

持続可能な窒素循環を実現するための 排ガス・廃水資源化技術の開発

川本 徹

産業技術総合研究所 材料・化学領域 首席研究員

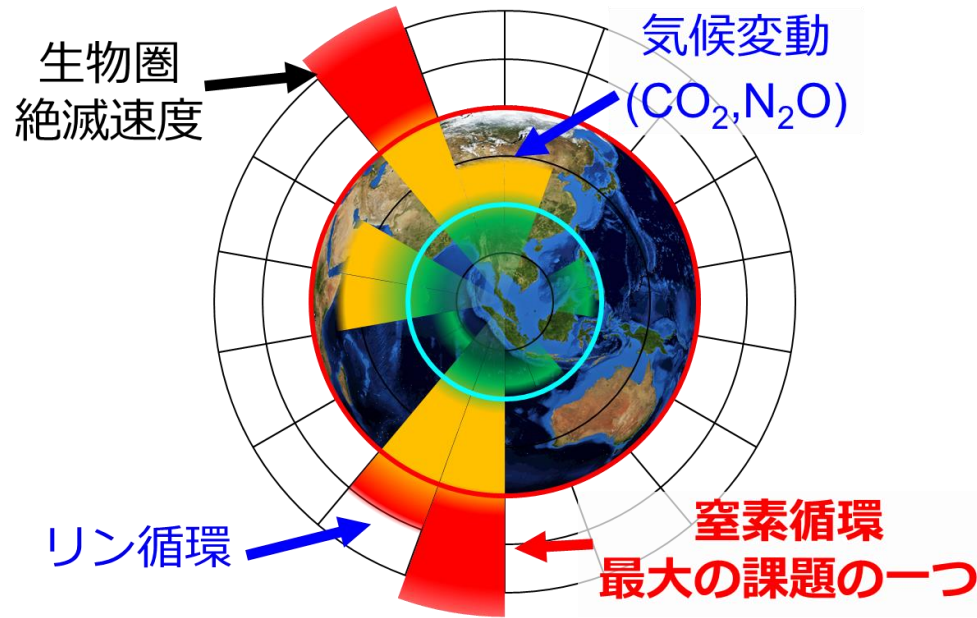
ムーンショット型研究開発事業 PM

tohru.kawamoto@aist.go.jp

窒素化合物排出は最大の環境問題の一つ。日本も国家行動計画策定が視野に

プラネタリーバウンダリー:地球の受入限界と現状の比較

H30環境・循環型社会・
生物多様性白書



国連環境計画 第5回国連環境総会(22/03) 持続可能な窒素管理に関する決議:

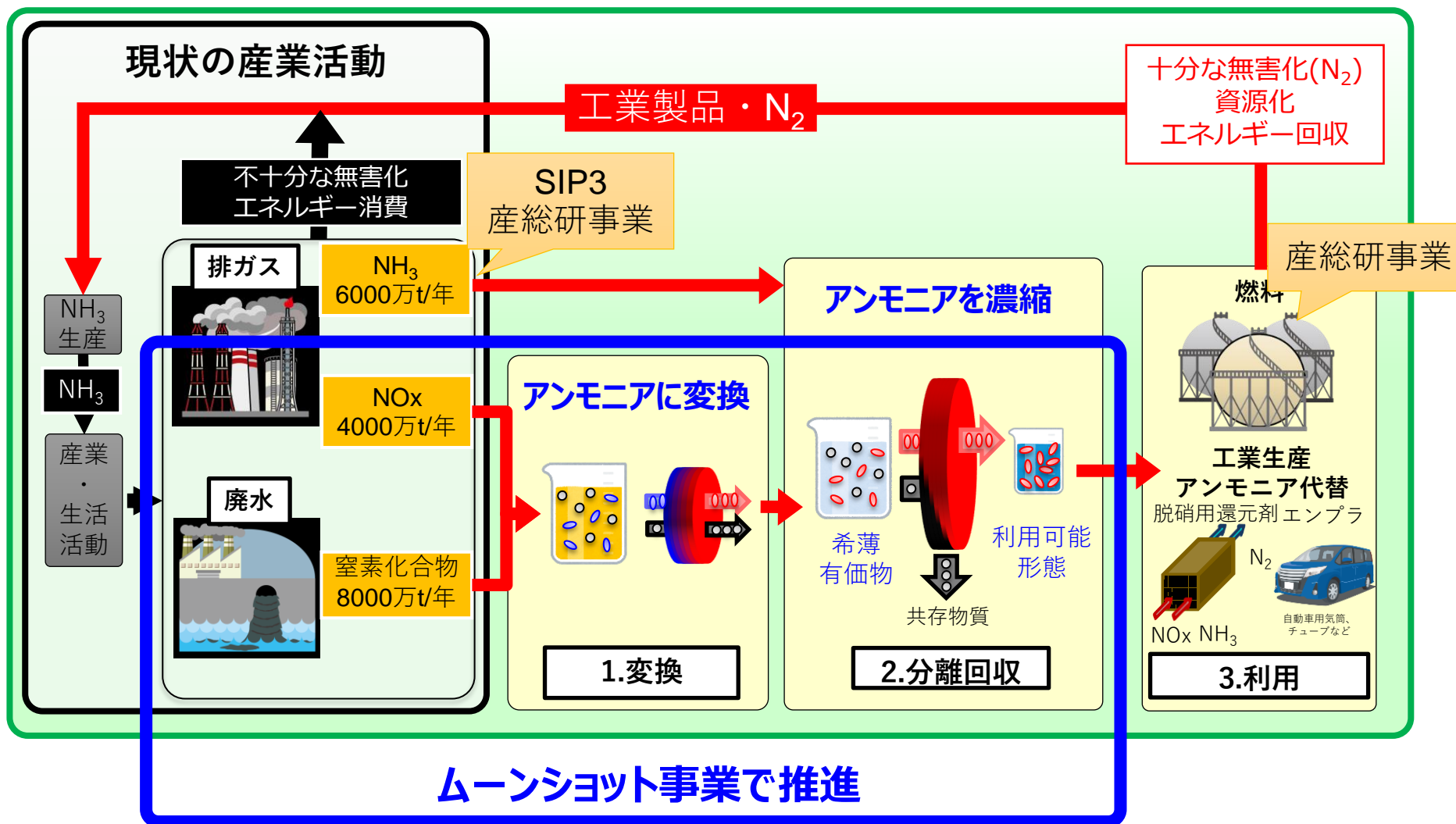
各国に対し奨励: ①窒素廃棄物を2030年までに顕著に減少、
②**国家行動計画**に関する情報共有 →環境省でも検討開始

