

RITE Today^{2020 Vol.15} 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 2020年版 第15号

30th Anniversary 1990-2020



巻頭言

RITE30周年を迎えて

副理事長・研究所長
山地憲治

特集

脱炭素化に向けた
キーテクノロジー

CO₂分離・回収技術
の概要と新たな展開

研究活動概説

トピックス

普及啓発活動

2019年発表論文

2019年主な関連新聞記事

特許紹介

RITE Today

2020 Vol.15

Contents

巻頭言

- RITE30周年を迎えて
副理事長・研究所長 山地 憲治

03

特集

- 脱炭素化に向けたキーテクノロジー：CO₂分離・回収技術の概要と新たな展開
化学研究グループ グループリーダー・主席研究員 中尾 真一
サブリーダー・主席研究員 杉田 啓介
副主席研究員 余語 克則
主任研究員 甲斐 照彦
主任研究員 山田 秀尚

04

研究活動概説

- 企画調査グループ ● イノベーション創出に向けた調査研究、国際・産学連携等の推進
- 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
- バイオ研究グループ ● 持続可能な社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発
- 化学研究グループ ● CO₂分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み
- CO₂貯留研究グループ ● 安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術研究開発の取り組み
- 無機膜研究センター ● 無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の研究開発、およびその実用化・産業化に向けた取り組み

10

16

22

28

34

40

トピックス

46

普及啓発活動

54

2019年 発表論文一覧

56

2019年 主な関連新聞記事一覧

66

特許紹介

67



RITE30周年を迎えて

公益財団法人地球環境産業技術研究機構
副理事長・研究所長 **山地 憲治**

今年、地球環境産業技術研究機構(RITE)は設立30周年を迎える。私自身も今年3月末はRITEの研究所長を務めて10年の区切りで、昨年6月には副理事長に就任した。この機会に過去を振り返るとともにRITEの役割を考えてみたい。

RITEの設立が許可されたのは1990年7月、同年8月1日には事務局が開設され、93年には現在の場所(けいはんな学研都市)に本部施設が竣工した。RITE設立許可と同時期に米国ヒューストンで開催されたG7サミットで、わが国は地球温暖化防止の戦略的長期構想として地球再生計画を提唱している。RITEは地球再生計画の実施のために設立されたと考えられる。ちなみに、システム研究グループが開発・運用している世界エネルギーモデルDNE21+の中には地球再生計画の英語名NE21(New Earth 21)が含まれている。

地球再生計画におけるRITEの役割は、民間単独では取り組みにくい分野として、発生した温室効果ガスの分離・回収と処理・処分、植物等によるCO₂吸収源の拡大等に関する研究開発とされた。設立から10年余りの間、RITEの研究の主体は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託による研究開発プロジェクトだったが、そのテーマには、海洋隔離を含む各種のCO₂貯留(当時は固定化と表現)、砂漠緑化、CO₂の回収・有効利用などに加えて、バイオリクター、フロン類の回収・再利用、水素製造、生分解性プラスチック開発なども含まれていた。これら研究開発プロジェクトは大学との共同研究や民間企業との協力によって進められた。海洋隔離の研究は、海洋でのCO₂処分を禁じたロンドン条約によって中断することになったが、CO₂回収・利用・貯留(CCUS)に関する技術基盤やバイオ研究の研究基盤はこの時期に形成された。

プロジェクト研究以外にも、RITEと企業が研究費を持ちあって行う技術開発促進事業、調査研究事業、国際交流事業などが行われた。調査研究事業として行われた地球再生計画の実施計画作成に関する調査には私も関与したが、これが今や国内外で広く知られているRITEの温暖化対策シナリオ研究の始まりである。

今世紀に入ると、RITE本部内の研究体制を集約・充実させ、外部への委託研究業務は次第に縮小した。この間に、長岡での1万トンのCO₂地中貯留、RITEバイオプロセスの開発などを通してRITEの社会的認知度は大いに向上した。

一方、世界の地球温暖化問題への取り組みを振り返れば、1992年の地球サミットで採択された気候変動枠組み条約成立、97年のCOP3を経ての2005年の京都議定書発効、2015年のCOP21で合意されたパリ協定の16年発効などと、RITEの30年の活動と歩調を合わせるように大きく展開してきた。

昨年わが国が国連に提出したパリ協定期長成長戦略に記されているように、今世紀後半の早いうちの脱炭素社会実現が求められている。そのカギを握るのは、カーボンリサイクルを含むCCUSの実用化、微生物を利用したバイオマスの物質や燃料としてのクリーンな大量利用、ソサエティ5.0でのエネルギー需要の大幅削減などのイノベーションである。RITEの使命はますます重大になっている。

脱炭素化に向けたキーテクノロジー： CO₂分離・回収技術の概要と新たな展開

化学研究グループ グループリーダー・主席研究員 中尾 真一
 サブリーダー・ 主席研究員 杉田 啓介
 副主席研究員 余語 克則
 主任研究員 甲斐 照彦
 主任研究員 山田 秀尚

1. はじめに

パリ協定の発効を受けて、2050年に向け、温室効果ガス80%削減を目指したエネルギー転換・脱炭素化の取り組みには、再生エネルギーの主力化をはじめCO₂削減を進めつつ、CO₂排出源から大気中への放出を大幅に削減できる技術として、CO₂分離回収・有効利用・貯留（CCUS）の技術開発を進めておく必要がある。

CCSでは、CO₂分離回収コストは全体のコストの約6割程度を占めると試算されている。一方、2019年6月に策定されたカーボンリサイクル技術ロードマップでは、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していくカーボンリサイクル（CCU取組み）が提案されている。

このCCUS取組みを進めていく上で、共通技術であるCO₂分離回収コストの低減が重要である。

2. CO₂発生源と回収の最適な組合せ^{1), 2), 3)}

CO₂の分離・回収は、排出源から排出されるCO₂の圧力や濃度といった物性に応じて最適な方法を選択する必要がある（図1）。分離・回収技術として、CO₂を液体に吸収させる化学吸収法と物理吸収法、固体表面上に担持したアミン化合物に吸収させる固体吸収法、固体表面上に吸着させる物理吸着法、膜分離法、極低温下で液化し沸点の違いを用いて分離する深冷分離法等がある。

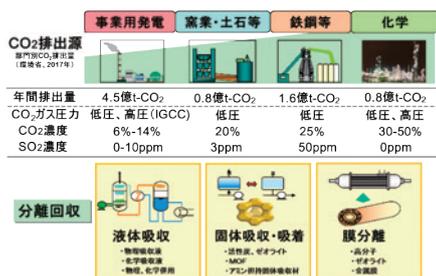


図1 CO₂排出源とCO₂回収技術

一方、回収技術を対象ガスによって分類すると、現行の大規模なCO₂排出源として火力発電所、製鉄所高炉、セメントプラント、化学プラントをターゲットにした場合、燃焼後にCO₂を分離・回収するPost-Combustion、燃焼前にCO₂を分離・回収するPre-Combustionに大別される。

Post-Combustionは、発電所のボイラー等から発生する燃焼排ガスからCO₂を分離・回収するもので、通常はほぼ大気圧で運転される。排ガスの圧力が低く、CO₂濃度も低いので、回収技術としては、CO₂との反応性が高いアミン化合物を液体で用いる化学吸収法や固体表面上に担持して用いる固体吸収法、深冷分離法などが適用候補技術となる。化学吸収法と固体吸収法は、CO₂液化を必要とする深冷分離法よりも低コストが期待される。

Pre-Combustionは、化学プラントなどでの水蒸気改質ガスからのCO₂除去や、石炭ガス化複合発電 (IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle) などの石炭の部分酸化により生成したH₂、CO、CO₂等の混合ガスからCO₂を分離・回収するもので、一般に処理するガスの圧力が高いので、圧力差で分離する物理吸収法や物理吸着法、膜分離法が適用候補技術となる。高圧ガスからCO₂分離回収する場合、ガスを透過させるだけでCO₂分離が可能な膜分離法は、物理吸収法や物理吸着法よりも省エネ・低コストが期待される。

以上の整理を踏まえて、CO₂を液体に吸収させる化学吸収法、固体表面を利用する固体吸収法、膜分離法を中心に、その技術の現状と新たな展開を概説する。

また、カーボンリサイクルのコンセプト図（図2）に示されているように、大規模発生源からのCO₂回収技術以外に、大気から直接CO₂を回収（DAC: Direct Air Capture）する技術への展開も紹介する。

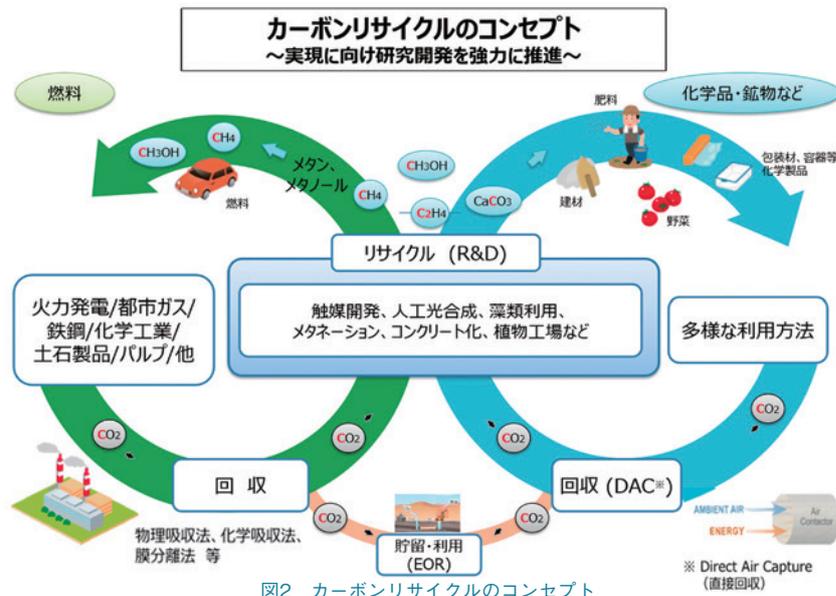


図2 カーボンリサイクルのコンセプト
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon_recycling/pdf/concept_ja.pdf

3. CO₂分離回収技術の現状と新たな展開

3.1. 化学吸収法

一般に、液体に気体が溶解する際、明確な化学結合状態の変化を伴う場合を化学吸収、そうでない場合を物理吸収とよぶ。CO₂は酸性ガスであるため、塩基性の材料 (B) に化学的に吸収される。その吸収反応は可逆的であるため、混合ガス中のCO₂を選択的に吸収させた後、スチーム加熱等によって逆反応を起こすことで、CO₂の分離回収が可能となる (図3)。

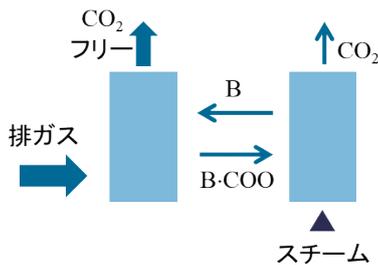


図3 化学吸収法によるCO₂分離回収スキーム

このような化学吸収法によるCO₂分離回収の中で、アミン水溶液を用いる手法は、20世紀前半より知られる最も成熟したCO₂分離回収技術である。

燃焼排ガスは、CO₂分圧が比較的低く、副成分としてO₂を、さらには微量成分としてSO_xやNO_xなどを含むことから、合成ガスや天然ガスに比べてCO₂回収の難易度は高い。そのような事情もあり、燃焼排ガス対象とする本格的なCO₂分離回収技術が確立するのは、1980年代に入ってからであった⁴⁾。現在でもベンチマークとされるモノエタノールアミン (MEA:

Monoethanolamine) を用いたMEA法である。よく知られているように、MEA法には、再生時 ((1)の逆反応) のエネルギー消費、MEAの装置腐食性、MEAの酸化劣化などの課題があり、これらがCO₂分離回収コストを押し上げている。その後、MEA法の改良の他、代替アミンを用いたプロセスの開発、実証、商用化が盛んに行われてきた。化学吸収法によるCO₂回収分野においては、特に日本の活躍が目覚ましい。

1990年代に入り、三菱重工業 (株) と関西電力 (株) は共同で、ポストMEA法の開発に着手し、独自の吸収液KS-1ならびにプロセスKM CDRを開発した。その後、化学プラントで発生する燃焼排ガスから回収したCO₂を尿素製造などの原料に利用するプロセスでの商用化、さらには石油増進回収 (EOR: Enhanced Oil Recovery) への展開を進めてきた。現在稼働中のCO₂分離回収装置で世界最大規模のものは、当該プロセスによるものであり、その容量は約5,000 ton-CO₂/dayに達する⁵⁾。

2000年代に入ると、欧州、米国、カナダ、豪州でも化学吸収法および他のCO₂分離回収の開発は盛んになり、日本でも、(株) 東芝、(株) IHIなどが、化学吸収法による燃焼排ガスからのCO₂回収分野に本格参入した。その後、CCSが有効な温暖化対策技術として認知されると、当該技術のCCSへの適用を指向した研究開発が産官学によって加速的に実施されるようになった。この際、回収したCO₂を産業利用するのはとは異なり、CCSそのものは利益を生み出さない

ため、回収コストの削減に向け、大きな技術革新が求められる。アミン水溶液を用いた化学吸収法は、エネルギー消費の低減に本質的な限界があるため、広く他の回収法も研究されるようになったが、その実績と技術の成熟度は他法よりも高いと言える。

2014年、カナダのサスカチュワン州で石炭火力発電（Boundary Dam発電所3号機）における世界初の商用スケールCCSが始動した。回収はアミンベースの化学吸収法（Shell社、Cansolvシステム）によるもので、約3,000 ton-CO₂/dayで累計約2 Mtを回収し、EORおよび地中貯留を実施した。後継プロジェクト（Shandスタディ）では、KM CDRプロセス採用した次世代CCSシステムの実現可能性が検証されている⁶⁾。先に述べたように、KM CDRプロセスは既に世界最大の回収施設で稼働しており、その商用運転開始は2016年、米国NRGエナジー社と日本のJX石油開発（株）が共同で推進するEORプロジェクト（Petra Novaプロジェクト）においてであった⁵⁾。同じ時期に稼働中あるいは建設中の大規模CCS施設（約0.7 Mt/year以上）21例では、化学吸収法11例（アミン：9、炭酸カリウム：2）、物理吸収法8例、物理吸着法1例、膜分離法1件が採用されている⁷⁾。ちなみに、天然ガス精製などにおいて、H₂Sを有する高圧ガスに対しては、化学吸収液よりも物理吸収液が使われることが多い。

RITEでも2000年代初期より、CCSのコスト削減を目指して、化学吸収液の開発を実施している。特に、既存アミンに限らず新規合成アミンを対象に含めた大規模な代替アミンの探索は世界的にも類のないものであり、そのために計算化学を活用した分子設計手法を導入するなど、新しいコンセプトで化学吸収法による分離回収エネルギーの削減に貢献してきた⁸⁾。2008年に始まった環境調和型プロセス技術の開発（COURSE50）プロジェクトにおいては高炉ガスからの省エネルギーCO₂分離回収技術構築のために新日鐵住金（現、日本製鉄）（株）と共同で新規化学吸収液を開発し、新日鐵住金エンジニアリング（現、日鉄エンジニアリング）（株）が2014年に商用化したCO₂回収装置ESCAPに採用された。本装置によって国内の製鉄所や発電所で回収されたCO₂は、食品産業や化学産業において利用されている⁹⁾。

化学吸収法は着実な進化を遂げ、CCSでの実用化達成に至っている。しかし、低コスト化に向け、プロセスの改良・効率化、再生エネルギー低減、吸収液の耐久性向上などを目指した研究開発が依然として盛んである。RITEもこれまでに成し遂げた分離回収エネルギー削減を極限まで遂行すべく、新規溶媒を導入するなど、更なる研究開発を実施している。

3.2. 固体吸収法

CO₂を固体と反応させて分離回収する吸着分離法は装置の起動停止や運転が簡単なことや、大量の廃液処理が不要なことから、化学的に安定で高性能な吸着剤が開発できれば大幅なコスト低減も期待できる。

吸着現象には、ファンデルワールス力による弱い物理吸着と、化学結合による強い化学吸着がある。CO₂の物理吸着では主にゼオライトや活性炭が使用されているが、近年、MOF(Metal Organic Frameworks)なども研究開発が進められている。一方、化学吸着の吸着剤としてはナトリウムやカリウムなどのアルカリ金属やアミン類を担持した無機多孔質材料、ハイドロタルサイト、酸化カルシウム、ケイ酸リチウムなどが使用されている¹⁰⁾。

温度や圧力を変化させることにより、吸着した物質を脱着して再生することにより、吸着剤を繰り返し使用することができるが、水酸化リチウムや酸化銀などの特殊な用途（有人宇宙活動など）に使用される吸着剤は再生が困難であり、低温で使用されて廃棄されることもある。

これまでに我が国では、高炉から発生するCO₂を大幅に削減するプロジェクトの一環として、吸着分離技術が研究されている。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「環境調和型プロセス技術開発」の中で、JFEスチール株式会社によりゼオライトを用いた物理吸着によるCO₂の吸着分離プロセスの開発が実施された。処理能力3 t-CO₂/dayのベンチ試験装置が建設され、実ガスからのCO₂分離性能を評価するとともに、ガス前処理方法やコスト削減方法が検討された。活性炭系材料よりもCO₂純度を向上できるゼオライト系のCO₂吸着剤によりCO₂回収率80%以上、回収CO₂濃度90%以上を達成し、回収エネルギー（真空ポンプ動力）としては200kWh/t-CO₂以下を達成

している¹¹⁾。ただし、ゼオライトは水蒸気の存在下でのCO₂吸着量が大幅に減少するため、前処理として除湿プロセスが必要であり、その分のエネルギー消費が大きいことが課題である。

一方、H₂O耐性がある吸着剤としてポリエチレンジアミン担持シリカなどのアミン修飾固体吸収材に関して数多くの報告例がある。米国ではこれまでにエネルギー省 (DOE: Department of Energy) の国立エネルギー技術研究所 (NETL: National Energy Technology Laboratory) がアミンを粘土鉱物等に担持した固体吸収材の開発を進めている¹²⁾。固体吸収材は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持した固体 (図4) で、物質が2相の界面に集積する吸着現象とは異なり、CO₂が担持されたアミン相内部への移動現象を伴うため「固体吸収材 (solid sorbent)」と呼ばれている。

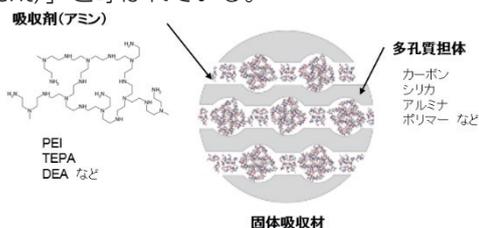


図4 固体吸収材の概念図

アミンを多孔質支持体に担持することで、水溶液として用いる化学吸収法よりもCO₂の脱離にかかるエネルギー損失（水を加熱するための顕熱、潜熱）が低く、また、再生時の蒸発による吸収液の損失が少なく、装置腐食性が低い利点もあるとされている。ポリエチレンジアミン(PEI)を担持した固体吸収材を移動層あるいは流動層での吸着分離に適用すると分離回収エネルギーが1.8 GJ/t-CO₂にまで低減できると試算されている¹³⁾。

米国ではDOEのファンドを得てこれまでに様々な固体吸収材の検討がパイロットスケールで進められており、ADA-ES Inc.社が実施した市販ポリアミンを用いたパイロットプラント試験 (約20 t/day) では再生に吸収液と同様の高温蒸気 (120℃) が必要であり、回収エネルギーは2.8 GJ/t-CO₂と報告されている。また、SRI Int'l社では循環流動層を用いた温度スイング吸着 (TSA) 試験200 kg/day程度のベンチプラント試験が実施されており、回収コスト \$ 39.7/t-CO₂ (吸収液は \$ 68/t-CO₂) と報告されている¹⁴⁾。また、

TDA Research社 のAlkalized Alumina Sorbentがパイロットスケールで試験されている。反応熱の極めて低い低コストのアルカリ化アルミナ吸着剤の開発と、この吸着剤専用に設計されたCO₂captureプロセス (ほぼ等温条件で吸着と再生を実行するための独自のプロセス) を開発し、NCCC(National Carbon Capture Center)にてパイロット試験が実施されている。

その他に、Shell社はウィーン工科大学と共同で、燃焼排ガスからのCO₂回収を対象に、固体吸収材によるTSAプロセスの開発を行っており、これまでに流動層の試験装置 (50 kg/day) で、回収率90%、MEA法と比べて40%のエネルギー削減を確認済みで、2018年からは、オーストリアのViennaGreenCO₂プロジェクトとして1 ton/dayのパイロット試験を進めている (対象はバイオマス発電)。

アミン系以外の材料で大規模検討された例として、韓国電力公社 (KEPCO社) が中心にアルカリ金属の炭酸塩を用いたCO₂分離回収技術がある¹⁵⁾。炭酸カリウムを担持した材料を用いた流動層によるTSAプロセスでCO₂を回収するプロセスが検討されている。すでに10MW相当、約200 t-CO₂/d規模での実用化試験を実施済みで、80%の回収率で680時間の連続試験を実施しており、再生温度が140~200℃、回収エネルギーは5 GJ/t-CO₂と報告されている¹⁶⁾。

さらに、固体吸収材は室内や宇宙などの閉鎖空間でのCO₂の除去や、空気からの直接CO₂回収 (Direct Air Capture : DAC) など、より低濃度のCO₂排出源への適用も検討されている (図5)。

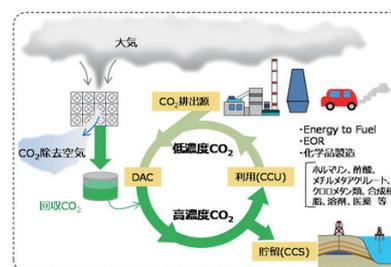


図5 DACの概念図

世界に先駆けてスイスのClimeworks社は独自のアミン担持固体吸収材を利用したDAC装置を商用化している。焼却炉の排熱を利用して脱着を行なっているため、設置場所は100℃以上の排熱が利用できる場所に限られるが、回収したCO₂をビニールハウスに供給

し、野菜や果物の成長を促進することを想定している。20m²の敷地に回収ユニットを3段重ねで設置すると、CO₂回収量は150 ton-CO₂/yearとされている。米国ではCarbon Engineering社がパイロットレベルで実証試験を行なっている他、複数の企業がDACについて研究を行っているが、これらのシステムは、現状技術レベルでは極めて高コストになることが示されている。現状技術レベルでは吸収塔の規模が極めて大きくなるため、回収コストは少なくとも\$100/ton-CO₂と見積もられているが、バイオマス利用CCSと比較して広大な土地の利用を必要しない点が有利とされている。

RITEでは、2010年度から経済産業省委託事業（2018年度からNEDO事業）において、固体吸収材を用いた石炭火力発電所からのCO₂回収技術の実用化研究を進めている。これまでにCO₂の脱離性能に優れ、なおかつ高い吸収容量を有する新規固体吸収材の開発に成功している。この技術をベースに開発を進め、固体吸収材を10 m³規模で合成し、川崎重工業（株）の移動層システムベンチスケール試験装置において7.2 ton-CO₂/day規模の回収性能を確認している。現在、2020年代を目処に石炭火力発電所からのCO₂分離回収に適した、より高性能な固体吸収材システムを確立すべく、研究開発に取り組んでいる。また同時に、室内や宇宙などの閉鎖空間や大気中からの回収など、より低濃度のCO₂排出源への適用可能性についても検討を行っている。

3.3. 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・分離する分離法である。膜分離のメカニズムは、大きく分子ふるい機構、溶解拡散機構に分けられる（図6）。分子ふるい機構では、細孔径よりもサイズの小さなガスが選択的に透過する。一方、溶解拡散機構では、膜材料に親和性のあるガスが選択的に透過する。

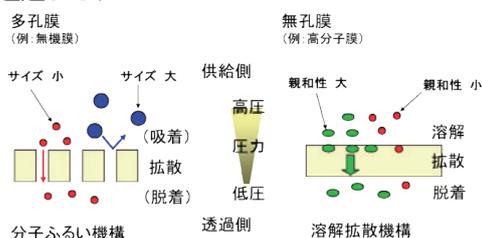


図6 膜の分離機構

膜分離法は連続操作（再生処理が不要）のため設備がコンパクトになり、また、特に圧力を有するガス源からのCO₂分離において、他の分離法に比べ低コストかつ省エネルギーでの分離が可能となる。一方で、膜分離法は比較的新しい技術であり、CCSのためのCO₂分離回収技術としては、化学吸収法や固体吸収法に比べて研究開発が遅れており、ラボ～ベンチスケールの比較的小規模での検討に留まっている。膜材料としては、高分子膜、無機膜、有機／無機複合膜、促進輸送膜など、種々の新規膜材料が開発されているところである¹⁷⁾。

Post-Combustionでは、低圧ガスの分離のため、圧縮機や真空ポンプの設置が必要となり、コスト、エネルギーを既存技術よりも大きく低減するのは難しい。また、コスト、エネルギーを低減するためには、必要膜面積を低減させる観点から、分離係数よりも透過性が高い膜の開発が重要とされている。Post-combustionのための分離膜開発に関する基礎研究は多数実施されているが、パイロットスケールの実証試験は少ない。また、膜分離法単独では回収率、純度に限界があるため、膜分離法と他の分離法の組合せ（ハイブリッド化）に関する研究開発が多く行われている。Air Liquide社では、氷点下で高い分離性能を発現する高分子膜（cold membrane）と液化を組み合わせたプロセスを開発している¹⁷⁾。燃焼排ガス中のCO₂（濃度12%）を膜で58%以上に濃縮し、さらに液化によって95%以上のCO₂として回収するというプロセスを想定している。NCCCにおいて、6.5 t-CO₂/d規模でのベンチスケール実証試験を実施している。TDA Research社では、膜（MTR社）と吸着剤（TDA Research社）の膜一吸着剤ハイブリッドシステムの検討を行っており、ノルウエーのCO₂ Technology Centre Mongstad (TCM) にて実証試験を行う予定である¹⁷⁾。MTR社では、膜プロセスと液化のハイブリッドプロセスの検討を行っており、NCCCでの実証試験（20t-CO₂/d規模）に続いて、Wyoming Integrated Test Center (WITC) でのパイロットスケールの実証試験（200t-CO₂/d規模）を実施する予定である¹⁷⁾。

Pre-Combustionでは、高圧ガスの分離のため、真空ポンプ等が不要となり、低コスト、省エネルギーの

分離が可能となるが、一方で、Post-combustionと異なり、高温、高圧での耐久性などが要求されることになる。また、Pre-combustionでは主にCO₂とH₂を分離する系を対象にしているため、H₂の分子サイズの方がCO₂より小さいため、H₂を選択的に透過する膜材料の方が多く、一部の例外を除き、H₂選択透過膜に関する検討が主に行われてきた。基礎研究で検討されている新規膜材料は耐熱性のある材料（中空糸炭素膜、パラジウムナノ粒子を担持した有機無機複合膜、耐熱性ガラス状高分子膜等）が検討されている。MTR社では、H₂分離膜（N₂スウィープ）と液化、CO₂分離膜を組み合わせたプロセスを提案し、NCCCにてベンチスケールの実証試験を予定している。また、スパーサーなどの膜エレメント部材の改良検討を実施している¹⁷⁾。

