

RITE Today^{2025 Vol.20} Annual Report

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 年次報告書 2025年版 第20号



バイオものづくり実験棟

炭素回収技術評価センター

特集

ツインパワーで始動します
～炭素回収技術評価センターとバイオものづくり実験棟の紹介～

トピックス

2025年大阪・関西万博「RITE未来の森」

RITE Today

2025 Vol.20

Contents

巻頭言

- 変化はどこからくるのか？ 3
公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事・副所長 廣田典昭

特集

- ツインパワーで始動します ～炭素回収技術評価センターとバイオものづくり実験棟の紹介～ 4

研究活動概説

- 企画調査グループ カarbonニュートラル社会の実現に向けて
～人と地球が仲良く出来るように～ 8
- システム研究グループ システム研究グループの研究活動報告 16
- バイオ研究グループ カarbonニュートラルに貢献するバイオものづくり技術の開発 23
- 化学研究グループ CO₂分離・回収、有効利用技術の高度化・実用化への取り組み 34
- CO₂貯留研究グループ CO₂地中貯留の実用化へ向けた技術実証、事業化支援と国際連携 45

- トピックス 2025年大阪・関西万博「RITE未来の森」 57

- プレスリリース 59

- イベント情報 59

- 発表論文一覧 59

- システム研究グループ
- バイオ研究グループ
- 化学研究グループ
- CO₂貯留研究グループ

- その他の活動 59

- 主な新聞記事 61

- 特許紹介 63



変化はどこからくるのか？

公益財団法人地球環境産業技術研究機構

理事・副所長 廣田 典昭

RITE で理事・副所長を拝命しております廣田でございます。

1990 年に設立された RITE も今年で 35 年を迎えました。この間、多くの関係者や先達の皆様方のご指導、ご尽力もあり、地球温暖化対策において先導的な役割を果たす研究機構として今日に至っております。関係各位におかれましては、今後とも変わらぬご支援とご協力を賜りますよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

RITE が設立された当時、日本国内の一般家庭で利用できる有線回線の通信速度は 14.4kbps 程度でした。現在では 10Gbps にも達しており約 500 万倍高速です。また携帯電話の通信速度も 2G から 5G への進化により、当時とは比較できないほど高速化しています。情報処理能力においては、CPU 性能比較で数十 MIPS から数十万 MIPS へと 1 万倍以上向上し、逆にメモリ単価は DRAM で約 \$ 50/MB から約 \$ 0.1/GB へと 1/50 万になりました。性能とコスト両面で驚くほどの革新があったと言えますし、その恩恵もあり 35 年前は想像もつかなかった大きな変化をサービスやライフスタイルにもたらせています。

一方、「35 年前には想像もできなかった現在」という文脈で考えてみると、RITE 設立構想が持つ先見性と視座の高さに驚かされます。構想には研究所の概要として以下が挙げられていました。

『地球環境問題の解決を目指し、自然の大循環と融合・調和する産業技術体系の構築を図るため、化学工学、生物工学、システム工学等を活用した広範な産業技術を統合するとともに、国立研究所や民間企業からの出向等により研究者を集中することにより、総合的・集中的な研究を実施し、また、技術情報の蓄積等を行い、国際的な研究交流の中核となる研究開発機関』

今日、RITE システム研究グループでは精緻なシナリオ分析により、エネルギー基本計画、地球温暖化対策計画をはじめとした国の政策決定に大きく貢献しています。化学研究グループでは CO₂ 分離回収技術開発を加速し、大気から直接 CO₂ を回収する DAC (Direct Air Capture) の実証試験を大阪・関西万博会場で実施するとともに、分離素材の標準評価共通基盤となる「炭素回収技術評価センター」を開設しました。CO₂ 貯留研究グループでは、圧入や評価技術の実用化検討とともに、CCS 事業法成立を受けて国内 CCS 事業の支援や連携を加速しております。バイオ研究グループでは地球温暖化対策に資するバイオものづくりの事業化貢献を目指し、専用研究棟「RITE バイオものづくりセンター」の建設も含め菌株開発プラットフォームの整備に着手しております。35 年を経て、地球環境問題の解決に向けた粘り強く着実な取組みが、前進しつつあることを感じます。

RITE の取組みを俯瞰しますと、「変化はどこからくるのか？」について、かつてある方からご教示いただいたことをしばしば思い出します。曰く、「変化は 3 つの方向からやってくる。一つは政治、もう一つは社会、そして技術だ」。

例えば、1990 年代の携帯電話端末の自由化による爆発的な普及は、制度の制定・導入を行う政治、いつでもどこでもコミュニケーションしたいというニーズを抱えた社会、そして小型軽量高速化を実現する技術が相まって、大きな変化を生んだと言えます。

RITE は、まさに政治、社会、技術の交点において、これまで大きな役割を果たしてきました。これからも、地球温暖化問題に関し革新的な変化を生む存在として、多岐にわたる分野で成果を追究してまいります。

今後も一丸となって努力致す所存ですので、引き続きよろしくお願いいたします。

ツインパワーで始動します ～炭素回収技術評価センターとバイオものづくり実験棟の紹介～

化学研究グループ	グループリーダー・主席研究員 サブリーダー・主席研究員 主任研究員	余語 克則 水野 雅彦 後藤 和也
バイオ研究グループ	グループリーダー・主席研究員 副主席研究員	乾 将行 平賀 和三
企画調査グループ	グループリーダー・主席研究員 主任	閑念 磨聡 辰巳 奈美

我が国では 2050 年カーボンニュートラルを目指すことを宣言し、CO₂ 排出削減と経済成長・産業競争力強化を両立させるため、様々なエネルギー・温暖化対策が採られている。このような取り組みの一環として、

- ① 大幅な CO₂ 排出削減が困難な産業分野等に向けて、排出される CO₂ を低コストかつ低エネルギーで分離回収できる素材の研究開発
- ② 遺伝子組換え技術を活用して微生物等の細胞によって化学素材や燃料、医薬品等を生産する「バイオものづくり」が推進されている。

RITE では従来からこれらの研究開発に取り組んできたが、こうした時代の要請を踏まえ、2024 年度には①外部サンプルを受入れ CO₂ 分離素材の評価を行う炭素回収技術評価センターと②高付加価値化学品のバイオ生産を目指すバイオものづくり実験棟の 2 棟を隣接して新築した。いわばツインパワーとして研究開発の更なる加速を推進するための新たな取り組みが始動したところであり、本特集ではこれら 2 つについて紹介する。

2. 炭素回収技術評価センター

2.1. 設立背景

RITE では CO₂ 分離回収技術に関してこれまでに化学吸収法、吸着法、膜分離法を中心に、さまざまな CO₂ 回収技術の研究開発を通して一部実用化にも成功してきたが、今回、これらに加えて CO₂ 分離回収・有効利用技術の共通基盤としての研究支援・産業連携を推進するため、「CO₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立」を目指した取り組みを行う。

2022 年 5 月に国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で NEDO 委託事業「グリーンイノベーション基金事業／CO₂ の分離回収等技術開発／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（以下、本事業）」を受託し、本事業の中で実ガスを使った分離素材の評価試験を行うことができる共通基盤センター（RITE 炭素回収技術評価センター：RITE Carbon Capture Center (RCCC)）を国内に初めて設立した。

米国、ノルウェー、オーストラリアなどでは国等が運営する第三者機関としての実ガス試験センターがあり、各国の試験センター間で相互に情報交換する International Test Center Network (ITCN) を形成している。RITE は 2017 年から ITCN メンバーに加入し、意見交換の輪に入るとともに、日本初の試験センター設立を目指してきた。今回、長年の願いが成就し、実ガス試験センターを設立することができた。

2.2. 施設紹介

RITE 炭素回収技術評価センターは、センター専用の都市ガス小型ボイラーと CO₂ 分離回収設備からなる。材料開発に強みを有する日本の特長を更に強化すべく、CO₂ 分離素材開発の初期から実ガス試験を行えるセンターとし、我が国の CO₂ 分離素材開発の早期実用化を支援する。

図1に示すように、ボイラーから排出するガスをクーラー、ブロワ、冷却チラーを通した後、吸収法、吸着法およ

排ガスを各試験設備へ供給できる。吸収液試験設備は、
吸収塔(充填層部)：2mH×0.2mΦ 再生塔(充填層部)：2mH×0.1mΦ から成り、試験には約70Lの吸収液を使用する。PSA 試験設備は、250A×1800Lの吸着塔を3塔備え、吸着圧力 101～900kPa、脱着圧力 10kPa の試験を露点-60℃の条件で行うことが可能である。膜モジュール試験設備は、約1mのモジュールを据付けられるスペースを有し、温度：30～85℃ 圧力：101～900kPa(供給) 10～101kPa(透過) 露点：-15～80℃の試験が可能な仕様となっている。

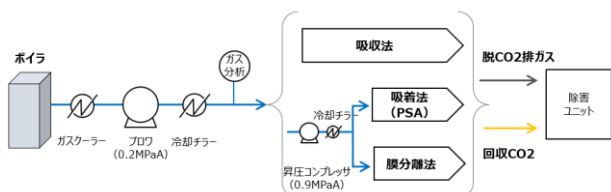


図1 炭素回収技術評価センター全体構成

センター内の機器設備配置は、図 2 に示す通り、①評価棟内に吸収液試験設備、PSA(Pressure Swing Adsorption)試験設備、膜モジュール試験設備を、屋外の②ユーティリティヤードに排ガス供給設備とユーティリティ設備を設置する。評価棟内の空スペースには今後、TSA(Temperature Swing Adsorption)試験設備を導入する予定である。

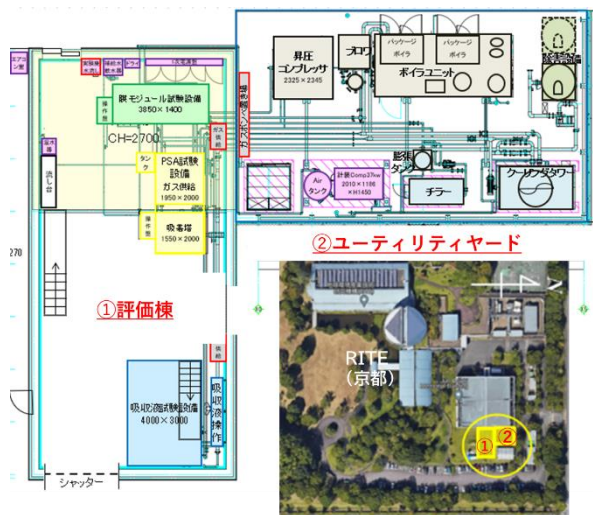


図 2 炭素回収技術評価センター配置

各設備の仕様は、有識者からなるプロジェクト推進協議会の委員の意見を取り入れて決定した。排ガス供給設備は、蒸気量 250kg/h 相当の都市ガスボイラーを 2 基備え、法定点検の際も途絶えることなく連続して燃焼



図3 炭素回収技術評価センター設備

2.3. 今後の展開

標準材の試験を通して確立した標準評価法を用いて信頼のおける公正・中立な実ガス試験データを取得できるセンターとして広く活用いただけるよう運営していきたい。ユーザーが要望する試験条件にも個別に柔軟に対応するとともに、外部サンプル評価も行う。多くの外部ユーザーの皆様、当センターでの実ガス試験へお申込みいただければ幸いです。

標準材評価、持ち込まれる外部サンプル評価を通して、国内の CO₂ 分離素材開発の促進、国際標準化に向けたデータベースの蓄積・拡充に尽力する所存である。我が国の CO₂ 分離素材開発の加速に繋がれば光栄である。

お問い合わせ先: RITE 化学研究グループ
後藤和也 goto.ka@rite.or.jp

3. バイオものづくり実験棟

3.1. 設立背景

RITE は 2023 年 3 月より、積水化学工業株式会社と共同で、NEDO 委託事業「グリーンイノベーション基金事業／バイオものづくり技術による CO₂ を直接原料としたカーボンリサイクルの推進」※¹ を実施している（詳細は[こちら](#)）。本事業では、これまでに培ってきたスマートセル創製技術、遺伝子組換えによる酵素改変技術、発酵阻害物質に対する微生物耐性化技術、バイオ生産技術等を駆使し、ごみ焼却施設から排出される排ガス(CO₂)を、高付加価値な化学品へとバイオ変換する生産菌株の開発と、これを用いたバイオプロセス開発をスタートした(図 4)。

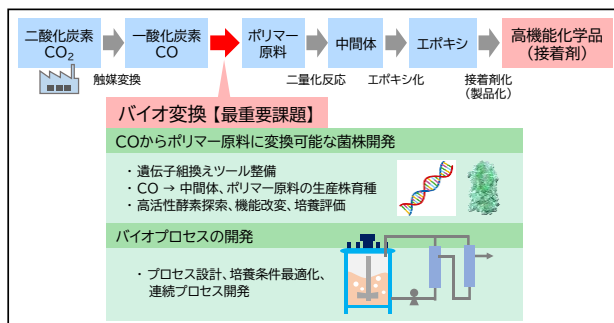


図 4 事業概念図

CO₂ は有機物を燃焼させた最終産物の一つで、極めて安定な化合物である。植物のように光エネルギーを利用し、CO₂ を糖に還元してからこれをバイオものづくり用の原料とする方法もあるが、光エネルギーを一様に微生物に与えるためには、大型の設備と広い敷地が必要となる。

CO は CO₂ よりも反応性が高いことが知られている。CO₂ から CO を得て、これを原料として利用できれば、光エネルギーを必要としないバイオものづくりが可能となる。RITE バイオ研究グループでは、地球上に酸素が無い太古の時代から存在する「CO 資化菌」に着目した。CO 資化菌は、CO を細胞に取り込んで増殖できる優れた微生物である。この CO 資化菌の能力を最大限に利用し、さらに微生物の物質生産能を自在にデザインすることで、CO から高付加価値な化学品のバイオ生産を行うことを着想した。

積水化学工業株式会社は、化学触媒を用いて 90% 以上の高効率で CO₂ から CO に変換できる技術の開発に成功している。RITE のバイオものづくり技術によって、CO から同社の高機能化学品（接着剤）のポリマー原料をバイオ生産できるようになれば、カーボンリサイクルの実現が可能となる。

3.2. 施設紹介

RITE では、これまでもガス成分を原料とするバイオ変換技術の蓄積があったが、このたび本格的に取り組むため、専用の実験棟（バイオものづくり実験棟）を新設した(図 5)。



図 5 新設したバイオものづくり実験棟

1 階には、ガス発酵を行うために必要な培養設備を設置している。酸素を嫌う CO 資化菌の遺伝子操作には、特殊なガス成分の実験環境が必要なため、専用の嫌気チャンバーを設置している(図 6)。



図 6 遺伝子操作等を行うための専用の嫌気チャンバー

嫌気チャンバーは、任意のガス組成環境下で微生物の培養が可能なワークステーションである。遺伝子操作に必要な機材はあらかじめチャンバー内に収納しているため、研究者らはグローブを通して、CO 資化菌を用いた様々な遺伝子組換え実験や、嫌気培養（ガス発酵）実験を行うことができる。

開発した生産菌株を用いたバイオプロセスの開発は、ガス発酵専用の培養設備（局所排気装置内に設置されたジャー培養装置等）で行う。本プロセスでは、供給ガスと発酵後の排出ガスの成分組成を、オンサイトで定量可能にしており、CO の利用効率をタイムリーに評価できる（図 7）。これら最新設備を駆使し、開発したCO資化菌株の発酵条件の最適化や、連続プロセス法の開発検討を行っている。



図 7 専用のガス発酵装置を用いた研究風景

2 階では、開発中の菌株（スマートセル）の詳細な生物機能の解析や改良、副生成物の解析や、バイオプロセス評価などを集中して行うため、必要な機器を整備している。特に、培養の過程で生じる様々な代謝産物の分析を行うため、HPLC による分析システムを充実させている（図 8）。

バイオものづくり実験棟は、研究員が安全にガス発酵を中心とした研究開発を行えるよう、各種法令に対応した安全衛生環境を整備している。



図 8 代謝産物分析専用の HPLC

3.3. PR・今後の展開

バイオ生産法は、化学法では異性体の副生などによって製造が難しい高付加価値な化合物でも、常温・常圧に近いマイルドな条件下で酵素の連続した触媒作用を駆使することで、選択的に合成できるなど優れた点が多く、様々な分野での応用が期待される。本技術開発により、将来、DAC 設備で捕捉回収した CO₂ や、ごみ焼却施設、製鉄所、火力発電所、各種工場などから排出される CO₂ を用いて、様々な化学品や産業活動に必要な燃料のバイオものづくりが可能となれば、RITE が目指すカーボンニュートラルの実現に大きく貢献できると考えている。

RITE は、バイオものづくり産業への参入を希望する企業の期待に応えるため、新しい技術開発に取り組み、事業化に最適な生産菌株を開発し、生産技術を提供する研究活動を、今後もさらに発展させていく。

※¹ この成果は、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）の委託業務の結果得られたものです。

CO₂ を原料として高付加価値な化学品を製造するバイオものづくり手法を確立します。CO₂ 有効利用に興味をお持ちの皆様はぜひお問い合わせください。

お問い合わせ先： RITE バイオ研究グループ
mmg-lab@rite.or.jp

企画調査グループ

グループメンバー(2025 年4月)

グループリーダー・主席研究員	閑念 磨聡	調査役	倉中 聡
サブリーダー・主席研究員	野村 眞	調査役	望月 則孝
サブリーダー	井出 達朗	主任研究員	小林 由美
サブリーダー・主席研究員	小田 直樹	主任研究員	安本 夏子
副主席研究員	青木 好範	主任研究員	二階堂 仁之
副主席研究員	清水 淳一	主任研究員(兼)	山下 裕士
副主席研究員	楠瀬 勤一郎	主幹	眞継 由佳
副主席研究員	東井 隆行	主幹・研究員	松岡 美帆
副主席研究員	谷 徳孝	主任	辰巳 奈美
副主席研究員(兼)	出口 哲也		久保 道代
研究管理チームリーダー	高橋 嶺宏		永田 瑞生

カーボンニュートラル社会の実現に向けて ～人と地球が仲良く出来るように～

1. はじめに

RITE は、時代の潮流を踏まえつつ、人と地球が末永く仲良くできることを念頭に縷々地球温暖化に係る研究開発を行っている。

企画調査グループは、1)国内外の政策や技術動向を把握しつつ、RITE が持つ研究ポテンシャルを活かした新規技術開発課題の探索と提案・実施、2)IPCC(気候変動に関する政府間パネル)に関する政府支援や ISO(国際標準機関)等国際機関との連携、3)RITE 技術の普及啓発や将来世代の人材育成、4)産業連携による技術の実用化といった役割を持ち、研究グループとともに、地球環境と経済の両立を目指した政策支援や技術開発、イノベーション創出について積極的に取り組みを進めている¹⁾。

ここでは、まずカーボンニュートラルに向けた我が国の 2024 年度の動向について概観し、当グループが行っている具体の研究開発について触れることとしたい。

1.1. 2024 年度の我が国の地球温暖化対策を取り巻く動向

2024 年度は、米国のパリ協定離脱などがあったものの、我が国の地球温暖化対策に向けて節目となった年度だったといえよう。

具体的には、2024 年 5 月に「二酸化炭素の貯留事業

に関する法律」(CCS 事業法)²⁾が成立し、日本における CCS の社会実装に向けて大きく前進したことに加え、2025 年 2 月 18 日に、全体を包括する、第 7 次エネルギー基本計画、GX2040 ビジョン及び地球温暖化対策計画が閣議決定され、今後のカーボンニュートラルに向けた弾みがついた。

また、同日に、世界全体での 1.5℃目標と整合的で、2050 年ネット・ゼロの実現に向けた直線的な経路にある野心的な目標として、2035 年度、2040 年度において、温室効果ガスを 2013 年度からそれぞれ 60%、73%削減することを目指す、新たな「日本の NDC(国が決定する貢献)」を、国連気候変動枠組条約事務局へ提出した。

ここでは、第 7 次エネルギー基本計画、GX2040 ビジョン及び CCS 事業法を取り巻く動きについて説明したい。

1.2. 第 7 次エネルギー基本計画

政府は、エネルギー政策の基本的な方向性を示すためにエネルギー政策基本法に基づき、エネルギー基本計画を策定している。今般の第 7 次エネルギー基本計画については、2024 年 5 月から経済産業省総合資源エネルギー調査会において検討を開始し、同年 12 月 17 日に

原案を提示、パブリックコメント等を経て、2025 年 2 月に閣議決定された。

具体的には、令和 3 年 10 月の第 6 次基本計画の策定以降のエネルギー情勢をはじめとした内外の状況変化も踏まえつつ、政府が新たに策定した 2040 年度温室効果ガス 73%削減目標と整合的な形で、第 7 次エネルギー基本計画を策定しており、政府は、本計画と「GX2040 ビジョン」「地球温暖化対策計画」と一体的に遂行し、エネルギー安定供給、経済成長、脱炭素の同時実現に取り組んでいくこととしている。

<概要>

DX や GX による電力需要増加が見込まれる中、それに見合った脱炭素電源を国際的に遜色ない価格で確保できるかが我が国の産業競争力に直結するとの足元の認識が示されている。

エネルギー安定供給と脱炭素を両立する観点から、徹底した省エネ、製造業の燃料転換などを進めるとともに、再エネ、原子力などのエネルギー安全保障に寄与し脱炭素効果の高い電源を最大限活用することとされている。

この中で、RITE に関係の深い部分として、CCS、CDR(Carbon Dioxide Removal)についても述べられており、

- ・ CCS 事業への投資を促す支援制度の検討、コスト低減に向けた技術開発、貯留地開発等に取り組む。
- ・ CDR は、残余排出を相殺する手段として必要であり、環境整備、市場の創出、技術開発の加速に向けて取り組んでいく。

こととされている。

1.3. GX2040 ビジョン

緊迫する海外情勢、DX や電化による電力需要増など、将来見通しに対する不確実性が高まる中、GX に向けた投資の予見可能性を高めるため、より長期的な方向性を示すものとして標記ビジョンが策定された。

具体的には、GX 産業構造を実現すべく、イノベーションの社会実装や、GX を梃子とした「新たな産業用地の整備」と「脱炭素電源の整備」を進め、地方創生と経済成長につなげていくことを目指すなどとされている。

<成長志向型カーボンプライシング構想>

これらを制度面で支える標記構想について、2025 年通常国会に GX 推進法改正法案提出が提出された。

具体的には、一定の排出規模以上(直接排出 10 万トン)の企業は業種等問わず一律に参加義務を課す、排出量取引制度の本格稼働(2026 年度~)や、化石燃料賦課金の導入(2028 年度~)、円滑かつ確実に導入・執行するための所要の措置を整備することとされている。

1.4. CCS 事業法

CCS に関する本法については、2024 年 5 月に成立し、CCS 事業化に向けて弾みがついたところ。最新の動向も含めて、2. にて詳述することとしたい。

2. 調査研究活動

2.1. はじめに

2023 年 6 月には「先進的 CCS 事業」³⁾が選定され、2024 年 5 月には CCS 事業法が公布される等、CCS の事業環境が整備されつつある。また、2025 年 1 月からは「CCS の事業支援措置」⁴⁾に関する詳細議論が進められている。これらの動きのベースとなっているのは、2023 年 3 月に公表された「CCS 長期ロードマップ最終とりまとめ」⁵⁾である。ここでは、企画調査グループの調査研究活動の一貫として実施した国内における CCS 事業環境整備検討の状況調査の結果を紹介する。

2.2. CCS 長期ロードマップ⁵⁾

国内における CCS 事業環境整備を進めるためのベースとなっている「CCS 長期ロードマップ最終とりまとめ」は、2023 年 3 月に公表された。その基本理念は「CCS を計画的かつ合理的に実施することで、社会コストを最小限にしつつ、我が国の CCS 事業の健全な発展を図り、もって我が国の経済及び産業の発展、エネルギーの安定供給確保やカーボンニュートラルの達成に寄与することを目的とする」ことにある。

この長期ロードマップでは、2050 年時点において、年間約 1.2~2.4 億トンの CO₂ 貯留を可能とすることを目安に、2026 年の最終投資決定(FID)をメルクマ

ークとして、2030 年頃までの事業開始に向けて、事業環境整備(ビジネスモデル構築等)を実施し、2030 年以降に本格的な CCS 事業を展開することが目標として示されている。

また、この目標の実現のため CCS 長期ロードマップの具体的アクションとして、(1)CCS 事業への政府支援(先進的 CCS 事業等)、(2)CCS コスト低減に向けた取組、(3)CCS 事業に対する国民理解の増進、(4)海外 CCS 事業の推進、(5)CCS 事業法の整備に向けた検討、(6)CCS 行動計画の策定・見直し、が挙げられている。2024 年 5 月に公布された CCS 事業法や 2023 年度から始まった「先進的 CCS 事業」等は、この具体的アクションにおける(5)と(1)に該当する。

