

化学研究グループ

グループメンバー(2026年6月)

グループリーダー・主席研究員	余語 克則	研究助手	荒木 華子
サブリーダー・主席研究員	水野 雅彦	研究助手	片岡 梢
主席研究員	喜多 英敏	研究助手	杉本 理絵
主席研究員	Firoz Alam Chowdhury	研究助手	米澤 順子
サブリーダー・副主席研究員	菊池 直樹	研究助手	吉野 直美
サブリーダー・副主席研究員	山口 秀樹	研究助手	森 恵子
副主席研究員	林 成年	研究助手	藤原 洋一
主任研究員	後藤 和也	研究助手	手嶋 孝
主任研究員	甲斐 照彦	研究助手	尾方 秀謙
主任研究員	龍治 真	研究助手	鳴瀧 陽三
主任研究員	村岡 利紀	研究助手	保野 篤司
主任研究員	瀬下 雅博	研究助手	浦井 宏美
主任研究員	木下 朋大	研究助手	藤井 暁義
主任研究員	谷山 教幸	研究助手	吉井 隆裕
主任	菰野 恵子	研究助手	浅野 誠
研究員	段 淑紅	研究助手	津田 和彦
研究員	清川 貴康	研究助手	仲嶋 聡
研究員	孟 烈	研究助手	溝渕 司
研究員	鳥越 葵	職員	大西 紀子
研究員	前田 浩彰	職員	奈良 裕子
研究員	加藤 剛	職員	宮地 裕子
研究員	佐藤 公則		

CO₂分離・回収、有効利用技術の高度化・実用化への取り組み

1. はじめに

RITE では CO₂ 分離回収・有効利用に関わる各種技術の早期実用化・産業化を目指した研究開発およびその産業利用に向けた活動を行っている。以下、現在のRITE の取り組みについて述べる。

2. CO₂分離回収・有効利用技術の研究開発

我が国においては2020年10月の「2050年カーボンニュートラル」宣言と、2020年12月に策定(2021年6月詳細策定)された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を受けて、様々な方面から地球温暖化防止のための取り組みが進められている。一昨年2024年5月にはCCS事業法が成立し、CCSロードマップ(二酸化炭素の年間貯留目標 2030年600~1200万トン/年、2050年1億2000万~2億4000万トン/年)の実現へ向けて大きく前進した。同事業法に基づき、先進的CCS事業国内9拠点が採択

されている。

さらに、カーボンニュートラルを実現するためには、大気中のCO₂濃度を低減する技術、すなわちネガティブエミッション技術の導入が不可欠であり、特に大気中からCO₂を直接回収するDirect Air Capture(DAC)が注目されている。2021年7月に改訂された「カーボンリサイクル技術ロードマップ(経済産業省)」では、進展のあった新たな技術分野としてDACが追記された。二酸化炭素の除去(CDR)、回収・利用・貯留(CCUS)においてCO₂を循環的に利用したり削減したりする取り組みであるカーボンマネジメントが本格化しており、海外でDAC大型プロジェクトが進行する中、我が国では2020年度からムーンショット型開発事業において様々なDAC技術研究開発が実施され、その成果の一端が2025年大阪・関西万博に展示された。

RITEでは、2025年大阪関西万博において、RITEが開発した固体吸収材を搭載した日本最大規模のDAC

の実証試験を行い、国内の DAC 技術力を世界に向けて PR した。さらに、実ガス(ボイラ燃焼排ガス)試験が可能な国内初の炭素回収技術評価センター(RCCC:RITE Carbon Capture Center)のお披露目を 2025 年 6 月に開催し、CO₂ 分離素材開発者及びそのユーザーに向けて、センターの意義と外部サンプル受け入れ開始を大々的に PR した。また、化学吸収法、固体吸収法、膜分離法を中心に、世界をリードする研究開発成果の創出、及びその実用化の推進を継続して行っている。

化学吸収法においては、COURSE50(「環境調和型プロセスの技術開発」プロジェクト, NEDO 委託事業)で開発した化学吸収液が実用化されている。今後、先進的 CCS 事業向けに利用拡大が期待される。一方で、新しい「混合溶媒系吸収液」の開発にも取り組んでいる。

固体吸収法では、低温で CO₂ 脱離性能の優れた固体吸収材を使ったシステムのパイロット試験を NEDO 委託事業において民間企業と共同で石炭火力発電所の実燃焼排ガスを使って進めている。CO₂ 濃度が低い天然ガス火力発電所排ガス向けへの展開も進めており、低温再生だけでなく酸化劣化耐性の高い固体吸収材を開発中である。

膜分離法は、これまで高压ガス(二酸化炭素(CO₂)/水素(H₂))源として IGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle:石炭ガス化複合発電)、水素製造プラントを適用先に想定してきたが、2024 年度からは、小型水素製造システム(CO₂ 回収型水素製造装置)の実証試験に向けた新たな NEDO 補助事業を推進中である。

さらに、RITE では CO₂ 有効利用技術として、脱水膜を搭載した膜反応器(メンブレンリアクター)の開発に取り組んでいる。製鉄所から排出する CO₂ を水素と反応させて高効率にメタノールを合成する NEDO 委託事業「CO₂ を用いたメタノール合成における最適システム開発」を民間企業と共同で 2021 年度から実施している。

産業廃棄物等に含まれるカルシウム、マグネシウムを利用して排ガス中に含まれる CO₂ を固定化し、高純度な炭酸カルシウムを製造する取り組みも民間企業と共同で実施してきた。

3. 大気中からの CO₂ 回収技術

「ビヨンド・ゼロ」を可能とする技術を 2050 年までに確立することを目指す「革新的環境イノベーション戦略」のイノベーション・アクションプランを後押しするための制度の一つとして 2020 年度に NEDO「ムーンショット型研究開発制度」がスタートした。

