

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成 21 年度採択研究代表者

H23 年度 実績報告

中尾 真一

工学院大学 工学部 環境エネルギー化学科・教授

地域水資源利用システムを構築するための Integrated Intelligent Satellite
System(IISS)の適用

§ 1. 研究実施体制

(1) 「工学院大学」グループ

① 研究代表者：中尾 真一 (工学院大学 教授) (研究代表者)

② 研究項目

- ・NF/RO 膜ファウリング防止技術の検討
- ・電場利用型 MBR 膜洗浄技術の検討

(2) 「㈱日立プラントテクノロジー」グループ

① 主たる共同研究者：大熊 那夫紀 (㈱日立プラントテクノロジー 副事業部長)

② 研究項目

- ・MBR+NF/RO システムの要素検討
- ・簡易 DNA チップを用いた細菌およびウイルスの評価
- ・無線を用いた遠隔監視技術
- ・本システムに適した自然エネルギーおよび蓄電技術の選定

(3) 「東京大学」グループ

① 主たる共同研究者：船津 公人 (東京大学 教授)

② 研究項目

- ・膜運転支援モデルの構築

(4) 「㈱日立製作所」グループ

①主たる共同研究者：圓佛 伊智朗 (㈱日立製作所 部長)

②研究項目

- ・高機能化検討
- ・培養細胞を用いた処理水の安全性評価
- ・水運用最適化システムの検討

(5)「東北大学」グループ

①主たる共同研究者：高羽 洋充 (東北大学 准教授)

②研究項目

- ・計算化学手法によるファウリング防止膜の素材ポリマーおよび表面構造解析

(6)「四川大学」グループ

① 主たる共同研究者：陳 文清 (建築及環境学院、教授)

②研究項目

- ・MBR+NF/RO システムの運転管理技術の開発および中国における IISS の適用性調査

§ 2. 研究実施内容

1) MBR+NF/RO システムの検討

① NF/RO 膜ファウリング防止技術の検討

市販膜に対し、zwitterionic であるカルボキシメチルベタイン(CMB)と n-ブチルメタクリレート(BMA)の共重合ポリマーをダイナミック膜法により表面修飾することで、高いファウリング抑制能が認められることを、昨年度報告した。

② 計算化学手法によるファウリング防止膜の素材ポリマーおよび表面構造設計

本年度は、前年度に構築したファウリング防止膜の材料スクリーニング法の応用展開を軸に、種々の膜素材スクリーニングの実施、水分子のマイクロ挙動解析、スクリーニング速度の高速化、に順次取り組んだ。種々の膜素材スクリーニングの実施については、前年度に構築したスクリーニング法を、非イオン性ポリマー、親水性ポリマーなどに適用した。その結果、検討した非イオン性ポリマーの一つが、両性イオン性ポリマーと同等の優れたファウリング抑制効果をもつことが明らかとなった。水分子のマイクロ挙動解析については、ファウラント吸着を抑制するメカニズムの解明を目的として、膜素材の近傍に存在する水分子のマイクロ挙動を解析した。その結果、膜表面での水の配向性が、膜素材によって大きく変化していることが明らかとなった。スクリーニング速度の高速化については、熱力学・統計力学の諸理論を活用し、計算精度を維持しつつ、計算速度を更に向上させる方法論について検討した。その結果、少ない計算量で膜素材の違いを表現できる計算手法を確立することができた。

③ MBR+NF/RO システムの要素検討

平成 22 年度に検討した膜面洗浄散気条件の下、伊師浄化センターでの MBR 装置の連続試験運転において、季節と汚泥性状によらず 2 ヶ月程度の逆洗間隔で運転可能である見通しを得た。また、後段の NF/RO 装置についても連続運転によるデータ取得を継続中である。

④ 高機能化検討

膜ろ過処理の残留圧力を利用した新しいマイクロバブル生成方式のベンチスケールプラント（処理流量 10 m³/d）を、「MBR+NF/RO システムの開発および実証」のサイト実証設備（MBR：10 m³/d×2 系列，RO 透過水量：1.35 m³/d×2 系列）にループを追加し、組み込んだ。ベンチスケールプラントを実証設備とともに運転し、RO 濃縮水と MBR 余剰汚泥の処理性能、およびオゾンマイクロバブルの適用性と経済性を評価した。その結果、余剰汚泥削減率 40%の運転条件において、処理水が有機物や浮遊固形物に関して中国放流水 3 級基準を満たす性能を示し、汚泥処理に要するコストを約 20%削減できる見通しを得た。

2) MBR 膜洗浄技術の検討

①電場利用型膜洗浄技術の検討

昨年度、カーボクロスを用いた安価な電場利用膜洗浄技術の開発を行ったが、今年度は電場強度や電場印加間隔などの操作条件について、これらのパラメータの膜洗浄に与える影響を検討した。現状で、電場で除去可能なファウラントはほぼ除去できていると考えられる操作条件を明らかにしており、膜自体のファウリング抑制能を高める必要性が出てきたため、これは次年度の課題とする。また昨年度、東京都八王子市北野下水処理場へ設置した 0.75 m³/d クラスの MBR 装置の運転を行い、安定した MBR 運転が可能となった。現在、このクラスでのカーボクロス電極を用いた電場利用膜洗浄技術の検討のための実験準備を実施中であり、実際の検討を次年度の課題とする。