2.3. 事業環境整備検討状況と体制

(1) CCS 長期ロードマップ検討会⁵⁾

CCS は、2050 年カーボンニュートラルを実現するための重要な技術である。一方、CCS の社会実装に向けては、事業化に向けた環境整備が課題となっている。このため、「第 6 次エネルギー基本計画(2021 年 10 月)」において、CCS 長期ロードマップを策定し、これら課題解決に向けた取組を官民で連携して進めていくことが示されており、これを具現化するため、2022 年 1 月に、CCS 長期ロードマップ検討会(以下、長期 RM 検討会)が設立された。

この長期 RM 検討会では、まず、2022 年 1 月～5 月の期間において計 5 回の議論が行われ、5 月に「中間とりまとめ」が公表された。その後、2022 年 9 月からは、「CCS 事業の国内法整備に向けた課題」および「CCS バリューチェーン全体での現状コストと将来のコスト目標、政府支援の在り方」等をより深掘りするため、2 つのワーキング「CCS 事業・国内法検討ワーキンググループ」、「CCS 事業コスト・実施スキーム検討ワーキンググループ」が設置され、2022 年 12 月までの間にそれぞれ 4 回のワーキングが開催され議論がなされた。これらワーキングでの議論の結果を踏まえ、2023 年 1 月に第 6 回長期 RM 検討会が開催され、「CCS 長期ロードマップ最終とりまとめ」が取り纏められた。

(2) カーボンマネジメント小委員会⁶⁾

「CCS 長期ロードマップ最終とりまとめ」の内容を踏まえ、CCS 事業化に向けて、政府支援の在り方や、CCS 事業法の整備等をより具体的に検討し、企業による CCUS の技術を活用したカーボンマネジメントを推進するため、総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会の下、2023 年 9 月に「カーボンマネジメント小委員会(以下、CM 小委)」が設置された。

CM 小委では、まずは、CCS に係る制度的措置の在り方について、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 産業保安基本制度小委員会との合同開催にて、2023 年 9 月から 12 月の期間において、計 4 回の議論が行われ、2024 年 1 月に「中間とりまとめ(CCS に係る制度的措置の在り方について)」が公表された。

また、2024 年 9 月からは事業支援の枠組み検討のための議論が再開している。12 月までに 4 回の議論が行われ、第 8 回の CM 小委(2024 年 12 月)で示された「CCS 支援制度のたたき台について」では、2025 年の年央を目処に CCS 支援制度の中間とりまとめを行う予定が記された。

(3) 二酸化炭素貯留事業等安全小委員会⁷⁾

CCS に係る制度的措置の在り方の議論については、産業保安基本制度小委員会との合同開催であったが、CCS 事業法公布(2024 年 5 月)以降においては、CCS 事業に係る保安規制に関する制度立案や執行状況等について議論・検討を行う場として、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会の下、2024 年 8 月に「二酸化炭素貯留事業等安全小委員会」が設置された。これまで 3 回の議論が行われ、試掘、導管輸送、貯留に係わる法令等についての審議が進められている。

(4) CCS 事業の支援措置に関するワーキンググループ⁴⁾

前述のとおり、第 8 回 CM 小委では CCS 事業への支援制度のたたき台が示され、今後は、CCS 事業への支援制度の詳細設計について、実務者レベルにて検討を進め、2025 年年央を目処に、中間取りまとめを行う方針となっている。そのため、CM 小委の下、2025 年 2 月に「CCS 事業の支援措置に関するワーキンググループ(以下、支援措置 WG)」が設置された。2025 年 5

月まで、月 1 回程度の頻度で支援措置 WG が開催される見込みである。

(5) その他^{8) 9)}

CO₂ の船舶輸送における仕様共通化および、それに伴う輸送コストの低減を目指すための「LCO₂ 船舶輸送バリューチェーン共通化協議会」(2024 年 9 月設置)や

二酸化炭素の貯留事業に関する法律に基づいて適切に試掘や貯留事業を進めるために必要な技術面での助言を行う場として、「二酸化炭素地中貯留評価検討会」(2024 年 12 月設置)が設置されている。

以下に(2)から(5)に記載の審議会等の体制図を示す。

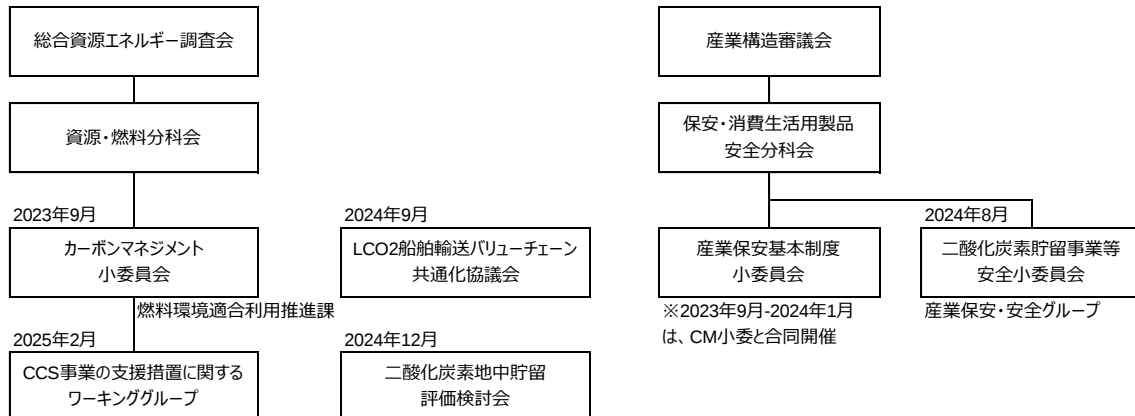


図 1 審議会等の体制図

2.4. CCS 事業法と関連する政省令¹⁰⁾

CCS 事業法は、2024 年 5 月 17 日に成立し、5 月 24 日に公布されている。この内、探査に関する規定は法律の公布日から三月を超えない範囲で 8 月 5 日に施行され、試掘に関する規定は六月を超えない範囲として、11 月 18 日にそれぞれ施行されている。なお、貯留事業・導管輸送事業に関する規定は二年を超えない範囲(2026 年 5 月 23 日まで)で施行される。その他関連政省令についても順次施行されている。

CCS 事業法は国内で CCS を行うための事業環境を整備する規制法で、

- ① 試掘・貯留事業の許可制度を創設し、経済産業大臣が特定区域を指定、事業者に対して許可を与えるもので、試掘や貯留事業の具体的な実施計画は、経済産業大臣の認可制とした。
- ② CO₂ の導管輸送事業に係る事業規制・保安規制の整備については、経済産業大臣への届出制度を創設した。

詳細は、経済産業省ホームページ(政策について> 資源・燃料> CCS 政策について> CCS 事業法関係につ

いて)にて、公表されている。

2.5. CCS 事業支援に係る動向⁴⁾

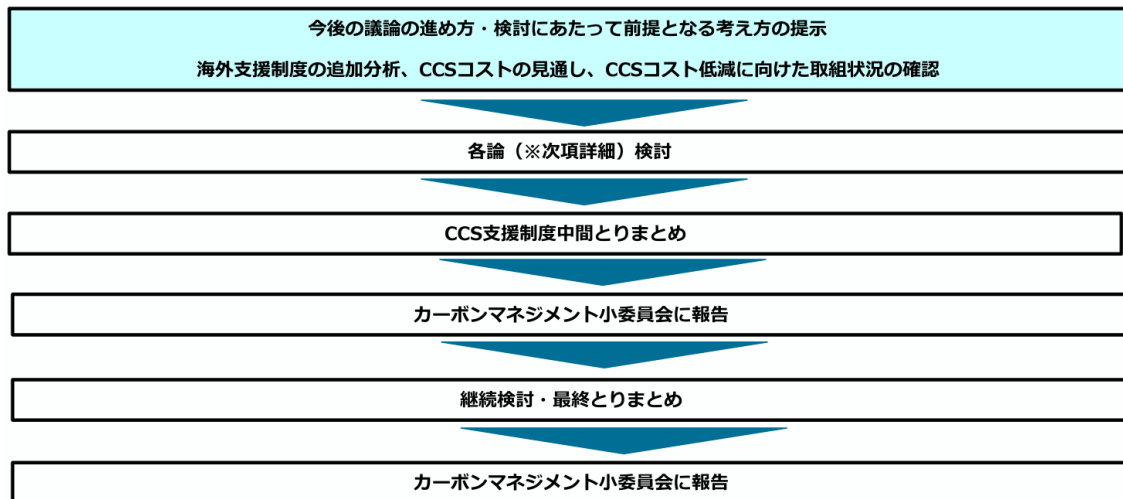
温暖化対策としての CCS 事業は、事業収益等の資金メカニズムが確立されていないこと等から事業の予見可能性は必ずしも高くない。そのため、欧米では CCS に要する費用と CO₂ 対策費用のコスト差に着目した支援や比較的高い補助率での支援措置を講じている。国内においても政府による支援により、CCS を先行的に事業化することで、CCS 事業の自立化を図るとともに、コスト競争力のある CCS バリューチェーンを構築することが可能となる。そのため、2.3.(4)に記すとおり、CM小委の下に支援措置 WG が設置され、2025 年夏頃を目処に「CCS 支援制度」の中間とりまとめの議論が進められている(この結果は、親委員会であるカーボンマネジメント小委員会に報告される)。

支援措置 WG の設置以降、2025 年 3 月末までに 3 回の議論がなされている。4 月以降も毎月 1 回のペースでの会議が予定されている。大きな方向性は CCS に要する費用と CO₂ 対策費用のコスト差に着目した支援で

ある。また自立化を促進するような方向性が示されている。

当面は、「国内パイプラインケース」の支援策を優先的

に検討するが、船舶輸送ケースについても「中間とりまとめ」を出した上で、その後、検討を実施し「最終とりまとめ」として報告される予定である。



出展：第1回 CCS 事業の支援措置に関するワーキンググループ(2025年2月5日)，

資料6 ワーキンググループの進め方と前提となる考え方について，

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/ccs_wg/pdf/001_06_00.pdf

3. イノベーション創出のための国際連携

3.1. IPCC(気候変動に関する政府間パネル)

IPCC は、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)により設立された。ここでは、地球温暖化に関する科学的知見を収集・評価し、温暖化予測(第1作業部会)、影響と適応(第2作業部会)、緩和策(第3作業部会)からなる報告書の作成を行っている。

IPCC では世界の科学者による論文や観測データ等に基づき、各国から推薦されて選ばれた専門家が報告書の取りまとめを行っており、科学的分析に加え、社会経済への影響、気候変動を抑制する対策など多角的な評価・検討が行われている。また、この成果は、各国の政策にも科学的根拠を与えるため、ここからの報告書は国際交渉にも高い影響力を持つと考えられている。

RITE では、緩和策(第3作業部会)の国内支援事務

局を担い、研究開発・調査と政策を結びつける役割を担っている(図2)。IPCC では、2023年7月から第7次評価サイクル(AR7)の活動が開始し、気候変動と都市に関する特別報告書、短寿命気候強制力因子(SLCF)に関する方法論報告書の執筆を行っている。2025年2月の総会で各作業部会報告書のアウトラインが承認されて、今から執筆者の選考と執筆が行われる。また、二酸化炭素除去(CDR)技術・炭素回収利用及び貯留(CCUS)に関する方法論報告書を作成することも決定している。RITE はここでも、情報収集・分析・報告・助言等を通じて支援を行っている。

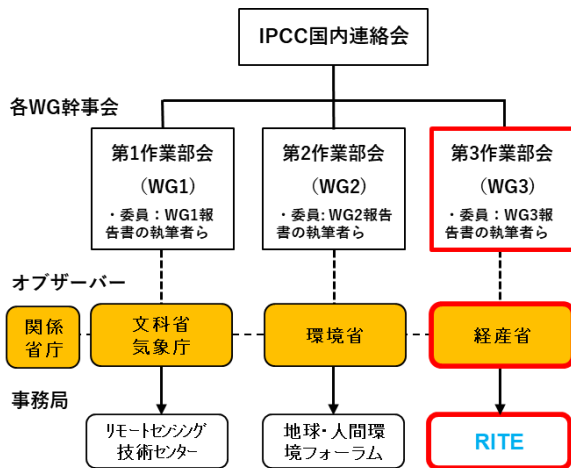


図2 IPCC国内連絡会とRITE

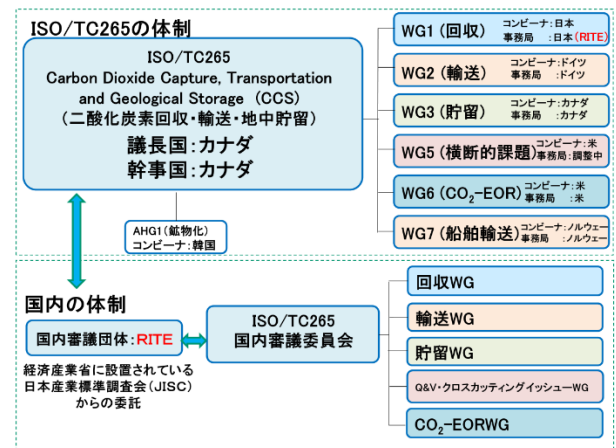


図3 ISO/TC265の各ワーキングと国内体制

3.2. ISO(国際標準機関)

ISOは、173のメンバー国で構成される組織であり、国家間に共通な標準規格を提供し、世界貿易を促進している。ISOの標準を使用することで、安全・信頼性が高く、質の高い製品・サービスの提供が可能である。

すでに諸外国では、多くの実証試験、商業規模でのCCS事業も実施され、国際連携が進められるとともに、関連技術の国際標準化の枠組みが求められている。CCSの国際標準化によって、安全と環境面で、国際的に合意された知見に沿っていることが保証されるため、安全で適切なCCSの普及に貢献することが可能である。

RITEは、ISO/TC265(CO₂の回収、輸送、貯留)の国内審議団体であるとともにWG1(回収)の事務局を担当しており、CCS分野における設計、建設、操業、環境計画とマネジメント、リスクマネジメント、定量化、モニタリングと検証の国際標準化に関し積極的に活動している(図3)。

2025年3月末時点で、ISO/TC265からCCS分野に係る規格類は15件発行されているとともに、5件の文書が開発中である。新規分野についても検討を開始しておりTC265全体の活動が活発化している。特に、排出源からCO₂圧入域までの輸送手段として注目されているCO₂船舶輸送の技術報告書が、2024年10月に出版された。現在は船舶と陸上設備とのインターフェースに関する技術報告書を日本から新規提案中である。

4. 普及啓発・人材育成と知財戦略、産学連携の推進

4.1. 普及啓発・人材育成

RITEでは次代の研究者育成のため、さまざまな普及啓発と人材育成活動を実施している。ここでは、小中高生と大学／大学院生に分けて説明する。

<小中高生>

地球温暖化問題に関する次世代への教育が重要であり、RITEでは小中高生を対象に研究所施設を用いた校外学習の受け入れや学校を訪問して授業を行う出前授業を進めている。2024年度は7校227名の生徒に対してRITEが取り組む研究の中からCCS技術を取り上げ、地球温暖化メカニズムを知識として説明し、主要温暖化ガスであるCO₂を地中に貯留しても粘土層(遮蔽層)によって漏洩の可能性が低いこと、さらに考察と意見交換を通じて理解を深めるといった学習サイクルに基づく活動を実施している(図4)。

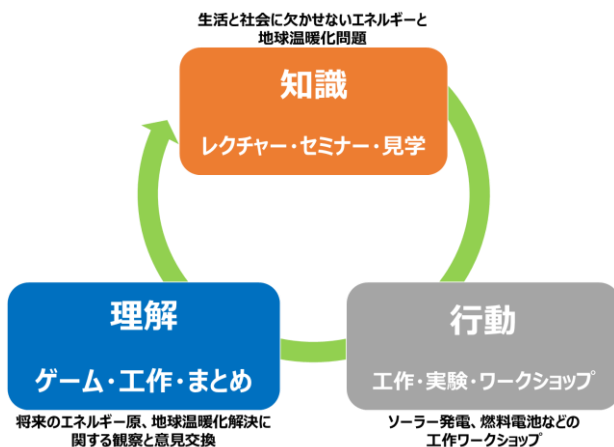


図4 RITEにおける小中高生に対する普及啓発

<大学・大学院生>

次代の研究や技術を支える人材育成の一環として大学・大学院との教育連携を進め、RITE 研究者の教授等への兼務を行うとともに、大学院生を中心とした若手人材の研究現場への受け入れを行い、大学における教育と研究所における研究指導を展開している(図5)。例えば、奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス領域の大学連携研究室をRITEに設置し、単なる技術開発だけでなく、グローバルな生産・消費システムの理解の上に、植物を原料とし、バイオマスを有効に利用した再生可能資源による循環型および低炭素の社会実現を目指した研究と教育を進めている。また、物質創成科学領域との連携研究室も設置し、CO₂ 分離回収技術の研究と教育についても進めている。

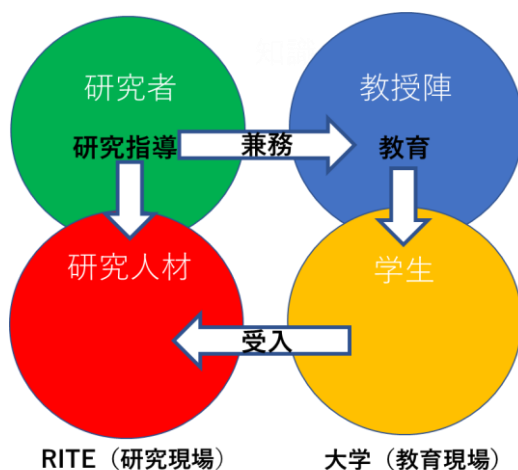


図5 RITEにおける大学・大学院生に対する人材育成

4.2. 知財と産業連携

RITE は、研究開発等で得られた研究成果について、特許、ノウハウ等の知的財産権を戦略的かつ効率的に取得・管理し、さらに積極的な活用を行うことにより、公益目的である、地球環境の保全に資する産業技術の進歩向上を図ることとしている。

このような研究成果の知財化は、企業等との産業連携機会を産み、共同研究および共同出願により、さらなる知財を生み出すという好循環により、社会貢献することができ。RITE では、こういった知的財産権の持つ多様な機能に着目し、市場や他の研究開発動向なども踏まえつつ、戦略的に知財活動を推進している。

こうした知財戦略推進の一環として、RITE 幹部を委員とし、広報・産業連携チームを事務局とした「特許等審議委員会」を内部に設置し、研究グループからの申請により、発明の認定、国内および外国への特許出願、および審査請求、特許権維持等といった知財の取得・管理、ならびにライセンス契約の承認等といった知財戦略を、主な議事内容として運営を行っている。

2025 年 3 月末時点で、RITE が単独または共同で出願人となっているものの内、出願・審査中の特許は、国内出願が 21 件、外国出願が 12 件であり、登録された権利を維持している特許は、国内権利 63 件(うち企業にライセンス中 3 件)、外国権利 40 件(同、3 件)である。

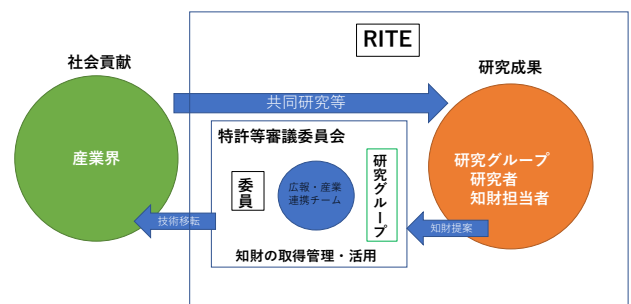


図6 知財戦略と産業連携の推進

5. おわりに

RITE は設立以来、抜本的な CO₂ 削減を実現するための革新的エネルギー・環境技術の研究開発を推進するとともに、地球温暖化対策シナリオを作成して政策提言

につながってきた。

ここで概観した内外動向等を踏まえ、RITE 大で時代に即応した研究開発を引き続き推進し、イノベーションとして結実するよう取り組むこととしたい。

また、研究開発の実用化にあたっては、社会受容性の涵養が必要であるが、今年は 2025 大阪・関西万博への「RITE 未来の森」出展という好機である。これをはじめとする種々の広報ツールやわかりやすい説明などに意を払い、地球温暖化への認知・理解の更なる促進を図ることとしたい。

参考文献

- 1) RITE, “RITE の役割: 地球環境と経済の両立を目指して”, <https://www.rite.or.jp/about/>
- 2) 経済産業省 政策について, 資源・燃料, CCS 政策について, CCS 事業法関係について, https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/carbondioxidecapture_and_storage/CCS_business.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 3) 経済産業省ニュースリリース, CCS 事業化に向けた先進的取組, <https://www.meti.go.jp/press/2024/06/20240628011/20240628011.html>, (2025 年 3 月アクセス)
- 4) 経済産業省 審議会・研究会, CCS 事業の支援措置に関するワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/ccs_wg/index.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 5) 経済産業省 審議会・研究会, CCS 長期ロードマップ検討会, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/index.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 6) 経済産業省 審議会・研究会, カーボンマネジメント小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/index.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 7) 経済産業省 審議会・研究会, 二酸化炭素貯留事業等安全小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/carbon_dioxide/index.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 8) 独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC), LCO2 船舶輸送バリューチェーン共通化協議会, https://www.jogmec.go.jp/ccs/advancedsupport_003.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 9) 経済産業省 審議会・研究会, 二酸化炭素地中貯留評価検討会, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_dioxide/index.html, (2025 年 3 月アクセス)
- 10) 経済産業省, 政策について, 資源・燃料, CCS 政策について, CCS 事業法関係について, https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/carbondioxidecapture_and_storage/CCS_business.html, (2025 年 3 月アクセス)

システム研究グループ

グループメンバー(2025 年 4 月)

グループリーダー・主席研究員	秋元 圭吾	主任研究員	原田 洋
サブリーダー・副主席研究員	永田 敬博	主任研究員	中野 優子
主席研究員	小田 直樹 (企画調査グループ兼務)	主任研究員	大西 尚子
副主席研究員	藤崎 亘	主任研究員	橋本 照子
主任研究員	和田 謙一	研究員	榎田 仁次
主任研究員	長島 美由紀	研究員	安藤 輝尚
主任研究員	本間 隆嗣	研究員	Jubair Sieed
主任研究員	佐野 史典	研究助手	山本 清美
主任研究員	林 礼美	研究助手	斎藤 美三子
主任研究員	伏見 温子	研究助手	工藤 幸子
主任研究員	望月 則孝 (企画調査グループ兼務)	研究助手	南村 良子

システム研究グループの研究活動報告

システム研究グループは、システム的な思考、システム的な分析を通して、地球温暖化やエネルギー対応に関する有用なる情報提供を国内外に行ってきた。

2025 年 2 月に、第 7 次エネルギー基本計画¹⁾、地球温暖化対策計画²⁾、GX2040 ビジョン³⁾が閣議決定された。RITE では、これらのそれぞれの議論において、モデルを用いた定量的なシナリオ分析を提示し、計画策定への支援材料を提供した。本報告では、エネルギー基本計画の議論において提示したシナリオ分析について解説する。

1. エネルギー基本計画に関するシナリオ分析の背景

2015 年末の気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)で合意された「パリ協定」⁴⁾が 2016 年 11 月に発効した。パリ協定では、全球平均気温上昇を産業革命以前比で 2℃を十分下回るようにし、1.5℃未満も追求するとされた。その後、2021 年 11 月には第 26 回締約国会議(COP26)が英国グラスゴーで開催され、世界の平均気温の上昇を 1.5℃に抑える努力を追求することを決意すると合意した。一方で、パリ協定で規定されている各国が自主的に誓約する排出削減目標(Nationally Determined Contributions: NDCs)の深掘りは進んでおらず、NDCs がすべて達成されたとしても、1.5℃のみならず、2℃目標の排出経路

とも大きなギャップが残っている⁵⁾。しかも、足下での排出推移からは多くの国で NDCs 達成が難しいと見られる状況になってきている。国際社会は、気候変動対策の強化の必要性については概ね認識を一にしているものの、具体的な対応については温度差がある。グローバルでカーボンニュートラル(CN)の達成を目指すうえでは、各国の掲げる野心や政策強度の違いによる、競争上の不公平性を是正し、カーボンリーケージを防止したうえで対応していく必要がある。

日本政府は、2019 年 6 月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」⁶⁾を策定し、そこでは「21 世紀後半のできるだけ早い時期に実質ゼロ排出を目指す」とした。そして、2020 年 10 月には、菅首相(当時)が所信表明演説で「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」と宣言した。また、2021 年に地球温暖化対策計画を改定し⁷⁾、2030 年の NDCs としての温室効果ガス(GHG)排出削減目標を、従来の 2013 年度比 26%減から 46%減と変更した。そして更に 50%減の高みを目指すともした。

他方、2022 年にはエネルギー安全保障・安定供給の問題が顕在化した。ロシア・ウクライナ情勢からの化石燃料価格高騰や、2022 年 3 月の電力需給逼迫等により、エネルギー安全保障・安定供給の課題を再認識し、岸田首相(当時)の下、2023 年 2 月には「GX(グリーントラ

