



廃水中窒素化合物のアンモニア変換技術

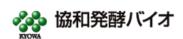
堀 知行 (産業技術総合研究所 主任研究員)

参画機関(項目2-1)











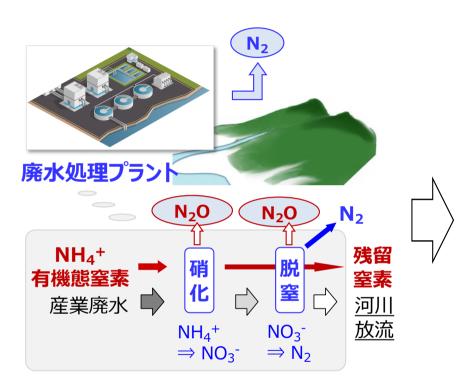




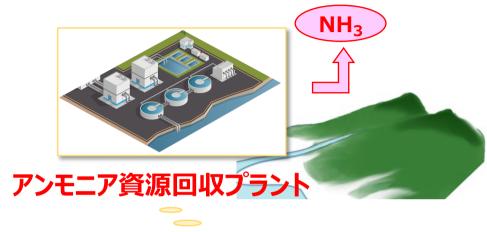


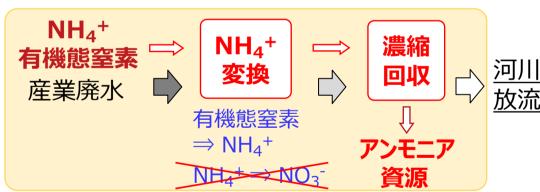


■ 現状



将来像(2050年)





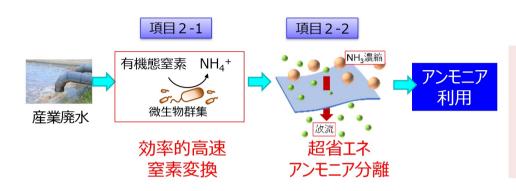
- 廃水中窒素化合物は、微生物反応 によりN₂ガスに変換(N₂Oも生成)
- □ 膨大なエネルギーが必要
- □ 残留窒素は環境へ放出

- □ 廃水中窒素化合物をアンモニアへと 変換、濃縮回収
 - → アンモニア資源として利用





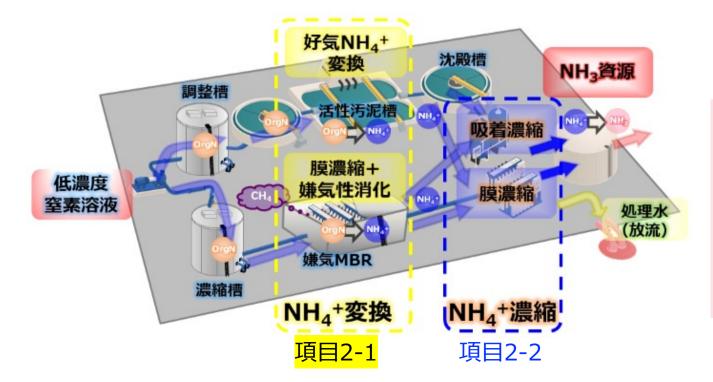
● 「廃水中窒素化合物の資源アンモニア化」の開発項目



アンモニアへの効率的変換と超省エネ分離濃縮 を連結した一連のシステムを開発

- → 環境への窒素化合物排出を完全にカット
- → 高濃縮アンモニア水から資源・エネルギーを回収

想定されるプラントイメージ



□ 項目2-1

多様な施設・廃水に適用できる **好気と嫌気のバイオプロセス**

□ 項目2-2

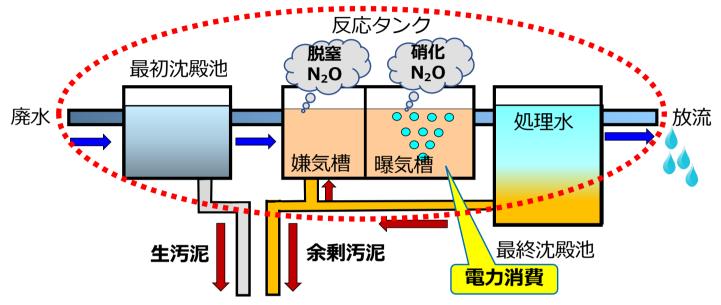
様々な濃度の廃水に適用可能な膜分離法と吸着分離法





● 変換技術: なぜ好気と嫌気のバイオプロセスが対象?

