性の検討

(株)明電舎 酒井孝輔, 福崎康博
渡辺哲文, 後藤浩之

川久保祐貴, Lai Minh Quan
横浜市環境創造局共同研究チーム

嫌気性アンモニア酸化 (AMX) を用いた窒素排水処理は従来型の処理と比較して低コストで高効率な技術として、国内でも技術評価が進んでいる。今回の発表では、嫌気性アンモニア酸化反応を利用した1槽型回分処理(脱アンモニア処理)の実証試験から得られた知見について報告した。脱アンモニア処理による消化污泥脱水分離液のパイロット処理実験を行った結果、比較的安価なアルカリ剤 NaOH を添加した運転においては窒素除去率 80% を達成でき、アルカリ剤の添加無しの運転でも窒素除去率 71% を確認し、原水のアルカリ度によっては薬剤コストを大幅に削減できることを示唆した。また、脱アンモニア処理での除去窒素あたりの污泥収率は 0.12-0.13 kg-N/m³/日となり、污泥発生量が非常に少ないことが確認された。更に、N₂O 排出量の調査結果では N₂O 変換効率は 0.61% であり、N₂O 発生量が非常に低い処理方式であることが明らかとなった。この処理方法は、污泥削減および N₂O 抑制の両面で効果的な処理方法であり、今後の

実用化が進むことを期待する。

10. 処理水質の窒素・リン情報に基づく好気容積比制御のシミュレーション評価

(株)東芝 小原卓巳, 時本寛幸
山中 理, 平岡由紀夫

下水処理施設における段階的高度処理に対応する制御方式として、処理水のアンモニアならびにリンの水質情報に基づいて生物反応槽の好気区画の容積を制御する好気容積比制御方法を提案した。今回の発表では、この制御アルゴリズムを示すとともに、活性汚泥モデルを組み込んだシミュレータを使った有効性評価を報告した。対象プロセスは全 16 区間からなる生物反応槽で、NH₄-N, P の計測情報に基づき、流れ方向の各区間のバルブを開閉し、好気性区間を増減させるものである。今回のシミュレーション評価により、提案した制御システムは、平均水質を処理目標以下とするよう動作し、長期間的視点で硝化機能の維持とリン除去の改善を図るために有効な制御方式であることを示した。既存の水処理施設を大幅に改築することなく高度処理化を普及していく上で大変有用な研究であり、更なる研究を重ねて実施への改良適用が進むことを期待する。

11. 既存の DO センサーを活用した OR (酸素必要量) 制御の複数系列への適用

(株)ウォーターエージェンシー 湛 記先, 池田洋平
小泉栄一

下水処理における省エネルギーと良好な処理水質の確保に対する需要がますます高まっている。これまでに、酸素必要量 (OR) 計算に基づいた曝気風量制御を開発し、実処理場に導入してきたが、導入コストの抑制と水質センサーのメンテナンスコストの削減が課題となっていた。今回の発表では、酸素必要量制御のフィードバック調節に既存の DO センサーを用いる手法を考案し、実処理場においての省エネルギー効果と処理水質安定化効果の実証結果を報告した。従来の DO 一定制御による運転と、今回考案した方法による OR 制御との比較を行った結果、送風倍率は約 5% 低く、処理水質は従来と同程度が確保できた。

既存施設の大幅な改築や新規水質センサー増設などの投資無しに省エネルギー化が図れる制御技術として、今後の普及に期待できる。

12. 急速ろ過システムにおけるフロックセンサーによる凝集不良の早期検知に関する検討

メタウォーター(株) 山口由香, 久木祐資
山口太秀
関東学院大学 鎌田素之
水道技術研究センター 相澤貴子
北見工業大学 海老江邦雄

浄水場の急速ろ過システムにおいて、注入率不足や機器故障による凝集不良の検知は、一般的にフロック形成池の巡回による目視や沈殿水濁度の計測値に頼っている。そこで、凝集不良を早期に検知する方法が望まれていた。今回の発表では、吸光度の平均値と標準偏差とからフロックの粒径を測定するフロックセンサーを用い、浄水場に設置した実験プラントにおいて、凝集不良を早期に検知するシステムの有効性の検討結果を報告した。今回の研究から、フロック形成池の1段目と2段目のフロック粒径、およびその粒径比を測定することで、凝集不良の早期検知が可能となることが明らかになった。近年頻発しているゲリラ豪雨等の原水水質の急変によって起こっている凝集不良のリスクを低減し、浄水場の運転管理の安全に役立てうるものとして大変有用である。