ンスフォーメーション)実現に向けた基本方針⁸⁾が閣議決定された。

このような中、2024 年 12 月には、第 7 次エネルギー基本計画¹⁾、地球温暖化対策計画²⁾、GX2040 ビジョン³⁾が策定され、2025 年 2 月に閣議決定がなされた。そこでは、2035 年および 40 年の GHG 排出削減目標をそれぞれ 60%減、73%減(いずれも 2013 年度比)とするとされ、2025 年 2 月に日本の NDC として国連気候変動枠組条約(UNFCCC)への提出もなされた。これら計画等は、気候変動への取り組みが国内外で強化される一方で、エネルギー安全保障・安定供給リスク、また、気候変動対応や貿易関係などの様々なリスクが顕在化してきていることへの対応の強化が必要になってきていることにも対応したものであり、産業政策とエネルギー、気候変動対策を一体的に実施していこうとするものである。

2. カーボンニュートラルに向けた対策の概要

第 7 次エネルギー基本計画等の分析においても、これまでの日本政府の方針に沿って、原則 2050 年までの CN を前提とした分析が要請された。そこで、モデル分析の解説の前に、本節では、CN 実現のための対策の全体像を確認しておきたい。

CN の実現について、一次エネルギー供給の視点で記載したのが図 1 である。CN はエネルギーの脱炭素化が不可欠であるが、脱炭素化に貢献し得る各エネルギーには、技術的、社会的、経済的な制約がある。そのため、全体コストの最小化の視点も踏まえると、省エネルギー(省エネ)は CN 実現においても重要である。個別の技術の省エネを超えて、シェアリング経済、サーキュラー経済の実現をもたらすような、デジタルトランスフォーメーション(DX)による社会変化が重要になってくると考えられる。

その上で、一次エネルギーとしては、原則、再生可能エネルギー(再エネ)、原子力、CO₂ 回収貯留(CCS)付きの化石燃料・もしくは CO₂ 除去(CDR)技術で構成することが必要となる。そして、最終エネルギーとしては、電化を進めることが重要な CN 対策となる。電力は原子力

や再エネ等の直接的な対策がある一方、非電力はこの後に説明する水素系エネルギー等への転換が必要のため、高コストになりやすい。そのため、ヒートポンプ給湯器や電気自動車など、電化を促進することは重要である。他方、電化に不向きな高温の需要用途も多く存在するし、個人需要家は多様で一様の電化は物理的にも経済的にも難しく、エネルギー種を適切に組み合わせることが重要となる。

また、太陽光や風力発電の変動性の再生エネ(VRE)は、大量に導入すると時間帯によっては余剰になることが多いため、蓄電池等への貯蔵とともに、水素エネルギーへの転換も重要な対策となり得る。ただし、国内の太陽光、風力発電は、一般的に、海外に比べてコストや量の制約が大きいと、経済合理性の点から、海外の再エネや CCS 付きの化石燃料を水素に転換した上で活用することも考えられる。更に、利便性を高めるため、窒素や回収した CO₂ の炭素を水素に付加して、アンモニアや合成メタン(e-methane)や合成燃料(e-fuels)にして利用することも重要性が高いと考えられる。e-methane や e-fuels は、CO₂ を回収し水素と合成するプロセスが追加的に必要なものの、水素を直接運ぶためには液化水素等にする必要があるが、それよりも安価に運ぶことができる。また、既存のガス・石油インフラ、そして既存のガス機器や内燃機関自動車等を利用しながら、CN を実現できるという長所がある。いずれにしても、水素や水素系エネルギーは、電力同様、二次エネルギーとして様々な一次エネルギーから製造でき、また、多くの利用先があり、そして実質ゼロ排出を実現し得る。なお、後述のモデルを用いた経済計算からは、水素や水素系エネルギーは、海外輸入が支配的となっている。

モデル分析では、CN に至る移行過程も含め、各種エネルギーのコスト・ポテンシャルの想定の下、国内のみならず、国外からの輸入を含めて、費用最小となるエネルギーシステムを導出している。

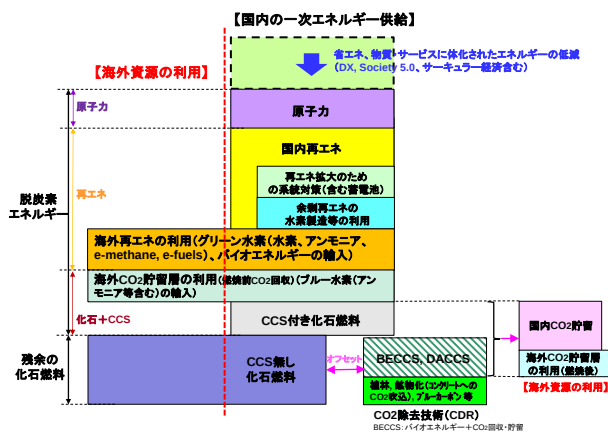


図1 CNに向けた対応概要：一次エネルギー供給

3. シナリオ想定と分析手法

3.1. シナリオ想定

シナリオ分析の手法、モデルの概要を説明する前に、政府審議会に提示したシナリオの概要について解説する。表1に想定したシナリオを示す（審議会には、これに加え、「原子力ゼロシナリオ」も提示しているが、紙面の都合により割愛した）。表1には第7次エネルギー基本計画のエネルギー需給見通しでのシナリオ名とのRITEシナリオ名との関係性についても記載している。また図2に、これらシナリオの位置づけを示す。エネルギー基本計画は、将来のこうありたい目標を示す性格のものであるため、RITEが分析し審議会に提示した、こうなってしまう恐れがあるというリスク発現シナリオである、「低成長シナリオ」は含まれていないことに注意されたい。

原則的に、既往の政府目標である1.5℃、2050年CN、2030年▲46%を想定した。その上で、2040年については政府から提示の▲73%（線形削減）を想定した。技術進展が、革新的に幅広く急速に進み、また技術普及障壁も小さいと想定したシナリオが「成長実現シナリオ」であり、「低成長シナリオ」では、技術進展が漸進的に留まると想定した。この時の経済リスクを回避し、排出量制約を少し緩和し、炭素価格でシナリオ分析を行ったのが、「排出上振れリスクシナリオ」である。このとき、炭素価格は、NGFSの3モデルによって策定された、2050年CNシナリオであるNet Zero 2050の炭素価格の平均値を採用した。

3.2. 分析手法・モデル概要

本節では分析手法・モデル概要について記載する。モデルの詳細については、各シナリオにおける詳細な技術の将来見通し想定とあわせて、文献9、10)等を参照されたい。図3に、シナリオ分析の流れを記載した。

表1 想定したシナリオ

排出削減シナリオ	RITEシナリオ名	政府審議会提示シナリオ名	シナリオ概要
2040年▲73%+2050年CN (世界1.5℃未満)	成長実現シナリオ	革新技术拡大	排出削減対策が広範に順調に技術進展する。国際的な排出削減協定も順調で、日本の国際的な相対的エネルギー価格差が適度に収まる。日本の温暖化対策技術が海外にも広く普及。経済と環境の好循環を実現し得る。
	再エネシナリオ	再エネ拡大	再エネの社会共生制約小・コスト低減加速
	水素系燃料シナリオ	水素・新燃料活用	合成メタン(e-methane)・合成燃料(e-fuels)・アンモニアを含め、水素系エネルギーのコスト低減加速
	CCSシナリオ	CCS活用	CO2貯留の社会障壁小。経済合理的な範囲で広範に普及
	【極端リスク】低成長シナリオ(参考)	—	技術進展が漸進的。CN対策のため、他国との日本の国際的な相対的エネルギー価格差が拡大。産業の海外移転進展し、経済の大幅な停滞リスク発現
炭素価格シナリオ：技術進展等の不確実性下でのリスク対応の経済と環境の好循環シナリオ (販賣目標としては、2040年▲73%+2050年CNだが、炭素価格として排出削減費用をターゲットとし、技術・社会情勢の不確実性により、結果としての排出量は変化)	排出上振れリスクシナリオ	技術進展	技術進展は「成長実現シナリオ」相当が実現できず、再エネ、CCS・CDR、水素系エネルギー、原子力等の技術進展・普及が抑制的。そのため、海外との相対的なエネルギー価格差が広がることから、経済と環境の好循環維持のため、炭素価格政策水準も抑制的となる社会像

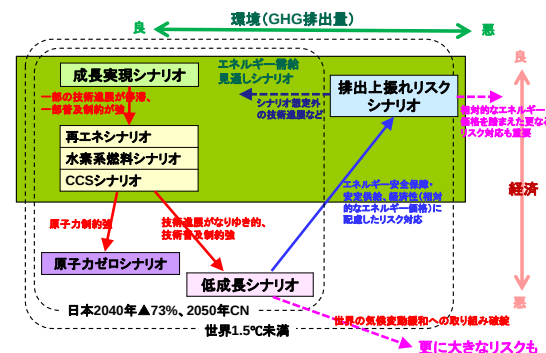


図2 各シナリオの位置づけ

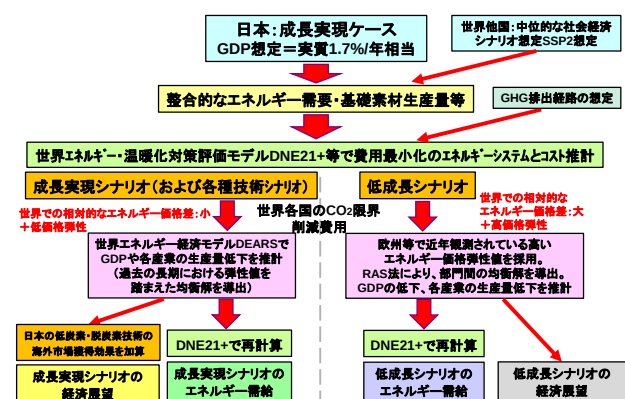


図3 シナリオ分析の流れ

エネルギーシステムの分析は、世界エネルギー・温暖化対策評価モデル DNE21+を用いた。DNE21+は、世界を 54 地域に分割し、2000～2100 年の間を動的に評価するモデルである。技術積み上げ型のモデルであり、エネルギー供給側のみならず、エネルギー多消費産業、家庭、運輸など需要側について多くの技術が積み上げ評価されており、具体的な対策を提示可能である。

DNE21+はエネルギーシステムのみを評価する部分均衡型モデルであり、マクロ経済全体への影響は評価できない。現状では、海外との相対的なエネルギー価格差も手伝って、エネルギー多消費産業を中心に、先進国から途上国への移転が進んできている。しかし、DNE21+では、外生的に鉄鋼や化学等の生産量シナリオを想定するため、生産量自体の海外移転を内生的に評価できない。そこで、図3に示すように、一般均衡型の世界エネルギー経済モデル DEARS も用いてシナリオ分析を行った。DEARS モデルは、国際産業連関表 GTAP をベースに構築しているが、最近では、欧州等で電力・エネルギーの価格弾性が高まっている観測も見られている。グローバル化した世界の中、相対的なエネルギー価格差に企業は早い対応をしている可能性がある。GTAP データベースは整備に時間遅れが大きく、最近の状況を反映できていない可能性もある。そこで、「低成長シナリオ」では、エネルギーの価格弾性が高い報告の数値(▲1.0)を採用し分析した。これら推計結果から、DNE21+モデルのエネルギー多消費産業・輸送機械産業の生産量の見通しを修正、再度計算し、エネルギーシナリオを提示した。

4. 分析結果

本節では、シナリオ分析結果を示す。

4.1. コスト・経済影響

表2にCO₂限界削減費用を示す。

「成長実現シナリオ」であっても、2040年▲73%、2050年CNを実現するにはかなり高い費用が必要になると分析される。実現のためには、本分析で想定できなかったような更なるイノベーションも必要とも考えられる。

「低成長シナリオ」では、CO₂限界削減費用のより一層

の増大が推計される。また、海外との相対的な費用も大きくなり、結果、相対的なエネルギー価格差が広がる。なお、ここでは、世界全体で1.5℃未満を実現することを前提とした分析を行ったが、実際には、世界は斑模様であり、国によってはベースラインに近い対策しかない可能性もある。この場合、「低成長シナリオ」の電力価格と他国の電力価格は、より一層広がる可能性もあるので、ある程度、柔軟な排出削減対応も見据えることは重要である。

そのような状況に対応するシナリオが「排出上振れリスクシナリオ」であるが、「排出上振れリスクシナリオ」では、2050年CN(1.5℃未満)相当の炭素価格を世界全体に想定したため、CO₂限界削減費用(炭素価格)は世界一律となっており、「成長実現シナリオ」よりも若干低めの価格となっている。「排出上振れリスクシナリオ」では、技術進展が現状のペースに留まると想定したが、排出制約ではなく、一定の炭素価格での想定をしたため、エネルギーコスト、電力コストは、「成長実現シナリオ」レベルに留まっている。

表2 CO₂限界削減費用

	成長実現シナリオ		再エネシナリオ		水素系燃料シナリオ		CCSシナリオ		低成長シナリオ		排出上振れシナリオ	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050
日本	301	578	369	716	467	742	396	892	538	951	257	500
米国	294	262	350	348	409	454	362	350	410	467	257	500
英国	294	317	350	387	419	558	369	452	428	579	257	500
EU	298	413	350	516	409	648	362	541	410	664	257	500
その他	294	262	350	348	409	454	362	350	410	467	257	500

単位: USD/tCO₂ (2000年価格)
注) 一部の国抜粋表示

表3には、日本への経済影響を示す。「成長実現シナリオ」では、急速な技術進展を見込んでいるが、それでも、表2で見られるような高い炭素価格によって、GDPでは2040年▲4.1%、2050年▲5.6%が見込まれた。鉄鋼では2040年▲3.9%、2050年▲11%である(たとえば、2050年では潜在的な粗鋼生産量は9000万トン/年と見込んだが、▲11%によって8000万トン/年に低下)。ただし、世界が1.5℃目標に向けて取り組む場合には、環境調和製品等の海外市場の獲得効果も

期待され、推計には大きな不確実性が存在するものの、5%ポイント程度の上昇が見込まれた。そのため、潜在的な経済成長の見通し程度(2040 年では若干の増)を実現し得るシナリオとなっている(2023~40 年の経済成長率は人口低減効果を織り込んで1.5%/年の推計)。

「低成長シナリオ」では、技術進展が漸進的であることから、日本は相対的に安価な脱炭素エネルギーへのアクセスが海外に比べて一層乏しい状況となり、結果、海外との相対的なエネルギー価格差が広がり、海外への産業移転が大きくなる可能性が示されている。鉄鋼、化学産業では、ベースラインに比べ40%程度の極めて大きな生産量の低下が推計される。また、自動車産業(輸送機械)でも、同様の水準の生産量低下が推計される。GDP全体でも、13~14%程度とかなり大きな低下となる。技術進展がそれほど進まない中で、2050 年 CN に向けて直線的に排出削減を進めれば、「低成長シナリオ」の分析結果が示すような世界は十分起き得ると考えられる。これを避けるためのシナリオが排出上振れリスクシナリオである。

表 3 日本への経済影響:成長実現・低成長・排出上振れリスクシナリオ

ベースラインからの低減率	成長実現シナリオ (DEARS)		低成長シナリオ (価格弾性: ▲1.0、所得弾性: 1.0 + RAS法)		排出上振れシナリオ (DEARS)	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
鉄鋼	-3.9%	-11.0%	-41%	-46%	-3.6%	-11.0%
(生産量 [億トン/年])	(0.86)	(0.80)	(0.53)	(0.49)	(0.86)	(0.80)
化学	-3.7%	-11.2%	-35%	-40%	-3.3%	-10.7%
窯業土石(セメント含)	-2.1%	-2.7%	-30%	-34%	-1.7%	-3.8%
非鉄金属	-1.4%	-2.7%	-35%	-39%	-1.2%	-5.0%
紙/パ	-3.5%	-6.3%	-33%	-37%	-3.1%	-7.2%
輸送機械	-4.1%	-6.9%	-42%	-47%	-4.7%	-8.2%
GDP (CO2削減技術の海外市場獲得効果含まず)	-4.1%	-5.6%	-13%	-14%	-3.6%	-5.9%
GDP, GNI (海外市場獲得効果含む)	内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率を若干上回る水準 (海外市場獲得効果: +4%~+5%程度)		上記とほぼ同様 (海外市場獲得効果は期待できず)		内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率とほぼ同等の水準 (海外市場獲得効果: +3~+4%程度)	
経済成長率: 2023年からの年成長率	+1.5%/年	+1.2%/年	+0.6%/年	+0.7%/年	+1.4%/年	+1.2%/年

「排出上振れリスクシナリオ」では、技術進展が「成長実現シナリオ」のように急速に進まず、「低成長シナリオ」と同程度の想定であり、このシナリオにおいては、排出量が上振れする(2040 年▲61%、2050 年▲79%)ものの、経済影響としては、「成長実現シナリオ」と大差のないものと推計された。経済活動の大きな落ち込み、また、炭素制約による産業の海外移転は避けるべきで

あり、そのようなリスクに対応し得るシナリオとなっている。

4.2. エネルギー需給

図 4 に日本の一次エネルギー供給量を示す。一次エネルギー供給量は、2040、2050 年にかけて、いずれのシナリオでも大きな低減が見られる。再エネの拡大、CCS の利用が経済合理的であり、また、水素、アンモニア、e-methane、e-fuels の輸入も経済的な対策と評価された。「低成長シナリオ」では、一次エネルギー供給量、発電電力量ともに相当抑制的となる。他方、「排出上振れリスクシナリオ」では、水素系エネルギーの輸入は小さくなり、LNG はほぼ現状水準が経済合理的となっている。

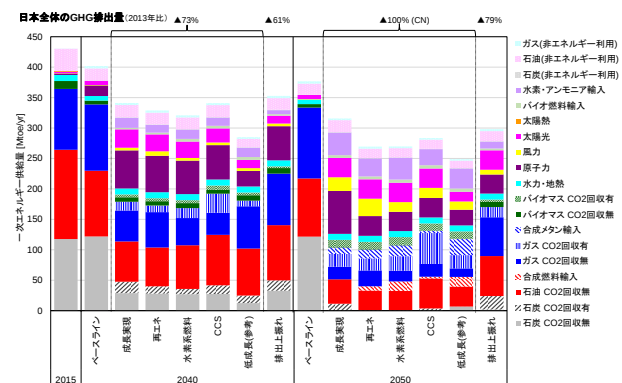


図 4 日本の一次エネルギー供給量

図 5 に日本の最終エネルギー消費量を示す。電化率を高めることが経済合理的な対策であり、最終エネルギー消費量の大幅な低下が求められる。他方、産業、民生、運輸のどの部門においても、完全な電化は経済合理的ではなく、水素、アンモニア、e-methane、e-fuels、バイオ燃料も組み合わせることが経済合理的な対策となっている。最終エネルギー消費量計では、2040 年の電化率は、▲73%シナリオでは38~44%、2050 年 CN 時では54~57%となっている。

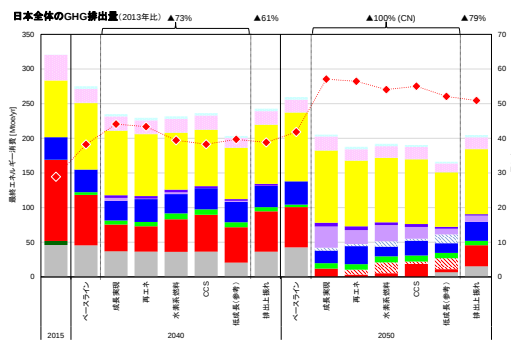


図 5 日本の最終エネルギー消費量

発電電力量(図 6)は、本来、IT 需要等で潜在的には増大が見込まれるが、相対的に高いエネルギー価格となれば、産業の海外移転を含め、生産量が低下しながら、エネルギー消費量を抑制することが必要になる。経済性の高い電源投資には長いリードタイムも必要なことが多く、電力需給逼迫をしないためにも、「低成長シナリオ」を実現しない予見性の高いエネルギー・気候変動政策が重要と言える。

「排出上振れリスクシナリオ」では、2050 年までは、LNG 発電(コジェネ、CCS 付き含む)の比率は現状レベル程度が経済合理的な結果となっている。

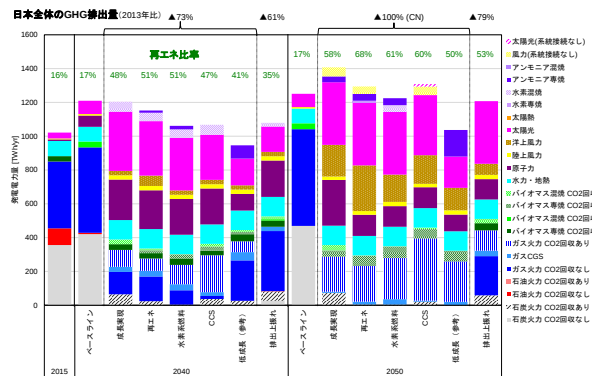


図 6 日本の発電電力量

図 7 に部門別の最終電力消費量を示す。いずれのシナリオも 2040 年に向けて電力需要は増大が見られる。また、2050 年に向けては、IT 需要、電化需要の一層の高まりにより、さらに増大が推計される。「成長実現シナリオ」では、2040 年 1081、2050 年 1210 TWh/年である。2040 年については、「水素系燃料シナリオ」、「CCS シナリオ」は、CO₂ 限界削減費用が他シナリオより

も相対的に高いことから、電力需要も相対的には抑制的になっている。「低成長シナリオ」では、高いエネルギー価格によって、需要が相当抑制的になると見られる。

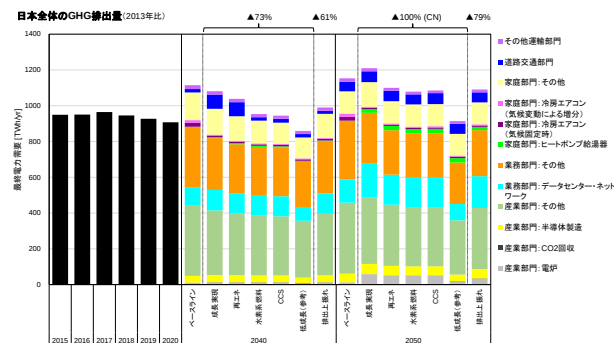
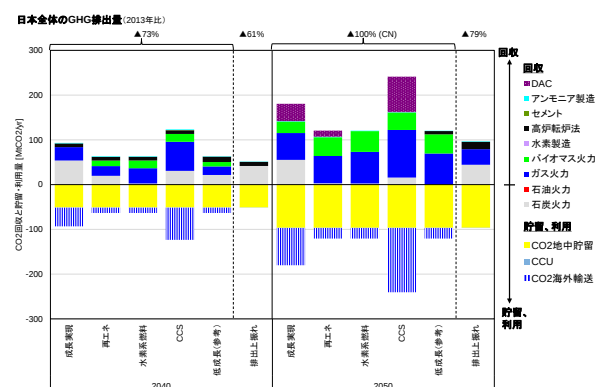


図 7 日本の部門別最終電力消費量

図 8 および 9 に、それぞれ、日本における CO₂ および水素のバランスを示す。2050 年においては、多くのシナリオにおいて、大気中 CO₂ 直接回収・貯留(DACCS)も経済的な対策と評価されている。水素は、海外からの輸入が経済的と評価され、発電、鉄鋼、その他部門での多様な利用が推計されている。なお、先に記載のように、水素直接以外にも、アンモニア、e-methane、e-fuels の輸入、利用も経済合理的な対策と評価されている。

図 8 日本の CO₂ バランス

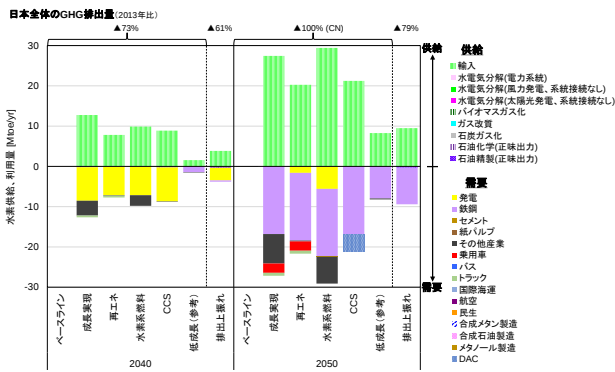


図9 日本の水素バランス

5. まとめと政策的な含意

RITE では、世界モデルである DNE21+、DEARS モデル等を用いて、複数のシナリオを想定して、2050 年 CN に向けた日本のエネルギーシステム分析を行った。エネルギー需給と価格の均衡解となっている。経済と環境の好循環の実現のためには、海外との相対的なエネルギー価格差への着目は重要と考えられ、それを考慮した分析を実施した。

世界は、1.5℃や 2050 年 CN の意欲的な目標を掲げて取り組んできているものの、足下の排出量には大きなギャップが見られている。また、日本を含めて、排出削減が相応に進んでいる国でも、エネルギー多消費産業などの製造業の生産量の低下、海外への移転を伴って、むしろその影響の方が大きく排出削減が実現しているケースも見られる。「成長実現シナリオ」は目指したい姿ではあるが、気候変動問題はグローバルでの対策が必須であるため、国際的な協力なくして効果はない。「成長実現シナリオ」は、ナローパスであることも認識し、「低成長シナリオ」の顕在化リスクに備えたエネルギー戦略も求められる。