例:2023年度環境研究総合推進費行政要請研究テーマ

「窒素に関する大気・水・土壌の包括的な管理手法の開発」

<https://www.env.go.jp/press/110635.html>, https://www.erca.go.jp/suishinhi/koubo/pdf/r05_shinki_kouboshiryo_1.pdf

新たに構築する窒素循環システム



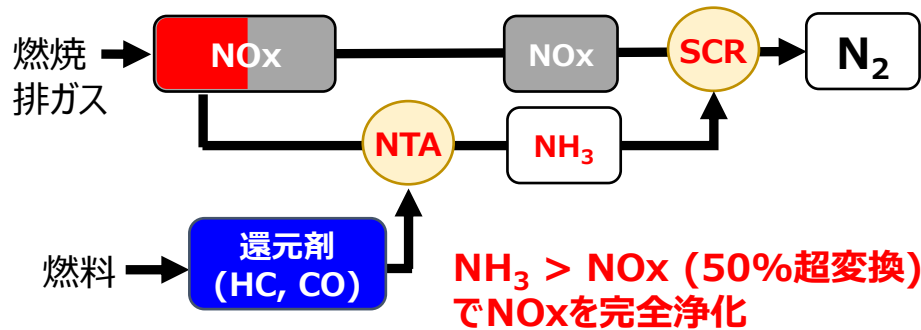
ムーンショット型研究開発事業目標4(NEDO)
2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現
「産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出」



PM：川本徹研究グループ長、実施期間：2020年10月～2030年3月(2023年3月ステージゲート)

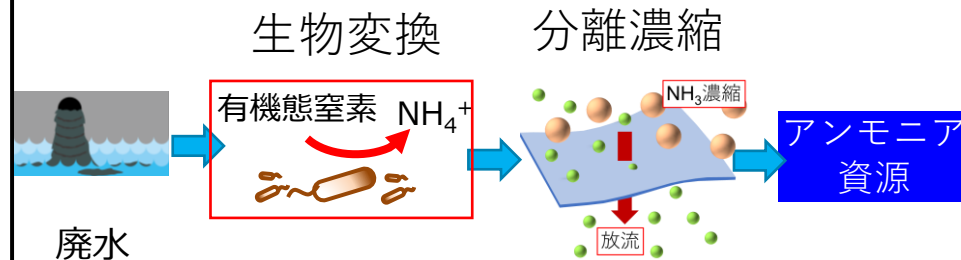
【項目1：排ガスの資源化】

排ガス中NO_xをアンモニアに変換、脱硝剤と利用し完全浄化。排ガス中アンモニアは資源化も



【項目2：廃水の資源化】

超省エネで廃水中窒素化合物を排出することなくアンモニア資源として回収



プラント設計、ライフサイクルアセスメント(LCA)、環境影響評価を行い、窒素・温室効果ガス削減効果を発揮するパイロットプラントを構築

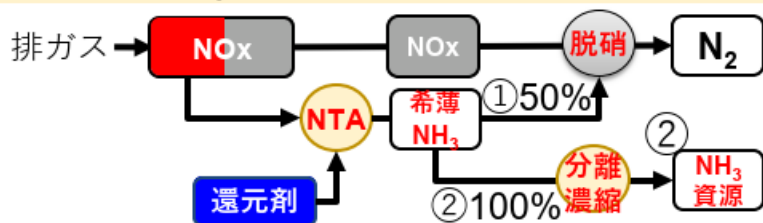
<https://www.n-cycle.jp/>

本プロジェクトの概要

【項目1. 気相NOx無害化・資源化】

TL小倉(東大)

- ①排ガス中低濃度NOx・NH₃の濃縮
- ②NOx→NH₃触媒の低温活性向上でエネルギー削減
- ③共存酸素の影響のない手法開発(O₂分離、酸素下でも使用できる触媒)

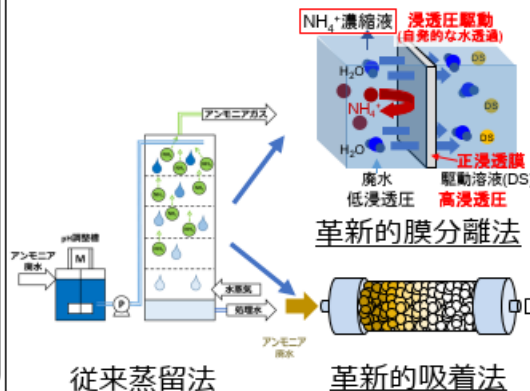


- ①変換率50% →アンモニアを脱硝材に利用。NOx完全浄化
- ②変換率100%→分離濃縮し、アンモニア資源へ

【項目2-2. 水相資源化(濃縮)】

TL松山(神戸大)

- ①項目2-1からの様々なNH₄⁺・夾雑物濃度の廃水に適用可能な膜分離/吸着分離の新規開発
- ②超省エネ分離濃縮プロセス構築



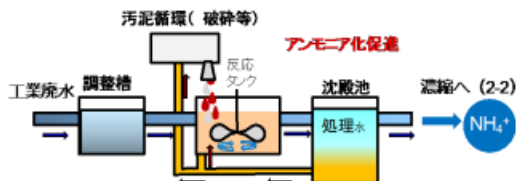
・従来蒸留法の1/100以下の消費エネルギーの達成

【項目2-1. 水相資源化(変換)】

TL堀(産総研)

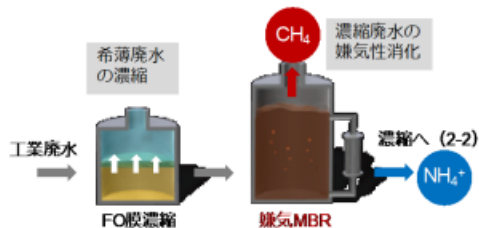
多様な施設・廃水に適用できる好気・嫌気の効率的NH₄⁺変換バイオプロセスの構築

● 微好気NH₄⁺変換プロセス (レトロフィット、低濃度廃水)



