戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－中国共同研究

終了報告書　概要

1. 研究課題名：「下水からの高効率エネルギー回収を可能にする膜を用いた革新的下水処理技術の開発」
2. 研究期間：2016 年 8 月～2019 年 3 月
3. 主な参加研究者名：

日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	木村克輝	教授	北海道大学大学院	研究まとめ
研究参加者	込江蒼	大学院学生	北海道大学大学院	嫌気性MBR実験
研究参加者	内田大貴	大学院学生	北海道大学大学院	担体を用いた膜洗浄
研究参加者	米澤有貴	学部学生	北海道大学工学部	嫌気性MBR実験
研究期間中の全参加研究者数　7名				

中国側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Xia Huang	Professor	Scool of Environment, Tsinghua University	Project Leader
主たる共同研究者	Yuansong Wei	Professor	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences	Co-Project leader
主たる共同研究者	Futai Chen	Senior Engineer	GO HIGHER Environment Co., LTD	Co-Project Leader
研究参加者	Ziwei Liu	PhD Candidate	Scool of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
研究参加者	Hui Xu	PhD Candidate	Scool of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
研究参加者	Shuo Zhang	PhD Candidate	Scool of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
研究期間中の全参加研究者数　16名				

4. 国際共同研究の概要

都市下水中には大量の有機物が含まれており、大きなエネルギー生成ポテンシャルを有している。有機物濃度の低さなどが問題となって都市下水からの直接的なエネルギー回収

は進んでいない。嫌気性処理と膜分離を組み合わせた嫌気性膜分離法（Membrane BioReactor、以下 MBR）は上述した問題を解決できる可能性を持つ技術であるが、深刻な膜の目詰まり（膜ファウリング）が実用化への大きな障害となる。本研究では最新の分離膜使用、膜ファウリング発生状況および微生物懸濁液状態の詳細な把握に基づき合理的な膜洗浄方法と運転条件を確立し、嫌気性 MBR における膜ファウリング問題の克服を目指すものである。日中の研究グループ双方が国際的に先導する研究手法を適用し（日本側は閉塞膜および膜閉塞成分の詳細分析、中国側は微生物懸濁液中の微生物群衆構造解析）、それぞれの研究室で嫌気性 MBR を用いた下水の連続処理実験を同時に実施する。膜については、日中それぞれの研究グループが近年の研究で用いている新規性の高いものを装着する。本研究により嫌気性 MBR の都市下水処理への適合性を実証できれば、下水処理場を大口のエネルギー消費地点から、地域のエネルギー生産拠点へ転換する道が拓け、持続可能な社会の構築に大きく貢献する。

5. 国際共同研究の成果

5-1　共同研究の学術成果

中国側は有機中空糸膜を採用し、嫌気性処理時に発生するメタンガスの循環と膜揺動による膜ファウリング抑制効果が高いことを見出し、パイロットスケールでの実証試験で有効性を確認した。また、嫌気性 MBR が実下水を原水として、低水温時においても良好な処理効率を発揮することを実証した。日本側はセラミック平膜を採用し、バイオガス循環に比して圧倒的に低エネルギー消費で実施可能となる機械撹拌と担体流動による膜ファウリング抑制効果について検討した。セラミック平膜であるからこそ適用可能となる本洗浄方法は十分に高い膜ファウリング抑制効果を期待できることが明らかになった。嫌気性 MBR を用いた下水処理により高度な水処理と下水からのエネルギー回収を同時に達成できることが実証された。

5-2　国際連携による相乗効果

日中の研究代表者共に参画している国際学会スペシャリストグループ会合の活用と、それぞれの大学において共同のワークショップ開催を行った。双方の研究成果を共有するとともに以後の実験の進め方について意見交換を行い、特色のある研究内容へ展開させることができた。様々な面で水質が異なる日中の下水を用いた実験により嫌気性 MBR の有効性を実証することができ、本研究の成果は広い範囲で適用可能となることを提示できた。

5-3　共同研究成果から期待される波及効果

食品工場排水などの高濃度・高水温排水に対してのみ有効であると考えられてきた嫌気性 MBR を低濃度・低水温排水である都市下水に適用できるか、大きな障壁となることが予想された深刻な膜ファウリング発生を省エネルギー的に制御できるかどうかを検討し、嫌気性 MBR が都市下水処理に適用でき、高度下水処理とエネルギー生産を同時に達成可能であることを実証した。嫌気性 MBR では膜ファウリングが発生しやすいことを確認したが、これを省エネルギー的に克服するための膜洗浄方法、装置運転方法を提示した。本研究により、下水処理を都市におけるエネルギー回収・生産活動として新たに位置づけし直すことへの道が拓けた。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
Japan－China Joint Research Program
Executive Summary of Final Report

1. Project title：「Innovative wastewater treatment technology coupling with efficient energy recovery based on integrated membrane system 」
2. Research period：Aug. 2016 ～ Mar. 2019
3. Main participants：

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Katsuki Kimura	Professor	Hokkaido University	Project leader
Collaborator	So Komie	Graduate Student	Hokkaido University	Operation of AnMBR
Collaborator	Hiroki Uchida	Graduate Student	Hokkaido University	Development of new cleaning methods
Collaborator	Yuki Yonezawa	Undergraduate Student	Hokkaido University	Operation of AnMBR
Total number of participants throughout the research period: 7				