RITE は、この中の目標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」の「(1)温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発」において、金沢大学および三菱重工グループと協力して、大気中からの高効率 CO₂ 分離回収・炭素循環技術の開発に取り組んでいる。(図 1)

大気中から直接 CO₂ を回収する技術は Direct Air Capture(DAC)と呼ばれている。DAC は貯留と組み合わせることでネガティブエミッション技術として期待されており、前述の「(1)温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発」では、7件のテーマが進行中である。

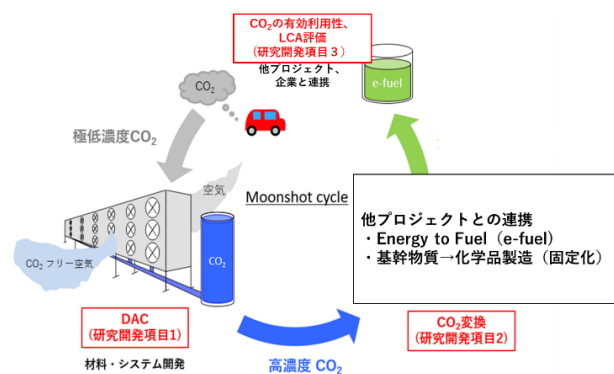


図 1 大気中からの高効率 CO₂ 回収・炭素循環技術の開発

RITE はこれまでの知見を活かし、大気中の CO₂ を効果的に吸収・脱離する新たなアミンを開発するとともに、大量の空気を通過させることができるよう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、吸収した CO₂ を圧力と温度スイングにより低エネルギーで脱離させる技術についても検討を進めている。ラボ試験装置での基礎データの収集、プロセスシミュレーションによるアミン・吸収材構造の改良指針策定と最適運転条件の予測、RITE 敷地内 DAC 実験棟に設置している

DAC システム評価装置での性能検証により、吸収材とシステムの性能向上を図っている。(図2)



図2 DAC 技術開発:シミュレーションとラボ・システム評価の連携

2025 年 4 月～10 月開催の大阪・関西万博会場内カーボンリサイクルファクトリーエリア「RITE 未来の森」では、最大 0.3 t/day のCO₂回収を目標に、三菱重工業株式会社の協力のもと、パイロット実証試験を実施した。(図3)



図3 大阪・関西万博会場に設置したパイロット試験機のDACユニット

パイロット実証試験では温度や湿度、装置の各種パラメータがCO₂の回収量や回収エネルギーに与える影響を明らかにし、スケールアップにおける影響を評価する方法を確立した。回収したCO₂は一旦タンク(図4)に貯蔵し、同じくカーボンリサイクルファクトリー内で実証試験を行っている大阪ガス株式会社とエア・ウォーター株

式会社に提供し、それぞれメタン合成(メタネーション)とドライアイス製造に利用された。



図4 CO₂貯蔵タンク

4 つのタンクのうち左 2 つは回収した純度 95%以上のCO₂を常圧で保存し、右 2 つはCCU 連携用に0.6 MPa 程度に圧縮して保存している。

合成されたメタンは迎賓館の厨房などで利用され、ドライアイスは会場内の様々な場所で活用された。会場内で活用されたメタンやドライアイスはCO₂に戻って空気中に出ていくが、DAC 装置によって再度空気中からCO₂を回収することができ、回収したCO₂を原料に再度メタンやドライアイスが作られる。このようにDACによる大規模な炭素循環(カーボンリサイクル)を日本で初めて実証し、ムーンショット型研究開発制度が描く未来の絵姿を現実のものとして多くの来場者に示した。他にも製造されたドライアイスの一部はRITEが引き取り、株式会社福寿園で茶葉の育成を促進するために活用した他、三菱ガス化学株式会社ではCO₂を会場外に運び出し、地中貯留の可能性検討やメタノール製造に活用するなど、会場外でもカーボンリサイクルの実証が行われた。

4. CO₂分離素材の標準評価共通基盤の構築

2022 年 6 月にRITEは、NEDO 事業「グリーンイノベーション(GI)基金事業/CO₂の分離回収等技術開発プロジェクト/低圧・低濃度CO₂分離回収の低コスト化技術開発・実証/CO₂分離素材の標準評価共通基盤の確立」を国立研究開発法人産業技術総合研究所と連名

で受託し、2025年2月に実際の燃焼排ガス(実ガス)を用いたCO₂分離回収試験を実施することができる炭素回収技術評価センター(RCCC)を開設した。これまでに標準サンプルの評価を進め、CO₂分離素材を公正かつ中立的に評価する外部サンプル評価の受付も開始している。国内で開発が進む新規素材の評価を受け入れる国内唯一のセンターである。

図5にRCCCの全体構成を示す。都市ガス焚きの蒸気ボイラーをCO₂発生源とし、その燃焼排ガスを各種CO₂分離回収技術の試験設備へ供給する。試験設備は、CO₂処理規模が0.1t/d規模の、吸収液、吸着剤(PSA^{*}、TSA^{**})、膜モジュール試験設備、および小規模の膜・吸着剤の評価が可能な分離膜/吸着剤小型試験設備から成る。

*PSA: Pressure Swing Adsorption

**TSA: Temperature Swing Adsorption

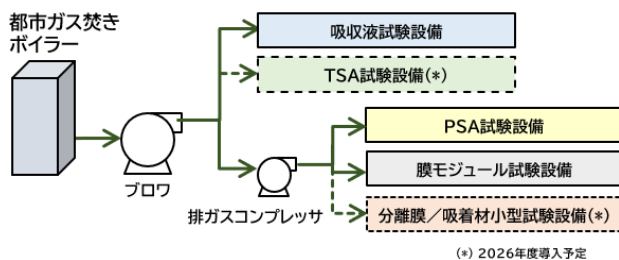


図5 RCCC 全体構成

(各分離法に実ガスを供給:約0.1t-CO₂/day相当、分離膜(単膜)試験設備は小規模評価)