・NH₄⁺消失阻止
・余剰汚泥を窒素源として利用

● 高濃度窒素対応嫌気膜分離活性汚泥法(MBR)(新設、高濃度廃水)

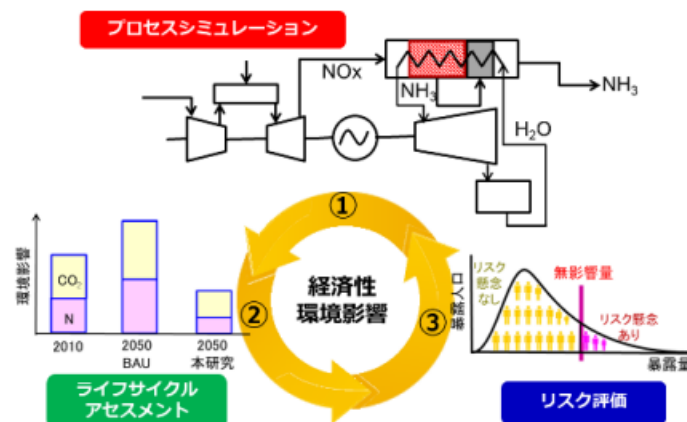


・高窒素濃度阻害への耐性賦与
・高省エネ性、コンパクト

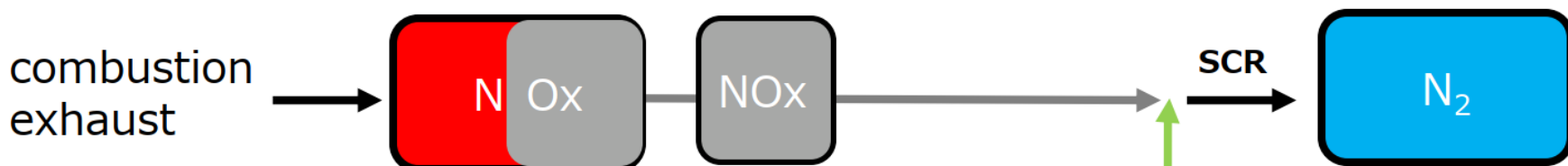
【項目3. 全体像構築】

TL松本(東工大)

- ①全体プロセス設計による実機・パイロット等具現化
- ②LCA・リスク評価技術に立脚した経済性・環境影響評価

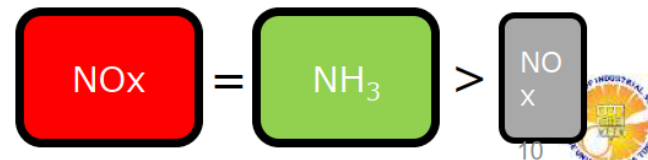
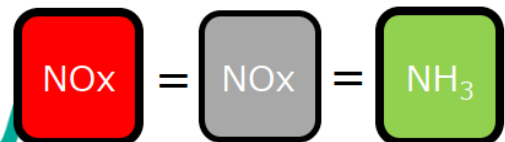


our target of NTA (NOx-to-Ammonia) reNOx

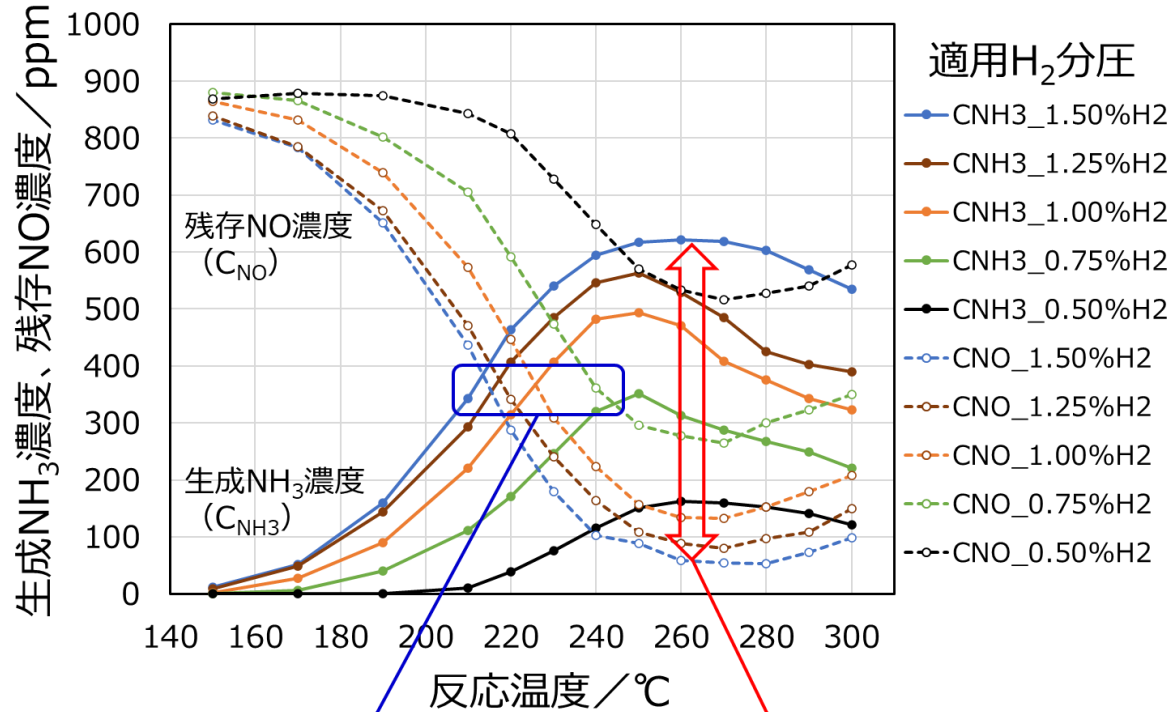


1st goal:
NTA 50% in the exhaust
 is achieved.
 Then, deNOx is attained.

2nd goal:
NTA more than 50% in the exhaust
 is achieved.
 Then, residual NH₃ is recovered and
 recycled as the **chemical source**.



