

NEDOの水循環・窒素循環技術 に係る取組概要

環境部 水循環グループ
佐野 亨

2020年度成果報告会

1. 水循環関連 国際実証事業について
2. 窒素循環関連 研究開発事業について

事業カテゴリー



予算

予算 **1589**億円

(2020年度当初予算)

技術シーズの発掘から中長期的プロジェクトの推進、実用化開発の支援まで、一貫した技術開発マネジメントにより、日本の技術力強化・エネルギー問題の解決を目指します。

※主な事業を掲載しているため、予算総額と内訳の合計は一致しません。

エネルギーシステム分野

563億円

【技術内容】

- 系統対策技術
- 蓄電池等のエネルギー貯蔵技術
- 水素の製造から貯蔵・輸送利用に関する技術
- 再生可能エネルギー技術 等

省エネルギー・環境分野

434億円

【技術内容】

- 未利用熱エネルギーの活用技術
- 高効率石炭火力発電技術開発
- フロン対策技術
- 国際実証、JCM 等
- 環境調和型プロセス技術
- 二酸化炭素回収・有効利用・貯留技術
- 資源選別・金属精錬技術等の3R技術

①

産業技術分野

450億円

【技術内容】

- ロボット・AI技術
- IoT・電子・情報技術
- ものづくり技術
- 材料・ナノテクノロジー
- バイオテクノロジー 等

新産業創出・シーズ発掘等分野

66億円

【技術内容】

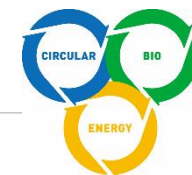
- 研究開発型ベンチャーの育成
- オープンイノベーションの推進 等

②

※上記の他、特定公募型研究開発基金を設置し、以下の事業を実施。

②

- **ムーンショット型研究開発事業**
- **ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業**

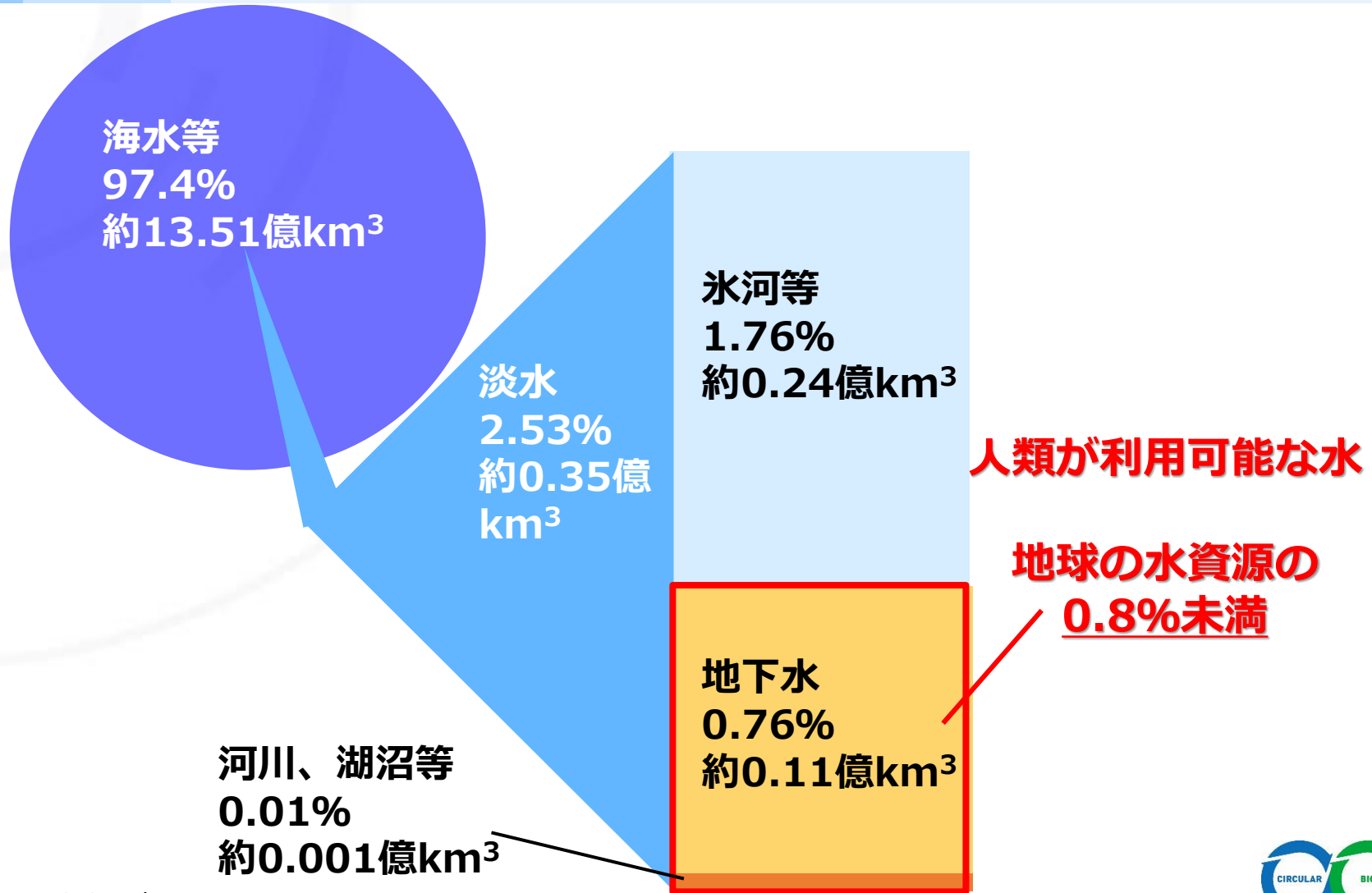


1. 水循環関連 国際実証事業について

- ①南アフリカ実証
- ②サウジアラビア実証

2. 窒素循環関連 研究開発事業について

地球上の水資源

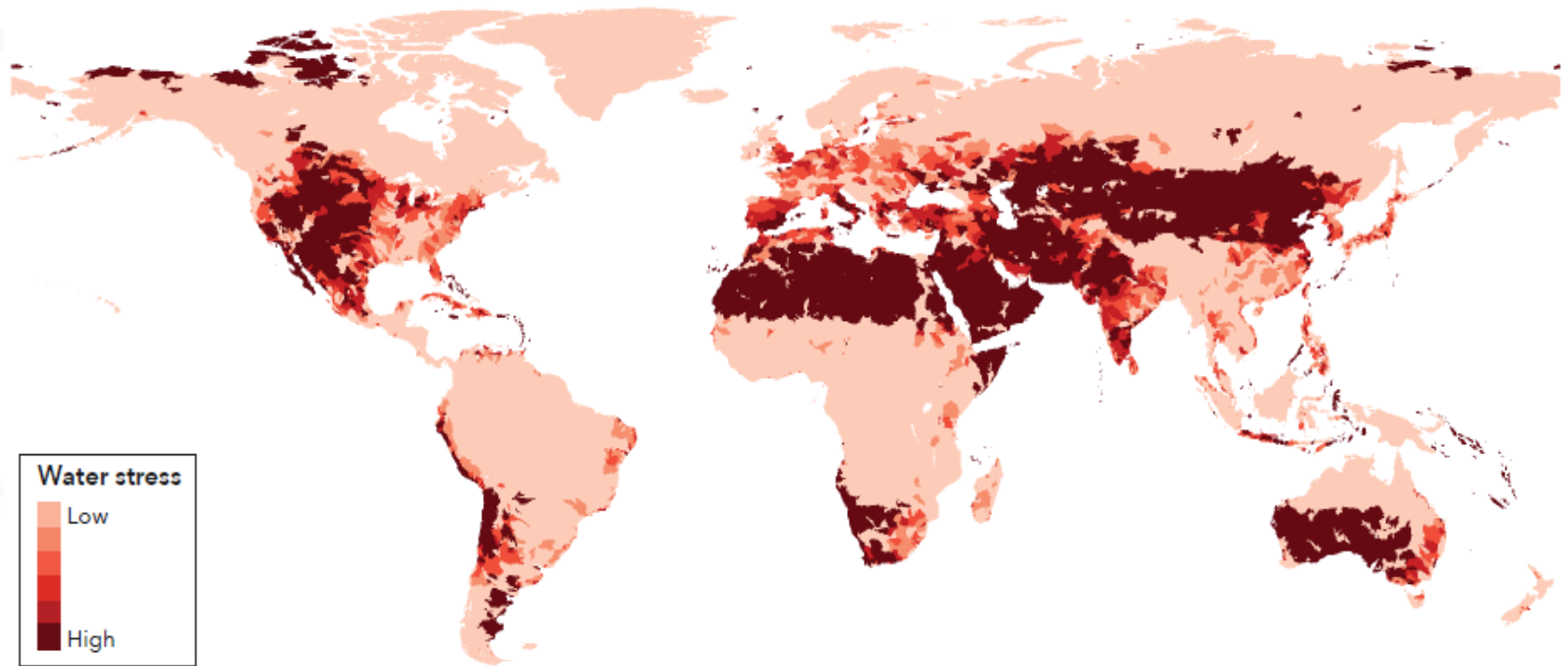


出典：国土交通省 http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk2_000020.html
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



