OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	実規模膜分離活性汚泥法における膜面付着微生物群集の解析
Author(s)	高田, 一輝
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69589
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　高田　一輝　）	
論文題名	実規模膜分離活性汚泥法における膜面付着微生物群集の解析

論文内容の要旨

本論文は、実規模膜分離活性汚泥法（membrane bioreactor, MBR）内においてバイオファウリングに大きな影響を及ぼしていると推測される膜表面付着微生物群集の挙動を解明することを目的とした一連の研究成果をとりまとめたものであり、緒論、全3章からなる本編、総括ならびに結論、および全1章からなる補遺で構成されている。

緒論では、研究の背景および目的と、論文の概略を述べている。

第1章では、本研究を遂行するための基礎となるバイオファウリングに関する知見を、ラボスケールあるいはパイロットスケールのMBRを扱った事例も含め、既往研究から整理した。ファウリング原因物質の生産を担う微生物群集として、第一には、活性汚泥混合液中のものが考えられたが、ろ過膜表面に形成される独特な微生物群集に着目し、その寄与を指摘する研究も多くみられた。ろ過膜表面の独特な微生物群集は、膜面に付着しやすい先駆種によるバイオフィルムの形成、活性汚泥混合液中の物質蓄積による膜付着物層の成長、そしてその結果として生じる微生物群集の遷移によって形成されると考えられている。しかしながら、ラボあるいはパイロットスケールとは活性汚泥中の微生物組成やその動態が大きく異なることが明らかとなっている実規模MBRにおいて先駆種の膜面付着や微生物群集の遷移を確認した事例はほとんどなく、実規模MBRを対象とした研究の必要性が示された。

第2章では、堺市三宝下水処理場で運転されている実規模MBRを対象として、活性汚泥混合液および膜付着物の微生物群集の調査を実施し、その動態からファウリングの進行度合いについて考察した。ファウリングの深刻度を軽度、中度、重度の3パターンに分類し、微生物群集との関連性をみたところ、軽度のファウリングが発生した膜面の微生物群集は活性汚泥の微生物群集に類似しているが、中度のファウリング発生時の膜面には活性汚泥とは異なる独特な微生物群集が形成されることが明らかとなった。この膜付着微生物群集の相違は、ラボスケールおよびパイロットスケールMBRを用いた既往研究においても観察されている遷移によって生じたものと考えられた。他方、重度のファウリングが発生している膜の付着微生物群集は、さらに特殊な構造を有しており、本研究で対象としたMBRが合流式下水道から流入する雨水の処理も行っていたことに起因するものと考えられた。

第3章では、泉北下水処理場のMBRを対象として、立ち上げ期からの経時的な活性汚泥および膜付着物の微生物群集の動態を調査し、バイオファウリングにおいて鍵となる微生物の特徴について考察することを目指した。立ち上げから470日余にわたる調査の結果、対象としたMBRでは、流入負荷や運転条件の変動によらず、安定した処理成績を維持しており、活性汚泥試料中の微生物群集も門レベルでの構成はおおむね安定していることが確認された。一方、膜付着物試料の微生物群集は、立ち上げ早期には活性汚泥試料の微生物群集と明らかに異なっていたが、時間経過とともに類似したものになっていく傾向が確認された。立ち上げ早期のMBRにおいては、微生物種に特有の膜面付着特性および遷移が膜表面の微生物群集の形成に対する選択圧として働いたものと推察され、それらの選択圧によって形成された初期付着微生物群集および遷移後微生物群集の双方が観察されたものと考えられた。いずれの状況下においても*Firmicutes*門に属する微生物が優占したことから、*Firmicutes*門がバイオファウリングの全体を通して重要な役割を担っていることが示唆された。

総括ならびに結論では、本研究で得られた成果を整理するとともに、その知見に基づくバイオファウリング対策技術開発の将来展望を述べた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　高田　一輝　）	
	(職)	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	池　道彦
	副 査　教授	近藤　明
	副 査　准教授	井上　大介

論文審査の結果の要旨

本論文は、都市下水を処理する実規模膜分離活性汚泥法（Membrane BioReactor, MBR）において、分離膜のバイオファウリング発生のメカニズムを解明することを目的として、分離膜表面に形成される付着微生物群集の動態を明らかにする一連の調査研究の成果を取りまとめたものであり、緒論、全 3 章からなる本編、および総括ならびに結論から構成されている。

緒論では、研究の背景として、MBR の運転において分離膜のバイオファウリングの制御が重要な課題となっていることを述べたうえで、その発生メカニズムを微生物学的側面から明らかにしようとする本研究の目的を明示し、論文構成の概略を示している。

第 1 章では、本研究を遂行するうえで参考となる、バイオファウリング発生メカニズムに関して行われてきた既往の研究の成果を整理している。既往研究の概観から、バイオファウリングは、分離膜表面に形成される特殊な微生物群集の作用によって引き起こされる可能性が指摘されているものの、その詳細については未だ不明であり、特に知見の少ない実規模 MBR での微生物挙動の解明が求められていることを指摘している。

第 2 章では、大阪府堺市三宝下水処理場で運転されていた実規模 MBR を対象として、T-RFLP(Terminal Restriction Fragment Length polymorphism) 法により、活性汚泥混合液および分離膜表面の微生物群集のモニタリングを実施し、その動態とファウリングの進行の程度を関連付ける試みを行っている。この調査により、明確なファウリングが発生していない場合には、分離膜表面の微生物群集は活性汚泥混合液のものと類似しているのに対し、ファウリングの進行が見られる場合には、分離膜表面には活性汚泥混合液とは異なる微生物群集が形成されることを、実規模 MBR で初めて明らかにしている。このことから、分離膜面において優占化する微生物種がバイオファウリングの生起において重要な役割を果たしているものと考察している。

第 3 章では、立ち上げ期にあった大阪府堺市泉北下水処理場の MBR を対象として、メタゲノム解析により、活性汚泥混合液および分離膜表面の微生物群集の動態を経時的にモニタリングし、バイオファウリング発生に寄与する重要な微生物を明らかにする調査研究を行っている。MBR の立ち上げから 470 日余にわたる調査を行った結果から、活性汚泥混合液中の微生物群集は門レベルではおおむね安定した構成を維持するが、分離膜表面の微生物群集は、立ち上げ期には活性汚泥混合液のものとは明らかに異なる構成を示すことを明らかにしている。また、分離膜表面の微生物群集は時間経過とともに活性汚泥混合液と類似したものになっていく傾向を認めたことから、立ち上げ期の MBR においては、分離膜表面に特有の微生物群集が形成されバイオファウリングを進行させることを示唆している。さらに、分離膜表面においては *Firmicutes* 門に属する微生物が優占、バイオファウリングの進行に何らかの重要な役割を果たしているものと考察している。特に、立ち上げ期に分離膜表面で優占した *Carnobacterium* 属および *Exiguobacterium* 属細菌については、分離膜面への付着や、膜面堆積物の生成に関わっていたものと推測している。

総括ならびに結論では、本研究を総括し、得られた結論を述べるとともに、残された将来の研究課題について展望している。一連の研究の成果を整理し、MBR においては分離膜表面に特異的に優占化する微生物、特に *Firmicutes*

門に属する *Carnobacterium* 属および *Exiguobacterium* 属細菌などが、バイオファウリングの進行に多大な影響を及ぼしているものと結論している。また、これらの細菌の特性を詳細に解明することよって、有効なバイオファウリング制御の戦略が立案できるとする将来展望を述べている。

以上のように、本論文は、環境工学分野、特に MBR による下水処理におけるバイオファウリング発生抑制技術の開発に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。