RITEと民間会社により設立された次世代型膜モジュール技術研究組合は、主にPre-combustionへの適用を目的として、2011年度から経済産業省委託事業（2018年度からNEDO事業）において、新規CO₂分離膜（分子ゲート膜）モジュールの研究開発を進めている。通常の膜と異なり、CO₂/H₂の混合ガスからCO₂を選択的に透過させることが出来るため、CO₂分離後の高圧のH₂を再加圧することなくIGCCのガスタービンに導入することが可能となる。実用化に向け、連続製膜技術の開発及び連続製膜した膜を用いた膜エレメントの開発を行っているところである。

4. おわりに¹⁾

CCUS取組みを進めていく上で、共通技術であるCO₂分離回収の低コスト化が重要である。

本章では、燃焼後にCO₂を分離回収するPost-Combustion、燃焼前にCO₂を回収するPre-Combustionに大別して、それに適するCO₂分離回収法を概説した。

Post-Combustionでは、処理するガスの圧力が低いため、CO₂との反応性が高いアミン系化合物を利用する化学吸収法や固体吸収法がコスト的に優位と考えられる。

化学吸収法では、モノエタノールアミン法をベンチマークとして、低コスト化を目指し、種々の吸収液を用いる方法が開発されている。カナダのBoundary

Damプロジェクトや米国のPetra Novaプロジェクト、日本のCOURSE50プロジェクトでは、個々の改良した吸収液を使用した商用機が稼働しているが、CCS実用化を広く推進するには、更なる回収コストの低減が課題である。

大幅なコスト低減を期待できるのが固体吸収法で、装置の起動停止や運転が簡単なことや、大量の廃液処理が不要なこと、水を使用しなくても良いことが大きな特徴である。高いCO₂吸着・脱離性能を有する固体吸収材は、室内や宇宙などの閉塞空間でのCO₂除去や、空気からの直接CO₂回収（DAC）など、低濃度のCO₂排出源への適用も期待されている。

一方、Pre-Combustionでは、処理するガスの圧力が高い傾向にあるので、CO₂との親和性も利用できる膜分離法がコスト的に最も優位と考えられる。現在、実ガス試験や膜システムの開発に向けた研究が進められている。

CCUSを広く普及させるためには、より省エネルギー・低コストなCO₂分離回収技術を提案していくこと以外に、事業者インセンティブを与える施策やCO₂排出基準規制、固定価格買取制度、炭素税等の導入が必要と考えられる。

参考文献

- 1) CCS技術の新展開 監修 茅陽一 編集(財)地球環境産業技術研究機構 シーエムシー出版 (2011年11月30日第1刷発行)
- 2) JST研究開発の俯瞰報告書 エネルギー分野 (2017年) /CRDS-FY2016-FR-02 (2017年3月)
- 3) 平成25年度シャトルシップによるCCSを活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務 報告書, みずほ情報総研株式会社, 独立行政法人産業技術総合研究所, 千代田化工建設株式会社 (平成26年3月)
- 4) Oko et al., Int. J. Coal Sci. Technol., 4, 5-14 (2017).
- 5) 平田ほか, 三菱重工技報, 55, 42-47 (2018).
- 6) Bruce, 2019 Carbon Capture, Utilization, Storage, and Oil and Gas Technologies Integrated Review Meeting (2019).
- 7) 佐々木, 化学工学, 79, 826-830 (2015).
- 8) Nakao et al., Advanced CO₂ Capture Technologies, Springer (2019).
- 9) 日鉄エンジニアリング(株)ホームページ.
- 10) S.Choi et al., ChemSusChem 2009, 2, 796.
- 11) H. Saima et al., JFE Tech. Rep., 32, 44 (2013).
- 12) R. V. Sirwardane, U.S. Patent 6,908,497 B1 (2005).
- 13) J.S. Hoffman et al., Proc. the 33rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, June 1-5 (2008), Clearwater, Florida, USA.
- 14) Nelson, T., et al., 2014 NETL CO₂ Capture Technology Meeting, Pittsburgh PA, US (2014.7),
- 15) Y. C. Parka et al., Energy Procedia 37 (2013) 122.
- 16) Park, Y.-C., et al., Energy Procedia, 63 (2014) 2261-2265.
- 17) Proceedings of 2019 Carbon Capture, Utilization, Storage, and Oil and Gas Technologies Integrated Review Meeting (2019), <https://netl.doe.gov/node/9041>.

企画調査グループ

 <p>グループリーダー・ 主席研究員 堀尾 容康</p>	サブリーダー・主席研究員	野村 眞	主任	眞継 由佳
	サブリーダー	川口 圭史		大西 尚子
	主席研究員	東井 隆行		小林 由美
	研究管理チームリーダー	箕浦 靖明		辰巳 奈美
	国際標準化チームリーダー・副主席研究員	青木 好範		安本 夏子
	副主席研究員	出口 哲也		
	副主席研究員	内村 泰三		
	副主席研究員	清水 淳一		
	調査役	金星 春夫		
	主幹・研究員	面屋 大輔		
主幹	倉中 聡			

イノベーション創出に向けた調査研究、国際・産学連携等の推進

1. 地球環境と経済の両立

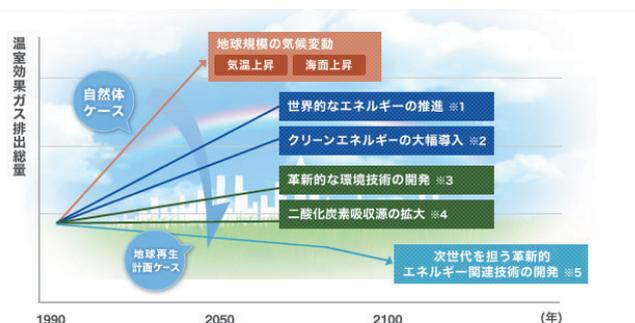
企画調査グループは、i) RITEがもつ研究ポテンシャルを活かした新規研究課題の探索と提案・実施、ii) IPCC（気候変動に関する政府間パネル）に関する政府支援やISO（国際標準機関）等国際機関との連携、iii) RITE技術の普及啓発、iv) 産学連携による技術の実用化といった役割を持ち、研究グループ・センターとともに、地球環境と経済の両立を目指した政策支援や研究開発、イノベーション創出の取り組みを進めている。

1.1. 高まるイノベーションへの期待

2019年は、我が国がホストとなり、第14回20か国・地域首脳会合（G20首脳会合）が大阪で開催され、これに先立ち「持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会議」が長野県軽井沢町で開かれた。ここでは、「環境と成長の好循環」というコンセプトとそれを支えるイノベーションについて活発に議論がおこなわれ、気候変動を含む地球規模の取り組みの緊急性、長期戦略の重要性、具体的なアクションの取り組みがG20全体で初めて合意された。RITEでも研究開発を進める水素、CCUS、カーボンリサイクルなど様々な分野での推進策が検討され、研究開発とその実用化・社会実装によるイノベーション創出への期待が共有された。

1.2. イノベーションとRITEの使命

地球温暖化問題に関する国際的議論の高まりとともに、「地球環境と経済の両立」は、工業国・途上国共通の目標としての認識が高まっている。1990年、RITEはこの使命の下に設立され、コスト負担や非効率化を抑え、持続的成長を促すようなイノベーションを革新的な環境技術開発（図1）を通じて実現することを目的として1990年より30年間の歩みを続けてきた。引き続き、研究開発と成果の産業利用という使命の下で活動を展開する。



- ※1 社会的な省エネルギー運動、機器のエネルギー効率向上、発電所の効率向上、自動車の燃費向上など
- ※2 太陽電池、燃料電池、原子力など
- ※3 CO₂分離・回収・貯留、バイオエネルギー、生分解性プラスチックなど
- ※4 植林、森林保全、遺伝子組換え植物を用いた乾燥地緑化など
- ※5 核融合、宇宙太陽光発電など

図1 RITEの使命（地球環境と経済の両立）

2. イノベーションを可能とする社会環境

(CO₂の分離回収・貯留：CCS事業化検討を通じて)

CO₂の大気中濃度の安定化を図るには、効率化の推進、再生可能エネルギーの利用、バイオや水素等への燃料転換等が重要である。また、これらに加え、発電所や工場等の大規模排出源から排出されるCO₂を分離回収し、地中に貯留・隔離するCCS (Carbon Dioxide Capture & Storage) 技術が、対策の重要な選択肢と期待されている。現在、全世界で大規模プロジェクト51件 (2019年10月時点、うち北米・中南米24件、欧州12件) の計画・建設・運転が進められ、毎年約0.4億トンのCO₂が地下に貯留・隔離されている。CCS技術は、脱炭素社会への「橋渡し技術 (bridge technology)」として考えられており、国際エネルギー機関IEAは、地球温度上昇を2℃未満とするための2050年までのCCSの脱炭素への寄与を9% (2020年からの累積) と見込んでいる (図2)。

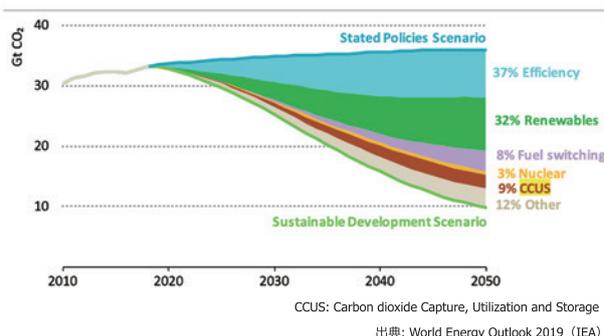


図2 CC(U)SによるCO₂削減 (IEA持続成長可能シナリオ)

2.1. CCS事業化のための枠組み

我が国は、CCS技術は重要な気候変動対策の一つとしてエネルギー基本計画(平成30年7月閣議決定)に基づき、実用化を目指した研究開発、国際機関との連携、実証等を着実に進めることとしている。CCSは①CO₂発生源における分離回収、②貯留地点への輸送と圧入・隔離、③安全・環境モニタリングといった国土に展開する大規模な施設・設備群と管理システムから構成され、技術安全性確保、事業コスト低減、社会的受容性が不可欠である。RITEでは、2030年以降のCCSの導入と普及が行われるとし、商業ベースでCCSが導入・普及する具体的なCCS導入シナリオを描いた上で、技術的、制度的な課題等を抽出・整理した。

2.2. 事業化に向けたリスク低減

CCSの歴史は短く、安全や環境等へのリスク、技術や収益など様々な経営上の不確実性を低減させていく必要がある。また、民間の資金や経営主体の参加、地域の受容など様々な側面においても経験を高めなければならぬ。特に、①分離回収、輸送、貯留におけるCO₂漏洩による健康や安全・環境への影響、②貯留井の廃止後責任とその費用負担、③仮にCCS事業者が何らかの理由で撤退する場合の事業継承、④CCSシステムの一部が故障等によって停止した場合の上流・下流への影響波及等が重要なリスクとして挙げられる (図3)。

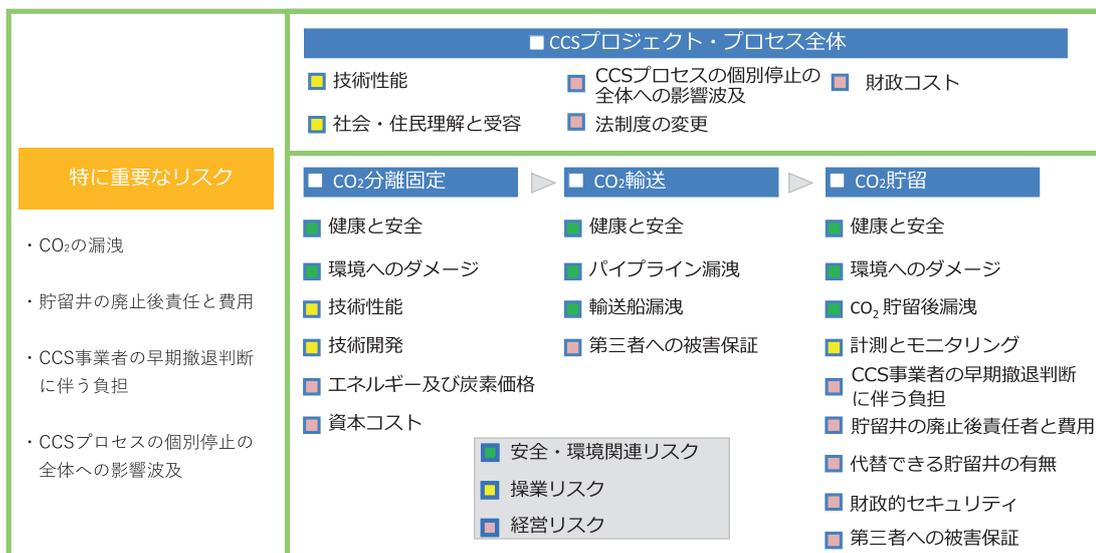


図3 事業化に向けたCCSプロジェクトにおけるリスク抽出

これらのリスクは、安全・環境リスク、操業リスク、経営リスクに分類することができ、技術によって克服できる部分と、制度など社会的枠組みによってカバーするものに大別することができる。事業によって得られる利益に比べ、リスクや不確実性が無視できないほど大きい場合は民間事業者・資金の参入は期待できず、故に公共投資的対応が必要となる。

具体的には、投資資金が回収できないという可能性、貯留井廃止後に民間能力を超えた長期間責任を負わなければならない可能性など、経営上のリスクの多くについて制度面など社会的枠組みの整備が必要であることを示唆している。

2.3. 社会実装に向けた先導事業の実施

我が国における2050年のCCS導入量の想定として、設備規模、投資金額を比較検討するため、エネルギー転換部門のCO₂排出量（2013年度5.4億tCO₂/年）の半分程度を占める石炭火力発電を排出源候補とし、2050年におけるCO₂隔離量をそれぞれ高位（2.5億tCO₂/年）、中位（1.0億tCO₂/年）、低位（0.2億-0.3億tCO₂/年）と3ケースに基づきシナリオ分析を行った。シナリオ期間は2019-2050年（計画・建設を経て2030年に事業開始）とし、対象となる排出源は現在の石炭火力発電所(40地点)、パイプライン及び船舶によるCO₂輸送で、貯留は2地点としている。

2.4. 各シナリオの検討結果

シナリオ検討においては、高位ケース、中位ケース、低位ケースのいずれのケースとも発電所のユニット毎（ユニット；発電所を構成する発電機単位の設備（1号機、2号機など））にCCSを導入した場合のCCSコスト（総コスト；設備費と操業費を合わせた費用）を算出した。なお、回収設備、輸送経路、貯留設備の集約化は考慮しておらず、パイプライン輸送、船舶輸送、それぞれのみを用いた場合のCCSコストを算出し比較している。

シナリオ検討では、ユニット毎のCCSコストによる集計としたため、事業全体の設備構成としては、重複する設備が多く、非効率な印象となった。特にパイプライン輸送では、同じ排出源であってもユニット毎にそれぞれパイプラインを敷設するように設定したため輸送コストが膨大なものとなった。

2030年以降にCCSを導入し、投資コストと事業リスクを抑制し、2050年に一定の目標を達成するためには、取り組み易い環境にあるプロジェクトから始め、技術研究開発や学習効果によるCCSコスト低減を達成しつつCCS導入量を拡大していく、助走期間つきシナリオ（低位ケースから始め、中位ケースの導入量を目指す）に沿ってCCS事業モデルの検討を進めることが必要である（図4）。

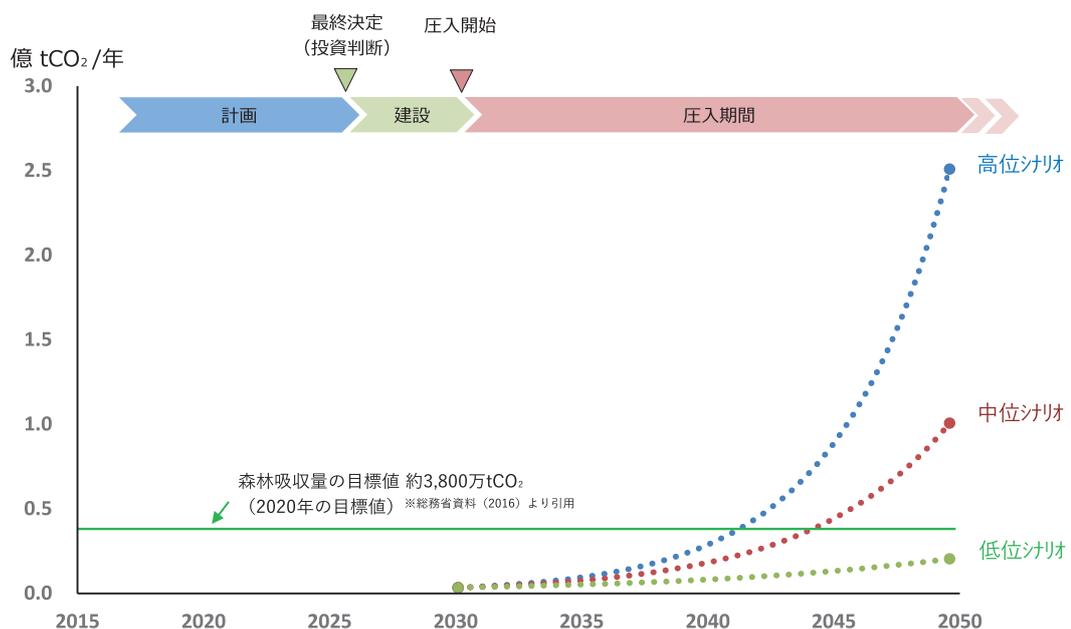


図4 2050年に向けた導入シナリオ（イメージ）

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なっている。

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、推薦で選ばれた専門家が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5)。IPCCでは、2018年から2019年にかけて「1.5度特別報告書」、「土地関係特別報告書」、「海洋・雪氷圏特別報告書」をそれぞれ公表し、さらに、2022年の完成を目指して「第6次評価報告書」の執筆やレビューに取り組んでいる。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なっている。

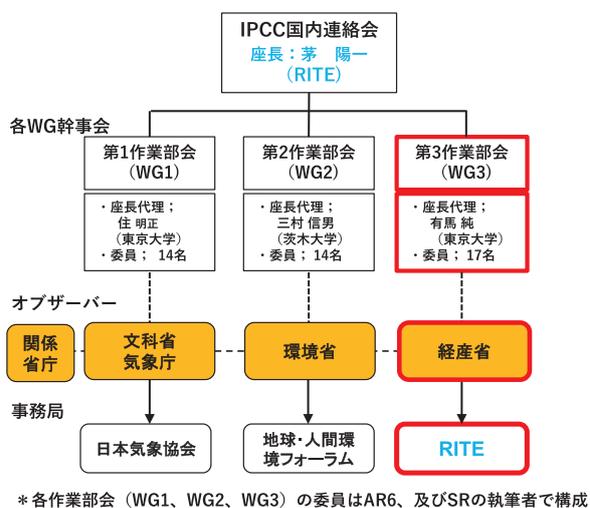


図5 IPCC国内連絡会とRITE

3.2. ISO (国際標準機関)

ISOは、各国の162標準化団体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。

CCSは、CO₂の大気中への排出量削減効果が大きいこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つであり、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、標準に関する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6)。

2019年末時点で、ISO/TC265からCCS分野に係る規格類は8件出版されており、また7件を開発中である。開発中規格のうち、回収分野および貯留分野の計2件は日本主導で開発を進めている。

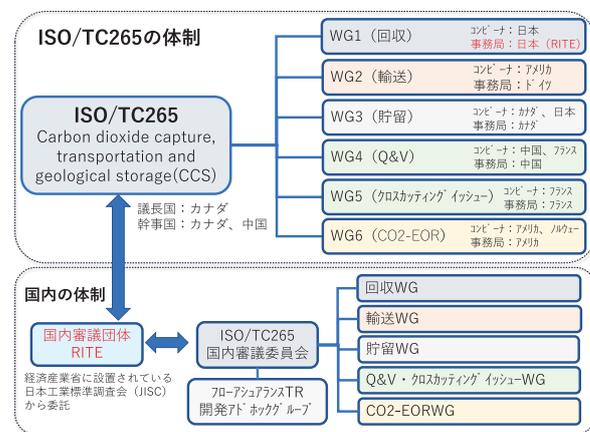


図6 ISO/TC265の各ワーキングと国内支援体制とRITE

4. 人材育成と知財戦略、産学連携の推進

4.1. 人材育成

<小中高高校生> 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、i) 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、ii) 職員等が教材・機材とともに学校を訪問する出前授業要請への対応を進めている。こういった人材育成への要請は年々高まりを見せており、2019年は延べ397人の小中高高校生に対する授業やワークショップを開催した。例えば、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、CO₂が気体・固体だけではなく、液体になる様子を実験・ワークショップで実際に確認し、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7左）。

<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7右）。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社会実現を目指した研究と教育を進めている。

4.2. 知財と産学連携

RITEは、研究開発、調査研究等で得られた成果について、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、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。

2019年末時点で、RITEが保有する特許は、国内権利119件（うち企業にライセンス中12件）、外国権利54件（同、12件）である。

発明の認定、国内および外国への特許出願、審査請求、特許権維持等といった組織的知財経営を推進するため、RITEでは「特許等審議委員会」を設置し、知財専門家を配した広報・産学連携チームによる運営を行なっている（図8）。

学術研究全般の発展のため、早い段階での論文等発表により、世界の公共財産としての知識を高めることに加え、研究者の発明を特許により権利化し、チャレンジ意欲ある企業等に実施権を与えて産業化を加速するなど研究機関として公益と産業化によるイノベーションをバランスを取りながら研究開発推進が可能となる。

さらに知財化は、企業等との連携機会を産み、適切な情報管理と契約に基づき、さらなる知財を生み出すという好循環を期待することができる。また、国際標準（本章3.2など）との連携など、標準を支えるために関連技術を利用可能とするための知財化という側面も期待されている。RITEでは、こういった知財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、戦略的に知財化を推進している。

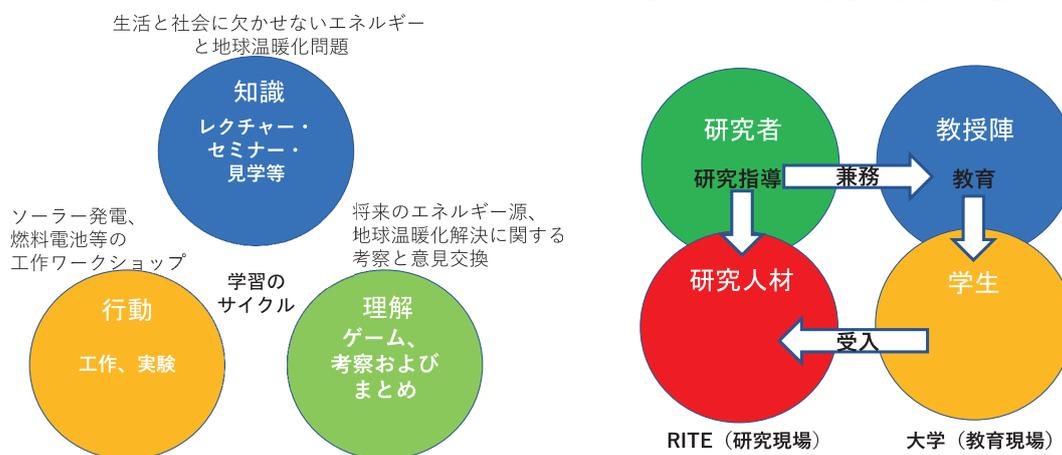


図7 RITEにおける人材育成

5. おわりに

国際社会の関心は、イノベーションによる地球温暖化対策に集まりつつある。すでに作業が開始されているIPCC第6次評価サイクル（AR6）では、「イノベーション、技術開発と移転」という章が新たに設けられ、i)イノベーションを通じた持続的成長とパリ協定の達成、ii)イノベーションを創出するシステムと政策、iii)国際的パートナーシップ、iv)変化とイノベーションを促すための環境、v)新たな破壊的テクノロジー、などに関する検証が深められる予定である。それは、旧技術が新技術に置き換わることによる部分的改善の積み重ねではなく、新しい社会と生活の実現により、豊かさと地球環境が両立するといった新しい視点が追加されたことを意味する。

イノベーション創出への期待の中で、そこに潜む不確実性やリスクに関する分析と対処が求められている。CCSのような地球温暖化緩和に必要な技術は大規模な社会インフラを構成し、それらを長期的に支える制度的枠組整備も重要である。技術や適用分野によって異なるものの官民の役割分担、費用負担、国際的連携強化などが重要である。

当グループでは、RITEの中において革新的テクノロジーについての調査を行うとともに、国際連携を推進し、人材育成や知財化の推進、産学連携などイノベーション創出に必要な課題についても取り組むことを通じ、RITEの使命でもある「地球環境と経済の両立」の達成に貢献する。

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" (<http://www.rite.or.jp/about/>)
- 2) OECD, "Air and climate: Greenhouse gas emissions by source", OECD Environment Statistics(database <https://doi.org/10.1787/data-00594-en.>)(2019)
- 3) GCCSI: Global Status of CCS / Targeting climate change (2019)
- 4) IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, IEA data service subscriptions(2018)
- 5) IEA, World Energy Outlook (2019)
- 7) IPCC, "AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014" (2014)
- 8) IPCC, "Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C approved by governments" (2018)
- 9) IPCC, Carbon Dioxide Capture and Storage (2005)
- 10) Copeland, B and Taylor, S Trade and Environment: Theory and Evidence, Princeton University Press(2003)
- 11) Pearson, C Economics and the Global Environment, Cambridge University Press(2000)
- 12) 地球温暖化対策推進本部,「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（閣議決定）」(2019)
- 13) 資源エネルギー庁,「第5次エネルギー基本計画」(2018)
- 14) 経済産業省,「CCSの実証及び調査事業のあり方に向けた有識者検討会」(2018)
- 15) 資源エネルギー庁,「カーボンリサイクル技術ロードマップ、同技術事例集」(2019)
- 16) 小川紘一「オープン&クローズ戦略（増補版）」翔泳社（2014）
- 17) 文部科学省 科学技術・学術政策局「産学官連携・知的財産政策の現状（科学技術・学術審議会）」(2013)
- 18) 経済産業省「平成30年度エネルギーに関する年次報告」(2019)
- 20) 環境省「令和元年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」(2019)



