

## 審査の結果の要旨

氏名 鄭宗旻 (Chung Chong Min)

本論文は「Mitigation of membrane fouling by applying the electrochemical oxidation process in a membrane bioreactor (メンブレンバイオリアクターにおける電気化学的酸化法による膜ファウリング制御に関する研究)」と題し、メンブレンバイオリアクター (MBR) における新たな膜表面近傍に焦点を当てた電気化学的ファウリング制御法を提案し、その有用性とファウリング抑制の機構を明らかにした独創的研究である。

第1章は「序論」である。研究の背景、目的と位置づけ、及び論文構成等を述べている。

第2章は「文献レビュー」である。MBRの歴史、ファウリング、電気化学的プロセスによる下水処理等に関する既往の知見をまとめている。

第3章は「実験方法」である。以下の各章に詳細な実験方法の記述があるが、ここでは本研究全体を通して共通する実験材料や分析方法についてまとめている。

第4章は「有機性ファウリング物質の電気化学的酸化に及ぼす陰極材料の影響」である。本章で用いた実験装置や材料、方法を記述したのち、各種電極の有機物分解メカニズムを確認し、使用した陰極材料の中で、Ti/IrO<sub>2</sub>がエネルギー消費や分解効果を総合的に勘案して、実用的に優れていると評価している。今後の浸漬型 MBR に適用する電気化学的ファウリング制御に関する基礎的情報を与えるものである。

第5章は「電気化学的酸化法による分解効率に及ぼす諸因子」である。4章で選定した Ti/IrO<sub>2</sub> を用い、電解質や電流密度の違いが有機性ファウラント分解効率に及ぼす影響を調べたもので、本章で用いた実験装置や材料、方法を記述したのち、各種排水に含まれる塩化物イオンを利用した有効塩素生成によるファウリング制御が有効で、また電極表面へのスケール生成も、電流を間欠的に短時間逆転させる方法で十分制御可能であることを示した。

第6章は「活性汚泥混合液中の有機性膜ファウラント及び微生物活性に及ぼす電気化学的酸化法の影響」である。電気化学的酸化が汚泥の活性に及ぼす悪影響を定量化し、電流密度の最適値があることを明らかにしたもので、本章で用いた実験装置や材料、方法を記述したのち、本実験条件下では 0.4 mA/cm<sup>2</sup> 以

下に制御することにより微生物活性の低下を防ぐことが出来るとした。生物処理プロセスとしてのMBRへの電気化学的酸化法の適用条件を明らかにした重要な成果である。

第7章は「電気化学的酸化法の膜表面近傍への適用による膜ファウリング抑制」である。前章までに得られた基礎的知見を基に、浸漬型MBR用の膜ファウリング抑制法を新たに開発したものである。新たなMBRをEO-MBR (Electrochemical Oxidation MBR) と提案し、本研究の中核をなす研究成果がまとめられている。本章で用いた実験装置や材料、方法を記述したのち、前章で求めた電流密度条件  $0.4 \text{ mA/cm}^2$  でMBR連続処理実験を行った結果、コントロールMBRに比して、ファウリング進行速度を約半分に落とすことに成功した。また、実験終了後の膜ファウリング物質の分析により、EO-MBRでは膜ファウラント物質のうち物理的に洗浄可能なものがコントロールMBRに比して多く、また溶解性微生物産生物質としてのタンパクや多糖類成分の分解が進んでいることが実証された。またそれらの物質の分解による膜処理水の水質の悪化は認められず、本実験条件下で、エネルギー消費が  $0.03\text{kW/m}^3$  程度と現状のMBRによる実処理でのエネルギー消費に比べて十分低く、実際への適用が大いに期待できる結果を得ている。電気化学的酸化による膜ファウリング制御法の実用化へ向けての大きな一歩与える重要な成果である。

第8章は「前処理用に不織布を組み合わせたEO-MBRによる膜ファウリング制御性能」である。さらにEO-MBRを改良し、不織布と組み合わせ中空糸膜との間の密閉空間を利用して陰極を配置し、より効率的で微生物活性への低下を抑える画期的なファウリング抑制法の試みたものである。本章で用いた実験装置や材料、方法を記述したのち、通常の下水に含まれる塩化物濃度でも、間欠的に電流密度を上げて運転させた結果、エネルギー消費を前章の結果と同様に  $0.03\text{kW/m}^3$  程度に抑えつつ、コントロールMBRに比してファウリング抑制効果があること、電極の配置の工夫が重要であることを示した。

第9章は「結論と今後の展望」である。

以上要するに、本論文は、ユニークな発想により、膜モジュールに付随させる電気化学的酸化膜ファウリング抑制法の開発に成功し、それをを用いたこれまでにない画期的な、コンパクト膜モジュール表面近傍に付随する連続洗浄デバイスを提案し、各種排水処理への実用化への道を切り開いたものであり、同時に電気化学的酸化法のMBRへの適用における基礎的かつ学術的情報を与える独創性の高い研究であると評価できる。また、本研究で得られた知見は、都市環境工学の学術の発展に大きく貢献するものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。