水ストレス指標

淡水資源は偏在しており、中東、アジア、北米を中心に水需要量が取水可能量を上回っている地域も多い

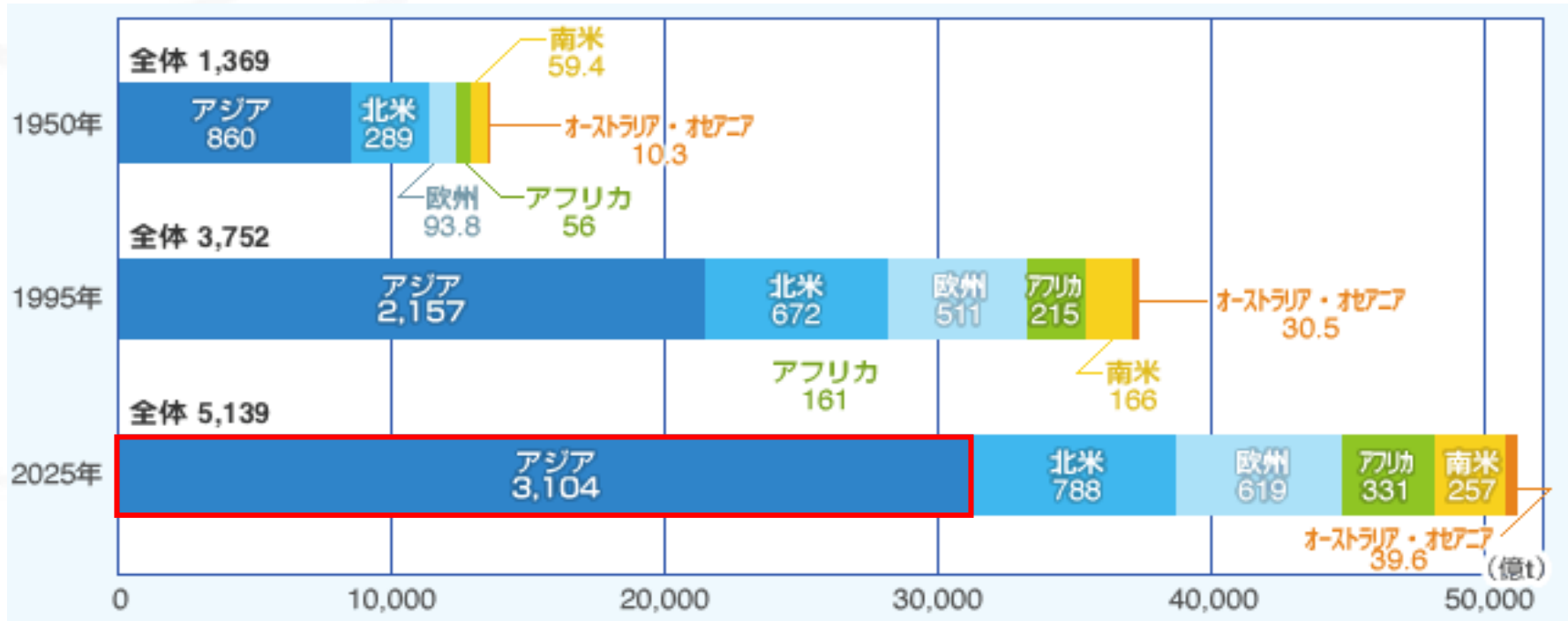


出典：Global Water Market 2017



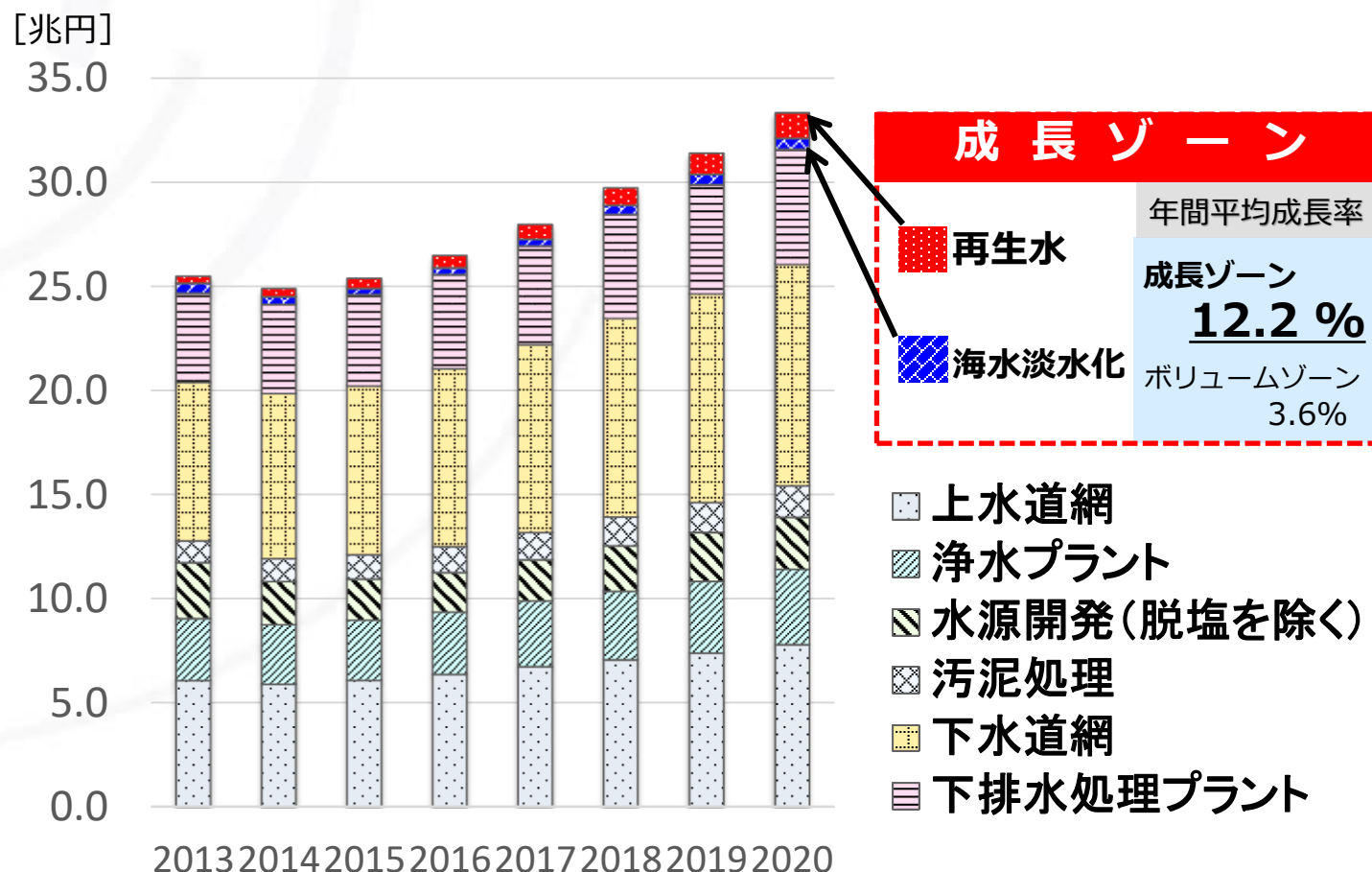
水需要量の見通し

世界における水の需要は増加の一步をたどっており、特に、アジアにおける水需要の伸びが顕著



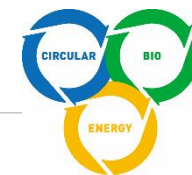
出典：Global Water Market 2017

世界の水設備投資額(Capex)

