

下水処理場の脱炭素化と豊かな海を 同時に実現する 未来の循環社会システムを目指して

令和5年8月24日

イノベーション・ジャパン2023 事業セミナー

○足立真佐雄（高知大学）

藤原 拓（京都大学）、外丸裕司（水産研究・教育機構）

井上和仁（神奈川大学）

JST未来社会創造事業「顕在化する社会課題の解決」領域 探索研究課題
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

研究開発内容と想定される用途

持続可能な環境・自然資本を実現し活用する新たな循環社会システムの構築

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

研究開発代表者： 藤原拓 京都大学・大学院工学研究科 教授

共同研究機関： 水産研究・教育機構、高知大学、神奈川大学



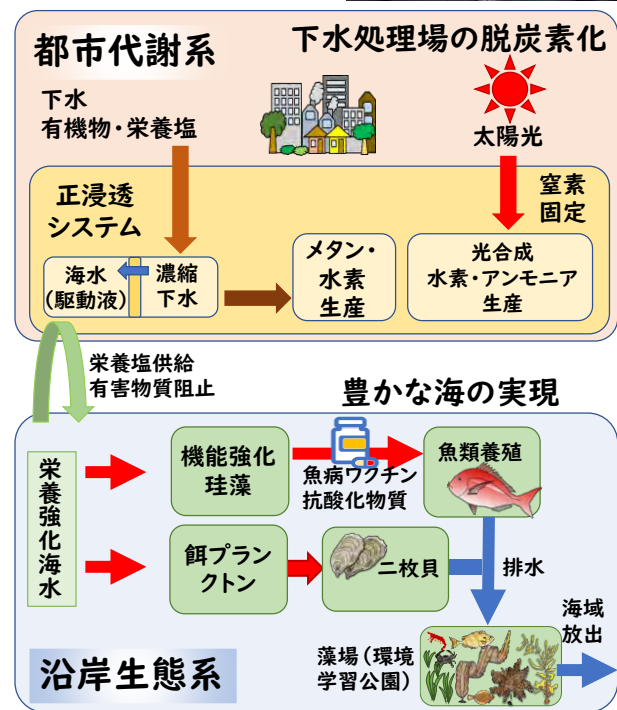
目的：

下水道からの温室効果ガスの排出や、沿岸域の貧栄養化・魚病被害による漁業生産量の減少という社会課題を解決するために、下水道資源を活用して複合的価値を創造する未来の循環社会システムを構築する。

研究概要：

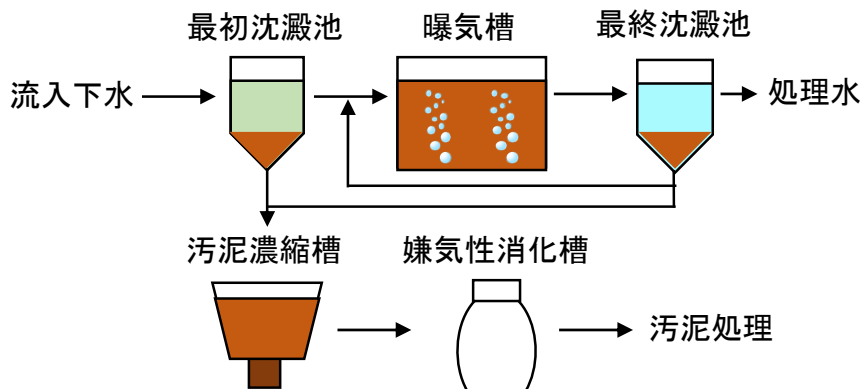
- ① 下水処理場に集約される下水を資源と捉え、有機物をエネルギーに、栄養塩を水産物・魚病ワクチンの生産、豊かな沿岸生態系の創出に活用する未来の循環システムを構築する。
- ② 正浸透システム、メタン・水素生産、光合成水素・アンモニア生産により、下水処理場の脱炭素化実現に貢献する革新的システムを構築する。
- ③ 正浸透膜システム透過水を用いた機能強化珪藻の培養技術とこれを用いた魚病ワクチン・抗酸化物質の生産技術を確立し、生産物の有効性を実証する。
- ④ 正浸透膜システム透過水を用いた二枚貝養殖システムと藻場創出技術を確立し、構築された人工藻場による生物多様性の維持機能や栄養塩吸収能の有効性を実証する。
- ⑤ 下水を起点とした水産食品に対する社会受容性確立のための方法論を確立する。