表1 試験設備供給ガス(例、PSA測定結果)

	燃焼排ガスのみ	大気希釈(1:1)
CO ₂	9.3%	4.1%
O ₂	4.9%	14.1%
NOx	55.1ppm	25.9ppm

各試験設備に供給する燃焼排ガスは、本事業の対象が「CO₂濃度10%以下の低圧・低濃度排ガス」であることを考慮し、大気混合によりCO₂濃度を制御することができる。表1にPSA試験設備へ供給するガスの分析結果(例)を示す。ボイラーからの燃焼排ガスは、CO₂濃度が約9%であるが、大気を燃焼排ガスに対して1:1の比

で混合することによりCO₂濃度は約4%となる。NGCC(ガス焚きコンバインドサイクル)程度まで低く制御可能である。

2025年度は、標準材(吸収液:MEA30wt%水溶液、吸着材:ゼオライト13X、分離膜:ポリイミド系中空糸モジュール)による試験を実施し、既知の性能をトレースするとともに、網羅的な評価データの収集・蓄積を進めた。また、2024年度までに策定した標準評価法を実運用できる評価法へと進化させた。

外部サンプルの受入れについては、学会、シンポジウム、新聞掲載を通して外部への紹介を積極的に行った結果、国内民間企業から多くの試験問い合わせ、設備の見学の申し込みを受けている。いくつかの企業と実ガス試験の協議を始めているところである。

海外への発信については2025年度IEAGHG主催のPCCC-8会合(Post-Combustion Capture Conference, 仏, 2025年9月)およびITCN(International Test Center Network)に参加し、海外エキスパートにRCCCの進捗状況を紹介するとともに意見交換を実施した。海外機関との良好な連携関係構築がこれまで以上に進んでいる。

RITEは、RCCCの運用を通して、国内のCO₂分離素材開発に関わる企業・機関の活動を支援するとともに、我が国がCO₂分離回収技術において世界のトップランナーであり続けるよう、CO₂分離素材開発の促進に貢献する。

5. 固体吸収法

固体吸収材は、アミンを水などの溶媒に溶かした化学吸収液と異なり、アミンをシリカや活性炭などの多孔質材料に担持したものである(図6)。固体吸収材を用いたプロセスは、溶媒に起因する蒸発熱や顕熱を抑制できることから、CO₂分離・回収エネルギーの低減が期待できる。

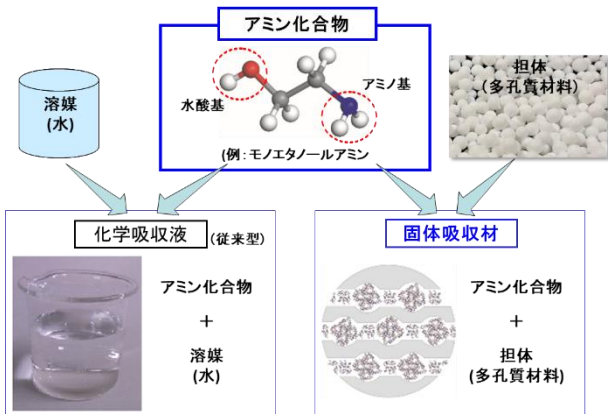


図6 化学吸収液と固体吸収材

1) 石炭火力発電所向け

RITE は 2010 年より主に石炭火力発電所の燃焼排ガスからの CO₂ 分離・回収を対象に、固体吸収材の開発を実施している。基盤研究フェーズ(2010~14 年度)では、60℃の低温排熱が利用可能な革新的な固体吸収材を開発し、実用化研究フェーズ(2015~19 年度)では、川崎重工業株式会社(KHI)をパートナーとして、固体吸収材のスケールアップ合成(>10m³)、ベンチスケール試験(>5t-CO₂/day)、石炭火力発電所での実ガス曝露試験などを実施した。

2020 年からの NEDO 委託事業「先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究」では、関西電力株式会社の協力を得て、KHI が舞鶴発電所内にパイロットスケール試験設備(40t-CO₂/day 規模)を建設し、2023 年度後半から RITE が供給した固体吸収材を用いた石炭火力発電所の燃焼排ガスからの CO₂ 分離・回収試験を開始した(図 7)。



図7 固体吸収法の開発ロードマップ

また、材料劣化機構の解明と劣化防止技術の開発、使用材の再利用技術の開発、長期保管試験による取扱い方法の検討などを進めている。長期保管試験では、材製造から最長 4 年間にわたって倉庫に保管されている材を定期的に確認し、CO₂ 平衡吸着量に変化は無く、性能が低下していないことを確認した(図8)。また、種々の保管形態での保管試験を行い、材の保管方法を確立した。

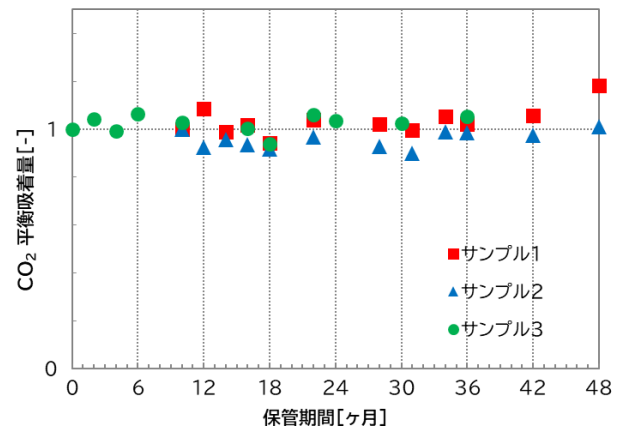


図8 長期保管試験結果

さらに、プロセスシミュレーション技術による効率的な運転条件の検討なども進めており、KHIの移動層システムにおいて高い精度で CO₂ 回収量や分離回収エネルギーを予測可能なシミュレータを開発している(図9)。