図8 知財戦略と産学連携の推進

システム研究グループ



グループリーダー・
主席研究員

秋元 圭吾

主席研究員	友田 利正	主任研究員	伏見 温子
副主席研究員	永田 敬博	研究員	王 楠
主任研究員	和田 謙一	研究員	陳 姝凝
主任研究員	長島美由紀	研究員	中野 優子
主任研究員	本間 隆嗣	研究員	榊田 仁次
主任研究員	佐野 史典	研究助手	山本 清美
主任研究員	小田潤一郎	研究助手	斎藤美三子
主任研究員	山川 浩延	研究助手	北村喜代美
主任研究員	金星 春夫 (企画調査グループ兼務)	研究助手	工藤 幸子
主任研究員	林 礼美	研究助手	大西 尚子 (企画調査グループ兼務)
主任研究員	魏 啓為		

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、システムの思考、システムの分析を通して、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いる。本稿では、脱炭素化に向けた対応戦略について、システムの現状理解を踏まえた上で、将来のシナリオ分析を実施した結果を紹介する。

1. 国内外の情勢認識

パリ協定では、長期目標として「世界的な平均気温上昇を産業革命前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する。」とされ、そのために、世界の温室効果ガスの排出量を今世紀後半に実質ゼロが目標とされた。また、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 1.5℃特別報告書 (SR15) は、1.5℃上昇に抑えるには、2050年頃に世界のCO₂排出量を正味でほぼゼロにすることが必要とした¹⁾。IPCC第5次評価報告書²⁾では、CO₂の累積排出量と気温上昇との間には線形に近い関係が見られることが示されている。気温を安定化させようとするれば、気温上昇の水準に依らず、その時点では世界の正味CO₂排出量をほぼゼロにする必要がある。近年、長期的な実質ゼロ排出 (脱炭素化) の実現を目指す動きが強まっている。日本政府が2019年に策定した「パリ協定長期戦略」でも「最終到達点としての『脱炭素社会』を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指す」とされた。

一方で、世界気温は上昇し続けており、世界の温室効果ガス排出量の上昇も止まっていない。一部の先進国では、GDPは上昇しているものの、CO₂排出量や電力消費量等は低下し、デカップリングの傾向も見られている。しかし、世界全体ではCO₂が大きく減る構造になっていない。特に電力消費については、世界GDPと世界電力消費量の関係を見ると、明確に強い正の相関関係が続いている。先進国を中心にエネルギー多消費産業が海外移転し、かわりにサービス業などのエネルギー寡消費産業にシフトしている傾向がある。システム研では消費ベースCO₂排出量の推計とその要因分析を行うなどして、動向の把握を行ってきた³⁾。

温暖化問題の本質上、世界すべての国による排出削減への協調が重要であり、その追求は必要である。しかし、IPCCなど多くの分析からは、2℃目標、1.5℃目標や実質ゼロ排出実現のためには、極めて大きな削減費用が必要とされている。例えばSR15では、世界が協調し世界の限界削減費用が国間で均等化した場合で、2050年に2℃目標のうち排出高位のケースでも45~1050 US\$/tCO₂ (中央値130 US\$/tCO₂程度)、1.5℃未満では245~14300 US\$/tCO₂ (同2800 US\$/tCO₂程度) としている¹⁾。世界の協調体制が困難な現実、産業のリーケージなどを踏まえると、現実的に世界の対策として機能するような費用水準とは考えられない。

このような状況においては、「パリ協定長期戦略」でも強調されているイノベーションの役割は大変大きいと考えられる。いくつかの望ましい進展も見られている。太陽光発電のコスト低減は大きく進展した。半導体デバイス等のコスト低減は一層進み、安価に大量のデータを保存し扱えるようになってきている。このような技術進展と社会変化の芽が、新たな結合を生み出し、大きな技術、社会イノベーションを生み出す可能性も出てきている。

気候変動影響、国際情勢など、様々な不確実性が存在する。また、イノベーションは重要だが、すべての技術が成功するわけではない。逆に思いもつかなかった技術の革新が起こるかもしれない。長期的な実質ゼロ排出を目指しつつ、総合的なリスクマネジメント戦略が重要である。

2. 低炭素化・脱炭素化に向けた技術進展

脱炭素化においては、最終エネルギーは、原則、電気が水素とする必要がある。ただし、一部、バイオエネルギーおよび太陽熱等の直接熱利用、また、CO₂フリー水素と回収CO₂によって合成（メタネーション）したメタンでの利用などは可能となる。このとき、回収CO₂は水素の輸送媒体の役割を果たす。事実上、都市ガスをCO₂フリー水素で代替した効果でCO₂の削減となる。メタネーションは、既存の都市ガスインフラを利用できるメリットがある。IPCC報告書^{1, 4)}等でも示されているように、大きな排出削減を目指すほど、電力化率の向上が求められる。

当然ながら、脱炭素化を実現するには、電気、水素製造においては、脱炭素化（再生可能エネルギー、原子力、CCS）が必要である。

なお、完全に炭化水素を使わないことは現実的ではないので、正味ゼロ排出においても、ある程度の排出は許容し、植林、バイオエネルギーCCS（BECCS）、DACs（直接大気回収・貯留）等の負の排出技術（NETs）活用はあり得るし、対策オプションとして費用対効果やその他の視点から検討されるべきである。

2.1. 再生可能エネルギー

気候変動対策として脱炭素化が求められてきており、その最も重要なオプションの一つとして再生可能エネルギー（再エネ）が挙げられる。エネルギー最終消費を電力と非電力に区分すると、電力は非化石電源、つまり再エネ、原子力等の割合を高めていくことによ

り低炭素化できる。

国内外で再エネ、特に風力発電と太陽光発電のコスト低減が急激に進んでいる。例えば、アラブ首長国連邦では、3円/kWh程度の太陽光発電のプロジェクト例も見られてきている。ただし、これらは変動性再エネ（VRE）であり、導入比率が高くなれば、バックアップ電源や、バッテリー、水素など、系統安定化のための費用が別途必要になる。

2.2. 水素技術・CCUS

厳しい排出削減下においては、水素の役割も重要と考えられる。石炭・褐炭からガス化し、CCSを行って水素を製造する方法と、再エネ電気から水電解を行って水素を製造する方法が有望なCO₂フリー水素の製造方法と見られる。図1で見られるように、水素も燃料電池によって最終的には電気に転換されることは多く、水素を電気の代替手段として捉えるよりも、脱炭素化に向けた電化進展の大きな方向性の中での補完的な手段として捉えるべきと考えられる。

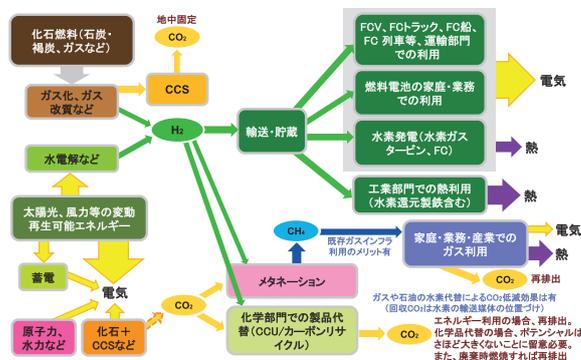


図1 脱炭素化における電気、水素システム

2.3. IoT進展によるシェアリング経済誘発の可能性

運輸部門では、CASE（Connected, Autonomous, Sharing/Service, Electric）が大きな変化の方向性となってきている。そして、これまでの乗用車を保有する形態から、Mobility as a Service（MaaS）へと、新しいビジネスモデルが生まれつつある。自家用車の稼働率は通常低く5%前後とされている。これら技術の相乗効果で、利便性を大きく損なうことなく、効率よく、低廉にサービスが提供され得る。完全自動運転車実現により、カーシェア・ライドシェアリングが誘発され、それにより自動車の稼働率が上昇し、車の台数の低下、そして鉄鋼製品や化学製品の低減、また電気自動車（EV）等の初期投資が高い車でも、稼働率

上昇によって相対的に経済性が上昇し得る。とりわけ、エネルギーは最終利用に近いところにおいて、本当に必要な製品やサービスを超えて、必要以上にエネルギー消費がなされているケースが多い。ICT、AI等の技術進展と展開で、技術社会イノベーションが期待できる。

ただし、利便性の向上によってGHG排出がかえって増大する可能性には注意が必要である。

3. 世界エネルギー・温暖化対策モデルによる分析・評価

3.1. モデル概要

世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+ (Dynamic New Earth 21+) によって分析・評価を行った。DNE21+は2100年までについての評価が可能であり、世界を54国・地域に分割している（面積の大きな国は更に分割しており計77地域分割）。エネルギー供給サイドのみならず、需要サイドについても多くの技術を具体的に積み上げてモデル化しており、400程度の技術を具体的に評価可能なモデルとなっている。モデルの改良は継続しており、とりわけ正味ゼロ排出が求められてきている中で、従来以上に、多様なオプションについて、具体的なモデル化を進めてきている。例えば、2019年においては、国際海運部門についても、DNE21+において技術を具体的に積み上げたモデル化を行い、LNGや水素船等への転換オプションを考慮した。また、メタネーションオプション等についても考慮した。

3.2. 分析シナリオの想定

表1のようなシナリオを想定し、パリ協定2℃目標と整合的、また、日本の地球温暖化対策計画における長期目標2050年▲80%と整合的な目標（G7各国が▲80%と想定）について分析を行った。2℃シナリオについては、>50%確率（IEA ETPシナリオの2DS相当で、世界GHG排出量は2050年に▲40%程度）と、>66%確率（B2DS相当で、世界GHG排出量は2050年に▲70%程度）の2種類の排出経路を想定した。また、上記2節で指摘した動向を踏まえたシナリオ想定を行った。具体的には、太陽光発電のコスト低減がとりわけ中東・北アフリカ地域で一層進み、2050年には2~4円/kWh程度で多くのポテンシャル供給が可能と想定したケース、および、完全自動運転車が2030年以降に実現して、カーシェアリング・ライドシェアリングが進展し、自動車台数が減少し、それに

伴い、鉄鋼や化学製品需要が低下するケースについても分析を行った。なお、社会経済シナリオは共有社会経済パス（Shared Socioeconomic Pathways: SSPs）のうち、中位的なSSP2ベースを用いた。2050年の世界人口は92億人、2000~2050年間の世界GDPの平均成長率は2.4%/yrである。

表1 モデル分析シナリオ

シナリオ名	世界排出シナリオ	G7排出シナリオ	再エネコスト	シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)
REF_1	ベースライン (特段のCO ₂ 排出制約なし)		標準	想定せず
2DS-a_1	2℃未満 (>50%) : [2DS]相当	[a]▲80% in 2050	標準	想定せず
2DS-a_2			低コスト(中東・北アフリカ中心)	
2DS-b_1			標準	想定せず
2DS-b_2			低コスト(中東・北アフリカ中心)	シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)
2DS-b_3		[b]世界限界削減費用均等化(費用最小)	標準	想定せず
B2DS-b_1	2℃未満 (>66%) : [B2DS]相当	[b]世界限界削減費用均等化(費用最小)	標準	想定せず
B2DS-b_2			低コスト(中東・北アフリカ中心)	
B2DS-b_3			低コスト(中東・北アフリカ中心)	シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)

注) 2DS、B2DSは、IEA ETP2017の2℃シナリオ

3.3. 分析結果

表2および3には、各シナリオの2050年のCO₂限界削減費用、CO₂削減費用を示す。まず、2℃目標でも、>50%確率（2DS）か、>66%確率（B2DS）かで世界の削減費用に大きな差が見られる。例えば、b_1, b_2ケースでは、B2DSにおける限界削減費用やCO₂削減費用は、2DSの3倍程度もしくはそれ以上にもなると推計される。なお、2DSシナリオにおいて、日本国内で▲80%を想定すると、相当コスト増となるため、国内での削減率の引き上げだけでなく世界貢献も含めた削減が求められる。中東等を中心とした再エネコスト低位ケースの場合（a_2, b_2）、世界の対策費用低減に大きな効果が認められる。また、シェアモビリティ実現ケース（b_3）では、限界削減費用が大きく低下する（B2DSでは、b_2ケースが477 \$/tCO₂に対して、b_3ケースは295 \$/tCO₂）とともに、シェアモビリティ非実現ケース比では、自動車保有に対する支出が減少し、他のCO₂排出削減費用を相殺し、正味で負の費用が推計されるほど大きな効果が推計される。

図2は、各シナリオの部門別の世界CO₂排出量である。排出削減が厳しくなるにつれ、まず発電部門での削減（再エネ、原子力、CCS等）、また、植林でのCO₂固定、運輸部門でのハイブリッド車（HV）、プラグインハイブリッド車（PHV）の拡大等が見られる。

更に厳しい削減が必要となると、BECCS、鉄鋼部門でのCCS、自動車のEV、燃料電池車（FCV）化等が費用効率的となる。更に厳しく正味ゼロから負CO₂排出となると、運輸部門トラックのFCV化、メタネーション利用等が費用効率的になる。シェアモビリティ想定ケース（b₃）では、特に2050年頃の発電での排出削減を緩和する。

表2 2050年のCO₂限界削減費用（\$/tCO₂）

	2DS-a_1	2DS-a_2	2DS-b_1	2DS-b_2	2DS-b_3	B2DS-b_1	B2DS-b_2	B2DS-b_3
日本	552	512	161	157	132	528	477	295
その他の国	153	143						

表3 2050年のCO₂削減費用（billion US\$/yr）

	2DS-a_1	2DS-a_2	2DS-b_1	2DS-b_2	2DS-b_3	B2DS-b_1	B2DS-b_2	B2DS-b_3
日本	110	82	24	27	ネガティブ費用	71	60	ネガティブ費用
世界全体	2102	1654	1603	1296	ネガティブ費用	5716	4164	ネガティブ費用

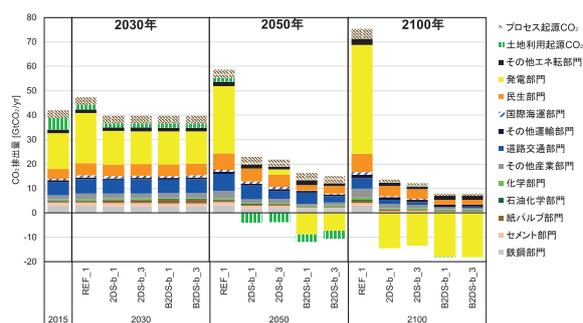


図2 世界の部門別CO₂排出量

図3～8には、それぞれ、世界の一次エネルギー供給量、世界の発電電力量、産業部門、民生部門、運輸部門、国際海運（運輸部門の内数）の最終エネルギー消費量を示す。

一次エネルギー供給量を見ると、2100年では、2DS、B2DSともに、石炭についてはほぼすべてCCSが求められ、ガスについても相当量がCCS付きと推計される。ただし、一部の化石燃料については、CCS無しも残っており、その分、BECCSで負排出として正味でゼロもしくは負排出とする方が、経済合理的との結果となっている。ただし、現実的にこのような大規模なBECCS利用が可能かどうかは検討、議論は引き続き必要と考えられる。

世界の発電電力量の伸びは大きい。2℃シナリオでは、2030年に向けてはガスの拡大、2050年以降は、再エネ、原子力の拡大、CCS利用が費用効率的になっている。2DSでは特に2050年に向けてコジェネの役

割の重要性が増す。2DSでは2100年頃、B2DSでは2070年頃のCO₂排出ゼロに対応して、BECCSの利用の増大が見られる。とりわけ、再エネコスト低位ケースの場合（a₂, b₂）、太陽光発電の一部については、系統に接続せず、水素製造に特化した使われ方も経済合理性を有する可能性が示されている。シェアモビリティケースでは、特に2050年前後においてはBECCSの役割が低下する。また、特にPVコスト低位シナリオでは、水素製造用も含め、2100年の太陽光発電のシェアは大きく増大する。

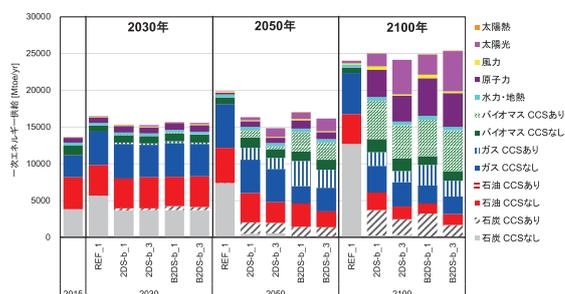


図3 世界の一次エネルギー供給量

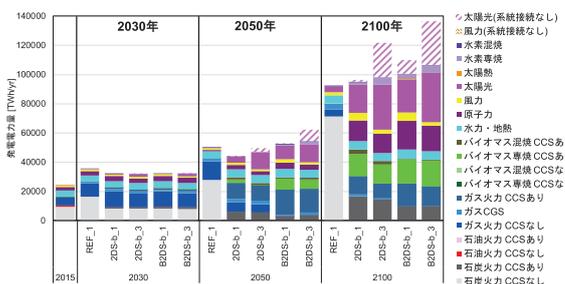


図4 世界発電電力量

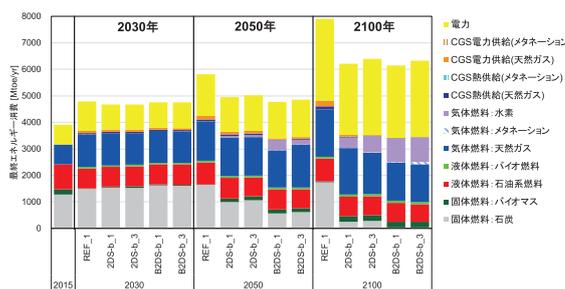


図5 産業部門の世界の最終エネルギー消費量

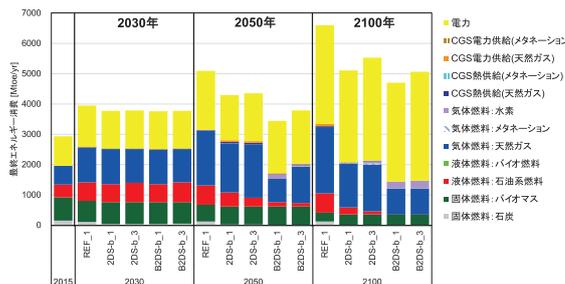


図6 民生部門の世界の最終エネルギー消費量

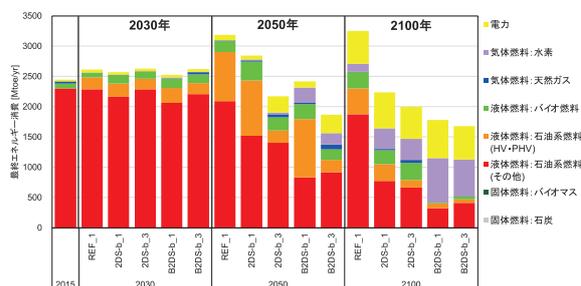


図7 運輸部門の世界の最終エネルギー消費量

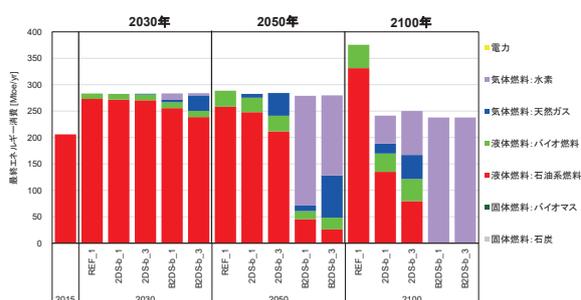


図8 国際海運の最終エネルギー消費量 (図7の内数)

産業部門においては、2100年に向けて電力、ガスの比率が増す。2℃シナリオでは、21世紀後半では、鉄鋼部門で、高炉・転炉法から水素直接還元製鉄への転換も見られる(石炭から水素利用に)。2℃シナリオでは、21世紀半ば頃から、セメント生産のガス利用増大が見られる。

民生部門では、非商業用バイオマスの利用は緩やかに低下していく。また、石油は2℃シナリオでは低下する。一方、電力とガス消費量は上昇する。とりわけ電力の消費量は大きく上昇する。2050年以降、2℃シナリオでは、一部、水素の利用(一部のケースでは水素をメタネーションして利用も)が見られる。

運輸部門においては、2℃シナリオでは、EV、FCV、バイオ燃料の拡大が見られる。特にB2DSの2050年以降は、FCトラックを含め水素燃料の利用が拡大する。B2DSの2100年になるとバイオ燃料が減少するが、それは、発電部門でのBECCS利用が費用対効果が高いためである。B2DSでは発電部門でバイオマス利用が増大するが、バイオマスの資源制約があるため、運輸部門では利用が減少する傾向が見られる。シェアモビリティシナリオ(b_3)では、他シナリオと比較し、特に2050年の石油の消費量が大きく低下する可能性が示される。また、稼働率の上昇によって、FCV、EVのシェアが増大する。国際海運では、2050年頃にかけてバイオ燃料およびガス利用が一部見られ

ようになり、また、B2DSでは2050年頃以降、水素利用が経済合理的になる可能性が示される。

図9、10には、それぞれ、世界のCO₂回収、利用、貯留バランス、水素バランスを示す。

当然ではあるが、排出削減が厳しいB2DSでは、CO₂回収量が増加する傾向がある。21世紀後半に向けて、正味ネガティブ排出が求められるため、特にBECCSの利用が大きくなっている。回収したCO₂は、メタネーションやCCUでの利用も若干見受けられるが、圧倒的に帯水層でのCO₂貯留が大きい。

水素製造は、PVコストが標準ケースの場合は、石炭・褐炭からのガス化+CCSが経済合理的な傾向となる。一方、PVコスト低位ケースの場合(a_2, b_3)は、PV+水電解が経済合理的な傾向が見られる。水素利用先は多様であり、発電や、水素直接還元製鉄、運輸部門での利用の他、一部、メタネーションでの水素利用も見られる。

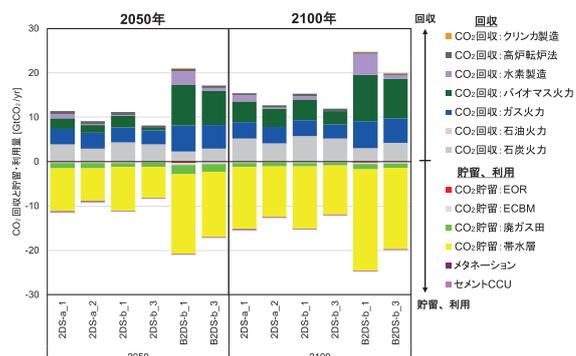


図9 世界のCO₂回収、利用、貯留バランス

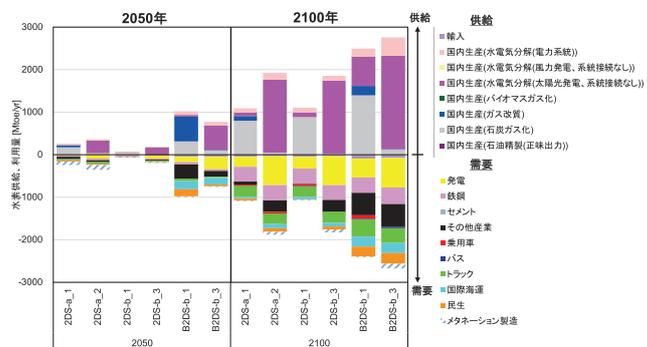


図10 世界の水素需給バランス

4. まとめ

パリ協定では、2℃目標や21世紀後半に実質ゼロ排出目標等が掲げられた。また、気温安定化のためにはいずれは正味でほぼゼロ排出とする必要がある。しかし、現状延長線での技術進展では、2℃目標、正味ゼロ排出等実現のためには、相当大きな費用が必要と見られ、その実現性は相当乏しいと考えざるを得ない。よって、広範なイノベーションが必須と考えられる。エネルギー供給サイドは無論のこと、デジタル技術等を利用したエネルギー需要サイドの技術イノベーションとそれに誘発される社会イノベーションは極めて重要である。

ただし、2℃目標を前提としたとしても、その排出経路は複数ある。また国際政治情勢も不確実性が大きい。不確実性を前提としつつ、賢いリスクマネジメントが必要である。脱炭素化に向けた各種技術の有用性は、想定する排出削減シナリオ、各技術の将来見通し等によって異なる。現時点では、気候変動科学、気候変動影響、気候変動対応の国際情勢を見極めながら、低炭素化を進める過程の中で、複数のオプションについて技術開発を行って、経済性の成立を徐々に見極めていくというリスクヘッジをせざるを得ない。

大幅排出削減に向けて、基本的に電力化率の向上が求められる。例えば、水素も、エネルギー、電力の脱炭素において重要なオプションである。一方、水素を現実に大規模に展開するためには、コストの大幅な低減が不可欠である。ただし需要が拡大しなければ、コスト低減は容易ではなく、コストを見極めながら、適切な需要拡大を志向することは重要と考えられる。

2℃シナリオ実現のためには、莫大な投資が求められる一方で、日本や欧米などにおいて、電力自由化の下で脱炭素化を進めていくことが必要となっており、資本集約的な（初期投資額が大きく、民間企業にとっては投資リスクが大きい）原子力、再エネ（+系統増強）、水素、CCS等に投資がしやすいような環境整備は重要である。また、投資回収の予見性が高い政策措置も重要と考えられる。

参考文献

- 1) IPCC 1.5℃特別報告書 (2018)
- 2) IPCC WG1 第5次評価報告書 (2013)
- 3) RITE Today (2019)
- 4) IPCC WG3 第5次評価報告書 (2014)

バイオ研究グループ

 <p>グループリーダー・ 主席研究員</p> <p>乾 将行</p>	サブリーダー・主席研究員	志賀 英晃	研究員	ナタリア	マリア	テレシア
	副主席研究員	寺本 陽彦	研究員	柏木 紀賢		
	副主席研究員	平賀 和	研究員	小林 淳平		
	主任研究員	寺崎 肇	研究員	橋本 淳子		
	主任研究員	田中 裕也	研究助手	渡邊 龍馬		
	主任研究員	須田 雅子	研究助手	池永 由布子		
	主任研究員	北出 幸広	研究助手	水口 祥子		
	主任研究員	豊田 晃一	研究助手	永守 美雪		
	主任研究員	加藤 直人	研究助手	内藤 香枝		
	主任研究員	長谷川 智彰	研究助手	池田 永和		
	主任研究員	渡邊 高久	研究助手	米田 和夕		
	主任研究員	小暮 健	研究助手	小泉 真夕		
	主任研究員	久保 俊宏	研究助手	西 佳代		
	主任研究員	大島 伸一	研究助手	森 佳素		
研究員	清水 哲	研究助手	岩島 吉田			
研究員	橋詰 正	研究助手	岡田 亜			
研究員	原 明	研究助手	岸 紀			
研究員	肥 佳					

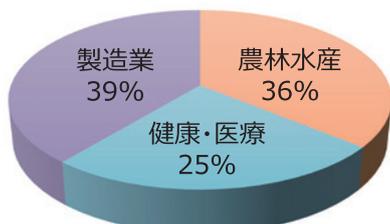
持続可能な社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発