これら RITE の分析は、第7次エネルギー基本計画のエネルギー需給見通し策定の主要な引用元とされた。第7次エネルギー基本計画は、リスク対応の「排出上振れリスクシナリオ」を含めた、複数シナリオの提示の下で、CN を目指しつつも、エネルギー安定供給、経済性にも配慮した戦略となっていると考えられる。

参考文献

- 1) 日本政府:「第7次エネルギー基本計画」(2025)
<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001.html>
- 2) 日本政府:「地球温暖化対策計画」(2025)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/250218.html>
- 3) 日本政府:「GX2040 ビジョン」(2025)
<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218004/20250218004.html>
- 4) UNFCCC: Paris Agreement (2015)
https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- 5) UNEP: Emissions Gap Report 2024 (2024)
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>
- 6) 日本政府:「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019)
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai40/pdf/senryaku.pdf>
- 7) 日本政府:「地球温暖化対策計画」(2021)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>
- 8) 日本政府:「GX 実現に向けた基本方針」(2023)
<https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002.html>
- 9) RITE システム研究グループ:「DNE21+モデルを含む RITE のシナリオ分析モデルの概要」(2024)
<https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/DNE21plusmodeloverview.pdf>
- 10) 秋元他:「2050 年カーボンニュートラルに向けた我が国のエネルギー需給分析」(2024)
<https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/RITE2040cnenergyanalysis.pdf>

バイオ研究グループ

グループメンバー(2025 年 4 月)

グループリーダー・主席研究員	乾 将行	研究員	千葉 夏乃
副主席研究員	寺本 陽彦	研究員	Dhira Saraswati Anggramukti
副主席研究員	平賀 和三	研究員	岩佐 尚徳
副主席研究員	宮本 正人	研究員	松島 加奈
副主席研究員	畚野 信剛	研究員	大沼 広宜
副主席研究員	北本 幸子	研究員	西田 志穂
主任研究員	田中 裕也	研究員	厨 祐喜
主任研究員	須田 雅子	研究員	上田 祐輝
主任研究員	北出 幸広	研究助手	渡邊 淳子
主任研究員	長谷川 智	研究助手	池永 由布子
主任研究員	渡邊 彰	研究助手	水口 祥子
主任研究員	小暮 高久	研究助手	永守 美雪
主任研究員	久保田 健	研究助手	内藤 香枝
主任研究員	大井 潔	研究助手	池田 永子
主任研究員	橋本 龍馬	研究助手	米田 和代
主任研究員	猿谷 直紀	研究助手	小泉 真夕
主任研究員	清水 崇史	研究助手	西 淳子
主幹	淵上 聡子	研究助手	岩島 素巳
研究員	肥後 明佳	研究助手	吉田 佳世
研究員	Natalia Maria Theresia	研究助手	岡田 亜弥
研究員	柏木 紀賢	研究助手	フォークナー 真紀
研究員	Dyah Candra Hapsari Subagyo	研究助手	栢村 里美
研究員	Dita Grinanda	研究助手	初谷 良子
研究員	新宅 みゆき	研究助手	多郷 友里
研究員	黒石川 嵩幸	研究助手	山口 美幸
研究員	田島 直幸	研究助手	近藤 蘭子

カーボンニュートラルに貢献するバイオものづくり技術の開発

1. はじめに

バイオものづくり技術とは、最先端の遺伝子改変技術等を活用し、微生物の発酵と呼ばれる物質生産能力を高めたり、目的とする物質の生産能力を微生物に新たに付与するキーテクノロジーである。また、微生物が有する分解酵素の機能強化を通じて、原料から目的の分解物を効率的に得る技術もこれに含まれる。これらの技術を用いて行うバイオものづくりは、自然界の生物学的メカニズムを模倣し、工業的な製造プロセスに応用する新しいアプローチであり、次の特徴と利点を有する。

バイオものづくりでは、微生物、細胞、酵素などのバイオプロセスを利用する。このため、化学プロセスでの合成が難しい化合物であっても、微生物酵素による特異性の高いバイオプロセスを用いることにより、副生物の生成を抑えた高収率の合成を行える利点がある。微生物

の細胞の中では、機能の異なる酵素が協調的に働くことで多段階の合成反応が進むため、炭素数の多い複雑な構造を有する物質の合成にも強みがある。バイオものづくりは、これまでもバイオ医薬品や食品等の産業領域で主に活用されてきたが、近年のバイオテクノロジーの急速な進展により、燃料・化学品・繊維等の素材原料など、多様な産業分野への活用の取り組みが広がってきている。

しかしなんととってもバイオものづくりの最大の利点は、新しい製品開発や製造プロセスの転換という産業活動におけるイノベーションを推進しつつ、環境負荷の低減や持続可能な資源利用という社会課題の解決が可能となることである。例えば現在、産業活動の中心となっている化学プロセスによる製造は、多くの場合、高温高压での反応を必要とする。一方、バイオものづくりは常

温常圧での反応が可能であるため、化学プロセスと比べて CO₂ 排出量の削減が期待できる。また、バイオものづくりでは、バイオマスなど、その成長過程で CO₂ を吸収した植物等の生物由来資源を、原料として利用することが可能なため、石油等の化石資源に依存する化学プロセスとは異なり、気候変動に影響を及ぼす新たな CO₂ の排出を、大幅に抑制することができる。さらに、従来は埋め立てあるいは焼却するしか処理方法のなかった化学製品由来の廃棄物や、これらを焼却して発生する CO₂ そのものを、最先端のバイオものづくり技術によって、産業活動に必要な燃料(バイオ燃料)や、新たな化学品(グリーン化学品)やその出発原料として再生することが、可能となりつつある。

このようにバイオものづくりは、カーボンニュートラルを達成するための重要な手段の一つである。持続可能なバイオものづくりはまた、資源循環型の次世代の産業基盤として、さまざまな産業領域における競争力の源になることから、RITE では早くからバイオものづくり技術に着目し、産業利用に向けた基盤整備に向けて、コア技術等の開発に積極的に取り組んできた。

本概説では、まず、「RITE Bioprocess」※¹ や「スマートセル創製技術」等、RITE が保有するコア技術について紹介する。次に、RITE が参画する国家プロジェクトを通じて、近年進展が著しい“バイオ×デジタル”技術分野における基盤技術開発の取り組み状況について紹介する。最後に、事業化への取り組みと今後の展望について述べる。

2. RITE のコア技術

2.1. 「RITE Bioprocess」

RITE は、微生物では他に類を見ない、高い物質生産能力を有するコリネ型細菌の工業的利用価値に着目し、そのコア技術開発に取り組んできた。RITE 研究の一環で、コリネ型細菌は嫌気的条件下で増殖が抑制される一方、物質生産に必要な代謝機能は維持され、糖類を代謝して有機酸などを効率よく生成する現象を見出した。これを基に、増殖非依存型バイオプロセス「RITE Bioprocess」を確立している。物質生産性に極めて優

れた「RITE Bioprocess」はRITE 独自の技術であり、バイオものづくりの社会実装を推進する上で、最も重要なコア技術の一つと位置付けられる(図 1)。以下にその3つの特長について簡単に述べる。

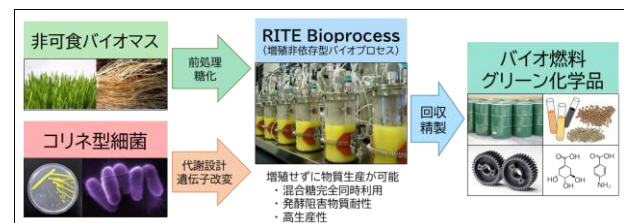


図1 「RITE Bioprocess」を利用した
バイオものづくりの概念

特長① 増殖非依存型バイオプロセス

自然界における発酵生産は、通常、微生物が増殖しながら物質を生産する。しかし、一定の嫌気的条件下や、増殖に適した好氣的条件下であっても増殖に必須の因子を取り除くことで、増殖が停止した状態でも目的とする物質生産が進行するバイオプロセスを確立した(図 2)。従来は微生物の増殖に消費されていた栄養やエネルギーが、RITE Bioprocess では目的物質の生産のみに使用されるため、化学プロセスと同等以上の高い生産性を実現する技術である。

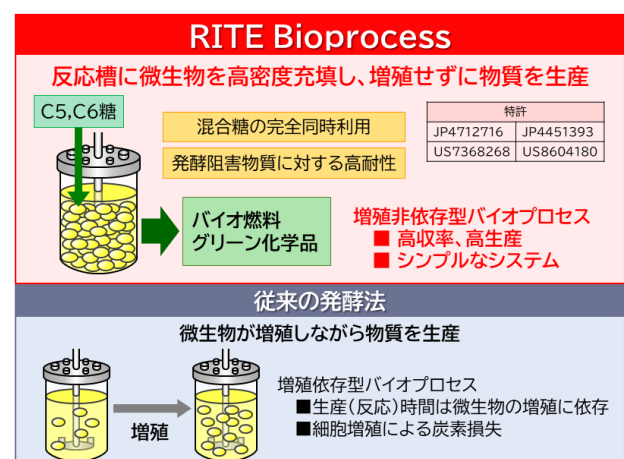


図2 「RITE Bioprocess」の特長①
(増殖非依存型バイオプロセス)

特長② 発酵阻害物質に対する高耐性

バイオものづくりでは、原料とするバイオマスや廃棄物由来の未利用資源の中に、微生物の増殖を阻害する

物質が含まれることが多い。また、微生物に生産させた目的の物質自体が、微生物の増殖を阻害したり、微生物にダメージを与えることも多く、発酵生産可能な物質の種類が限定されてしまう。「RITE Bioprocess」では、微生物の増殖を伴わない生産システムであるため、様々な発酵阻害物質に対する耐性が高いという特長を有する(図 3)。従来は活用できなかった原料を用いて、発酵生産が困難だった様々な物質でも、高い生産性を達成することが可能である。

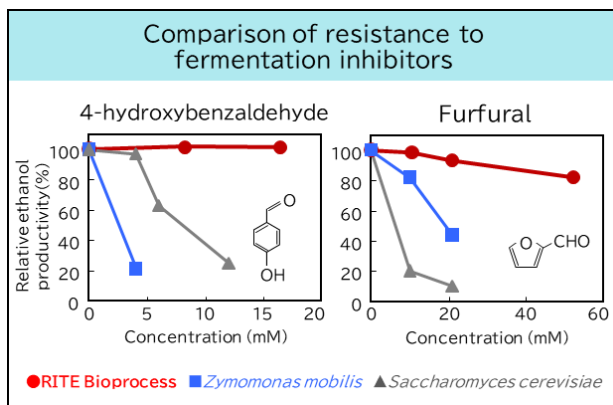


図 3 「RITE Bioprocess」の特長②
(発酵阻害物質に対する高耐性)

特長③ C5&C6糖類の完全同時利用

バイオものづくりで原料に利用されるバイオマスの多くは、非可食のセルロース系バイオマスである。非可食バイオマスからは、グルコースなどの C6 糖とキシロースやアラビノースなどの C5 糖の混合物が得られる。通常、微生物は物質生産の炭素源として C6 糖を優先的に利用するが、C5 糖の利用効率は著しく低い。RITE では、C5 糖代謝遺伝子ならびに C5 糖輸送体遺伝子を微生物に新たに導入することにより、C5 糖の利用速度を C6 糖並みに高めるプロセスを確立した(図 4)。C5&C6 糖類の完全同時利用技術は、非可食バイオマス原料の廃棄物を最小限にしながら、物質生産効率を最大限に高めることができる、バイオものづくりにおいて欠かせないコア技術である。

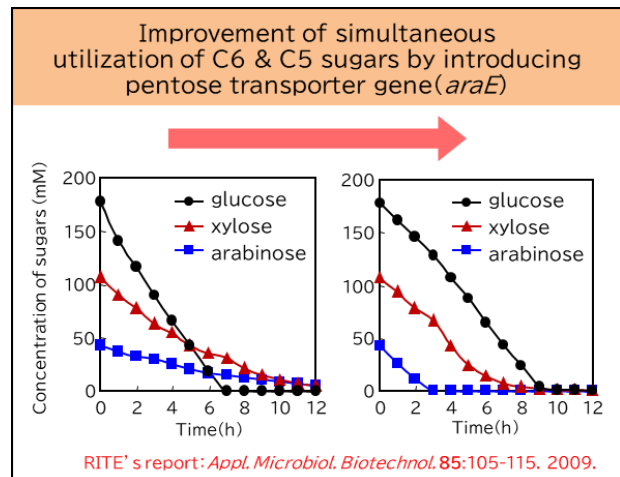


図 4 「RITE Bioprocess」の特長③
(C5&C6糖類の完全同時利用)

2.2. スマートセル創製技術

RITE は、スマートセルプロジェクト(NEDO「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発」、2016 年度～2020 年度)に参画し、スマートセルを生み出す技術群の開発に携わってきた。スマートセルとは、遺伝子改変により、高度に機能がデザインされ、機能の発現が制御された生物細胞を意味する。より具体的には、最先端のバイオテクノロジーとデジタル技術を融合させることによって、生物細胞の能力を最大限に引き出し、物質生産に最適化された細胞のことを指す。RITE はこのスマートセルを生み出す技術群を開発し、RITE 技術として取り込むことで、生産株の代謝経路設計技術や育種技術、発酵生産技術のレベルアップに成功した(図 5)。また、実際にターゲット化合物を設定し、スマートセル創製技術を活用してその生産株を効率よく生み出すことにも成功した。この技術は他の様々なバイオ燃料やグリーン化学品の生産株開発にも応用可能である。今後もこれらの技術のブラッシュアップを図り、スマートセル創製技術の有効利用を目指す。

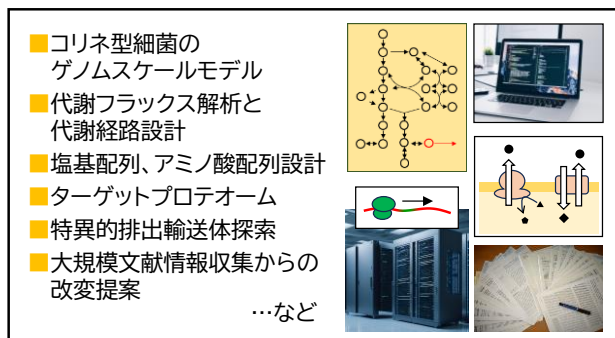


図5 スマートセル創製技術

2.3. 細胞毒性回避システム

RITE では、これまでバイオ技術を駆使して様々な化合物生産に取り組んできたが、生産ターゲットによっては反応液中に蓄積した目的化合物そのものによる細胞毒性によって生産が停止してしまうという課題に直面した。例えば、芳香族化合物の一種であるカテコールは、従来のバッチ法ではある一定の濃度に到達したところで生産が頭打ちとなってしまった。そこで、この細胞毒性の影響を回避して高生産を実現すべく、菌体反応に吸着や抽出などの工学的手法を組み合わせることで、目的化合物を選択的に系外へ除去・回収しながら生産が可能な細胞毒性回避システムを開発した。一例として、図6に膜分離と樹脂吸着を組み合わせたカテコール連続反応法を示す。反応槽内で生成したカテコールを連続的に吸着樹脂で回収し、槽内のカテコールを低濃度に維持したまま生産を行うことで、通常のバッチ法と比べて極めて高効率なカテコール生産が可能となった。すなわち、強い細胞毒性を有するカテコールの影響を回避することで生産株本来の性能が発揮され、カテコールの飛躍的な高生産が実現した。

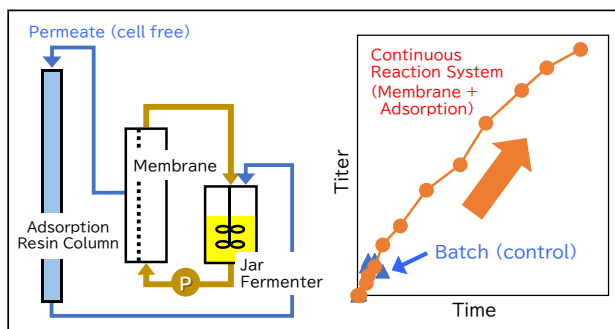


図6 膜分離と樹脂吸着を利用した細胞毒性回避システム
(カテコール生産事例)

2.4. 主な生産物質

RITE が高生産を実現している物質の一部を図7に示す。多くの物質で世界最高レベルの生産性を達成している。バイオ燃料では、エタノールやバイオ水素に加えブタノールや高性能バイオジェット燃料素材、グリーン化学品では、L-乳酸、D-乳酸、アミノ酸に加え、芳香族化合物などの高機能化学品へと幅広い展開を図っている。

バイオ燃料	グリーン化学品
■ ガソリン混合・代替 ・ エタノール* ■ バイオジェット燃料 ・ イソブタノール* ・ n-ブタノール* ・ C9～C15 飽和炭化水素 + 芳香族化合物 ■ バイオ水素	■ 芳香族化合物 ・ シキミ酸(インフルエンザ治療薬タミフル原料) ・ フェノール* (フェノール樹脂、ポリカーボネート) ・ 4-ヒドロキシ安息香酸* (ポリマー原料) ・ アニリン* (石油外天然資源タイヤ原料) ・ 4-アミノ安息香酸* (医薬品原料) ・ プロトカテック酸* (化粧品原料) ■ 有機酸 ・ D-乳酸*、L-乳酸* (ステレオコンプレックス型ポリ乳酸) ・ コハク酸* ■ アミノ酸 ・ アラニン(キレート類) ・ バリン(次世代飼料用アミノ酸、医薬品原料) ・ トリプトファン(次世代飼料用アミノ酸、医薬品原料) ■ アルコール ・ イソプロパノール(プロピレン原料) ・ キシリトール(甘味料)
* : ポリマー原料 赤色文字 : 世界的高水準生産達成	

図7 「RITE Bioprocess」による主な生産物質

特に芳香族化合物は、ポリマー等の原料として重要な基幹工業化学品である。また、医薬品、機能性栄養素材、香料、化粧品等の原料となる高付加価値の化合物が数多く存在する。芳香族化合物は現在、主には石油、一部は天然の植物等を原料として製造されているが、脱石油依存、環境保全および生産性確保の観点から、バイオものづくりでの生産に期待が寄せられている。微生物の細胞内ではフェニルアラニン、チロシン、トリプトファンといったアミノ酸や葉酸(ビタミン B9)、補酵素 Q など種々の芳香族化合物が生合成されている。これらの化合物は全てシキミ酸経路と呼ばれる代謝経路から派生する。RITE は、バイオものづくり技術を駆使し、コリネ型細菌の代謝経路を自在にデザインすることで、非可食バイオマスを原料にインフルエンザ治療薬タミフルの原料であるシキミ酸、機能性ポリマー原料として有望な 4-アミノ安息香酸、ポリマー、医薬品、化粧品、接着剤、香料(バニリン)の原料として有望な芳香族ヒドロキシ酸等の高生産バイオプロセスの確立に成功している。

3. 基盤技術開発(国家プロジェクト)

RITEの 開発技術		バイオものづくり技術				
		機能解析	機能設計	機能発現・制御	菌株育種	生産株改良
バイオ化学 品	原料/CO ₂	3.1 NEDO グリーンイノベーション基金事業 バイオものづくり技術によるCO ₂ を原料とした高付加価値化学品の製品化				
	原料/ バイオマス など	3.2 NEDO バイオものづくり革命推進事業 未利用原料から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術の開発				
		3.3 NEDO バイオものづくりプロジェクト データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム(Data-driven iBMS)の研究開発				
		3.4 NEDO カーボンリサイクル実現を加速する バイオ由来製品生産技術の開発（カロテノイド）				
		3.5 NEDO カーボンリサイクル実現を加速する バイオ由来製品生産技術の開発（ローズ香料）				
		3.6 NEDO ムーンショット型研究開発事業 非可食性バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発				
バイオ燃料		3.7 JST 共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT) バイオ燃料生産技術の開発				

図 8 参画する国家プロジェクトと RITE が開発を担うバイオものづくり技術の概要

バイオものづくりは、経済成長と社会課題の解決を同時に追求するイノベーションとして、現在我が国はその基盤技術開発を強力に後押ししている。RITE が参画する国家プロジェクトと、そこで RITE が開発を担うバイオものづくり技術の概要を図 8 にまとめた。RITE は、NEDO グリーンイノベーション基金事業や、NEDO バイオものづくり革命推進基金事業に参画し、CO₂ からの高機能接着剤原料のバイオ生産技術開発や、未利用資源から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術開発に取り組んでいる(3 章 1 節、3 章 2 節)。また、NEDO「ムーンショット」プロジェクトにも参画しており、非可食バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発にも取り組んでいる(3 章 6 節)。

さらに、NEDO「バイオものづくり実証」プロジェクトにも参画し、カロテノイドや香料のバイオ生産の事業化に向けた、民間企業との共同開発を実施した(3 章 4 節、3 章 5 節)。その他にも、多様な原料と製品を出口としたバイオものづくりのバリューチェーン構築に必要な技術開発や社会システム実証を行い、製造プロセスの転換と製品の社会実装を推進している。以下に RITE の取り組みについて述べる。

3.1. NEDO「グリーンイノベーション基金事業」バイオものづくり技術による CO₂ を原料とした高付加価値化学品の製品化^{※2}

本プロジェクトは、「2050 年カーボンニュートラル」の目標達成に向け、CO₂ を原料とした新しいバイオものづくり製品の開発と社会実装により、カーボンニュートラル実現に貢献するとともに、CO₂ の資源化による産業構造の変革を目指す。

この中で RITE は、積水化学工業株式会社と共同で本事業を 2023 年度から開始し、実施中である(事業期間:2023~2030 年度の 8 年間(詳細は[こちら](#)))(専用の「バイオものづくり実験棟」(新築)については「特集」を参照)。

RITE/積水化学工業株式会社が行う本事業の研究開発イメージを図 9 に示した。CO₂を、積水化学が化学触媒でエネルギー準位が高い(生物が利用しやすい)CO に高効率変換し、RITE は CO から CO 資化菌などを用いたバイオプロセスによってエポキシ樹脂の原料となるポリマー原料に変換する。得られたポリマー原料は、積水化学が二量化、エポキシ化を経て耐熱性接着剤を製造する。この高付加価値な耐熱性接着剤は、スマートフォン、航空機、自動車などの耐熱性が求められる部材の特殊な接着に用いられる。使用後は、燃焼して CO₂ にして同じスキームで資源循環のサイクルを回すことが可能

である。

RITE は、これまでに培ってきたスマートセル技術とバイオ生産技術を活かし、CO 資化菌などを用いて、最重要課題である①COからポリマー原料に変換可能な菌株の開発(CO 資化菌の遺伝子組換えツールの開発、CO から中間体やポリマー原料の生産株構築など)と、②ポリマー原料の生産を可能とするバイオ生産プロセスの開発(プロセス設計、培養条件の最適化、連続プロセス開発)等について、主にラボスケールで実施中である。

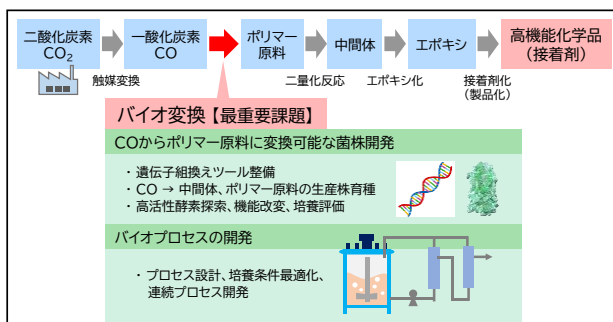


図9 バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化イメージ

3.2. NEDO バイオものづくり革命推進事業「未利用原料から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術の開発」※2

持続可能なものづくりへの製造プロセス転換とバイオ由来製品の社会実装推進は次世代の産業基盤を育てるため取り組むべき重要な課題である。また、輸入バイオマスに頼らず国内の未利用資源を原料とするバイオものづくり技術の開発も求められている。これらの状況を受け、2023年度にNEDOは「バイオものづくり革命推進事業」を開始した。この事業では、多様な原料を利用し、多様な製品を生み出すバイオものづくりのバリューチェーン構築を目指すことで日本の産業競争力の強化と社会課題解決を目指している。RITEはこの事業において高砂香料工業株式会社、帝人株式会社と共に課題提起を行い、それを解決する研究開発を開始した(詳細は[こちら](#))。RITEはDry(コンピュータメインの情報解析)とWet(生物学的実験)の両面から新規な高効率生産株育種技術の開発を実施している。開発技術の一例として、代謝設計や生産条件決定を効率化するためのデータベ

ース構築を実施している。RITEが蓄積してきた膨大な生産菌株情報と、新たに取得する未利用資源や生産物による生産阻害効果(化合物による細胞毒性)に関わる情報などを独自のデータベースに収納し、RITEの育種競争力強化につなげる(図10)。

RITEはこれまで様々な物質生産菌株の開発を行ってきた。このような菌株開発は、高度なバイオテクノロジーを要求するため経験のない企業では初期投資や技術者の育成、ノウハウ習得など極めてハードルが高い。その結果、バイオものづくり産業への参入を望みながらためらう企業が数多く存在する。これらの企業が必要とする物質生産菌株の開発を受託し、生産技術を提供する、「微生物開発プラットフォーム」としての役割をRITEが果たすことを目指す。そのための基盤環境として、バイオの専門人材、研究設備、技術、情報等を集約した研究施設を整備する(図10)。「RITE バイオものづくりセンター」と名付けたこの研究棟は2024年12月に着工、2025年11月の完成を予定しており、2025年度中の稼働を目指して準備を進めている。