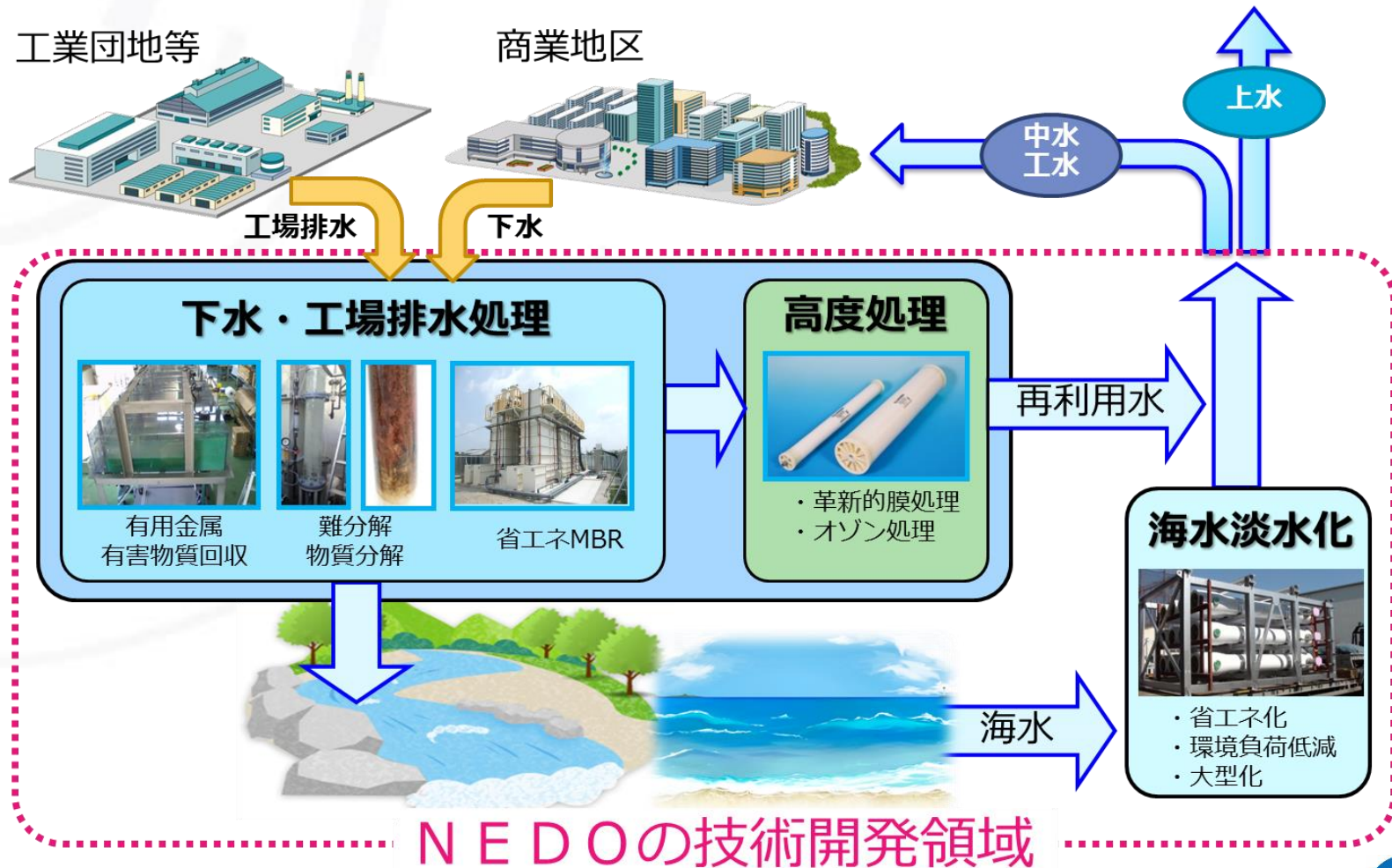


7

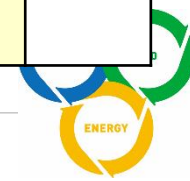
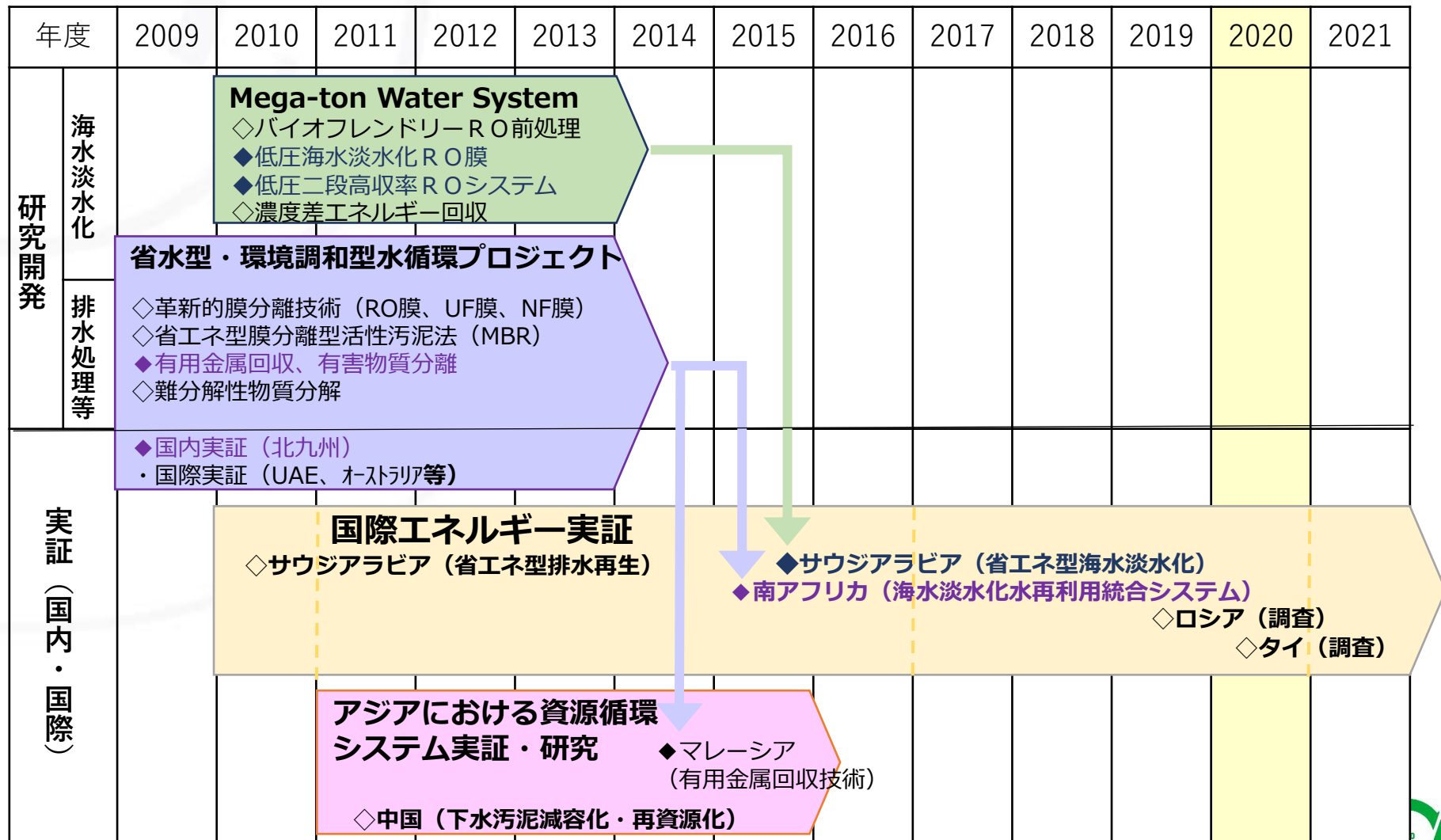
出典：Global Water Market 2017（1\$ = 100円換算）「再生水」についてはGlobal Water Market 2014をもとに、一部NEDO試算



省エネルギーかつ環境負荷低減に貢献する 水処理技術の開発と海外展開

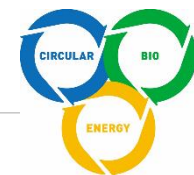
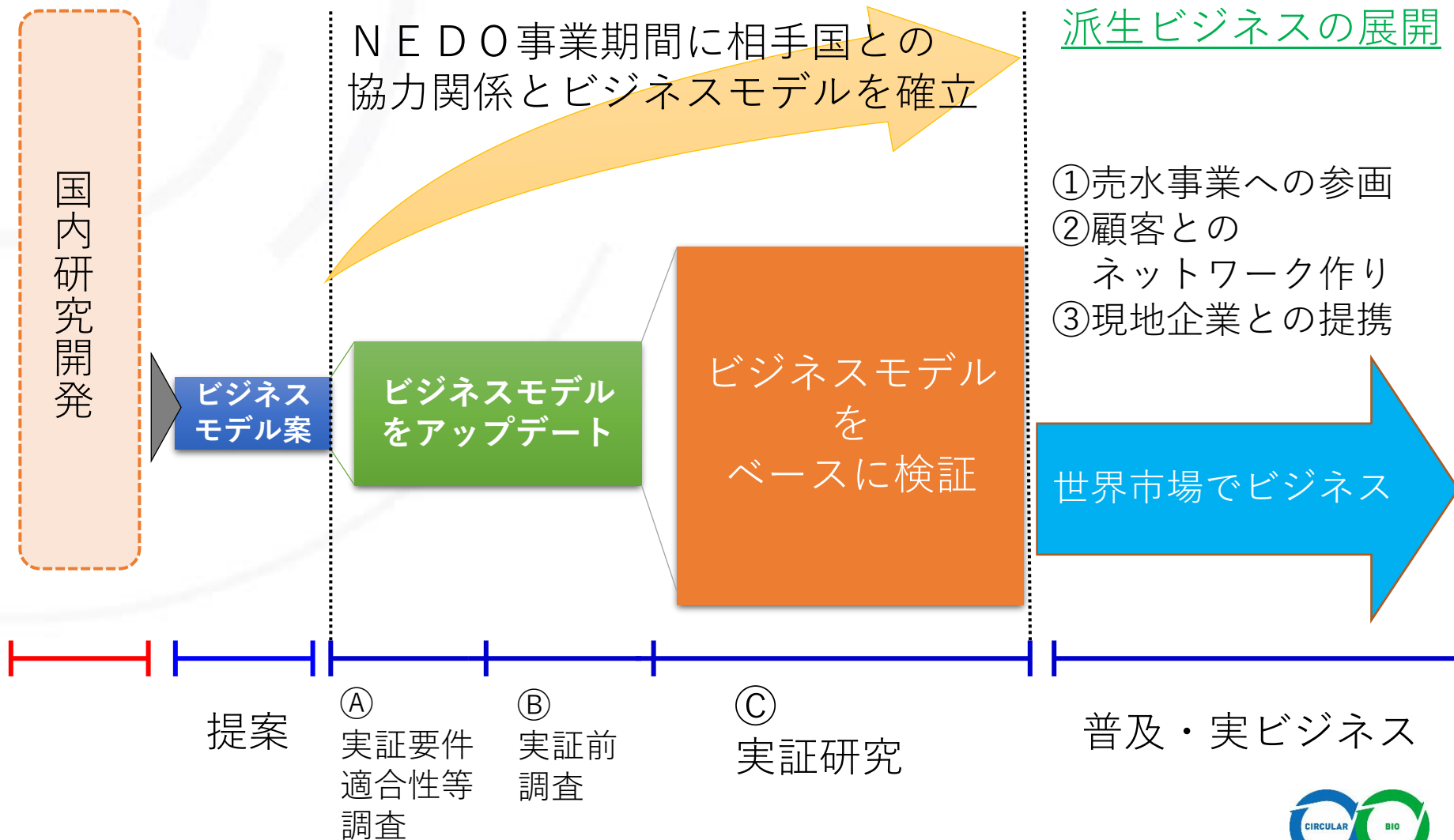


水循環分野におけるプロジェクト展開



国際エネルギー実証

「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業」



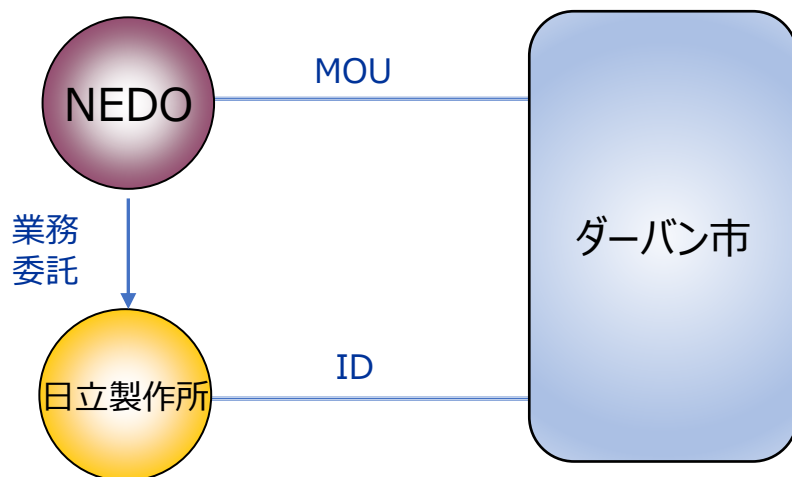
①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

事業内容

省水型・環境調和型水循環プロジェクト(ウォータープラザ北九州)で確立した「海水淡水化・水再利用統合システム」を、水不足への懸念から海水淡水化への需要が大きい南アフリカ共和国ダーバン市に導入するべく実証事業を実施しています。本システムは、水再生プロセスからの余剰水で海水を希釈し塩分濃度を下げることで、脱塩工程に必要なエネルギーコストを低減することができます。また、脱塩工程からの排出水の塩分濃度を海水と同程度に低減できる環境負荷の低い造水システムです。実証事業終了後は設備を拡張させ、ダーバン市への飲料水供給事業へと繋げることを目指します。

