

# 産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出 ープラネタリーバウンダリー問題の解決に向けてー



【PM】川本 徹(産業技術総合研究所 首席研究員)

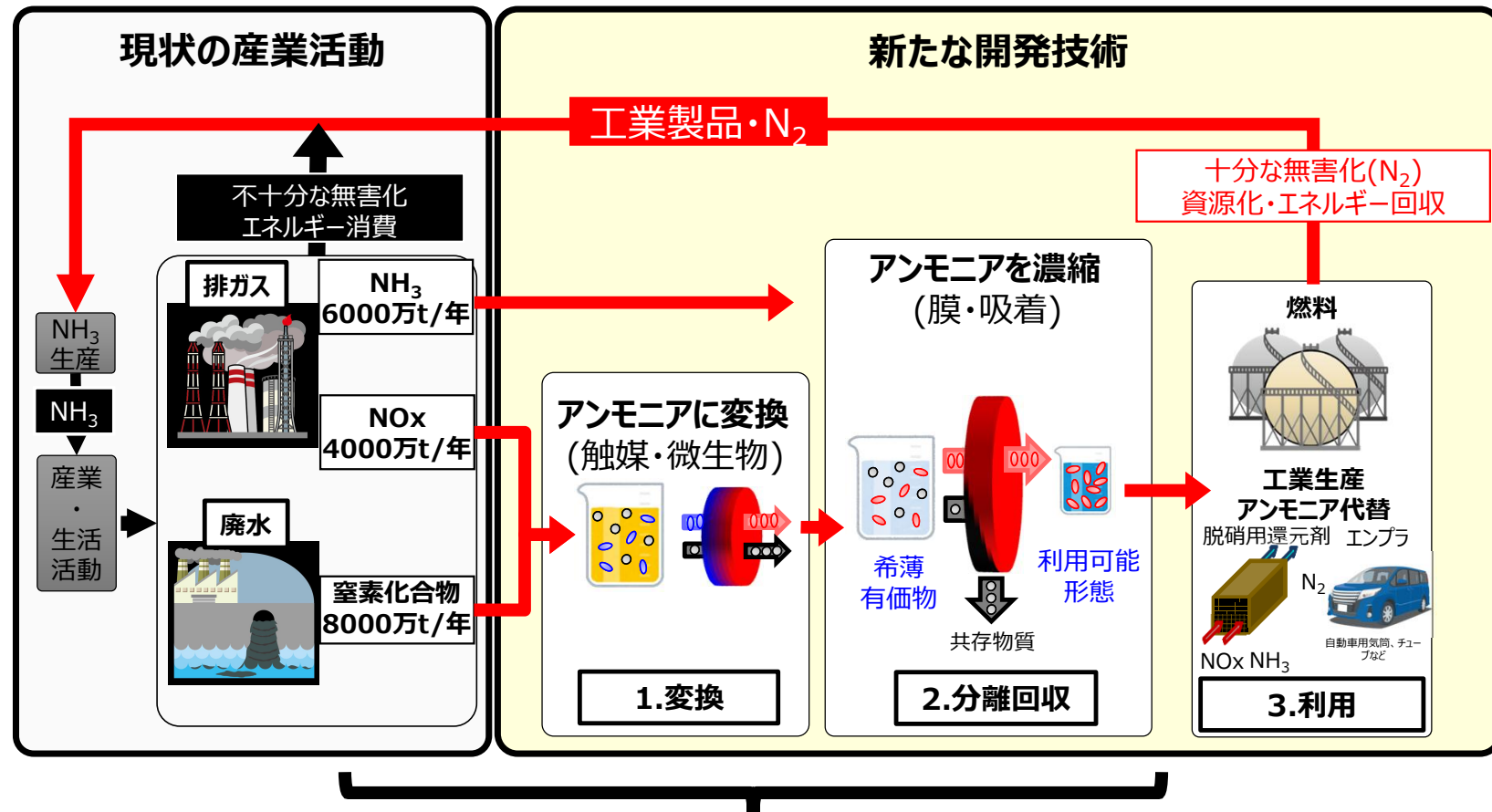
【代表機関】 産業技術総合研究所

【共同機関】 東京農工大, 大阪大, 神戸大, 山口大,  
キリンホールディングス(株) 東洋紡エムシー(株),  
(株)フソウ,

【再委託機関】東京科学大, 京都大, 広島大, 名古屋大,  
住友電気工業(株), 協和機電工業(株)