高効率一段NTA触媒を開発し、水素分圧、反応温度によるNTA反応の使い分けを提案



NH₃供給が不要なNH₃-SCRの実現

クロスポイント $C_{NO} = C_{NH_3}$
 H_2 -NTA + NH₃-SCRでN₂へ
 わずかP_{H₂}=0.75%で実現可能

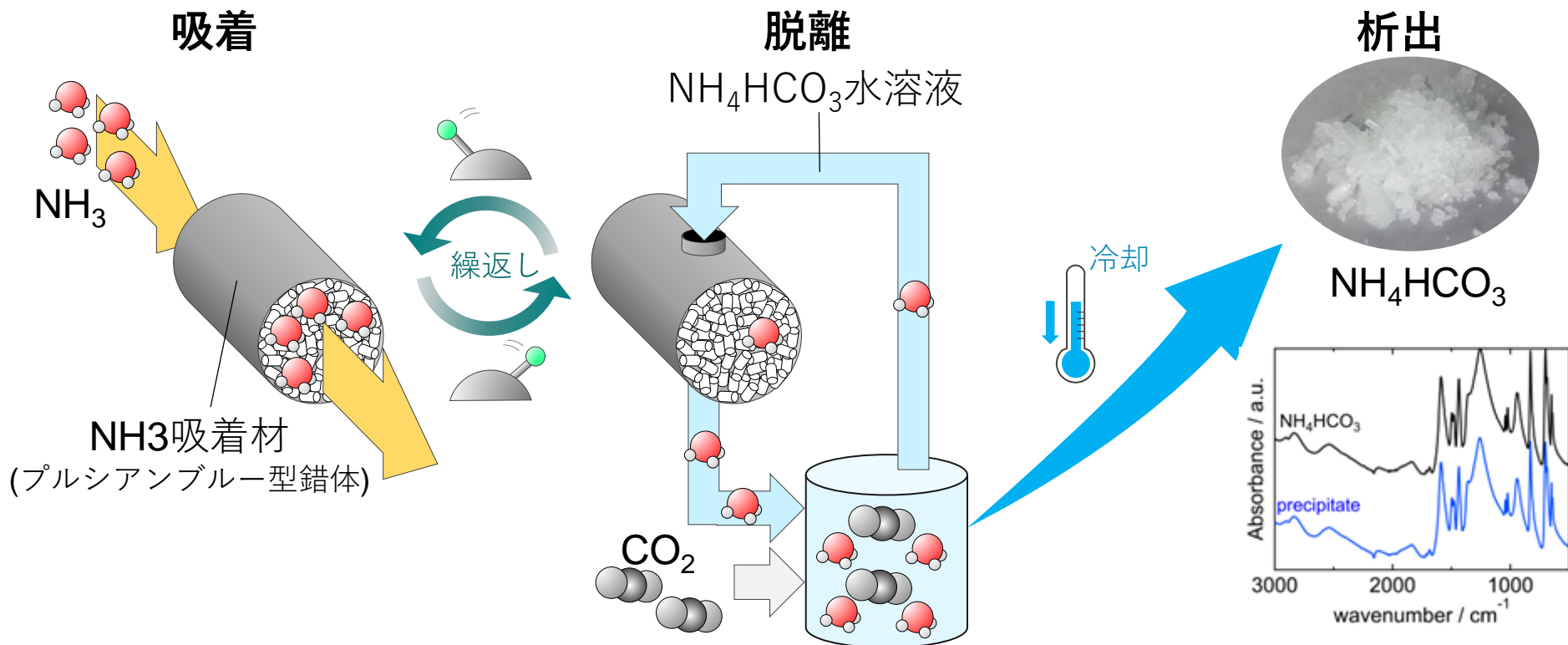
NH₃の吸着濃縮プロセス (右図) に接続し、燃料や工業生産アンモニア代替のための資源化を実現

生成NH₃量が残存NO量よりも多い $C_{NH_3} \gg C_{NO}$
 NH₃の分離濃縮プロセスへ
 濃縮プロセスで利用可能なNH₃量は $C_{NH_3} - C_{NO}$

標準反応条件 (常圧固定床流通系反応) : 触媒 W02(0.3mL)、全ガス流量 100 mL/min (空間速度 SV=30,000 h⁻¹)、ガス濃度 0.1% NO、1.5% H₂、10% O₂、10% H₂O、N₂ バランス

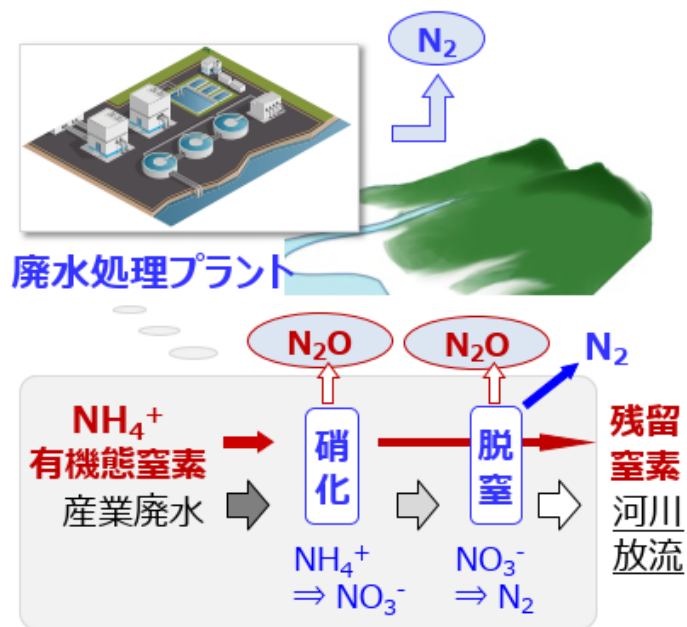
https://www.nedo.go.jp/events/report/Z2MS_00011.html
<https://www.nedo.go.jp/content/100958118.pdf>

