



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	MBR汚泥ろ過性に影響を及ぼす成分の消長および特性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	角田, 貴之
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14884号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85263">https://hdl.handle.net/2115/85263</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Takayuki_Kakuda_abstract.pdf, 論文内容の要旨



## 学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 角田 貴之

### 学位論文題名

MBR 汚泥ろ過性に影響を及ぼす成分の消長および特性に関する研究  
(Fate and Characteristics of Components Affecting Filterability of Sludge in Membrane Bioreactors)

膜分離活性汚泥法 (MBR) は下水処理の飛躍的な高度化を実現する技術として有望である。MBR では高濃度で保持する微生物集合体 (活性汚泥) による汚濁物の効率的な分解と分離膜を用いた精密な固液分離が行われ、病原微生物の完全な除去と広い範囲の微量有機汚染物質の良好な除去が可能であることがすでに実証されている。一方で、膜の目詰まりに伴う膜透水性の低下 (膜ファウリング) の防止と対応に大きなコストがかかるため、広範な導入が進んでいない。MBR の運転コストを低減させるためには、膜ファウリングを効率的かつ効果的に抑制する必要がある。

MBR を用いた実際の下水処理では、活性汚泥懸濁液のろ過性 (膜ファウリングの起こりやすさ) が大きく変動する。汚泥ろ過性の変動には反応槽内に保持する活性汚泥が放出する代謝産物 (汚泥上澄み液に含まれる) が重大な関与をすると考えられている。しかしながら、汚泥ろ過性の評価方法、代謝産物の定量方法ともに有効な方法は定まっていない。また、代謝産物のどのような特性が汚泥ろ過性の低下に関与しているのかについても十分に検討されていない。これらのことが主因となり、MBR における効率的な膜ファウリング制御は困難なままとなっている。

上述した問題認識に基づき、本研究では MBR 汚泥ろ過性に影響を及ぼす成分の消長と特性について検討した。実下水処理場に設置したパイロットスケール MBR において汚泥ろ過性に影響を及ぼす成分の濃度および特性を継続的に追跡するとともに、汚泥ろ過性の評価方法についても検討した。パイロットスケール実験の結果を踏まえ、ベンチスケール MBR を用いた検証実験を行った。また、汚泥ろ過性に影響を及ぼす成分を MBR 汚泥懸濁液から選択的に回収し、特性分析を行った。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章では、実験方法について詳細に記載した。

第 3 章では、汚泥ろ過性の継続的なモニタリング結果に基づき、実都市下水を処理するパイロットスケール MBR における膜間差圧 (TMP) 上昇の原因を判別した。また汚泥ろ過性の評価手法についても検討し、全量ろ過セルを用いた回分ろ過試験と毛管吸引時間 (CST) 測定の結果を比較した。回分ろ過試験において発生した膜ろ過抵抗と CST の間には相関が認められた。コロイド成分が汚泥ろ過性の低下に強く関与した期間に、可逆的ファウリングの発生に伴い TMP が急激に上昇した。一方で、コロイド成分が汚泥ろ過性に影響を及ぼさない期間における TMP の急激な上昇は、不可逆的ファウリングに起因していたことが示唆された。改良 CST 測定により、TMP 上昇の原因を判別できる可能性が示唆された。また、コロイド画分のリポ多糖 (LPS) が汚泥ろ過性の低下に強く関与すると推察された。MBR 槽内水温の低下または流入原水中イオンバランスの変動により、コロイド画分の有機物濃度が増加した可能性が示唆された。

第 4 章では、第 3 章で提案した改良 CST 測定の有用性を検証した。実都市下水を処理するパイロットスケール MBR の汚泥馴致期間において、改良 CST 測定により汚泥ろ過性を評価した。コロイド成分が汚泥ろ過性の低下に強く関与した期間では、膜透過水フラックスを極めて低い値に設

定したにもかかわらず、TMP が急激に上昇した。また、閉塞膜表面に形成されたゲル層をフーリエ変換赤外分光法 (FTIR) により分析した結果、汚泥上澄み液中コロイド成分とスペクトルが一致した。汚泥ろ過性を低下させたコロイド成分が、TMP の急激な上昇の主原因であったことが強く示唆された。

第 5 章では、MBR 槽内バイオポリマーの濃度および特性の変化が汚泥ろ過性に及ぼす影響を検討した。実都市下水を処理するパイロットスケール MBR を約 3 年間連続運転し、液体クロマトグラフィー-有機炭素測定 (LC-OCD) を用いて汚泥上澄み液中のバイオポリマー濃度を継続的に測定した。バイオポリマー濃度と汚泥懸濁液の回分ろ過試験において発生した膜ろ過抵抗との間には極めて高い相関が認められた。また、低水温下で分子量 100 万 Da 以上の高分子量バイオポリマーの濃度が顕著に増加した。一方で、比色法を用いて分析した汚泥上澄み液中の糖濃度とタンパク質濃度はいずれも汚泥ろ過性との相関が低かった。FTIR により汚泥上澄み液を詳細に分析した結果、多糖類の変化に起因するバイオポリマーの特性の変化が汚泥ろ過性に影響を及ぼした可能性が示唆された。また、槽内水温を制御したベンチスケール MBR を用いて検証実験を行った。ベンチスケール MBR の槽内水温を低下させた結果、パイロットスケール MBR と同様にバイオポリマー濃度の増加と汚泥ろ過性の低下が認められた。

第 6 章では、バイオポリマーの物理化学特性が汚泥ろ過性に及ぼす影響を検討した。人工下水を流入原水とした 2 台のベンチスケール MBR をそれぞれ異なる槽内水温で並列運転した。槽内水温の違いにより、特性が異なるバイオポリマーが生成することが明らかになった。低水温下で生成する高分子量のバイオポリマーが、汚泥ろ過性の低下に強く関与することが示唆された。また、バイオポリマーの単糖組成について両 MBR で顕著な差が認められた。

第 7 章では、実都市下水を処理するパイロットスケール MBR から選択的に回収・精製したバイオポリマーの特性を分析した。限外ろ過膜を用いて MBR 汚泥上澄み液中バイオポリマーの 70% を選択的に回収することに成功した。精製バイオポリマーを用いたろ過実験により、MBR 槽内においてバイオポリマーの膜ファウリング発生ポテンシャルが極めて高い可能性が示唆された。水晶振動子マイクロバランス法 (QCM 法) を用いた分析の結果、バイオポリマーとポリフッ化ビニリデン (PVDF) の親和性が極めて高いことが示された。また、実際のバイオポリマーは、これまでバイオポリマーのモデル物質として多用されてきたアルギン酸ナトリウムやウシ血清アルブミンとは特性が大きく異なることが示された。一方で、精製バイオポリマーと LPS には一定の類似性が認められた。

第 8 章では、本研究によって得られた知見を総括し、MBR 膜ファウリング制御の効率化に向けた提案を行った。また、今後の課題についても指摘した。