

CO₂化学吸収液

—CO₂分離・回収技術の普及を目指して—

化学吸収液によるCO₂分離回収技術は、技術成熟が進んでおり、大規模設備も既に商用稼働している。カーボンニュートラルの早期実現に向けて、様々なCO₂排出源への技術普及が期待される。

RITEは、低エネルギー・低コスト化を可能とする新規化学吸収液の研究開発を継続するとともに、吸収液開発で蓄積したアミン化合物の材料技術を様々なCO₂分離・回収技術に展開している。

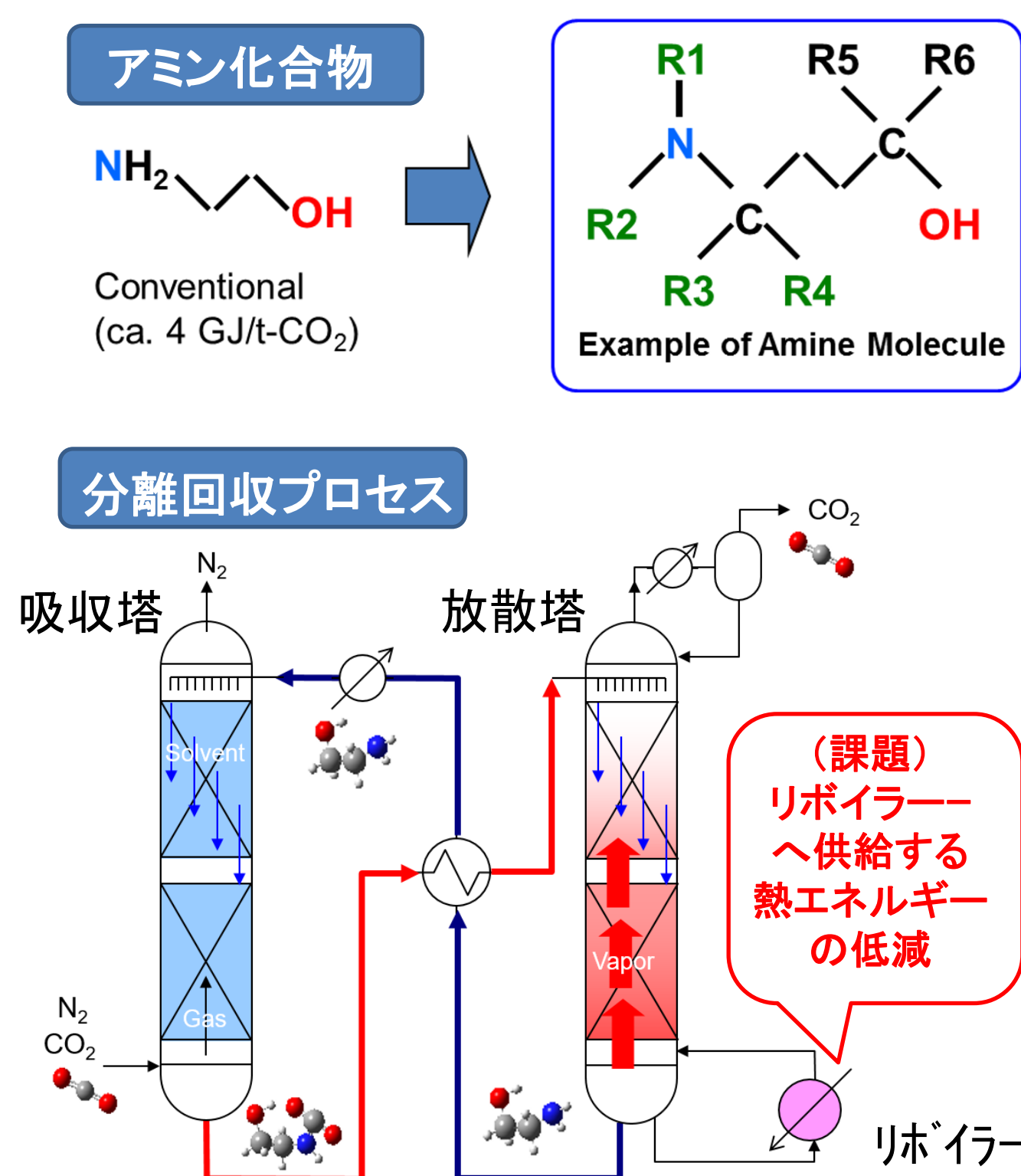
アミン吸収液によるCO₂分離・回収とRITE開発液の商用利用

化学吸収液によるCO₂分離回収技術(化学吸収法)は、Post-combustion CO₂ capture(燃焼後回収)において有用であり、例えば、火力発電所の燃焼排ガスや製鉄所の高炉ガスなどの大気圧かつ低CO₂濃度のガスから純度99%以上のCO₂を回収することができる。

RITEはこれまでにアミン化合物の探索の中から省エネルギー性能に優れた高性能吸収液を開発し、商用技術(ESCAP®)*に採用されている。

(* 日鉄エンジニアリング(株)の省エネ型二酸化炭素回収設備)

化学吸收法



➤ **アミン化合物は、分子を構成する部分的な原子の集団(官能基; 左図のR1~R6、N、OHなど)や、それらによって構成される分子の構造が、CO₂吸収剤として機能に大きく関係する。**

➤ アミン化合物の水溶液を用いたCO₂分離回収技術は、既に産業分野で実用化されているが、**従来技術はエネルギー消費が大きい**という課題を有していた。

➤ COUSE50プロジェクトにおいて、
新規アミン化合物を探索し、
高性能化学吸収液の開発に
成功した。

産業利用



商業化1号機(日本製鉄
室蘭製鉄所構内)



商業化2号機(住友共同電力
新居浜西火力発電所内)