<https://water.env.kyoto-u.ac.jp/>

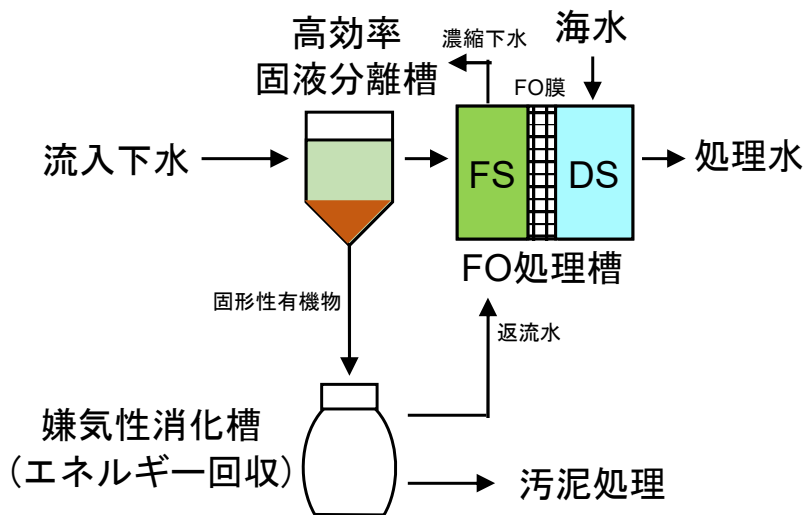


都市代謝系と沿岸生態系が融合した循環型エネルギー・食料生産システム

正浸透法による下水の直接処理で期待される浄化効率



従来の下水処理システム



正浸透法を核とした 創エネルギー型下水処理システム

	物質	阻止率	文献
重金属	水銀	>99.5%	[1]
	ヒ素		
	カドミウム		
	クロム		
	鉛		
	銅		
有機化学物質	1,4-ジオキサン	>96%	[2]
細菌・ウイルス	大腸菌	>99.999%	[2]
	大腸菌群		
	バクテリオファージ MS2		

本研究でも使用するポリアミド活性層の正浸透膜による阻止率
参考文献

1: Cui et al., 2014, *J. Memb. Sci.*, 467, 188–194.

2: Szczuka et al., 2021, *ACS ES&T Water*, 1, 89–100.

駆動液 (0.6 M NaCl)

処理前
(FO膜を透過前)

処理後
(FO膜を透過後)



供給液 (最初沈殿池流出水)

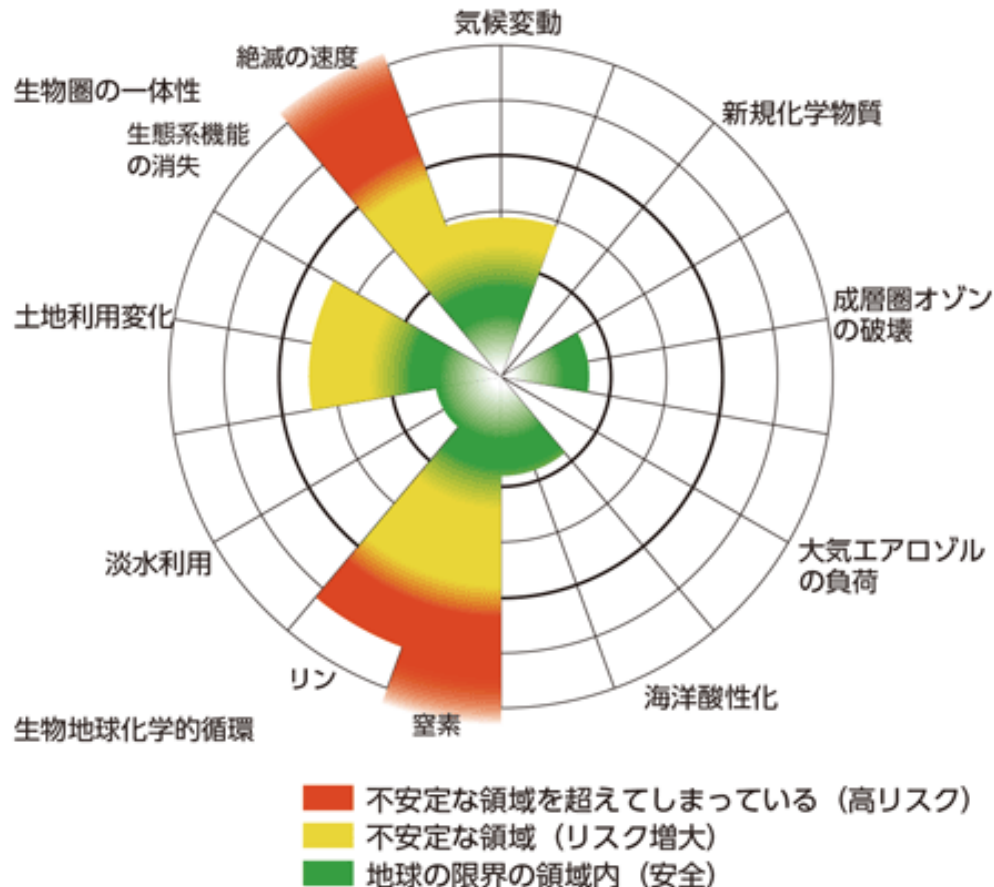
処理前
(FO膜で濃縮前)

