

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

EIG CONCERT-Japan 共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「膜処理の課題を解決して都市における合理的で高効率な水管理の実現へ」
2. 研究期間：2020 年 4 月～2023 年 9 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	バイオポリマーによる膜ファウリング、MBR膜ファウリングの制御に関する研究
研究参加者	羽深 昭	助教	北海道大学大学院	バイオポリマーによる膜ファウリング
研究参加者	角田 貴之	助教	中央大学理工学部	MBR膜ファウリングの制御に関する研究
研究期間中の全参加研究者数			3名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Andrea Iris Schäfer	Professor	Karlsruhe Institute of Technology	機能膜を用いた微量汚染物質の除去
主たる共同研究者	Benoit Teychene	Associate Professor	University of Poitiers	新規膜設計を支援する計算、膜ファウリング発生予測モデルの構築
主たる共同研究者	Ismail Koyuncu	Professor	Istanbul Technical University	新規膜の製作
研究参加者	Hanya Lin	PhD student	Karlsruhe Institute of Technology	機能膜を用いた微量汚染物質の除去
研究参加者	Börte Köse Mutlu	Assistant Professor	Istanbul Technical University	新規膜の製作
研究期間中の全参加研究者数			5名	

4. 国際共同研究の概要

本共同研究は、有望視されているが広範な導入が進まない膜を用いた水処理に関わる諸問題の解決を目指すものとして計画された。共同研究に参画する各グループが特色のある研究をこれまでに実施してきており、相互の研究内容と実験試料を共有することで、それぞれの研究グループがこれまでに得ている知見（表流水中バイオポリマーの高い膜ファ

ウリングポテンシャル、**MBR** 膜ファウリング発生予測ツール）をより一般的なものとして提示すること、膜処理の問題を解決する一助となる新規膜（微量有機汚染物質の吸着除去をも行う機能性膜、**MBR** 膜ファウリング発生を抑制する耐ファウリング膜）の開発を行うことを目的として実施した。これまでに得られている知見は一般性が高いことを示すこと、新規膜の開発に成功し、膜処理の広範な普及に資する研究成果を得ることができた。研究期間中の交流、研究終了時に開催したワークショップなどを通じ、今後の国際協働活動の深化につながるネットワークの強化を行うことができた。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

膜処理の広範な導入を阻んでいる主因は膜透過性能の低下（膜ファウリング）である。膜ファウリングの発生ポテンシャルが非常に高い水中有機物画分として、バイオポリマーと呼ばれる高分子量親水性有機物を日本側研究室では特定しているが、これまでの結果は日本国内の試料を用いた検討に基づくものであった。本共同研究ではヨーロッパの水道水源に含まれるバイオポリマーの膜ファウリング発生ポテンシャルも同様に高いことを確認し、これまでに得られていた知見の一般性が高いことを実証できた。

MBR と呼ばれる膜を用いた下水処理技術においては、突発的な膜間差圧上昇（**TMP** ジャンプ）の発生が運転管理を困難にしている。フランス側研究室は **TMP** ジャンプ発生を予測しうるツールを開発していたが適用例が限定されており、またこれまでにツールを適用していた **MBR** で得られていた水質データは貧弱であった。本共同研究では、日本側研究室で保有していたパイロットスケール **MBR** を活用して網羅的かつ高密度の水質データを取得し、これをフランス側が開発した予測ツールで活用することでより高い精度の **TMP** ジャンプ予測を試み、良好な結果を得た。

膜処理は広範な範囲の汚染物質を高効率で除去できる技術であるが、低分子量の微量有機汚染成分の除去については、必ずしも除去率が高くない弱点があった。この弱点を克服するために、ドイツ側研究室ではナノ材料を固定した機能膜を着想し、製膜技術の高いトルコ側研究室の支援によりこれを新規に製膜することに成功した。ステロイドホルモンを対象とした除去実験を行い、想定通り顕著な除去率の向上を観察している。