図10 RITE バイオものづくりセンター

3.3. NEDO バイオものづくりプロジェクト「データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム(Data-driven iBMS)の研究開発」※2

2020 年度から始まった NEDO「カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発」、通称バイオものづくりプロジェクトでは、実験室レベルで最適化されたスマートセルが工業プロセスでもその能力を発揮できるよう、実用化に伴う課題を解決するための技術開発を実施している。RITE は初年度から参画し、バイオものづくり技術の実用化に伴う課題の内、生産物による細胞毒性とスケールアップに起因する問題を解決するための新規技術群の開発を進めている(図 11)。

RITE 研究により、生産ターゲットである化学品が生産に必要な酵素の活性を低下させる例が複数あることがわかった。2024 年度はこれを解消する新たな技術開発を連携研究機関と共に実施した。実験データから活性低下のメカニズムを推定し、適切なアミノ酸を置換することで活性低下を回避できることが分かった。

一方、スケールアップ時には温度や pH、原料、溶存酸素濃度などが局所的に偏った不均一環境になりやすい。このような環境下でも高い生産性を示すことができるロバストな生産株の設計技術開発を目指して連携研究機関と共に研究開発を行った。2024 年度に RITE は、環境変動を再現した条件を見出し、詳細な遺伝子発現データ、代謝物データを取得・提供することで発酵生産シミュレーションモデル構築と検証に貢献した。

このような、実際の生産時に起こりうる問題の解決技術を開発・提供することで生産株開発の手戻りをなくしバイオ由来製品の社会実装を加速することを目指す。

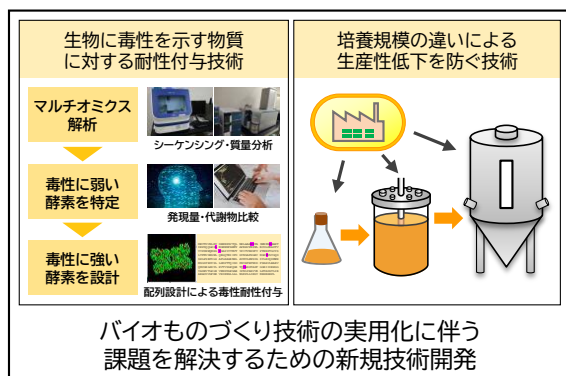


図 11 バイオものづくりプロジェクトでの技術開発

3.4. NEDO カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発(カロテノイド)※2

カロテノイドは高い抗酸化作用を示す機能性成分である。既存のカロテノイド製品は構造中の二重結合が全てトランス型となったオールトランス型であり、体内への吸収性が非常に低い。RITE では、2022 年から NEDO 産業用物質生産システム実証「高吸収型天然カロテノイドの大量生産システム実証」(代表機関名:ハリマ化成株式会社)に参画し、既存のカロテノイド製品よりも吸収性が格段に優れたシス型カロテノイドのバイオ生産技術の開発を進めている(図 12)。2024 年度はシス型カロテノイド合成酵素を人為的に機能改変することで生産能力を向上させることに成功し、バイオマス由来の糖化液を原料とした高生産にも成功した。今後は培養のスケールアップを進め、バイオ由来高機能性成分の社会実装を目指す。

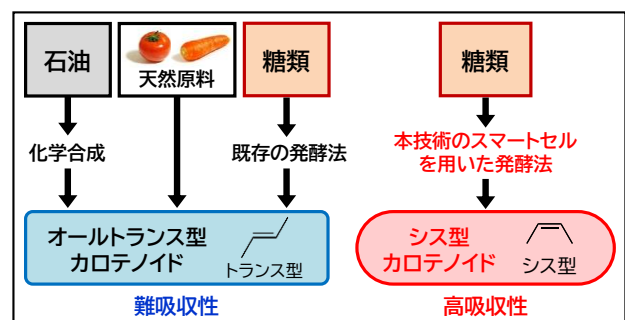


図 12 高吸収型カロテノイド生産の社会実装

3.5. NEDO カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発(ローズ香料)※2

RITE では、2022 年から NEDO 産業用物質生産システム実証「フロー連続単離法と増殖非依存型バイオプロセスによるローズ香料の生産システム実証」(代表機関名:高砂香料工業株式会社)に参画し、産業用スマートセルの開発と同時に、香料素材が有する微生物の発酵阻害を回避するバイオ生産システムの開発を進めている(図 13)。2024 年度は、生産株の開発と生産条件の検討により上記生産システムを用いて生産性を高め、実験室レベルにおいては、実用化に必要な生産性を達成できた。また、90 L 培養槽までのスケールアップに成功した。今後は、実用化に向けてさらなるスケールアップ検討や

改良を進め、国産初の合成生物学による香料素材製造の社会実装を目指す。

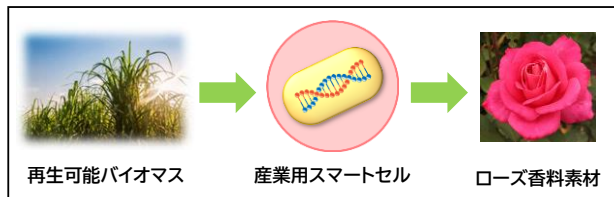


図 13 ローズ香料素材の生産実証

3.6. NEDO ムーンショット型研究開発事業「非可食性バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発」※2

本プロジェクトでは、プラスチックの分解に「マルチロック機構」を導入すべく研究開発を行っている(図 14)。すなわち分解の際に、光、熱、酸素、水、酵素、微生物、触媒などの複数の刺激を同時に必要とすることで、使用時にはマルチロック機構によって分解を抑えて耐久性・強靱性を保って劣化を防ぎ、海洋環境中に誤って拡散した際にはマルチロックが外れて高速なオンデマンド分解を実現可能とする。

本プロジェクトにおいて実用化を目指す製品は、使用時に 2 次的な微細粉などを発生するタイヤ、農業資材、ゴーストフィッシングの要因となる漁網や釣具であり、いずれも海洋への流出による海洋生物や環境への悪影響が懸念されている。

RITE では、2024年度までに、マルチロック型プラスチックの分解開始のタイミングを人工的に制御可能とする技術の開発(分解酵素を活用した新技術開発への展開)を含めた研究開発を実施した。まず、耐熱性のプラスチック分解酵素を生分解性の担体に静電的に結合させることで、酵素の耐熱性を飛躍的に向上させることに成功した。次に、これを熱溶解によってプラスチックに練りこんだフィルムを作製して海水にさらした結果、速やかに酵素分解(オンデマンド分解)が生じることをラブレベルで証明することに成功した。さらに海洋フィールド試験によって、短期間に分解が生じることを確認した。

今後はプラスチック分解酵素の高機能化や、担体の微細化、プラスチックとの混練条件の最適化などを通じて、

さらに高速なオンデマンド分解を目指す。また、米国エネルギー省 ARPA-E との国際共同研究を新たに開始し、海洋由来の非可食資源からのバイオものづくりを進めている。

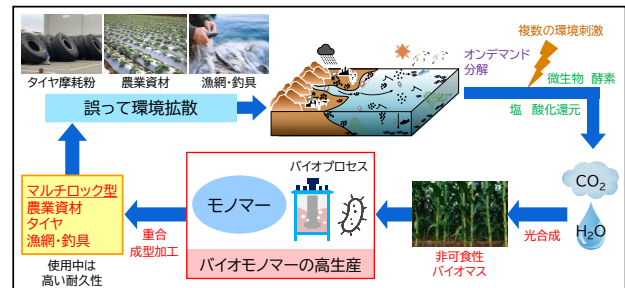


図 14 マルチロック型生分解性プラスチックの開発による資源循環の実現イメージ

3.7. JST 共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)「バイオ燃料生産技術の開発」

RITE は、2023 年度に始まった JST(国立研究開発法人科学技術振興機構) COI-NEXT(共創の場形成支援プログラム)「カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点」に参画し、研究開発課題3(炭素耕作による燃料生産技術の開発)の中で、バイオ水素生産技術とバイオ液体燃料生産技術の開発を進めている(図 15)。本拠点ビジョンの達成に向け、光合成による CO₂ 固定量の大幅な増大を目指してバイオマス生産技術の開発を実施する参画機関と連携し、多様なバイオマスから高効率で燃料を生産するためのバイオ変換技術の確立を目指す。究極のクリーンエネルギーとして期待されており、カーボンニュートラル／カーボンネガティブの鍵となる CO₂ フリー水素生産プロセスの開発を中長期的な課題とし、これと共通の基盤技術を利用した液体燃料生産プロセスの開発を短中期的な課題として設定している。バイオマス燃料生産技術の社会実装には、生産コストの低減が課題である。また、バイオマス原料の成分は多様であり、その組成は原料の種類によって大きく異なるため、画一的な技術で広範な需要を満たすのは難しい。これらの課題を解決するため、本拠点では、多様な熱化学および生物学的変換技術の開発を一体的に進めることで技術融合・技術革新を実現し、経済性・環境性・社会受

容性の観点から社会実装の実現性が高いシステムを選抜する。

RITE では、これまでに開発した高速バイオ水素生産プロセスを基盤とし、バイオマス由来糖類からの水素収率の大幅向上に向けた微生物触媒の開発に取り組んでいる。新規高収率水素生産微生物を構築するため、異なる反応機構を有する複数の水素生成酵素の利用について比較検討を進めており、水素生産能の向上に有効な酵素活性化条件について新たな知見が得られている。また、RITE は、非可食バイオマスに由来する C6&C5 混合糖を高効率にエタノールに変換できるバイオプロセスを確立している。各種非可食バイオマス糖化液からのエタノール生産試験で、試薬糖を用いた場合と同等以上の生産性を示しており、この技術で、エネルギー作物や炭素固定量の多いイネ、糖含量の多い微細藻類等から可能な限り全ての糖類を回収、エタノールに変換し、これを化学反応によりジェット燃料に変換する SAF（持続可能な航空燃料）製造技術の確立を目指す。

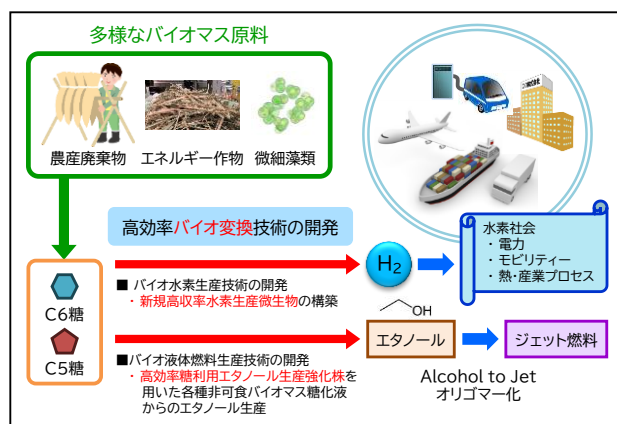


図 15 バイオ燃料生産技術の開発

4. 実用化への取り組み

4.1. グリーンケミカルズ株式会社(GCC)

(本社・京都研究所:RITE 本部内、静岡拠点:住友バークライト株式会社静岡工場内)

(GCC ホームページは[こちら](#))

2010 年 2 月、RITE は、住友バークライト株式会社と共同で、非可食バイオマスを原料として、バイオプロセスによるフェノール生産およびフェノール樹脂製造に関わる基盤技術開発を進めるためグリーンフェノール・高

機能フェノール樹脂製造技術研究組合(GP 組合)を設立した。2014 年 5 月、同組合をグリーンフェノール開発株式会社(GPD)へ改組し、これが技術研究組合の株式会社化第 1 号となった。2018 年 4 月には、同社の技術はフェノール生産以外にも有用な化合物を並行的に生産可能であるため、グリーンケミカルズ株式会社(GCC)へ社名を変更した。

GCC では、グリーンフェノール生産技術開発で培った量産技術とノウハウを活用し、従来は高生産が難しいと考えられていた芳香族化合物などのグリーン化学品の量産技術を確立している。中でも付加価値の高い 4-ヒドロキシ安息香酸(4-HBA)、プロトカテク酸、シキミ酸(図 16)については、高い量産技術を有している。また、いずれの物質についても、その生産株の産業利用を目的とした遺伝子組換え生物等の第二種使用に関して、経済産業大臣の確認(大臣確認)を取得し、グリーン化合物の商品化や、事業化に向けたプロモーション活動を進めている。

現在、国内外の数多くの企業からの引き合いがあり、事業化に向けた商談が進んでいる。各ニーズに応じて、生産コストの更なる低減や製品の品質向上など、バイオもののづくりの実用化に向けた取り組みを一層加速させていく。

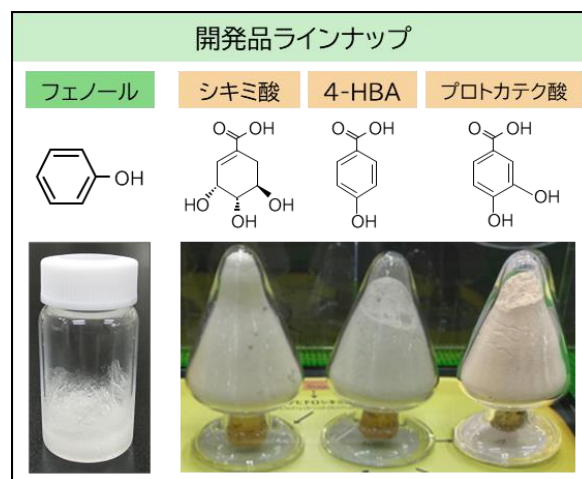


図 16 GCC の主な開発品ラインナップ

4.2. Green Earth Institute 株式会社(GEI)

(本社:東京都新宿区新宿三丁目 5 番 6 号 キュープラザ新宿三丁目 6 階、研究開発拠点:千葉県木更津市かずさアカデミアパーク)

(GEI ホームページは[こちら](#))

2011 年 9 月、RITE は、「RITE Bioprocess」を事業化するため、Green Earth Institute 株式会社を設立した。2021 年 12 月、業績の発展に伴い、同社は東京証券取引所(マザーズ)に上場、2022 年 4 月、市場再編により東京グロース市場に移行した。

2025 年 2 月に、同社は、木質バイオマスを原料とするバイオエタノール等の製造販売を行う会社を合併で設立することを発表した。

その他にも、同社では、NEDO より受託したバイオファウンドリ事業、グリーンイノベーション基金事業、バイオものづくり革命推進事業等、国内外のパートナー企業等との研究開発および事業化を推進させている。

4.3. 企業との共同研究

NEDO バイオものづくり実証事業のハリマ化成株式会社および高砂香料工業株式会社以外にも、多くの企業からの要望に応じて、共同研究を実施している。本概説で紹介している主な生産物質(第2章第4項)以外にも、数多くの物質についてバイオものづくりが可能であり、個社のニーズに応じた共同研究を展開している。化石資源由来の製品を、できるだけ早期にバイオ由来の生産に転換したい、主力製品や主要原料を、中長期的に化石資源由来からバイオ由来に転換したいなど、寄せられる要望は様々である。RITE はこれまでに培った高度な専門性と豊富な経験に基づき、個社に寄りそうバイオものづくりの提案を行っている。

5. おわりに

RITE では、3章で紹介した国家プロジェクトへの取り組みも活用して、スマートセル創製技術をはじめとするバイオものづくり技術の高度化を、今後も継続して推進していく。特に、「バイオ×デジタル」分野の技術革新は日進月歩であり、スマートセル開発は今後飛躍的に発展す

ると見込まれる。一方で、高度なバイオものづくり技術が必要とする産業用スマートセル創製は、技術難度、最先端の研究設備、コストパフォーマンス、競争力の維持等の観点から、個社のみでの取り組みは難しくなりつつある。また、一定の規模を必要とする生産プロセスの開発も、設備投資やバイオプロセスに通じた専門人材の確保等の観点から、開発を担う専門のプラットフォームが必要となる。近い将来、バイオプラットフォームによるスマートセルインダストリーの振興により、エネルギー分野、化学産業分野等において、バイオものづくりの社会実装が根付くことが期待されている(図 17)。

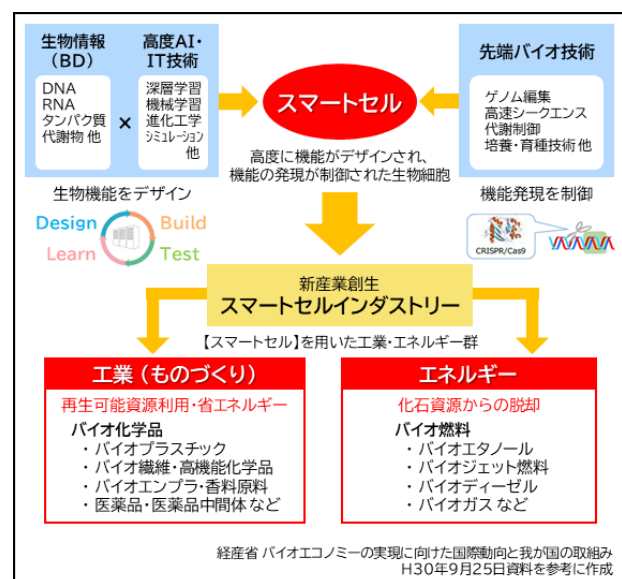


図 17 「バイオ×デジタル」が拓く世界

RITE では、今後も「RITE Bioprocess」や「スマートセル創製技術」をベースに、製品ごとに最適なバイオものづくり技術開発サービスを提供する RITE バイオプラットフォームの整備を進めていく。積極的にご活用いただきたい。2020 年 10 月の我が国の「2050 年カーボンニュートラル」宣言以降、企業からの問い合わせや引き合いが急増し、企業との共同研究の件数も増加している。また、一緒にバイオものづくり技術を開発する人材も募集している。微生物や酵素を用いたバイオプロセスの設計・開発に興味があり、最新のバイオテクノロジーとデジタル技術を駆使して新しい製品やプロセスを創出する意欲のある方を求めている。これまで微生物生産が難しいとされる化合物も、RITE の最新技術により高生産を実

現する可能性がある。バイオ転換を試みたい化合物をお持ちの方、RITE のバイオものづくりに魅力を感じた方は、ぜひ RITE にご連絡いただきたい。

※1 「RITE Bioprocess」は、RITE の登録商標（商標登録第 5796262 号）

※2 この成果は、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・助成事業の結果得られたものです。

化学研究グループ

グループメンバー(2025 年4月)

グループリーダー・主席研究員	余語 克則	研究助手	浅野 誠
サブリーダー・主席研究員	水野 雅彦	研究助手	荒木 華子
主席研究員	喜多 英敏	研究助手	浦井 宏美
サブリーダー・副主席研究員	菊池 直樹	研究助手	大西 紀子
サブリーダー・副主席研究員	山口 秀樹	研究助手	尾方 秀謙
副主席研究員	林 成年	研究助手	小倉 公美子
副主席研究員	Firoz Alam Chowdhury	研究助手	片岡 梢
主任研究員	甲斐 照彦	研究助手	菰野 恵子
主任研究員	木下 朋大	研究助手	杉本 理絵
主任研究員	久貝 潤一郎	研究助手	津田 和彦
主任研究員	後藤 和也	研究助手	手嶋 孝
主任研究員	瀬下 雅博	研究助手	奈良 裕子
主任研究員	村岡 利紀	研究助手	鳴瀧 陽三
主任研究員	龍治 真	研究助手	藤井 暁義
研究員	伊藤 史典	研究助手	藤原 洋一
研究員	清川 貴康	研究助手	宮地 裕子
研究員	段 淑紅	研究助手	森 恵子
研究員	孟 烈	研究助手	保野 篤司
研究員	山口 創司	研究助手	吉井 隆裕
研究員	窪田 善之	研究助手	吉野 直美
研究員	鳥越 葵	研究助手	米澤 順子
研究員	前田 浩彰		
研究員	加藤 剛		

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。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ている。

RITE の研究開発に関しては、2024 年度に万博での DAC 実証に向けた取り組みが大きく前進した。

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)「ムーンショット型開発事業」で開発している DAC(Direct Air Capture)技術の実証試験を大阪・関西万博の会場内で行なっている。国内および世界各国からの来場者へ、RITE の優れた DAC 技術を披露する。

また、国内の CO₂ 分離素材開発を支援・加速するため、実ガス(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、計画名称:実ガス試験センター)を2025年2月に RITE 内に開設した。NEDO 事業「CO₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立」における取組である。

RITE は CO₂ 分離回収の国際ネットワークである ITCN(International Test Center Network:CO₂ 分離・回収技術の研究開発を推進する世界各地の施設のグローバル連合)に国内唯一の機関として参加しており、国際連携にも取り組んでいるが、ITCN を通じて、RCCC での CO₂ 分離・回収の標準化へ向けた取り組みを世界へ発信していく予定である。

RITE では、これまでに化学吸収法、固体吸収法、膜分離法を中心に、さまざまな CO₂ 回収技術の研究・実用化を推進し、世界をリードする研究開発成果を上げてきた。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た。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 事業を開始している。

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 プロジェクト「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年度から受託している。

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行っている。

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年度より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業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、他にも工業的な DAC に関する研究テーマが6件進行中である。

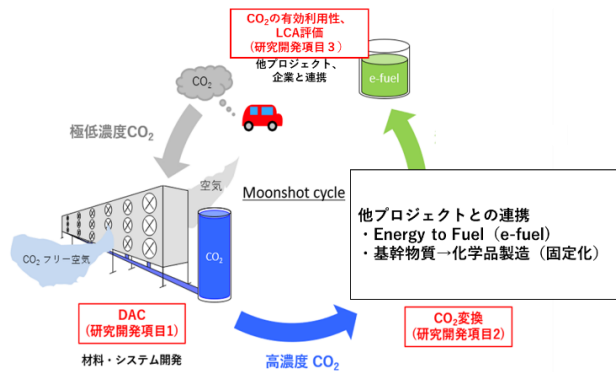


図1 大気中からの高効率CO₂回収・炭素循環技術の開発

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(図2)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、DACシステム評価装置(図3 三菱重工業株式会社にて設計・製作し、RITE敷地内に設置)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 DACラボ試験装置

2024年度は2025年4月に開幕した大阪・関西万博会場にて最大0.5t-CO₂/day規模のパイロットスケール実証試験を行うべく、三菱重工業株式会社の協力のもと、パイロット試験機の試運転を実施した。(図4)

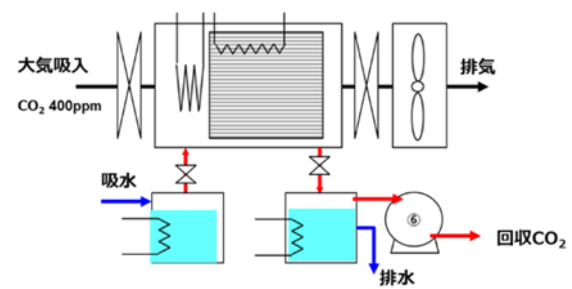


図3 DACシステム評価装置の概念図(上)と装置を設置したDAC実験棟(下:RITE敷地内)



図4 大阪・関西万博会場に設置したパイロット試験機

回収したCO₂は隣接する大阪ガス株式会社のメタネーション設備に供給してメタンを合成し、迎賓館の厨房で利用する計画であり、このような規模で有効利用の実証を行うのは日本初の試みである。

4. CO₂分離素材の標準評価共通基盤の構築

脱炭素化に向けては、電力部門・産業部門ともに燃料やエネルギー源の転換が進むが、一定の化石燃料需要

は残存し、CO₂ 排出も必然的に避けられない。そのため、比較的 CO₂ 排出量の少ない天然ガスの燃焼によって排出される CO₂ 濃度 10% 以下の低圧・低濃度排ガスからの CO₂ 分離回収に対して、低エネルギー・低コスト技術の開発が必要である。RITE は、2022 年 5 月に、国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で、NEDO 委託事業「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」を受託した。カーボンニュートラル社会実現を念頭に、世界で拡大する CO₂ 分離回収市場において国内企業の産業競争力を強化してシェアを拡大することを支援するため、新規の CO₂ 分離素材を対象に燃焼排ガス(実ガス)を使って性能評価できる共通基盤の構築を実施する。

本事業は、2022 年から 2030 年までの 9 年間で予定し、次の研究開発項目を実施する。

- (a) 実ガスを用いた標準評価法の策定(RCCC の設置・運営)
- (b) 革新的分離素材開発に向けた標準評価法の確立
- (c) 耐久性評価手法の開発
- (d) データベースの構築と標準評価法の普及。

2024 年度までの 3 年間においては、発電所排ガスおよびボイラー排ガス等を想定した燃焼排ガスを対象とする CO₂ 分離素材を評価するために、実ガスを用いて評価する炭素回収技術評価センター(RCCC)を RITE 本部研究所内に設置するとともに、標準評価法の素案策定に取り組んだ。RCCC は、図 5 に示すように、吸収法、吸着法および膜分離法の各 CO₂ 分離技術の試験設備と、燃焼排ガスを供給するボイラーで構成し、2024 年度末の時点で、評価建屋、排ガス供給設備、PSA 試験設備及び膜モジュール試験設備の設置が完了した。

