

未来社会創造事業（探索加速型）
「顕在化する社会課題の解決」領域
終了報告書（探索研究）

令和 4 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名: 藤原 拓]

[京都大学 大学院地球環境学堂・教授]

[研究開発課題名: 都市代謝系と沿岸生態系が融合した
循環型エネルギー・食料生産システムの構築]

実施期間 : 令和 4 年 10 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日

§1. 研究実施体制

(1)「正浸透下水処理システムの開発」グループ(京都大学)

① 研究開発代表者: 藤原 拓 (京都大学大学院地球環境学堂、教授)

② 研究項目

- ・正浸透法による下水濃縮特性および膜透過水水質の評価
- ・正浸透膜の洗浄方法の確立
- ・濃縮下水のメタン発酵ポテンシャルの評価
- ・正浸透システムのエネルギー評価
- ・最適設計・操作因子の提示
- ・正浸透処理水の社会受容性評価

(2)「沿岸生態系施設の構築」グループ(水産研究・教育機構)

① 主たる共同研究者: 外丸 裕司 (水産研究・教育機構水産技術研究所、主任研究員)

② 研究項目

- ・餌プランクトン培養池: 技術基盤確立
- ・二枚貝養殖池: 技術基盤確立
- ・環境学習公園: 技術基盤確立
- ・沿岸生態系施設の社会受容性評価
- ・施設設置に関する自治体との協議

(3)「機能強化珪藻の開発」グループ(高知大学)

① 主たる共同研究者: 足立 真佐雄 (高知大学教育研究部自然科学系農学部門、教授)

② 研究項目

- ・珪藻の形質転換法の改善
- ・有用遺伝子を含むベクター開発
- ・ベクターの珪藻への遺伝子導入
- ・有用物質生産能の評価

(4)「光合成水素・アンモニア生産」グループ(神奈川大学)

① 主たる共同研究者: 井上 和仁 (神奈川大学化学生命学部、教授)

② 研究項目

- ・ニトロゲナーゼの改良による水素生産の増大
- ・代替型ニトロゲナーゼの優先発現による水素生産増大
- ・アンテナ色素制御による光エネルギー変換効率の向上
- ・水素低透過性プラスチック素材を利用したバイオリアクターの開発

§2. 研究開発成果の概要

(1) ベンチスケール正浸透(FO)装置を用いて嫌気条件下で下水濃縮を行った結果、19日間のFO処理により膜透過水 flux は初期値の約30%まで低下したものの、有機物濃度は約9倍まで上昇し、メタン発酵に望ましい有機物濃度となるまで濃縮できることを明らかにした。有機物と栄養塩の物質収支に基づき、FOシステムのエネルギー収支と沿岸生態系への栄養塩供給の可能性を明らかにした。FO処理水の社会受容性評価のため、下水汚泥の農業利用をおこなう農家の事例を検討することで、個々の取組や地域の生業と自然の歴史のナラティブを分析する方法が明らかになった。

(2) 餌プランクトン培養・二枚貝生長実験ならびに海産植物培養試験を通じ、種々生物の栄養吸収ならびに増殖に関する数式やパラメータを得た。それらに基づき、正浸透膜からのアンモニア供給量や培養・飼育池の体積等を変動させた場合のアサリ稚貝の成長モデルや、人工藻場における栄養塩の吸収をシミュレーションすることに成功した。また、社会受容性方法論について一定のとりまとめを行うと共に、自治体と実証試験に向けた連携を得ることができた。

(3) 海産珪藻において、導入遺伝子を高発現する珪藻感染ウイルスプロモーターに適したターミネーターを探索し、これらと共に魚病ワクチンの遺伝子を組み込んだ形質転換ベクターを構築・導入し、ワクチンタンパク質の発現が確認された形質転換体を獲得した。得られた形質転換体において、収益性が見込まれる量のワクチンタンパク質が生産されていることを確認した。

(4) 近赤外光と濃縮下水を使って光合成を行う紅色細菌と可視光を使って光合成を行うシアノバクテリアのニトロゲナーゼ系の生物工学的な改良と太陽光を無駄なく利用する培養システムの改良を行った。さらにシアノバクテリアと紅色細菌の二層培養によって水素生産に利用する太陽光のスペクトルを拡大することで、水素の生産性が増大することを確認した。

【代表的な原著論文情報】

1. Nguyen Anh-Vu, Youhei Nomura, Taira Hidaka, Taku Fujiwara. Forward osmosis membrane process: A review of temperature effects on system performance and membrane parameters from experimental studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2024, 12(5), 113429. doi: 10.1016/j.jece.2024.113429
2. Nguyen Anh-Vu, Youhei Nomura, Taira Hidaka, Taku Fujiwara. Impact of temperature on the performance and fouling behavior of a forward osmosis membrane system for concentrating low-strength sewage. *Journal of Water Process Engineering*, 2025, 70, 107065. doi: 10.1016/j.jwpe.2025.107065