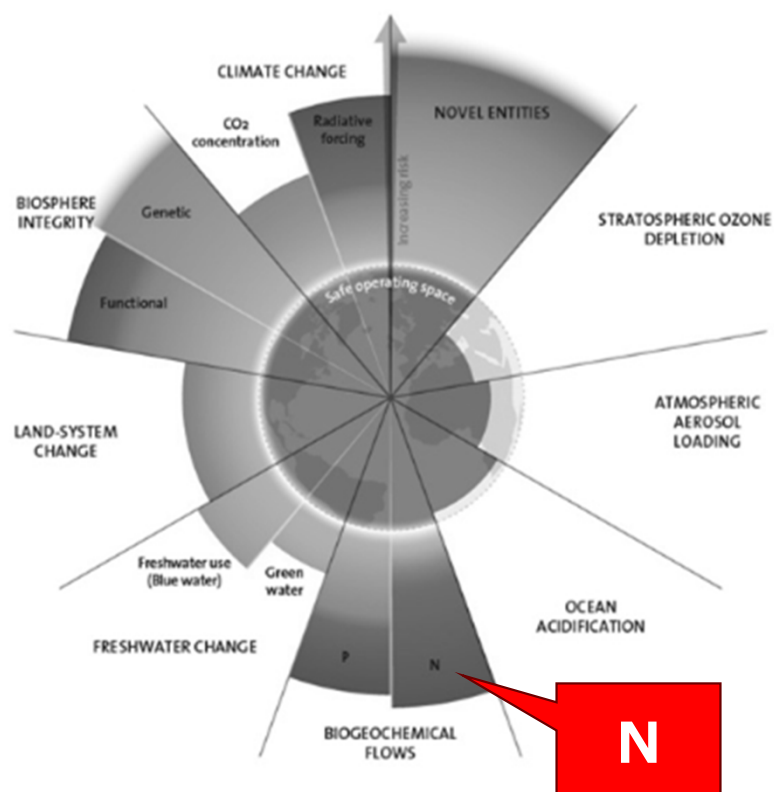
【実施期間】 2020年度～2029年度

窒素化合物の環境排出量を約10,000万トン-N/年削減し、環境問題を解決する



当事業のターゲット→25年度以降は廃水にフォーカス

窒素化合物の排出はプラネタリーバウンダリー問題におけるもっとも深刻な課題の一つ



## 窒素汚染(国連環境計画HPより)

- 毎年2億トンの窒素化合物が環境中に排出されている。
- 廃棄窒素を減らせれば1000億ドルの節約になるとの推定

### 気候変動

- $\text{N}_2\text{O}$ による地球温暖化

### 水質

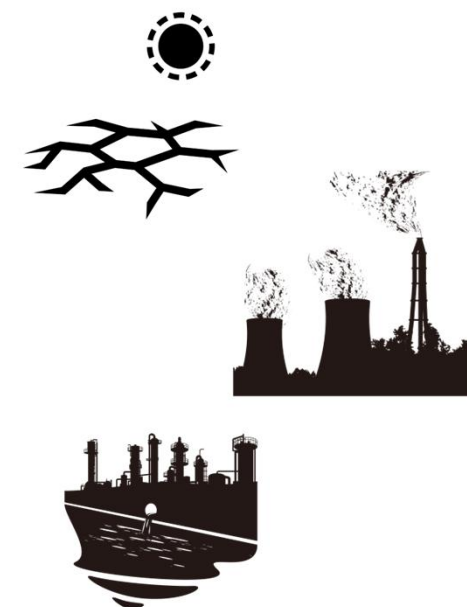
- $\text{NH}_4$ ・硝酸等による富栄養化

### 大気

- $\text{NO}_x$  によるスモッグ・オゾン発生
- アンモニアによるPM2.5発生

### 生物多様性

- 生物多様性消失の最大要因



Stockholm Resilience Centre, <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>  
Why does nitrogen pollution matter?, <https://www.unep.org/facts-about-nitrogen-pollution>

## 政策的背景

環境・エネルギー利用の両面からアンモニアをはじめとする窒素化合物への取り扱いがポイントに

### 第六次環境基本計画

24/05/21閣議決定。「窒素」で検索すると38hit！  
→「持続可能な窒素管理に関する行動計画」も策定  
(24年9月)