China-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Xia Huang	Professor	School of Environment, Tsinghua University	Project Leader
Co-PI	Yuansong Wei	Professor	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences	Co-Project leader
Co-PI	Futai Chen	Senior Engineer	GO HIGHER Environment Co., LTD	Co-Project Leader
Collaborator	Ziwei Liu	PhD Candidate	School of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
Collaborator	Hui Xu	PhD Candidate	School of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
Collaborator	Shuo Zhang	PhD Candidate	School of Environment, Tsinghua University	Scientific Researcher
Total number of participants throughout the research period: 16				

4. Summary of the international joint research

Municipal wastewater contains a large amount of organic matter, and has large potential as a new source of energy generation. However, low concentration of organic matter in wastewater has prevented direct energy recovery from being practiced. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) that combines anaerobic treatment and membrane separation has a possibility to solve the above-mentioned problem, but severe decline in

membrane permeability (membrane fouling) becomes a major obstacle to practical application. In this collaborative study, we tried to establish effective membrane cleaning methods and operating conditions for AnMBRs, which enable us to address the problems associated with membrane fouling, based on detailed understanding of mixed liquor suspensions in the reactor and fouled membranes. We applied advanced analytical methods developed by both research groups. Continuous operations of AnMBRs treating real municipal wastewater were carried out by both research groups. Novel polymeric hollow-fiber membranes were used by the Chinese group, whereas flat-sheet ceramic membranes were used by the Japanese group. This study was aimed to demonstrate the feasibility of AnMBR for municipal wastewater treatment, leading to transformation of wastewater treatment plants: large energy consumption points can become local energy production bases, which contributes greatly to the construction of a sustainable society.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

The Chinese side using organic hollow fiber membranes found that sparging with circulated methane gas was effective for control of membrane fouling, and its effectiveness was confirmed in the pilot-scale test treating real municipal wastewater. In the pilot-scale test, anaerobic MBR exhibited ample removal of organic matter even at low water temperature. The Japanese side adopted ceramic flat-sheet membranes and investigated the effect of mechanical scouring with granular carriers for control of membrane fouling, which can be carried out with low energy consumption as compared with biogas circulation. This cleaning method, which can be used only with ceramic flat-sheet membranes, was found to be highly effective for control of membrane fouling in AnMBRs. It was demonstrated that treatment of municipal wastewater using AnMBR can achieve advanced treatment and energy recovery at the same time.

5-2 Synergistic effects of the joint research

Principle investigators of both research group serve as managing committees in a specialist group of an international organization, and related international conference was utilized for meeting for this project. Also, joint workshops held at both sides worked effectively for mutual understanding of research progress. We shared the results obtained by both sides and exchanged opinions for subsequent experiments, leading to identification of distinctive research topics. The effectiveness of AnMBR was demonstrated in the series of experiments using real Chinese and Japanese wastewater with different characteristics. Thus, the results obtained by this research are thought to apply to a wide range of wastewater.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

Anaerobic MBRs have been used only for industrial wastewater with high-loading and high-temperature. In this study, in contrast, we tried to use AnMBRs for treatment of municipal wastewater with low loading and low temperature wastewater. Severe membrane fouling was likely to occur, and therefore needed to be effectively controlled. It was confirmed that mixed liquor suspension established in an AnMBR was difficult to be filtered. However, we demonstrated that membrane fouling in AnMBRs treating municipal wastewater could be controlled with low energy consumption. Anaerobic MBRs is regarded as a promising option for municipal wastewater treatment, which can achieve advanced treatment and energy production at the same time. This research can be an important step for re-definition of municipal wastewater treatment plants as energy recovery and energy production bases in cities.

共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

＊原著論文（相手側研究チームとの共著論文）
・査読有り：発表件数：計 1 件
1. Y. Gao, Z. Fang, P. Liang, X. Zhang, Y. Qiu, K. Kimura, X. Huang, Anaerobic digestion performance of concentrated municipal sewage by forward osmosis membrane: Focus on the impact of salt and ammonia nitrogen, *Bioresource Technology*., **2019**, 276, 204-210

・査読無し：発表件数：計 0 件
該当無し

＊原著論文（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文）：発表件数：計 1 件
・査読有り：発表件数：計 1 件
1. K. Kimura, H. Uchida, Intensive membrane cleaning for MBRs equipped with flat-sheet ceramic membranes: Controlling negative effects of chemical reagents used for membrane cleaning, *Water Research*., **2019**, 150, 21-28

・査読無し：発表件数：計 0 件

＊その他の著作物（相手側研究チームとの共著総説、書籍など）：発表件数：計 0 件
該当なし

＊その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）：発表件数：計 0 件

2. 学会発表

＊口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）
発表件数：計 0 件（うち招待講演：0 件）

＊口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）
発表件数：計 0 件（うち招待講演：0 件）

＊ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）
発表件数：計 0 件

＊ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）
発表件数：計 1 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

該当なし

4. 研究交流の実績

【合同ミーティング】

・2016 年 8 月 22 日：キックオフミーティング、5th IWA-RMTC 、昆明、中国
・2017 年 9 月 6 日：ミーティング、7th IWA-MTC 、シンガポール
・2018 年 1 月 26 日：合同ワークショップ、北海道大学工学部、札幌、日本
・2019 年 1 月 25 日：合同ワークショップ、清華大学、北京、中国

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0 件

6. 受賞・新聞報道等

該当なし

7. その他

該当無し

以上