3) 処理水の安全性評価

①簡易 DNA チップを用いた細菌およびウイルスの評価

ウイルス検出用プライマーについて複数の組み合わせを検討し、本システムに適したプライマーの設計および選定を行った。

②培養細胞を用いた処理水の安全性評価

昨年度に構築した長期継代培養試験プロトタイプの有効性を、水道水質基準値でクロムとヒ素を添加したモデル汚染処理水を用いて確認した。また各種処理水に対応できるように、細胞の至適浸透圧に合わせ、培地調製法を改良した。

4) 運転支援技術の確立

①無線を用いた遠隔監視技術

無線技術との併用により、クラウドサーバー上の **Virtual Machine** において、ろ過圧力のほか、リアルタイムで計測が可能な水質項目について、遠隔監視するシステムを構築中である。

②運転支援モデルの構築

まず、前年度に選出された **MBR** パラメータである膜差圧、時間、処理流量を使用して、急激な膜差圧上昇前の膜差圧を長期的に予測するモデル(モデル 1)の構築を行った。次に、**MBR** 内の水質を考慮に入れた長期膜差圧予測を行うため、ファウラントが膜へ付着する程度を表わす指標を提案した。そしてその指標の値を **MBR** の水質変数等から推定してファウラントの膜への堆積量を予測することで、長期的な膜差圧を予測するモデル(モデル 2)の構築を行った。それぞれ回帰分析手法として線形手法である **partial least squares (PLS)**法および非線形手法である **support vector regression (SVR)**法を使用した。実際の **MBR** で測定されたデータを用いた解析の結果、**MBR** が通常の状態の際にモデル 1,2 とともに膜差圧を長期的に精度良く予測できることを確認した。急激な膜差圧上昇前の膜差圧予測モデルの構築を達成したといえる。

③水運用最適化システムの検討

下水道未整備地域における処理水の有効活用を目的に、既存の水需要モデルを調査するとともに、IISS 導入想定地域を対象にモデルパラメータ等を定式化した。工業用水利用を対象に、多様な処理・輸送方式のフローモデリング、およびコスト、CO₂、水質等の指標に対応し、最適処理・送水計画モデルを管路網（トラック輸送を含む）の数理計画問題として定式化した。

5) 自然エネルギーの活用及び蓄電技術との統合化

①本システムに適した自然エネルギーおよび蓄電技術の選定

太陽光および風力について FS を実施し、MBR 設備電気容量と同等規模の発電機を用いる場合、これらのエネルギーにより 10 から 20% のシステム動力を賄える試算結果を得た。蓄電技術については引き続き調査を行う。

6) IISS の構築及び実証

①IISS の構築

中国実証装置の設計製作を完了した。次年度は、本装置を用いて四川大構内にて実証試験を実施し、分散型の維持管理を中心とした運転条件データを取得する。また、本件についての中国実証実験のデザインについてのワーキングを実施した。

7) MBR 技術調査

CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」領域で開発が進められている MBR 技術のレベルを客観的に評価できる基盤を作ることを目的とし、現在、世界で実用化されている MBR の技術レベルを広く調査した。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

(欧文)

1. Akamatsu, K., Mitsumori, K., Han, F., Nakao, S. (2011) Fouling-free membranes obtained by facile surface modification of commercially available membranes using the dynamic forming method, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50, 12281-12284 (DOI: 10.1021/ie201201f)
2. Akamatsu, K., Yoshida, Y., Suzaki, T., Sakai, Y., Nagamoto, H., Nakao, S. (2012) Development of a membrane-carbon cloth assembly for submerged membrane bioreactors to apply an intermittent electric field for fouling suppression, *Sep.Purif.Technol.*,88, 202-207 (DOI: 10.1016/j.seppur.2011.12.031)
3. Kaneko H., Funatsu K., A Chemoinformatic Approach to Prediction of Transmembrane Pressure in Membrane Bioreactors, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, (Submitted)
4. Kaneko H., Funatsu K., A Physical and Statistical Model Predicting Transmembrane Pressure Jump for Membrane Bioreactor, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. (Submitted)

(和文)

1. 金子 弘昌, 船津 公人, Membrane bioreactor における膜差圧予測モデル構築手法の開発, *Journal of Computer Chemistry, Japan*. (in press)
2. 金子 弘昌, 船津 公人, Genetic Algorithm-based Wave Length Selection と Support Vector Regression を組み合わせた変数領域選択手法の開発, *Journal of Computer Chemistry, Japan*. 10, 122-130 (2011)
3. 成 敬模, 金子 弘昌, 船津 公人, Membrane bioreactor における長期的膜差圧予測モデルの構築, *Journal of Computer Aided Chemistry*, 13, 10-19 (2012)
4. 日高 政隆, 圓佛伊智朗, 武本剛, 館隆広, マイクロバブル浮上分離挙動の解析に基づく濁質除去性能の評価, *下水道協会誌*, 48(586), 101-110. (2011)

(3-2) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数 (国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 3 件)