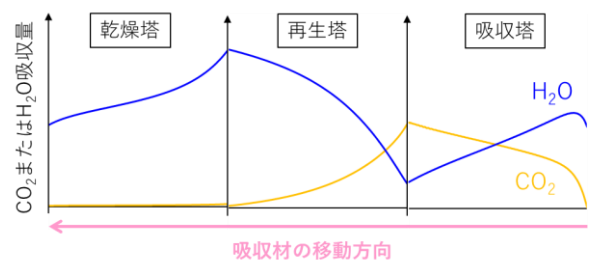


図9 シミュレーションを使った移動層システムの各塔における吸脱着挙動の把握

パイロット試験ではこのシミュレーション技術を活用して最適運転条件の検討を行う予定である。また、シミュレーションは実際には観測が困難な装置内部での吸脱

着挙動を把握するのに役立っており、計算結果は材料開発にも活用されている。

2) 天然ガス火力発電所向け

2022 年より、GI 基金事業/CO₂ の分離回収等技術開発において、千代田化工建設株式会社(幹事会社)、株式会社 JERA と共同で、天然ガス燃焼排ガスからの低コスト CO₂ 分離・回収プロセス商用化の実現への取り組みを開始した。(図 10)

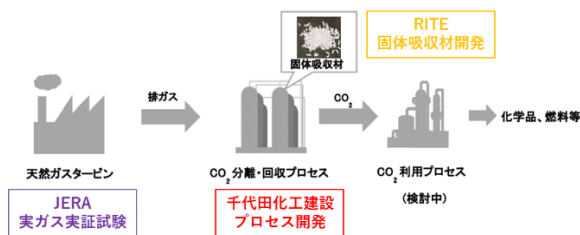


図10 プロジェクトの概要

天然ガス燃焼排ガスに含有する CO₂ 濃度は 4%前後と石炭燃焼排ガス中の CO₂ 濃度(13%前後)と比較して低い一方、酸素濃度は 10%程度と高いため、低い CO₂ 濃度においても、高い CO₂ 吸収性能を示し、酸化に対する高い耐久性を有する固体吸収材が求められる。RITE は過去に培った知見、技術に基づくアミン開発およびそれを担体に担持させた固体吸収材開発を担当している。これまでに僅かな温度変化で CO₂ 吸収量が大きく変化する固体吸収材を新たに開発した。開発した固体吸収材は低温再生が可能な点だけでなく、比較的酸素濃度が高い天然ガス火力発電所排ガスに適用できる非常に優れた酸化劣化耐性を有している点も特徴である。2025年度は開発した吸収材を改良し、吸脱着速度を大幅に向上させることに成功した。(図11)

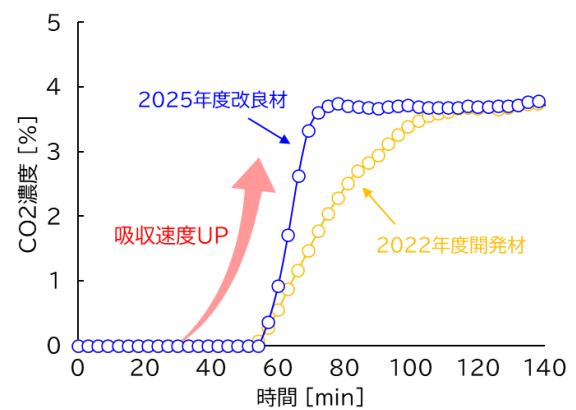


図11 2025年度の改良による大幅な吸収速度の向上

改良前の吸収材を用いて CO₂ の回収率が 70%程度であったプロセスに改良した固体吸収材を適用すると回収率が 90%程度まで向上することが確認された(図 12)。

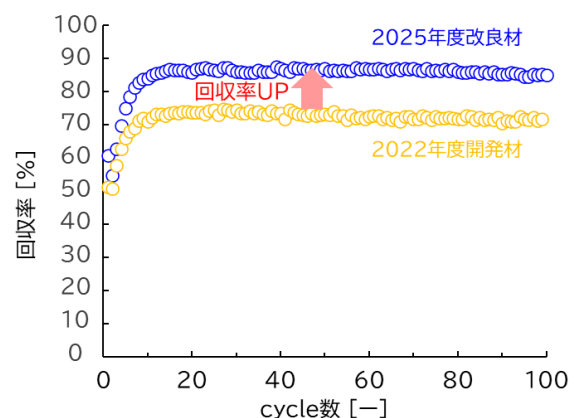


図12 吸収速度向上が回収率に与える影響

また、天然ガス火力発電所排ガスと同等の NO_x や O₂ を含む模擬ガスを用いて長期に渡る連続サイクル試験を実施し、4,500 時間経過後も材料性能がほとんど低下しないことを示した。

本事業で開発している固体吸収材とプロセスの組み合わせは競合技術に対して必要なエネルギー、装置サイズともに優れた競争力があると試算されており、2026 年度に実施するベンチ試験で検証する予定である。

6. 化学吸収法

化学吸収法は、CO₂ を溶解する液体(吸収液)を用い

て CO₂ 混合ガスから高純度 CO₂ を回収する CO₂ 分離回収技術であり、CO₂ 分離回収の分野では技術成熟度が最も高い。RITE は、「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離・回収技術開発 (COCS)」（経済産業省 (METI) 補助事業)、「環境調和型プロセス技術開発 (COURSE50)」（NEDO 委託事業)および「製鉄プロセスにおける水素活用 (GREINS)」（NEDO GI 基金委託事業)において、製鉄プロセスガス (高炉ガス) を対象に、CO₂ 分離・回収のエネルギーおよびコストを低減する高性能な化学吸収液の研究開発を実施してきた。