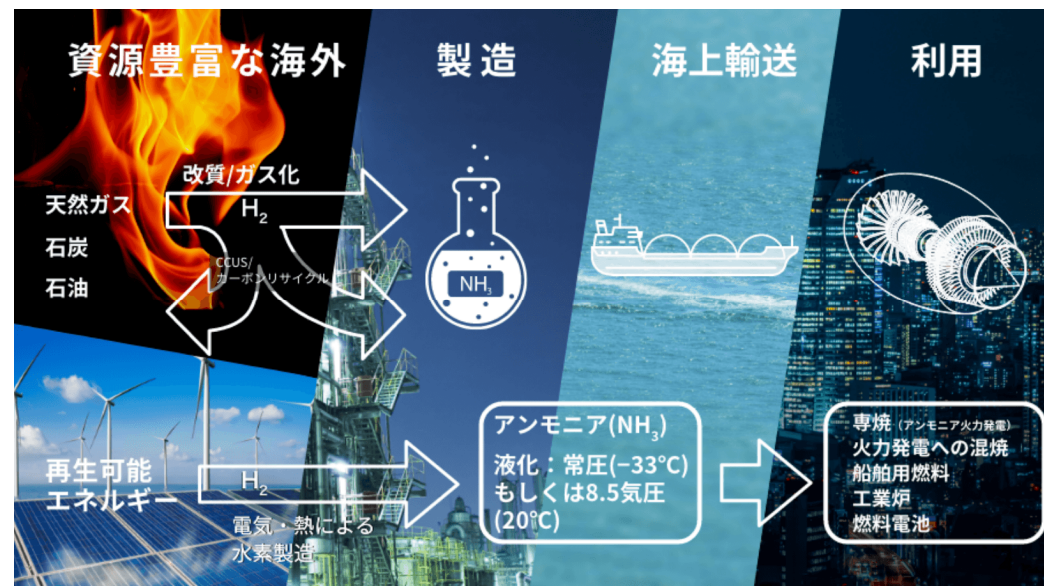
### エネルギー基本計画

2030年300万トン、2050年3000万トンのアンモニア利用を想定  
(現在の国内生産量は100万トン未満)

重点戦略：環境・経済・社会の統合的向上の高度化のための6つの戦略【第2部】

<p>4. 「ウェルビーイング／高い生活の質」を実感できる安全・安心、かつ、健康で心豊かな暮らしの実現</p> <p>「ウェルビーイング／高い生活の質」を実感できる安全・安心な暮らしの実現、良好な環境の創出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>人の命と環境を守る基盤的な取組             <ul style="list-style-type: none"> <li>水・大気・土壌の環境保全</li> <li>熱中症対策の推進</li> <li>海洋ごみ（プラスチック汚染）対策の推進</li> <li>鳥獣対策の強化、外来種対策の推進</li> <li>「プラネターヘルス」を踏まえた化学物質対策</li> <li>窒素・リンの持続可能な管理</li> </ul> </li> <li>心豊かな暮らしに向けた良好な環境の創出             <ul style="list-style-type: none"> <li>「保護と利用の好循環」の推進</li> <li>野生生物の保全</li> </ul> </li> <li>心豊かな暮らし             <ul style="list-style-type: none"> <li>食品ロス削減</li> <li>自然とのふれあいの場の確保</li> <li>国民に対する環境教育の充実</li> </ul> </li> </ul>	<p>5. 「新たな成長」を支える科学技術・イノベーションの開発・実証と社会実装</p> <p>本質的なニーズを踏まえた、環境技術の開発・実証と社会実装、グリーンイノベーションの実現、科学的知見の集積・整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>グリーンイノベーションに対する国民意識の向上・行動変容の促進による需要の創出             <ul style="list-style-type: none"> <li>「デコ活」による意識変革や行動変容</li> <li>環境技術の第三者評価と情報開示</li> <li>AI、IoT(Internet of Things)等のデジタル技術の活用</li> </ul> </li> <li>本質的なニーズ主導での技術的ブレイクスルー             <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー効率改善技術の開発・実証</li> <li>「フェーズフリー技術」への支援</li> </ul> </li> </ul>	<p>6. 環境を軸とした戦略的な国際協調の推進による国益と人類の福祉への貢献</p> <p>海外の自然資本に依存する我が国として、環境を軸とした国際協調を戦略的に推進</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>いわゆる「環境外交」による国際的なルール作りへの貢献             <ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動における1.5℃目標達成への貢献</li> <li>生物多様性における国際議論への貢献</li> <li>GFC (Global Framework on Chemicals：国際的な化学物質管理の枠組)を踏まえた化学物質管理の推進</li> <li>プラスチック汚染に関する国際文書策定への貢献</li> <li>企業活動における国際ルールづくりへの貢献</li> </ul> </li> <li>環境分野における途上国支援             <ul style="list-style-type: none"> <li>JCMによる途上国の脱炭素化への貢献</li> <li>GOSATによる各国の削減取組の透明化</li> <li>脆弱国に対するロス＆ダメージ支援</li> <li>水・大気環境国際協力</li> </ul> </li> <li>経済安全保障への対応             <ul style="list-style-type: none"> <li>国際/リチェーンにおける徹底した資源循環</li> <li>化学物質管理の適正化</li> <li>「環境・実証と社会実装」の開発・実証と社会実装</li> <li>スタートアップへの支援</li> </ul> </li> </ul>
---	--	---

**「窒素の管理」明記**



<https://www.env.go.jp/content/000223505.pdf>  
[https://www.env.go.jp/press/press\\_03772.html](https://www.env.go.jp/press/press_03772.html)