トルコ側研究室では、**MBR** における膜ファウリングを制御するために微生物の代謝産物放出を減少させる効果がある **BisBAL** キレート膜表面に固定した耐ファウリング膜を考案し、トルコ内の実験で効果を確認した。本共同研究ではこの **BisBAL** 固定膜を日本側研究室へ輸送し、日本国内の下水処理場で効果を検証した。**BisBAL** 膜は日本国内の実験でも有効に機能し、トルコ側研究室が開発した耐ファウリング膜の汎用性が示された。日本国側の実験ではファウリング発生状況の詳細分析も行い、**BisBAL** 膜を用いる場合には膜面付着微生物表面の多糖量が顕著に減少することを明らかにした。

5-2 国際共同研究による相乗効果

手法と試料を共有して多国間における共同研究を実施することで、それぞれの研究室が単独で実施する研究では達成し得ない研究成果の一般性と汎用性を示すことができた。また、多国間の国際共同研究によって、検討する内容の幅と質が大きく向上した。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本共同研究により、各グループがこれまでに得てきた知見が高い一般性と汎用性を有することを実証できた、また、研究の相互補完が行われた結果、より高いレベルの研究成果を出すこともつながった。本共同研究の成果は関連の研究分野で広く受け入れられ活用されることが予想される。本共同研究の実施により、研究内容についての相互理解が大きく深化した。国際的な研究ネットワークがさらに充実し、より高いレベルでの共同研究、より広い範囲での研究コンソーシアムの構築が視野に入っている。

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

1. Project title : 「Removal of obstacles in widespread application of membrane technology: toward smart water management in future cities」
2. Research period : April 2020 ~ September 2023
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Katsuki Kimura	Professor	Hokkaido University	Fouling caused by biopolymers, control of fouling in MBRs
Collaborator	Akira Hafuka	Assistant professor	Hokkaido University	Fouling caused by biopolymers
Collaborator	Takayuki Kakuda	PhD student	Hokkaido University	Control of fouling in MBRs
Total number of participants throughout the research period:				3

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Andrea Iris Schäfer	Professor	Karlsruhe Institute of Technology	Removal of micro-organic pollutants by functionalized membranes
Co-PI	Benoit Teychene	Associate Professor	University of Poitiers	Computation for design of novel membranes, prediction of MBR fouling
Co-PI	Ismail Koyuncu	Professor	Istanbul Technical University	Fabrication of novel membranes
Collaborator	Hanya Lin	PhD student	Karlsruhe Institute of Technology	Removal of micro-organic pollutants by functionalized membranes
Collaborator	Börte Köse Mutlu	Assistant Professor	Istanbul Technical University	Fabrication of novel membranes
Total number of participants throughout the research period:				5

4. Summary of the international joint research

Application of membrane technology, which has been believed to be promising, is still hindered by various problems. This joint research was planned to address those problems by bring together the unique knowledge that each research group in this project had obtained. Materials and methods were shared by the research groups to generalize the knowledge in this study. Also, fabrication of novel membranes was attempted. We could demonstrate that biopolymers in water were important in evolution of membrane fouling on the basis of the test using samples collected from different countries, and could show that a tool developed by the French group successfully predicted TMP jumps in a pilot-scale MBR in Japan. Also, the newly fabricated membranes exhibited excellent performances in terms of rejection of organic micro-pollutants and control of fouling in MBRs. Active mutual communications among the research groups and organization of the final workshop certainly strengthened the research network.

5. Outcomes of the international joint research

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

Widespread application of membrane technology to water/wastewater treatment is mainly hindered by deterioration of membrane permeability (membrane fouling). The Japanese group in this project has identified biopolymers as key players in evolution of membrane fouling, and demonstrated that fouling potentials of biopolymers were significantly high. This knowledge is, however, obtained on the basis of analysis of samples collected in Japan. In this study, it was demonstrated that fouling potentials of biopolymers collected from European samples were also high. Thus, it could be generalized that biopolymers were key players in evolution of membrane fouling.