RITE の研究開発の成果は国内外で非常に高い評価を受けている。COURSE50 において開発した高性能なアミン系化学吸収液は、日鉄エンジニアリング株式会社の商業設備「省エネ型 CO₂ 回収設備 ESCAP®」に採用され、製鉄所熱風炉および石炭火力の燃焼排ガスからの CO₂ 回収において産業利用されている。今後、先進的 CCS 事業等さらなる利用が期待される。

また、GREINS では、さらなるエネルギー消費低減を可能にするブレークスルー技術「混合溶媒系吸収液」(図 13)に挑戦し、現行アミン吸収液をさらに上回る省エネ型新規混合溶媒系吸収液を開発した。開発液は、日本製鉄株式会社東日本製鉄所君津地区での実際の高炉ガスを用いたベンチ試験 (2023 年度～2024 年度)およびパイロット試験 (2025 年度)まで行い、実用化にかなう経済合理性のある吸収液であることを実証できた。開発吸収液と商用技術吸収液 (アミン水溶液) のベンチ試験でのエネルギー原単位比較を図 14 に示す。開発した省エネ型吸収液の普及を通して、さらなる社会のカーボンニュートラルへ貢献していきたい。

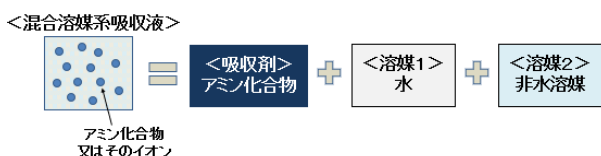


図 13 混合溶媒系吸収液のコンセプト

従来のアミン系化学吸収液で一般的であった溶媒の水の一部を非水溶媒で代替することで、吸収液の比熱や CO₂ との反応熱が低減される。

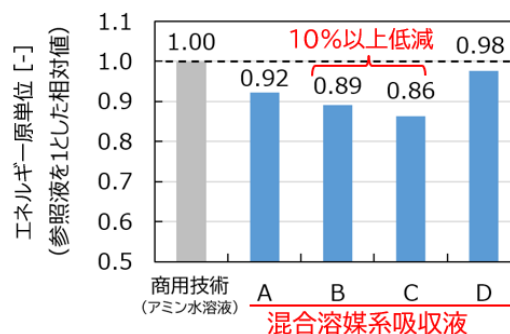


図 14 混合溶媒系吸収液の実ガスベンチ試験結果

RITE の吸収液開発は、国際的にも注目を集めている。2025 年 9 月の国際会議 PCCC-8 において Chowdhury 主席研究員が発表した混合溶媒系吸収液の成果が、IEAGHG がまとめた会議レポートに掲載された。掲載された実験結果を表 2 に示す。

表 2 Water-Lean solvent (混合溶媒系吸収液) の性能

Selected Water-lean Solvent	Absorption ^a /Desorption ^b Rate (g/kg/min.)	CO ₂ Loading ^c @ 40 °C (g/kg)	Cyclic Capacity ^d @ (40-90) °C (g/kg)	CO ₂ Recovery ^e (%)	Heat of Absorption ^f (kJ/mol-CO ₂)	Specific Heat ^g (J/gK)
Water-lean solvent_22	1.35/10.8	125	114	91	63.1	3.1
Water-lean solvent_19	1.40/10.8	124	120	97	64.9	3.0
Water-lean solvent_9	1.32/10.6	123	110	89	66.1	2.9
Aq. MEA_30wt% (Ref.)	2.38/2.38	119	35	29	86.9	3.75

<https://publications.ieaghg.org/technicalreports/2026-TR02%20PCCC-8%20Summary%20Report.pdf>

CCUS の社会実装加速には吸収液の量産化へ向けた大規模化やコスト低減も課題である。溶液再生工程でのエネルギー消費削減やアミンの耐久性向上なども重要となる。長期稼働時の不純物影響評価など長期試験データの技術蓄積も必要である。RITE はこれまで開発した吸収液の社会実装・普及拡大へ向けて、これらの検討支援へも積極的に取り組む。

7. 膜分離法

膜分離法は、圧力差によって分離膜の供給側から透過側へ CO₂ を透過させる分離法である。無機膜と有機膜に分類され、うち有機膜は、促進輸送膜と溶解拡散膜

に分類される。促進輸送膜は、CO₂ を輸送するキャリアを有するので、分子サイズによらず CO₂ を選択的に透過する。

RITE は、住友化学株式会社と次世代型膜モジュール技術研究組合(MGM 組合)を構成し、高压ガスである石炭ガス化複合発電(IGCC)や水素製造装置向けに分子ゲート膜(Molecular Gate Membrane:略称 MGM)と称する促進輸送膜の開発を進めてきた。概念図を図15 に示す。高密度のアミノ基を有するポリアミドアミン dendリマーと架橋型高分子材料から成る分離機能層を有する複合膜であり、透過機構としては、加湿条件で、膜中に取り込まれた CO₂ が膜中のアミノ基とカルバメートや重炭酸イオンを形成し、分子サイズの小さな H₂ の透過を阻害することで、従来の CO₂ 分離膜では難しかった CO₂ と H₂ を効率良く分離できる。また、高压条件への適用のために、ポリビニルアルコール(PVA)系の架橋高分子マトリクスを使用し、十分な耐圧性を有する。