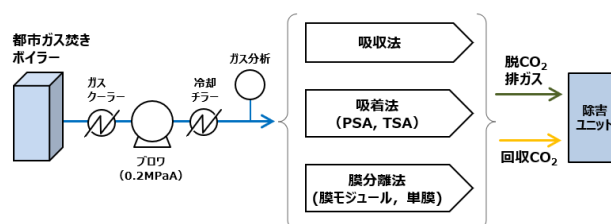


図 5 RCCC 全体構成

(各分離法に実ガスを供給: 約 0.1t-CO₂/day 相当)

2025 年 1 月実施のステージゲート審査の結果、3 年間の成果が認められ、2028 年度まで(第 2 期)の事業継続が承認された。2025 年度上期には、吸収法を含めた 3 基の試験設備の運用を開始する。また、吸着法(TSA)試験設備および分離膜(単膜)試験設備の導入を第 2 期前半に計画している。

カーボンニュートラルに向けた CO₂ 分離素材の開発において、これまでは海外での共通基盤の確立が進んでいたが、日本でも RCCC の運用を開始する。また、プロジェクト推進協議会を通じての国内企業からの意見収集、および ITCN (International Test Center Network) 等の国際会合への参加による海外機関との協力体制構築の活動を継続している。RITE は、本事業を通して、CO₂ 分離素材開発に関わる企業・機関が活用できる国内初の実ガス試験センターを提供し、今後も我が国が 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、国内の 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。

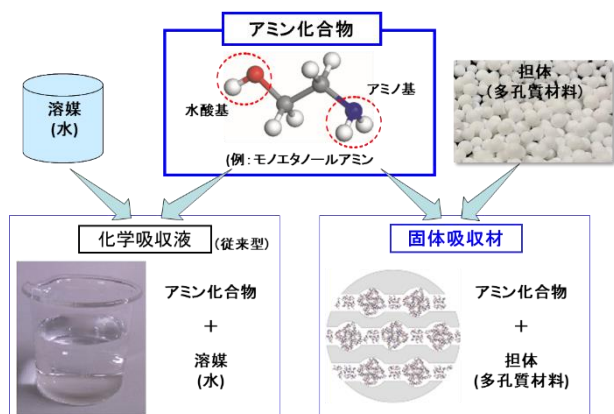


図6 化学吸収液と固体吸収材



図7 固体吸収法の開発ロードマップ

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)。

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おり、長期保管試験では、材製造から 3 年間にわたって定期的に材の確認を行い、異常の無いことを確認した。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 8)。

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。

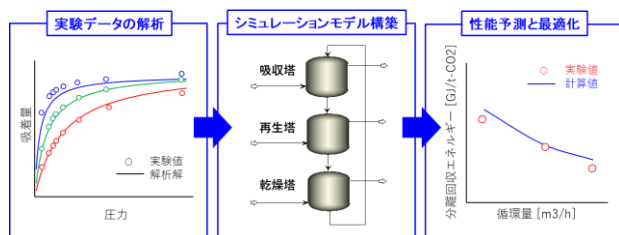


図8 RITEの保有するシミュレーション技術

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。天然ガス燃焼排ガスに含有する CO_2 濃度は 4% 前後と石炭燃焼排ガス中の CO_2 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 CO_2 濃度においても、高い CO_2 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 CO_2 吸収量が大きく変化する固体吸収材を新たに開発した(図 9)。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。

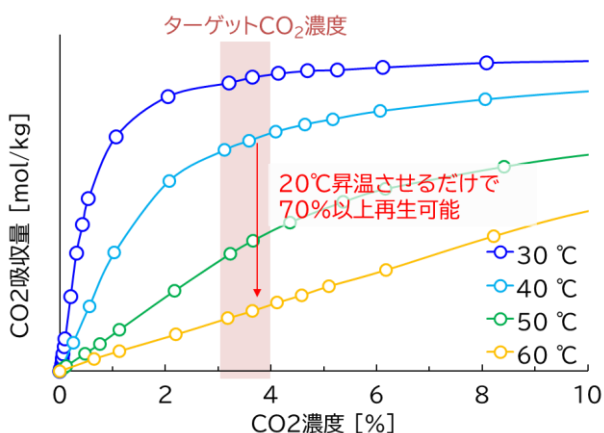


図 9 本事業で開発した固体吸収材の CO_2 吸着等温線

また、2024 年度は化学メーカーの協力のもと、開発したアミンを工業製造ラインで大規模に製造する試験を実施しており、工業的スケールの製造にも問題がないことを確認している。2024 年度 3Q に行われたステージゲート審査を通過し、現在は基礎研究フェーズからベンチスケール試験フェーズに進んでいる。2025 年度もベンチスケール試験に向けて、更なる吸収材の改良を進める予定である。

6. 化学吸収法

化学吸収法は、混合ガス中の CO_2 を化学反応を介して溶液中に選択的に溶解(分離)させ、次工程において

CO_2 を含む溶液を加熱昇温し、高純度 CO_2 を回収する技術である。特に、アミンを利用した化学吸収液は、燃焼排ガス等、比較的低 CO_2 濃度の混合ガスへの適用が可能であり、化学吸収法は CCS 分野では最も成熟した CO_2 分離・回収技術の一つである。

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)、および COURSE50 において、製鉄プロセスを対象に、 CO_2 分離・回収エネルギーおよびコスト低減を可能とする高性能なアミン系化学吸収液を開発し、その成果は、日鉄エンジニアリング株式会社の商業設備「省エネ型 CO_2 回収設備 ESCAP®」に採用されている(図 10)。



図 10 省エネ型 CO_2 回収設備 ESCAP®

(住友共同電力(株)新居浜西火力発電所内に設置の 2 号機。化学工場の化学副原料 CO_2 を製造。)

化学吸収法は前述のように商用レベルに達しているものの、CCUS の社会実装加速には吸収液の量産化を含めた大規模化やコスト低減が課題であり、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の取り組みが必要である。

RITE は、COURSE50 において、水以外の溶媒を用いることで、 CO_2 の吸収形態および溶液中の分極影響を制御することができ、更なるエネルギー消費低減の可能性を有するブレイクスルー技術「混合溶媒系吸収液」を提示した(図 11)。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に置き換えることにより、溶液の比熱や CO_2 との反応熱が低減できる。

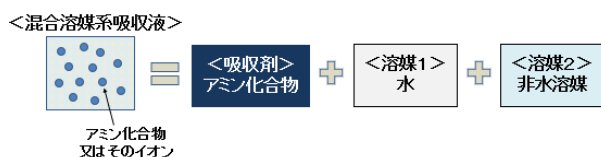
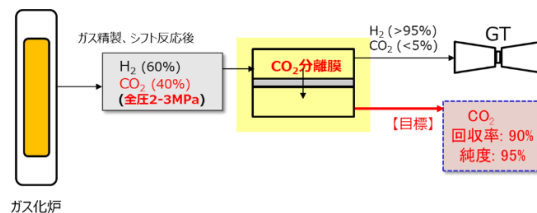


図 11 混合溶媒系吸収液のコンセプト

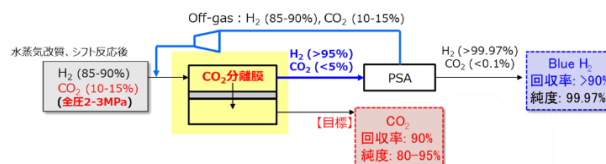
本技術の研究開発は、2021 年 1 月から NEDO 基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」において、混合溶媒系吸収液の化学種や液組成の最適設計、および実用性等の検討を進めている。2023 年度から 2024 年度にかけて日本製鉄株式会社東日本製鉄所君津地区において実際の高炉ガスをを用いたベンチ試験を実施し、混合溶媒系吸収液が従来のアミン水溶液よりも CO_2 分離回収エネルギーを低減できることを確認した。今後、実用化に向けて、長期実ガス試験を実施し、 CO_2 分離回収性能の技術実証および耐久性評価の実施を検討していく。

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 CO_2 を透過・分離する分離法である。そのため、高圧ガスである石炭ガス化複合発電(IGCC)や水素製造装置への適用により、低コスト、省エネルギーでの CO_2 分離・回収が期待される(図 12)。



(a)IGCC



(b)水素製造プラント

図 12 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電(IGCC)や水素製造装置からの CO_2 分離・回収

RITE では、高密度のアミノ基を有するポリアミドアミン dendrimer を用いた新規な高分子系材料が優れた CO_2 と H_2 の分離性能を有することを見出し、この dendrimer と架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜(分子ゲート膜)の開発を行ってきた。分子ゲート膜の概念図を図13に示す。

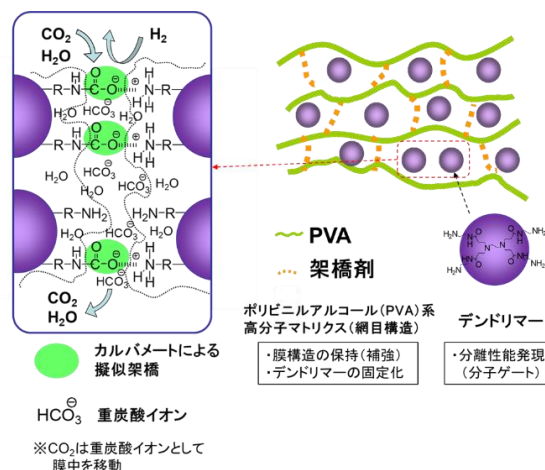


図 13 分子ゲート膜の概念図

ここに示すように、透過機構としては、加湿条件で、膜中に取り込まれた CO_2 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 H_2 の透過

を阻害することで、従来の CO_2 分離膜では難しかった CO_2 と H_2 を効率良く分離できる。また、高圧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膜材料を開発した。

この成果の実用化を推進するために、RITE 及び住友化学株式会社を組合員とする次世代型膜モジュール技術研究組合(MGM 組合)において、 CO_2 分離膜、膜エレメントおよび膜分離システムの開発に取り組んできた。

膜材料の開発については、新たに本分離膜の適用先として小型中圧の水素製造装置を想定し、中圧条件向けに膜材料の改良を実施した。その結果、改良膜材料(単膜)の分離性能を大幅に向上させることができた。分離性能試験の結果を図14に示す。

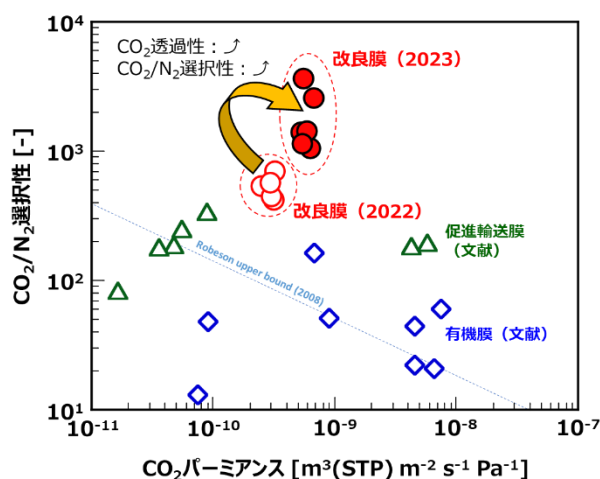


図 14 膜材料(単膜)の CO_2/N_2 分離性能

MGM 膜の試験条件: 温度 85°C 、全圧 0.85MPa 、供給ガス組成 $\text{CO}_2/\text{N}_2=20/80$

文献: Kamio et al., J. Chem. Eng. Jpn., 56 (2023) 2222000.

膜材料の改良により、 CO_2 パーミアンス、 CO_2/N_2 選択性共に向上させることに成功し、水素製造装置に適用するために必要な分離性能を示す膜材料が得られた。

膜エレメントの開発については、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 15)。



図 15 CO_2 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)

2024 年度からは、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 助成事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／ CO_2 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／高性能 CO_2 分離膜の水素製造システムへの適用性検討」において CO_2 回収型水素製造装置の実証試験に向けた事業を開始している。

8. CO_2 を原料とするメタノール合成技術の開発

CO_2 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 CO_2 有効利用技術、特に CO_2 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 CO_2 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、比較的の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)を達成することができた。

2024 年度は、高い透過分離性能を示す実用的長さ(1,000 mm)の脱水膜の再現性向上、水熱安定性(耐久性)の確認および更なる透過分離性能の向上に注力した。再現性の向上では合成方法を改良することにより、歩留まりの向上に成功している。加えて、改良した合成方法では、より長手方向に対する性能分布が小さくなっている結果が得られており、高性能かつ再現性の高い長尺脱水膜合成方法を確立することができた。図16に長尺脱水膜の長手方向に対する性能分布をまとめた結果を示す。縦軸の変動係数は、1,000 mm 長の脱水膜を 100 mm にカットしたサンプルの透過分離性能の標準偏差および平均値から算出しており、性能分布が小さいほど小さくなる。得られた長尺脱水膜のカットサンプル(100 mm)を用いた耐久性試験を実施し、合成方法改良前後の脱水膜の水熱安定性を確認した。その結果、改良後の脱水膜は 500 h の間、結晶性を維持していることが明らかとなり、水熱安定性を有していることが示唆された。RITE 開発の実用的長さの長尺脱水膜は他の脱水膜と比較して高い透過分離性能を有していることから、メタノール合成用膜反応器をはじめとして、様々な用途に適用可能であり、上述のとおり、再現よく高い性能を有する脱水膜の合成条件を確立したことから、一步一步着実に実用化に向けて進んでいる。

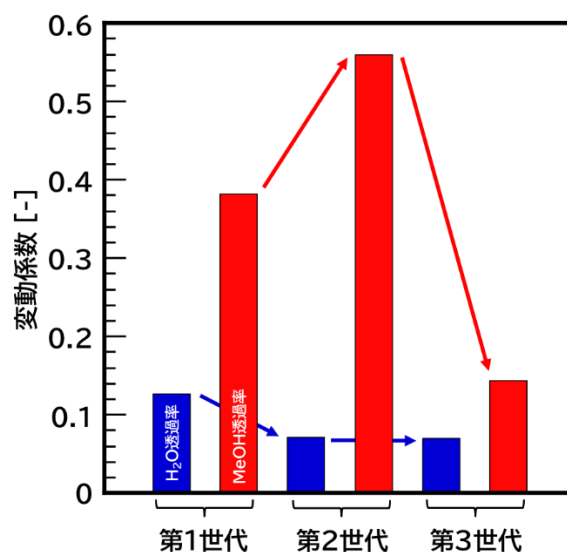


図 16 長尺脱水膜の長手方向に対する性能分布

今後、開発した実用的長さの脱水膜の実用化を目指すとともに、更なる透過分離性能の向上(特に Si/Al の向上)を目的として様々な支持体上への脱水膜合成条件検討を進めていく。

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 17)。細孔内がシリカで埋まると、埋め切れていない箇所が優先的に反応が起こるため、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。

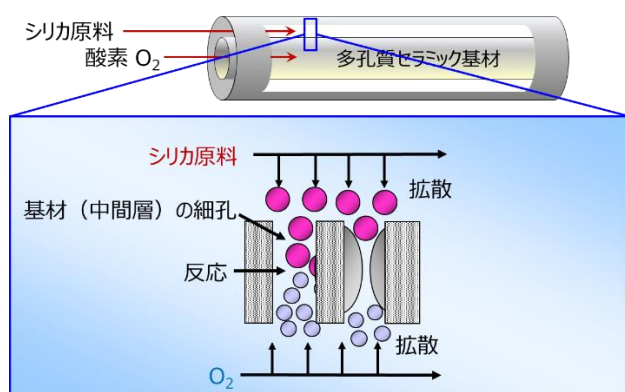


図 17 対向拡散 CVD 法によるシリカ膜の製膜イメージ

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 H_2 :0.29 nm, CO_2 :0.33 nm, N_2 :0.36 nm, CH_4 :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。現在、「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ている。

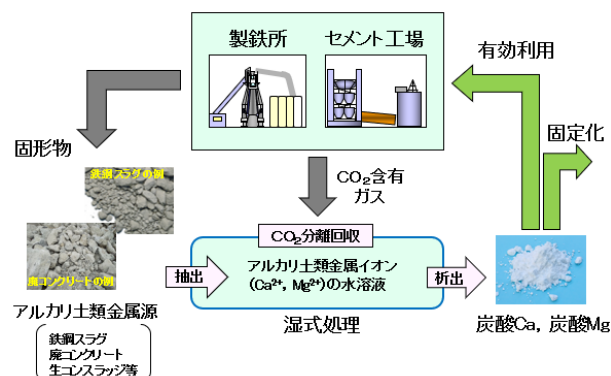
10. 炭酸塩固定化技術

CO_2 鉱物化(CO_2 mineralization)は、ネガティブエミッション技術の一つである風化促進(Enhanced weathering)の要素技術であり、 CO_2 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る。

RITE は、 CO_2 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 CO_2 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 18)に取り組んでいる。

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、スケールアップ含め、本プロセスの事業化を目指した検討を行っている。

図 18 CO_2 炭酸塩固定化および有効利用技術

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 42 社(2025 年 4 月現在)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 CO_2 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

2024 年度は CO_2 分離回収研究会と膜反応器の 2 つの研究会を実施した。

CO_2 分離回収研究会では、RITE より、海外を中心と

した CO₂ 分離回収に関する最新動向の学会や訪問調査結果、RCCC に関する情報提供を行った。

膜反応器研究会では、RITE より、膜反応器を用いた CO₂ 有効利用や、分離膜の支持体に関する情報提供を行い、支持体メーカー様からも支持体製造に関する情報を共有いただいた。

上記 2 つの研究会は 2024 年度で終了し、2025 年度からは、スコープを CO₂ の分離回収および有効利用に広げた新たな研究会を発足した。

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「ホットトピックス」を 1 回発信し、会員の技術開発推進と知見向上に寄与した。

2025 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 2 社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。

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。

CO₂貯留研究グループ

グループメンバー(2025年4月)

グループリーダー・主席研究員	薛 自求	主任研究員	今村 哲己
サブリーダー・主席研究員	梅田 信雄	主任	中西 公美子
主席研究員	横井 悟	主任	西出 朱美
主席研究員(兼)	野村 真	研究員	三善 孝之
副主席研究員	高須 伸夫	研究員	永田 丈也
副主席研究員	中島 崇裕	研究員	Amer, Rasha
副主席研究員	名井 健	研究員	曹 金栄
副主席研究員	橋本 励	研究員	穂積 章一郎
主任研究員	三戸 彩絵子	研究員	宮坂 啓
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	小谷 雅文
主任研究員	朴 赫	研究員	大内 航
主任研究員	内本 圭亮	研究助手	平井 順子
主任研究員	小牧 博信	研究助手	氷見 悠子
主任研究員	指宿 敦志	研究助手	奥道 恵美
主任研究員	渡辺 雄二	研究助手	佐々木 恵
主任研究員	高野 修	研究助手	日高 奈江
主任研究員	末国 次朗	研究助手	村井 麻斗
主任研究員	山下 裕士	研究助手	中村 あす香
主任研究員	麻島 健	研究助手	奥田 まり

CO₂地中貯留の実用化へ向けた技術実証、事業化支援と国際連携

1. はじめに

2023年7月に閣議決定された「GX推進戦略」において政府は、2030年までのCCS事業開始に向けた事業環境を整備するため、模範となる先進性のあるプロジェクトを支援していく方針を示した。これを受け経済産業省および(独)エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)は、横展開可能なビジネスモデルを確立するために模範となるプロジェクトを、CO₂の分離・回収から輸送、貯留までのバリューチェーン全体を一体的に支援する「先進的CCS事業」として支援している。現在、国内外の貯留サイトを利用する合計9つのプロジェクトが進行中である。

RITEはこれらCCS事業での活用を念頭に実用的なCO₂地中貯留技術の開発を推進している。二酸化炭素地中貯留技術研究組合を組織してCCS事業者となる民間企業等と連携し、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)の委託事業として、CCS事業の安全性向上やコスト削減に寄与する技術を幅広く扱っている。

主要なテーマとして光ファイバーによるマルチセンシ

ングの国内外サイトにおける技術実証、CO₂貯留サイト周辺の断層安全性・健全性の評価手法の開発、CCS事業のバリューチェーンや事業モデルといった基本計画の検討に有用となる「CO₂排出源データベース」や「CCS事業コスト試算ツール」の構築などに取り組んでいる。また上記のほか、CCUS分野の国際機関との連携およびそれを通じた政策や技術の国際的な動向調査をNEDO委託事業として実施している。こうした活動の成果を以下に紹介する。

2. 主な研究課題と成果

2.1. 光ファイバーを用いたマルチセンシング技術の開発と技術実証現場試験

CO₂地中貯留を安全に進めるためには、圧入されたCO₂が貯留層内に留まっていること、および圧入に伴う間隙圧上昇により遮蔽層や坑井に影響を及ぼしていないこと等をモニタリングによって確認することが必要である。このためのモニタリングシステムには、長期に安定して稼働すること、十分な感度があること、およびコスト面で優れていることが求められる。これらの要件に適合

した技術として、光ファイバー計測が有望である。RITEでは、室内試験および現場試験を通じて同技術の研究開発を進め、国内外のサイトにおいて長期実証試験を実施中である。以下では、光ファイバーによるマルチセンシング技術の原理を説明するとともに、国内外サイトでの実証試験事例を紹介する。

2.1.1. 分布型光ファイバーマルチセンシングの原理

分布型光ファイバー計測は、ファイバー全体を受信部として利用できるため、空間的に連続した記録を取得できる技術として、様々な分野で利用が進められている。測定原理の概要を図1上に示す。ファイバーの一端から光パルスを送信すると、ファイバー内の様々な地点からの散乱光が帰ってくる。その入力光パルス発信/散乱光解析を計測器で行うことにより、温度やひずみといった物理量に変換するだけでなく、散乱光の到達時間により反射点位置が特定できるようになっている。また、この散乱光の波長により、散乱の特徴と測定対象が異なる（図1下）。ラマン散乱光は温度計測（DTS: Distributed Temperature Sensing）に、ブリルアン散乱光は温度とひずみ計測（DSS: Distributed Strain Sensing）に用いられる。レイリー散乱光は音響計測（DAS: Distributed Acoustic Sensing）で広く利用されているが、高精度の温度・ひずみ計測にも活用されている。これらの散乱光は別々に計測する必要があるが、複数の光ファイバーを束ねた一本のケーブルを設置することで、温度・ひずみ・音響を光ケーブルに沿って一度に捉えることが可能なマルチセンサーとして利用することができる。また、光ファイバー自体には電気機・機械的な装置はないため、地下深部の過酷な環境下でも利用でき、また、電源が不要、経年劣化がほとんどない、電磁波の影響を受けない等、温度計や圧力計をはじめとする在来型監視装置に対し多くの優位性があり、地中貯留モニタリングのコスト低減への寄与が期待される。

温度計測（DTS）、ひずみ計測（DSS）、音響計測（DAS）の適用方法を以降に説明するが、簡単にまとめると表1のとおり地中貯留の様々なシーンで活用可能で

ある。

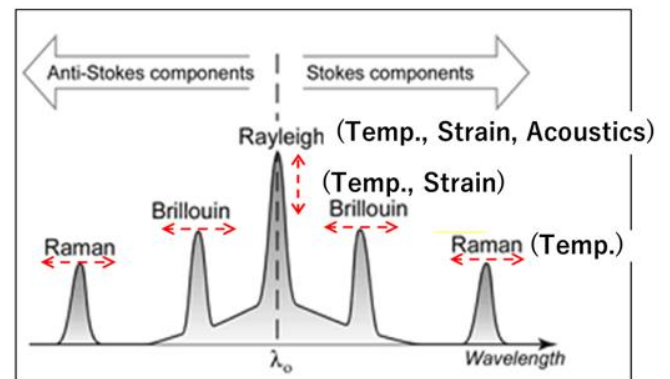
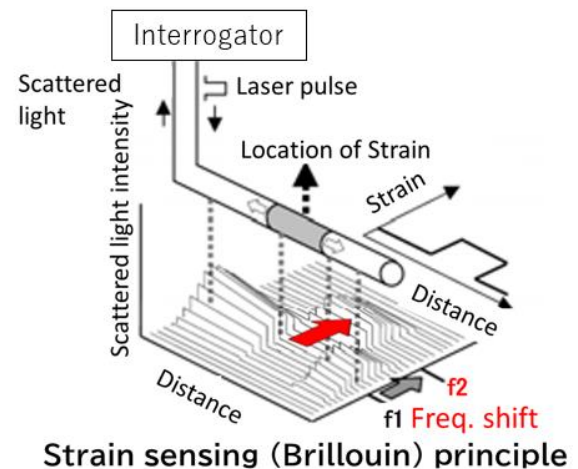


図1 光ファイバー計測の原理

表1 光ファイバセンシングの適用例

計測要素	モニタリング内容(例)
温度(DTS)	・貯留層へのCO ₂ 圧入区間の把握 ・坑井セメンチングの施工良否 ・パイプライン、圧入井からのCO ₂ 漏洩
ひずみ(DSS)	・貯留層へのCO ₂ 侵入の様相 ・貯留層からのCO ₂ 漏洩 ・CO ₂ 圧入時の遮蔽層の地層変形
音響(DAS)	・貯留層におけるCO ₂ 分布範囲