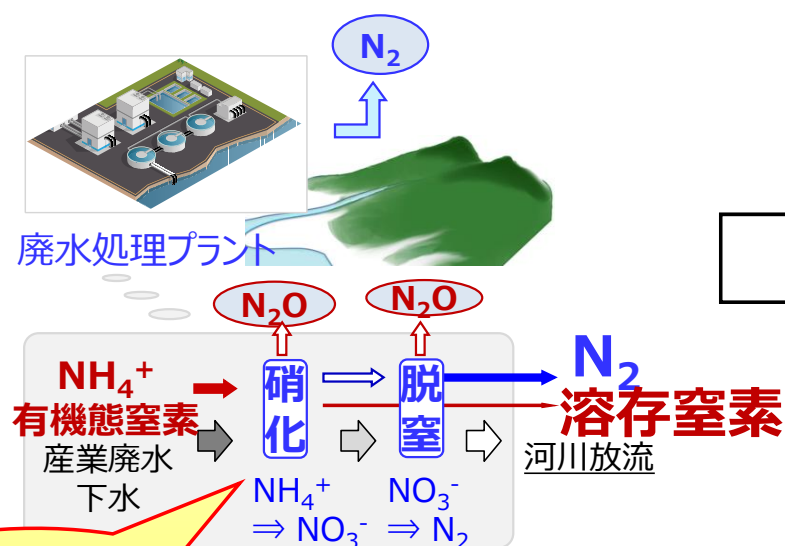
<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/building-fuel-ammonia-supply-chain/>  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/green\\_innovation/pdf/gi\\_006\\_03\\_06.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_006_03_06.pdf)



100年前から続いてきた硝化脱窒による排水無害化処理を省エネ・資源循環技術に置き換える！

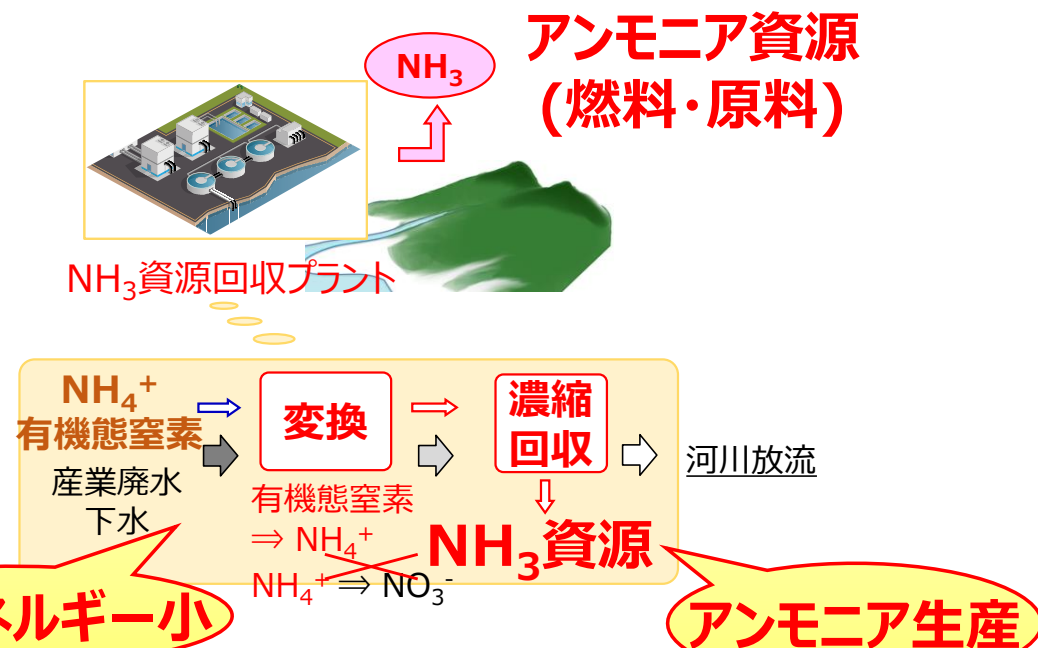
活性汚泥法：1915年ごろ発明、1930年に国内で初めて導入  
→生物繁殖により炭素・窒素化合物を $\text{CO}_2 \cdot \text{N}_2$ に変換

## ●現状(活性汚泥処理)



アンモニア消費  
消費エネルギー大

## ●2050将来像



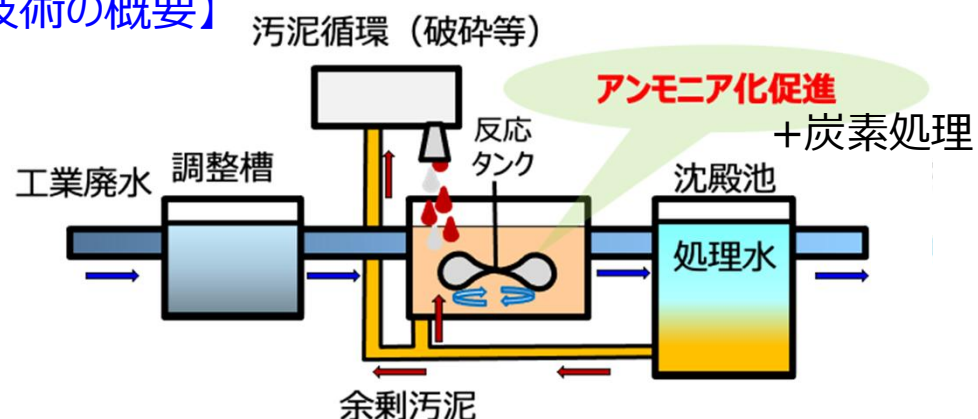
# アンモニアに変換：微好気変換技術(産総研・東京農工大・京都大・キリンHD)