1. はじめに

バイオテクノロジーは、ゲノム編集技術や合成生物学の急速な進展により、医療や健康・農業のみならず、工業なども含め幅広い分野に大きく貢献している。特に近年、バイオテクノロジーと再生可能な生物資源を活用して地球規模での課題を解決しながら経済成長を図る「バイオエコノミー」というコンセプトが欧米を中心にアジアまで拡大している。経済協力開発機構(OECD)によると、「2030年バイオ市場は加盟国全体で約190兆円規模に拡大、製造業分野は約4割に達する」と予測(図1)されており、全産業がバイオ化するともいわれている。そのような中で、2019年6月、政府は、「2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現」という全体目標を掲げて、11年ぶりに「バイオ戦略2019」を発表した。

当グループでは、微生物を利用して、このバイオエコノミーの中核技術であるバイオリファイナリー技術、即ち再生可能資源(バイオマス)を原料としてバイオ燃料やグリーン化学品を製造する技術の開発を進めている。本項では、まずバイオ燃料やグリーン化学品生産について、世界の概況を紹介する。

2030年、約1.7兆ドル



出典：The Bioeconomy to 2030. OECD(2009)、NEDO作成資料より

図1 バイオエコノミー市場予測

バイオ燃料

バイオ燃料の代表であるバイオエタノールは、米国ではトウモロコシ、ブラジルではサトウキビを原料として生産され、ガソリンに10~25%混合されて自動車用燃料として供給されている。最大の生産・消費国である米国では、米国エネルギー情報局(EIA)によれば、2018年159億ガロン(6,010万kL)のバイオエタノールが生産された。OECD-FAOの「Agricultural Outlook 2018-2027」によれば、2018年は1.22億kLのバイオエタノールが世界で生産されており、その半分を米国が占めたことになる。この割合はここ数年変わっていない。

原料が食料資源と競合しない第2世代バイオ燃料であるセルロースエタノールは、トウモロコシ等の農業残渣を原料として生産される。米国再生可能燃料基準(RFS)によるセルロース系原料からのバイオ燃料の2020年生産目標(米国環境保護庁(EPA)改訂案)は5.4億ガロン(約200万kL)である。これは2007年に定められたRFS目標値の5%余りにとどまっており、今後、商用化の加速が求められる。RITEでは、セルロース系バイオマスを効率的に利用できるバイオプロセスを開発している(2章参照)。

航空燃料に関しては、ICAO(国際民間航空機関)が、2010年総会にて、2020年以降温暖化ガスの総排出量を増加させないこと等を決めた。また、2016年の総会で、2020年以降に市場メカニズムを活用した温室効果ガス削減制度(GMBM: Global Market-Based Measures)を導入すると決定した。それに基づき国際航空運送協会(IATA)は、バイオジェット燃料の使用、排出権取引の活用などによる具体的な行動計画を策定した(図2)。GMBMは、2021年から開始される予定である。それらに伴い、バイオジェット燃料は、主として欧米で年々普及が進んでおり、調

理用廃油などを利用したサステナブルな航空燃料 (SAF) として商業飛行が継続されている。RITEでもバイオブタノールを原料とした民間のバイオジェット燃料生産プロジェクトへの技術協力を2018年から開始した (トピックス参照)。

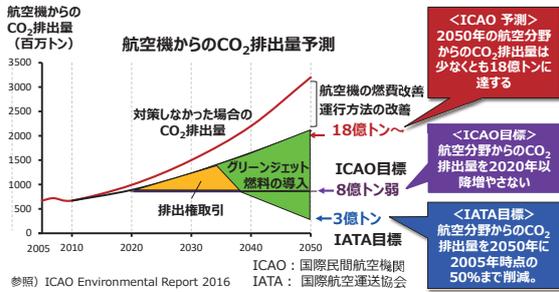


図2 航空機からのCO₂排出量削減対策

船舶燃料に関しては、2018年、IMO (国際海事機関) が、2030年までに2008年比で炭素排出効率の40%以上削減するとの温室効果ガス削減戦略を採択した。その中で、有効な対策候補として、すでに導入されている燃費規制の強化や運行効率の改善 (減速運行や航路最適化等) に加えて代替燃料の導入があげられている。これらは、いずれも候補であり、実際に行う対策については、今後の検討・交渉事項となり、2023年に削減戦略 (改訂版) として採択される予定である。

グリーン化学品

近年、ペットボトルや使い捨てプラスチックによる環境破壊の問題が国際的な問題としてクローズアップされている。特に海洋におけるマイクロプラスチック汚染は深刻であり、また中国や東南アジアの廃棄プラスチック輸入禁止は、日本のプラスチックリサイクルに大きな影響を及ぼしている。このような背景から、再生可能資源であるバイオマスを原料としたバイオプラスチックや生分解プラスチックに大きな期待が寄せられている。「バイオ戦略2019」でも9つの市場領域の1つに「バイオプラスチック (汎用プラスチック代替)」が取り上げられており、2020年度の概算要求には、「プラスチック有効利用高度化事業」(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) 委託事業) などが組み込まれている。

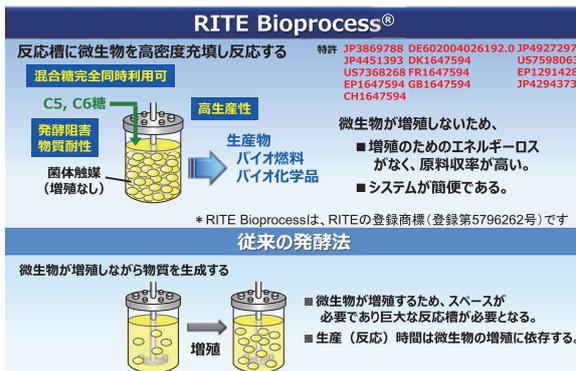


図3 RITEバイオプロセス (増殖非依存型バイオプロセス) の特長

2. RITEバイオプロセスの特長

当グループでは、これまでに新しい技術コンセプトに基づく革新的バイオプロセス「RITEバイオプロセス (増殖非依存型バイオプロセス)」を確立し、バイオ燃料や、アミノ酸・芳香族化合物を始めとしたグリーン化学品を、高効率で製造する技術開発に大きな成果を上げ、国内外から高い評価を得ている。

本プロセスでは、目的物質を効率的に生産できるように高度に代謝設計されたコリネ型細菌 (スマートセル) を大量に培養し、細胞を反応槽に高密度に充填後、嫌気的な条件や、増殖に必須な因子を削除することにより細胞の分裂を停止させた状態で反応を行う (図3)。高効率化の鍵は、微生物の増殖を抑制した状態で化合物を生産させることにあり、増殖に必要な栄養やエネルギーも不要である。これにより微生物細胞をあたかも化学プロセスにおける触媒のように利用することが可能で、通常の化学プロセスと同等以上の高い生産性を備えたバイオプロセスが実現した。また、コリネ型細菌の代謝系の改良により、C6糖類およびC5糖類の完全同時利用を達成し、効率的なセルロース系バイオマス利用を可能とした。さらに、本プロセスは、セルロース系バイオマスを加水分解した混合糖に存在するフラン類等の発酵阻害物質に対しても耐性が高い (詳細はRITE Today 2013~2017参照)。

現在、エタノール、L-乳酸、D-乳酸、アミノ酸等の高効率生産に加えて、ブタノールやジェット燃料素材、芳香族化合物などの高機能化学品生産へ幅広い展開を図っている (図4)。次章以降では、当グループの主要ターゲットであるバイオ燃料および芳香族化合物を含むグリーン化学品の生産技術開発について説明し、それらの実用化に向けた取り組みについて紹介する。

バイオ燃料	グリーン化学品
<ul style="list-style-type: none"> ガソリン混合・代替 <ul style="list-style-type: none"> エタノール* バイオジェット燃料 <ul style="list-style-type: none"> イソブタノール* n-ブタノール* 100%グリーンジェット燃料 (C9~C15飽和炭化水素 + 芳香族化合物) バイオ水素 	<ul style="list-style-type: none"> 芳香族化合物 <ul style="list-style-type: none"> 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* (ポリマー・医薬品原料) プロトカテック酸* (化粧品・医薬品原料) 有機酸 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> アラニン (キレート剤) 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 (飼料用アミノ酸、医薬品原料) メチオニン (飼料用アミノ酸、調味料) アルコール <ul style="list-style-type: none"> イソプロパノール (プロピレン原料) キシリトール (甘味料)
<p>* : ポリマー原料 赤字 : 世界最高の生産性を達成済</p>	

図4 RITEのバイオリファイナリー技術による生産物質の例

3. バイオ燃料の生産技術開発

3.1. バイオブタノール

ブタノールは、ガソリン代替としてエタノールよりもエネルギー密度が高く、蒸気圧が低く、水と混和しにくいという優れた特性を有している。さらにブタノールを出発原料として化学変換によってジェット燃料を製造することができる。即ち、植物由来のバイオブタノールから製造したバイオジェット燃料で航空機を飛ばすことができる。航空機からのCO₂排出削減に

は原油から植物由来の原料に置換することが必須と認識され、業界団体の動きが加速している。ブタノールを原料としたジェット燃料は、Alcohol to Jetを略してATJ燃料と呼ばれ、2016年に米国材料試験協会 (ASTM) の規格をクリアし、商業フライトへ利用が可能となった (<http://www.gevo.com/>)。

こうした動きに先駆け、当グループでは、RITEバイオプロセスを利用した高効率バイオブタノール生産プロセスの開発を進めている。2015年度からは、経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」を推進中である。我々の生産技術の特長は、原料としてセルロース系バイオマス由来の混合糖を利用可能で、且つ高速・高収率生産が可能にある (図5)。

しかし、ブタノールは細胞毒性が強い問題がある。そこで、本事業では高度な育種技術により、RITEバイオプロセスの高い生産性を更に引き上げると共に、米国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) との共同研究により、非可食バイオマス由来の混合糖を原料としたバイオブタノール生産技術の開発を加速させている。

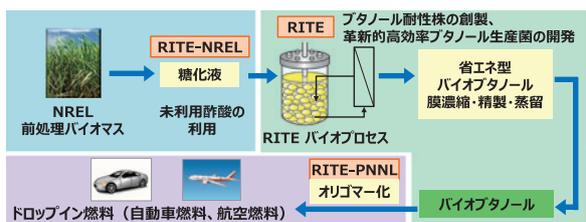


図5 RITEバイオプロセスによるバイオブタノールおよびジェット燃料生産

更に、2017年からは米パシフィック・ノースウエスト国立研究所 (PNNL) との共同研究により、ブタノールを化学的にオリゴマー化したり、ブタノールのバイオ生産時に原料由来の酢酸を同時にエタノール化し、ブタノール/エタノールの混合物をオリゴマー化したりする新しいアイデアに基づいて、ジェット燃料などのdrop-in燃料に変換する技術開発を進めている。

ブタノール生産においては、蒸留におけるエネルギー消費が大きいことから、蒸留とPV (pervaporation) 膜濃縮を組み合わせることによって、精製に必要なエネルギーを約10分の1に低減する省エネルギー型ブタノール回収技術の開発も並行して進めている。ブタノールのバイオ生産では、世界最高レベルの高生産性を達成しており、生産菌のブタノール耐性の向上、生産菌の代謝経路の最適化、および上記省エネルギー型ブタノール回収技術の開発などの個別要素技術開発に成功した。

今後は本プロジェクトの成果に基づき、これらの要素技術と数々のノウハウを組み合わせることにより、バイオブタノールの実用化・事業化を目指す。

3.2. グリーンジェット燃料

ジェット燃料は炭素数9~15個のイソパラフィン、

シクロパラフィン、芳香族化合物等の炭化水素化合物の混合物で、析出点や密度など様々な物性が厳密に規格化されている。

イソパラフィンはシクロパラフィンや芳香族化合物より密度が軽く、ジェット燃料の密度は含有する各炭化水素成分の含量比を反映し、産地ごとに異なる。ASTMによって認証済みのバイオジェット燃料は石油系ジェット燃料と最大50%までの混合使用が認められているが、いずれもイソパラフィンを主体とするためその密度はジェット燃料の規格よりもかなり軽い。したがってアフリカや中東産の密度が軽い石油系ジェット燃料と50%も混合するとその密度は規格を下回るためジェット燃料として使用できなくなる。このような不適合を防ぐにはバイオジェット燃料にもシクロパラフィンや芳香族化合物の含有が必須である。

そこで当グループでは単独でも密度の規格を満たし、石油系ジェット燃料の産地に依存せず最大限混合可能な新規グリーンジェット燃料の開発を目指している。即ち、様々な分岐鎖および環状前駆物質を非可食バイオマスを原料として省エネルギーなバイオプロセスによって高生産した後、これらを簡単な化学変換によってイソパラフィン、シクロパラフィン、芳香族化合物からなるバイオジェットに変換する。しかし、一般的にこれら前駆物質は脂溶性が高く細胞毒性が高いため微生物による高生産は困難である。そこで脂溶性が高く細胞毒性が高い前駆物質を生産と連続して水溶性化する修飾によって低毒性化し、高生産可能にする技術の開発を進めている (図6)。

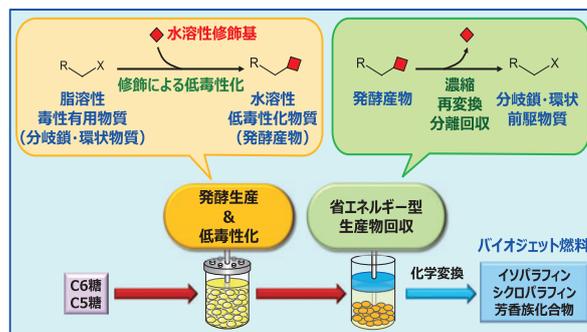


図6 高汎用性バイオプロセスを利用した新規バイオジェット燃料生産技術

本技術は2017年から経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」における「様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新的高汎用性バイオプロセスの開発」にて開発している。

3.3. バイオ水素

水素は燃焼時に水しか生成しないため、究極のグリーンエネルギーとして期待される。しかしながら、現行の主要な水素製造技術は化石エネルギーを原料とするため、これに由来するCO₂の排出が大きな課題となる。2017年に開催された「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」において策定された「水素基本

戦略」では、2030年前後の水素利用技術本格普及に向けた目標を踏まえつつ、2050年を見据えた中長期の水素社会の実現のために革新的なCO₂フリー水素製造技術開発の重要性が示されている。

微生物を利用した水素生産（バイオ水素生産）は、将来の持続可能なCO₂フリー水素製造技術となり得るが、経済性あるバイオ水素生産技術の確立には、生産性の飛躍的な向上が必要とされる。当グループは、シャープ株式会社との共同研究により、ギ酸を介する水素生産経路を利用した高速バイオ水素生産プロセスを開発し、従来技術と比較して2桁程度高い生産速度を達成している。この成果を基盤として、現在、経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」の中で、光エネルギーに依存しない「暗発酵水素生産」と光エネルギーを利用する「光発酵水素生産」の統合による水素収率の大幅向上に向けた研究開発に取り組んでいる（図7）。

本研究開発では、京都大学およびフランス国立科学研究センター（CNRS）と連携して暗発酵水素生産微生物の改良を進め、高効率な反応機構を有する新規水素生成酵素の高発現に成功した。また、暗発酵で副生する酢酸から光発酵により水素を生産する光合成細菌の水素生成酵素発現制御因子の改変により実用化に向けた検討に極めて有利な恒常的水素高生産株を確立した。さらに、NRELと連携してセルロース系バイオマス（コーンストーバー）由来混合糖利用能の強化について検討し、キシロース利用系発現制御因子の改変の有効性を示した（図7）。

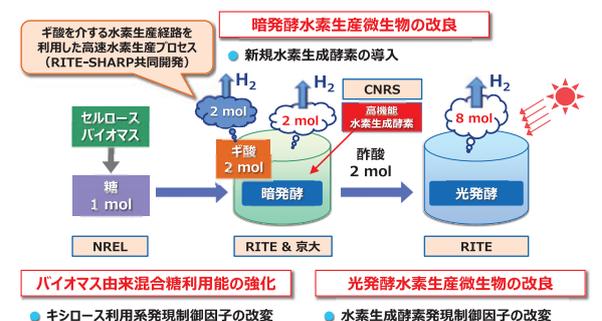


図7 セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発

4. グリーン化学品の生産技術開発

4.1. NEDOスマートセル

NEDOが実施する「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発」（スマートセルプロジェクト）に当グループは初年度の2016年から参画し研究開発を継続している（RITE Today 2019参照）。このプロジェクトでは「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」いわゆるスマートセルを設計する技術の開発とその技術の有効性検証を行う。

当グループはこれまでに生産検証データをスマートセル設計システム開発チームに提供することで設計技術の高精度化に貢献してきた。同時に、これらの設計

技術をコリネ型細菌に適用し生産株の育種期間の短縮を目指した。今回、有用芳香族化合物の1つを生産ターゲットとして生産株の開発を進めた。この化合物は産業的な利用価値が高いものの、これまで生物を利用して高濃度生産された例はない。微生物全般に対して毒性を示すことと、糖からの代謝経路のステップ数が多く複雑なことがその原因だと考えられる。また、コリネ型細菌は元々この目的芳香族化合物の生産経路を持たない。

このような状況から開発を始め、複数のスマートセル設計システムが提案する各代謝改変指針に基づきコリネ型細菌の育種を行った。その結果、目的芳香族化合物の生産が可能になると共に大幅な濃度向上を確認した（図8）。これによりプロジェクトの中間目標を大きく超える生産性を達成した。現時点では未適用の提案においても生産性の改善を示唆する予備検討結果を得ているため、スマートセル設計システムを利用することで今後もさらなる生産性向上が期待できる。

NEDO スマートセルプロジェクト

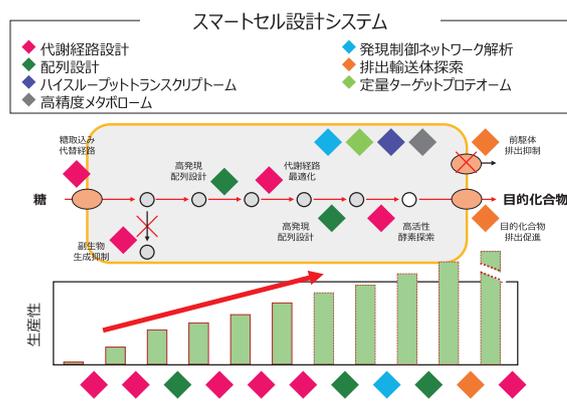


図8 スマートセル設計システムを活用した生産性向上

4.2. SIP第2期

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP: Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）は府省・分野の枠を超えて基礎研究から実用化・事業化までを見据えた取り組みを産学官連携で進めるプログラムである。第1期(11課題)が2014年から5年間の計画で進められ、2018年から第2期として12課題の取り組みが開始された。課題の一つ「スマートバイオ産業・農業基盤技術」では、バイオとデジタルの融合・データ活用により生物機能を活用したものづくりによる持続可能な成長社会の実現を目指している。RITEは、本課題を形成する複数のコンソーシアムの一つ「革新的バイオ素材・高機能品等の機能設計技術及び生産技術開発」に参画している。本課題では、市場が所望する新機能を有するポリマーを、合成されたモノマーを用いて合成することを目標としており、ポリマーグループとモノマーグループに分かれて取り組んでいる。目標達成のために、前者は、ポリマー設計技術、ポリマー機能予測技術およびこれらの技術検証を行い、後者は、モノマーの生成に向け

た代謝設計、酵素機能改変技術の開発ならびにその検証を行う。RITEはモノマーグループのリーダーとして、グループ内の各チームより提案される目的モノマー合成能を有すると推測された酵素候補および合成能を付与させるための改変候補について、コリネ型細菌を宿主として検証を行う。2019年度は候補モノマーの一つ、ジオール生合成に関与する酵素を対象に技術検証を行っており、さらに対象酵素を拡大して技術開発、技術検証を進めている。

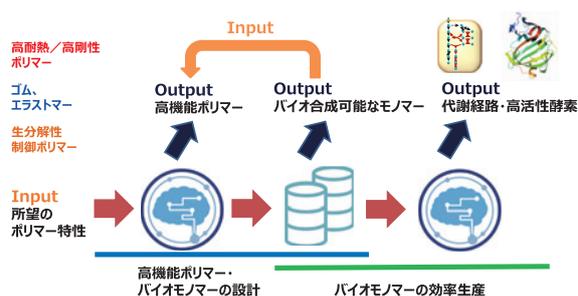


図9 バイオマテリアル設計・生産技術統合システム

4.3. 様々な芳香族化合物への展開

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と同時に、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な化合物が数多く存在する。芳香族化合物は現在、石油や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、および生産性の観点から、高効率なバイオ生産法の確立が望まれている。微生物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（図10）。我々は適切な遺伝子組換えを施したコリネ型細菌を高効率バイオ変換技術へ適用することで、非可食バイオマスを原料としてインフルエンザ治療薬タミフルの原料とされるシキミ酸、機能性ポリマー原料として有望な4-アミノ安息香酸、そしてポリマー、医薬品、化粧品、食品原料として有望な芳香族ヒドロキシ酸の高生産プロセスの確立に成功している。

また、多種生物由来の遺伝子を導入することによりコリネ型細菌が本来合成できない有用芳香族化合物についても高生産菌株の育種を進めており、前述したスマートセルプロジェクトにおいて開発された技術を活用することで更なる生産性向上を図る。

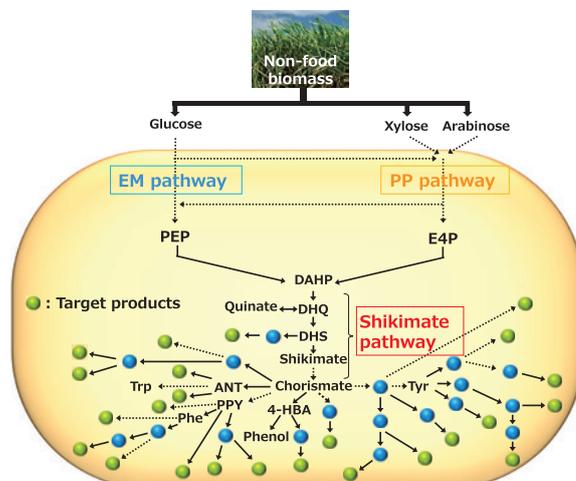


図10 様々な芳香族化合物の生合成経路

5. 実用化への取り組み

5.1. フェノール/芳香族化合物

現在の工業生産されているフェノールはすべて石油由来の原料から製造されている。我々は地球環境保全や温室効果ガス削減の観点からグリーン化が困難とされてきたバイオ法によるフェノール製造技術開発を進めてきた。我々の開発した2段工程法を利用した実用生産を早期に実現するため、住友ベークライト株式会社と共同で2014年5月にグリーンフェノール開発株式会社（GPD）を設立した。2018年4月にはGPDはグリーンケミカルズ株式会社（GCC）へ社名を変更した。

GCC、住友ベークライト株式会社による「非可食バイオマス由来グリーンフェノールの工業生産に向けた技術開発」が、NEDOの「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」においてその研究開発の功績が特に顕著であったとして優良事業表彰を受賞し、表彰式と受賞講演は2019年1月30日～2月1日に東京（ENEX2019会場）で行われた（図11）。



図11 NEDOによる優良事業表彰

現在、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、従来は不可能と考えられていた芳香族化合物などの付加価値の高い様々なグリーン化学品の量産技術の確立を鋭意進めており、顧客ニーズに合致したグリーン化合物の商品化を加速している。

5.2. アミノ酸

一般的なアミノ酸発酵は、微生物の培養と発酵生産に通気（酸素）を必要とし、この通気量が適切にコントロールされることが、高生産性の達成に重要である。これに対してRITEでは、前述したように通気の必要がないRITEバイオプロセスを用いて、シンプルなプロセス制御による省エネルギー、高生産なアミノ酸生産プロセスの開発を進めてきた。非通気条件でアミノ酸を生産するには、酸素を使わずに細胞内の酸化還元バランスを適正に保つ仕組みが必要であり、この目的のためには目的アミノ酸に応じた人工的な生合成経路を細胞に導入する必要がある。当グループでは、こうした課題を解決した非通気条件でのアミノ酸生産プロセスのコンセプトを2010年に学術雑誌に発表した (Appl. Microbiol. Biotechnol. 87: 159-165, 2010.)。

RITEは、RITE発ベンチャー企業Green Earth Institute株式会社 (GEI) を2011年9月に設立し、RITEバイオプロセスによるアミノ酸等のグリーン化学品やバイオ燃料の事業化を目指した共同研究を実施している。本共同研究において、アミノ酸の一種であるL-アラニン生産に関しては、生産菌株の開発、スケールアップ検討やコスト低減のための各種検討を進め、2016年には、GEIの国内パートナー企業が保有する商業スケールの発酵槽を用いた試験生産に成功し、実用生産の段階に進んでいる。試験生産には、当グループの研究者も参加し、現地のメンバーと力を合わせて成功へ導いた。RITEが開発したアラニン生産株を利用して生産されたL-アラニンは、2017年8月、厚生労働省食品安全委員会による評価の結果、食品添加物としての安全性が確認され、工業用用途のみならず食品添加物としても利用可能になった。現在、海外の複数の国で商用生産に向けた取り組みが進んでいる。また、アミノ酸の一種であるL-バリン生産に関してもRITEは世界最高レベルの生産濃度と生産効率の菌株作製に成功し、GEIや海外パートナー企業との実用化プロジェクトを完了し、商用生産を実現している。更に、他のアミノ酸についても同様の実用化を目指し、研究開発を進めている。

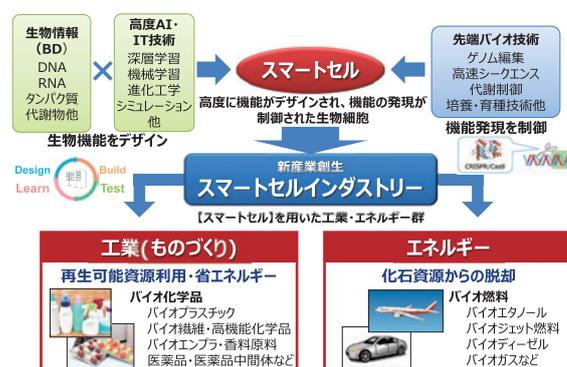
6. おわりに

現在、世界で50以上の国・地域がバイオエコノミー戦略を策定している。日本も「バイオ戦略2019」において、バイオエコノミー社会の実現を目標として掲げた。その中で、9つの市場領域の内、前述の「バイオプラスチック」に加えて、「高機能バイオ素材」および「バイオ生産システム」の3つが我々の技術分野と関連しており、今後、政府の重点開発項目に取り上げられると思われる。

バイオ燃料の分野では、政府は、2018年から5年間、年間50万KLのバイオエタノールを導入する目標を定めているが、原料コスト（主にトウモロコシ）のためそのほとんどを輸入に頼っている。廃棄物の非可食バイオマスを原料とすることで、食料競合とコスト低減