2.1.2. 国内試験サイト

千葉県茂原地区にある試験サイトでは、光ファイバー計測によるCO₂地中モニタリングシステムの技術開発を目的とした現場実証試験を行っている。これまで、ひずみ計測（DSS）の感度が高く、坑井背面に設置可能な光ファイバーの開発を行うとともに、深部坑井への光ケーブルの設置技術の向上、設置器具の改良、施工方法の改善を進めた。当該サイトでの現場試験を通じて、掘削時に坑壁が保たれた状態であれば、深度900m超の坑井

であっても、敷設工事の作業性を損なうことなくケーシング背面に光ケーブルを設置できることを確認した(図2)。また、設置された光ファイバーを用いて、セメント敷設時の坑井健全性評価技術の開発を進めている。同技術は、貯留層と地表を繋ぐ人工物である坑井に沿った流体移動に強い影響を与える、セメンチングの良否を評価するものである。本評価手法によりセメンチング時に不良個所が確認できれば、圧入開始前に坑井を修復するなどの方策が可能になると期待される。

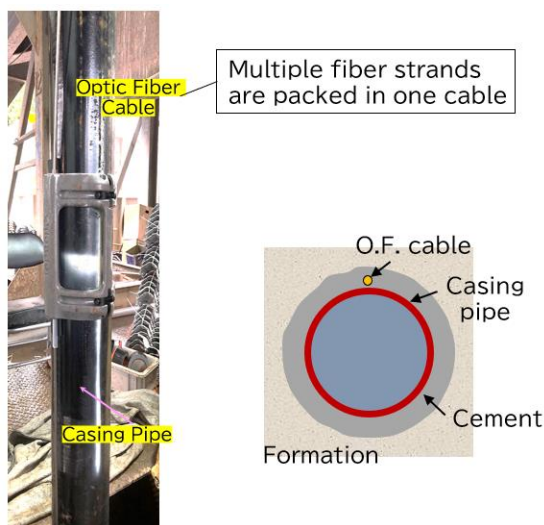


図2 光ファイバーの坑井への設置

当該サイトにおいては、レイリー散乱光によるひずみ計測(DSS)も実施した(図3)。この結果では、近傍坑井での流体圧入に伴う数十 $\mu\epsilon$ のひずみが計測できている。さらに、地層の違いや、流体圧入イベントに対応したひずみが明瞭に確認できている。この結果は、流体圧入に伴う地層変形を原位置で時間・空間的に連続的に取得した事例であり、CO₂圧入と地盤変形を考えるうえで、貴重な計測手段であることを示している。

現在当該サイトでは、900m坑井に設置した光ファイバーを用いて、長期連続ひずみ計測(DSS)を実施中である。この計測結果では、サイト周辺の地下水の揚水・還元作業に起因するひずみが計測されており、周囲の水理特性評価に利用されるだけでなく、将来の国内での地中貯留において必須となる複数坑井を効果的に配置するための評価技術につながるものと期待される。

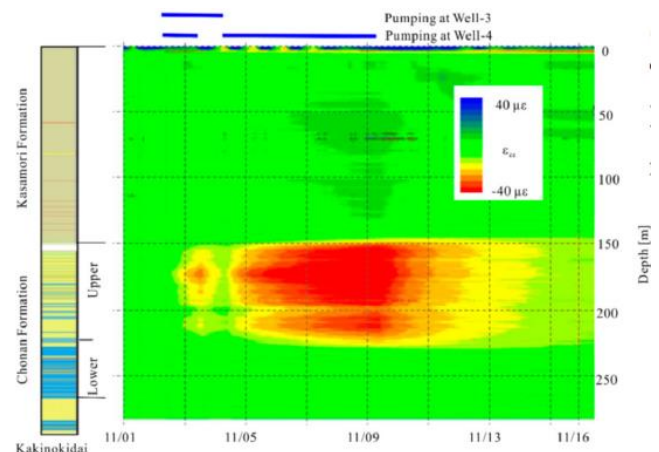


図3 茂原サイトでのDSS計測例

2.1.3. 米国ノースダコタ州CCSサイト

米国ノースダコタ州CCSプロジェクトは、Red Trail Energy社によりエタノール生成過程に回収される年間約18万トンのCO₂を、深部約2,000mの塩水帯水層に貯留を行っている商用プロジェクトである。2022年6月から圧入を開始し、2025年3月末時点で約43万トンのCO₂が貯留されている。また、このサイトの圧入井・観測井は、米国のClass VIの認可が下りた坑井であり、米国の規制当局下でのモニタリングを実施する実証試験となっている。

同プロジェクトでは、坑井とCO₂パイプライン沿いに光ファイバーを設置し(図4)、マルチセンシング技術の実証のため、音響(DAS)、温度(DTS)、ひずみ(DSS)の同時測定を継続中である。この計測を続けることにより、国内CCS事業に資するモニタリングシステムの運用における課題や対策等の知見を収集している。以下では、音響計測(DAS)と温度計測(DTS)の観測事例を紹介する。

坑井設置ファイバーを用いた音響計測(DAS)によって、地下のCO₂の広がりを把握することが期待される。特に坑井近傍のCO₂を精度よくモニタリングすることに適しているVSP(Vertical Seismic Profiling)は、様々な貯留サイトにおいても利用されている技術である。ノースダコタサイトでは、弾性波発振源についても新しい技術を採用している。

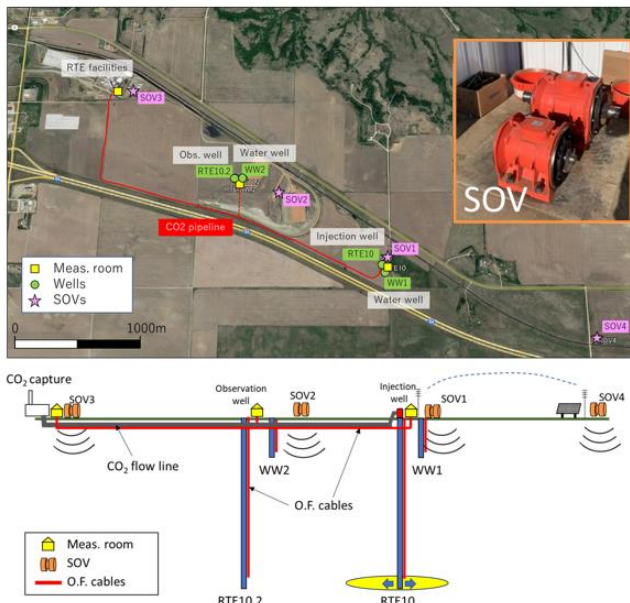


図4 ノースダコタサイトでの光ファイバーモニタリングシステム概要と弾性波発震装置の設置地点

通常行われる繰り返しの弾性波探査は、コスト面を考慮して、1～数年ごとに実施される。この観測間隔のギャップを埋めるため、頻回なデータ取得が可能な、常設型の発振装置(Surface Orbital Vibrators:SOVs)を導入した。SOVsは偏心おもりを回転させることにより地層中に振動を伝える装置である。SOVsのコントロールシステムは、遠隔操作およびプログラミングによる定時発振が可能となっているため、発振のための現場オペレータが不要である。また、音響計測(DAS)で取得するデータもオンサイトPCによる自動処理が可能となっており、サイトとのデータ転送量も軽減されている。ノースダコタCCSサイトでは、圧入開始直後から徐々にCO₂が広がっていく様子をモニタリング可能なように、圧入井からの距離が異なる4地点にSOVsを設置し、数日毎に発振作業を行っている。

図5は、ある日時において圧入井近傍に設置したSOVから発振された弾性波を、圧入井に設置された光ファイバーで取得した音響計測(DAS)記録と、そのデータ処理結果である。図5aでは、SOVから発振された信号を深度毎の受振点で観測した直達波と、地層境界面において反射して上方に伝播する波(反射波)が捉えら

れていることを示している。VSP解析では、この受振波のうち反射波のみを抽出し(図5b)、同一深度面に変換することにより(図5c)、ほぼ水平な反射面が得られる。さらに複数のトレースを足し合わせることで、坑井近傍の反射面のイメージを明瞭にさせている(図5d)。同様な処理を複数の日時において行い比較することで、圧入量とともに変化するCO₂分布の変遷をモニタリングすることが可能となる。予察的な解析では、CO₂の範囲が広がるとともに、CO₂が入った地層の弾性波速度が遅くなる傾向が確認されている。今後、他のSOVsでのモニタリング結果や圧入履歴との比較を行うことにより、CO₂の広がりをイメージングすることが期待される。

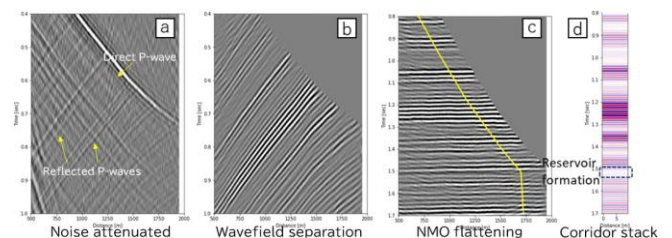


図5 DAS/VSP記録とデータ処理例

次に、ノースダコタサイトで取得した温度計測(DTS)記録の例を示す。図6は、システムメンテナンスに伴う圧入停止期間前後の、圧入井における温度計測(DTS)記録の時間・深度表示と、ある時間断面の深度プロファイルを示す。圧入前(ベースライン:図6左青線)は、地温勾配を示しているのに対し、圧入中は地温より低温のCO₂により圧入井が冷却されていることを示している。さらに、圧入停止期間中には、CO₂の供給が停止したことにより、圧入井の温度が周囲の地層温度に戻っていく過程を捉えている。この結果のように、温度計測(DTS)により圧入井全体の温度変動をリアルタイムにモニタリングすることが可能であることが示された。さらに、光ファイバーを併設した坑井やパイプライン沿いに、何らかの障害が発生した場合には、その地点の特定が即時に行えることが期待できる。

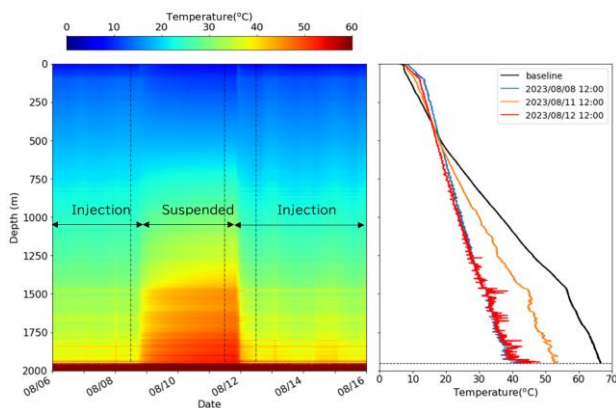


図6 DTSによる圧入モニタリング事例

2.1.4. 豪州サイト

豪州サイトにおいては、流体圧入に対する断層の安定性や断層帯からの漏洩等を評価する技術の開発のため、光ファイバーによるモニタリング技術の現場実証試験を進めている。断層や地層中の亀裂は、国内のCO₂貯留事業を進める際のリスクとして考慮すべき課題であり、光ファイバーのマルチセンシング技術は、これらをモニタリングする上で有効な手段と考えられる。そこで、光ファイバーによる断層等評価技術の確立のため、既知の断層が分布する試験サイトを有する豪州研究機関との共同研究を2021年度から立ち上げ、現場試験を行っている。

豪州ビクトリア州南西部のOtwayサイトでは、浅部断層からのCO₂漏洩検知試験を進め、同時に光ファイバーによるモニタリングを継続実施している。同サイトは豪州研究機関CO₂CRCによって管理された試験サイトで、地下約100m地点からの流体漏洩現場試験が実施された。RITEでは新規掘削した坑井に高性能のひずみ計測(DSS)用ファイバーを設置し、漏洩試験中の計測を行った。計測結果では、分布型計測によって初めて明らかになった特徴的なひずみの深度分布が得られ、地層の不均質性を示すデータを取得した。現在、試験結果解釈のための弾性波探査結果の精査を行っている。今後は小規模のCO₂圧入に対する漏洩検知性能評価試験を行う予定としている。

豪州西オーストラリア州南西部のPerth南部サイトでは、深部断層を対象とした断層安定性評価のための現場試験を進めている。同サイトは豪州研究機関である

CSIROとの研究協力により管理されている、既存の試験サイト(ISL: In-Situ Laboratory)で、深部数百mに大きな断層帯の存在が知られている(図7)。昨年度までに断層をイメージするための弾性波探査の実施、観測井の掘削・光ファイバーの設置、ひずみ計測(DSS)の継続測定を行った。今年度は断層安定性評価試験を目的とする流体圧入に用いる新規坑井を掘削し、地質性状評価を行った。今後は、この新規坑井からの流体圧入試験を行う予定である。

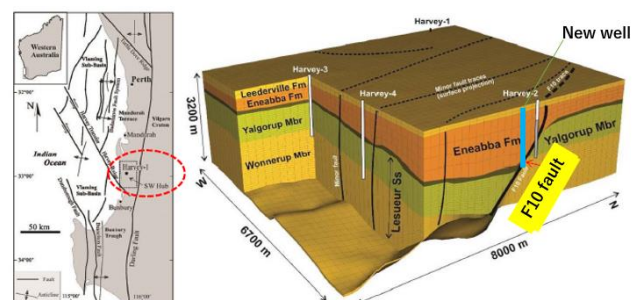


図7 Perth南部サイトにおける断層と新規坑井位置

2.2. CCS事業計画策定支援

「CCS事業法」が2024年5月に公布され、また、先進的CCS支援事業の活動が拡充するなどCCSの事業環境の整備やCCSの事業展開が順調に進みつつある。

RITEにおいても、CCSの大規模事業の展開を支援するための研究開発を進めている。具体的には、CCS事業モデル設定に役立つCO₂排出源データベースの開発、CCSの経済性評価に必要なCCSコスト試算ツールの開発である。以下、それぞれの研究開発の内容を報告するとともに、それらを組み合わせた、CCSの事業計画策定支援例を紹介する。

2.2.1. CO₂排出源データベースの開発

CCSの事業化には、CO₂排出源と貯留サイトの適切なマッチングが重要となる。そこで、RITEでは、このマッチング支援を目的としたCO₂排出源データベース(以下、排出源DB)の開発に取り組んでいる。

以下、そのデータ構造、機能概要、今後の展開について紹介する。

①排出源DBのデータ構造

環境省の「温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度」に基づく公開データ(以下、温対法データ)には、1万件を超えるCO₂排出源情報が登録されている。排出源DBでは、その情報をベースとしつつ、CCSによる脱炭素化の特徴に合うよう以下a)、b)、c)の対応を行っている。

a) 直接CO₂排出量の試算、DB化

温対法データにおける各事業所のCO₂排出量には、他者から供給される電力・熱に相当するCO₂が内数として含まれている。CCSは、当該事業所で実際に排出される直接CO₂排出分を回収・貯留するものであり、電力、熱相当分のCO₂排出量を除外する必要がある。そこで、事業種別に「直接排出係数」を一定の統計処理で求め、温対法上のCO₂排出量に乘じ、各事業所からの直接CO₂排出量を算出し、DB化している。

b) バイオマス燃料CO₂排出源情報の組み込み

温対法データは、化石燃料からのCO₂排出を対象としており、バイオマス燃料からのCO₂排出は、カーボンニュートラルのため対象外となっている。一方、バイオマス発電所もCO₂を排出しており、それを回収・貯留することで、BECCS化、ネガティブエミッション化が図れるなど、脱炭素化促進に重要な要素となる。そこで、資源エネルギー庁電力調査統計等の情報を参考に、バイオマス燃料からのCO₂排出源情報も調査し、CO₂排出量の試算と排出源DBへの組み込みを図っている。

c) 貯留ポテンシャル情報の反映

RITEが実施した「全国貯留層賦存量調査」の貯留ポテンシャルのマッピング情報も排出源DBに反映している。

②情報マッピング、スクリーニング機能の実現

a) 排出源と貯留層候補のマッピング機能

CO₂排出源と貯留層の適切なマッチングを図るため、その位置関係を視覚的に捉えることが重要である。そこで、①で示したデータをマッピングする機能を実現した。図8はその一例であり、排出源は太平洋側に集中し、貯留サイトは日本側に多いなど、その特徴を容易に捉えることが可能になる。

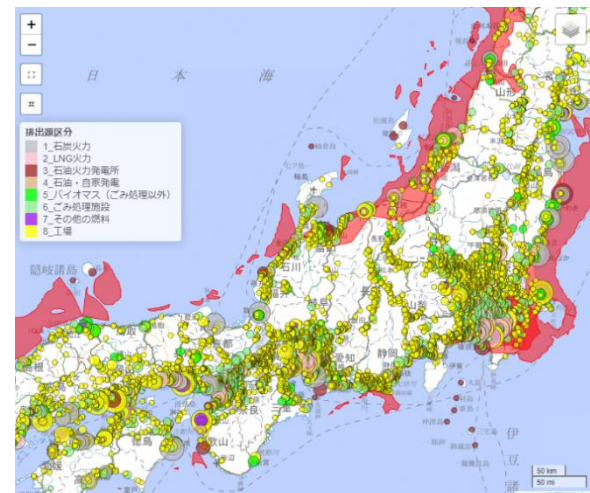


図8 CO₂排出源と貯留ポテンシャルの統合表示例

b) 情報スクリーニング機能

視覚化された地図は、自在に動かし、特定箇所をズームアップしたりすることが可能である。さらにある地域を四角で囲むことで、その地域のCO₂排出源情報を抽出することができるため、排出源のクラスタリング等に活用可能である。さらに、石炭火力発電所や工場など、排出事業者別に表示することもできる。例えば、バイオマス燃料のCO₂排出源に絞り込んだ表示をすれば、BECCS化によるCO₂排出量オフセット戦略の立案に貢献することなども可能となる。

なお、本データベースは、2024年11月より試用希望者に一般提供を行っている。興味のある方は、以下を参照願いたい。

<https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/business/theme/>

③CO₂排出源の将来展開の予測・表示を目指して

CCSの本格展開には長期にわたる取り組みが必要であり、その間、火力発電所や工場の構成も変化が見込まれる。そこで、CO₂排出源データベースに2025年～2050年までのCO₂排出源の変化を想定し、データベースに情報を組み込み、マップ上に排出源の時系列変化を表示する機能の開発に着手した。

現在、電力会社が公表している石炭火力発電所のカーボンニュートラル化計画などを参照して開発を進めているが、関係者の知見を得て、大規模工場などにも展開

したいと考えている。ぜひ、みなさまの協力をお願いしたい。

2.2.2. CCSコスト試算ツールの開発

CCSの事業化においては、排出源と貯留地の組合せ、その間を結ぶ輸送ルートと技術方式といった事業モデルを、経済性を考慮に入れて適切に設定することが不可欠である。これには、前記で紹介したCO₂排出源データベースとコスト試算ツールを統合的に活用することが効果的である。

以下に、RITEが開発を進めるコスト試算ツールの基本機能と構成、コスト試算の流れについて紹介する。

① 基本機能

CCSは、回収と輸送、貯留の各工程に分けられ、本ツールではそれぞれについてt-CO₂当たりのCAPEX、OPEXを求めることができる。図9に計算エンジンに搭載しているモジュールを示す。

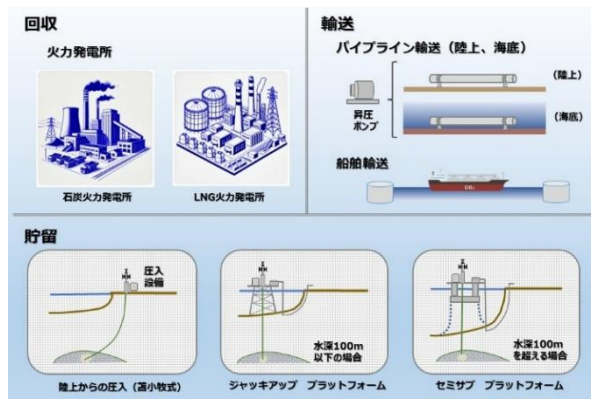


図9 計算エンジンに搭載しているモジュール

回収では、現在のところ、石炭火力発電所とLNG火力発電所の試算が可能である。今後、製鉄所やセメント工場などの産業分野の排出源にも対応する予定である。

輸送では、陸上と海底のパイプライン輸送および船舶輸送に対応している。船舶輸送では、輸送距離、航行速度、待機日数等の必要な諸元を入力すると、運航条件に合う船舶の隻数やサイズが自動で算出される。

貯留では、離岸距離と水深によって3通りの技術方式の中から自動選択される。離岸距離が3km以内では陸域から傾斜井で圧入する方式が選ばれ、3kmを超える

海域では、水深が100m未満のとき着床式が、それより深いと浮体式が選択される。

② ツールの機能構成

コスト試算ツールは入力インターフェイスのほか、3つの機能で構成されている(図10)。

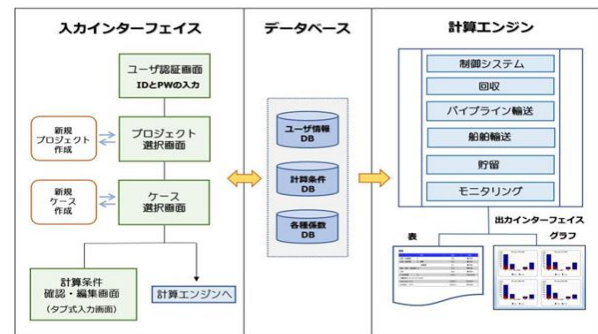


図10 コスト試算ツールの機能構成

入力インターフェイスは、計算諸元の入力ほか、ユーザがツールに対して指示を送るための機能である。

データベースは、認証情報や計算諸元、計算に利用する各種係数やテーブル類を保持している。

計算エンジンは、諸元に基づいてコストを計算するユニットである。回収、パイプライン輸送、船舶輸送、貯留、モニタリング等複数のモジュールが存在し、演算制御プログラムの統制によって順次実行される。また、計算結果の出力インターフェイス機能(表やグラフの表示)も計算エンジンに実装している。

③ コスト試算の流れ

a) 計算条件の設定と諸元の準備

排出源および貯留地の立地と輸送ルート・技術方式といった事業モデルを始めに設定する。次に事業年数、CO₂処理量、割引率、為替レート、輸送距離、輸送手段、貯留深度、圧入レート等の諸元を準備する。経営方針や経営戦略と密接に関連するものもあるため、事業企画者と解析技術者が協働して検討するのが望ましい。

b) ツールの利用

本ツールはWEBツールであり、インターネット環境が整った場所であれば、標準的なブラウザ（Edge、Chrome他）を利用して接続することができる。

諸元入力画面(図11)は、回収、輸送、貯留、モニタリング等のプロセス毎に用意され、タブによって画面を切り換える。全項目を入力したら保存してケース選択画面(図12)に戻り、計算の実行を指示する。

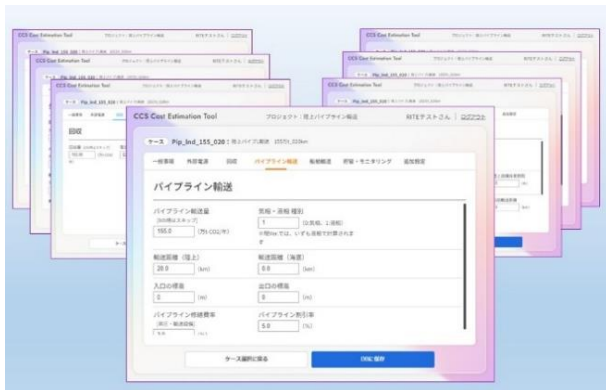


図11 諸元入力画面



図12 ケースの選択画面



図13 試算結果の出力画面(表)



図14 試算結果の出力画面(グラフ)

計算が終了すると、プロセス毎にコストが表形式で出力され、これに続いて計算諸元の一覧表が表示される(図13)。また、コストをグラフ表示する機能も設けている(図14)。グラフはプロセス毎にコストをCAPEXとOPEXに分類して表示し、また、複数ケースのコストを比較できるように同一画面上に表示させる仕様とした。

2.2.3. CCS事業計画策定支援例

CO₂排出源データベースとCCSコスト試算ツールの機能や活用例を紹介してきたが、以下ではこれらを組み合わせたCCS事業計画の策定例を紹介する。

①事業モデルの設定

CCS事業として「首都圏の2か所のLNG火力発電所を排出源に選定し、そこで回収したCO₂を日本海海域に貯留する。」という基本計画を仮定する。

その計画を具体化するために、CO₂排出源データベースを用いて、LNG火力発電所と回収したCO₂を輸送するための港湾を設定する。また、貯留地点に日本海海域を選定し、輸送距離(船舶およびパイプライン輸送)を求めた。

