HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Impact of Anodic Respiration on Membrane Fouling in Electrode-assisted Membrane Bioreactor [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	石﨑, 創
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12768号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65566
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ishizaki_So_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　石﨑 創

審査担当者　主　査　教　授　岡部 聡
副　査　教　授　高橋 正宏
副　査　准教授　木村 克輝

学位論文題名

Impact of Anodic Respiration on Membrane Fouling in Electrode-assisted Membrane Bioreactor
(電極支援型 MBR における膜ファウリング抑制効果の解明)

水資源およびエネルギー資源の不足が懸念される今日、より少ないエネルギーで高度な処理水水質の実現が可能な省エネルギー型排水処理技術の開発が期待されている。特に、排水中には質、量共に安定した未利用バイオマスエネルギーが残存しており、本研究は、この未利用バイオマスをターゲットとした、バイオ燃料電池 (Microbial Fuel Cell: MFC) と膜分離活性汚泥法 (Membrane Bioreactor: MBR) を統合した電極支援型 MBR(Electrode-assisted MBR: e-MBR) の開発を目指したものである。e-MBR は、酸素に代わって電極を電子受容体として活用するため、酸素供給のためのエアレーションを必要としない。エアレーションは消費エネルギー量が大きく MBR の全電力消費量の約 5 割を占めるため、無曝気 e-MBR は革新的な省エネルギー型排水処理技術となる。しかしながら、エアレーションには酸素供給に加え、膜ファウリング抑制のための空気洗浄としての役割があるため、無曝気 e-MBR では顕著な膜ファウリングが生じる可能性が懸念される。これまでに、MFC と MBR を統合した排水処理技術の開発は若干報告されているが、電極呼吸が膜ファウリングに与える影響を実験的に検証した事例は皆無である。本研究では、電極呼吸が膜ファウリングに与える影響を実験的に検証するとともに、実排水を処理する MBR から単離した細菌を用いて、膜ファウリングポテンシャルと生理生態学的特性の関係や電極呼吸による膜ファウリング抑制効果およびそのメカニズムを細菌レベルで明らかにしている。

本論文は以下の 7 章により構成されており、

第 1 章では、本研究の導入として、研究背景や目的、本論文の構成を示している。

第 2 章では、本研究の意義を明らかにするために、MFC や MBR、また e-MBR に関する知見を整理し、本研究の目的を導出している。

第 3 章では、異なる外部抵抗を用いて電極呼吸を制御した電極支援型 MFC を 4 台構築し、膜ファウリングポテンシャル、微生物分泌物、アノードバイオフィルム中の菌相を比較検証している。その結果、電極支援型 MBR における膜ファウリング原因物質がバイオポリマーであることを明らかにし、電極呼吸の促進によりバイオポリマー濃度が低減し、膜ファウリングポテンシャルが抑制されることを示している。また、電極呼吸の促進に伴い優占していた Geobacteraceae 科と同科の G. sulfurreducens strain PCA 株を純粋培養することで、電極呼吸の促進がバイオポリマー生産および膜ファウリングポテンシャルの抑制に寄与することを明らかにした。

第 4 章では、膜ファウリングを顕著に引き起こす Fouling-causing bacteria (FCB) の探索を目的とし、実下水を処理する MBR より 41 株の菌を単離し、膜ファウリングポテンシャル及び生理生態学的特性を検証している。本章では、Cross-flow filtration membrane system (CFMFS) を用いて、連続的かつ純粋培養時の菌株の膜ファウリングポテンシャルを評価し、16S rRNA 遺伝子解析に基づいた菌種同定、生理生態学的特性の解析を行い、FCB に共通する因子の探索を行っている。FCB は様々な菌種に属するため、16S rRNA 遺伝子解析に基づいた菌相解析のみでは、実際の MBR 中で膜ファウリング進行に関与していた菌の特定は困難であることを明らかにした。また、FCB は高い含水性を有するコロニーを形成し、親水性の糖を多く含む溶解性分泌物 (Soluble Microbial Products: SMP) を生産するという特徴を持つことを明らかにしている。

第 5 章では、複合環境下における FCB の膜ファウリングポテンシャル及び菌間相互作用が FCB に及ぼす影響を検証している。実験は、4 章で得られた菌株の内、互いに菌種の異なる 13 株を純

粋培養また共培養し、膜ファウリングポテンシャルの増減を比較している。その結果、FCB は複合環境下でも膜ファウリングポテンシャルが高く、実際の MBR においても、FCB が膜ファウリング進行の主要因となり得ることが示されている。また、Thermomonas fusca strain S22 株と FCB の 1 種である Mesorhizobium ciceri strain S26 株を共培養した時、顕著な膜ファウリングを生じたことに着目し、そのファウリング促進機構の解明を試みている。その結果、菌間相互作用物質 N-acyl-homoserine-lactone (AHL) の一種である N-octanoyl-L-homoserine lactone の生産を介して、S26 が膜ファウリング進行に関与するタンパク質を多く含む SMP を増産することを明らかにしている。

第 6 章では、4, 5 章で使用した FCB のうち、電気生産能を有する Klebsiella pneumoniae strain S05 株を用いて、電気生産能を有する FCB の膜ファウリングポテンシャルの評価を行っている。電極、酸素、硝酸、また電子受容体を与えない条件で S05 株を培養し、膜ファウリングポテンシャル及び SMP 生産量の定量評価を行っている。その結果、電極呼吸時の膜ファウリングポテンシャルは、電子受容体を与えない条件よりも著しく低く、酸素もしくは硝酸呼吸時と同等であることを明らかにしている。また、電子供与体の欠乏は、タンパク質およびバイオポリマーを多く含む SMP の生産を促進し、顕著な膜ファウリングを引き起こすことを明らかにしている。

第 7 章は本研究の総括であり、得られた結果の整理と今後の課題を述べている。

これを要するに、著者は、MBR の最大課題である消費エネルギー量の低減のために、電極呼吸を活用した電極支援型 MBR(e-MBR) を提案し、電極呼吸が膜ファウリングに及ぼす影響を細菌レベルで明らかにした。この結果は、電極呼吸は膜ファウリングを抑制し、e-MBR が無曝気で高効率・省エネルギー型の排水処理技術となり得ることを示している。以上のように、著者は、水環境工学の発展に大いに貢献しており、よって北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があると認める。