【技術の概要】 廃水中の炭素化合物のみを除去し、窒素化合物のアンモニアへの変換・保持を促進（資源回収）

【技術の優位性】 レトロフィット技術、曝気削減による省エネ化、温室効果ガス $N_2O$ の削減、余剰汚泥の窒素源利用

【成果・進捗】 発酵産業廃水の微好気変換処理をベンチスケールで証明

## 【技術の概要】

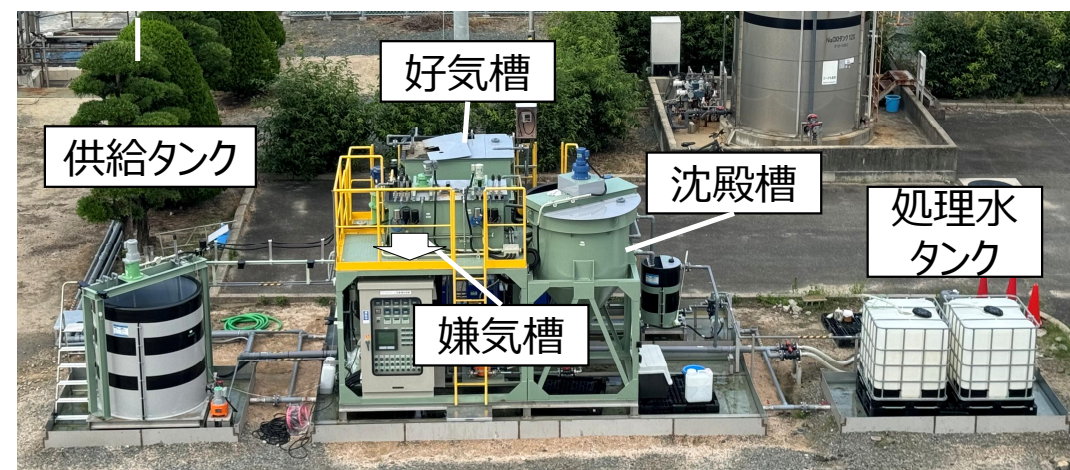


【技術の優位性】 現行設備の転用が可能

## 微好気性変換プロセス

有機物負荷	低負荷対応
有機物処理性能	全量処理
窒素回収	ほぼ全量回収（硝化抑制）
レトロフィット	現行プロセスを使用（迅速展開）
対象廃水	低濃度（産業廃水、下水等）

## 【成果・進捗】 発酵産業廃水でのベンチスケール実証



効率的な有機物除去、アンモニア変換、 $N_2O$ 排出抑制、  
余剰汚泥の窒素源利用を流入廃水 $>0.8 \text{ m}^3/\text{d}$ の規模で達成