委託先 株式会社日立製作所

実施体制



MOU : Memorandum of Understanding
ID : Implementation Document

①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

実証地 (ダーバン [eThekweni] 市)

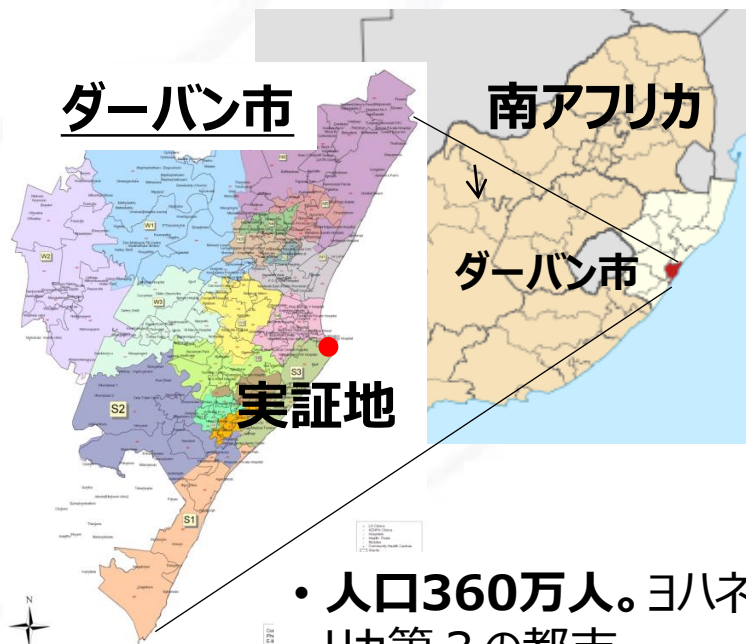
ダーバンの水の課題

1. 水不足

- ✓ 少ない降水量
(464mm/年. 世界平均の1/2)
- ✓ 上水需要の増加
(2020年 需要が供給を上回る)

2. 電力料金の上昇

毎年10%以上の電力料金上昇



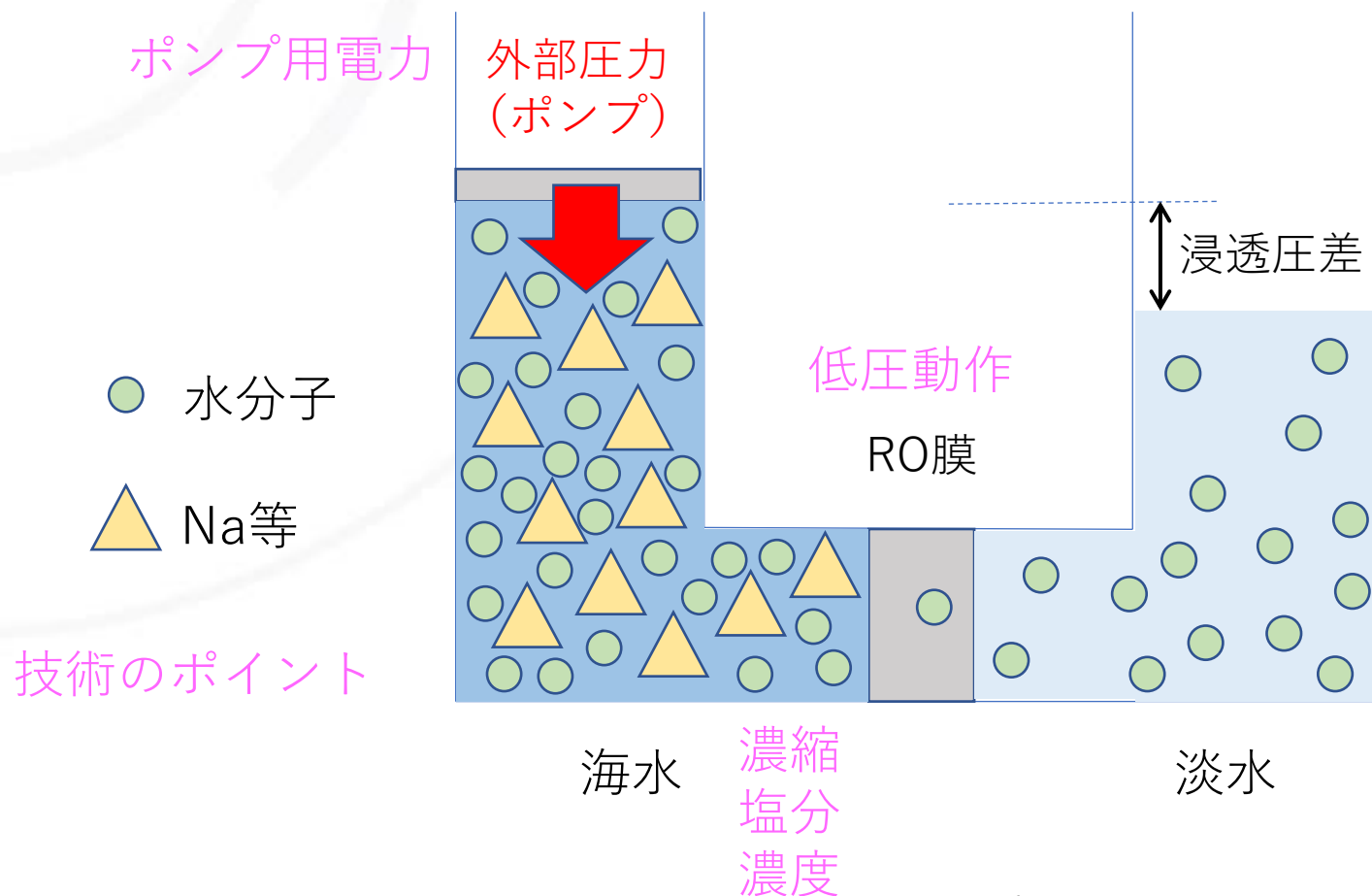
- 人口**360万人**。ヨハネスブルグに次ぐ南アフリカ第3の都市。
- アフリカ最大の貿易港を持ち、トヨタ自動車を始め多くの工場を有する**産業都市**。



ダーバン市は、通常
の海淡よりも、**省エネ・
低環境負荷**である本
システムを希望

①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

逆浸透膜 (RO膜) を用いた海水淡水化の原理



* RO : Reverse Osmosis

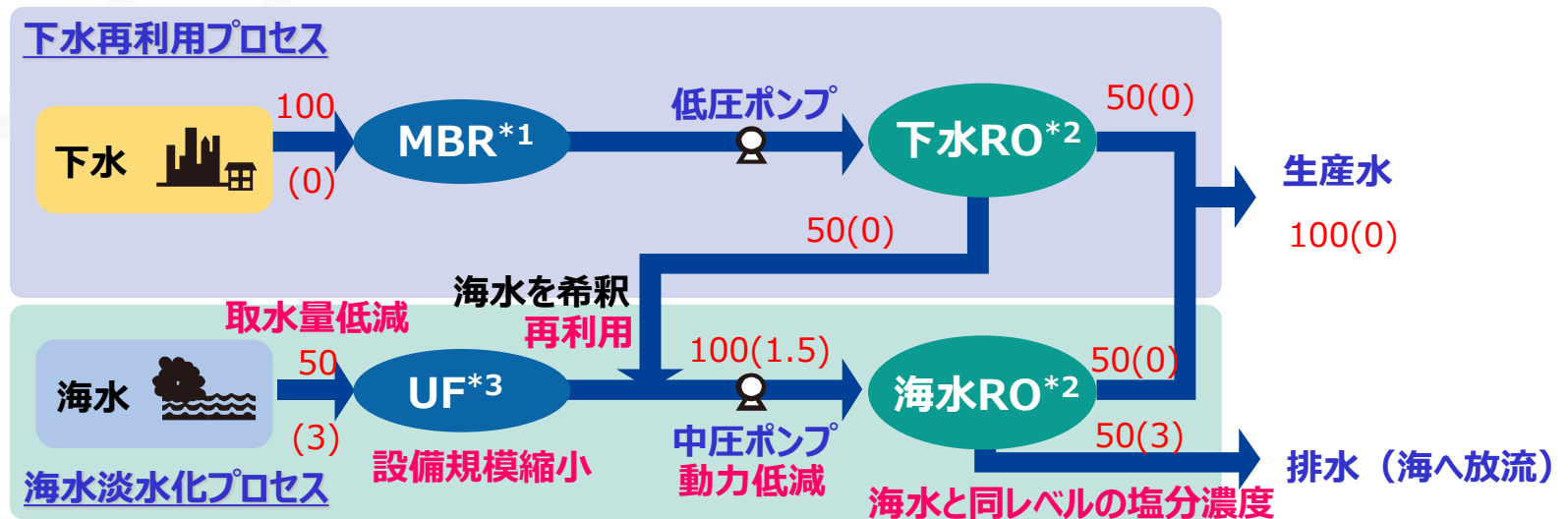
①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

海水淡水化技術の課題



①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

海水淡水化・水再利用統合システムの特長



(RO回収率50%の例。図中の数字は水量(-)、括弧内は塩分濃度(%))

- 省エネ
- 低環境負荷
- 低コスト

- ✓ 海水の塩分濃度を下げることによりROポンプ動力を低減
- ✓ 海水RO排水の塩分濃度を海水と同レベルに
- ✓ 海淡前処理の規模縮小 (取水量低減)

*1 MBR : Membrane Bioreactor
 *2 RO : Reverse Osmosis
 *3 UF : Ultra Filtration

①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

実証サイト



プロジェクト概要	
実証サイト	Central WWTW*
給水規模	6,250m ³ /d
期間	2016~2022(予定)
スキーム	NEDO Project



* WWTW : Waste Water Treatment Works

①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

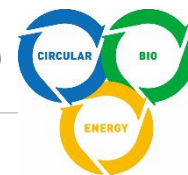
実証サイト



実証プラント



出典：地図データ(Google map)



①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

実証設備が完成 (外観)



①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)

実証設備が完成 (内部等)



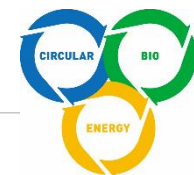
*1 RO : Reverse Osmosis
*2 MBR : Membrane Bioreactor
(一部工事中の写真)

①南アフリカ (海水淡水化水再利用統合システム)