◆希薄NH₃を吸着回収し、重炭安固体に変換◆



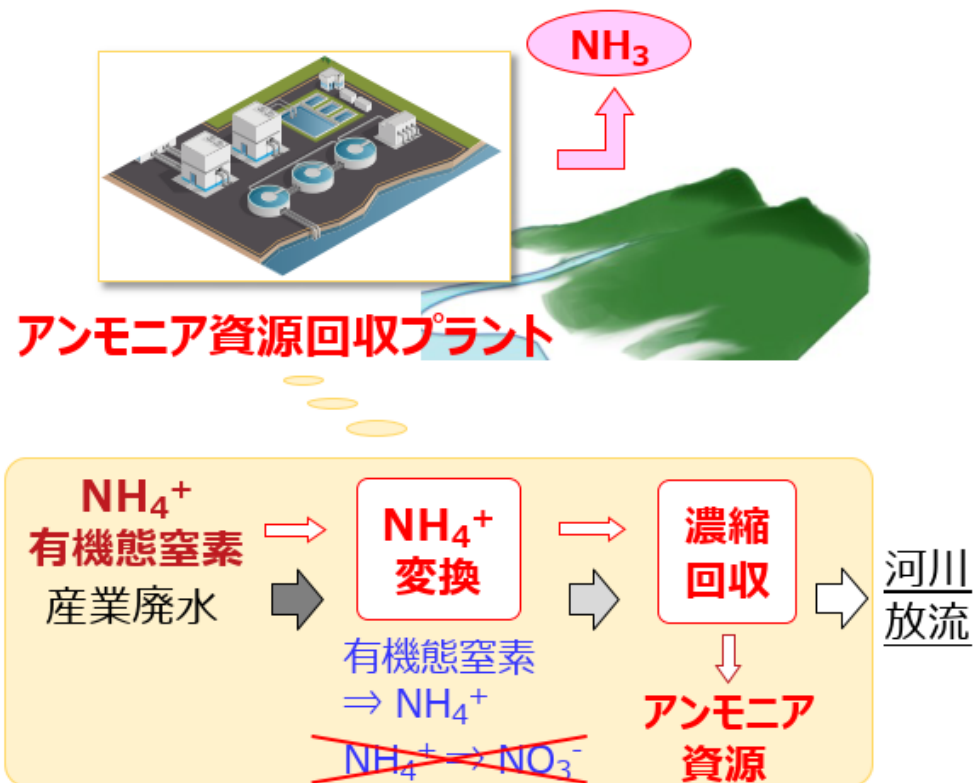
- 加熱無し・低エネルギーで重炭安固体に変換
- 重炭安は毒劇物など非該当。固体でもあり、貯蔵などに有利
- 重炭安は低温(～70℃)で昇華、NH₃:H₂O:CO₂=1:1:1の混合ガスにすぐに変換

● 現状



- ❑ 廃水中窒素化合物は、微生物反応により N_2 ガスに変換 (N_2O も生成)
- ❑ 膨大なエネルギーが必要
- ❑ 残留窒素は環境へ放出

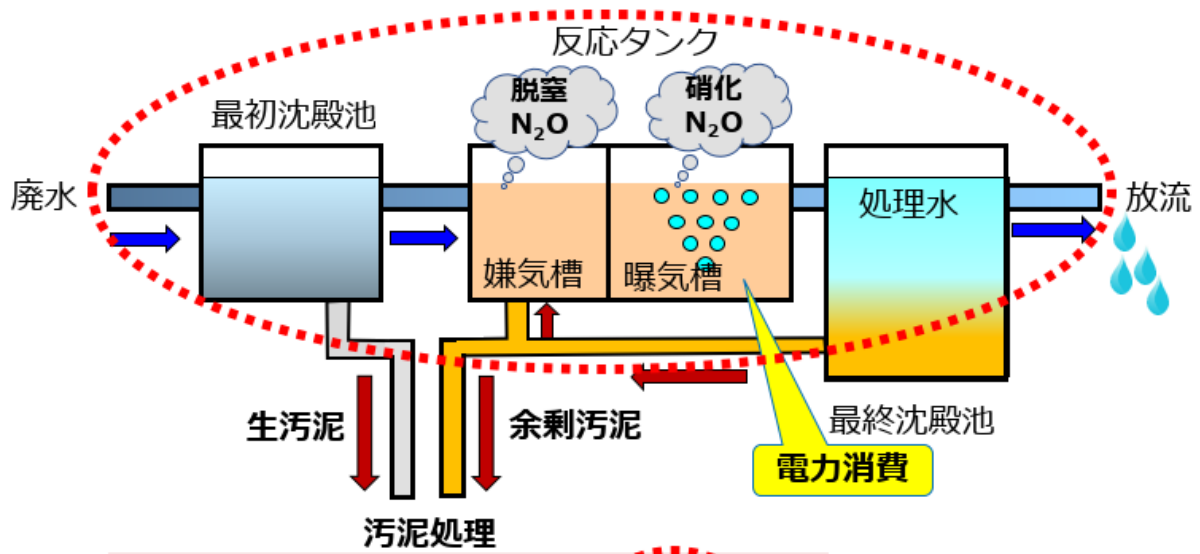
● 将来像 (2050年)