現在の廃水処理法(活性汚泥法)



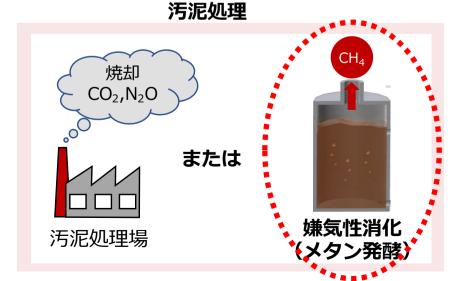
ポイント ①

現行のプロセスを そのまま使いたい (レトロフィット技術)



課題 ①

- ・大量のエネルギー消費
- ・温室効果ガスの排出
- ・膨大な汚泥処理コスト



ポイント ②

嫌気性消化による廃水処理で メタン(エネルギー)を獲得したい



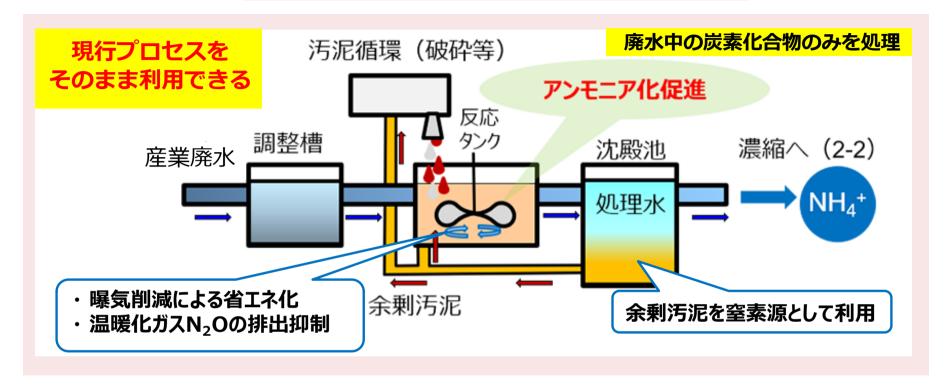
課題 ②

- ・希薄廃水の処理に不向き
- ・共存物質による阻害を受けやすい





● 微好気性アンモニア変換プロセス



- □ 微生物群集制御に基づく運転管理手法の検討(産総研)
- □ 窒素化合物動態制御に基づく運転管理手法の検討(東京農工大学)
- □ エネルギー・物質収支評価とN2O排出抑制手法の検討(京都大学)
- □ ベンチスケール装置の構築・運転・維持手法の検討(協和発酵バイオ [株])



産総研・堀



農工大・寺田



京都大•藤原



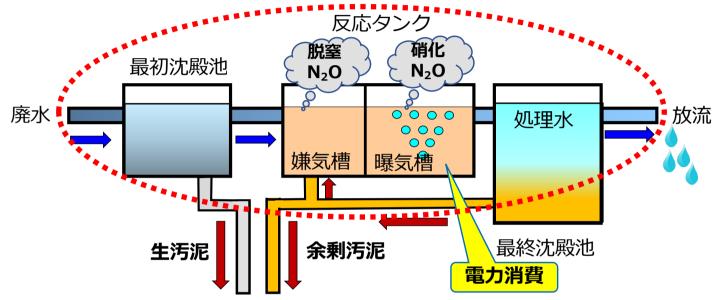
協和発酵•志水





● 変換技術: なぜ好気と嫌気のバイオプロセスが対象?