進捗

- ・ 実証設備が完成し、実証運転を開始。(2020.3.上旬)
- ・ 新型コロナ禍が発生し、運転停止命令。(2020.3.下旬)
- ・ 現在も停止中。南アフリカ型変異種が猛威。(2021.2.)
- ・ 南アフリカ人技術者のみでは再稼働が困難なため、日本人が現地へ行けない状況下での再稼働を工夫中。



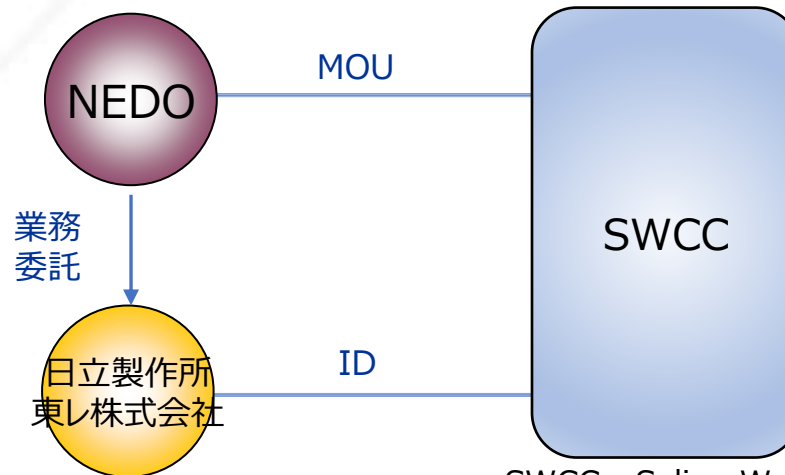
②サウジアラビア（省エネ型海水淡水化）

事業内容

最先端研究開発支援プログラム「Mega-ton Water System」で開発した**省エネルギー型・低環境負荷型の海水淡水化システム**を**水資源が乏しく水供給の逼迫するサウジアラビア**に導入し、水の安定供給に貢献することを目的として実証を行います。本システムは、世界初の**低圧海水淡水化膜を用いた低圧二段高収率海水淡水化システム**の採用による省エネルギー化と、取水・放流量の削減による海洋環境への負荷低減を目指しています。

委託先 株式会社日立製作所、東レ株式会社

実施体制



SWCC: Saline Water Conversion Corporation
サウジアラビア海水淡水化公社

MOU : Memorandum of Understanding
ID : Implementation Document

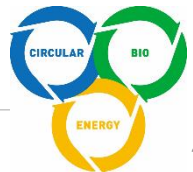
②サウジアラビア（省エネ型海水淡水化）



実証地（ドゥバ）



人口約2万2000人。
紅海に面し、サウジアラビア
の主要な商業港の1つ。



②サウジアラビア（省エネ型海水淡水化）

実証地（ドゥバ）

海水淡水化
プラント



出典：地図データ(Google map)

②サウジアラビア（省エネ型海水淡水化）

技術概要

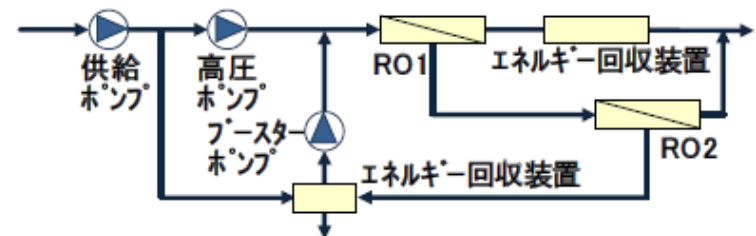
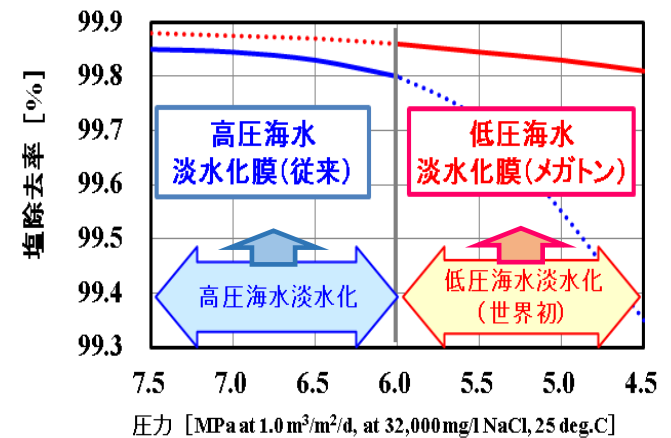
メガトンプロジェクトで開発された(1)低圧海水淡水化膜、(2)LMS(低圧多段高収率海水淡水化システム)で構成される、省エネルギー(20%削減)海水淡水化システム。

(1) 低圧海水淡水化膜(東レ)

世界初の低圧海水淡水化用逆浸透膜。大幅に運転圧力を低下させても海水淡水化に必要な塩除去率の維持に成功したことにより、従来比10%の消費エネルギー削減に寄与。

(2) LMS(日立製作所)

低圧で高収率運転が可能な省エネルギー型の低圧二段高収率海水淡水化システム(RO1-RO2、エネルギー回収装置)を実現。独自の装置構成等により、従来比10%の消費エネルギーを削減可能。



②サウジアラビア（省エネ型海水淡水化）

進捗

- ・ 新型コロナ禍によりサウジアラビア側から、当初実証予定地（ウムルジ）からデュバへの変更要請あり。
- ・ 様々な観点から、関係者でこの提案を検討。
- ・ 最終的に、日本側は実証地変更に同意し、現在工事準備中。

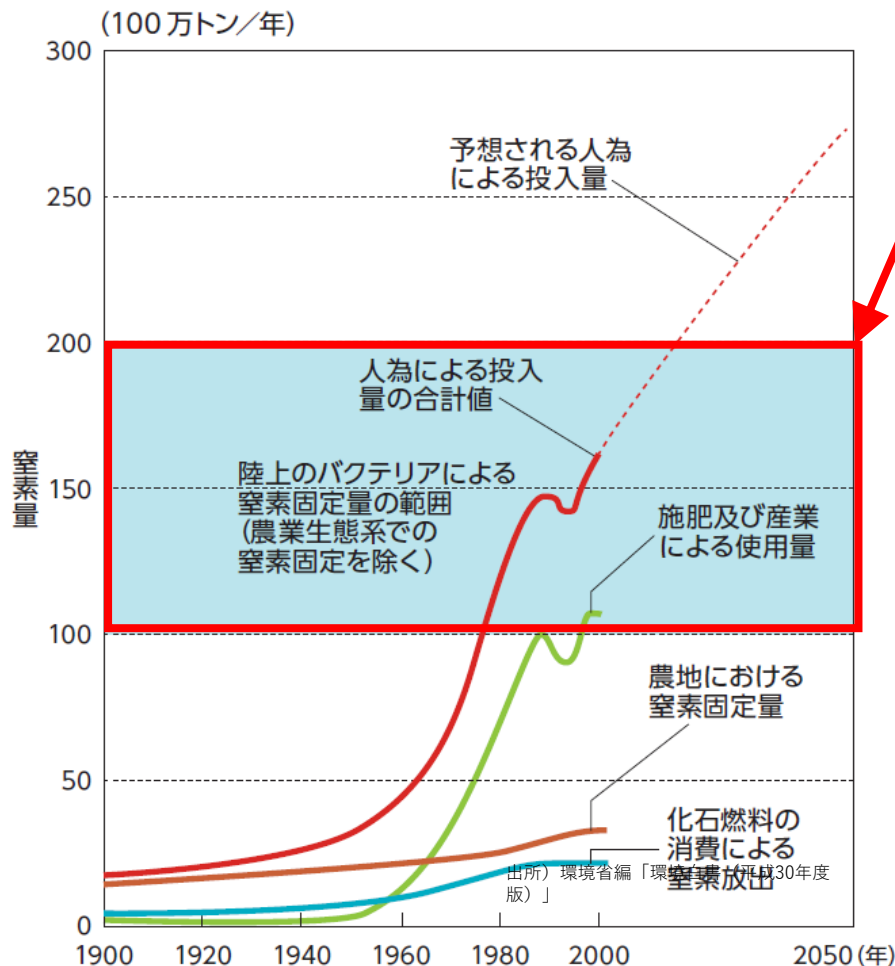
1. 水循環関連 国際実証事業について

2. 窒素循環関連 研究開発事業について

- ① 窒素系有害物(反応性窒素)を取り巻く現状
- ② 窒素資源循環コンセプト
- ③ 窒素循環に係るNEDOの取り組み
 - ・ 先導研究プログラム
 - ・ ムーンショット型研究開発事業

①窒素系有害物(反応性窒素)を取り巻く現状

図 1-1-6 人為活動による反応性窒素の生産量



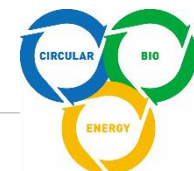
アンモニアの工業生産に比例して窒素系有害物(反応性窒素)の生産量が急激に伸びており、環境汚染や気候変動の一因となっている。

● 反応性窒素による弊害

化合物	発生源	弊害例
NO_x	自動車、火力発電等の燃焼機関等	大気汚染
N_2O	自動車、火力発電等の燃焼機関等 下排水、農耕等	温室効果 (CO_2 の298倍)
NO_3^-	下排水、農耕等	水質汚染 富栄養化 酸性化
NH_3	下排水、畜産、農耕等	悪臭、PM源