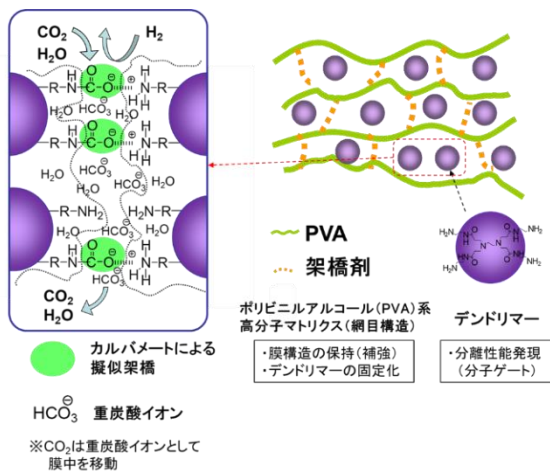


図15 分子ゲート膜の概念図

分子ゲート膜の最大の特長は、図16 に示す通り、世界一の選択性を有することである。その性能はさらに改良され競合膜を大きく引き離しており、高压ガスだけでなく中圧用にも適用できる。

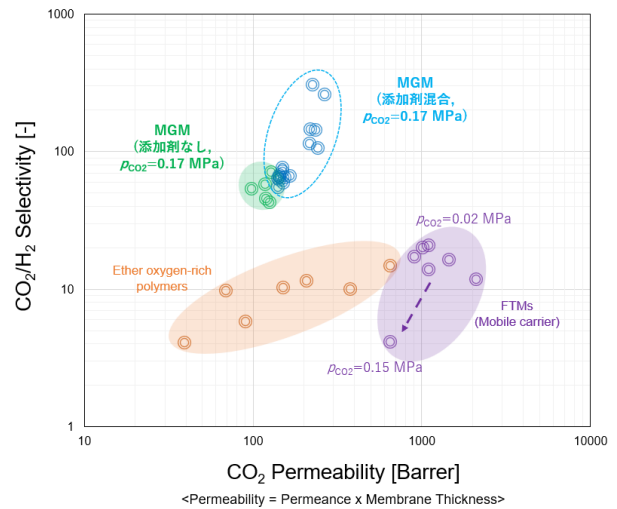


図16 膜材料(単膜)の CO₂/H₂ 分離性能

MGM 膜の試験条件:温度 85℃, 全圧 0.85MPa, 供給ガス組成 CO₂/N₂=20/80.

現在、MGM 組合は、水素製造装置メーカーの三菱化工機株式会社と共同で NEDO 補助事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO₂ 分離・回収技術の研究開発/二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発/高压用 CO₂ 分離膜の水素製造システムへの適用性検討」において CO₂ 回収型水素製造装置での実証試験に向けた研究開発を進めている。(図17)

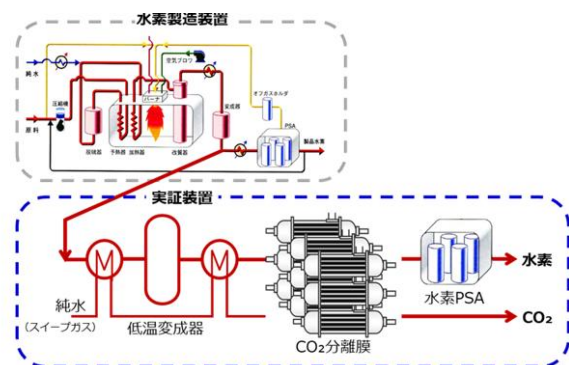


図17 CO₂ 回収型水素製造の実証試験概要

同事業において MGM 組合では、膜製造の実用化に向けた長尺製膜に取り組んでいる。高い分離性能を発現する膜を形成する塗工液の大量調合と、その塗工液を用いた広幅連続製膜の技術確立することができた

(図18)。

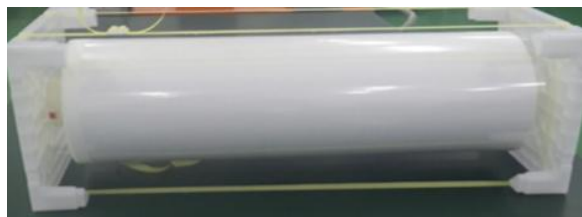
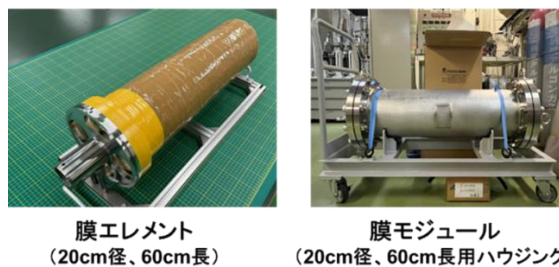


図18 CO₂分離膜の広幅ロール巻き

さらに、膜エレメントの開発も実施中であり、エレメント径が従来の4倍、エレメント長さが従来の3倍である20cm径、60cm長の商用サイズ膜エレメントの開発に成功し、商用サイズ膜エレメントの製作技術を確立することができた(図19)。



膜エレメント
(20cm径、60cm長)

膜モジュール
(20cm径、60cm長用ハウジング)

図19 CO₂分離膜、膜エレメント(大面積の膜、支持体および流路材等の部材を一体化したもの)および膜モジュール(膜エレメントと収納容器(ハウジング)を組み合わせたもの)

8. CO₂を原料とするメタノール合成技術の開発

CO₂の水素化反応は反応により水が生成し、その水が触媒の劣化、反応速度の低下の原因となる。また、多くは発熱反応であり、反応により発生した熱を如何に効率的に除去するかも課題の一つである。これらの課題を解決すべく、RITEでは膜反応器による高効率かつ省エネルギー型のCO₂有効利用技術、特にCO₂を原料としたメタノール合成技術の開発を行っている。

RITEではこれまでに、高い水熱安定性と透過分離性能を兼ね備える脱水膜(Si-rich LTA膜)の開発に成功するとともに、その新規脱水膜を適用したラボスケールのメタノール合成膜反応器は従来の触媒充填層型反応

