

パイロットスケール正浸透装置による下水の直接処理における膜ファウリング原因物質の推定

京都大学 (学) ○木許 新太郎, (正) 藤原 拓, (正) 日高 平, (正) 野村 洋平, 塩田 憲司
前澤工業株式会社 ガンバト ゴルザヤ 廣瀬製紙株式会社 坂本 成隆

1. はじめに

正浸透(FO)法は、駆動溶液(DS)と供給液(FS)の浸透圧差により FO 膜を通じて自発的に FS 中水分子を DS へ移動させる方法であり、本法を下水処理に適用することにより下水を清澄な処理水と濃縮下水に分離できる。濃縮下水を嫌気性消化に適用することでエネルギー創出が可能となること、FO 法は加圧や曝気を必要とせず従来の膜処理方法と比較して省エネルギーであることから、下水処理場のエネルギー自立化に寄与する新規の下水処理方法として期待されている。新下水道ビジョン加速戦略では概ね 20 年間で下水道事業における電力消費量を半減する目標が掲げられており、本法の実用化による目標達成への貢献が期待されている。筆者らは FO 膜を用いた都市下水の直接処理を検討し、膜閉塞(膜ファウリング)の原因物質(ファウラント)の推定を行ってきた¹⁾。FO 膜を用いた下水の直接処理では流入下水中の物質がファウラントであるため、流入下水の水質変動を考慮した膜ファウリングの解明が不可欠である。そこで本研究では、パイロットスケール FO 装置による流入下水の処理特性を評価するとともに、膜ファウリング原因物質の推定を行った。

2. 実験方法

本研究では、ポリアミド活性層、ポリスルホン支持層、不織布支持体の三層から構成される平膜の FO 膜を用いた。下水処理場内にパイロットスケール FO 装置を設置し、最初沈澱池流出水を原水として用いた下水処理試験を 4 日間行った。装置の概要を図 1 に示す。試験期間中に膜透過水 flux を測定し、FS 貯留槽、FO 膜分離濃縮槽、DS 循環槽から 1 時間毎に試料を採取することにより作成した 24 時間コンポジット試料を分析に用いた。試験終了後に FO 膜を回収し、蒸留水 500 mL に 2 枚の FO 膜(3 cm×13.6 cm)を浸し、浸漬液をファウリング層脱着液とした。コンポジット試料およびファウリング層脱着液の化学的酸素要求量(COD_{Cr})、溶存有機炭素(DOC)、無機イオン、微量金属、水溶性糖類、水溶性タンパク質、溶存性有機物画分を分析した。電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分光装置(SEM-EDS)により膜表面の観察および付着物の元素同定を行った。

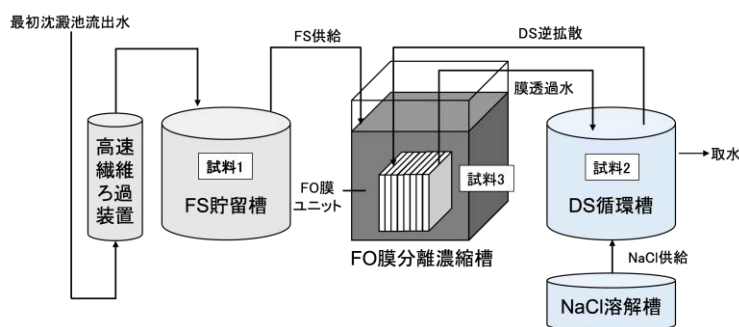


図 1 パイロットスケール FO 装置

3. 実験結果と考察

膜透過水 flux の変化を図 2 に示す。初期の膜透過水 flux は 3.9 L/m²/h であったが、4 日経過後には 1.9 L/m²/h に低下した。本研究では DS 循環層内の EC を一定に制御したことから、膜透過水 flux の低下は膜ファウリングにより生じたと考えられる。

サイズ排除クロマトグラフィーによる FS 貯留槽、FO 膜分離濃縮槽およびファウリング層脱着液における溶存性有機物の分子量分布を図 3 に示す。Huber ら(2011)の報告を参考にし、数 100Da 付近のピークがフミン質分解産物、数 1000Da 付近の

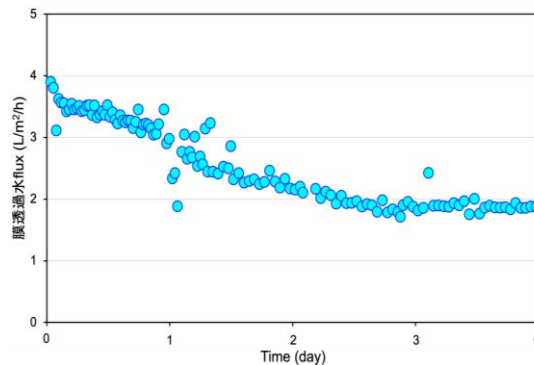


図 2 膜透過水 flux の変化

キーワード 正浸透法, 膜ファウリング, 膜透過水 flux, 下水, 直接処理

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-222 京都大学 大学院工学研究科 都市環境工学専攻 Tel: 075-383-3348