- ❑ 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

● 変換技術：なぜ好気と嫌気のバイオプロセスが対象？

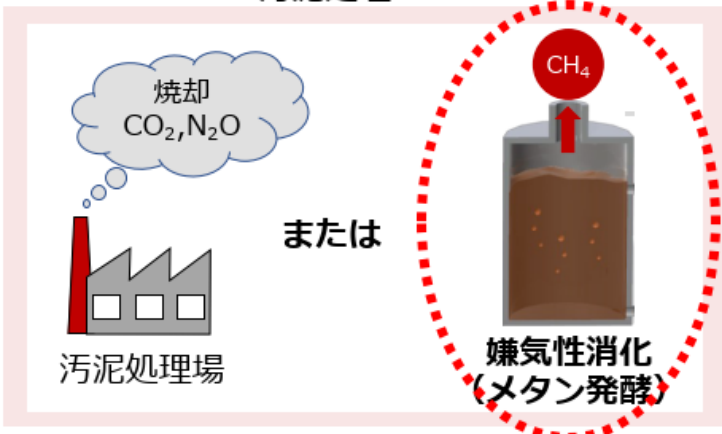
現在の廃水処理法（活性汚泥法）



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
- ・ 膨大な污泥処理コスト



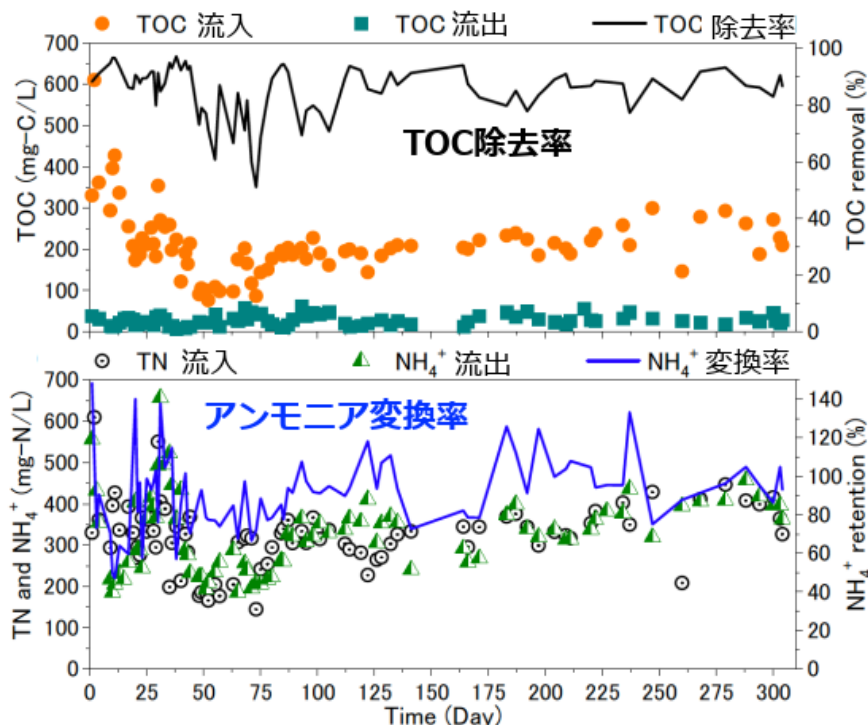
ポイント②
嫌気性消化による廃水処理でメタン（エネルギー）を獲得したい

課題②

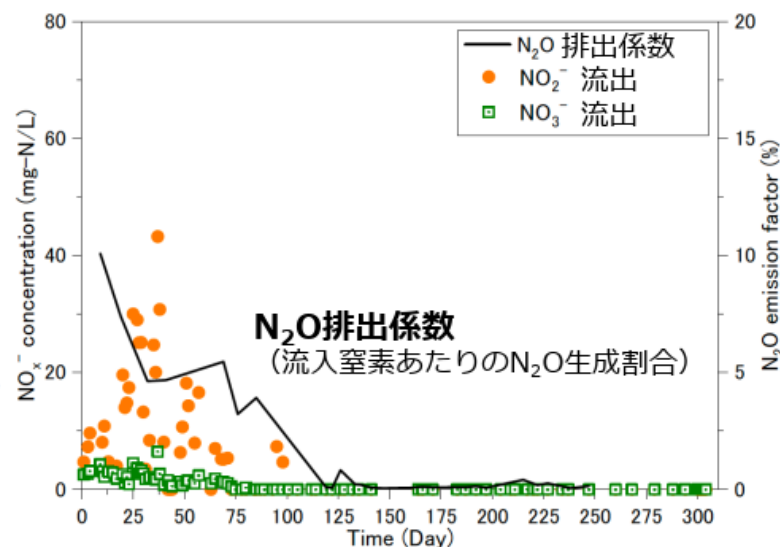
- ・ 希薄廃水の処理に不向き
- ・ 共存物質による阻害を受けやすい

● 微生物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



N₂Oの排出特性と硝酸・亜硝酸濃度



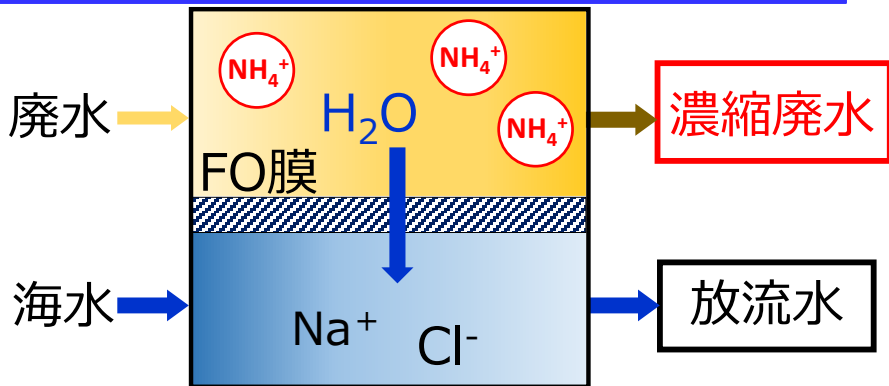
- 発酵産業廃水の長期安定処理
- 廃水中の炭素化合物を除去しながら、
高いアンモニア変換率 (>80%) を達成

- 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**

https://www.nedo.go.jp/events/report/Z2MS_00011.html
<https://www.nedo.go.jp/content/100958118.pdf>

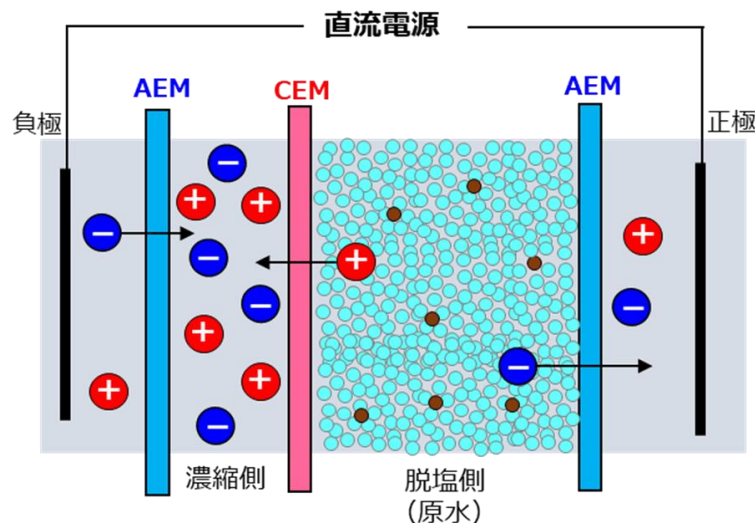
多様な技術を組合せ、各廃水へ対応(濃縮の数値は一例)

