HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Fouling mitigation in membrane bioreactors by nanobubble-assisted backwashing [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Galvao Fernandes, Helmano David
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16128号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93679
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Galvao_Fernandes_Helmano_David_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　Galvao Fernandes Helmano David

審査担当者　主　査　教　授　木村 克輝
副　査　教　授　岡部 聡
副　査　教　授　佐藤 久

学位論文題名

Fouling mitigation in membrane bioreactors by nanobubble-assisted backwashing
(ナノバブルを用いた逆洗による膜分離活性汚泥法のファウリング抑制)

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が、膜の目詰まりに伴う膜透過性能の低下 (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。現在主流となっている浸漬型 MBR では膜分離槽内に分離膜を浸漬させ、槽内において大風量のばっ気を行うことで膜表面を洗浄して膜ファウリングの発生を抑制している。実装置におけるエネルギー消費分析により、膜洗浄に用いられる大風量のばっ気が MBR の運転コストを押し上げる最大要因であることが明らかとなっている。MBR の運転コストを低減させるためには、小ばっ気風量条件下での運転において膜ファウリング発生を抑制する必要がある。従来とは異なる MBR 膜洗浄方法の開発が待望されている。

様々な工業製品の洗浄において、ナノバブルの適用が注目されている。ナノバブルは汚れ成分へ吸着した後にこれを含んで剥離する他、活性酸素種を発生させて汚れ成分を分解するとも考えられており、水処理膜の洗浄における適用検討が始まったところである。ナノバブルを用いた水処理膜洗浄の既存研究例は、ナノバブル混合水を閉塞膜表面で循環させるものが大半である。ナノバブルの粒径は MBR に用いる膜の細孔径 (100 nm 前後) よりも小さいものがあり、ナノバブル混合水を MBR 膜でろ過する場合にはナノバブルの一部が透過すると予想される。このことより、ナノバブル混合水を逆洗工程で用いて MBR 膜洗浄をより効率的に行える可能性が着想される。

本研究では実下水を用いた実験でナノバブル逆洗による MBR 膜の洗浄を行い、新たな高効率膜洗浄方法の確立を試みた。本論文は全 7 章で構成される。第 1 章では本論文の構成を説明している。第 2 章では既往の文献整理を行い、現在の下水処理が抱える問題、現在主流となっている下水処理技術である活性汚泥法と MBR との比較について論じている。第 3 章では MBR における膜ファウリング発生機構について既往の理論を紹介するとともに、近年急速に蓄積が進んでいるナノバブルの諸特性を整理している。

第 4 章では、実下水を用いて行った MBR 処理実験において、ナノバブル逆洗が発揮した洗浄効

果を説明している。ナノバブル逆洗は通常の水理学的逆洗よりも洗浄効果が高く、次亜塩素酸を用いた化学薬品洗浄逆洗 (CEB) にも匹敵しうる洗浄効果を発揮することが示されている。ナノバブル逆洗、水理学的逆洗、CEB のそれぞれが MBR 槽内の汚泥特性を変化させたことに伴うファウリング発生抑制の可能性については、綿密かつ継続的な汚泥分析の結果より排除された。膜ファウリング層の電子顕微鏡および原子間力顕微鏡を用いた観察により、ナノバブル逆洗はファウリング層の肥大化を防止するとともに、ファウリング層の構造を弛緩させる効果があることが明らかとなった。活性酸素種の発生による洗浄効果の向上については、これを支持する分析結果は得られなかった。

第 5 章ではナノバブル逆洗の洗浄効果をさらに向上させるために試みた化学薬品との併用について説明している。ナノバブル逆洗による洗浄効果の向上はファウリング成分の分解に伴うものではないことが示唆されたため、ファウリング成分の分解を行う薬剤として広く認知されている次亜塩素酸との併用を行った。次亜塩素酸との併用により、ナノバブル逆洗の効果はさらに向上した。また、次亜塩素酸と併用するナノバブル逆洗は pH の影響を大きく受けることが明らかになった。強アルカリ pH で実施する次亜塩素酸併用ナノバブル逆洗は洗浄効果の向上が認められない一方で、酸性条件下で実施する次亜塩素酸併用ナノバブル逆洗は最も高い洗浄効果を発揮した。このようなナノバブル逆洗効果の pH 依存性については、ナノバブル粒径の変化により説明された。すなわち、強アルカリ条件ではナノバブル粒径が MBR 膜細孔径 (100 nm) よりも明らかに大きくなり、細孔を通過してファウリング層へ到達できなかったことにより洗浄効果の向上が起こらなかったものと考えられた。

第 6 章では本研究で提案するナノバブル逆洗により達成される洗浄効果に基づき、水理学的逆洗および CEB とのコスト比較を行っている。ナノバブル逆洗、特に薬品を併用するナノバブル逆洗がコスト面で有利となることが示されている。第 7 章では本研究によって得られた知見の整理と総括を行っている。

以上を要するに著者は、実下水を用いた MBR 処理実験に基づき、これまでに検討例が存在しないナノバブルを用いた膜逆洗の高い洗浄効果を実証し、その洗浄機構についても重要な知見を得ている。本研究により得られた知見は低コストでの MBR 膜洗浄技術の確立に道を拓くものである。本研究は MBR 技術普及を促すものであり、水環境工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。