を同時に解決しつつ、大量生産を実現することが望まれている。

バイオ化学品の分野では、近年発展が著しいIoTやAIなどの情報技術（デジタル）とバイオテクノロジーの融合に基づいた複数のプロジェクトが政府主導により進められ、RITEも参画している（4章参照）。これらのプロジェクトでは、前述したスマートセルを利用したバイオリファイナリー技術が中核技術として大きな役割を果たし、エネルギーに加えて工業分野（ものづくり）にも大きな波及効果を与えることが期待されている（図12）。



出典：経産省 バイオエコノミーの実現に向けた国際動向と我が国の取組, H30年9月25日資料を参考に作成
図12 バイオ×デジタルが変える工業/エネルギー分野の融合

当グループでは2020年も引き続き最先端バイオテクノロジーである「スマートセル」を中心とした革新的なバイオリファイナリー生産技術の開発に取り組み、低炭素社会の構築や持続可能社会の実現に貢献していきたい。

化学研究グループ

 <p>グループリーダー・ 主席研究員 中尾 真一</p>	サブリーダー・ 主席研究員	杉田 啓介	研究助手	荒木 華子
	副主席研究員	馬場 宏治	研究助手	大西 紀子
	副主席研究員	余語 克則	研究助手	尾方 秀謙
	主任研究員	石黒兼二郎	研究助手	鹿嶋 麻衣
	主任研究員	甲斐 照彦	研究助手	片岡 梢
	主任研究員	後藤 和也	研究助手	菰野 恵子
	主任研究員	フィロース アラム チョウドリー	研究助手	白井 隆一
	主任研究員	山田 秀尚	研究助手	杉本 理絵
	主任研究員	山本 信	研究助手	手嶋 孝
	主任研究員	龍治 真	研究助手	藤原 洋一
	研究員	伊藤 史典	研究助手	森 恵子
	研究員	木下 朋大	研究助手	森 美佐都
	研究員	清川 貴康	研究助手	吉野 直美
	研究員	Vu Thi Quyen	研究助手	米澤 順子
研究員	段 淑紅	研究助手	小倉公美子	

CO₂分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み

1. CO₂分離・回収技術の研究開発

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、化石燃料の燃焼で発生した温室効果ガスであるCO₂を発電所や工場などの発生源から分離・回収し、回収したCO₂を地中や海底に貯留・隔離する技術である。

地球温暖化対策としてCO₂の大規模削減が期待できるCCSを早期に導入、実用化するためには、そのコストの約6割程度を占めると試算されている排出源からのCO₂分離・回収コストの低減が重要である。

化学研究グループでは、CO₂分離・回収技術の研究開発を行っており、これまでに化学吸収法、固体吸収法、膜分離法で世界をリードする研究開発成果を上げてきた。材料の開発に始まり、加工、システム検討までを一貫して研究開発していることが特徴である。

化学吸収法では、新化学吸収液の開発目標とした分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出すことに成功した。また、COURSE50（「環境調和型プロセスの技術開発」プロジェクト、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）委託事業）で開発した化学吸収液は、民間企業で採用され、CO₂回収設備商用1号機が2014年以降、更に商用2号機が2018年以降、それぞれ運転中である。

固体吸収法は、CO₂高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材の研究開発に取り組んでおり、これまでに、低温で脱離性能の良い固体吸収材を開発し、その実現可能性を検証中である。ラボレベルの連続回収試験結果としては、分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO₂を達成可能な材料を見出している。また、10m³規模での固体吸収材合成を可能とするスケールアップ合成技術を確認した。現在、民間企業と共同で実用化研究に取り組んでおり、固体吸収材の実ガス暴露試験を実施中である。今後、これらの成果をもとに石炭火力発電所内に40t-CO₂/day規模の試験設備を設計・設置し、実ガス試験を行う予定である。

膜分離法は、圧力を有するガス源からCO₂を低コスト、省エネルギーで分離するプロセスとして期待されている。RITEは膜分離の事業化を目的に設立された次世代型膜モジュール技術研究組合の一員として、高いCO₂分離性能を有する分子ゲート膜（高いCO₂分離特性を有する dendrimer と架橋高分子材料を用いた複合膜）を用いて、石炭ガス化複合発電（IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle）等の高圧ガスから低コスト、省エネルギーでCO₂を回収することを目指した膜および膜エレメントの開発を行っている。実用化を目指し、量産化を念頭において、連続製膜技術および膜エレメント化技術の開発を進め

ているところである。また、実ガス試験による膜および膜エレメントの分離性能、プロセス適合性等に関する技術課題の抽出と解決を行うために、国内外の実ガス試験サイトで、石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験を進めている。

以上のように、幅広い次世代の礎となる革新的な技術開発によりCO₂削減に向けた研究開発をリードし、かつ産業界が受け入れ可能で実用的な技術を開発している。また、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) に加盟し、CO₂分離回収技術の早期実用化に向けて海外ネットワークを利用する活動も推進している。

2. 化学吸収法

化学吸収法によるCO₂分離回収は、ガス中のCO₂をアミン水溶液等の吸収液中に化学的に吸収させ、その吸収液から高純度CO₂を温度操作または圧力操作により分離回収する技術である。RITEは2004年より、「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発」プロジェクト（経済産業省 (METI) 補助事業、COCSプロジェクトと呼称）以降、製鉄所プロセスガスを主対象にCO₂分離・回収エネルギーおよびコストを低減し得る高性能吸収液の開発に取り組んでいる。2008年に始まったCOURSE50では、CO₂削減目標30%の内、分離・回収によって20%削減と位置付けられており、本技術開発に対する期待は大きい。RITEにおける化学吸収液開発の流れを図1に示す。

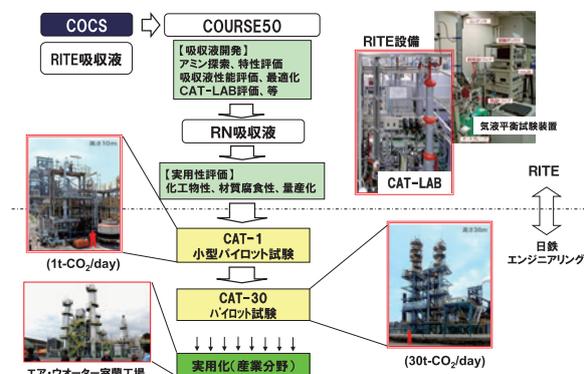


図1 RITEにおける化学吸収液開発の流れ

これまでの成果としては、2008年度からのCOURSE50 Phase I Step1において、吸収液の分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする化合物を見出し、吸収液開発に成功した。更に、2013年度からのPhase I Step2においては、一層の高性能化を目指し、性能発現機構および関連する要素因子を明らかにした。2018年度からのPhase II では、分離・回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を目標とし、Step2の成果をベースに更なる高性能化に取り組んでいる。目標達成に向け、新規非水溶媒の探索や吸収促進触媒のペレット化手法開発などを進めている (図2)。

化学吸収法は成熟した技術と見なされているが、RITEは、革新的な新規技術を継続的に提案し、常に世界をリードしている。

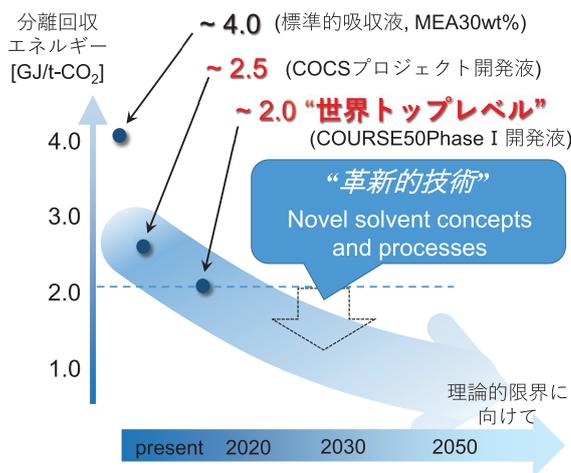


図2 高性能化学吸収液開発への挑戦

開発技術の産業利用の面では、RITEと新日鐵住金株式会社 (2019年4月より日本製鉄株式会社) が共同開発した吸収液が新日鐵住金エンジニアリング株式会社 (2019年4月より日鉄エンジニアリング株式会社) の省エネ型CO₂回収設備商用機ESCAPに採用されている (1号機: 製鉄所排ガス用, 2014年運転開始、2号機: 石炭火力発電排ガス用, 2018年7月運転開始) (図3)。このように、RITEの研究成果は既に様々なCO₂発生源を対象とする産業技術に貢献している。



図3 COURSE50成果の産業利用

3. 固体吸収法

RITEは2010年から2014年度にかけて、METIからの委託事業「二酸化炭素回収技術高度化事業」において、固体吸収材の開発を実施した。固体吸収材は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持させたもので（図4）、化学吸収液と類似のCO₂吸収特性を有しながら、再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーの大幅低減を可能とする。

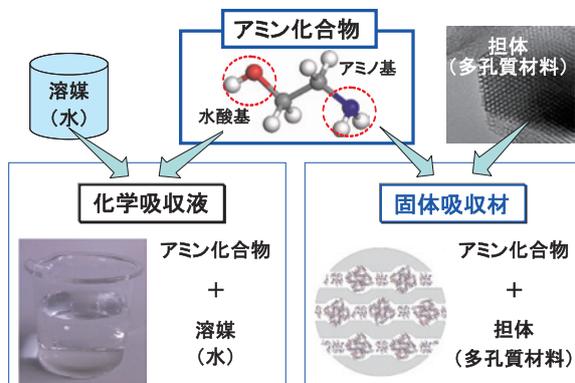


図4 アミン固体吸収材

開発した固体吸収材には、RITEが合成した新規アミンを採用している。これまでに市販のアミンに置換基を導入することで、低温での脱離性能に優れ、高いCO₂回収容量を有する独自の固体吸収材を開発することに成功し、米国および日本において特許を取得した（図5）。

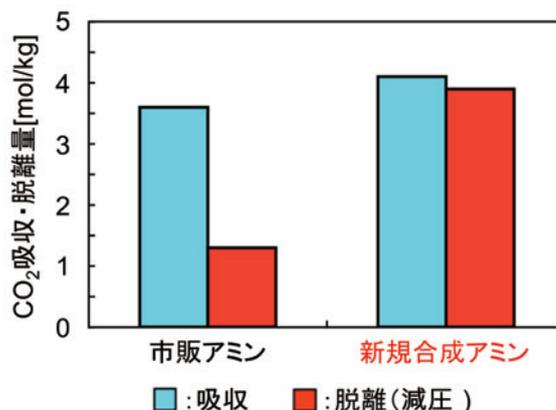


図5 新規合成アミンによる固体吸収材の性能向上

開発したRITE固体吸収材の性能に基づき、プロセスシミュレーションを行った結果、分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO₂のポテンシャル性能が示され、RITE固体吸収材によるCO₂分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、従来の化学吸収法（2.5GJ/t-CO₂）と比べて発電効率の低下を約2%改善できる見込が得られた。

2015年度から始まったMETIからの委託事業「先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発」（2018年度からはNEDOに移管）においては、実用化のための材料最適化、固定層システムを用いたプロセス最適化・高効率化検討、および固体吸収材システムのシミュレーション技術の構築を行うとともに、川崎重工業株式会社と連携して、石炭燃焼排ガスを用いた移動層ベンチスケール試験を実施している。

材料の最適化においては、これまでに、十分な摩耗強度や耐久性を有し、移動層システムに適した担体を選定し、また、新規アミンについては合成手法の合理化、スケールアップ合成を進めている。その結果、スケールアップ（100 m³スケール）を視野に入れた大量合成法の確立に目途を得た。

確立した手法によって大量合成（>10 m³）した固体吸収材について、ラボスケール固定層試験装置（図6）を用いて性能評価を行った。脱着工程で低温スチームを供給するSA-VSA (Steam-aided vacuum swing adsorption) プロセスを採用し、運転プロセスを最適化した結果、模擬ガス(12%CO₂)から回収純度>99%、回収率>90%でCO₂を回収可能であることが確認された。この際、60°Cの再生工程に必要なス

チーム供給エネルギーは1.1 GJ/t-CO₂という性能が確認され、RITE固体吸収材が優れたCO₂分離・回収性能を有することが実証された。また、固定層システムを用いたプロセス最適化の一環として、0.1 t/day規模の小型ベンチスケール試験装置を設計・構築し、現在はスケールアップ課題の検討に取り組んでいる。



図6 ラボスケール固定層試験装置

現在、大量合成したRITE固体吸収材を用いて、川崎重工業株式会社明石工場に設置されている移動層システムの試験装置を利用して、ベンチスケール燃焼排ガス試験を実施中であり、これまでに7.2 t-CO₂/day規模でのCO₂回収を達成している。

石炭燃焼排ガスは、約5%のO₂を含むため、一般にはアミンの酸化劣化が問題となる。本事業で開発している固体吸収材システムは、低温再生プロセス（約60°C）であるため、耐酸化劣化性の面で有利であると予想される。さらに、ラボ加速試験（約100°C、20% O₂）を行った検証では、本事業で開発した新規合成アミンは、市販アミンに比べて顕著に酸化劣化し難いということが確認された（図7）。また、石炭火力発電所で実ガス暴露試験を行った結果、本固体吸収材の性能低下がほとんど起こらない、CO₂の分離回収に適した条件を見出している。

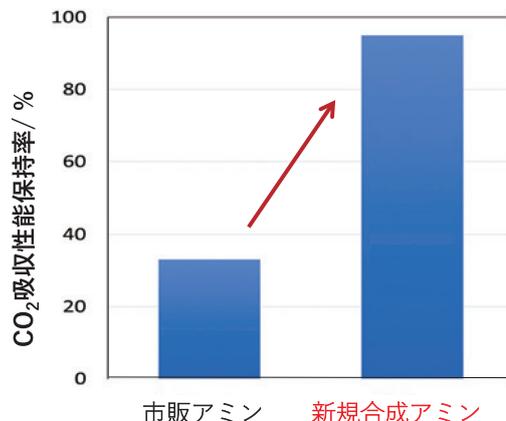


図7 固体吸収材の100°Cでの酸化劣化耐性評価
O₂ (20%) / N₂ (80%) / H₂O (RH50%)

今後、石炭火力発電所での実ガス暴露試験を経て40 t-CO₂/day規模のパイロットスケール試験装置を建造し、実ガス試験を実施する計画であり（2017年9月プレスリリース）、2020年代を目処に石炭火力発電所からのCO₂分離・回収に適した、より高性能な固体吸収材システムを確立すべく、研究開発に取り組んでいる（図8）。

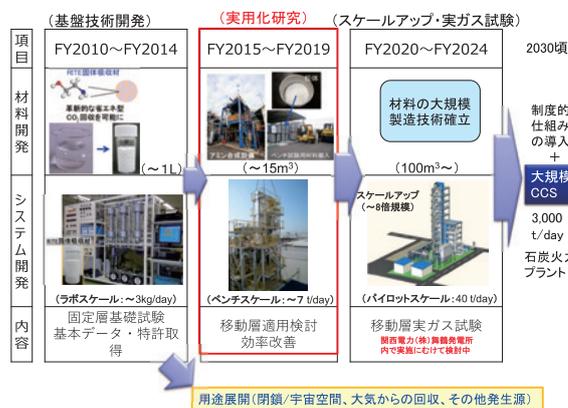


図8 研究開発ロードマップ

また、固体吸収材は室内や宇宙などの閉鎖空間でのCO₂の除去や、空気からの直接CO₂回収（Direct Air Capture : DAC）など、より低濃度のCO₂排出源への適用が検討されており、RITEもより低濃度の排出源からのCO₂回収に向けた開発を進めている。今後、CO₂分離回収エネルギーの更なる低減に向けて開発を進めていくとともに、開発中の技術の特徴が最大限に活かせる様々な排出源への適用、実用化を進めていく予定である。

4. 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・分離する分離法である。そのため、高圧ガスである燃焼前回収（Pre-combustion）への適用により、低コスト、省エネルギーでのCO₂分離回収が期待される（図9）。

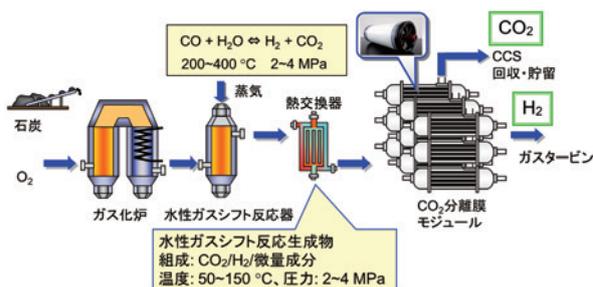


図9 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電（IGCC）からのCO₂分離回収

RITEでは、 dendrimerを用いる新規な高分子系材料が優れたCO₂とH₂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。図10に分子ゲート膜の概念を示す。

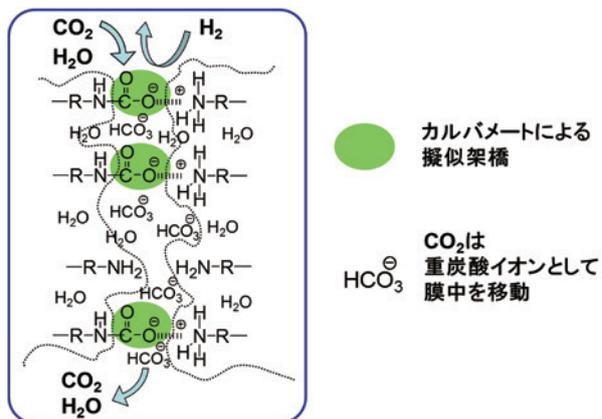


図10 分子ゲート膜の概念図

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分離膜では分離が難しかったCO₂とH₂を効率良く分離できると考えている。

基礎研究段階として、優れたCO₂透過速度とCO₂/H₂選択性を有する複合膜の開発に成功している。

この成果の実用化を推進するために、現在、RITEおよび民間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）によって、CO₂分離膜、膜エレメントの開発（図11）および膜分離システム検討を実施中である。

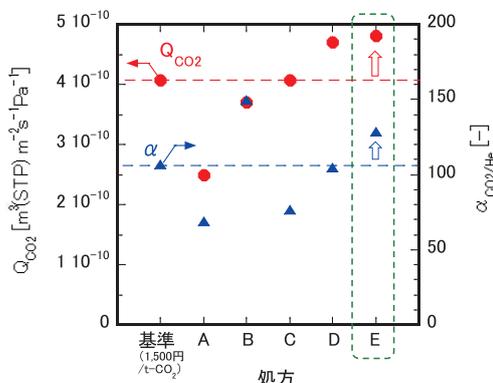


図11 CO₂分離膜、膜エレメント（大面積の膜、支持体および流路材等の部材を一体化したもの）および膜モジュール（膜エレメントと収納容器（ハウジング）を組み合わせたもの）

METI委託事業の「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（2011年～2014年度）および「二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）」（2015年度～2018年度）で開発した膜素材、膜エレメントや膜分離システムを基礎として、現在、NEDO委託事業「CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発」（2018年度～）において、実機膜モジュールシステムの開発を進めており、実用化に向け、MGM組合として連続製膜技術および連続製膜した膜を用いた膜エレメントを開発中である。また、石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験として、CO₂分離膜については2018年度より米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）にて開始し、続いて、膜エレメントについては2020年からの国内実ガス試験サイトでの実施に向け取り組んでいる。

連続製膜でのCO₂分離性能を向上させるために、まず薄膜化および膜組成等の処方の最適化を行った。その後、最適条件の連続製膜法への適用検討を行った。得られた連続製膜法を用いて作製した分離膜についての模擬ガス試験における分離性能を図12に示す。な

お、模擬ガス試験においては、安全上の理由からH₂ガスの代替ガスとしてHeを使用している。



測定条件：温度：85℃；供給側CO₂分圧：260kPa、湿度60%RH；透過側：大気圧

図12 CO₂分離性能における膜厚・膜組成の最適化 (Q_{CO₂}：CO₂パーミアンス、α_{CO₂/He}：CO₂/He選択性) (処方E：最適化膜)

得られた分離性能等を基に検討した結果、CO₂分離膜において目標とする分離性能であるCO₂分離・回収コスト1,500円/t-CO₂以下を達成することを確認した。

また、連続製膜を用いた膜エレメントの量産化に向けた検討も行っており、その中で、膜エレメントの耐久性向上のための検討を実施した。膜エレメントに用いる集ガス管やスペーサー、接着剤等の膜エレメント部材を最適化することにより、2.4MPaの高圧下においても安定な膜エレメントが作製でき、膜エレメントの基本製法の確立に目途を得た。

なお分子ゲート膜の開発は、炭素隔離リーダーシップフォーラム (Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)*の認定プロジェクト「圧力ガスからのCO₂分離」に登録されている。

*炭素隔離技術の開発と応用を促進するための国際協力を推進する場として米国が提案した組織。

5. おわりに

2015年12月、COP21で「パリ協定」が採択され、これまで以上にCO₂排出量の低減が必須となってきた。我が国では、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」及び「統合イノベーション戦略2019」が策定され、世界のカーボンニュートラルを可能とする重要な革新的技術としてCCUS/カーボンリサイクルが示された。CCUS/カーボンリ

サイクルでは、「CO₂を炭素資源として捉えて、分離回収したCO₂の化石燃料や素材への再利用 (CCU)」と「分離回収したCO₂の地中貯留 (CCS)」の組合せにより、大きなCO₂削減効果が見込まれている。

さらに、CO₂分離回収技術はCCUSの基盤となることが示され、2050年度までにCO₂分離回収コスト1,000円/t-CO₂を目指し開発を進めることや様々なCO₂排出源に対応する分離回収技術を確認していくこと等が、目標として示されている。

このような背景を受けて、様々なCO₂排出源に対し、最適な分離・回収技術を提案することにより、CCS実用化を推進していかなければならない。そのためにも、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、技術を確認していく必要がある。更には、革新的技術開発を推進し、より省エネルギー、低コストなCO₂回収技術を提案していくことも重要と考える。

CO₂貯留研究グループ



グループリーダー・
主席研究員

薛 自求

サブリーダー・主席研究員
主席研究員
副主席研究員
副主席研究員
副主席研究員
主任研究員
主任研究員

内田 堅二
野村 眞
高須 伸夫
中島 崇裕
名井 健
田中 良三
内本 圭亮
三戸彩絵子
張 毅
朴 赫
利岡 徹馬
松村 淳
小牧 博信
渡辺 雄二
樋脇 和俊
橋本 励
指宿 敦志
清水 信寿
高野 修

主任研究員 岡林 泰広
研究員 伊藤 拓馬
研究員 三善 孝之
研究員 孫 艶坤
研究員 翟 鴻宇
研究員 中村 明寛
研究員 永田 丈也
研究員 小谷 雅文
主任 淵上 聡子
主任 中西公美子
研究助手 奥道 恵美
研究助手 佐々井登喜男
研究助手 佐々木 恵
研究助手 辻 志織
研究助手 西出 朱美
研究助手 氷見 悠子
研究助手 平井 順子
研究助手 柴谷 聖司
岡田 浩将

安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術研究開発の取り組み

1. はじめに

2019年8月にオーストラリアのGorgonプロジェクトにおけるCO₂圧入が開始された。天然ガスに伴随するCO₂を回収し、Barrow島下の帯水層に貯留するもので、圧入量は年間340~400万トンを見込んでいる。また、米国ノースダコタ州では、帯水層貯留やCO₂石油増進回収（EOR）で年間100万トンを超す規模のプロジェクトが本格的に動き出したことも注目される。米国のプロジェクトでは、CO₂の圧入中ならびに圧入後の地表や地下の状況をモニタリングし、信頼性や費用対効果の高い監視システムを開発することも計画されている。そこで、CO₂貯留研究グループは光ファイバーを用いた地中のひずみ、圧力、温度を測定する技術を開発して貢献する。CO₂地中貯留技術の実用化に向けて、安全にCO₂を貯留するための技術開発がより一層重要になってきている。

CO₂貯留研究グループは、二酸化炭素地中貯留技術研究組合の一員として、NEDO事業「安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の開発研究」に取り組んでいる。本事業においては、先述の長尺光ファイバーを用いた地中計測の実証試験のほか、CO₂圧入における

安全管理システムの開発、海洋におけるCO₂漏出検出のための研究、仮にCO₂が海洋に漏出した場合における環境影響の評価にも取り組んでいる。

CO₂圧入安全管理システムは、CO₂圧入サイト周辺の自然地震や微小振動を常時観測し、他の観測結果との総合判断により準リアルタイムで安全管理をするものである。また観測結果を適切に公開することで社会受容の獲得につなげることも意図している。

海洋におけるCO₂漏出検出の研究に関しては、大阪湾で変動特性の異なる2地点で年間データを取得した。今後はデータを解析し、炭酸系のモニタリング方法を検討する。このような多面的な技術開発と適切な情報公開のしくみづくりにより、安全安心なCO₂貯留に貢献していきたい。

CO₂を効率的に圧入するという観点では、これまで、CO₂をマイクロバブルにして圧入する技術開発に取り組んでいる。NEDO事業では、現地実証試験も行って有効性を確認している。

また、当研究グループは、CCSに関係する国際機関や国際的な枠組みとの連携を通してCCSの普及に貢献している。

2. 主な研究課題と成果

2.1. 光ファイバーを用いた地層健全性評価モニタリングシステムの開発

アルジェリアのIn Salahプロジェクトでは、CO₂の圧入による圧入井まわりの地表隆起や、サイト周辺での微小振動（マグニチュード1未満）が多数観測された。微小振動の発生はCO₂プルームの広がりや地層圧上昇との関連が指摘されている。そのためCO₂地中貯留では、圧入されたCO₂の広がりの監視に加えて、地層圧の上昇にともなう地層変形や圧力伝播範囲の監視が必要となる。これらの監視を効果的に実施する技術の一つとして、分布型光ファイバーセンシング技術が挙げられる。

分布型光ファイバーセンシング技術は、光ファイバー全体が受信部となるために、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の利用が進んでいる。また複数のファイバーを一度に設置することで、温度・圧力・ひずみ・振動をすべて捉えるマルチセンサーとして利用でき、多数のセンサーを設置する場合に比べて大幅なコスト低減を図ることができる。

当研究グループでは、この分布型光ファイバーセンシング技術を用いたモニタリングシステムの実用化に向けて現場試験を実施しており、以下では2つの事例について紹介する。

最初の事例は、坑井掘削中の地層の微小なひずみの計測である。図1は、掘削井からそれぞれ3m（左図）と10m（右図）離れた既存坑井に設置された光ファイバーで計測されたひずみ変化である。これらの記録から、坑井掘削によって地層には多孔質弾性変形に伴うひずみが生じること、またそのひずみが周囲へ伝播すること、伝播距離や方位によってひずみの減衰傾向が異なることを光ファイバーセンシング技術によって明確に捉えられることが示された。深度方向に現れるひずみの局所的な違いは、地層を構成する岩石の剛性や浸透性に起因すると考えられる。