現在の廃水処理法(活性汚泥法)



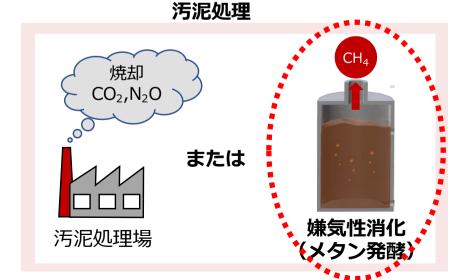
ポイント ①

現行のプロセスを そのまま使いたい (レトロフィット技術)



課題 ①

- ・大量のエネルギー消費
- ・温室効果ガスの排出
- ・膨大な汚泥処理コスト



ポイント ②

嫌気性消化による廃水処理で メタン(エネルギー)を獲得したい



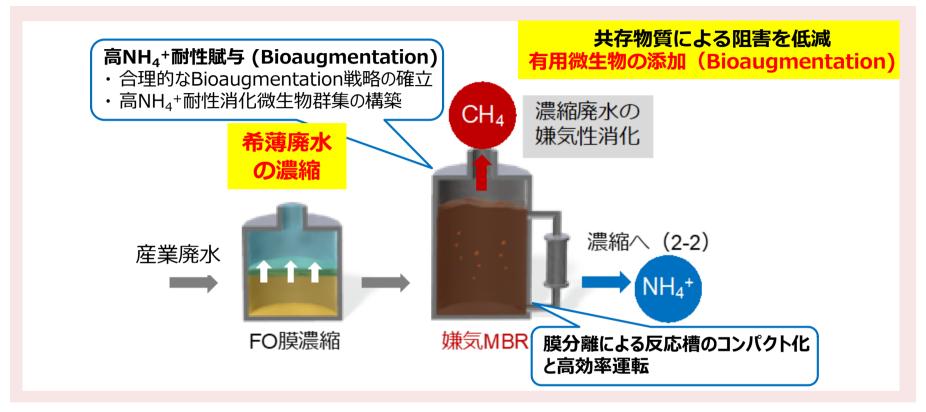
課題 ②

- ・希薄廃水の処理に不向き
- ・共存物質による阻害を受けやすい





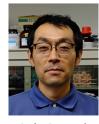
● 高濃度窒素対応型嫌気MBR (Membrane Bioreactor)



- □ 高濃度アンモニア耐性消化微生物群集の効率的利用技術の開発(大阪大学)
- □ 高濃度アンモニア耐性消化微生物群集の構築(広島大学)
- □ 高濃度アンモニアに対応可能な高速運転手法の確立(神戸大学)