器よりも3倍のCO₂転化率を示すことを実験的に明らかにしてきた。現在は、NEDO委託事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発/化学品へのCO₂利用技術開発/CO₂を用いたメタノール合成における最適システム開発」にて、開発した脱水膜の長尺化を検討している。これまでの検討にて、比較的高い透過分離性能を有する実用的長さの脱水膜を合成することに成功するとともにメタノール合成の反応温度域で目標値(H₂O透過率: $1 \times 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, H₂O/MeOH選択性: >1,050)を達成し、長尺脱水膜合成条件の精査により長さ方向に対する性能分布なく合成できる条件を見出すことができた。

2025年度は実用的長さの脱水膜量産を見据えて、ゼオライト層形成の核となる種結晶の塗布方法をこれまでのラビング法(機械的に種結晶を塗り付ける方法)と並行し、Dip Coating法も検討するため、コーティング条件の精査を行った。Dip Coating法では種結晶を溶液中に分散させたスラリーを用意し、その中に多孔質支持体を浸漬することで表面上に種結晶を塗布する方法である。そのため、分散させる種結晶量(スラリー濃度)が脱水膜の透過分離性能に大きく影響することが予測される。図20は、これまで合成した脱水膜の透過分離性能(H₂O/MeOHの蒸気透過分離性能)とスラリー濃度を変更してコーティングした後、水熱合成により得られた脱水膜の透過分離性能を示している。この結果から、Dip Coating法による種結晶塗布ではスラリー濃度が薄すぎても、濃すぎても十分な透過分離性能は得られず、最適な濃度が存在する可能性が示唆された。また、適正なスラリー濃度にて得られた脱水膜はこれまでのラビング法を用いた場合と同等程度の透過分離性能を示したことから、比較的適したコーティング条件を見出すことができたといえる。

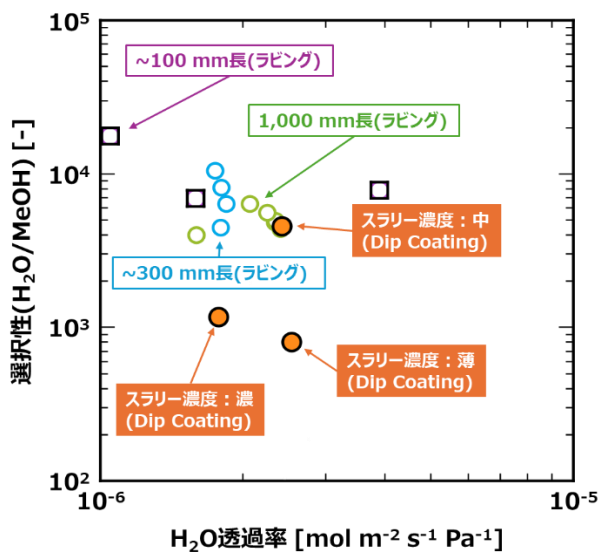


図 20 種結晶塗布方法の変更による性能への影響

今後、開発した実用的長さの脱水膜の実用化を目指し、膜メーカーと連携しながら脱水膜製造条件・方法の検討を行うとともに、その他脱水用途への展開を図る。

9. He 回収を目的とした無機系分離膜の開発

これまでRITEでは水素製造を目的としたシリカ膜の開発を手掛けており、水素キャリアのひとつであるメチルシクロヘキサン(MCH)脱水素をはじめとして様々な反応により生成した水素を選択的に透過させることが可能な各種シリカ膜の製膜に成功している。シリカ膜は、対向拡散 CVD(Chemical Vapor Deposition:化学蒸着)法を用いて製膜しており、多孔質基材の内側に酸素(O₂)を、外側にシリカ源を供給することで、お互いが基材細孔内を拡散していき、出会ったところでシリカが析出する(図 21)。細孔内がシリカで埋まると、埋め切れていない箇所優先的に反応が起るため、比較的性能の高いシリカ膜を再現よく製膜することが可能である。

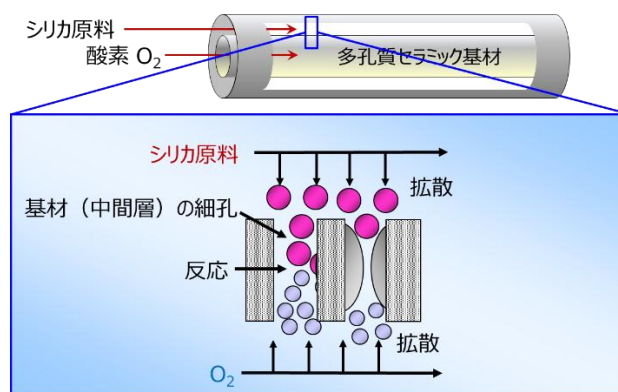


図21 対向拡散 CVD 法によるシリカ膜の製膜イメージ

昨今、世界的なヘリウム危機が問題となっており、如何に確保できるかが重要となっている。また、省エネルギー性を考えると相変化を伴わない膜分離法でヘリウムを回収する方法が良いと考えられる。分子サイズは、ヘリウムが最も小さく、0.26 nm であり、そのほかの小分子のサイズは H₂:0.29 nm, CO₂:0.33 nm, N₂:0.36 nm, CH₄:0.38 nm であることを考えると、これまでRITEにて開発してきた水素分離用のシリカ膜はヘリウム分離に十分適用可能であると考えられる。これまで「NEDO 先導研究プログラム/新産業・革新技術創出に向けた先導研究プログラム/不燃性ガス田における高効率ヘリウム膜分離回収技術の開発」にて一般財団法人ファインセラミックスセンターからの再委託を受け、ヘリウム分離用シリカ膜の長尺化を検討し、比較的に高い性能を有するシリカ膜の製膜に成功しており、計算上では不燃性ガス田からのヘリウム回収を高効率に行える結果が得られ、NEDO 先導研究プログラムは成功裏に終了した。