二番目の事例は、坑井に設置された光ファイバーによる自然地震観測である。圧入井や観測井に設置される振動計測用の光ファイバーは、CO₂プルームの広がりを把握するためのVSP（Vertical Seismic Profile）技術の受振器としての利用に加え、VSPを実施しない

期間における坑井周辺の微小振動観測にも用いることができる。図2は、長期間の連続観測によって検知した多数の地震イベントのうち、観測サイト近傍で発生した地震記録（震央距離約12km、震源深度1.7km、マグニチュード1.3）である。上段の加速度計記録では、2秒付近にP波が、6秒付近にS波が記録されている。一方、下段のファイバー記録では、地下深く（記録の下端）から到来する地震波が地表面（記録の上端）で反射し地下深部へと伝播し、逆V字形を形成している。地震波の伝播速度によって、逆V字形の角度が異なることから、角度が小さいP波と角度が大きいS波の識別が容易に行えることが特徴である。加えて、地表反射に伴うPS変換波や、地下深部で発生したSP変換波などが記録されており、検知した振動イベントの特徴づけや、次項で紹介する圧入安全管理システムへの入力データとしての利用が期待される。

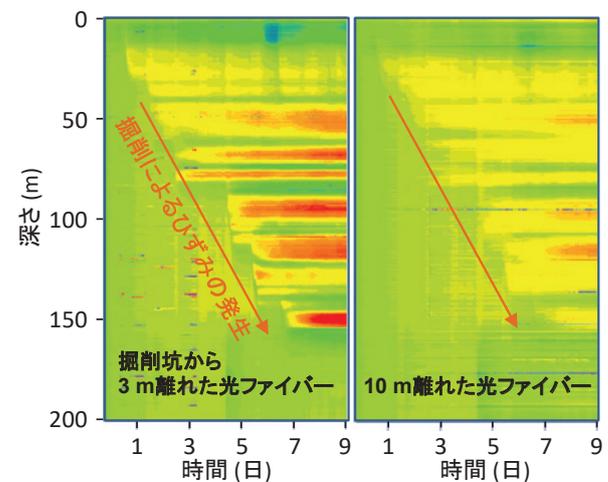


図1 坑井掘削中の地層のひずみ
(ひずみが生じると黄緑から暖色へ変化)

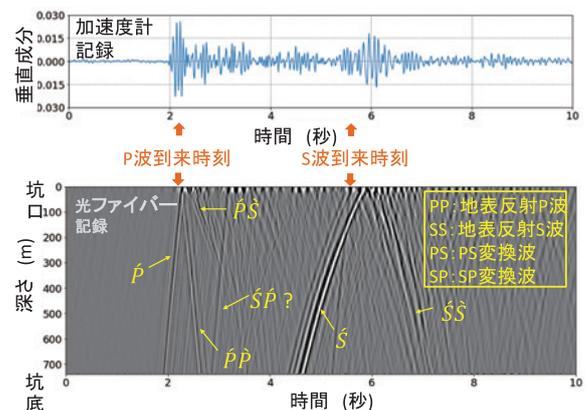


図2 自然地震記録

2.2. 圧入安全管理システム (ATLS) の開発

様々な流体圧入プロジェクトにおいて、地層圧力の増加に起因する地震の誘発が懸念されている。そのため、鉱廃水圧入プロジェクトや高温岩体地熱発電 (EGS) では、サイト周辺の振動イベント発生状況を基に、操業を管理するトラフィックライトシステム (Traffic Light System) が利用されている。これまで CO₂ 地中貯留サイトでは、マグニチュード1.1以下の微小振動しか報告されていない。しかしながら一般市民の懸念が強いことから CO₂ 地中貯留においても地震活動に対するリスクマネジメントが必要である。

当研究グループでは、全ての観測システムのデータを利用し、かつ我が国の実状でも適用可能な CO₂ 貯留のための圧入安全管理システム (ATLS: Advanced TLS) の開発を行っている (図3)。我が国に適用可能な ATLS としては、

- (1) 自然地震が多く人為的ノイズも大きいデータから微小振動イベントを抽出できること、
- (2) 微小振動イベント位置の決定が可能なこと、
- (3) 自動でリアルタイムのデータ処理が可能なこと、が必要となる。

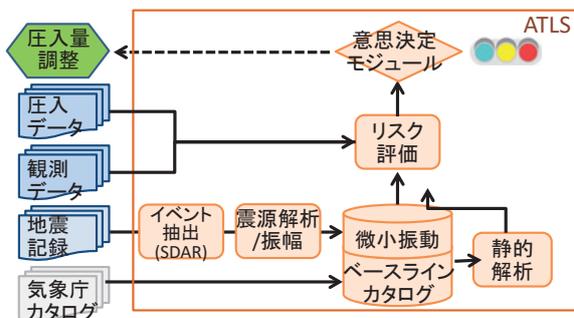
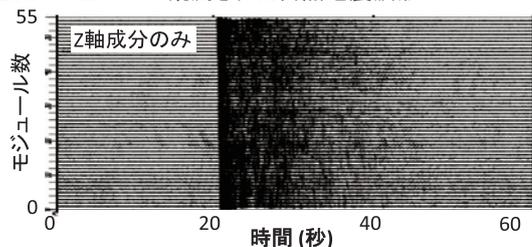


図3 ATLSの概要図

ATLSの機能として、自然地震との区別を行うために、気象庁の一元化震源情報を自動的に収集し、自然地震と観測振動を比較して判別するようにした。また、ノイズの大きなデータから振動イベントを抽出する方法として、SDAR (Sequentially Discounting AR model learning: 忘却型学習アルゴリズム) を利用した手法を開発した。微小振動イベント位置決定機能については、我が国の震源位置決定に利用されている hypomh を適用することとした。それらの機能を ATLS のコードに実装し、苫小牧実証試験サイトに設

置した Ocean Bottom Cable (OBC) による地震観測システムのデータ (図4) を用いて、システムの動作検証を行った。ATLS は1年以上の長期間の連続観測データに対しても、自動的に信号処理および微小振動イベントの位置決定が行えることを確認した。

全55モジュールで観測された自然地震波形



モジュールNo.37
3成分の拡大図

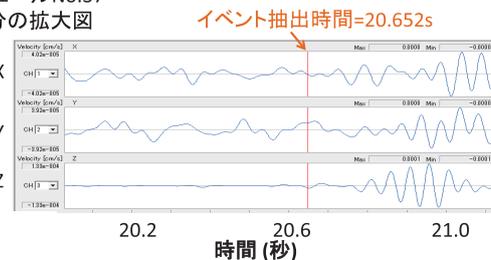


図4 OBCによる微小振動観測例

2.3. 海域におけるCO₂漏出監視

海底下CO₂貯留を実施する場合には、CO₂が海水中に漏出していないことを確認することが法令により求められている。また、社会的にも特に周辺住民の安全安心を担保する上でCO₂漏出監視が重要となる。このため、当研究グループでは海洋中に漏出したCO₂を検出するための技術開発も行っている。

CO₂の海水中への漏出形態は、気泡と海水に溶解した溶存態の2種類が考えられる。気泡については、漏出したCO₂気泡を音響により検出する手法を開発した。溶存態については、溶存態CO₂の指標の一つである海水中のCO₂分圧 (pCO₂) を用いた判定手法の研究開発を行っている。これまで、長期間の四季調査データが整備されている大阪湾を対象として、pCO₂を推定し、異常値の検出手法を研究してきた。その結果、四季の採水調査で適切なバックグラウンドデータを得るためには少なくとも4~6年の調査が必要であることがわかってきた。このように数年の調査が必要となる理由は、海水の水質が気象や海象などの要因により季節変動や経年変動を示すためである。

そこで、季節変動や季節内の短期変動を評価するために、大阪湾を対象としてpCO₂と水質の連続観測を2018年7月から1年以上にわたり実施した。大阪湾海域は東部と西部で海洋構造が異なる。水深が浅い東部は河川の流入により成層しやすい。一方で、水深が深い西部は流れが強いために、混合型を示す。東部の代表点として神戸沖（A点）、西部の代表点として関空沖（B点）を調査点とした（図5）。



図5 連続観測の実施点

観測したpCO₂と酸素飽和度（DO%）の変化を図6に示す。いずれの海域でも、pCO₂は夏季に高く、冬季に最も低い。神戸沖は、冬季に200~300 μatmまで低下するが、夏季には1000 μatm以上になる。また、夏季の変動が非常に大きく、数百 μatmの変動幅をもつ。一方、関空沖は神戸沖に比べて季節変動が小さい。冬季は約300 μatmと神戸沖と同様だが、夏季は約600 μatmまでしか上昇しない。DO%はpCO₂とは逆に、冬季に高く夏季に低くなるが、変動幅はpCO₂と同様に夏季に大きく冬季に小さい。また、神戸沖と関空沖のDO%を比較すると、どちらも冬季はほぼ飽和状態にあるが、夏季は関空沖が80%程度なのに対し、神戸沖は冬季に比べて大きく低下し、貧酸素状態になることがある。

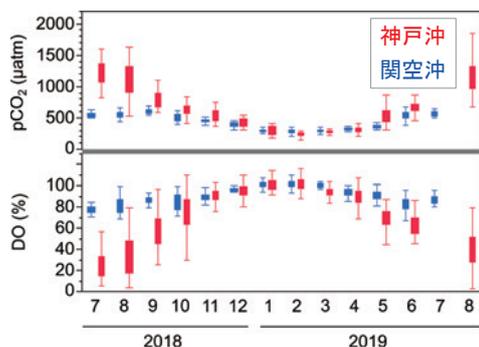


図6 pCO₂とDO%の季節変化
(線の上下は最大最小値を、箱は四分位範囲を示す)

DO%に対してpCO₂をプロットすると、両者には逆相関の関係がみられる（図7）。これは主に生物活動の作用によるものである。植物プランクトンによる光合成でCO₂の吸収とO₂の放出が生じ、好気的な呼吸ではO₂の消費とCO₂の放出が生じる。つまり、pCO₂が低くなるとDO%は高くなり、逆にpCO₂が高くなるとDO%は低くなる。もし、圧入したCO₂が漏出すると、DO%は変化せずCO₂のみが増加するため、自然変動で示された逆相関関係からpCO₂が大きく超えることになり、CO₂漏出を判定することができる。このため、pCO₂-DO%の自然変動の状態を知ることが重要となる。

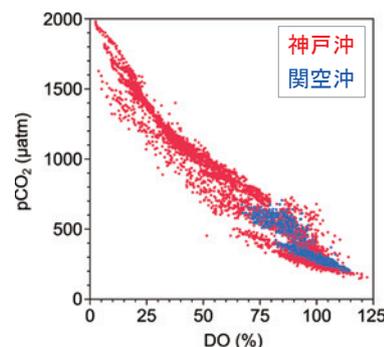


図7 DO%とpCO₂の散布図

自然状態のpCO₂とDO%の関係は、水温や塩分の変化、荒天による物理的な攪乱、大気と海水間のCO₂やO₂のガス交換や海水中のイオン濃度の変化などにより影響を受ける。その結果、pCO₂とDO%の逆相関の関係には図7に見られるような変動幅が生じることになる。今後、得られたデータについて変動をもたらす要因の解析を進めることにより、CO₂漏出の適切な判断基準を得るための手法開発を、ひいては海底下CO₂貯留における適正な海洋モニタリングの確立を目指している。

2.4. マイクロバブルCO₂の圧入試験

マイクロバブルCO₂圧入とは、特殊フィルターにCO₂を通過させ、マイクロバブル（微細気泡）化し、岩石の孔隙中に浸透させる技術である。これまで東京ガス(株)と共同でマイクロバブルによるCO₂圧入効率の向上に取り組んできており、「貯留物質の貯留装置および貯留方法」として特許を取得している（特許第5399436号）。本技術の特徴より、

- (1) CO₂地中貯留における孔隙の利用効率の最大化
 - (2) 従来、貯留層として対象としていなかった浸透性の低い地層の活用
 - (3) 石油回収率の向上
- が期待できる。

室内試験では、円盤型の多孔質フィルターによりマイクロバブルCO₂を発生させ、円柱型の岩石試料に注入することによってその性能を評価していた。一方、現場でマイクロバブルCO₂を発生させるには、地表から地下にCO₂を送り込む必要があるため、圧入井の坑内に吊り下げられ、10～数10mのある圧入区間にマイクロバブルを圧入する工夫が必要であった。そこで、当研究グループでは、マイクロバブルCO₂坑内発生装置を開発した(図8)。図では一本のマイクロバブル発生ツールを示している。およそ1.5m長のこのツールはジョイントにより連結でき、圧入区間に対応した長さに調節して坑内に設置できる。



図8 マイクロバブル発生ツール

開発したツールについて、貯留率向上効果の検証のための現場実証試験を石油資源開発株式会社と協力して、秋田県男鹿市申川鉱場で行った(図9)。試験に選んだ地層は、地下約900mにある油を含む砂層である。地下にある原油はほとんど自噴しない状態で砂層に留まっている。ここに、CO₂と水を9:1の割合で圧入し、その後、地下流体を汲み上げるHuff and Puffを実施した。

マイクロバブルツールを設置せず、従来通りのCO₂圧入を実施したところ、およそ0.6トン/日で10日間、合計5.8トンのCO₂を圧入できた。圧入終了後、2日間CO₂を地層に浸透させ、その後、5日間連続して地下流体の回収を行った。CO₂は2.1トン回収されたものの、油は回収されなかった。回収されずに地下に留まっているCO₂の貯留率は62%であった。一方、同様の工程でマイクロバブルツールを設置した試験で

は、CO₂を2トン/日で10日間安定して圧入することができ、20トンのCO₂を圧入できた。CO₂の回収量は3.9トンであり、貯留率は80%であった。更に、原油の回収量は試験前の10倍に向上した。このように、マイクロバブルCO₂圧入技術は、従来法に比べ、圧入効率の向上、CO₂の地下貯留率の向上、原油の回収量の向上が見込まれる。

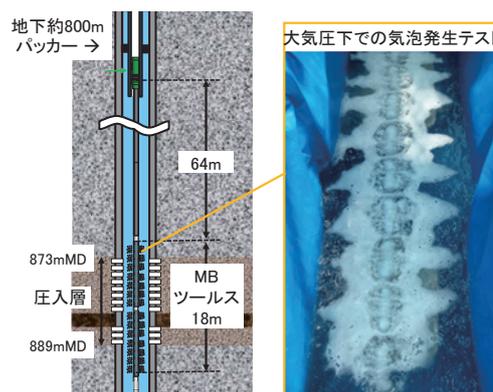


図9 マイクロバブルCO₂坑内発生装置の現場設置イメージと大気圧下での気泡発生テスト

本技術は、国内での研究開発に留まらず、海外からも注目されている。マイクロバブル特許技術の使用許諾契約を2018年に締結した中国君倫石油へ、本2019年には坑内マイクロバブルCO₂発生ツールを販売した。低浸透性油田へのCO₂-石油増進回収(EOR)適用に関して、事業展開の第一歩を踏み出だした。また、米国においても本技術の検証が計画され、2019年、ノースダコタ大学とCO₂地中貯留やEORに関する共同研究の覚書を締結した。今後、様々な地層での実証試験を積み重ね、マイクロバブルCO₂圧入技術の適用範囲や有用性を示すデータを蓄積し、経済性等を評価する予定である。

2.5. 国際連携および海外動向調査

当研究グループでは、CCSに関係する国際機関や国際的な枠組みとの連携を通してCCSの普及に貢献するとともに、CCSの海外動向を調査している。2019年の国際機関と国際的な枠組みの動向を以下にまとめる。

(1) CCSに係る海外動向

CCSの普及にはCO₂の輸送および貯留用の共用インフラを核とし、将来の拡張が容易な“クラスター”に

よる推進が有効であるとして、これまで諸外国、特に、欧州で幅広く議論されてきた。英国では、気候変動委員会（Climate Change Committee）が発表した報告書「Net Zero-The UK's contribution to stopping global warming」で、2050年までに同国の温室効果ガス排出量を実質ゼロすることの重要性、CCSの必要性を強調し、2026年頃までに少なくとも1つのクラスターの運転を開始し、その後早急に4つ以上のクラスターの追加運転が必要と提言している。また、英国会は6月に、2050年までにCO₂ネット排出量をゼロにすることを法定の政策目標とするため、2008年気候変動法改正法案を可決している。

ノルウェーでも現在クラスタープロジェクトが検討されている。フルスケール産業CCSプロジェクトは、Heidelberg Norcem社のセメント工場とFortum Oslo Varme社の廃棄物焼却施設という2つ排出源からのCO₂回収、船舶輸送と共用インフラによるCO₂海底貯留（総回収量80万トン/年）を目指している。2018年から基本設計（FEED）が実施されており、プロジェクトの最終投資判断は2020年度に予定されている。また、10月に開催されたロンドン条約・議定書の締約国会議では、海域貯留を目的とするCO₂の国境を越えた輸送・輸出を可能にする決議が採択された。これにより、今後多国間での海域CO₂貯留プロジェクトの実施が可能となる。将来的に、地域的なハブやクラスターによる複数国との輸送ネットワークの共有、コストの低減、CCSの導入・普及、新たなビジネスモデルの機会へと繋がることを期待できる。

また、中国では5月に中央政府（科学技術部）が「CCUSロードマップ2019」を公表した。同ロードマップは、2050年までに国内のCCUSの大規模普及とクラスターの実現（8億トン/年以上）を目指し、商用化のための制度設計、インフラ整備、技術革新など積極的に動き始めている。

そのほか、豪州では8月に西オーストラリア州北西部に位置するGorgonプロジェクトの回収プラントが稼働となった。同プロジェクトは、天然ガス処理（LNGプラントは2016年に稼働）に伴うCO₂をBarrow島下の帯水層に貯留することを目的としている。圧入量は340~400万トン/年と想定されている。

Chevron社を中心とする民間主導のプロジェクトであり、大阪ガス、東京ガス、JERAも出資している。CO₂回収を含むガス処理プラントの設計・建設には日揮が参画している。

(2) CCSに係る国際枠組みの動向

CCSの国際コミュニティは、大規模実証のフェーズから普及のフェーズに移行するために様々な取り組みを行っている。2019年の最大の成果として、前述のロンドン議定書におけるCO₂輸出の暫定的な解禁が挙げられる。

CCUSが、当機構等による提言を反映した形で、2019年6月に軽井沢で開催されたG20エネルギー・環境大臣会合で取り上げられたことも特筆に値する。閣僚声明やアクションプランにおいて、CCUSの可能性や投資等の必要性への認識が示され、既存枠組みでの国際協力の強化や研究開発および普及の奨励等が謳われた（詳細はトピックスをご覧ください）。

クリーンエネルギー大臣会合の枠組みのもとで2018年に設置されたCCUSイニシアティブは、引き続き、金融セクターとの連携とウェビナー（webinar）等を通じたCCUSの認知度向上に取り組んでいる。2019年は、気候変動対策を推進するために10数社の石油大手が立ち上げたOGCII（Oil and Gas Climate Initiative）とのCCUSの普及に向けた協力に合意し、今後の活動の活性化が期待される。

CCSに係る国際枠組みである炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）の技術グループでは、これまでの取り組みの成果の有効活用を念頭に、活動のあり方が見直されつつある。2017年に策定したCSLF技術ロードマップについては、2025年のCCSによるCO₂削減目標（4億トン/年、累計18億トン）やその実現に向けた技術関連の4つの提言：① CCSインフラの構築、② 大規模実証の知見の共有、③ コスト低減、④ ビジネスモデルの構築、に⑤ CO₂利用、を加えた5分野での進展を評価していくことになった。本年の評価では、2025年の目標達成は不可能ではあるが、官民の共同出資によりCO₂インフラが大規模に整備されれば、後年に遅延を取り戻すことができるとされた。

無機膜研究センター



センター長・首席研究員
中尾 真一

副センター長・首席研究員
首席研究員
主任研究員
主任研究員
主任研究員
研究員
研究員
研究助手
研究助手
研究助手
研究助手

山口祐一郎
喜多 英敏
瀬下 雅博
安原健一郎
龍治 真
李 惠蓮
中野 元
浦井 宏美
大野 信成
菰野 恵子
佐々 和明

研究助手 新堂千代子
研究助手 奈良 裕子

無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の研究開発、 およびその実用化・産業化に向けた取り組み

1. はじめに

シリカ膜やゼオライト膜など無機膜は、その高い分離性能に加え、耐熱性や耐環境性に優れるなどの特長を有しており、多様な用途への適用が可能と期待されている。また、蒸留法や吸着法など従来の分離・精製法と比較して、大幅な省エネルギー化が図れるとともに、CO₂分離・回収用途や水素社会構築に不可欠な水素分離・精製用途にも開発が進められており、地球環境の保全に資する環境・エネルギー技術として大きな注目を集めている。しかしながら、その実用化は、これまでアルコールの脱水など一部用途に留まっており、今後、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の早期の実用化・産業化に向けた取り組みが求められている。

2016年4月に設置された無機膜研究センターは、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の早期の実用化、産業化を目的に、研究開発と産業連携を両輪として活動を進めている。組織も研究部門と産業連携部門の2つから構成されており、研究部門では、それぞれに優れた特長を有するシリカ膜、ゼオライト膜、パラジウム膜をコア技術として、水素分離・精製・製造や分離回収されたCO₂の有効利用等の研究分野に

取り組んでいる。また、産業連携部門では、無機分離膜・支持体メーカーとそのユーザー企業17社からなる「産業化戦略協議会」において、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有および共同研究の企画・立案等を図るべく、会員企業が定期的集まり、研究会などの活動を活発に推進している。

2019年は、水素の効率的な輸送・貯蔵技術としてのメチルシクロヘキサン（MCH）脱水素用メンブレンリアクター開発において、実用化量産時のモジュール構造を提案するとともに、メンブレンリアクターの実運転での耐久性などについて検討を加え、実用化に必要な技術に目途を付けた。また、新たにNEDOからメタンの直接分解による水素を製造する事業を受託し、検討を開始した。

CO₂分離・回収、有効利用（CCU：Carbon Capture and Utilization）に関する取り組みについても水に対して高選択性を有するゼオライト膜を開発し、膜反応器に応用することでメタノールへの転化率が、触媒反応器での転化率に比べて、約3倍向上することを確認した。

さらに、産業化戦略協議会では、国費事業等立ち上げに向けた研究会などの活動が本格化している。本稿

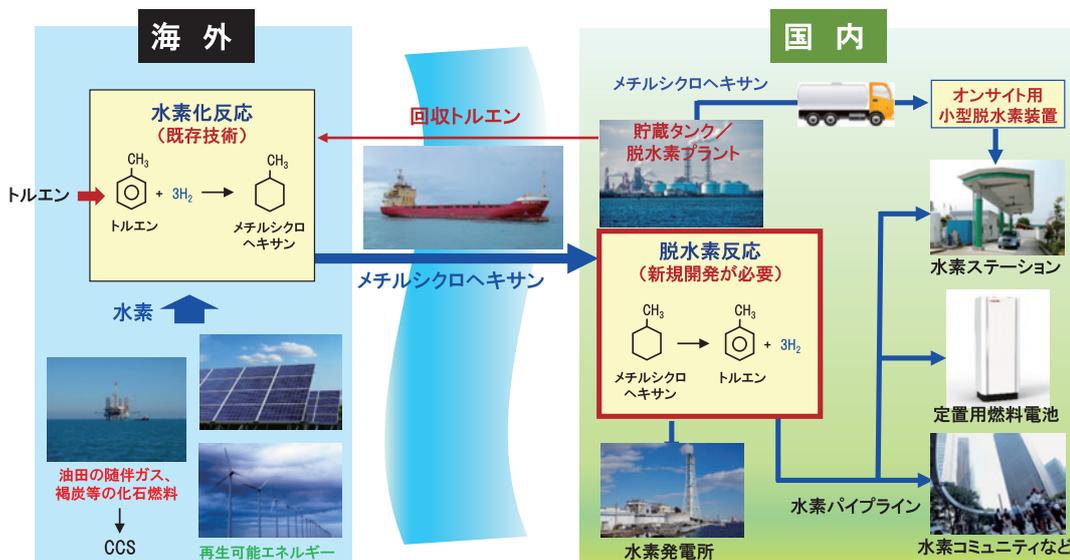


図1 エネルギーキャリアコンセプト

では、MCH脱水素用メンブレンリアクターの開発、メタンからの水素製造、およびCCU技術開発など研究部門の主な成果と今後の展望、そして産業化戦略協議会の活動状況について紹介する。

2. 水素社会を支えるシリカ膜メンブレンリアクター

水素社会を構築するためには、水素を効率的に輸送・貯蔵する技術の開発が不可欠である。その有望な方法として提案されているのが、「エネルギーキャリア」というコンセプトである。水素をMCHやアンモニアなど効率的に輸送・貯蔵できる形態に変換し、それを輸送・貯蔵した後に、水素を必要とする場所・時間で取り出して使用する (図1)。

水素をMCHやアンモニアに変換する技術はすでに量産技術として確立されているが、水素を取り出す技術がこれまで確立されていなかった。最近になって優れた性能を有する脱水素触媒は開発されたものの、残念ながら燃料電池に供する高純度水素を効率的に製造する技術はまだ確立されていない。

当センターでは、商業施設やオフィスビルなど中小規模の需要家を対象にMCHから高純度水素を効率的・安定的に取り出すコンパクトな水素製造装置の開発・実用化を目的として、対向拡散CVD法で作製したシリカ膜を用いたメンブレンリアクター (膜反応器) の

研究開発を進めている。

メンブレンリアクターとは、平衡反応中に、反応生成物を選択的に透過させることができる膜を介在させると、反応場の平衡が生成物側にシフトし、転化率が向上するという原理を利用したものである。反応中に分離膜を介在させるため、高温、高圧に対しての耐性が求められ、高性能な無機膜が必要となる。

このようなメンブレンリアクターによる、MCHからの脱水素反応を検討するため、千代田化工建設株式会社と共同でNEDO事業「水素利用等先導研究開発事業/エネルギーキャリアシステム調査・研究/水素分離膜を用いた脱水素」を受託した。具体的には、水素分離膜であるシリカ膜の一層の性能向上および長尺化を図るとともに、MCHからの脱水素・精製を行うメンブレンリアクターの開発を行ってきた。

開発成果として得られた高性能化と長尺化したシリカ膜を用いたメンブレンリアクター検討において、MCHからの脱水素反応をモニタし、反応効率向上の確認を行った。基本的な原理を図2に示す。水素分離膜と触媒を仕込んだ反応管を300℃まで昇温しMCHを供給すると、平衡反応によりトルエンと水素に分離するが、生成した水素のみが水素分離膜を通過して、反応場から分離される。反応場から生成物が取り除かれることで反応は生成物側にシフトし、水素製造の転化