大阪大・池



広島大·田島



神戸大•井原



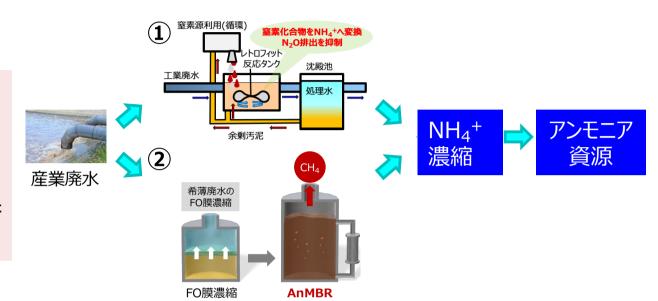


● バイオ変換技術の特徴・比較

目標

廃水中の窒素化合物を

- ① 微好気性変換プロセス
- ② 嫌気MBRにより、アンモニアへ変換する技術開発を行う

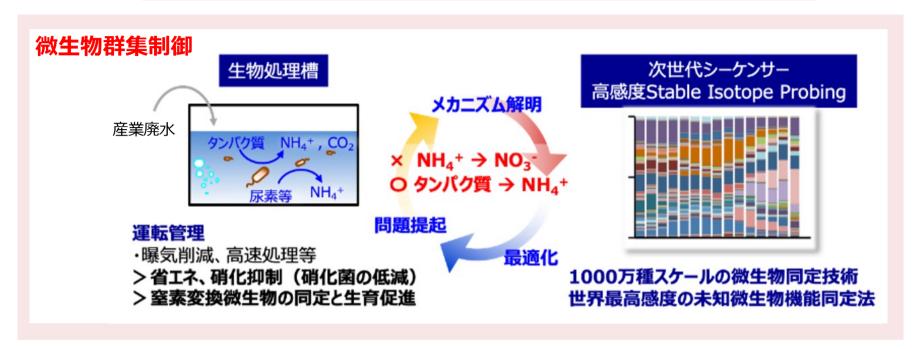


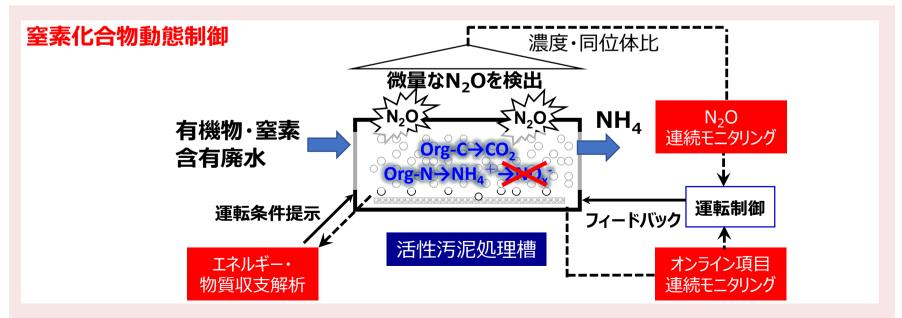
	① 微好気性変換プロセス	② 嫌気MBR
有機物負荷	〇 低負荷対応	〇 高負荷対応
有機物処理性能	〇 全量処理	〇 ほぼ全量処理(~10%が残存)
窒素回収	〇 ほぼ全量回収(硝化抑制)	〇 全量回収
バイオガス回収	1	◎ メタン回収(エネルギーとして利用)
レトロフィット	◎ 現行プロセスを使用(迅速展開)	△ プロセス更新が必要だが、スポット適用可能
対象廃水	〇 低濃度(産業廃水、下水等)	O 低~高濃度(産業廃水、下水等[+FO濃縮])





● 微好気性アンモニア変換プロセスの開発戦略



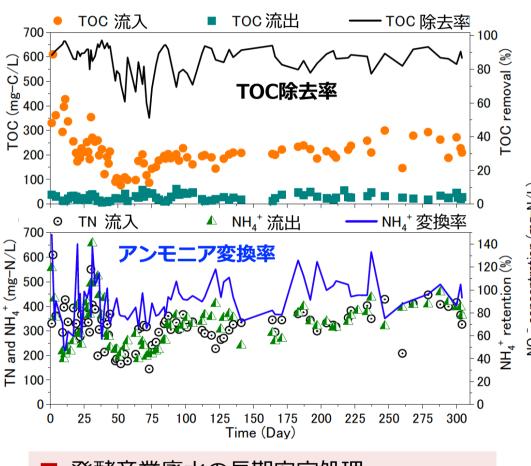






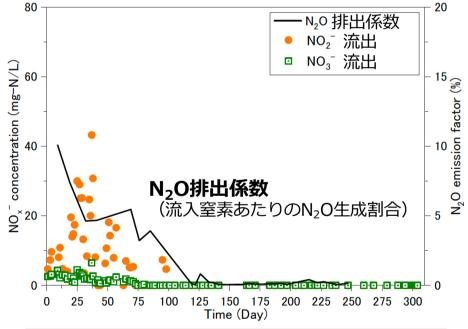
● 微好気性変換プロセスの性能(ラボスケール)