# アンモニアを濃縮：一次濃縮(FO膜) (神戸大・東洋紡エムシー)

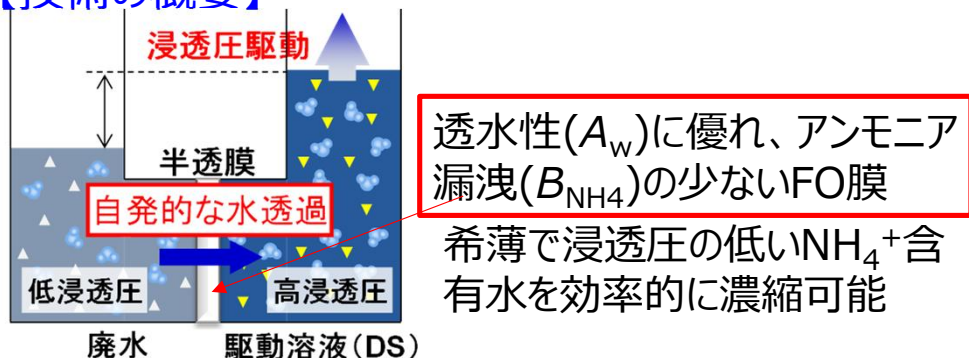
※そのほか、多様な膜技術を活用

【技術の概要】浸透圧差による自発的な水移動を利用し、希薄な微好気処理水中の $\text{NH}_4^+$ を低エネルギーで濃縮

【技術の優位性】低濃度の有用物濃縮に特に有用でかつ高压不要。濃縮速度が大きく大量に濃縮可能

【成果・進捗】ベンチスケールで実廃水の10倍以上濃縮を達成

## 【技術の概要】

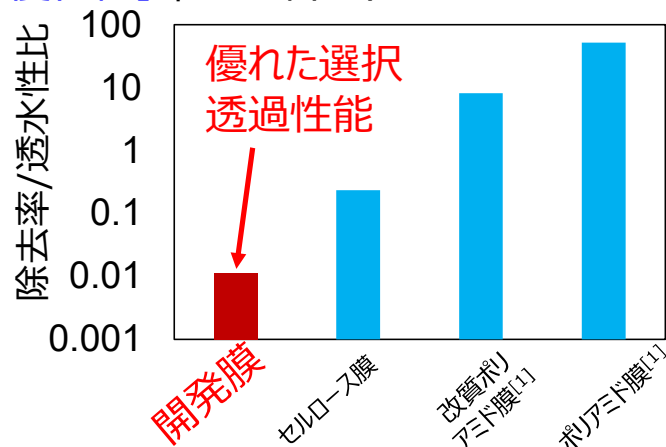


## 【成果・進捗】 ベンチ試験機

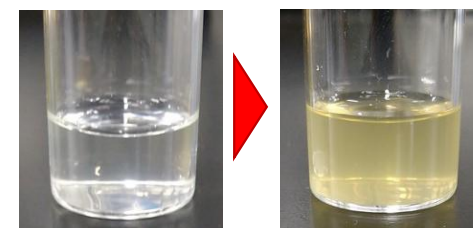
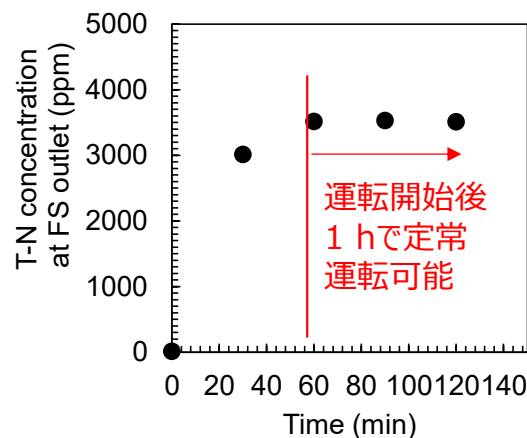


500L/日処理

## 【技術の優位性】 極めて省エネに水のみ除去して濃縮



[1] X. Bao et al., J. Membr. Sci., **573** (2019) 135



濃縮前 240ppm  
濃縮後 3500ppm  
14倍以上の濃縮に成功

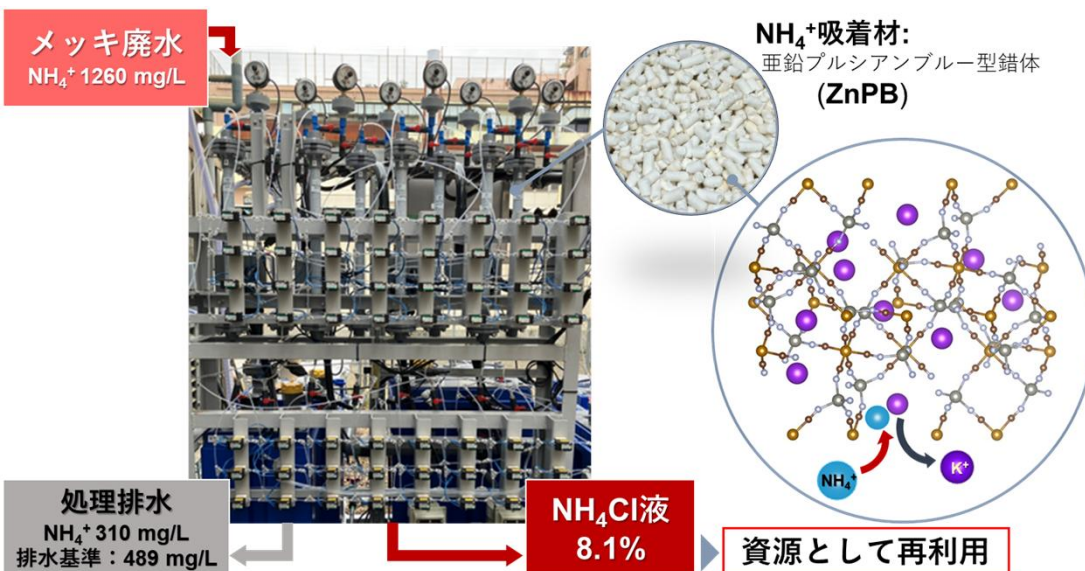


# アンモニアを分離：吸着材・廃水中アンモニア資源化プロセスの研究開発（産総研・フソウ）

- 【技術の概要】 廃水中の $\text{NH}_4^+$ イオンを高選択性吸着材を用いて吸着分離・濃縮回収して $\text{NH}_4^+$ の資源化へ
- 【技術の優位性】 高濃度の夾雑イオン共存下でも選択的に $\text{NH}_4^+$ イオンの分離及び濃縮回収システム化
- 【成果・進捗】 連続運転可能なベンチ装置を製作、メッキ実廃水からの $\text{NH}_4^+$ 回収試験に成功