処理後
(FO膜で濃縮後)



解決を目指す地球規模課題 ～プラネタリー・バウンダリー(地球の限界)～

プラネタリー・バウンダリーの考え方で表現された現在の地球の状況



○ **プラネタリー・バウンダリー (地球の限界)** : 人間活動が地球システムに及ぼす影響を客観評価する方法の一つ。地球システムに対して、人間が9種類の変化を引き起こしているとの考え方に基づく。

①生態系・生物多様性の破壊、②気候変動
③新規化学物質による汚染、④成層圏オゾンの破壊、⑤大気エアロゾルの負荷、⑥海洋酸性化、⑦生物地球化学的循環(窒素・リン)、⑧淡水利用、⑨土地利用変化

○ **生態系と生物多様性の破壊、窒素・リンの生物地球化学的循環、気候変動、土地利用変化**については、人間による地球への影響とそれに伴うリスクが顕在化。

○ 人間が安全に活動できる範囲を越えるレベルに到達

(出典) 平成29年版 環境・循環型社会・生物多様性白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/html/hj17010101.html>

資料 : Will Steffen et al. 「Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet」より環境省作成

解決を目指す社会課題

- **下水道**：都市の浸水防除、公衆衛生、公共用水域の水質保全のため不可欠なインフラ（都市代謝系）
 - 全国の電力消費量の0.7%、CO₂排出量の0.5%を占める(2014年度)¹⁾
 - CO₂排出の55%が下水処理場での電力、電力消費の46%が水処理工程²⁾
 - 栄養塩除去のための高度処理は特に電力消費が著しい。
 - 2050年に向けて下水道の脱炭素化が必要。
- **水産業**：食料生産の場としての沿岸域（沿岸生態系）
 - 高度成長期の赤潮頻発による養殖業への多大な被害
 - 水質総量規制による流入負荷削減（COD、窒素、リン）
 - 貧栄養化による漁業生産量減少、ノリの色落ち等の問題。

■下水道からの温室効果ガス排出量 ■下水道における電力消費の内訳

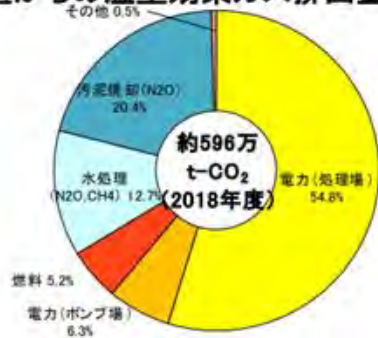


図 下水道における電力消費と温室効果ガスの排出²⁾

図 ノリの色落ち³⁾

本研究で取り組む社会課題の着眼点と理由⁷

● 下水道の2050年脱炭素化

- 下水のエネルギーポテンシャル：142億kWh¹⁾（下水道分野の総消費量75億kWhの189%）

● 沿岸域の貧栄養化と漁業生産量の減少

- 漁業生産量は昭和60年ごろをピークに減少
- 下水による沿岸域への栄養塩供給ポテンシャル
 - 下水中の窒素：54万トン/年¹⁾
 - 下水中のリン：7.2万トン/年¹⁾

出典：

- 1) 国土交通省：
<https://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001462180.pdf>
- 2) 国土交通省HP
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001466673.pdf>
- 3) 環境省せとうちネット
https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/g2/g2cat02/suisangyou/index.html