②経済性評価と事業計画検討

上記事業モデルの経済性を評価するため、まず図15のように諸元を設定してコスト試算ツールにより事業全体のコストを算定する。

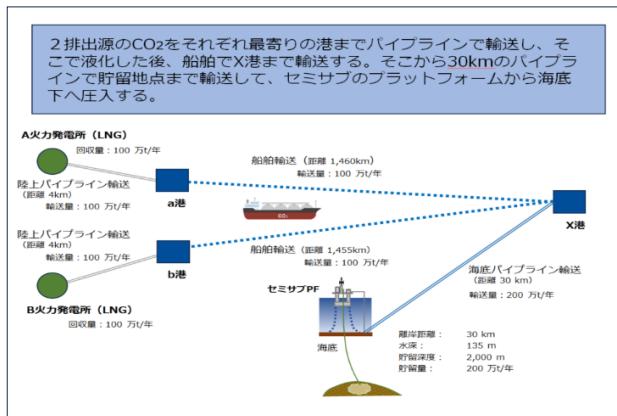


図15 コスト試算のための諸元設定

事業モデルの適切化のためには、これをベースケースとし、ケーススタディにより分析・評価する必要がある。

一例として、CO₂送出港湾a港、b港を1つに集約する場合、また、船舶輸送をパイプライン輸送に代えた場合のコストを試算した。その結果、港湾集約またはパイプライン輸送によりコスト低減が可能なことを定量的に示している(表2)。

表2 コスト試算のケーススタディ(例)

ケース	コスト(相対値)
ベース	100
港湾集約	95
パイプライン輸送	85

この事例ではごく簡単なケース設定としたが、多数の事業モデルをケース設定する場合にも、CO₂排出源データベースとCCSコスト試算ツールの連動で、経済性評価を迅速に行うことができる。効率的な事業計画策定を支援するツールとして有効である。

2.3. 国際動向

我が国がCCS長期ロードマップで掲げる2030年事業化の目標達成に向け、財政的インセンティブ確立、規模拡大を通じたコストダウン、我が国の技術の海外展開等、制度的、技術的な課題解決が取組まれている。

RITEはCCSの普及に関する議論への活用を目的とし、近年取組が活発化している関連する国際機関やCO₂の海底下貯留、越境輸送に関係するロンドン条約会合等の国際会議との連携、各会合での情報収集、我が国の取

組発信等をおこなっている。

また、ヒアリング、文献調査等によりCCSの支援制度、プロジェクト規模拡大等の国際動向を調査している。

ここでは、近年に支援制度の整備、プロジェクト等が活発になった欧州を中心に主要国の動向を紹介する。

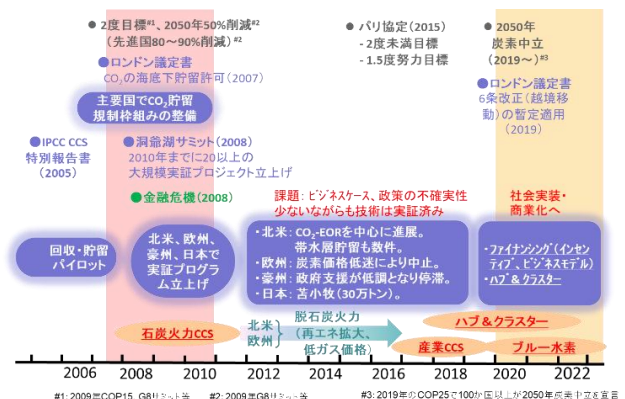


図16 世界の規制・インセンティブの変遷

2.3.1. 欧州のCCS導入の背景、政策の重点等

①気候変動対策

2009年G8サミット等での2050年50%削減(先進国80~90%削減)を受け、主要国で排出権取引制度やCO₂貯留の規制枠組みが整備され、実証プロジェクト等が立ち上がったが、欧州では炭素価格低迷や再エネ拡大等によりCCSプロジェクトが中止となったものがあつた。

一方、パリ協定を受け2019年のCOP25で100か国以上が2050年炭素中立を宣言する中、電化や水素化などではCO₂の排出が避けられない分野(セメント、鉄鋼、石油精製、航空輸送等)にとってCCS、CDR(CO₂除去)等は必須であるとの国際理解の進展に伴い、各国のカーボンマネジメント政策が強化された。

②産業分野のネットゼロ化、CO₂貯留能力の確保

欧州連合(EU)理事会は2024年にネットゼロ産業法を承認し、産業分野の排出量の削減のため、2030年までにEUで5千万t/年のCO₂貯留圧入能力の確保の目標をたてた。

③国際的なCO₂輸送インフラの必要性

EUは産業カーボンマネジメント戦略の中で、回収場所貯留、利用できないCO₂の輸送のため、また、EUの

単一炭素市場を創出するため、貯留能力に加え国際的なCO₂輸送インフラの必要性をあげた。

④支援制度の必要性

現状ではCCS等を導入しない場合のCO₂対策コストである排出権取引制度の炭素価格等が回収、輸送、貯留コストより小さく、一方導入コストを全て顧客に転嫁することも現状では難しいため、CCSの実施等のためには、公的支援が重要であると認識されている。

⑤ハブ&クラスターの推進

複数プロジェクトを束ね大規模化で費用削減、産業集積地域の重点的な脱炭素化を図る観点等から排出源、輸送貯留インフラのハブ&クラスターが重視されている。

2.3.2. 欧州各国の動向

①EU

国際的なCO₂輸送インフラの整備を推進するため、欧州横断のエネルギーインフラを支援するCEF-E (Connecting Europe Facility for Energy)基金が越境CO₂輸送事業等を支援している。また、産業分野のCO₂回収をEU-ETSの収入を原資とするEUイノベーション基金等が支援している。

排出権取引制度(EU-ETS)の改善も進められている。特定の産業に対して無償割当される排出権を2034年までに段階的に廃止するとしている。無償割当はカーボンリーケージ(規制の緩い他国への生産移転等)の防止を狙ったものであるが、他方で排出削減投資のインセンティブを損ねる課題があり、これに応じるものである。また、輸入品へのEUと同等の炭素価格設定(炭素国境調整メカニズム(CBAM))が導入されることになった。

②英国

英国はネットゼロへの移行とCCSによる雇用や経済成長を重視し、2030年までに2~3千万t/年の目標を掲げ、CCSを推進している。2030年までに稼働する4つのクラスターを選定し、その内2つへの約220億£の支援が2024年秋に首相、エネルギー安全保障ネットゼロ大臣、財務大臣から発表された。輸送・貯留のライセンスも事業者が付与され、2024年末に東海岸クラスターが投資決定した。

製造業、廃棄物処理、ブルー水素、発電、CDR(CO₂除去、BECCS(バイオマス燃焼からの回収・貯留)とDACCS(直接空気回収・貯留))の分野毎に導入目標がたてられ、また事業の予見性を高めるための支援制度が設計されている。既存の再生可能エネルギー支援制度と親和性の高い、価格差に着目した支援、具体的にはCCSコストとEU-ETS価格等のCO₂対策費用の価格差を支援する制度が用いられている。

③ノルウェー

ノルウェーは北海に石油ガス資源や塩水帯水層を豊富にもち、世界初の塩水帯水層貯留のCCSプロジェクト等に取り組んだ実績がある。

欧州の貯留ハブ化を見通し、製造業等向け国際的回収・輸送・貯留プロジェクト(Longship)を補助金や炭素税免除等の方法で支援している。そのうち輸送・貯留過程(Northern Lights)の施設が完成し、国内セメント工場等からのCO₂船舶輸送・貯留の開始が2025年に予定されるとともに、オランダ、デンマーク等からの輸入も予定している(初期容量は250万t/年)。CEF-E基金から約1億3千万ユーロを獲得し、スウェーデンからの輸入等も加えた追加投資を決定し、5百万t/年以上への拡張を予定している。

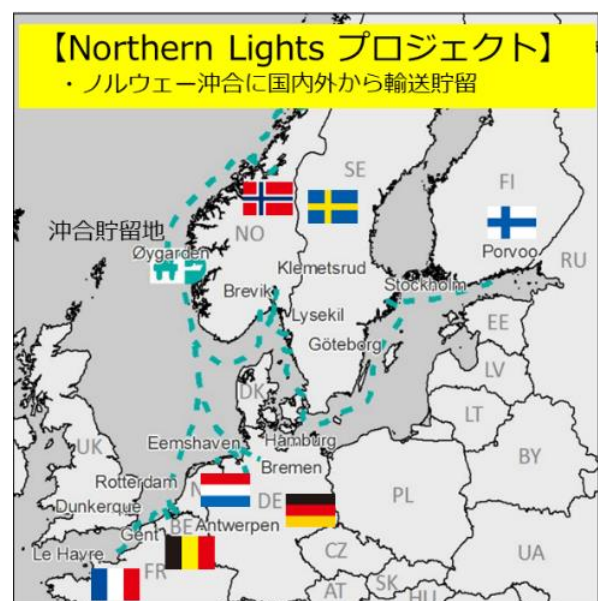


図17 Northern Lightsプロジェクト(越境輸送)

出典)Northern lights project. Project of Common Interest, European Union, https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.4.pdf

④オランダ

2019年の気候法で、2030年に49%のCO₂削減目標(2019年比)を定めている。沖合のCO₂貯留地を活用し、産業分野排出量の半分程度をCCSで対策する計画である。そのため、2020年から既設の再生可能エネルギー発電等の支援制度の範囲を拡げ、回収および輸送・貯留に係る価格差支援を開始した。

2020年にロッテルダム市の4つの回収プロジェクトが選定され、これらは、EU初の輸送・貯留ハブであるPorthosプロジェクトを利用する。

Porthosプロジェクト(250万t/年)は、2024年に着工し2026年稼働を目指している。陸上パイプラインは計画中の国際CO₂輸送・貯留プロジェクト(Aramis)との共有を想定し最終容量1千万t/年で建設され、EUのCEF-E基金から約1億ユーロを獲得している。

⑤デンマーク

2020年の気候法において、2030年までにGHG排出量を70%削減(1990年比)し、2050年までに炭素中立の実現を目標としている。

CCSに対しては、導入コストに対する価格差を支援し、第1回公募で、バイオマス発電所からノルウェーのNorthern LightプロジェクトにCO₂輸出するØrstedプロジェクトを選定した。また、GreensandプロジェクトはベルギーからCO₂を受入れ、2023年に世界初の船舶による越境輸送・圧入に成功した。

⑥ドイツ

GHG排出量を2030年までに65%削減(1990年比)し、2045年のカーボン中立を目指している。しかし、既存の法的枠組みではCO₂パイプライン輸送が認められていない等の課題が連邦政府の報告書で勧告されていた。そのため、カーボンマネジメント戦略の基本原則が閣議決定され、これに基づき炭素貯留法の改正案が2024年に国会提出された。

また、産業分野の気候変動対策の支援が2024年に開始されている。前記のとおり法例の整備が遅れたためCCSプロジェクトへの支援は、2025年以降に公募開始が予定されている。

2.3.3. 北米の動向

北米では20件以上のCCSプロジェクトが稼働し、世界をリードしている。

①米国

米国のCCSプロジェクトの進展は、1970年代から開始されたCO₂-EOR(原油増進回収)向けに整備されてきた4千マイルに及ぶCO₂パイプラインと多数のCO₂-EORサイトの存在によるところが大きい。

CO₂貯留量に対する投資税額控除を2008年に導入し数次に亘り支援規模を拡大してきた。回収費用が比較的小さいエタノールプラントでの事業化が増加している。また、セメント等回収費用が高い産業分野やCO₂輸送インフラへの補助金交付、低金利融資もおこなわれている。

②カナダ

カナダは化石資源大国であり、炭素税等のCO₂排出規制を導入する等、炭素中立に取り組んでいる。大規模CCSプロジェクトは、石油ガス生産が活発なアルバータ州、サスカチュワン州で行われている。

CCSに対する支援策は州ごとに異なり、アルバータ州等はCO₂クレジットを付与し、また、CCSハブ・プロジェクトを選定し、試掘費用の支援等を実施している。一方、連邦政府による投資税額控除が2024年に成立し、CCUSの全過程とDACを支援し、基金によるCCSプロジェクトへの出資も実施している。

2.3.4. 豪州の動向

豪州は、LNGや石炭の輸出量が多い資源大国であり、2050年炭素中立、2030年までに43%削減(2005年比)を目指しており、石油ガス事業を含む全ての分野において脱炭素を推進している。Safeguardメカニズムにより10万t-CO₂/年以上の大規模排出者は2050年の炭素中立に貢献する必要があるとして排出上限が設定され、2030年までの期間には上限値が毎年約5%ずつ削減される。これにより例えば、天然ガス生産時に随伴するCO₂の大気中への排出は難しくなりCCSの適用が不可避となっている。Gorgonプロジェクトは天然ガス生産に随伴するCO₂を陸域に貯留するもので、2019年に稼働、日本企業も参画している。

貯留ポテンシャルは海域(沖合)にもあり、10エリアの探査許可が2023年に公募され、今後、海域でのCO₂貯留が拡大していくとみられる。

また、LNG、水素、アンモニア生産や産業分野により排出されるCO₂を集積するCCSハブへの関心も高まっている。

連邦政府による支援は炭素クレジットの付与を通じて実施される。LNGプラントからのCO₂を陸域枯渇ガス田に貯留し、CCSハブとなるMoombaプロジェクト(2024年稼働)がこの支援を受けている。

豊富な貯留ポテンシャルをもつVictoria州は、連邦政府からの資金提供を受け州政府自らがCCSハブの構築を計画している(CarbonNetプロジェクト)。沖合貯留層にCO₂をパイプライン輸送するもので現在、FEED(基本設計)まで終了している。日本の政府機関やCCS関連企業も注目しており、同州政府とMOUを締結する等、協力体制を築いている。

連邦政府はCO₂輸出入に関する法整備も進めている。東ティモール領海内の枯渇ガス田を貯留サイトとするBayu-Undanプロジェクトは、豪州企業によるガス田開発と連動して計画され、CCSハブとして他国からのCO₂受入れも検討されている。

先に述べたMoombaプロジェクトでも日本企業からCO₂を受入れる調査検討がされるとともに、他のいくつかのCCSプロジェクトにも日本企業がパートナーとして参加している。

ただ今開催中！(期間:2025 年 4 月 13 日～10 月 13 日) ～2025年大阪・関西万博「RITE 未来の森」～

2025 年大阪・関西万博室メンバー(2025 年4月)

室長	中神 保秀	室員(兼)	望月 則孝
副室長	出口 哲也	室員(兼)	久貝 潤一郎
室長代理(兼)	菊池 直樹	室員(兼)	三戸 彩絵子
室長代理(兼)	梅田 信雄	室員(兼)	穂積 章一郎
主任	森 佳代子	室員(兼)	窪田 善之
室員	春日 真喜	室員(兼)	倉橋 尚美

1. RITE 未来の森とは

RITE は、現在開催中の 2025 年大阪・関西万博の未来社会ショーケース事業「グリーン万博」のシルバートナーとして、DAC(Direct Air Capture)を中心としたネガティブエミッション技術を紹介する「RITE 未来の森」を出展中です。



図 1 RITE 未来の森 全景

DAC は自然の森と同じように大気中の CO₂を回収することから「RITE 未来の森」と名付けました。

「RITE 未来の森」では、まず、ガイダンスホールにて地球温暖化問題の概要や DAC や CCS の必要性を解説する立体映像をご覧ください。その後、NEDO のムーンショット事業として実証試験を行っている DAC プラントのほか、RITE が従来から研究している CCS

(CO₂の分離・回収・地中貯留技術)技術に関する展示など、カーボンニュートラル社会の実現に不可欠な次世代技術をご紹介します。

また、同じくムーンショット事業として DAC の研究をしている名古屋大学、九州大学の展示ブースや、アスファルトへの CO₂鉱物固定を行う前田道路の展示ブースもあります。体験型の展示なども設置し、技術内容をわかりやすく紹介します。

2. ガイダンスホールと解説映像

最初に来場者をお迎えするガイダンスホールは、持続可能性と建築美を両立する「CLT 折版構造」を採用した木造建築です。CLT(直交集成板)を折り紙のように折り曲げた建築手法で、高い構造強度と柱のない開放的な空間を実現しています。ガイダンスホール内では、ゴーグル不要の最新の立体映像技術を用いて、子どもから大人まで理解しやすいストーリー形式で地球温暖化やネガティブエミッション技術を紹介しています。



図 2 ガイダンスホール



図 4 DAC 実証プラント

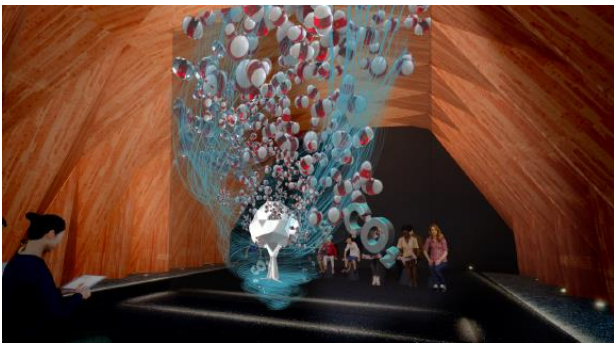


図 3 映像イメージ図

3. DAC 実証プラント

万博会場で実際に空気から CO_2 を回収する実証試験を行っている DAC プラントをご覧ください。全長 7m、3 基のプラントです。ムーンショット事業として、万博会期中にプロセス確認や吸収材の性能テストなど各種試験を行います。

DAC で回収した CO_2 は、会場外に輸送して二酸化炭素地中貯留組合のメンバーの貯留サイトで貯留して頂く予定です。また隣接する大阪ガスのメタネーション施設およびエア・ウォーターの CO_2 回収・ドライアイス製造装置へ供給するなど、 CO_2 の有効利用を行います。

4. 見学ツアー

「RITE 未来の森」の見学ツアー(木曜日定休日)を実施しています。1 日 6 回、各回定員 20 名の見学ツアーとなります。

「RITE 未来の森」は一般の来場者が歩いて立ち入ることができない管理区域内にあるため、専用 EV バスに乗って移動していただきます。

見学ツアーは、地下鉄夢洲駅から万博会場の東ゲートを抜けて東ゲート南停留所からのスタートとなります。2、3 分 EV バスに乗って現地へ移動し、ガイダンスホールで解説映像をご覧いただいた後、実際の DAC 実証プラントを見学いただき、各展示を通じて、RITE の技術をご体験いただけます。内容は、ビジネスパーソンはもちろん、学生や一般市民にもわかりやすい構成としています。

見学ツアーは、RITE のホームページ[「RITE 未来の森」](#)から予約を受付中です。現地でお待ちしております、ぜひご来場ください。

5. おわりに

大阪・関西万博のコンセプトは「未来社会の実験場」です。世界的な未来技術発信の場である万博を通じて、RITE が提案するこの DAC を中心としたネガティブエミッション技術を世界に発信していきます。

是非ご来場いただき、地球温暖化対策の最先端技術である実際の DAC プラントを体感してください。

リンクをクリックすると RITE ウェブサイトの該当ページが開きます。

[プレスリリース](#)

[イベント情報](#)

発表論文一覧

 [システム研究グループ](#)

 [バイオ研究グループ](#)

 [化学研究グループ](#)

 [CO₂貯留研究グループ](#)

その他の活動

◆環境教育(校外学習の受け入れ)

実施日	対象者	人数
2024 年 4 月 26 日	奈良県立青翔高等学校 3 年生	24
2024 年 6 月 14 日	奈良県高等学校理化学会	20
2024 年 7 月 26 日	京都府立西舞鶴高等学校 理数探求科 2 年生	14
2024 年 10 月 1 日	奈良県立奈良北高等学校 数理情報科 2 年生	17
2024 年 10 月 10 日	島根県立出雲高等学校 理数科・普通科 1 年生	41
2024 年 12 月 5 日	精華町立精華西中学校 1 年生	7
2025 年 3 月 7 日	相楽東部広域連立立笠置中学校 1 年生	4

◆環境教育(出前授業)

実施日	対象者	人数
2025 年 2 月 6 日	大和高田市立高田西中学校	120

◆環境教育(小学生向けワークショップ)

実施日	イベント名	人数
2024 年 8 月 6 日 (同日に 2 回開催)	地球温暖化とエネルギーについて考える 工作・実験教室	43

掲載年月日	見出し	掲載紙名
2024.5.22	【動き出すCCS事業】(2)多種多様なCO ₂ 回収技術	電気新聞
2024.5.22	水素製造 CO ₂ 分離型実証へ 三菱化工機 MGM組合 NEDOプロ採択	化学工業日報
2024.5.23	三菱化工機 MGM組合 排ガスから水素回収 低濃度にも対応 膜でCO ₂ 分離	電気新聞
2024.5.29	CO ₂ 分離回収型水素製造 三菱化工機など実証	日刊工業新聞
2024.6.4	CO ₂ を分離回収 夢洲にプラント RITE、温暖化抑止	京都新聞
2024.6.21	CO ₂ 分離回収型水素製造装置／三菱化工機が実験着手	神奈川新聞
2024.8.8	短信 地球環境産業技術研究機構(RITE)、「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウムin関西」開催	化学工業日報
2024.9.4	バイオものづくり グリーンケミカルズ 樹脂原料の4-HBAなど ライセンス供与めざす	化学工業日報
2024.9.10	万博 CO ₂ 回収実験 メタン生成⇒会場の調理に 1日最大500キロ	大阪読売新聞
2024.10.4	愛知の理念 脱炭素実証へ…万博CO ₂ 回収実験	読売新聞オンライン
2024.10.16	国内未利用資源から香料 高砂香料、技術開発に力 天然・バイオ製品拡充	化学工業日報
2024.10.22	実用化迫る革新技術 CO ₂ 分離・回収 日本の技術 世界を先導	化学工業日報
2024.12.2	日本企業が世界をリード 化学吸収法やDACなど	化学工業日報
2024.12.4	電源構成 複数案提示へ 40年度、エネ基本計画で	京都新聞
2024.12.4	40年度の全国粗鋼生産量／8000万トン前後と想定／エネ需給分析で専門機関	鉄鋼新聞
2024.12.4	【エネルギー基本計画】40年の需給 複数のシナリオ検討 基本政策分科会 6機関が分析結果	電気新聞
2024.12.4	電源構成、複数案提示へ／経産省／40年度、エネ基本計画で	中部経済新聞
2024.12.4	電源構成目標 複数案提示へ／40年度、エネ基本計画で	神奈川新聞
2024.12.4	電源構成、複数案提示へ 経産省 40年度目標、エネ基本計画	神戸新聞
2024.12.4	電源構成、複数案提示へ 40年度、エネ基本計画で	東奥日報
2024.12.4	40年度電源構成複数案を提示へ／経産省、エネ基本計画	下野新聞
2024.12.9	需給シナリオ複数に 7次エネ基 素案へ大詰め 総合エネ調	ガスエネルギー新聞
2024.12.26	40年度のエネルギー需給見通し／次期エネルギー基本計画案／資源エネ庁	建設通信新聞
2024.12.26	エネ庁、次期エネ基案まとめ 40年度1次供給4.4億kl	日刊工業新聞
2025.1.1	RITE「革新的環境技術シンポジウム2024～2050年カーボンニュートラルを支えるイノベーション～」開催	ガスレビュー
2025.1.18	万博CO ₂ 回収施設完成 3月から実証実験	大阪読売新聞
2025.1.20	環境配慮の化学品合成 開発進む新興の動き バイオマス原料に転換 CO ₂ 使用の研究も	化学工業日報

掲載年月日	見出し	掲載紙名
2025.1.23	バイオものづくり RITE(上) コリネ型細菌軸に世界リード	化学工業日報
2025.1.27	バイオものづくり RITE(下) 多様な国プロで事業化貢献	化学工業日報
2025.1.30	CCSの現状など紹介 研究組合、都内で技術講座	電気新聞
2025.2.24	識者はこう読むー7次エネルギー基本計画ー 第2回 RITE主席研究員 秋元圭吾氏 1.5度目標へガスが合理的	ガスエネルギー新聞
2025.3.3	電力需要 50年、最大1.2兆キロワット時 広域機関 供給力議論に反映	電気新聞
2025.3.14	大阪・関西万博2025 カーボンリサイクル 技術実証装置が完成 RITEなど 夢洲で竣工式開催	電気新聞
2025.3.14	2025EXPO 生ゴミからe-メタン 万博協会、会場設備で竣工式	日刊工業新聞
2025.3.14	脱炭素のミライ 万博から CO ₂ 回収設備公開、都市ガスに転換	日本経済新聞
2025.3.14	[なるほど科学&医療]万博「脱炭素」最先端技術競う 環境考える出展や実験	大阪読売新聞
2025.3.15	メタン合成施設 万博会場に完成 CO ₂ を回収、活用	大阪読売新聞
2025.3.18	万博会場で「e-メタン」施設など竣工	化学工業日報
2025.3.26	継承 愛知万博20年(中) CO ₂ 削減 解決策 見せる意義	中日新聞

リンクをクリックすると RITE ウェブサイトの該当ページが開きます。

[特許紹介](#)

- バイオリファイナリー関連分野
- 二酸化炭素分離・回収関連分野
- 無機膜関連分野
- 二酸化炭素圧入関連分野

RITE Today^{2025 Vol.20}

Annual Report



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

URL: www.rite.or.jp

Email: pub_rite@rite.or.jp

〒619-0292

京都府木津川市

木津川台9丁目2番地

TEL.0774-75-2300

9-2 Kizugawadai,

Kizugawa-shi, Kyoto

619-0292 JAPAN

TEL.+81-774-75-2300