



Title	浸漬型MBRへの担体投入による膜ファウリングの抑制と曝気量の削減に関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	栗田, 宗大
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12312号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61759
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tokihiro_Kurita_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 栗田 宗大

学 位 論 文 題 名

浸漬型 MBR への担体投入による膜ファウリングの抑制と曝気量の削減に関する研究
(Mitigation of membrane fouling and reduction of aeration in submerged MBRs by introduction of bio-carriers)

膜分離活性汚泥法 (MBR) は生物処理と膜分離を組み合わせた排水処理方法であり、膜を用いた完全な固液分離を行うために小規模でも処理性能が安定する特徴を持つ。また、MBR 処理水は従来技術に比べると格段に上質であるため、MBR は排水の再利用に適した技術として注目されている。一方で、膜の目詰まりに伴う膜透過性能の低下 (膜ファウリング) が MBR 導入拡大の大きな障害となっている。膜ファウリングの発生に伴う頻繁な膜の洗浄や、膜ファウリング抑制を目的とした膜分離槽内の曝気が MBR 処理の運転コストを大きく増加させている。特に曝気に消費されるエネルギーは、MBR 処理施設全体で必要とされるエネルギーの大半を占めるとされている。現在の主流排水処理技術である活性汚泥法と比較すると、2 倍以上のエネルギーが MBR 処理に必要となっている。MBR の運転コストを低下させて導入を促進するためには、曝気量の削減と膜ファウリングの抑制を同時に達成することが必要となる。MBR 槽内へ担体を投入することで担体と膜面が頻繁に接触し、膜ファウリングを引き起こす成分の膜面蓄積が抑制され、膜ファウリングを抑制するための曝気量を大幅に削減できることが期待される。本研究では浸漬型 MBR へ担体を投入することによる膜ファウリングの発生抑制と曝気量の削減について検討した。ベンチスケールおよびパイロットスケール実験における曝気削減可能量の定量的評価ならびに担体の膜面洗浄効果を最大化するための曝気条件最適化、浸漬型 MBR への投入に適した担体の探索などを実施した。

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 章では浸漬型 MBR への担体投入による膜ファウリング抑制効果および曝気削減可能量を定量的に評価した。ベンチスケール実験において、担体の投入によって物理的な洗浄で除去できる可逆的膜ファウリングをほぼ完全に抑制できることが示された。また、担体の投入により MBR 曝気量を 50% 削減させても安定した運転を継続することが可能であった。一方で、担体の投入により薬品洗浄を必要とする不可逆的膜ファウリングについては発生が促進されることが確認された。また、担体を投入した場合にフミン質の不可逆的膜ファウリングへの寄与が増すことが示された。不可逆的膜ファウリングの発生とフミン質の膜ファウリングへの関与については、通常の MBR で膜表面に形成されるダイナミックフィルターが担体の膜面洗浄効果によって消失することで生じたものと考えられる。

第 4 章では MBR 汚泥性状が担体の膜ファウリング抑制効果に与える影響について検討した。下水処理場で稼働するパイロットスケール MBR から採取した汚泥を用いて、ろ過実験と汚泥性状の分析を定期的実施した。水温の低下に伴って、汚泥上澄み中の有機物濃度が増加し汚泥ろ過性の悪化が観察された。汚泥上澄み中の有機物濃度が高い状況では、担体の投入により汚泥ろ過性はさらに悪化することが示された。また、汚泥ろ過性が悪化した状況で膜透過水フラックスを高く設定

した場合 (本研究では 40 LMH 以上)、担体の投入では膜ファウリングの発生を抑制できないことが示された。

第 5 章では実都市下水を処理するパイロットスケール MBR に担体を投入した場合の膜ファウリング抑制効果と曝気量削減効果について検討した。パイロットスケール実験では水温の低下に伴う汚泥ろ過性の悪化が観察されたが、曝気量を 50% 以上削減しても膜ファウリングの発生をコントロールできることが示された。一方で、担体の投入に伴う膜表面構造の変化や損傷が膜の一部で認められた。パイロットスケール実験では担体の過度な膜面との接触が生じていたことが示唆された。

第 6 章ではベンチスケール MBR およびパイロットスケール MBR 槽内における担体の流動様式を画像解析によって検討した。アクリル材を用いて製作した MBR に清水を満たし、連続処理実験時と同じ曝気条件下における担体の流動状況をハイスピードカメラにより撮影した。第 3 章における検討から、ベンチスケール実験では担体を投入しても膜表面を損傷させることなく膜ファウリングを抑制できることを確認している。膜表面が損傷したパイロットスケール MBR の運転条件では、ベンチスケール MBR に比べて担体の流動速度の絶対値と変動が大きく、担体が膜表面と強く接触していることが画像解析によって明らかになった。パイロットスケール MBR の散気管形状や曝気量などを変更して、担体の流動様式がベンチスケール MBR の場合と類似するようになる条件を探索した結果、膜モジュールが一樣に微細気泡で曝気される条件が適していることを見出した。この曝気条件でパイロットスケール MBR を用いた連続処理実験を行ったところ、担体を投入することで曝気量を従来条件の 3 分の 1 に削減しても膜ファウリングをコントロールできること、担体による膜表面損傷を大きく軽減できることを実証した。

第 7 章では異なる担体を用いた場合の膜ファウリング抑制効果および汚泥性状について検討した。6 章までの研究では大きさが約 4 mm で弾力のあるプラスチック製の粒状担体を使用した。スポンジ担体を投入した場合には高い膜表面洗浄効果が得られることに加えて、不可逆的膜ファウリングの進行が抑制されることが明らかになった。また、粒状担体を投入した場合には MBR の汚泥ろ過性が悪化した。スポンジ担体を投入した場合には、粒状担体投入時に比べて汚泥ろ過性を改善できることが示された。また、異なる密度やセル構造を持つスポンジ担体を用いた場合に、汚泥性状および処理性に与える影響について検討した結果、粗大なセル構造のスポンジ担体に比べて微細なセル構造のスポンジ担体を用いることで、汚泥ろ過性と処理水の窒素除去性がより改善されることが明らかになった。微細なセル構造のスポンジ担体を用いた場合、汚泥中の溶解性有機物成分が変化することで MBR の汚泥ろ過性が改善することが示された。

第 8 章では本研究によって得られた担体投入型 MBR に関する知見を総括し、従来型 MBR 処理に比べて削減できるエネルギー量を推定した。また、今後の検討課題についても指摘した。