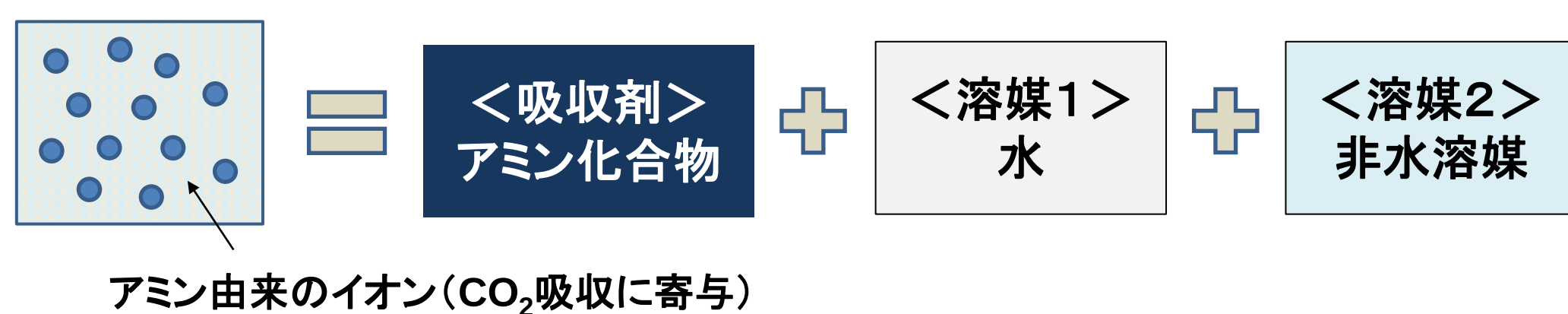
	1号機 (2014～)	2号機 (2018～)
設備規模	120 t/day	143 t/day
排出源	製鉄熱風炉	石炭火力(※)
CO ₂ 用途	産業用CO ₂ 製造	飼料添加物製造

➤ 2号機は、化学吸収法による石炭火力発電所の燃焼排ガスからのCO₂分離回収技術として
日本初の商業設備

新規技術“混合溶媒系吸収液”の実用化技術開発

RITEは、従来の水溶液系アミン吸収液に代わる、革新的技術「混合溶媒系吸収液」を新規提案し、更なる高性能なCO₂分離回収技術の開発に取り組んでいる。2022年からは、グリーンイノベーション基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用／高炉を用いた水素還元技術の開発」の一部である「CO₂の分離・回収技術」に係る研究開発のもと実用化技術開発に取り組んでいる。

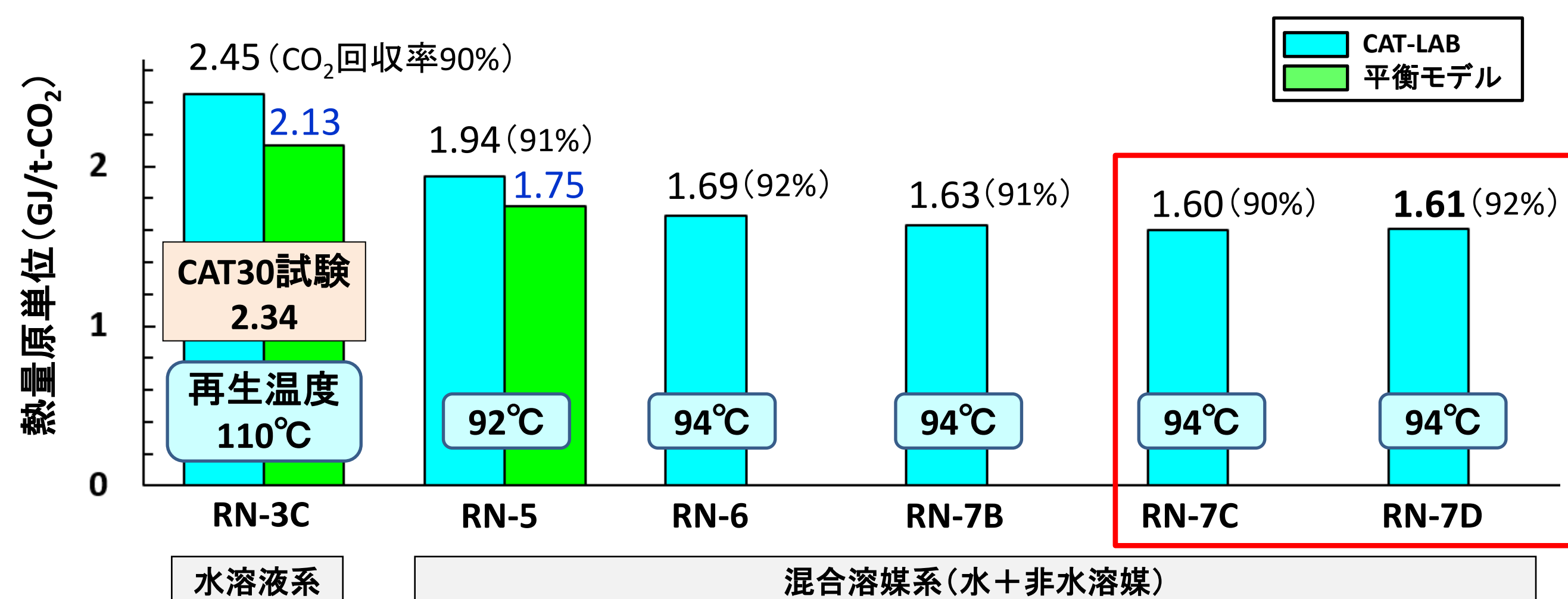
混合溶媒系吸収液



➤ 分離回収エネルギーの低減に対する、CO₂の吸収形態改善(バイカーボネート反応によるCO₂吸収)と分極影響の緩和の影響を明らかにし、吸収液の化合物構成、濃度等の組成の最適化により新規技術を開発。