◆ 「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」べく、中長期目標を設定。

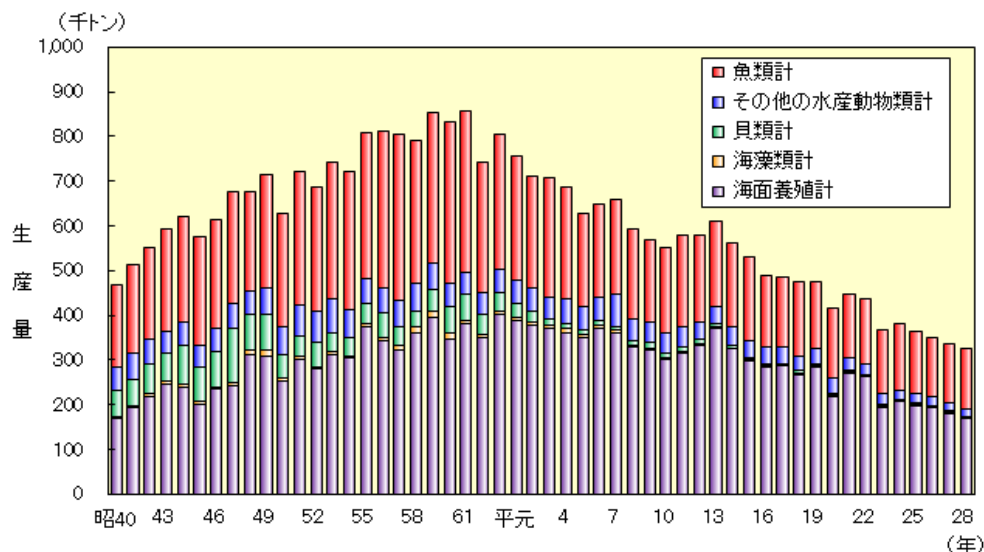
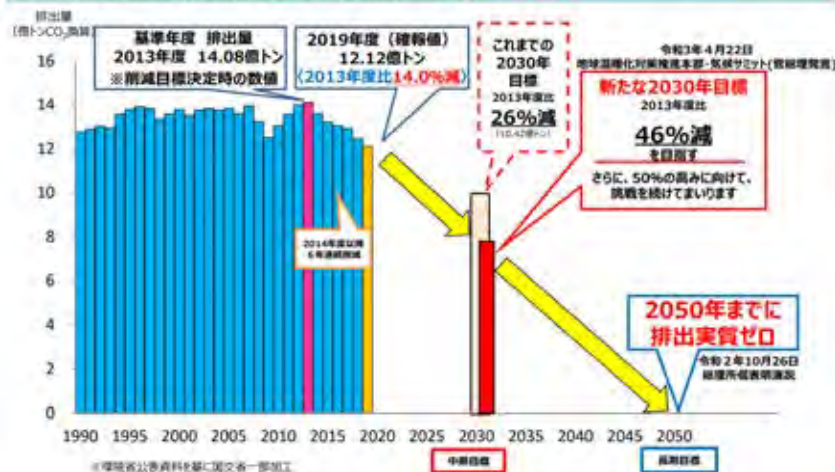
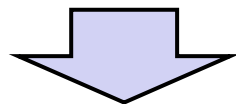