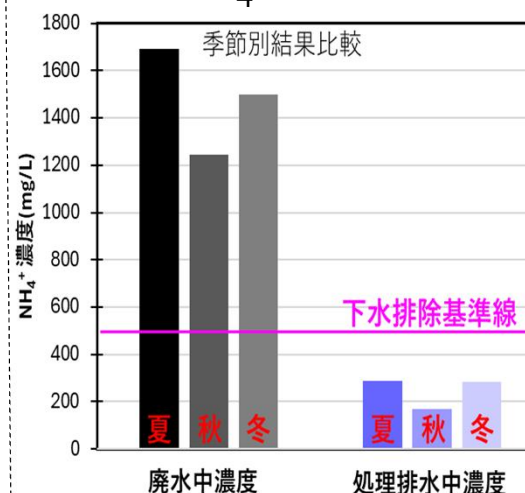
## 【技術の概要】

$\text{NH}_4^+$ 選択吸着材により $\text{NH}_4^+$ のみ回収・他物質と分離

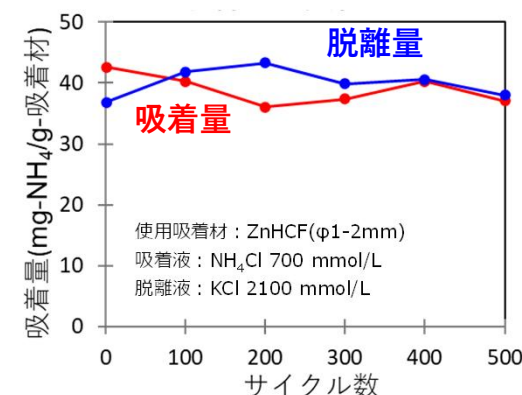


## 【成果・進捗】メッキ廃水実液で連続試験

### $\text{NH}_4$ 回収試験



### サイクル試験



- ・実廃水からの $\text{NH}_4$ 回収に成功
- ・500回サイクルで吸脱着量は ほぼ変化なし
- ・吸着材は25年5月に市販開始



## 全体設計：プロセス設計（東京科学大，名古屋大）

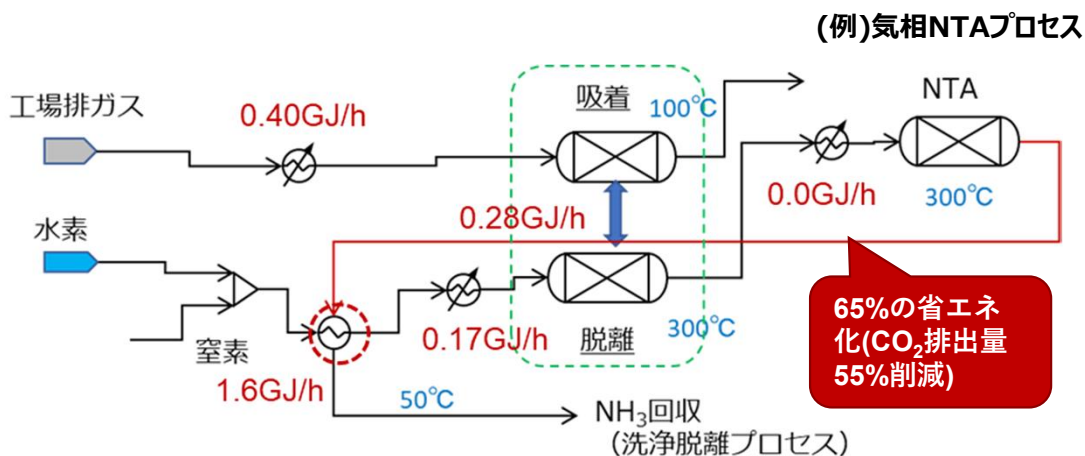
【技術の概要】全体のプロセスの要求仕様の明確化と、研究開発目標設定の妥当性評価

【技術の優位性】水相資源化プロセスの最適化、動特性の明確化、省エネルギー/CO<sub>2</sub>排出量削減効果の評価

【成果・進捗】水相窒素資源化プラントの設計に資するプロセスモデルの構築

