



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Establishment of High-Rate MBRs for Effective Recovery of Organic Matter from Municipal Wastewater : Fouling Mitigation for Long-term Operation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Rocco Cordon, Michael Joseph
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16130号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93378
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Rocco_Cordon_Michael_Joseph_review.pdf, 審査の要旨



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 Rocco Cordon Michael Joseph

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

Establishment of High-Rate MBRs for Effective Recovery of Organic Matter from Municipal
Wastewater: Fouling Mitigation for Long-term Operation

(都市下水からの効率的有機物回収を行う高速 MBR の確立: 長期運転のためのファウリング軽減)

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて様々な取り組みが行われている。都市内で有数の電力消費地点となっている下水処理場では、カーボンニュートラルへの対応が特に重要となる。現在の下水処理で主流となっている活性汚泥法では、大風量での空気吹き込みにより下水中の有機物を好氣的に分解・安定化する結果、大量の電力が消費されている。下水処理場をエネルギー生産拠点へ転換するためには、下水中有機物の積極的な回収と活用を指向した新たな下水処理プロセスの開発が求められる。下水中有機物の回収と活用を目的とした処理方法の一つに高速活性汚泥法 (HRAS) がある。HRAS では活性汚泥法を極めて短い汚泥滞留時間 (SRT) と水理学的滞留時間 (HRT) で運転する。このような運転条件では下水中のコロイドおよび溶解性有機物の多くが分解されずに汚泥フロックへ吸着される。有機物を吸着した汚泥フロックを回収して嫌気性消化を適用し、エネルギー生産を行おうとするのが HRAS である。しかしながら、HRAS では汚泥フロックの回収を重力沈降で行うために有機物の回収が安定しない、維持管理が複雑となるなどの問題があるため、HRAS は広く採用される技術とはなっていない。HRAS における汚泥フロックの回収を膜分離により行えば、これらの問題を解決できる。

膜分離と活性汚泥法を組み合わせた処理方法は膜分離活性汚泥法 (MBR) として知られている。極短の SRT と HRT で運転される MBR は高速 MBR として位置づけられる。高速 MBR では SRT を極短に設定することから膜ファウリングの発生が深刻となることが確実視される一方で、有機物の回収が安定かつ高効率で行われることも確実視される。本研究では高速 MBR において発生する膜ファウリングを高強度の膜洗浄により制御し、下水処理のカーボンニュートラルを達成するための基盤技術として高速 MBR を提示することを目的とした。高強度の膜洗浄実施を可能にするために、堅牢なセラミック平膜を装着した MBR を用い、担体の槽内流動による高強度膜面物理洗浄と化学薬品併用逆洗 (CEB) を組み合わせることで高速 MBR の膜ファウリング制御を行った。

本論文は全 8 章で構成される。第 1 章では研究の背景について述べている。第 2 章では高速 MBR に関係する先行研究の文献整理を行うとともに、既存の膜ファウリング制御手法について整理している。第 3 章では本研究で用いた実験装置の詳細および分析手法の詳細について説明して

いる。

第4章では実下水処理場に設置したベンチスケール高速 MBR を用いた実験結果、特に粒状担体を用いた膜面物理洗浄と高濃度次亜塩素酸ナトリウムを用いた化学薬品洗浄 (CEB) の洗浄効果について説明している。これらの膜洗浄は堅牢なセラミック平膜を用いていることにより適用可能となる高強度の膜洗浄である。これらを適用することで、従来成功例がほとんど報告されていない高速 MBR の連続運転が高フラックス条件下 (20 LMH) においても可能となることを実証した。処理システム全体での有機物回収率は 73 パーセント、COD の除去率は 95 パーセントに達した。これらの数字はカーボンニュートラルを目的とした競合下水処理技術と比較すると明らかに高く、高速 MBR の優位性が示された。

第5章では高速 MBR の長期連続運転を可能とするための膜洗浄条件の最適化について検討した結果を述べている。高速 MBR では運転のスタートアップが短期間で終了するため、槽内汚泥の排出を頻繁に行うことが可能となる。排出された槽内汚泥は直ちに嫌気性消化されることが想定される。本研究では、新規の膜洗浄方法として槽内排出汚泥後の CEB 実施を提案した。新規開発した CEB(Air exposed CEB; AECEB) では膜透過水側から導入した洗浄薬品が閉塞膜表面を滴下するようになり膜洗浄効果が大幅に高まる。AECEB は、高速 MBR において過度に閉塞が進行した膜を対象とした場合でも膜透過性能を 90 パーセント以上回復させた。AECEB の実施頻度は 1 ヶ月に一度程度で十分であり、高速 MBR の運転管理は容易となることが示された。粒状担体については、材質の選択が非常に重要であることを見出している。すなわち、AECEB で用いる薬剤により分解されないような担体材質の選択が必要であることを示した。適切な材質 (例えばポリウレタン) の担体を用い、AECEB と併用することで高速 MBR の長期運転において発生するファウリングを高効率で解消することが可能となったことが示されている。

第6章では、高速 MBR により回収され、濃縮下水として排出された有機物懸濁液の濃縮を試みた結果が説明されている。高速 MBR からの排出懸濁液を対象とし、簡易な沈殿分離で濃縮を試みた。沈殿プロセスでの滞留時間中に有機物の無機化が進行して有機物回収率が大幅に減少したことに加え、高速 MBR に返送した沈殿上澄水中の微生物代謝産物が急速に可逆的ファウリングを発生させた。今後の研究においてこれらの問題を回避するための提言がなされている。第7章では本研究で得られたデータに基づき、高速 MBR を用いた下水処理におけるエネルギー収支の試算を行っている。高速 MBR を組み込んだ下水処理システムでは、正味のエネルギー収支がプラスになる可能性が高いことが示された。

以上を要するに著者は、下水処理場のカーボンニュートラルを達成するための高速 MBR が成立することを実下水を用いた実験で実証し、高速 MBR は関連研究と比較して明らかに高い処理効率を発揮することを示した。高速 MBR では深刻な膜ファウリングの発生が問題となるが、著者は独創的な膜洗浄方法を開発してこれを克服できることを示した。本研究により得られた知見は下水処理場のカーボンニュートラル達成に繋がるものであり、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。