正浸透膜：超省エネ 500→5,000mg/L

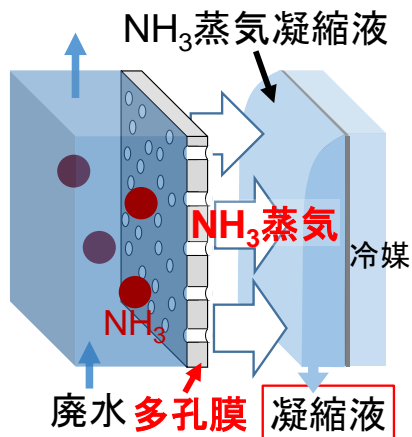


- FOプロセス後に生じた希釈海水はそのまま放流可能
- 濃縮にかかるエネルギーはポンプ動力のみ

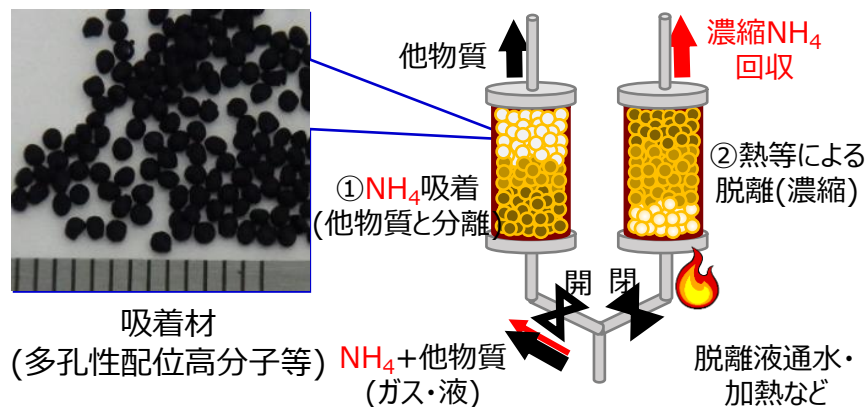
イオン交換膜：Ca除去, 3,000mg/L→3%



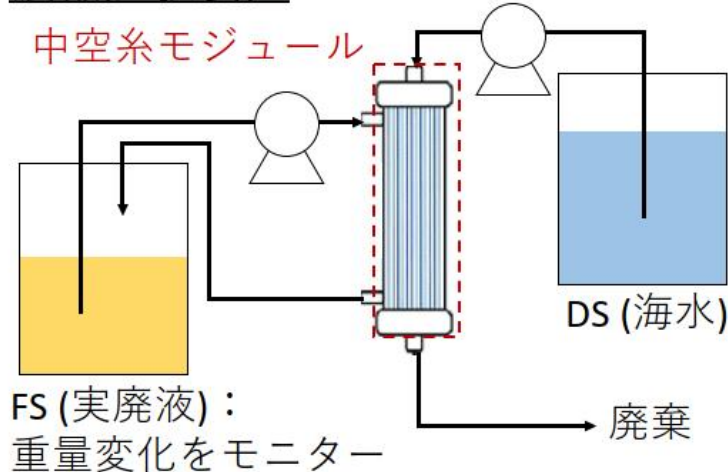
膜蒸留：高濃度濃縮, 4%→>30%



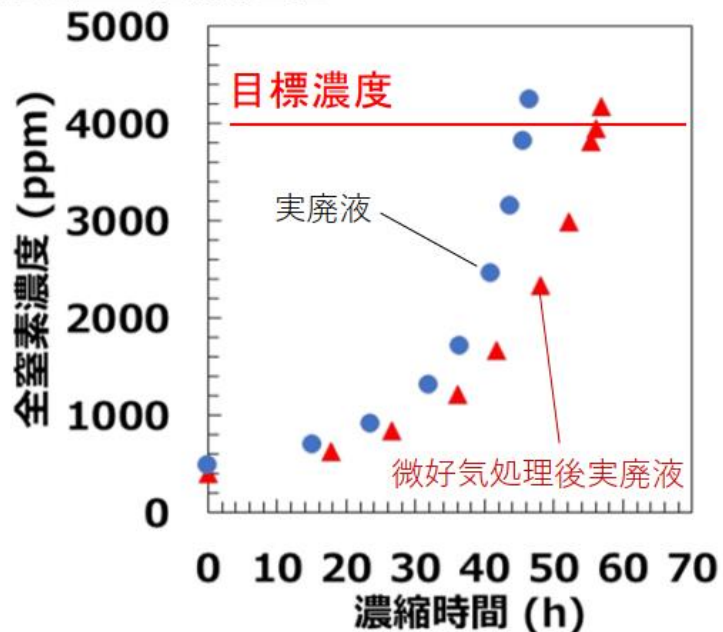
吸着分離：Na除去, 1000mg/L→2%



濃縮試験装置

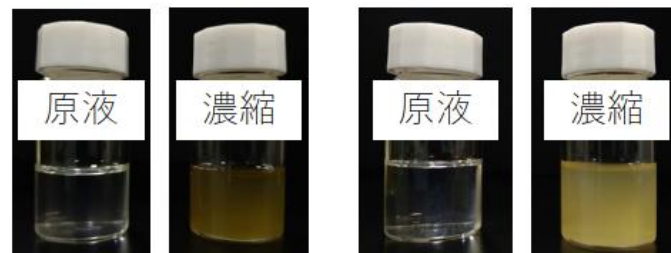


実廃水の濃縮試験



実廃液

微生物処理後実廃液

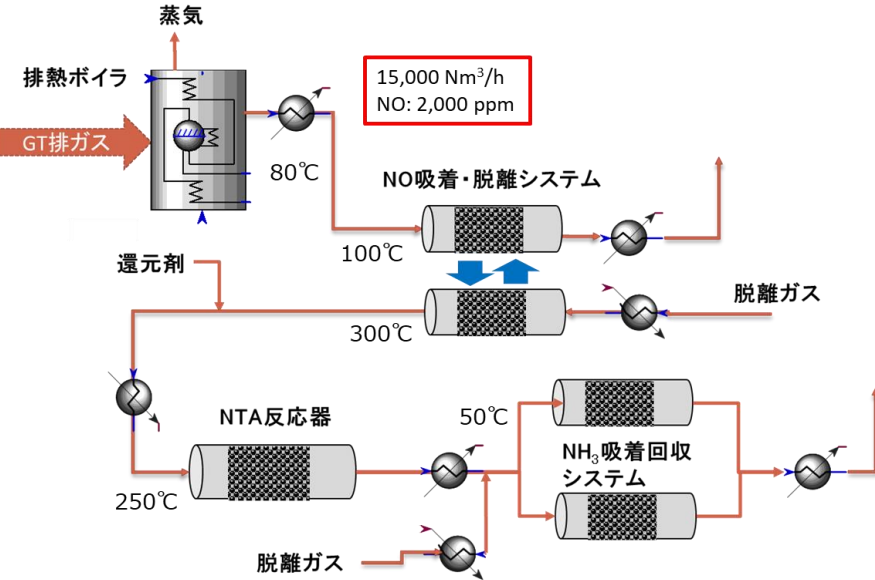


海水を用いて目標濃度までの濃縮を実証

4

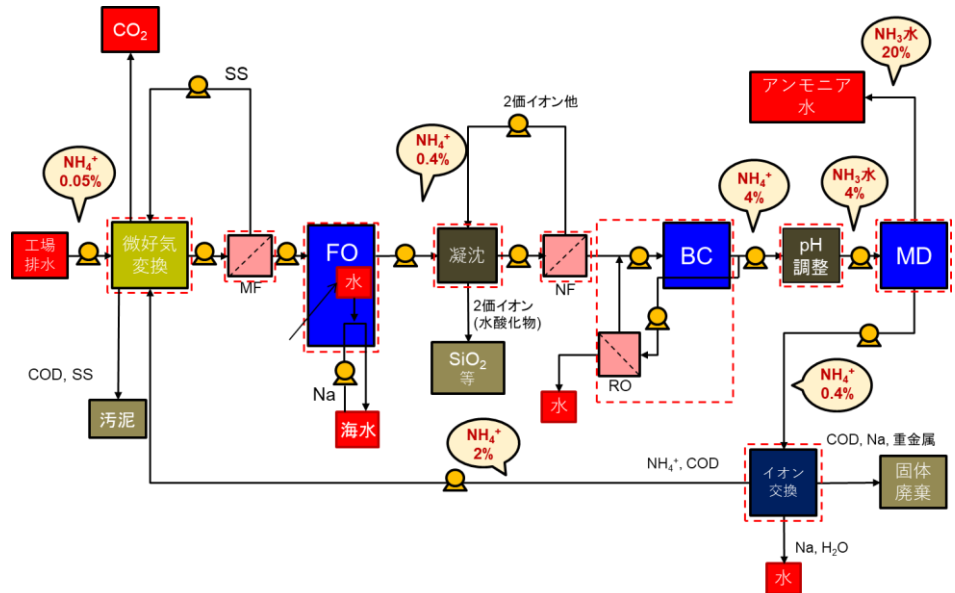
https://www.nedo.go.jp/events/report/Z2MS_00011.html
<https://www.nedo.go.jp/content/100958118.pdf>

排ガス中NOxのNH3への変換プロセス