率が向上する。それと同時に、分離膜を通過した水素は、トルエンを含まない高純度水素となるため、水素精製と反応効率の向上が同時に進行する。

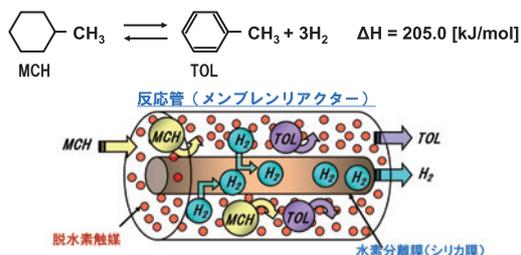


図2 単管メンブレンリアクターの概念

この現象を実スケールに近い状態で検証するため、500mLのシリカ膜3本から構成される試験装置を設計・製作し、その評価の結果、500mLのシリカ膜を用いた場合でも顕著な平衡シフト効果が確認され、平衡転化率の42.1%を大幅に上回る95%以上の転化率が得られることが検証された (図3)。

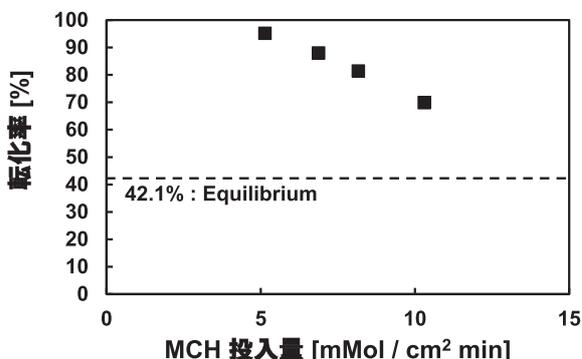


図3 メンブレンリアクターモジュール試験装置の運転結果

しかし、メンブレンリアクターの運転研究から、シーリングの問題も明らかとなった。メンブレンリアクターでは、金属製の反応管に、セラミクス製の無機膜を気密接合するためにOリング等のゴムによるシールをしていたが、反応場は、高温・高圧で、MCHやトルエンの有機溶剤に晒されるため、耐性に課題があることが分かった。また、従来のメンブレンリアクターは膜一本毎に独立した反応器を持つ複雑な構造であり、製造やメンテナンスの作業工数が多いといった課題があったため、反応管への取付け、取外しが容易な多管を一体化する構造を検討し、図4のようなモ

ジュールを試作した。

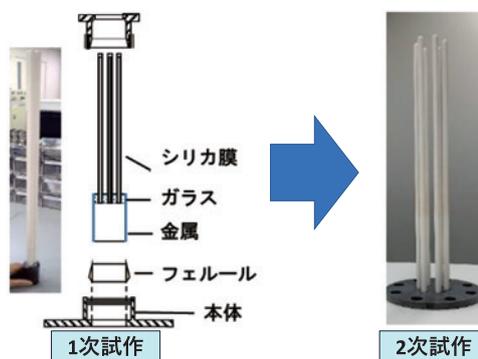


図4 金属-セラミクスの気密接合によるモジュール

1次試作モジュールは、膨張係数が異なる金属-セラミクス間の接合にガラスを用い、3本の膜を束ねたモジュールであり、300℃、500kPa-Gでの気密が確認できた。一方、更に本数を増やすとなると金属管が太くなりフェルールによる締結が困難になる課題が判明した。そこで2次試作モジュールでは平板金属と膜6本を接合し、形状をフランジ構造とすることで気密性を保ち、容易に取外しできる構造を実現した。

上記の2次試作モジュールを図5のような試験装置に組み込み、MCHの吸熱反応に対応する伝熱構造の改良効果を評価した。結果を図6に示す。平衡転化率を上回る転化率を得たことに加え、フィンを反応管内部に設置することで外部からの熱供給が効率的に伝わり、転化率が更に向上する結果を得た。

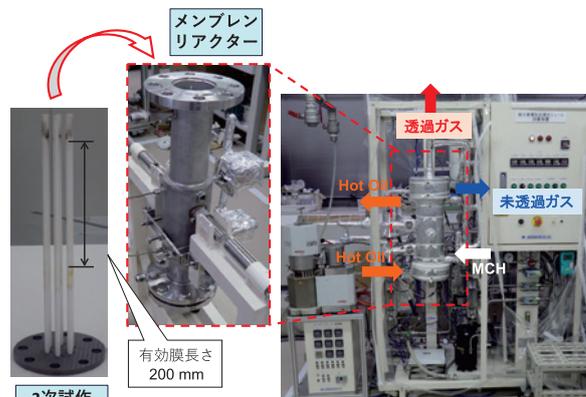


図5 メンブレンリアクターモジュール試験装置外観

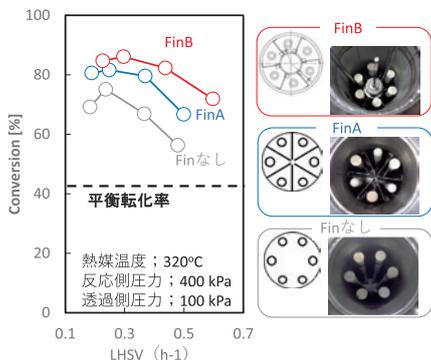


図6 モジュール評価結果

耐久性に関しては、単管膜リアクターを用いた1500時間の耐久性試験を実施した。試験結果を図7に示す。初期にトルエンの膜面付着による若干の水素透過率の低下があるものの、安定した運転が可能であり、外挿より1.5万時間後の転化率低下は2割程度と予測され、実用的な耐久性があることを見通した。

以上の検討を通して、RITEでは、高性能シリカ膜を製膜し、それを用いた膜リアクターで、MCHからコンパクトな装置で高効率に水素を製造できることを、ベンチスケールで実証した。

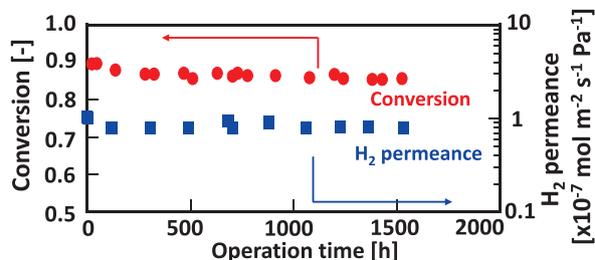


図7 単管膜リアクターの耐久性試験

3. メタン分解によるCO₂フリー水素製造技術の開発

水素社会の構築のためには、水素を低コストで且つ大量に製造する方法が求められる。シェールガス革命以降、長期に安定して供給が可能であるメタンに着目し、これを熱分解することで水素と固体のカーボン製造し、副生カーボンを販売することで水素の製造コストを低減する技術検討に着手した。膜リアクターの適用により転化率を向上させ、効率的且つ省エネルギーな水素製造を目指す。また、水素製造に際して二酸化炭素を排出しないメリットがあり、脱炭素社会に資する技術開発である。

2019年度にNEDOの委託事業として採択され、①メタン分解に必要な反応温度500℃以上の耐熱性を有する水素選択透過膜の開発、②膜リアクターにおいてメタンを効率的に分解する触媒の開発、③膜リアクターの開発とその有効性の実証を開発項目としている(図8)。①についてはシリカ膜とパラジウム膜を水素分離膜の候補として、製膜実験や文献調査を元に製膜の指針を絞り込んでいる。②については、文献調査を元に触媒種を絞り、600℃で平衡転化率に近い触媒種を検討してきた。③については、評価装置の構築を完了し、評価を開始したところである。今後は、膜リアクター適用の有効性を実証していく予定である。

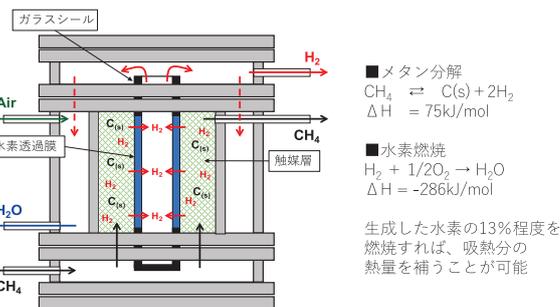


図8 メタン分解による水素製造プロセスへの膜リアクター適用

4. CCU技術の開発

RITEはJFEスチール株式会社、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、国際石油開発帝石株式会社、日立造船株式会社と共同で、NEDO委託事業「次世代火力発電等技術開発/次世代火力発電基盤技術開発/CO₂有効利用技術開発」を受託し、2019年度末まで研究開発を行なっている。

供給安定性および経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、長期エネルギー需給見通しにおいて、2030年度の国内の総発電電力量の26%を担う重要な電源であると位置づけられている。しかし、これら石炭火力発電はCO₂排出量が比較的多く、将来的にCCUが検討されている。現時点ではCO₂の大規模処理は困難であるものの、有価物の製造等により利益や価値を創出する可能性も考えられる。今後は、再生可能エネルギーの活用などにより、石炭火力発電と

相互にその特長を生かし、我が国の電力の安定供給、CO₂排出量の削減を目指していくことが必要と考えられている。

そこで本事業では、2030年度以降を見据え、我が国の優れたクリーンコールテクノロジー（CCT：Clean Coal Technology）等に更なる産業競争力を賦与することが可能なCCU技術を確立するために、CO₂有効利用品製造プロセスやシステムにおけるCCU技術の総合評価を実施している。

RITEでは高い水熱安定性を有する新規脱水用ゼオライト膜の開発に成功するとともに、その新規ゼオライト膜を適用したメタノール合成用膜反応器の開発において膜反応器の有用性を実験的に示し、実験値と良好な一致を示す膜反応器シミュレータを構築した（図9）。さらに、開発した脱水用ゼオライト膜は水／メタノール混合系のみならず、様々な脱水用途（たとえば水／エタノール、水／IPA）においても高い水の透過選択性を有しており、それら分離系への適用可能性を有している。その他、カーボン膜などの分離膜開発については山口大学の喜多特任教授、プロセス開発については京都大学の長谷部教授にご協力いただき、研究を推進している。

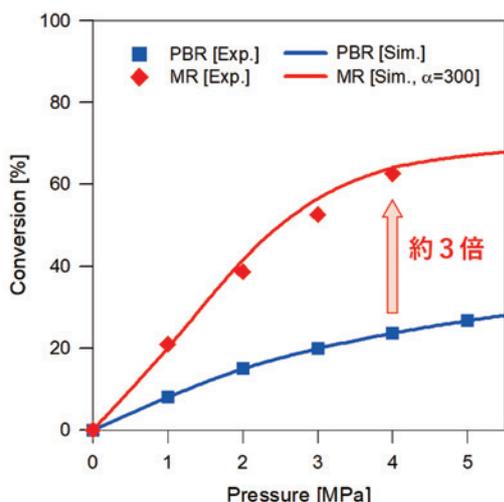


図9 メタノール合成用膜反応器の性能（実験およびシミュレーション結果）

5. 実用化・産業化に向けた取り組み

当センターの産業連携部門は、2016年4月15日に、分離膜・支持体メーカー、ユーザー企業とともに、「産

業化戦略協議会」を設立した。

この協議会は、分離膜・支持体メーカーとユーザー企業計17社（2020年1月時点）が参画し、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有および国費事業等共同研究の企画・立案等を推進して、革新的環境・エネルギー技術に資する無機膜産業を確立することを目的としている。その実現のために、

- ①無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化に向けたニーズ・シーズマッチングやロードマップ策定を行う「研究会」の設置及び運営
- ②国、NEDO等からの資金による事業の共同実施の企画
- ③センター研究部門への研究員派遣の受け入れ、研修会の実施
- ④センターアドバイザリーボード及び研究部門からの技術指導
- ⑤協議会員向け無料セミナーの開催
- ⑥協議会員向けニーズ・シーズ情報の発信などの事業を推進している。

研究会については、2016年11月に設定した2つの研究会活動を更に進めている。

- ①CO₂分離研究会
- ②共通基盤（信頼性評価等）研究会

2019年は、各研究会およびその下部組織として具体的作業を進める作業部会（各研究会で2019年末までに計3～4回開催）を通じて調査検討を更に深め、実用化をにらんだ国費事業提案準備を進めている。共通基盤研究会では具体的なゼオライト膜の加速劣化予備試験を開始した。長期信頼性確立のための基礎データを取得して、2021年度の国費事業等の立ち上げを目指している。CO₂分離研究会では、「高濃度CO₂を含む天然ガス田への無機膜適用性検討」をテーマとした検討を実施中である。

また、協議会会員向けセミナーを定期的に行っている（2019年度は年間3回予定、図10）している。アドバイザリーボード、会員企業、膜関連企業などから最新の研究開発動向やニーズ、シーズの紹介、膜の実用化開発事例の紹介など計9件の講演を予定しており、

活発な質疑・応答、討論が行われている。また、昭和電工株式会社川崎事業所での「使用済プラスチックからの水素製造プラント見学」も同時に実施して、参加者から好評であった。無機膜の実用化・産業化に関連した有用な知識を得られる上に、会員企業間や第一線の研究者との交流の場としても有意義な場であると高い評価を得ている。



図10 第11回セミナーでの講演

また昨年に引き続き、11月に2日間にわたって岐阜大学工学部上宮研究室で第3回研修会を開催し、Pd膜及び膜反応器の概要説明、Pd膜分離技術講義、Pd製膜法の実験、作成した膜の水素透過分離性能評価の方法等の指導を行った（図11）。



図11 岐阜大学での若手研究者向け研修会

会員企業4社から若手研究者4名の参加があったが、参加者からは、最先端のPd膜製膜および評価実験手法を学習することが出来、貴重な経験が出来たと好評であった。

さらに、協議会会員向けセミナーの講演内容に関連

する特許・文献調査を行い、その要約に無機膜研究センターとしてのコメントを付したニーズ・シーズ情報も、定期的に会員に提供している。加えて、無機膜関連の国際会議で注目された講演についてもその要旨およびRITEのコメントを提供するなど会員企業の無機膜の実用化・産業化に向けた活動をサポートしている。

6. おわりに

2019年は、無機膜研究センターが設立以来取り組んできた水素分離膜を用いたMCHからの脱水素に関する実用化技術に目途を付けた。また、新たにNEDO事業であるメタンからの水素製造事業に着手するとともに、CO₂の有効利用を行う研究開発で着実に成果を上げた。一方、研究開発成果の実用化・産業化に向けた活動も本格化しており、センターとしての基盤が固まりつつあると言える。今後、世界の無機膜開発・実用化をリードする中核組織となるよう鋭意活動を進めていきたい。



企画調査グループ

気候変動の緩和策について考えよう -IPCC1.5°C特別報告書と第6次評価報告書-

本シンポジウムは、IPCC第三作業部会（温室効果ガスの排出削減等、気候変動の緩和に係る作業部会）のJim Skea共同議長をお招きし、IPCC報告書の作成プロセス、1.5°C特別報告書の概要、また、第6次評価報告書に盛り込まれる重要な論点や取り組み課題等に関して基調講演をいただきました。また、RITEシステム研究グループ秋元グループリーダーからは、1.5°C特別報告書で提示された低エネルギー需要シナリオや第6次評価報告書に向けた課題について、また科学技術振興機構の田中加奈子主任研究員からは、気候変動問題に対する産業界の取り組みや将来への期待について講演をいただきました。さらに後半のパネルディスカッションでは、RITEの山口光恒参与にモデレータをお願いして、パネリストには講演者に加え、日本経団連の手塚宏之氏、国立環境研究所の山形与志樹主席研究員にも登壇頂き、IPCCへの期待と課題や温暖化対策への取り組みについて、参加者の方々からの質問も織り交ぜながら広範な視点から議論を行いました。

開催日 2019年3月6日（水）

場所 虎ノ門ヒルズフォーラム ホールB（東京）

主催 経済産業省

共催 地球環境産業技術研究機構

参加者数 269名

プログラム

- ・基調講演「IPCC1.5°C特別報告書と第6次評価報告書第三作業部会報告書の計画」
IPCC 第三作業部会 共同議長 Jim Skea
- ・講演1「1.5°C排出経路および緩和費用と低エネルギー需要社会実現のインパクト」
RITEシステム研究グループリーダー・主席研究員 秋元 圭吾
- ・講演2「IPCC報告書における産業部門への期待」
科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 主任研究員 田中 加奈子
- ・パネルディスカッション「IPCCへの期待と課題、および温暖化対策への取り組みについて」
モデレータ：RITE 参与 山口 光恒
パネリスト：IPCC 第三作業部会 共同議長 Jim Skea
RITEシステム研究グループリーダー・主席研究員 秋元 圭吾
科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 主任研究員 田中 加奈子
日本経済団体連合会 環境安全委員会座長 手塚 宏之
国立環境研究所 地球環境研究センター 主席研究員 山形 与志樹

企画調査グループ

未来社会を支える 温暖化対策技術シンポジウム in 関西

当機構は、最新の研究成果を報告する場として革新的環境技術シンポジウムを毎年、東京で開催していますが、本シンポジウムは、関西の方々にも多数ご参加いただける機会として、昨年に引き続き、大阪で開催しました。

今回は特別講演として川崎重工業株式会社の西村元彦様をお迎えし、「2020年技術実証開始 国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み」と題して水素エネルギーの必要性とそれを受けた川崎重工業株式会社の国際的な水素サプライチェーンに関する取り組みに関して、最先端技術を含めながら動画・CGを交えて非常に分かり易くご講演いただきました。

また今回からはポスターセッションも開催し、参加者の方々と同機構の研究者との間で活発な意見交換がなされました。参加者へのアンケートでは「参考になった」との回答を多くいただき、関西の方々にも当機構の研究開発について知っていただく良い機会となりました。

開催日 2019年9月26日（水）

場所 大阪科学技術センター（OSTEC）大ホール

主催 地球環境産業技術研究機構

後援 近畿経済産業局、関西経済連合会、新産業創造研究機構、日本化学会、化学工学会、日本農芸化学会、エネルギー・資源学会、日本エネルギー学会

参加者数 182名

プログラム

- ・特別講演 2020年技術実証開始 国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み
川崎重工業株式会社 技術開発本部 水素チェーン開発センター センター長 准執行役員 西村 元彦
- ・長期脱炭素化に向けたエネルギーシステムのあり方 - 電気と水素の役割 -
システム研究グループリーダー 秋元 圭吾
- ・持続可能な社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発
バイオ研究グループリーダー 乾 将行
- ・CO₂分離回収技術の実用化に向けた開発状況と今後の展開
化学研究グループ副主席研究員 余語 克則
- ・CO₂地中貯留の実用化に向けての安全管理技術開発の取り組み
CO₂貯留研究グループリーダー 薛 自求
- ・水素社会に向けた無機膜実用化への取り組み
無機膜研究センター副センター長 山口 祐一郎



企画調査グループ

革新的環境技術シンポジウム2019
～脱炭素社会に向けたチャレンジ～

当機構は、最新の研究成果を報告する場として、本シンポジウムを毎年開催しています。今年は招待講演にCOP25にご参加直後の経済産業省の矢作友良大臣官房審議官をお迎えし、COP25における交渉の概要やジャパンパビリオンの様子、また各国の気候変動政策の動向等についてご講演頂きました。基調講演では当機構の山地副理事長より、エネルギー・環境イノベーションに関する最近の動向やCO₂ゼロエミッション社会の転換に向けたエネルギー・地球温暖化対策関連技術の大幅なイノベーションの必要性等について講演しました。各グループ、センターから最新の研究成果と今後の展望について講演すると共に、ポスターセッションにおいては、参加者の方々と活発な意見交換を行いました。参加者は500名近くとなり、環境問題に対する関心の高まりがうかがわれました。

開催日 2019年12月18日（水）

場 所 伊藤謝恩ホール（東京）

主 催 地球環境産業技術研究機構

後 援 経済産業省、日本化学会、化学工学会、日本農芸化学会、エネルギー・資源学会、日本エネルギー学会

参加者数 491名

プログラム

・招待講演：COP25について

経済産業省 大臣官房審議官（環境問題担当）

矢作 友良

・基調講演：脱炭素社会に向けたイノベーションの創出
副理事長・研究所長 山地 憲治

・脱炭素社会に向けたエネルギーシステムの変遷の評価
システム研究グループリーダー 秋元 圭吾

・CO₂分離回収技術の実用化検討と今後の展開
化学研究グループリーダー 中尾 真一

・CO₂地中貯留の実用化に向けての安全管理技術開発の取り組み

CO₂貯留研究グループリーダー 薛 自求

・脱炭素社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発

バイオ研究グループリーダー 乾 将行

・無機膜の実用化開発と脱炭素社会に向けた取り組み
無機膜研究センター長 中尾 真一

システム研究グループ

2018年度吉川允二記念
核融合エネルギー奨励賞「優秀賞」を受賞

当グループの魏啓為研究員（現在は主任研究員）が核融合エネルギーフォーラムの2018年度吉川允二記念核融合エネルギー奨励賞の優秀賞を受賞しました。

吉川允二記念核融合エネルギー奨励賞は、核融合エネルギーの実現に寄与しうる国内外の研究・技術開発活動や調査活動等の中で若手人材による優れた成果を顕彰するもので、特に顕著であると認められた場合には優秀賞が授与されます。

この優秀賞を受賞した魏研究員の「エネルギーシナリオ分析による核融合エネルギー開発戦略の提言」は、核融合エネルギーの2100年までの市場可能性を、地球環境問題への対応と世界各地の特性を考慮してエネルギーシステムモデルによって分析したもので、核融合エネルギーは競争力のある発電コストを達成できれば世界のいくつかの地域で大きな市場可能性を持つことを明らかにした一方、その技術開発目標をエネルギー市場の動向から設定されるメカニズムとともに示しました。この成果はパリ協定以降の新たな世界のエネルギー市場における核融合エネルギーの在り方、可能性を示しており、今後の核融合エネルギーの研究開発やその社会受容性向上のための参考となるものと考えられます。

2019年2月13日、東北大学片平キャンパスにて開催された核融合エネルギーフォーラム第12回全体合会において授賞式が執り行われ、魏研究員に賞状と奨励金が授与されました。





システム研究グループ

平成30年度ALPS国際シンポジウム
経済成長と長期大幅排出削減の両立に向けた挑戦

2016年11月にパリ協定が発効し、世界の大多数の国が排出削減に取り組む新たな国際枠組みができました。そして、各国が2030年（または2025年）の自国の温室効果ガス排出削減目標等を提出しました。一方、長期低排出発展戦略の公表を見据え、2050年以降の長期にわたる温暖化対策の議論が国内外で活発になってきていました。そこで、様々な気候変動のリスクを認識しつつ、経済成長と長期大幅排出削減の両立に向けた方向性を探るため、また「地球温暖化対策技術の分析・評価に関する国際連携事業」（通称ALPS）の成果報告会としてALPS国際シンポジウムを開催しました。国内外の著名な専門家に、技術的、社会的なイノベーションによる将来的な低需要シナリオの可能性を中心に様々な観点から講演を頂き、講演者と参加者との間で活発な質疑が行われました。

開催日 2019年2月19日（火）

場 所 虎ノ門ヒルズフォーラム（東京）

主 催 地球環境産業技術研究機構

共 催 経済産業省

参加者数 278名

プログラム

- ・国内外の政策動向とCO₂大幅削減への長期戦略シナリオ
RITE研究所長 山地 憲治
- ・ネットゼロ排出に向けた破壊的技術と持続可能なライフスタイル
IIASA副所長 Nebojsa Nakicenovic
- ・企業における気候政策リスクの評価
—企業、投資家などのための科学的基盤—
EPRI エネルギー・環境分析研究グループ 上級リサーチ
エコノミスト・技術エグゼクティブ Steven Rose
- ・世界エネルギー展望2018からの電力の遷移に関する洞察
IEA世界エネルギー展望 シニアエネルギーアナリスト Yasmine Aرسالane
- ・エネルギー生産性改善の黄金期は再び訪れるか？
慶應義塾大学産業研究所 教授 野村 浩二
- ・汎用目的技術と地球温暖化
キャノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山 大志
- ・運輸部門の大幅排出削減
OECD国際交通フォーラム 定量政策分析・展望部門長 Jari Kauppila
- ・持続可能な開発と大幅脱炭素化のための代替的戦略
—エンドユース、効率、粒度、デジタル化への新たな注目—
IIASA 新技術移行プログラムディレクター
Arnulf Grübler
- ・製品、サービス、社会システムのイノベーションと温暖化対策への影響
RITEシステム研究グループ グループリーダー
秋元 圭吾

システム研究グループ

エネルギー需要に関する
国際ワークショップ

2050年以降を視野に脱炭素化を牽引していくためには、環境と成長の好循環が必要で、ビジネス主導の技術革新を促す形へと、パラダイム転換が求められています。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では、2018年に1.5℃特別報告書が公表されましたが、現時点では、その定量的かつ包括的な分析は未だ十分にはなされていません。環境と成長の好循環を実現するためにも、国際的な研究コミュニティにおいて、エネルギー需要に関するシナリオを深く議論し、今後の方向性を見出すことは極めて重要です。

そこでRITEは、国際応用システム分析研究所（IIASA）と共同で、交通、建物、エネルギー、気候などの様々な分野のモデラー、社会学者、経済学者、エンジニア、実務家を含む幅広い分野の専門家を招聘し、低エネルギー需要社会実現の機会と課題の検討を行う国際ワークショップを開催しました。

ワークショップでは事務所ビルの低エネルギー化、都市レベルのカーシェアシミュレーションや国際的な統合モデルによる定量化評価などエネルギー需要低減に向けた様々な取り組みが紹介されました。また、エネルギー需要をサービスの観点から捉え、温室効果ガスの排出抑制の面からだけでなく、より広くSDGsの観点からとらえていくことの重要性や、政策に働き掛けていくことの重要性が指摘されました。

開催日 2019年11月11日～13日

場 所 IIASA（オーストリア ラクセンブルク）

主 催 地球環境産業技術研究機構

共 催 経済産業省

参加者数 57名（19カ国）



システム研究グループ

COP25サイドイベント 気候変動対策の努力の各国協調に向けて Global Climate Change Policy

RITEでは、米国未来資源研究所（RFF）等と協力して、パリ協定の国別貢献（NDC）の各国比較、経済影響分析、国際競争力に関する科学的な評価等を行っています。このたびこれらの成果について発表・議論を行うため、スペイン・マドリードでのCOP25において、サイドイベントを開催しました。

イベントでは、RFFのRaymond Kopp氏による概要説明の後、RITE秋元グループリーダーよりNDCにおける各国の限界削減費用とその経済影響に関するRITEの分析を紹介し、各国間の大きな差は効率的な排出削減を阻害することから、レビュープロセスを通じてNDCの協調を図ることが重要であること、また一方では、高い炭素価格を前提とした協調は現実的には難しく、エネルギー供給と需要側双方におけるイノベーションが2℃目標や更なる大幅削減には必要であること等を指摘しました。

登壇したJoe Aldy氏（ハーバード大学）、Elena Verdolini氏（EIEE）、Ramiro Parrado氏（EIEE）、有馬純氏（東京大学）からも、各国NDC評価による気候変動政策の透明性向上の必要性や緩和コスト低減に寄与するイノベーションの重要性等について指摘がありました。