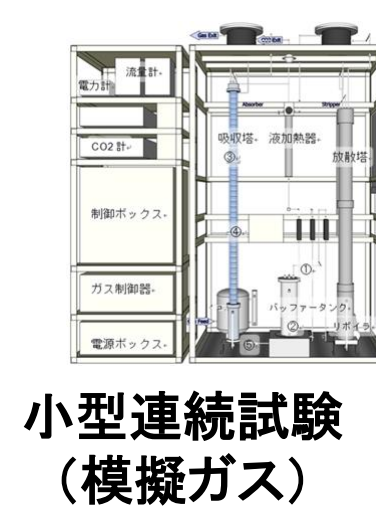
	水	非水溶媒
メリット	✓ バイカーボネート生成反応が起こる	✓ 分極しにくい(溶媒和を緩和) ✓ 比熱が小さい
デメリット	✓ 溶媒和エネルギーが大きい ✓ 比熱が大きい	✓ カルバメート生成反応が主となる ✓ 化学種により粘度が高い

COURSE50プロジェクトにおける吸収液開発推移(2013~2021)



混合溶媒系吸収液の実用化技術開発(2022~)

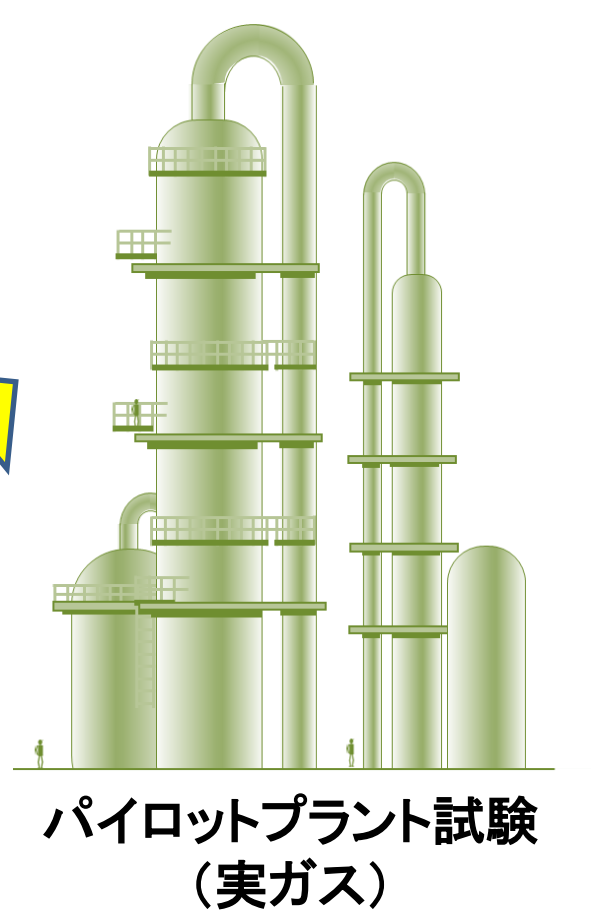
- 高性能吸収液の更なる低分離回収エネルギー化
- 材料腐食性の小さな吸収液や対策技術の開発
- 実ガスによる実用化性能評価
- 水素還元高炉製鉄排ガスへの適用



小型連続試験
(模擬ガス)



ベンチ試験
(実ガス)



パイロットプラント試験
(実ガス)

謝辞： 本研究成果および計画は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の、委託業務「環境調和型プロセス技術の開発／水素還元等プロセス技術の開発(フェーズI、フェーズII)」(日本鉄鋼連盟 COURSE50プロジェクト)、および委託事業「グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素活用／高炉を用いた水素還元技術の開発／外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素化技術等の開発」において実施している。

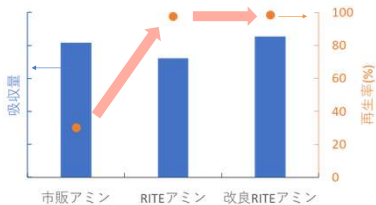
CO₂固体吸収材

—CCS技術の省エネルギー化を目指して—

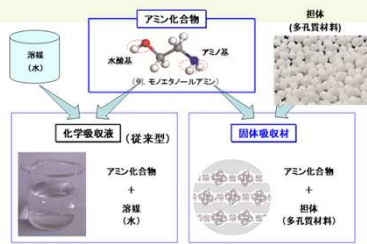
RITEでは、これまでに蓄積してきた化学吸収法等のCO₂分離回収技術をベースにCO₂高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材を開発しています。CCSコストに占める割合の大きいCO₂分離回収コストの低減は、地球温暖化に関与するCO₂排出量の大幅削減に貢献し、我が国が目指している低炭素社会の構築に大いに役立ちます。

固体吸収材の性能向上とスケールアップ製造

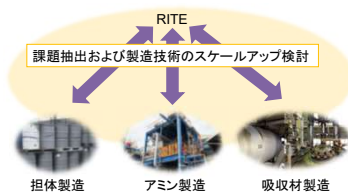
- 固体吸収材は、CO₂吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持した固体であり、アミン吸収液と類似のCO₂吸収特性を有しながら**吸収液顕熱や蒸発潜熱の大幅低減**が期待できます。



- 固体吸収材によるCO₂回収システムの大規模化、実用化を目指し、製造技術のスケールアップ検討を行い、これまでに、**トンスケールでの製造技術を確認**し、パイロット試験に向けて安定した品質の固体吸収材を製造しております。



- RITEでは、**低温でCO₂の回収が可能な脱離性の良いアミンの開発**を進めております。
- アミンの改良により、**高い脱離性能を有しつつ、吸収性能の向上**も図ることができます。