In MBRs, occurrence of sudden increases in TMP (TMP jumps) makes the operation and maintenance of MBRs difficult. The French group had developed a tool that could predict TMP jumps in MBRs. However, examples of the application of the tool were limited. In this project, intensive datasets obtained with a pilot-scale MBR, which was operated by the Japanese group, were used with the tool to improve the prediction performance. Accuracy of the tool could be substantially improved.

Membrane processes can remove a wide range of impurities, but express difficulties in rejection of organic micro-pollutants with molecular weights of <300 Da. To overcome this problem, the German group invented a novel membrane functionalized with nano-materials. For the design of the novel membrane, the knowledge and techniques of the Turkish group were utilized. The French group also contributed to design and selection of the nano-materials. The novel membrane exhibited excellent removal of steroid hormones.

The Turkish group had developed an anti-fouling membrane for MBRs, which had BisBAL chelates on the membrane surface. The anti-fouling membrane exhibited excellent control of fouling in the MBRs installed at an existing WWTP in Japan, demonstrating the wide applicability of the anti-fouling membrane. Detailed analysis of the fouling by the Japanese group revealed that the control of the fouling was associated with reduction of polysaccharides in the fouling layer.

5-2 Synergistic effects of the joint research

By sharing samples and methods among multiple laboratories, it became possible to demonstrate that the outcomes originally produced from each laboratory had significant generalities. This cannot be achieved by activities of a single laboratory. Activities facilitated by the joint research improved the quality of investigation and expanded research interests in each group.

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

The outputs of the joint research could demonstrate that the unique knowledge obtained by each group had significant generalities and applicability. Mutual compensation of research area among the research groups could generate high-quality outputs. Outputs from this joint project can be readily and widely in the related industry, which eventually

contributes to achievement of SDGs. Implementation of this project certainly enhanced the mutual understanding among the groups. This would lead to design of a new joint project at a higher level, and to formation of a larger research consortium.

国際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）発表件数：計 0 件
該当なし

*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 2 件

・査読有り：発表件数：計 2 件

小野 順也、永井 梨奈、富永 勘太、羽深 昭、木村 克輝、消散監視機能付き水晶振動子マイクロバランス（QCM-D）を用いた表流水中バイオポリマーの膜ファウリングポテンシャル評価、土木学会論文集 G、77 巻 7 号 p. III_321-III_328、2021.

山本 祐士朗、小野 順也、永井 梨奈、羽深 昭、木村 克輝、酵素分解性に基づく水中バイオポリマー特性評価手法の検討、土木学会論文集 G、78 巻 7 号 p. III_177-III_184、2022.

・査読無し：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

該当なし

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 1 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 7 件（うち招待講演：1 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 0 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

日欧膜技術交流ワークショップ、主催者：JST・日本水環境学会「膜を利用した水処理技術」研究委員会・中央大学、中央大学後楽園キャンパス、東京、日本、2023 年 7 月 18 日、参加人数 120 名程度

4. 研究交流の実績（主要な実績）

【合同対面ミーティング】

- ・2022 年 11 月 22 日：Euromembrane 2022 会期中にミーティング、ソレント、イタリア
- ・2023 年 7 月 9 日：ICOM 2023 会期中にミーティング、幕張、日本

【オンラインミーティング】

- ・ドイツ側研究室が主宰する研究所の開設記念イベントに各国メンバーが参加した（2021 年 6 月 29 日）。
- ・各国のチームメンバーを交えて zoom ミーティングを 4 回開催した。
- ・ワークパッケージ毎の zoom ミーティングを 5 回開催した。

【学生・研究者の派遣、受入】

- ・2023 年 7 月：相手国側研究員を日本側研究機関に 3 日間受け入れた。

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

日本下水道新聞 2023 年 8 月 23 日 「日欧で最新知見を共有 日本水環境学会ら、膜技術交流WSを開催」

7. その他

該当無し