全有機炭素(TOC)と全窒素(TN)の推移



- □ 発酵産業廃水の長期安定処理
- □ 廃水中の炭素化合物を除去しながら、 高いアンモニア変換率 (>80%) を達成

N₂Oの排出特性と硝酸・亜硝酸濃度



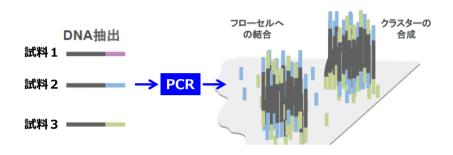
- □ 開始時に硝酸、亜硝酸、N₂Oが検出→アンモニア消失(硝化・脱窒)
- □ 運転後半でN₂Oの排出はほぼ無し

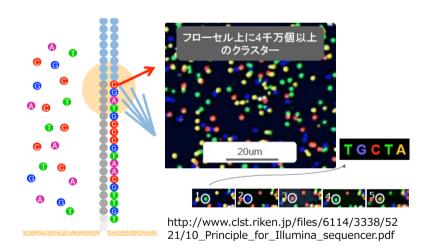




● 微好気性アンモニア変換を担う微生物群集

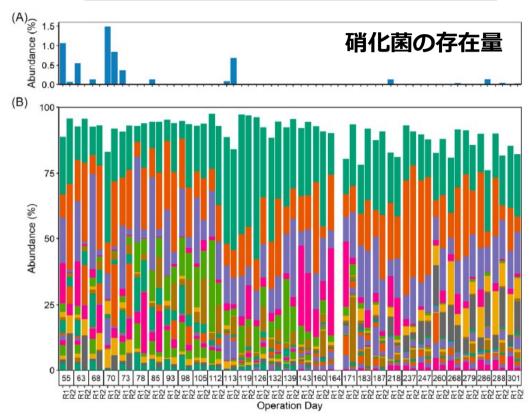
次世代シーケンサーによる大規模微生物同定





- □ 汚泥試料からDNAを抽出し、PCR増幅後、>4,000万本の遺伝子をフローセルに結合
- □ Z軸方向に1塩基ずつ配列を蛍光で識別・ 決定し、得られた画像を組み合わせる
- ロ 1度に1,000万種の微生物を同定する技術

長期運転における硝化菌と群集全体の推移



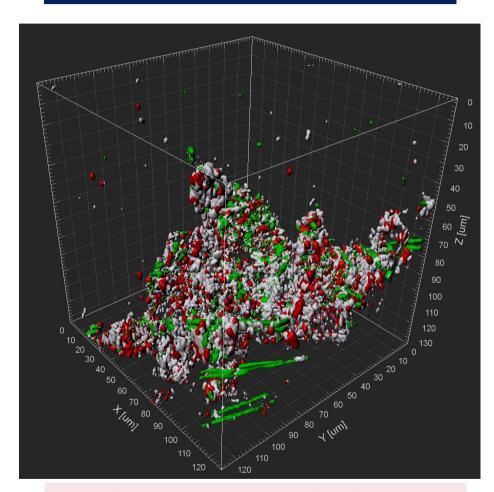
- □ 運転後半では、アンモニア消失に関与する 硝化菌の存在量は全体の1.5%以下
- □ 1時点に約10万種の微生物の情報 →アンモニア変換と相関する微生物を検出





● 余剰汚泥(廃棄物)の窒素源利用に向けて

共焦点顕微鏡による活性汚泥の非破壊画像



緑色:生きている微生物(生菌)

• **赤色:**死んでいる微生物(死菌)