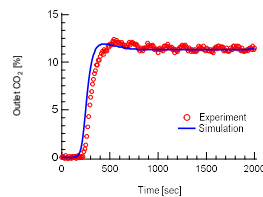


シミュレーション技術の開発

- RITEでは材料開発だけでなく、開発した固体吸収材の性能を最大限発揮できるように計算科学を活用した運転プロセスの最適化を行っています。

シミュレーションのメリット

- ✓ 運転条件模索の期間を大幅に短縮可能
- ✓ 試験後に廃棄物などが発生せず、環境にやさしい
- ✓ 装置の改造などを含む検討も容易

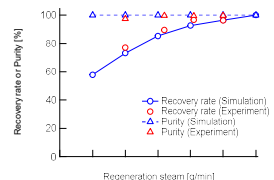


吸着挙動の予測

石炭火力を想定したガスに対して非常に高い精度で挙動を予測することが可能です。

サイクル運転条件の最適化

実験的に最適化すると多くの時間を要する条件も計算なら短時間で結論を得ることができます。



研究開発ロードマップ

基盤研究フェーズ (2010～2014)

革新的な省エネ型
固体吸収材を開発



ラボスケール試験装置
(3 kg-CO₂/day)
@ RITE

実用化研究フェーズ (2015～2019)

(FY2015～17: 経済産業省委託事業、FY2018～: NEDO委託事業)



移動層ベンチスケール試験装置
(5 ton-CO₂/day)
@ 川崎重工業(株)

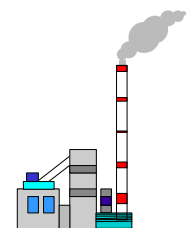
実証・商用化フェーズ (2020～)



パイロットスケール試験設備
(川崎重工建設中)
(40 ton-CO₂/day)
@ 関西電力(株)舞鶴発電所

実証・商用化フェーズ (2030～)

大規模CCS適用を目指して



石炭火力発電所などに適用
(～ 3,000 ton-CO₂/day)

他分野への適用
(他の固定発生源、室内、閉鎖空間等)

ベンチスケール試験を実施し、プロセスの最適化に取り組んでいます(> 7ton-CO₂/day回収を達成)。更なるスケールアップに向け、シミュレーション技術開発、固体吸収材の製法合理化を行うとともに、2023年度からの実ガス試験実施に向けて、関西電力(株)舞鶴発電所に設置するパイロット試験設備の装置設計、建設を川崎重工業(株)と進めています。

Direct Air Capture (DAC)

ーカーボンニュートラルを目指してー

カーボンニュートラル、更にはカーボンネガティブの達成には、大気中のCO₂を、直接回収するDirect Air Capture(DAC)技術が不可欠となります。RITEでは、これまでに蓄積してきた化学吸収法等のCO₂分離回収技術、石炭火力発電所排ガス向けの固体吸収材技術およびこれら開発を通して獲得したプロセス技術を活用したDAC用固体吸収材とプロセスの開発を開始しました。経済的に受容可能なDACの社会実装を達成することにより、我が国が目指している低炭素社会の構築に貢献します。

低エネルギー・低コストでの大気からのCO₂分離回収の実現に向けて

NEDOムーンショット型研究開発事業への取り組み:

2020年度よりスタートしたNEDOの「ムーンショット型研究開発事業」で掲げられた目標「4「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」にて、金沢大学および三菱重工エンジニアリング株式会社と協力して、大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発を開始しました。

DAC技術研究開発:

大気中のCO₂を効果的に吸収・脱離する新たなアミンの開発および大量の空気を通過させるために、固体吸収材をハニカム等の圧力損失の少ない構造体にする技術の検討を進めています。

更に、DAC装置の運転プロセスにおいて、CO₂回収エネルギー低減検討を実施しており、RITEでは蒸気再生方式を中心に、シミュレーション技術も活用して検討を推進しています。

世界のDAC技術と課題:

DAC技術開発は欧米が先行しており、Climeworks社は4,000t-CO₂/yの商業プラントを既に稼働させるなど、材料開発、装置の改良と大型化を同時に進めています。但し、社会実装に向けての課題は、所要エネルギーとコストの低減です。

会社名	材料	回収エネルギー・コスト	備考
Climeworks (スイス)	アミン修飾フィルター (固体吸収材でフィルターは樹脂)	9.0GJ/t-CO ₂ (熱) 450kWh/t-CO ₂ (電力) 600\$/t-CO ₂ (2025年頃 目標コスト100\$/t-CO ₂)	世界初の商用プラント(900 t-CO ₂ /year)を発売、所要エネルギー大。2021年9月~4,000t-CO ₂ /y規模のOrcaプラントが稼働開始、2022年6月~Mammoth(3.6万t-CO ₂ /y)着工、1年半~2年後に稼働予定
Carbon Engineering (Canada)	KOH/Ca(OH) ₂ を含む水溶液	5.3 GJ/t-CO ₂ (熱) 366 kWh/t-CO ₂ (電力) 94-232\$/t-CO ₂	Occidental Petroleum社と50万t-CO ₂ /yのDACプラント2基を2022年に稼働予定。唯一アルカリ水溶液を使用、エネルギー・コスト大
Global Thermostat (USA)	アミン含有セラミックス (固体吸収材)	4.4 GJ/t-CO ₂ (熱) 160 kWh/t-CO ₂ (電力) 150\$/t-CO ₂	ジョージア工科大、Corning等と協力、2018年に飲料メーカー向け4,000t-CO ₂ /yの商業設備を建設。Haru Oni Project(チリ)で2022年に13万L、2024年に5500万LのeFuelを製造(GTLプロセス)、ポルシェに供給予定

DAC用の固体吸収材に求められる特性:

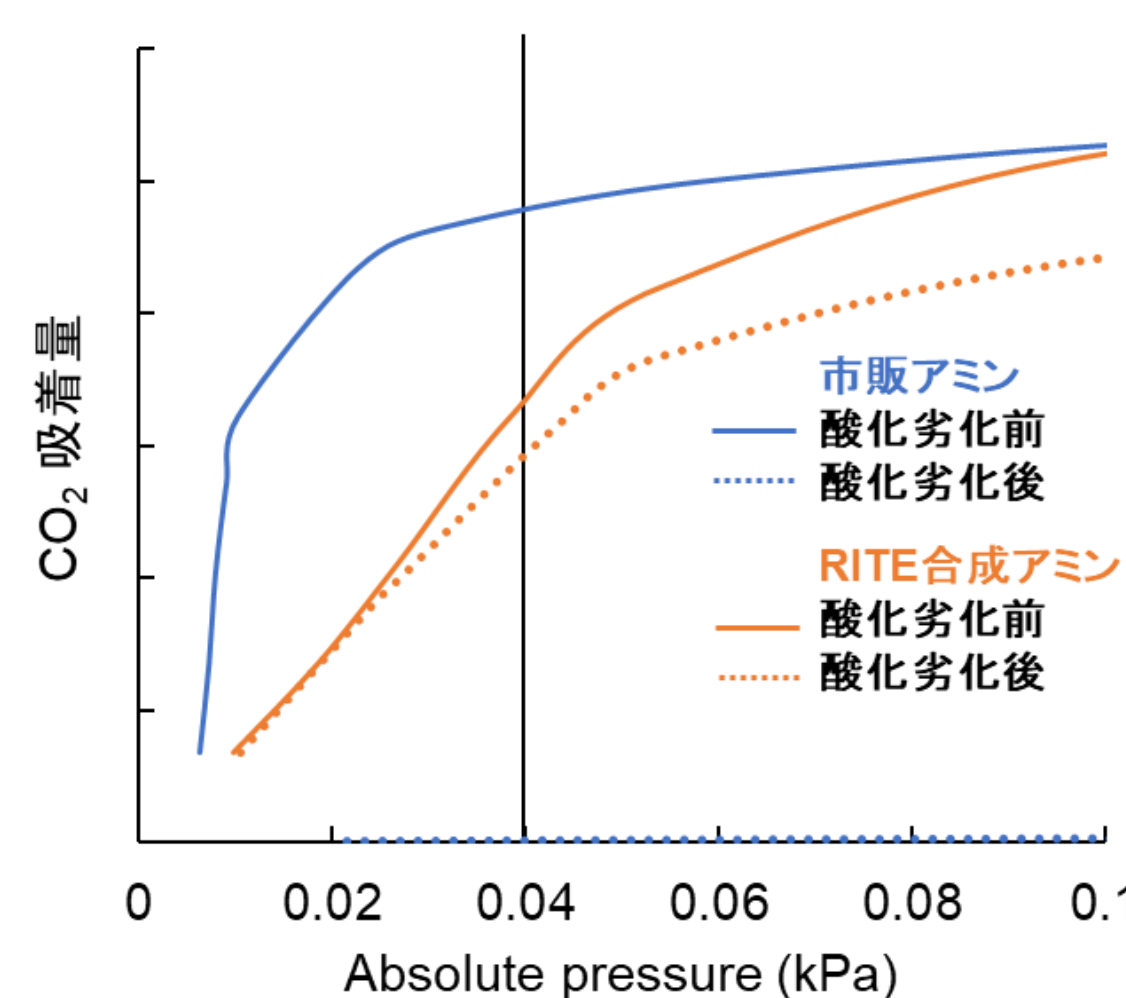
所要エネルギー、コスト低減に向けての吸収材に求められる性能は以下の通り。

- ①CO₂脱離エネルギーの低減と再生温度の低温化
- ②送風動力・エネルギー低減を実現する固体吸収材担体構造とその低顕熱化
- ③安価で、高い耐久性を有し、大量合成、製造可能なアミン吸収材と担体