13. 和心伝 (ワジンデン) エリアの創出 (新・未来プロジェクト V)

(株)堀場アドバンスドテクノ 浅井孝央
(株)日立製作所 河原林雅
水ing(株) 古寺倫也
(株)堀場製作所 室賀樹興
(株)安川電機 芳住啓輔

昨今、日本では、少子化や都市部への人口流出に伴い、各地方の人口減少および高齢化が進んでいる。このまま人口減少と高齢化が続けば、地方での経済機能の低下、活力低下が進み、地方における公共サービスの維持が困難になる危機がある。本グループでは、地方創生を「地方の人口増加」、「継続的な経済活動の活性化」と位置づけ、実現に向けた取り組みについて検討した。既存の観光資源を潤沢に持たない地方をターゲットとし、昨今増加傾向にある海外からの旅行者の訪問を促す施策として、地域の特徴を再発掘し、新たなコンセプトを付加したテーマエリア「和心伝エリア」の構築を提案した。“ともに生きる”, “ともに作る” 体験によって産み出す愛着心, 訪れてみたいという新たな魅力作りに期待できる。一方、NPOとしての協賛金や委託料など経済的な持続性の仕組みが課題である。

14. 地方から興すエネルギー革新 (新・未来プロジェクト V)

京都市上下水道局 織田善照
(株)日吉 作田彰伸
日新電機(株) 貞利章文
(株)神鋼環境ソリューション 竹崎 潤
(株)日立製作所 竹之下忠英
(株)タクマ 土肥弘敬

2014年に日本政府より「まち・ひと・しごとの創生総合戦略」が閣議決定された。その中で地域産業の競争力強化の手段として、「分散型エネルギーの推進」が挙げられている。本グループでは、山村、農村、漁村の各地方モデルにおいて、地域の特色を生かし、地域の活性に繋がる新しい再生可能エネルギーの生産・利用方法について提案した。例えば、木質バイオマスエネルギー、雪氷熱を利用した雪冷房・冷蔵システム、地熱利用などの実用化例がみられる。本グループの提案技術として、「桃太郎 (振動発電)」、「浦島太郎 (水の階段利用)」、「金太郎 (熱利用)」の地産地消型エネルギーを提案した。今後、技術開発がは必要なものもあるが、各技術の組み合わせにより、モデル世帯の約半分の電力を創出でき、既存の再生可能エネルギーとの組み合わせで、エネルギー自給率を高めることが可能となる試算結果を提案した。

15. 地域資源と世界を繋げるネットワークの展開 (新・未来プロジェクト V)

(株)明電舎 川口隆太郎
水ing(株) 倉崎賢司
(株)東芝 高橋直樹
メタウォーター(株) 高牟禮綾
(株)堀場アドバンスドテクノ 原 康平

近年、「地方創生」は安倍政権最重要課題の一つとして位置づけられ、現在、各地域において取り組みが行われようとしている。地方創生の一例として、地域に眠る価値に気づき、あるものを再発見し、創り上げていくことにより、人が集合する地域になるケースもある。本グループでは、地産地消では消費できなかった地域資源の有効活用について着目した。地域資源を世界に発信し、世界各地の消費者が生産者を訪問するネットワークについて検討し提案を行った。本ネットワークでは、海外留学生を中心に、地域の農業・漁業体験を提案することで、地域と留学生との触れあいを推進し、地域資源の消費量を促し、生産者の外貨獲得を狙う。また、インターネットを有効活用して、売り手と買い手のニーズを把握し、買い手側のリピート効果を生み出す持続可能なサイクルのネットワークを構築することで、地域の活性化に繋がることを期待している。