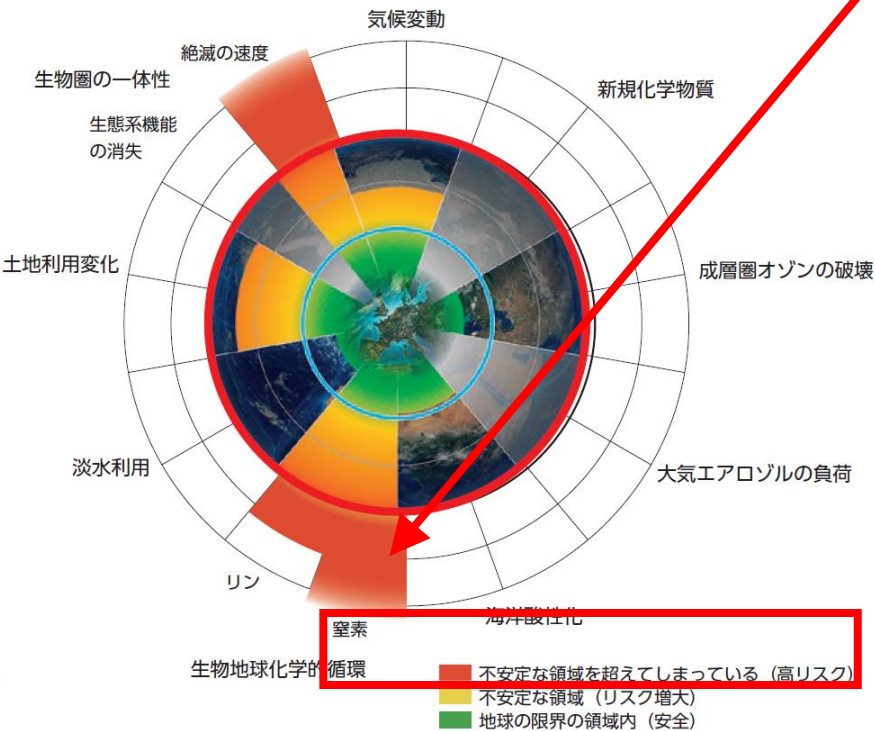
資料：ミレニアム生態系評価

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



①窒素系有害物(反応性窒素)を取り巻く現状

図1-1-1 地球の限界(プラネタリー・バウンダリー)による地球の状況



資料：Will Steffen et al. [Guiding human development on a changing planet]

出所：環境省編「環境白書（平成30年度版）」

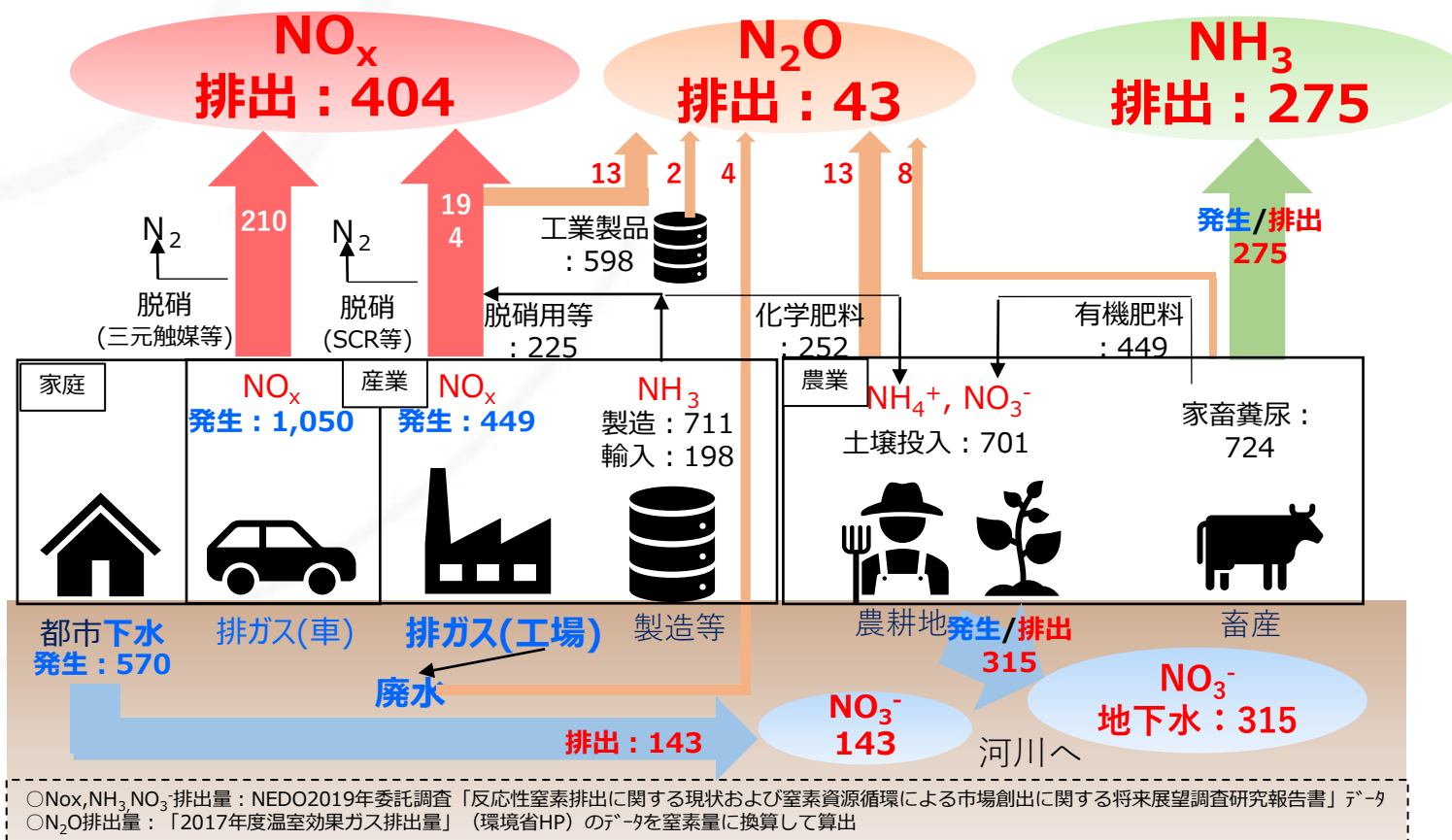
■ 反応性窒素(NO_x , N_2O , NO_3^- , NH_3 , 有機体窒素等)が自然循環許容量を超過しているとの報告。

● 反応性窒素に係る政策動向

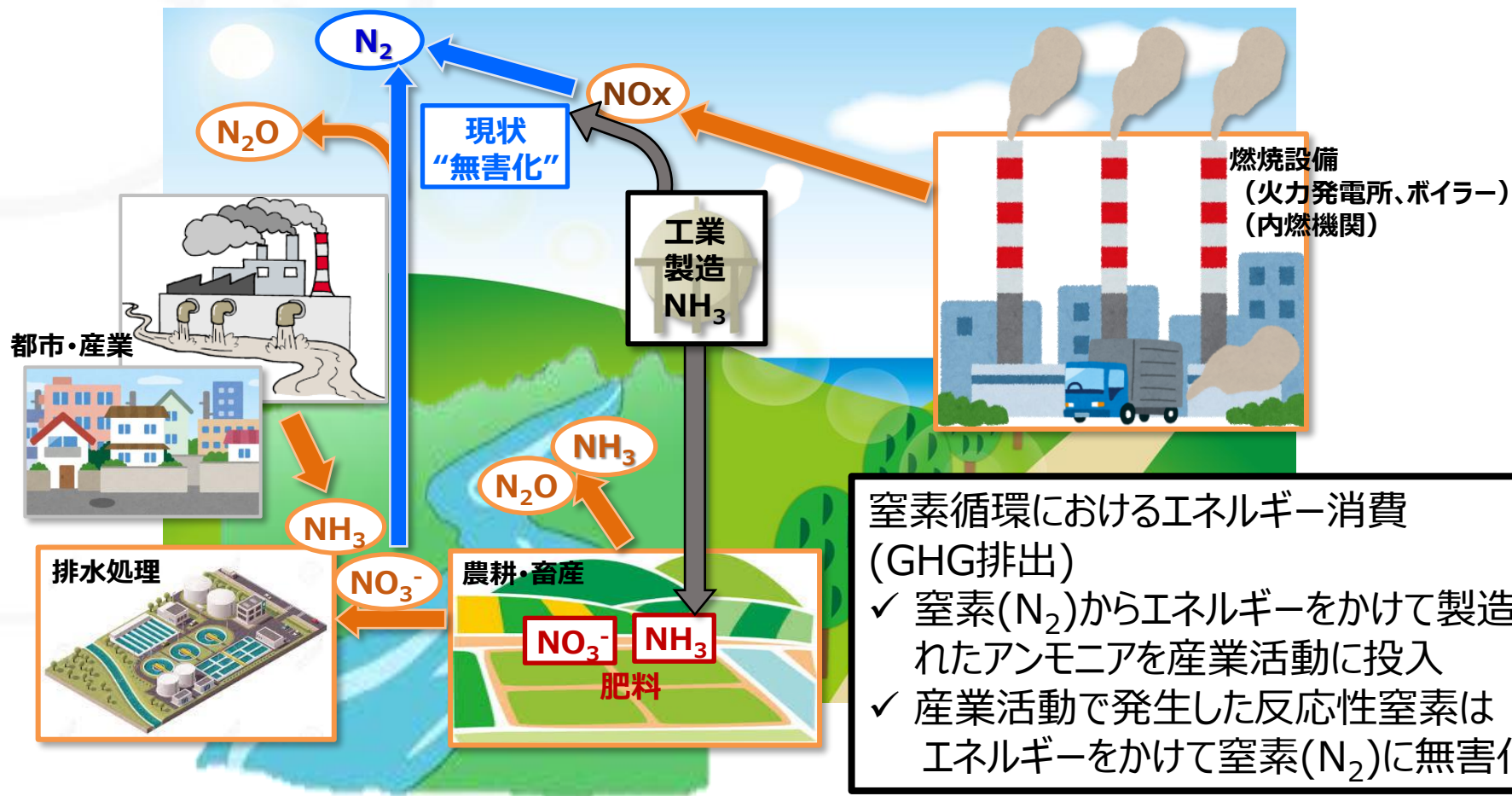
国・機関	政策動向
UNEP (国連環境計画)	フロンティア報告書2018/19 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 反応性窒素による汚染進行への認識不足を指摘 ✓ “窒素循環経済”が課題解決のカギ ✓ 世界排出NO_xを肥料窒素価格に換算すると500億USDに相当。NO_x捕捉技術が望まれるとの指摘。
EU	国別排出上限指令2016/2284/EU <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年に2005年比NO_x:63%減, NH_3:19%減
中国	青空保護戦勝利3年行動計画(2018-2020) 2018 <ul style="list-style-type: none"> ✓ NO_xは2015年比15%低減を目標
日本	パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(2019年6月) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 自然の循環や生態系の微妙な均衡を損ねる物質は、自然による吸収・無害化を上回らないペースで自然界に排出することが重要 第5次環境基本計画(2018年4月) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 炭素、窒素等の元素レベルも含めたあらゆる物質の「循環」の適正な確保のためには、投入資源の効率化や多種多様で重層的な資源循環を進めることが重要