図 瀬戸内海における漁業生産量の推移³⁾

図 我が国の温室効果ガス削減の中期目標と長期目標²⁾

実現したい未来の循環社会システム

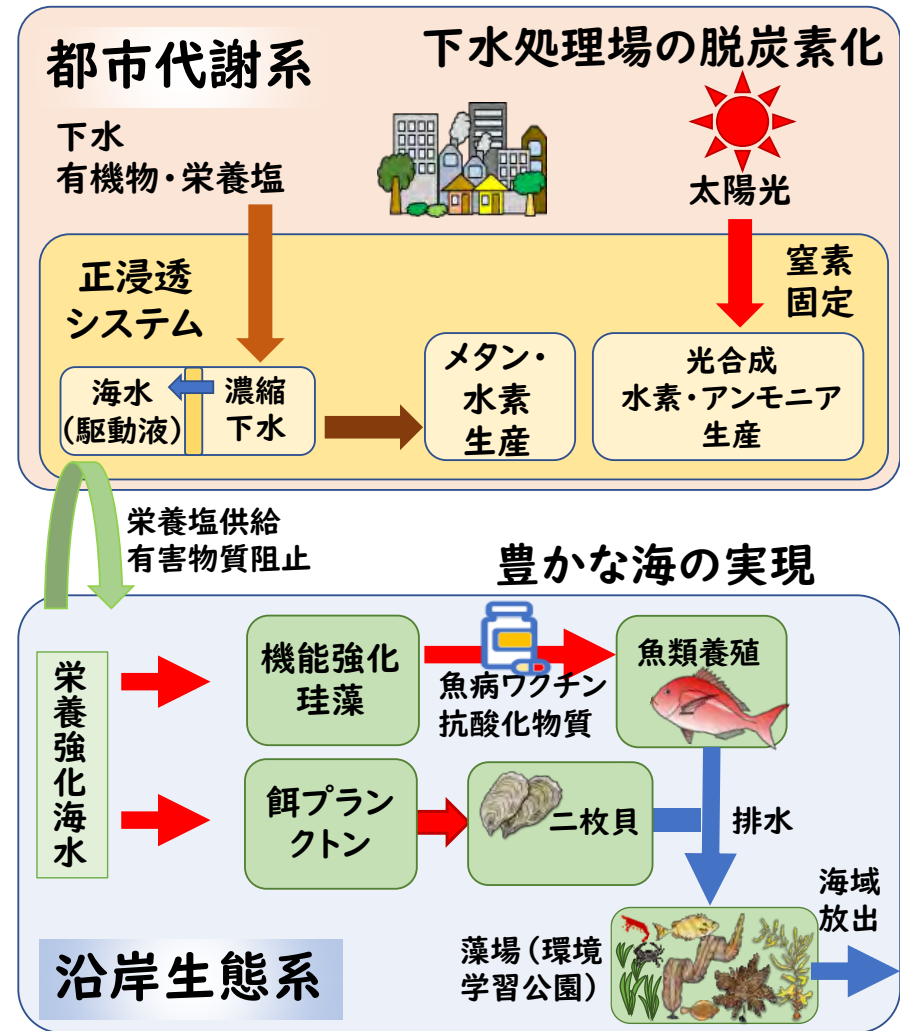
- 下水処理場に集約される**下水を資源と捉え**、**有機物をエネルギー**に、**栄養塩を食料に転換する未来の循環システム**を実現。
- 具体的には、下水から次の有価物を生み出す**循環経済と地域振興**を実現。
 - エネルギー（水素・メタン）
 - 高付加価値物質（魚病ワクチン・抗酸化物質）
 - 食用水産物（魚類・二枚貝）
- プラネタリーバウンダリーで高リスク領域と評価される**窒素循環を改善**するとともに、**沿岸域の生物多様性維持**にも貢献
- 下水由来の栄養塩を活用した沿岸域の藻場造成による、**二酸化炭素の吸収**。
- 下水道の脱炭素化により、同じく不確実性領域と分析されている**気候変動の緩和**に貢献。



持続可能な未来の地域社会創造に貢献したい

社会実装に向けて現在抱えるハードル

- 正浸透 (FO) システム、メタン・水素生産、光合成水素・アンモニア生産技術の確立
- FOシステム透過水を用いた機能強化珪藻の培養技術とこれを用いた魚病ワクチン・抗酸化物質の生産技術の確立
- FOシステム透過水を用いた二枚貝養殖システムと藻場創出技術の確立
- 下水を起点とした水産食品に対する社会受容性の確立



出典：藤原拓,
https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/saitaku2022/JPMJMI2213_summary.pdf

研究開発体制

【都市代謝系G】

研究開発代表者グループ

研究代表者(PL) 藤原 拓／京都大学

日高 平／京都大学、野村洋平／京都大学
原田英典／京都大学、中尾世治／京都大学

創エネ型下水処理システムの開発

共同研究グループ_c

井上和仁／神奈川大学

永島賢治／神奈川大学
佐藤 剛／神奈川大学
永島咲子／神奈川大学

光合成水素・アンモニア生産技術の開発

【沿岸生態系G】

共同研究グループ_a

外丸裕司／水産研究・教育機構

羽野健志／水産研究・教育機構
松原 賢／水産研究・教育機構
島袋寛盛／水産研究・教育機構
棧敷孝浩／水産研究・教育機構

沿岸生態系施設の開発

共同研究グループ_b

足立真佐雄／高知大学

角野貴志／高知大学
船木 紘／高知大学

機能強化珪藻の開発

全員：提案システムの社会受容性評価

その他の研究開発参画機関

円谷 輝美／前澤工業（正浸透システムの開発における技術的アドバイス）
坂本 成隆／廣瀬製紙（正浸透システムの開発における技術的アドバイス）
金海 秀紀／日水コン（正浸透システムのコスト評価、日本における適用可能性に関するアドバイス）
山崎 康裕／水産研究・教育機構水産大学校（二枚貝養殖に関する協力）
中嶋 信美／国立環境研究所（遺伝子組み換え微生物の利用・応用に関する技術的アドバイス）

企業や自治体への期待、連携したい分野・業界

- **正浸透下水処理システム**
 - 地方自治体
 - 水処理メーカー
- **光合成水素・アンモニア生産**
 - 総合化学メーカー
 - プラントメーカー
- **沿岸生態系施設**
 - 自治体
 - 漁協
 - 水産会社
 - 各種団体
- **機能強化珪藻**
 - 製薬会社
 - 食品会社
 - 水産会社