灰色: その他の物質

□ 汚泥中の微生物は凝集状態で存在



□ 余剰汚泥(微生物)を熱処理すると 死菌(赤色)の状態になる



□ 死菌成分を分解し、アンモニア変換する候補微生物(他の菌を食べる Bdellovibrio属細菌)を検出・利用



http://www.genomenew snetwork.org/articles/20 04/02/06/pred prey.php



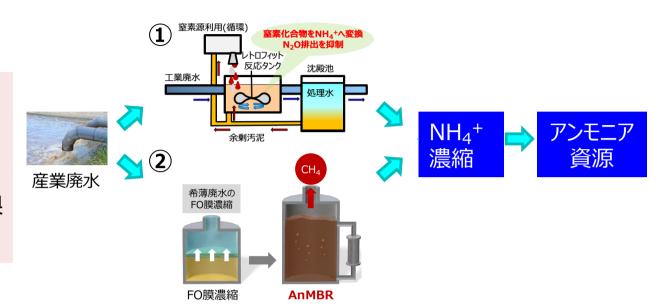


● バイオ変換技術の特徴・比較

目標

廃水中の窒素化合物を

- ① 微好気性変換プロセス
- ② 嫌気MBR により、アンモニアへ変換 する技術開発を行う

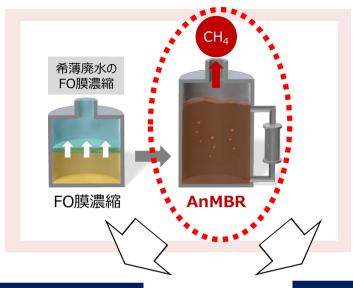


	① 微好気性変換プロセス	② 嫌気MBR
有機物負荷	〇 低負荷対応	〇 高負荷対応
有機物処理性能	〇 全量処理	〇 ほぼ全量処理(~10%が残存)
窒素回収	〇 ほぼ全量回収(硝化抑制)	〇 全量回収
バイオガス回収	1	◎ メタン回収(エネルギーとして利用)
レトロフィット	◎ 現行プロセスを使用(迅速展開)	△ プロセス更新が必要だが、スポット適用可能
対象廃水	〇 低濃度(産業廃水、下水等)	〇 低~高濃度(産業廃水、下水等[+FO濃縮])