①窒素系有害物(反応性窒素)を取り巻く現状

国内における反応性窒素の主な発生/排出源 (単位: 千トン-N/年)



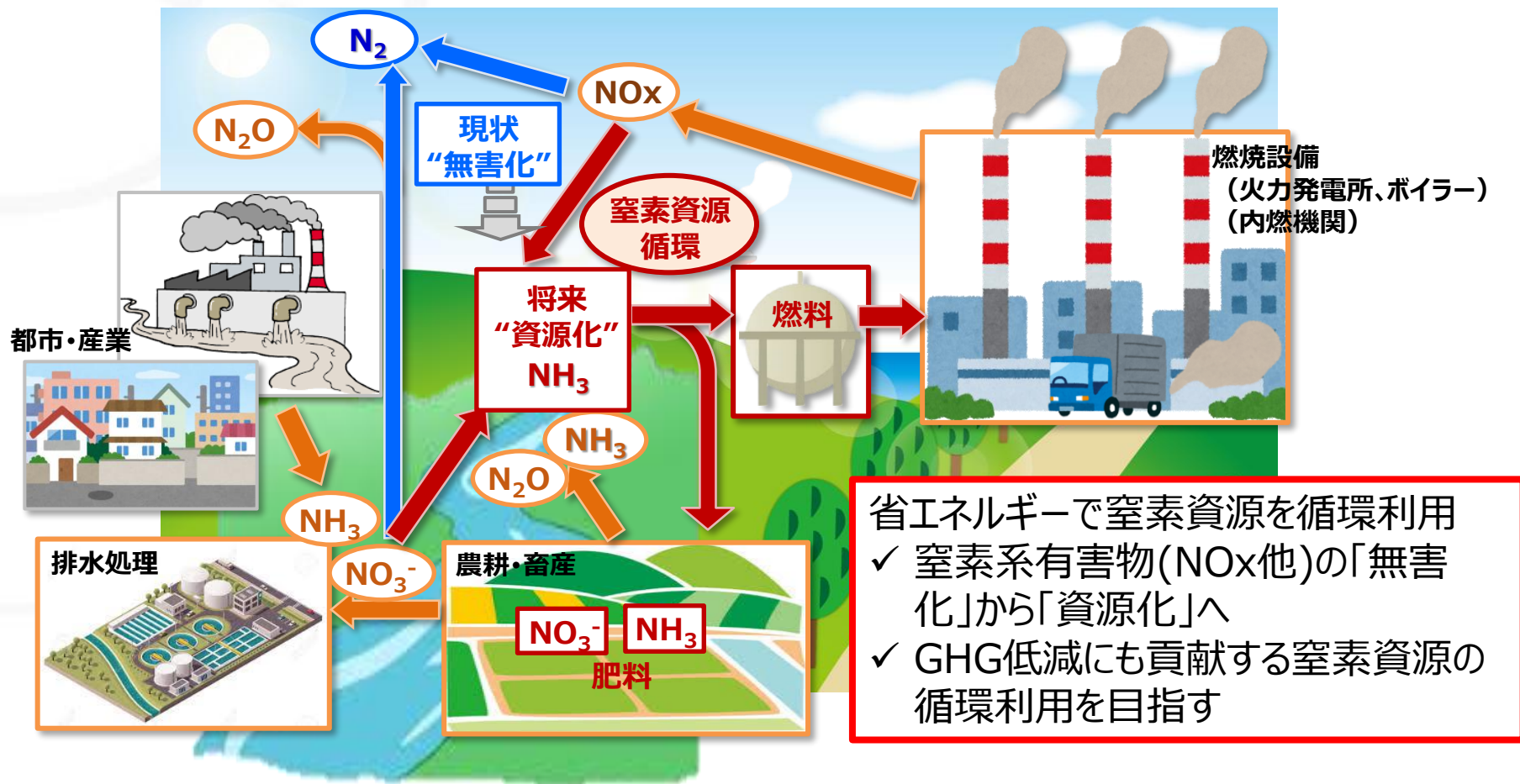
②窒素資源循環コンセプト： 現状



窒素循環におけるエネルギー消費 (GHG排出)

- ✓ 窒素(N_2)からエネルギーをかけて製造されたアンモニアを産業活動に投入
- ✓ 産業活動で発生した反応性窒素はエネルギーをかけて窒素(N_2)に無害化

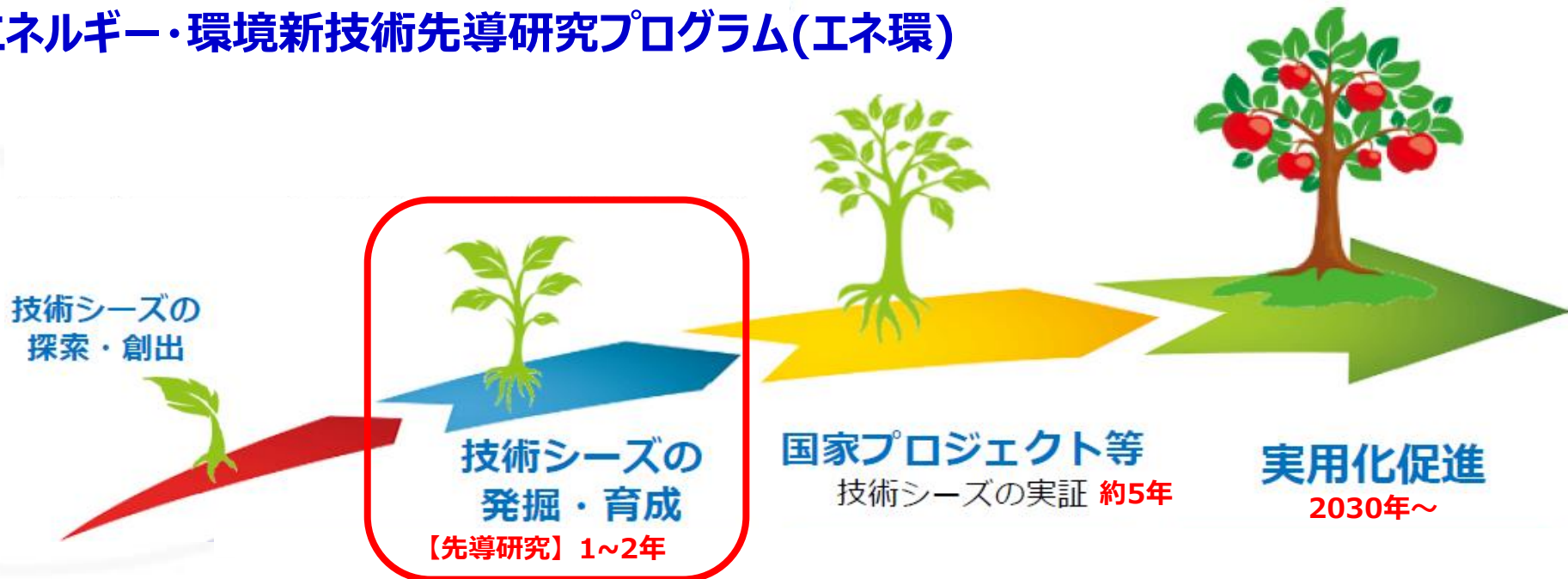
②窒素資源循環コンセプト： 実現したい将来像



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム

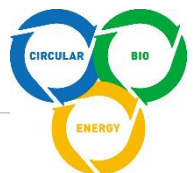


将来の国家プロジェクトになり得る革新的な技術シーズの発掘
NEDO先導研究プログラム/
エネルギー・環境新技術先導研究プログラム(エネ環)



窒素循環関連テーマ(2019年7月~)

- ①産業廃水からの反応性窒素の高濃縮・資源化技術
- ②燃焼器から排出される窒素酸化物からのアンモニア創出プロセス開発



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（①産業廃水）



マイナスからプラスへ！ 廃水中窒素化合物の資源化

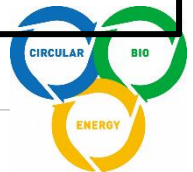
①産業廃水からの反応性窒素の高濃縮・資源化技術

事業期間：2019年度～2021年度

委託先：産業技術総合研究所、東京農工大学、土壌環境プロセス研究所、東京工業大学

廃水中の窒素化合物は、活性汚泥（微生物）による硝化・脱窒処理により窒素（ N_2 ）として無害化してきました。硝化には、相当の電力をかけて廃水に多量の空気を吹き込む必要があり、汚泥の焼却処理や脱窒の際には温室効果ガス（ N_2O ）が発生します。

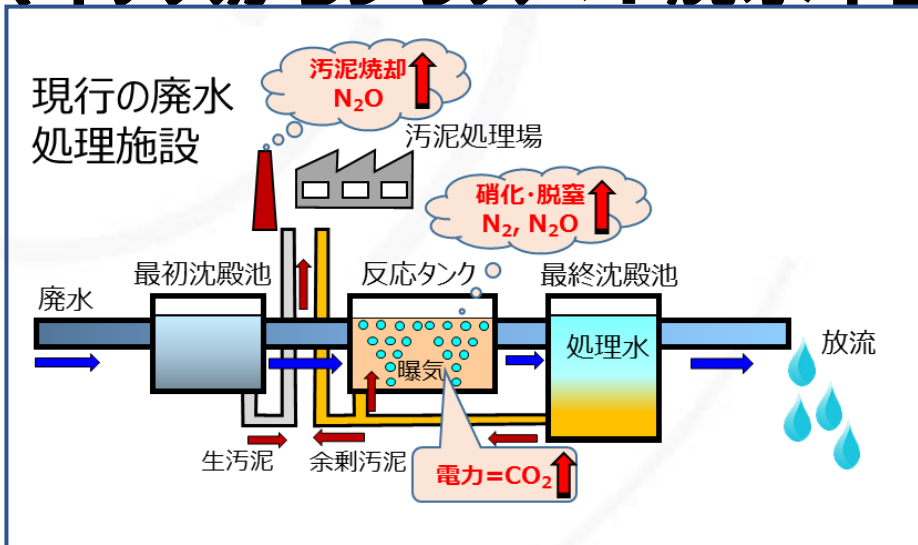
本プロジェクトでは廃水中窒素化合物のほぼ全てを省エネルギーでアンモニア態窒素に変換・資源化するための研究開発に取り組み、廃水処理のゲームチェンジを目指します。