- 上図の構成プロセスシステムのCO₂排出量が、選択触媒還元法(SCR)の適用の1/4以下と試算

液相窒素化合物濃縮プロセス



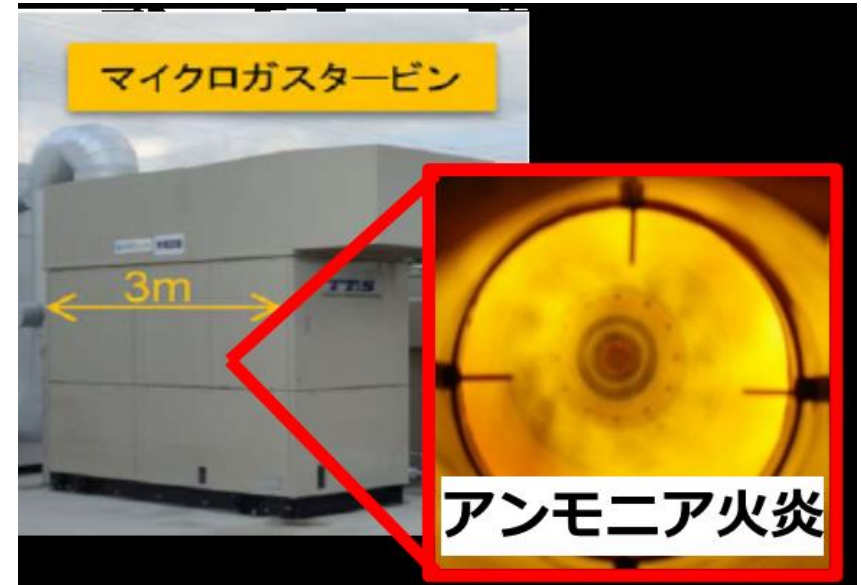
- 上図の構成プロセスシステムのCO₂排出量が、アンモニアストリッピング法の適用の1/20以下と試算

https://www.nedo.go.jp/events/report/Z2MS_00011.html
<https://www.nedo.go.jp/content/100958118.pdf>

産総研自主事業として資源循環技術開発を推進、窒素循環もその一つに



開発したアンモニウムイオン吸着材



畜産排ガス資源化、内燃機関によるアンモニア資源燃料利用などを研究

<https://unit.aist.go.jp/dmc/rctrl/ja/groups/jkl.html>

◆背景◆

- 窒素化合物の環境放出は、プラネタリーバウンダリー最大の課題の一つ→回復可能性という観点では気候変動などを超えるリスク

◆ムーンショット型研究開発事業◆

- 排ガス中NO_xをアンモニアに変換し、無害化、資源化する技術
- 廃水中窒素化合物をアンモニアに変換し、資源化する技術
- 開発したアンモニア資源化技術の有効性の評価

◆その他の取り組み◆

- SIP3：下水汚泥・農業排ガスなどの肥料利用化技術の開発
- 産総研事業：排ガス・廃水中窒素化合物の資源化・燃料利用

ご清聴ありがとうございました