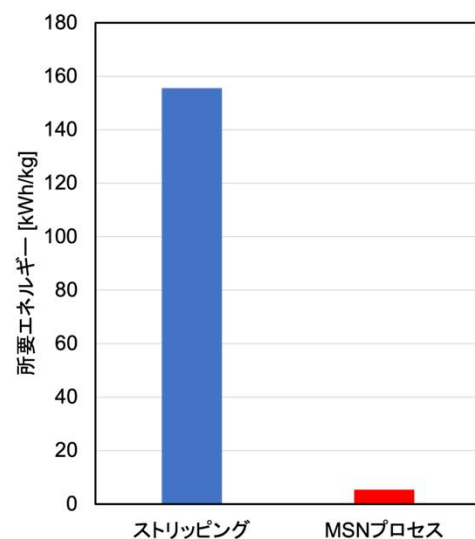
### 【技術の概要】

要素プロセスの概念設計とシステム全体評価

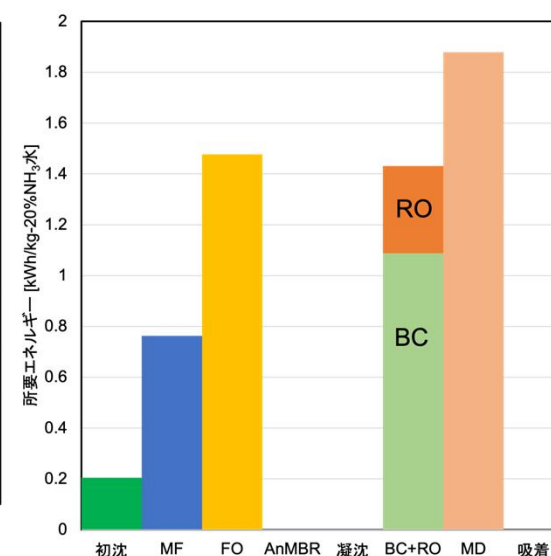


### 【成果・進捗】

要素技術を一体化した際のエネルギー計算・改良点提案

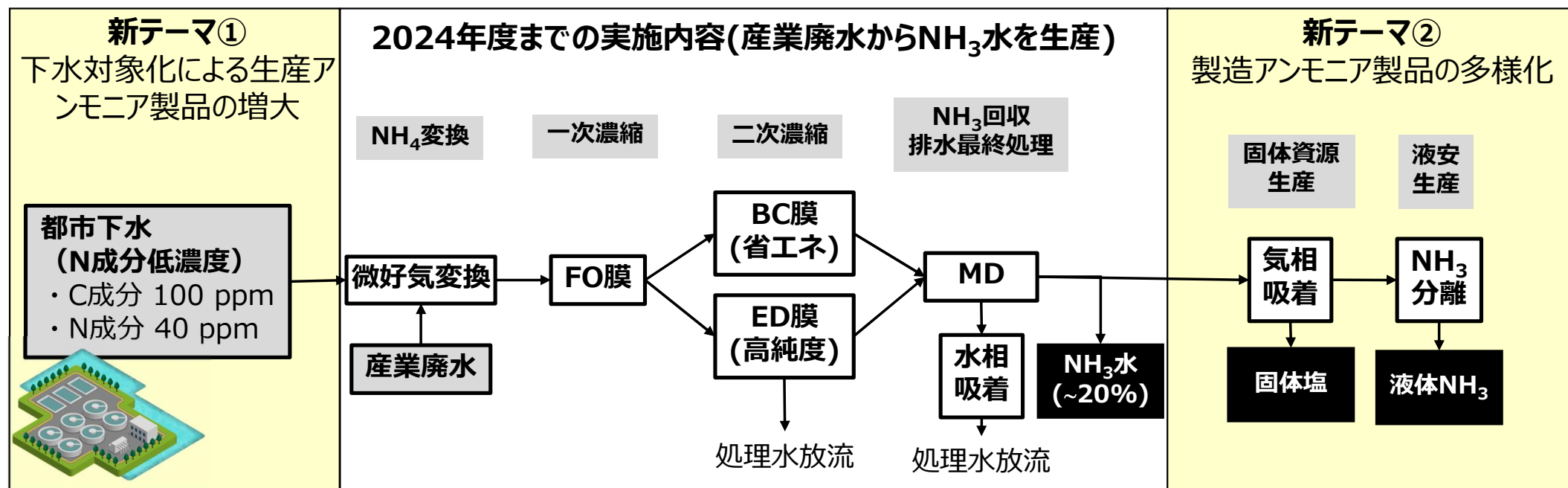


全体プロセスにおける  
投入エネルギーの評価



消費エネルギーの内訳

2024年度までの産業廃水→アンモニア水生産を基盤に、下水処理・生産アンモニア資源の多様化を図る



2024年度までの取り組みを包含、高濃度産業廃水対応やアンモニア水(安水)生産も検討可能

2024年度までの産業廃水→アンモニア水生産を基盤に、下水処理・生産アンモニア資源の多様化を図る

下水対象化による生産  
アンモニア製品の増大

都市下水  
(N成分低濃度)

- ・ C成分 100 ppm
- ・ N成分 40 ppm



(\*)各要素技術の濃縮率(



2025/12/22 堺市と下水中窒素資源化  
実証試験に関する協定書を締結！

アンモニア製品の多様化