ピークがフミン質，数 100 万 Da 付近のピークがバイオポリマーと推定した³⁾。バイオポリマーは，主に親水性で分子量が大きい多糖類やタンパク質などから構成される成分である。FS ではバイオポリマー画分，フミン質画分が 0 日目から 4 日目にかけて減少傾向にあるのに対し，濃縮槽ではバイオポリマー画分が増加傾向にある。また，ファウリング層脱着液ではバイオポリマー画分，フミン質画分およびフミン質分解産物が検出された。フミン質画分やフミン質分解産物画分は低い強度で検出されたのに対して，バイオポリマーが支配的に検出された。高橋・松山(2016)は中空糸の FO 膜における膜ファウリング原因物質はバイオポリマーであると報告しており⁴⁾，野村ら(2019)もバイオポリマー画分が含まれる多糖類が溶存性有機系ファウラントであると報告している²⁾。以上より，FO 膜における有機系の膜ファウリング原因物質はバイオポリマーと推定された。

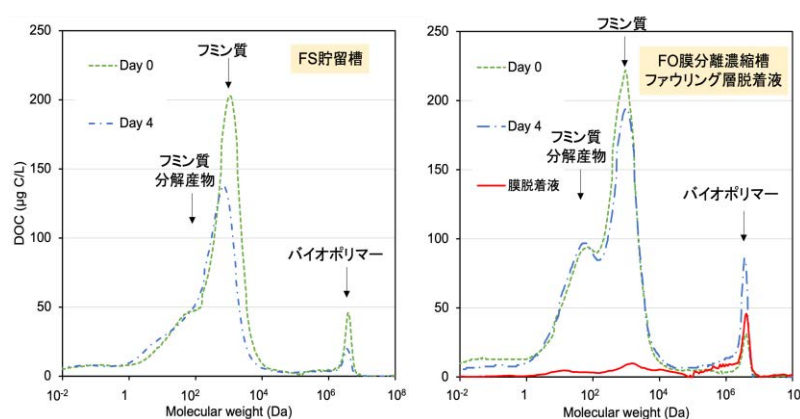


図3 各下水サンプルにおける質量ごとの有機物画分

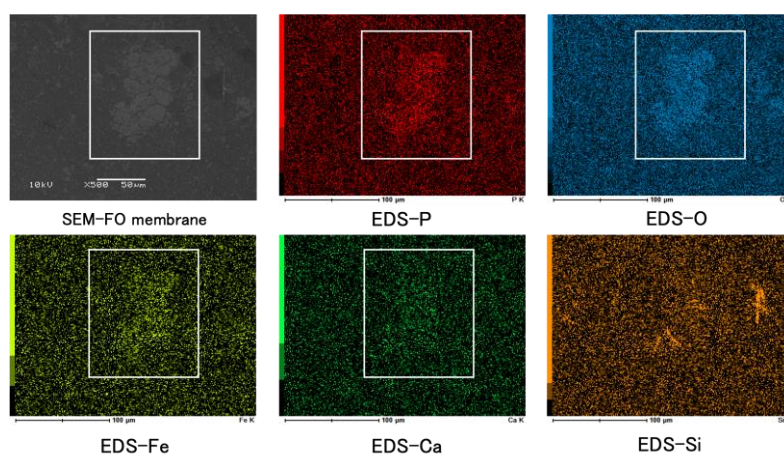


図4 膜表面のSEM画像および付着物の元素マッピング

SEM-EDSによる膜表面における元素マッピング結果を図4に示す。P, Fe, Ca, Oについて，SEMで得られた付着物の像(図4中白枠線)付近ではその他の地点よりも多く存在していることが確認された。このことから，カルシウムや鉄のリン酸塩や酸化物などがSEMで得られた付着物の像における構成要素と予想される。Siについて，SEMで得られた付着物の像と一致しなかったが，FO膜表面の存在が確認されたことからケイ素化合物がFO膜へ堆積していることが予想される。下水透過前のFO膜における元素マッピング結果において以上の元素が確認されなかったことから，無機系のファウリング原因物質である可能性が考えられた。

4. まとめ

バイオポリマーが下水処理における膜ファウリング原因物質の一つと判断された。SEM-EDSの結果より，膜表面堆積物構成元素として，P, O, Ca, Fe, Siが得られたことから，ケイ素化合物，酸化鉄，カルシウムのリン酸化合物が膜ファウリング原因物質の中の1つである可能性が考えられた。

参考文献

- 1)国土交通省.(2017), 新下水道ビジョン加速戦略
- 2)野村洋平, 三好太郎, 西内友也, 木村克輝, 藤原拓.(2019), 正浸透法による下水直接処理における溶存性有機系ファウラントの推定. 土木学会論文集 G(環境),Vol.75 No.7,III_359-III_365.
- 3)Huber, S., A., Balz, A., Abert, M., Pronk, W. (2011), Characterisation of Aquatic Humic and Non-Humic Matter with Size-Exclusion Chromatography-Organic Carbon Detection - Organic Nitrogen Detection (LC-OCD-OND). *Water Res.*, Vol.45 No.2, pp.879-885.
- 4)高橋智輝, 松山秀人.(2016), 海水を利用した正浸透膜法による都市下水の濾過濃縮. 日本海水学会誌, Vol.70 No.6, pp.340-346.