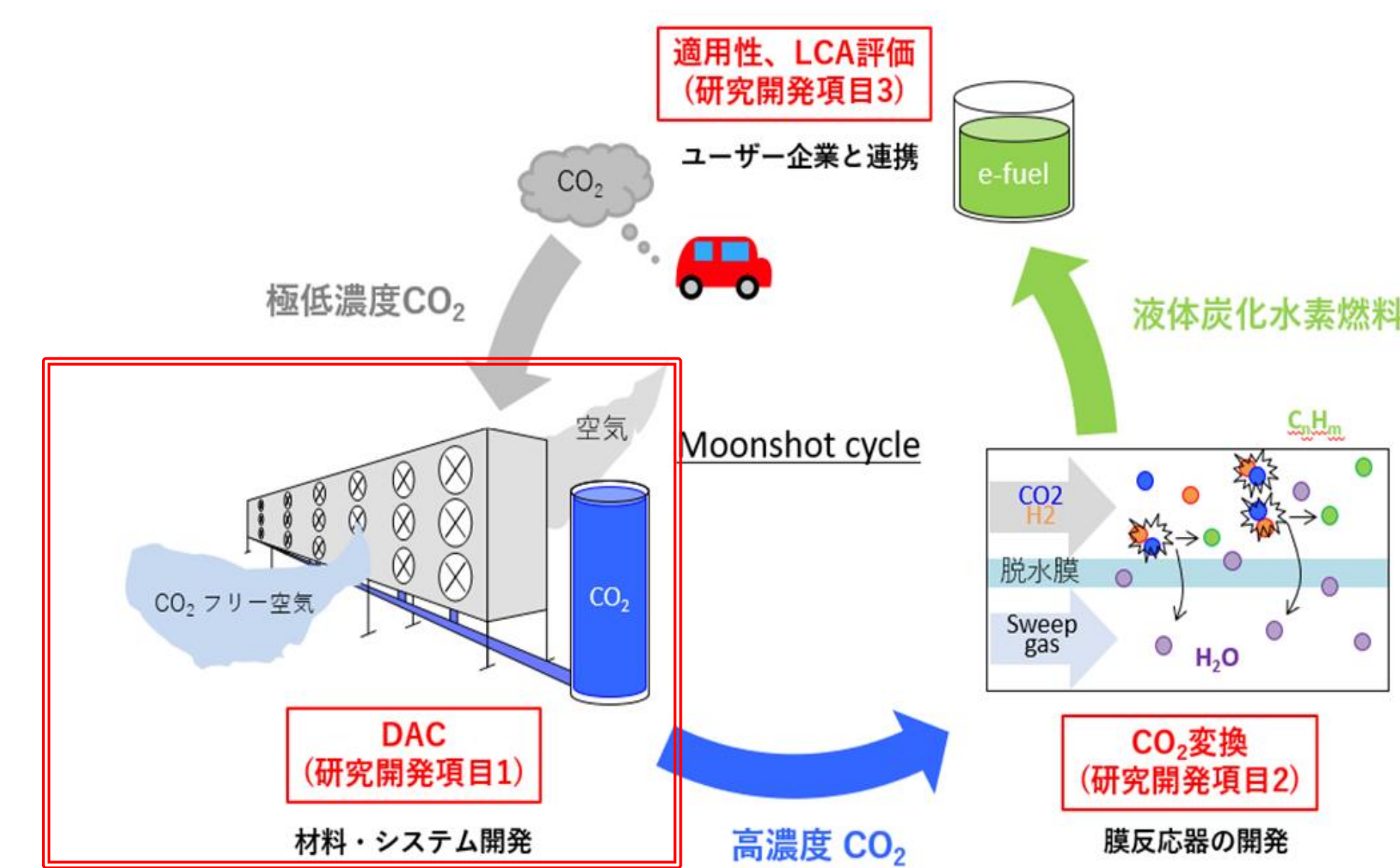
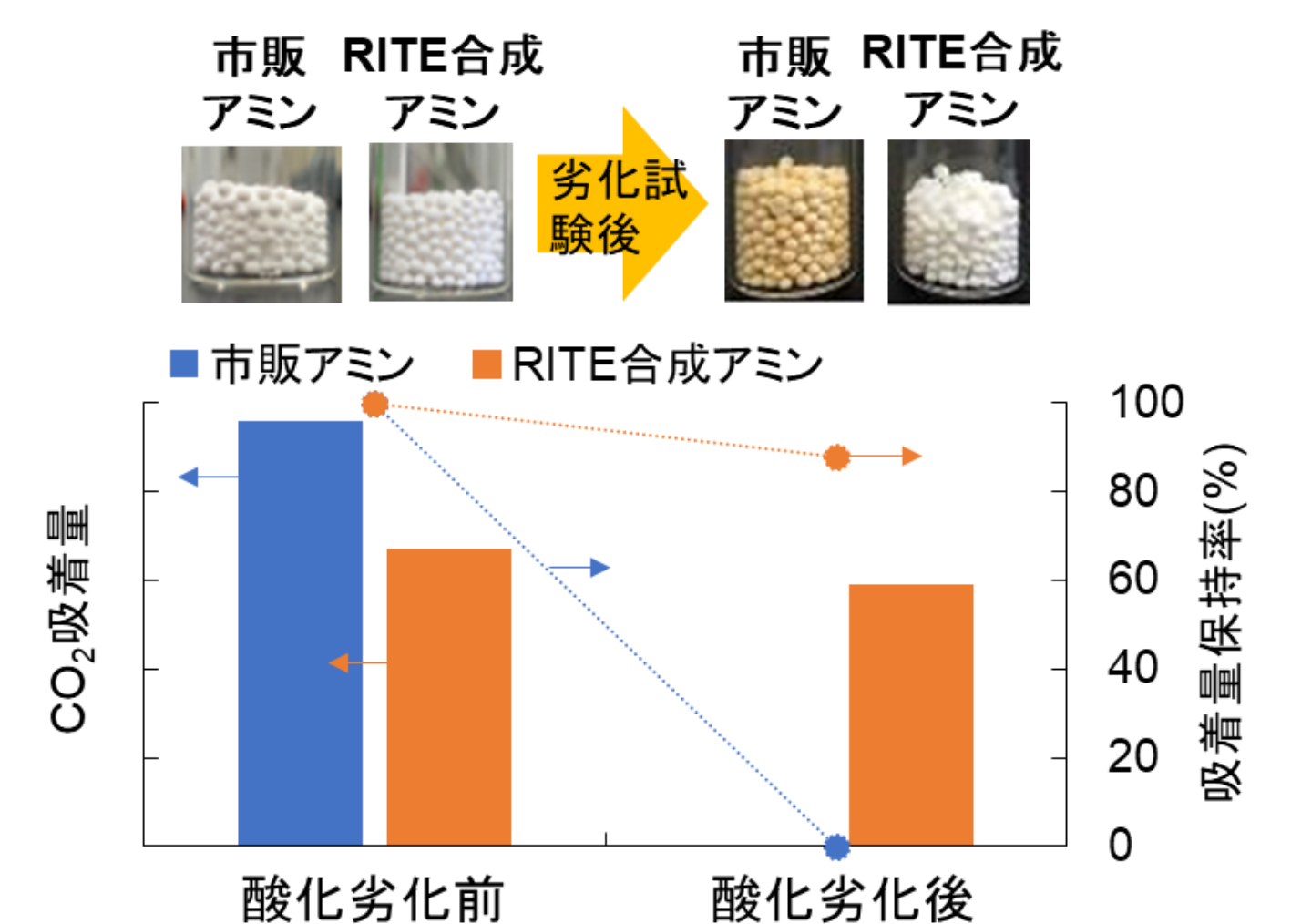
DAC用合成アミンの特性:

RITE合成アミンの吸着、酸化劣化特性(酸化劣化条件:空気流通下, 100°C, 42h)

CO₂吸着等温線@30°C



酸化劣化前後の吸着量(0.04kPa)

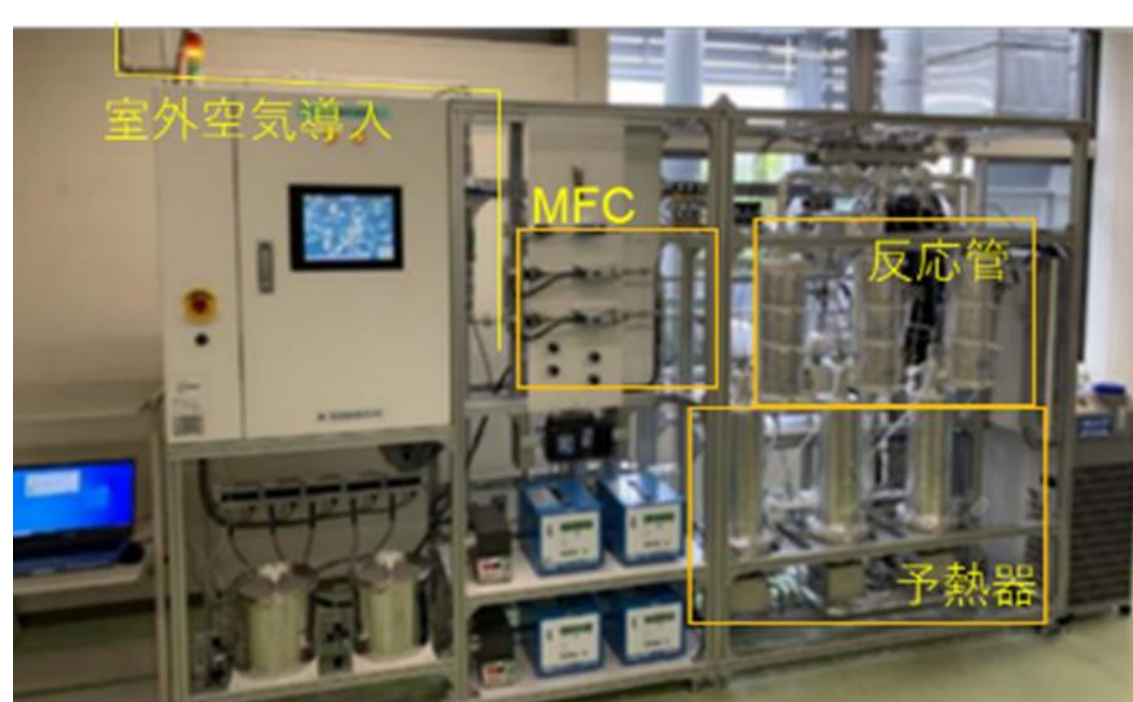


ムーンショット事業およびDAC技術研究開発(二重赤枠内)

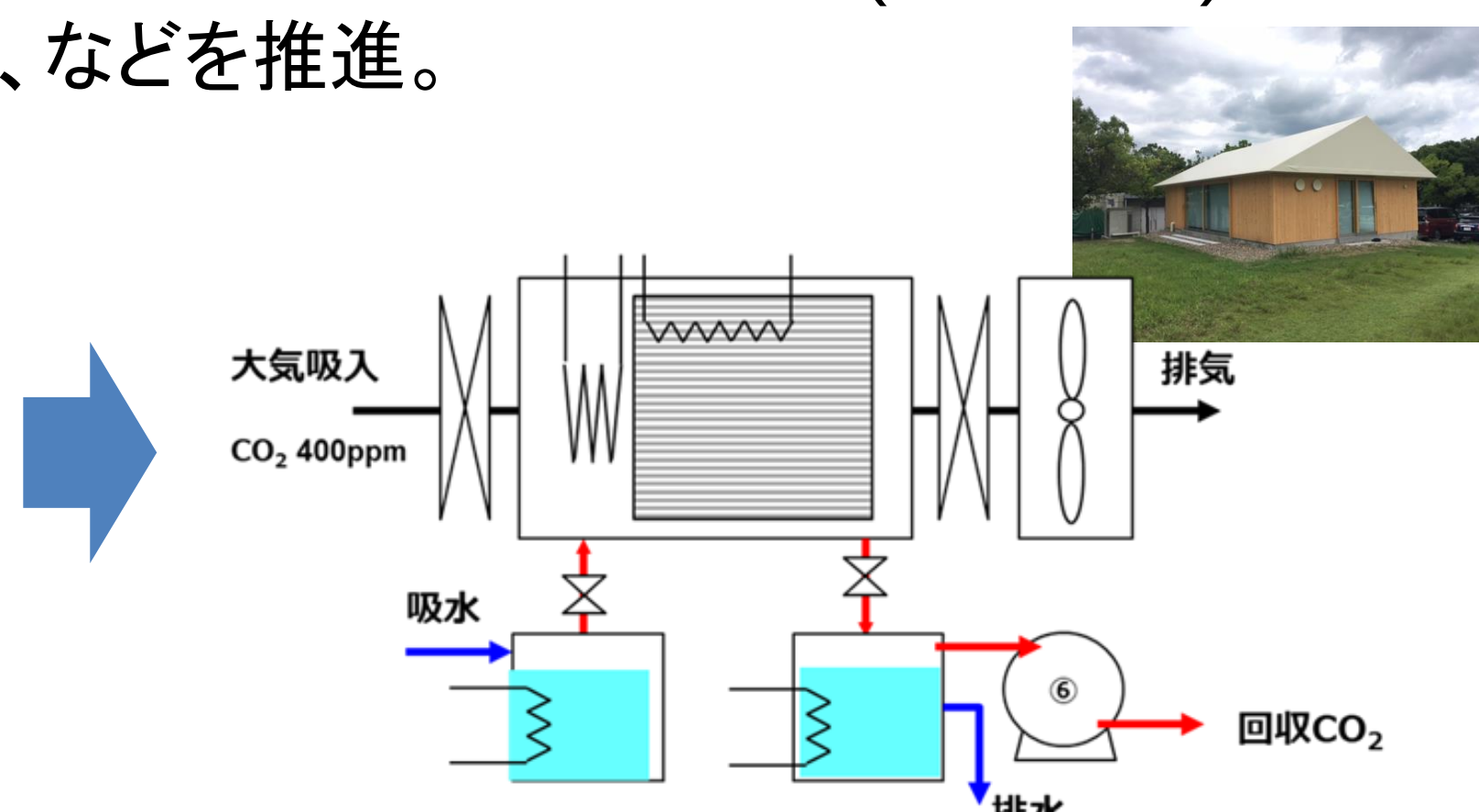
研究開発ロードマップ(NEDO「ムーンショット型研究開発事業」)