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（A）産業廃水



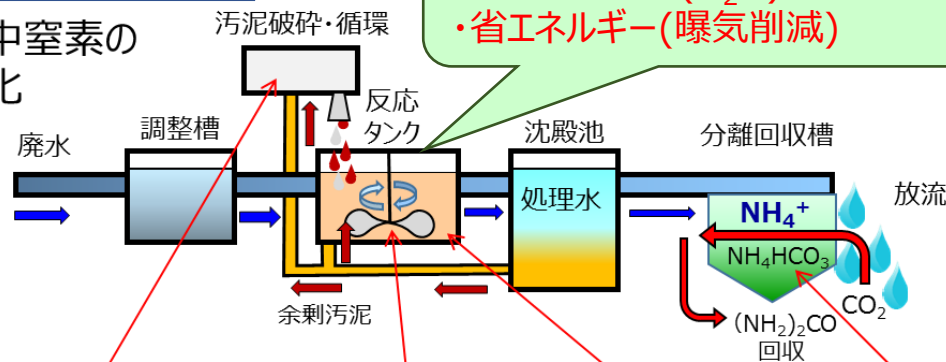
マイナスからプラスへ！ 廃水中窒素化合物の資源化



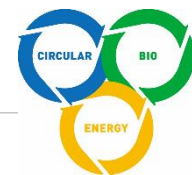
- ・窒素化合物のアンモニア化促進
- ・温室効果ガス(N₂O)発生抑制
- ・省エネルギー(曝気削減)



廃水中窒素の資源化



- 高圧ジェットで効率よく汚泥を破碎できる技術の開発
- 省エネルギーでアンモニア化できる汚泥(微生物)制御技術の開発
- N₂O発生を抑制できる廃水処理条件の確立
- アンモニア態窒素の分離及び触媒変換による回収



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（①産業廃水）



これまでの取り組み

◆新規なアンモニア生成微生物の同定・制御による廃水中反応性窒素の高濃縮条件の検討

- ・硝化微生物の相対残存量を、水理的滞留時間（HRT）10時間で1/50に減少。
- ・広範な系統に属する新規な微生物群が、汚泥破砕物からの NH_4^+ 変換に関与する菌食性微生物候補であることを見出した。

◆活性汚泥中の窒素化合物の変換の迅速モニタリングと N_2O 排出制御方法の検討

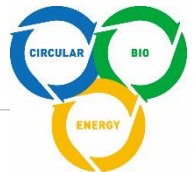
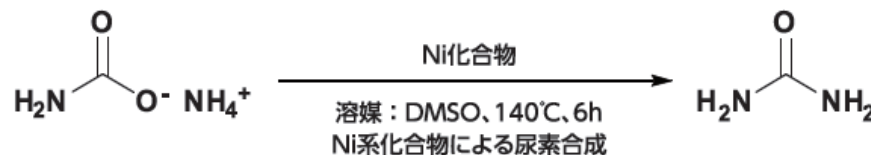
- ・硝化反応のオンラインモニタリングを実施し、アンモニア酸化を抑制して、 NH_4^+ 回収を可能にする条件について運転条件を絞り込み。
- ・活性汚泥中で N_2O を還元する、多様な微生物の同定に成功。

◆汚泥資源化のための破砕、混合技術の検討

- ・高圧ジェット装置によって汚泥減容化率56%を達成。

◆処理水からの低濃度 NH_4^+ 分離・資源化技術の検討

- ・アンモニアと CO_2 が反応してできた塩に触媒として有機塩基化合物を反応させ、尿素収率36%を達成。
- ・上記反応にNi系化合物が触媒能を示すことを新たに見出した。特に $\text{Ni}(\text{AcO})_2$ を用いて収率6%を達成。



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（②B）燃焼器



化学の力で排気ガスからお宝を創出

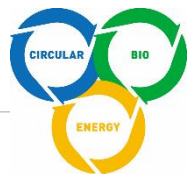
②B）燃焼器から排出される窒素酸化物からのアンモニア創出プロセス開発

事業期間：2019年度～2021年度

委託先：東京大学、（国研）産業技術総合研究所、早稲田大学、東京工業大学、
東京瓦斯（株）、日鉄エンジニアリング（株）

火力発電所等から発生する窒素酸化物（NO_x）は、**脱硝処理により無害化**してきました。**脱硝に使うアンモニア(NH₃)の製造には大量のエネルギーが必要**であり、無害化のためだけにエネルギーを投じてきたこととなります。

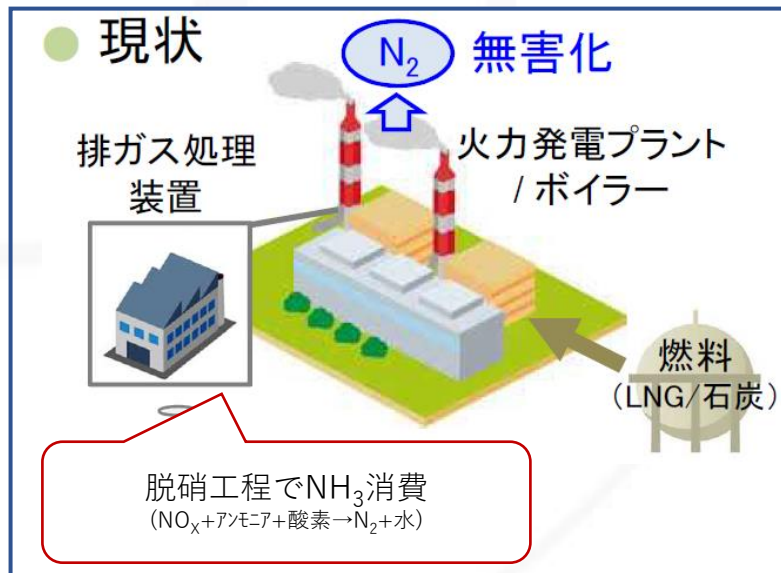
本プロジェクトでは窒素資源循環社会の実現に向け、**NO_xを省エネルギーでアンモニアへと変換・資源化するための研究開発**に取り組み、NO_x処理のゲームチェンジを起こします。



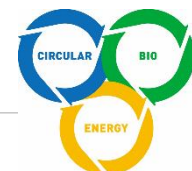
③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（②燃焼器）



②燃焼器から排出される窒素酸化物からのアンモニア創出プロセス開発



● 目指す姿

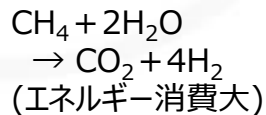


③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（②B）燃焼器



②B）燃焼器から排出される窒素酸化物からのアンモニア創出プロセス開発

現行アンモニア合成法

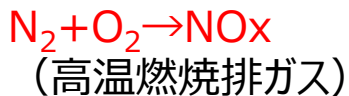


ハーバーボッシュ法
(高温高圧)



肥料、化学品
 NH_3-SCR

NOx→NH₃ (NTA) 法



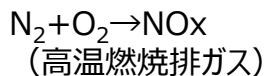
未燃(添加)炭化
水素、メタン

新開発のNTA
(100~400℃、常圧)



肥料、化学品
 NH_3-SCR
燃料(H₂キャリア)

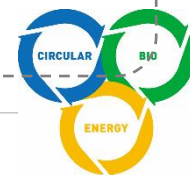
現行排ガス処理



有害廃棄物NOxを
工業原料として活用



炭化水素 or NH_3



③窒素循環に係るNEDOの取り組み： 先導研究プログラム（⑧燃焼器）



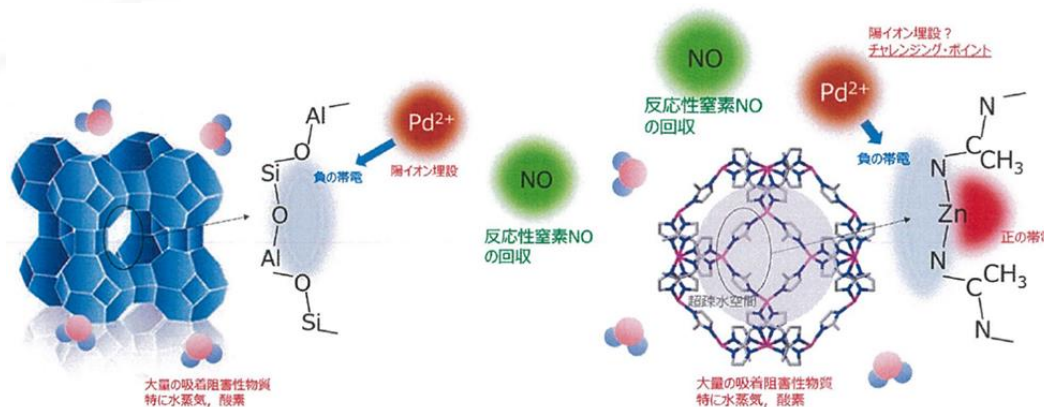
これまでの取り組み

NTA(NO_x-to-Ammonia)法の提案（一段階）

- NTA法による、燃焼排ガス中の窒素酸化物の直接アンモニア化触媒技術を開発。
環境問題 + 資源問題の同時解決を示唆。
- Ag系触媒によるNO-C₃H₆-H₂O反応により、NH₃生成を確認。

NTA法による燃焼排ガス中の窒素酸化物の二段階NH₃化触媒システムの技術開発

- Pt系触媒によるNO-CO-H₂O反応により、低温でNH₃高収率化を達成。
- 共存ガス（特にO₂）の影響大のため、NO_x選択吸着材とのマッチングが必要。
- Pdゼオライト系、ZIF系吸着剤が、H₂O、O₂共存下NO選択的吸着能を示す。



3. 窒素循環に係るNEDOの取り組み：先導研究プログラムからの将来展望



先導研究PJ
2019～2021
核となる現象や
要素技術の検証

ムーンショット型PJ
2020～2025

- ・補完技術との融合
- ・ベンチスケール実証のための技術高度化

ベンチスケール
実証

さらなるPJ

- ・パイロットスケール実証

海外展開