10. 炭酸塩固定化技術

CO₂ 鉱物化(CO₂ mineralization)は、CO₂ をアルカリ土類金属と反応させ、化学的に安定な炭酸塩として固定化する技術であり、カーボンニュートラル社会の早期実現に向けて、研究開発が国内外で進められている。

RITE は、CO₂ を炭酸塩として固定化する技術において、長年にわたり培ってきた独自プロセスを保有している。2020 年からは、民間企業との共同研究により、鉄

鋼スラグ、廃コンクリート等から湿式でアルカリ土類金属を抽出し、工場等から排出される CO₂ を、安定した化合物である炭酸塩として回収する技術開発、生成した炭酸塩の有効技術の開発(図 22)に取り組んできた。

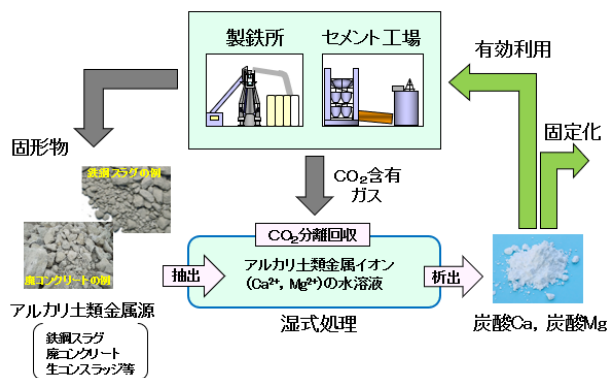


図 22 CO₂ 炭酸塩固定化および有効利用技術

これまでに、反応温度、反応時間等のプロセス最適化に取り組んできており、現在、本プロセスの事業化を目指した検討や固定化した炭酸塩の有効利用の検討を行っている。

11. 実用化・産業化に向けた取り組み

実用化・産業化を促進するための情報交換・連携促進の場として「産業化戦略協議会」を設置し、現在、民間企業計 46 社(2026 年 4 月 6 日時点)と特別会員として、一般社団法人ファインセラミックスセンターが参画している。

2023 年度からは、革新的環境・エネルギー技術に資する CO₂ 分離回収・有効利用技術を確立することを目的に活動内容を広げて以下の事業を推進している。

【全体活動】

- ① 研究会の実施
- ② 会員限定無料セミナーの実施
- ③ 会員向けニーズ・シーズ情報、ホットピックスの発信
- ④ シンポジウムの開催

【個別活動】

- ① 共同研究、国費事業の立案・予算申請および獲得
- ② 研究部門への研究員派遣の受け入れ

③ 技術相談の“優先”受付

④ 会員企業のニーズとシーズのマッチングを仲介

2025 年度は、研究会のスコープを CO₂ の分離回収および有効利用に広げ新たに CO₂ 分離回収・有効利用研究会を発足した。研究会では、RITE の RCCC やイーセップ(株)様の膜分離試験装置の見学、RITE メンバーが海外を中心とした CO₂ 分離回収に関する学会や評価設備の世界機関の会合に参加しその動向の情報提供、さらには、CCU の特に「利用」に着目した実用化・実証動向調査を行いその内容の共有・議論を行った。

会員限定無料セミナーは会場＋オンラインで 3 回開催し、大学、民間企業の研究者から CO₂ 分離回収および有効利用に関する最新の研究開発動向や開発事例の講演を行い、活発な質疑・応答が行われた。

さらに、講演内容に関連する特許・文献調査を行い、RITE 研究員のコメントを記載した「ニーズ・シーズ情報」を 1 回、学会トピックスや RITE メンバーの海外視察を記載した「ホットピックス」を 3 回発信し、会員の技術開発推進と知見向上に寄与した。

2026 年 2 月に開催した「革新的 CO₂ 分離回収・有効利用技術シンポジウム」のポスター発表では、産業化戦略協議会の取り組みに加えて、会員企業からも参加いただいた。

12. おわりに

RITE では、今後も継続して、様々な排出源を対象とする CO₂ 分離・回収技術開発を精力的に推し進めていく。各テーマにおける個々の研究課題に精力的に取り組む、実用化ステージに近いものは、スケールアップ検討や実ガス試験を通して早期の技術確立、社会実装を目指し取り組んでいく。低濃度の CO₂ 排出源にも対応できるような技術開発を進める必要がある。脱炭素化に向けた持続可能開発シナリオで CO₂ 回収の寄与が大きく期待される DACCS などのネガティブエミッション技術にも力を注ぐ。CO₂ 濃度が低くなると、その分処理すべきガス量が増大し、また酸素濃度も高いため、今後はより低コストで劣化耐性の高い材料開発とそれに対応したシステム開発が重要となる。これら技術開発を一層に加速

させ、より省エネルギーで低コストが可能な CO₂ 分離・回収技術を早期に社会実装できるよう取り組んでいく。また、回収した CO₂ の有効利用についても研究開発を推進する。メタノール合成技術、炭酸塩化固定化技術などこれまでRITEで開発してきた技術のさらなる発展に尽力する。

RCCC については、公正・中立な実ガス試験データを取得できるセンターとして運営する。GI 基金事業の期間内から外部サンプルの受入れをスタートし、利用者である国内の CO₂ 分離素材開発者に公正・中立なデータを提供する。また、GI 基金事業終了後のセンター継続運営を目指して、外部サンプル受入れを通じて運営ノウハウの構築を育む。一方で、ITCN や国際学会での発表を通して RCCC で得られる標準評価法のデータを海外へ共有し、RITE が確立する標準評価法の国際的な認知・普及を推進する。

以上の活動を通じて、国内 CO₂ 分離回収・有効利用技術のさらなる発展に貢献できるよう取り組む所存である。