基盤技術開発フェーズ (2020年~2024年)

DAC基盤技術開発では、①新規吸収材の開発、②圧損(送風動力)の低減、③高効率プロセス開発、などを推進。

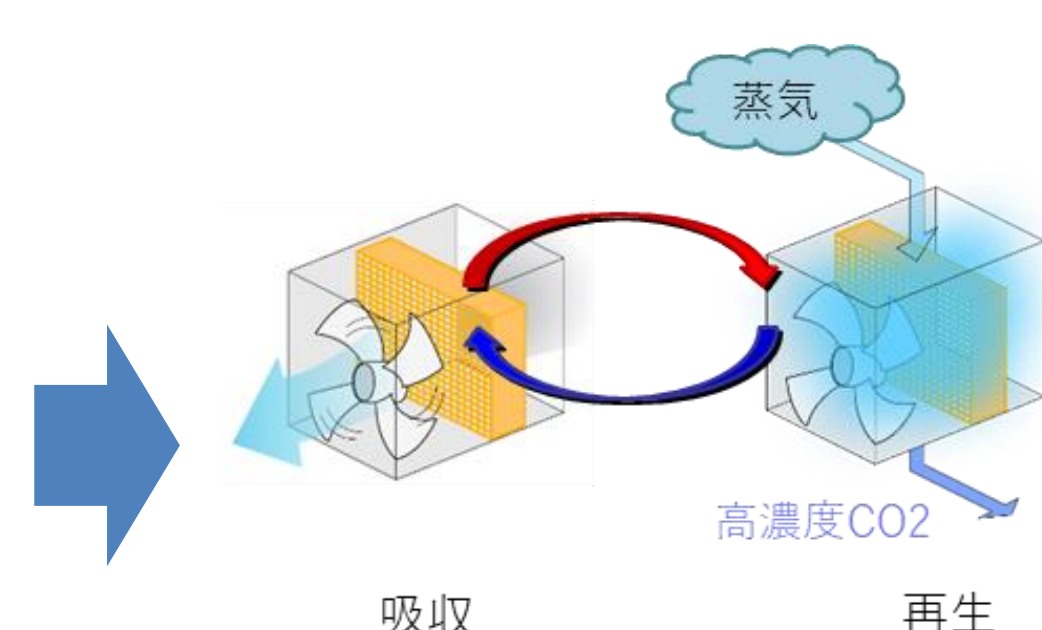


ラボスケール試験装置
(~3 kg-CO₂/day) @ RITE



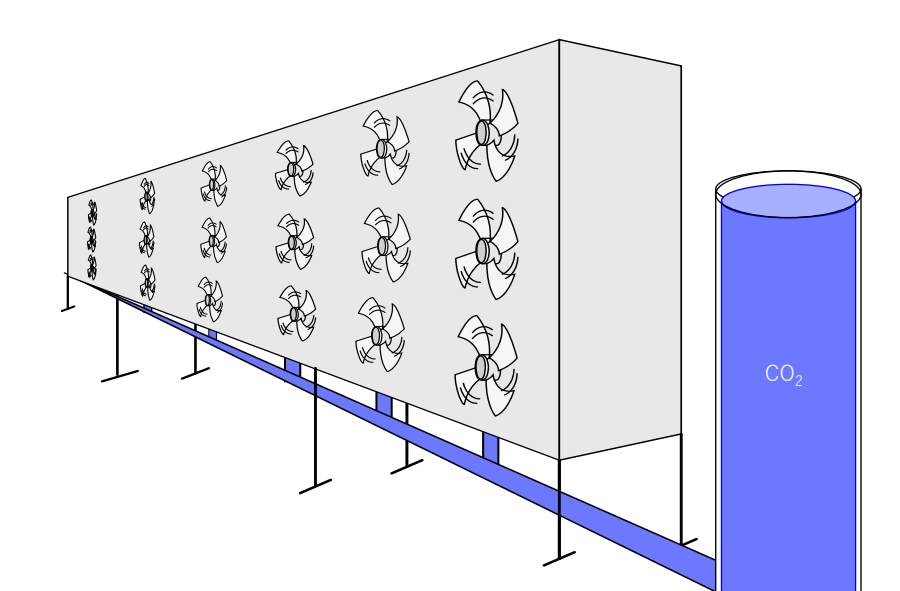
蒸気再生方式装置概念図およびDAC実験棟
(装置容量~10kg-CO₂/day) @ RITE
(装置:三菱重工エンジニアリング設計、
三菱重工マシナリー製作)

ベンチ試験フェーズ (2025年~2026年)



ベンチ試験装置(検討中)
(~1 ton規模-CO₂/day)
@万博

パイロット試験フェーズ (2027年~2029年)



パイロット試験装置
(実用機設計データ獲得
可能な規模)