● 高濃度窒素対応型嫌気MBRの開発戦略





外部クロスフロー型

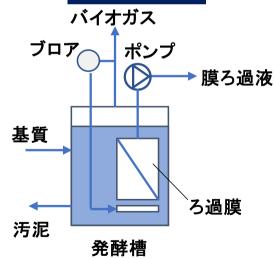
バイオガス ろ過膜 ポンプ 膜ろ過液 発酵槽

・膜:発酵槽とは別に配置

・膜透過:クロスフロー式

・膜洗浄と交換が簡便

内部浸漬型



・膜:発酵槽内に直接配置

・膜透過:ポンプ動力依存

・膜洗浄に曝気動力が必要

■ 様々な廃水種や条件に対応するため、2種類のリアクタータイプを選抜



発酵産業廃水の連続処理: 短い滞留時間(3日)で、 有機物除去、メタン生成、 アンモニア変換を達成



■ 廃水のFO濃縮により阻害 要因であるアンモニアや塩類 の濃度が上昇する可能性

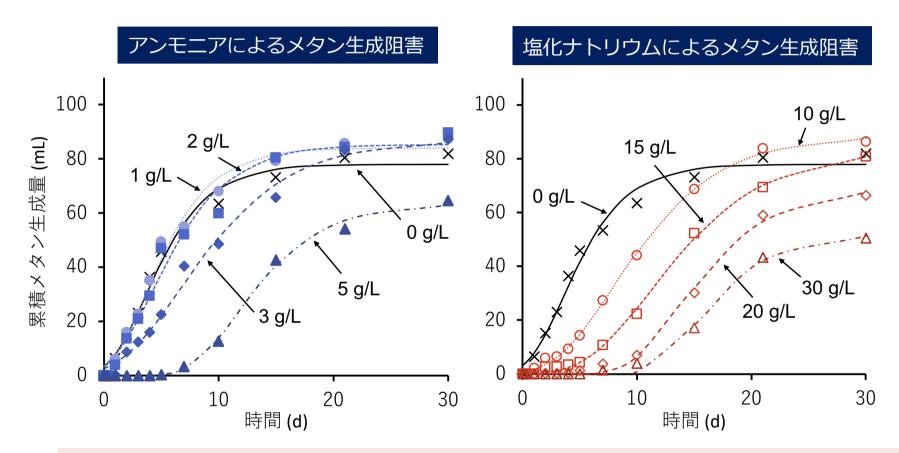


□ 阻害程度やメカニズムの理解が重要





● 共存物質による嫌気性消化の阻害レベル

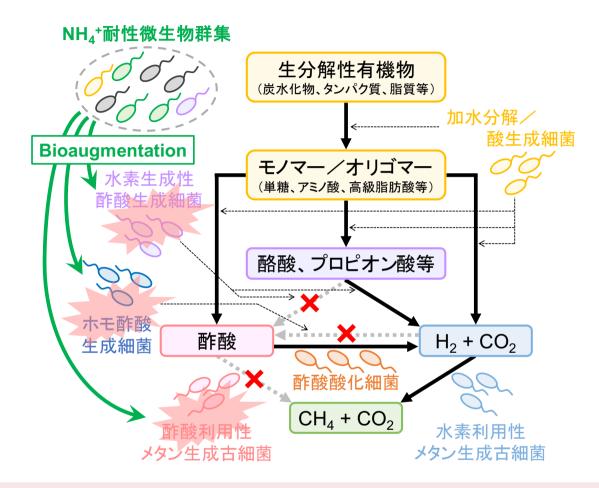


- □ 下水処理場から取得した通常の汚泥微生物を用いた場合
 - アンモニア態窒素 3 g/L、塩化ナトリウム 15 g/L 以上で顕著な阻害を観察
- □ 阻害された条件の微生物群集構造を調べることで、嫌気性消化のどのステップ が強く影響を受けているかを同定することが可能





● 阻害を受けやすい嫌気性消化のステップ



- □ 嫌気性消化では、多様な微生物がバケツリレー的に協力して有機物分解に関与
- □ アンモニアや塩類によって阻害を受けやすい分解ステップを明確化
 - ①酪酸・プロピオン酸の分解、②酢酸からのメタン生成、③CO2からの酢酸生成
- アンモニア・塩類の高濃度存在下でも、これらの分解ステップを進める有用微生物を獲得・添加すれば、阻害を低減できる(Bioaugmentationによる耐性賦与)





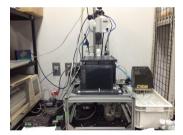
● 高濃度アンモニア・塩類耐性を示す微生物群集





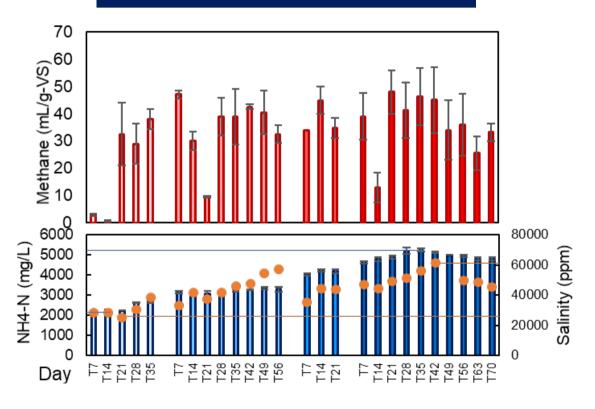
FO膜濃縮廃水を模した 合成廃水によるNH₄+馴致





NH₄+耐性微生物群集の高度集積

阻害物質の高濃度存在下でのメタン生成



- □ 海洋底泥などから集積した微生物群集は、アンモニア・塩類の高濃度存在下でも安定したメタン生成を示した
 - → 高濃度のアンモニア・塩類に対して高い耐性を示す微生物群集を獲得
- □ アンモニア阻害された嫌気MBRにこの耐性群集を添加することで処理性能が回復





● まとめと展望

- □ 微好気性プロセスと嫌気MBRによって、 廃水中窒素化合物をアンモニアへと効率的に 変換できることをラボスケールで立証
- □ アンモニア変換に関与する微生物群集を同定し 特徴づけることで、プロセス管理を最適化
- □ ベンチスケールで実証予定