開催日 2019年12月11日（水）
場所 COP25 Japan Pavilion
主催 地球環境産業技術研究機構
共催 米国未来資源研究所

*経産省地球環境対策室の川口室長にご挨拶をいただくとともに、議論にも参加いただきました。



開催日 2019年12月12日（木）
場所 COP25 公式イベントスペース
主催 地球環境産業技術研究機構、米国未来資源研究所



バイオ研究グループ

JALバイオジェット燃料 フライトプロジェクトへの技術協力

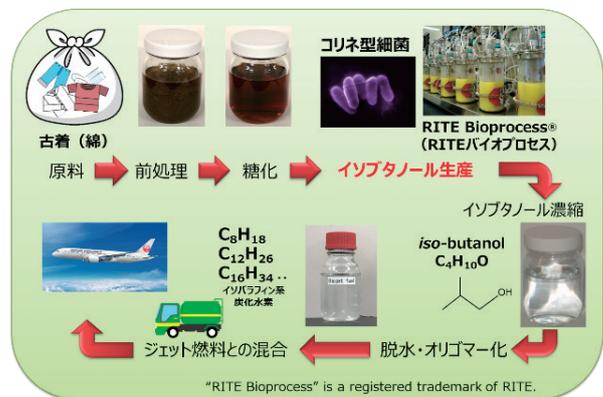
航空機からのCO₂排出は世界のCO₂排出量の約2%を占めていますが、航空機は電動化などが難しいため、航空機からのCO₂排出削減に向けて再生可能資源（バイオマス）を原料にしたバイオジェット燃料に大きな期待が寄せられています。このような背景の下、RITEは、日本航空株式会社（JAL）が主催する「10万着で飛ばそう!JALバイオジェット燃料フライト」プロジェクトに2018年10月から技術協力を開始しました。

本プロジェクトは、JALと日本環境設計株式会社が協力して回収した古着を原料としたバイオジェット燃料を製造するものです。

RITE発のベンチャー企業であるGreen Earth Institute株式会社（GEI）は、本プロジェクトの参画企業として、回収された古着を原料としてイソブタノールを生産し、国際規格であるASTM D7566 Annex5に適合したバイオジェット燃料製造を担当します。

RITEが開発したイソブタノール高生産コリネ型細菌は、このイソブタノール生産におけるキーテクノロジーであり、さらにRITEが独自開発した革新的バイオプロセス「RITE Bioprocess[®]」と組み合わせ、古着の綿繊維を酵素分解（糖化）して得られた糖を原料としたイソブタノール生産に大きく貢献しています。

本プロジェクトは、ラボレベルから事業レベルへのスケールアップにあたっての様々な難題に直面しながらも、2020年中の、このバイオジェット燃料を使用した日本初のチャーターフライトの運航を目指しています。





バイオ研究グループ

BioJapan 2019

BioJapan 2019が2019年10月9日～11日の3日間、パシフィコ横浜において開催されました。BioJapan 2019は今回で21回目の開催となり、2018年に引き続き再生医療Japan 2019 との共同開催でした。国内外から多くの企業、行政関係機関、大学等が参加し、出展社数は974社（前回879社）、来場者数は17,512名（前回16,309名）と、いずれも過去最大規模になりました。

RITEは、住友ベークライト株式会社と共同で設立したグリーンケミカルズ株式会社（GCC）と共同で展示会に出展しました。

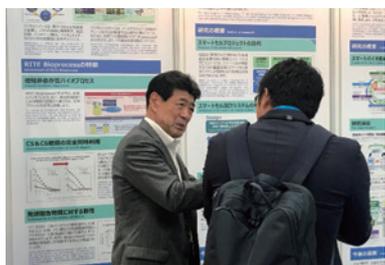
ブースでは、RITE及びGCCの研究内容を説明したポスターの展示、非可食バイオマスやバイオ由来の化合物等のサンプルの展示を行いました。



ポスター展示では、RITEのコア技術、参加している国家プロジェクト、事業化の状況、GCCの活動の現状を解説しました。

【RITE/GCCブースでの展示ポスターの内容】

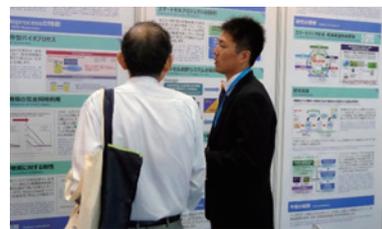
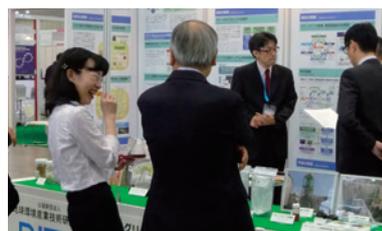
- ①グリーン芳香族化合物の新展開
- ②RITEコア技術：バイオリファイナリー
- ③NEDO スマートセルプロジェクト
- ⑤SIP 革新的バイオ素材・高機能品等の機能設計技術及び生産技術の開発
- ⑥経済産業省 バイオ燃料生産技術の開発（バイオブタノール/バイオ水素）
- ⑦経済産業省 100%グリーンジェット燃料生産技術の開発
- ⑧グリーンケミカルズ株式会社（GCC社）
- ⑨RITEバイオプロセスの事業化（Green Earth Institute株式会社）
- ⑩10万着で飛ばそう！JALバイオジェット燃料フライト



また、サンプルや写真展示では、非可食バイオマス、RITEバイオプロセス事業化事例であるL-アラニン、L-バリン、化粧品用エタノール、GCCのグリーンフェノール樹脂成形品等を展示しました。

RITE/GCCのブースには、3日間で120名近い様々な業種の企業、大学、行政の方にお越しいただき、説明に当たったRITE研究員と熱心に質疑を行っていただきました。バイオ由来の化合物に対する期待の大きさを実感した3日間となりました。

多くの方にお越しいただき、誠にありがとうございました。



化学研究グループ

第5回燃焼後回収会議 (PCCC-5)

RITEは 第5回 燃 焼 後 回 収 会 議 (5th Post Combustion Capture Conference : PCCC-5) を IEAGHG (IEA Greenhouse Gas R&D Programme) とともに2019年9月に京都にて開催しました。本会議は、IEAGHGが2年ごとに開催している国際学会であり、これまでにアブダビ、ノルウェー、カナダ、米国で開催されました。日本開催となった今回は、19か国140名の参加がありました。

口頭発表74件、ポスター発表11件の一般講演は、国内外の専門家による活発な議論の場に、また、基調講演やブース展示は、METIを中心とした国の取組みや、日本企業の回収技術分野の競争力をアピールする良い機会になりました。RITEも化学吸収液、固体吸収材、及び分離膜の最新の成果を紹介しました。更に会議翌日には、関西電力・三菱重工エンジニアリング(大阪市)、および川崎重工業(明石市)のCO₂回収試験プラントの見学が実施されました。

政府関係者や大学・企業関係者のご支援のもと、成功裏に終えることができたこと、厚く御礼申し上げます。

開催日 2019年9月17日(火)～19日(木)

場 所 ホテルグランヴィア京都(京都)

主 催 IEAGHG、RITE

スポンサー IHI,川崎重工業,東芝,三菱重工エンジニアリング,CO₂CRC,米国エネルギー省, Southern Company/NCCC

プログラム (主要テーマ)

実証試験、分離技術、モデリング、環境評価、産業分野適用、コスト評価など

CO₂貯留研究グループ

G20に向けたCCUSについての国際円卓会議の開催と提言の発表

G20の日本開催が2019年6月に予定されていたことから、それに先立ってCCUSに関する国際円卓会議を開催し、そこでの議論を基にG20に向けた提言を策定して公表しました。

円卓会議は、当機構が経済産業省から委託を受けて、米国のシンクタンクであるC2ESとともに米国ワシントンにおいて2019年2月13日、14日に開催しました。参加者は、経済産業大臣政務官、米国の上院議員やエネルギー省次官をはじめ、政府、エネルギー・金融両セクターの主要企業、国際機関、NGOなどを代表して11か国から60名以上にのぼりました。会議では、CCUSについて、今後の展望、現状と国際協調の機会、政策のあり方、投資や融資の拡大、国際連携や知識共有の取り組みが議論され、最後に日本開催のG20におけるCCUSの普及加速に向けた国際協力強化のための提言が検討されました。

最終的な提言は2019年3月に公表しました。主な提言は以下の3つでした。

- ・エネルギー環境大臣会合とサミットの閣僚声明におけるCCUSの重要性とメリットへの言及、CCUSの普及に向けた行動の呼びかけ
- ・CCUSに関する共同行動計画の策定と各国の行動計画へのCCUSの反映
- ・カーボンリサイクルの推進

G20軽井沢エネルギー・環境大臣会合後に公表された閣僚声明では、CCUSの可能性や投資等の必要性への認識が示され、イノベーションアクションプランにおいても、研究開発および普及の奨励や既存枠組みでの国際協力の強化等が謳われました。また、国別のアクションプランを提出した16か国・地域のうち、日本を含む6か国がCCUSに言及しました。提言は概ね反映されており、当機構も日本開催のG20の成功に微力ながら貢献できたのではないのでしょうか。



全体フォトセッション

出典：経済産業省ウェブサイト (<https://www.meti.go.jp/press/2018/02/20190215006/20190215006.html>)

CO₂貯留研究グループCCSテクニカルワークショップ2020
「大規模CO₂地中貯留の事業化への取り組み」

CCS事業化のためには、技術面に加えて経済性や社会の理解の醸成、民間企業へのインセンティブなど、多角的な取り組みが必要となります。

CCS分野で世界をリードする米国とノルウェーにおける帯水層貯留の事業化や石油増進回収（EOR）事業でのCO₂有効利用の取り組み、CCSビジネスモデル等に関連する講演があり、最後に「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」の最新の研究開発状況について紹介しました。

開催日 2020年1月23日（木）

場 所 虎ノ門ヒルズフォーラム（東京）

主 催 二酸化炭素地中貯留技術研究組合

共 催 経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

参加者数 378名

プログラム

講演1-1 CCUS商用化プロジェクトに向けた大規模化：ノースダコタ州の取り組み

Assistant Director of the Integrated Projects Energy & Environmental Research Center, University of North Dakota.

John Hamling

講演1-2 Red Trail Energy社のCCSプロジェクト Chief Operating of the Officer Red Trail Energy, North Dakota. Dustin Willett

講演2 CO₂貯留モニタリングからの価値創造 Co-Director of the Precourt Institute for Energy, Professor of the Energy Resources Engineering Department, Stanford University. Sally Benson

講演3 イリノイ州CarbonSAFEプロジェクト Director of the Energy & Minerals, Illinois State Geological Survey, University of Illinois. Steven Whittaker

講演4 CO₂貯留技術とその大規模化への道 Specialist, Reservoir Geoscience, Equinor ASA Adjunct Professor of the NTNU. Philip Ringrose

講演5 二酸化炭素地中貯留技術研究組合における安全管理技術開発の取り組み

二酸化炭素地中貯留技術研究組合 技術部長 薛自求

無機膜研究センター

未来を拓く無機膜
環境・エネルギー技術シンポジウム

本シンポジウムでは“カーボンリサイクル”を主題として、「水素製造技術」と「CO₂分離回収利用技術」の最新動向や実用化に向けた取り組みについて、大学および企業、一般財団法人の方々に講演いただくとともに、無機膜研究センターの最新の研究成果や産業化戦略協議会の取り組みを紹介しました。来場の皆様から、「CO₂分離、メタネーション、無機膜によるメンブレンリアクター等、要素技術の組み合わせで新たなイノベーションの可能性を感じることができた。CO₂分離膜の実装に向けた状況、CCUやカーボンリサイクルの可能性について示唆に富んだ内容であった。」等の好評をいただきました。

開催日 2019年11月7日（木）

場 所 東京大学 伊藤謝恩ホール（東京）

主 催 地球環境産業技術研究機構（RITE）

共 催 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

後 援 経済産業省、エネルギー総合工学研究所、新化学技術推進協会、水素供給利用技術協会、石油エネルギー技術センター、日本ガス協会、燃料電池実用化推進協議会

参加者数 191名

プログラム

- ・基調講演「エネルギー・環境イノベーションへの期待と展望」RITE 副理事長・研究所長 山地 憲治
- ・講演①「水素・炭化水素・二酸化炭素に関連した固体触媒プロセスと膜応用の可能性」早稲田大学理工学術院 先進理工学部 応用化学科 教授 関根 泰
- ・講演②「メタネーション技術の開発とCO₂分離回収との統合に関する研究開発」名古屋大学大学院工学研究科 化学システム工学専攻 教授 則永 行庸
- ・講演③「低炭素社会に向けたPower to Gas・メタネーションの役割」日本エネルギー経済研究所 電力・新エネルギーユニット 新エネルギーグループ マネージャー 研究主幹 柴田 善朗
- ・講演④「DDR型ゼオライト膜プロセスによるCO₂分離への取り組み」日揮グローバル株式会社 オイル&ガスプロジェクトカンパニー 技術イノベーションセンター グループリーダー 近松 伸康
- ・活動報告「無機膜研究センターの研究成果と今後の計画」RITE 無機膜研究センター長 中尾 真一



RITEでは研究開発成果の普及や産学官連携の拡大を目的に、シンポジウムや各種媒体を通じて地球環境問題解決に資する最先端の情報を発信しています。

また、主にRITEが立地しているけいはんな地区の小中高生を対象に、地球環境問題に関する環境教育などの啓蒙活動も積極的に実施しています。

シンポジウム

開催日	シンポジウムタイトル・概要	関連部署
2019年1月16日	CCSテクニカルワークショップ2019 ー大規模CO ₂ 地中貯留技術の事業化を見据えたリスク評価についてー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 ・参加者数：362名	CO ₂ 貯留 研究グループ
2019年1月18日	第8回革新的CO₂膜分離技術シンポジウム ー地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向ー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：次世代型膜モジュール技術研究組合 ・参加者数：179名	化学 研究グループ
2019年2月19日	平成30年度ALPS国際シンポジウム ー経済成長と長期大幅排出削減の両立に向けた挑戦ー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：RITE ・参加者数：278名	システム 研究グループ
2019年3月6日	気候変動の緩和策について考えよう ーIPCC1.5℃特別報告書と第6次評価報告書ー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：経済産業省 ・共催：RITE ・参加者数：269名	企画調査 グループ
2019年9月26日	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 ・会場：大阪科学技術センター 大ホール ・主催：RITE ・参加者数：182名	企画調査 グループ
2018年11月7日	未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：RITE ・参加者数：191名	無機膜 研究センター
2019年12月18日	革新的環境技術シンポジウム2019 ー脱炭素社会に向けたチャレンジー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：RITE ・参加者数：491名	企画調査 グループ
2020年1月20日	革新的CO₂分離回収技術シンポジウム ー地球温暖化防止に貢献する固体吸収材及び膜による分離回収技術の最新動向ー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：RITE、次世代型膜モジュール技術研究組合 ・参加者数：294名	化学 研究グループ
2020年1月23日	CCSテクニカルワークショップ2020 ー大規模CO ₂ 地中貯留の事業化への取り組みー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 ・参加者数：378名	CO ₂ 貯留 研究グループ



出展

開催日	出展イベント名・概要	関連部署
2019年9月25日	第1回カーボンリサイクル産学官国際会議 ・会場：ホテルニューオータニ ・主催：経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	バイオ研究グループ、 化学研究グループ
2019年10月9日～11日	BioJapan 2019 ・会場：パシフィコ横浜 ・主催：BioJapan組織委員会、 株式会社JTBコミュニケーションデザイン	バイオ研究グループ

プレスリリース

発表日	タイトル
2019年1月11日	平成30年度ALPS国際シンポジウム開催のご案内
2019年2月6日	シンポジウム「気候変動の緩和策について考えよう」開催のご案内
2019年2月13日	米国ワシントンにおける二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS）に関する円卓会議の開催について
2019年3月28日	G20に向けた二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS）の国際協力強化に関する提言について
2019年7月2日	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 開催のご案内
2019年9月12日	「未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム」の開催
2019年10月23日	革新的CO ₂ 分離回収技術シンポジウム開催について
2019年10月28日	革新的環境技術シンポジウム2019開催のご案内
2019年12月3日	CCSテクニカルワークショップ2020開催について
2019年12月23日	IPCCシンポジウム開催のご案内「今、実施すべき気候変動の緩和対策」

環境教育

実施日	来訪者・イベント名	人数
◆学校の校外学習（見学）・企業研修の受け入れ		
1月21日	精華町立精華南中学校	4
1月31日	木津川市立木津川台小学校	31
4月19日	株式会社トキワ	63
5月30日	奈良県立青翔高等学校	39
6月21日	立命館高等学校	24
7月12日	帝塚山学園帝塚山中学校	23
7月31日	京都府立西舞鶴高等学校	6
8月 7日	奈良県下SSH連携校生徒	16
8月21日	西大和学園中学校	24
9月19日	奈良学園登美ヶ丘中学校	15
10月 2日	島根県立出雲高等学校	40
10月11日	島根県立益田高等学校	20
11月15日	精華町立精華西中学校	6
◆小学生向けワークショップの開催		
7～8月に5回	将来のエネルギーについて考える工作・実験	102
◆イベント出展		
1月26日	けいはんな科学体験フェスティバル2019	—



役員

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Towards net zero CO ₂ emissions without relying on massive carbon dioxide removal	Y. Kaya, M. Yamaguchi, O. Geden	Sustainability Science, Vol.14, pp.1739-1743, 2019

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	再生可能エネルギー主力電源化への取組	山地憲治	エネルギー・資源、2019年1月号、pp.17-18
2	エネルギー教育の課題と展望	山地憲治	学術の動向、2019年2月号、pp.93-95
3	再エネ主力電源化の課題と展望	山地憲治	省エネルギー、2019年9月号、pp.26-29
4	エネルギー大転換期の展望と課題	山地憲治	Re、2019年10月号、pp.20-29

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	掲載先
1	IPCCの将来のあり方と気候変動対策のパラダイムシフト	山口光恒	環境経済・政策学会2019年大会、2019年9月28日

システム研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	気候変動による世界主要都市の高温日・多雨日リスク変化の分析	林礼美, 紀伊雅教	土木学会論文集D3(土木計画学)、Vol.74、No.5、L_379-L_387、2019年1月10日
2	Japan's long-term climate mitigation policy: Multi-model assessment and sectoral challenges	Masahiro Sugiyama, Shinichiro Fujimori, Kenichi Wada, Seiya Endo, Yasumasa Fujii, Ryoichi Komiyama, Etsushi Kato, Atushi Kurosawa, Yuhji Matsuo, Ken Oshiro, Fuminori Sano, Hiroto Shiraki	Energy, Jan. 15, 2019
3	A model-based analysis on energy systems transition for climate change mitigation and ambient particulate matter 2.5 concentration reduction	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, K. Akimoto	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Volume 24, Issue 2, pp. 181-204, Feb. 1, 2019
4	The role of methane in future climate strategies: mitigation potentials and climate impacts	H. Mathijs, D. van Vuuren, B. L. Bodirsky, J. Chateau, O. D.-Lasserve, L. Drouet, O. Fricko, S. Fujimori, D. Gernaat, T. Hanaoka, J. Hilaire, K. Keramidas, G. Luderer, M. C. Moura, F. Sano, S. Smith, K. Wada	Climatic Change, May 24, 2019
5	Taking some heat off the NDCs ? The limited potential of additional short-lived climate forcers' mitigation	H. Mathijs, O. Fricko, J. Hilaire, D. van Vuuren, L. Drouet, O. D.-Lasserve, S. Fujimori, K. Keramidas, Z. Klimont, G. Luderer, L. A. Reis, K. Riahi, F. Sano, S. Smith	Climatic Change, June 17, 2019
6	Mid-century emission pathways in Japan associated with the global 2°C goal: national and global models' assessments based on carbon budgets	K. Oshiro, K. Gi, S. Fujimori, H. L. van Soest, C. Bertram, J. Despres, T. Masui, P. Rochedo, M. Roelfsema, Z. Vrontisi	Climatic Change, July 20, 2019
7	核融合開発ロードマップを反映した世界エネルギーシステムモデルによる日本の長期エネルギーシステム分析	魏啓為、佐野史典、秋元圭吾、日渡良爾、飛田健次	エネルギー・資源学会論文誌、Vol. 40、Issue 5P. 170-179、2019年9月10日

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	「パリ協定下におけるCCS・CCU技術の意義と課題」	秋元圭吾	日本機械学会誌 2月号、2019年2月
2	IPCC 1.5°C特別報告書概要と含意	秋元圭吾、魏啓為	エネルギー・資源 2019年7月号(エネルギー・資源学会会誌)、2019年7月1日
3	温暖化対策とエネルギー展望：国内外の動向を踏まえた企業の対応の方向性	秋元圭吾	月刊「環境管理」2019年10月号、2019年10月

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	日本の移動需要：再構成による現況構造の分析と将来シナリオの試算	魏啓為、佐野史典、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日
2	消費ベースCO ₂ 排出量の推計に基づく、経済とCO ₂ 排出量のデカップリングに関する分析	本間隆嗣、小田潤一郎、陳妹凝、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日
3	世界温暖化対策評価モデルによる石油関連製品の連産を考慮した温暖化対策の評価	金星春夫、佐野史典、秋元圭吾、長島美由紀	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日
4	気候変動問題に対する金融セクターの役割：ダイバーストメントの効果と課題の考察	長島美由紀、秋元圭吾、佐野史典	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日



システム研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
5	中国のCO ₂ 排出動向：景気変動と産業構造変化の影響分析	王楠、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日
6	中長期温暖化対策としての天然ガスの貢献に関する分析	永田敬博、佐野史典、本間隆嗣、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月29日
7	日本の核融合エネルギー開発シナリオの分析	魏啓為、佐野史典、秋元圭吾、日渡良爾、飛田健次	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
8	日本の主要素材産業部門のエネルギー原単位に関する分析	小田潤一郎、本間隆嗣、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
9	電力自由化市場における電力価格のボラティリティと地球温暖化政策への影響分析	中野優子、小田潤一郎、佐野史典、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
10	情報技術等の進展を踏まえた食料需給プロセス全体におけるGHG排出削減機会の検討	林礼美、本間隆嗣、佐野史典、中村直樹、秋元圭吾	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
11	CO ₂ 直接空気回収(DAC)による温暖化影響被害のリスク管理に関する分析	有野洋輔、秋元圭吾、佐野史典、中村直樹	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
12	気候変動対策技術のニーズと支援の状況	和田謙一	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
13	シェアリングエコノミーの進展を考慮した社会経済シナリオの下での温暖化対策の評価	佐野史典、秋元圭吾、魏啓為	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
14	投資の主観的割引率とそのモデル分析への反映	秋元圭吾、長島美由紀、佐野史典	第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019年1月30日
15	CCS技術普及策の再考：世界30年間技術実証プロジェクトの経験を踏まえて	王楠、秋元圭吾	エネルギー・資源学会研究発表会、2019年8月6日
16	情報技術進展によるシェアリングエコノミー誘発にともなうエネルギー・温暖化対策の総合的な分析	秋元圭吾、佐野史典、魏啓為、小田潤一郎、永田敬博、金星春夫	エネルギー・資源学会研究発表会、2019年8月6日
17	多様なエネルギーモデルにおける旅客需要の推計方法の整理	魏啓為、秋元圭吾	第38回エネルギー・資源学会研究発表会、2019年8月6日
18	気候変動対応を踏まえた長期のエネルギー政策の動向	秋元圭吾	日本エネルギー学会大会、2019年8月8日
19	旅客交通部門の長期シナリオ分析に向けたエネルギーモデル	魏啓為	「2050年に向けた日本のエネルギー需給」研究委員会シンポジウム「温室効果ガス低減に向けた長期発展戦略の策定のための情報と視点の整理と方法論」、2019年8月21日

口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	The strategy of delivering CCS projects: Lessons from three-decade pilot and demonstration experience	N. Wang, K. Akimoto	MIT Applied Energy Symposium 2019, May 24, 2019, USA
2	Analysis of Energy Intensity of Basic Materials Industry in Japan	J. Oda, K. Akimoto	42nd IAEE International Conference, June 1, 2019, Canada
3	Bottom-up development of service demand scenarios by consideration of heterogeneous actors and transparent reflection of a narrative of future socioeconomic change: A case study of passenger travel demand in Japan	K. Gi, F. Sano, K. Akimoto	38th International Energy Workshop, June 5, 2019, France
4	Evaluations on consumption-based CO ₂ emissions in Europe	T. Homma	The 16th IAEE European Conference, Aug. 27, 2019, Slovenia
5	Current policies and issues, and strategies in the future on energy and climate change response	K. Akimoto	10th International Symposium of Advanced Energy Science: Beyond the Decade of Zero Emission Energy, Sep. 4, 2019, Japan
6	Development of energy demand scenarios taking sharing economy evolution into account based on SSPs and its alleviating effect on emissions reductions efforts	秋元圭吾、佐野史典、小田潤一郎、魏啓為、金星春夫、永田敬博	Scenarios Forum2019, March 11-13, 2019, USA
7	Conditions and mechanism behind co-benefits of CO ₂ emissions reduction and ambient PM2.5 concentration reduction in China and India	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, K. Akimoto	Twelfth Annual Meeting of the IAMC, Dec. 2, 2019, Japan
8	Japan's emission pathways in the context of the 2°C goals and their implications for the mid-century strategy	K. Oshiro, S. Fujimori, K. Gi, H. van Soest, C. Bertram, J. Després, T. Masui, P. Rochedo, M. Roelfsema, Z. Vrontisi	Twelfth Annual Meeting of the IAMC, Dec. 3, 2019, Japan

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	第5次エネルギー基本計画について	秋元圭吾	電源地域振興担当者講習会、2019年1月11日
2	気候変動緩和策に関する研究の現状	佐野史典	統合C/D～SI-CAT研究交流会、2019年1月15日
3	「第5章「持続可能な発展、貧困根絶、不均衡の低減との関係」」	魏啓為	エネルギー・資源学会 平成30年度エネルギー特別講座「IPCC1.5°C特別報告書について」、2019年1月18日



システム研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
4	第5次エネルギー基本計画について	秋元圭吾	電気事業低炭素社会協議会勉強会、2019年1月23日
5	エネルギー基本計画における2030年度電力需給構造の見直し	秋元圭吾	シンビオ社会研究会、2019年1月28日
6	"Analysis of the role of CCS in long-term CO ₂ emission reduction by integrated assessment model"	小田潤一郎	I2CNER国際ワークショップ触媒的物質変換研究部門&CO ₂ 分離・転換研究部門、2019年2月1日
7	Opportunities for achieving low energy demand society through innovations, the quantitative analyses of their impact on climate change mitigation, and future issues to be tackled	秋元圭吾	Energy Transitions Working Group (ETWG) Meeting for G20 Ministerial Meeting on Energy Transitions and Global Environment for Sustainable Growth, Feb. 12, 2019
8	エネルギーと気候変動関連の状況分析と今後の対応のあり方	秋元圭吾	参議院資源エネルギーに関する調査会、2019年2月13日
9	製品、サービス、社会システムのイノベーションと温暖化対策への影響	秋元圭吾	ALPS国際シンポジウム、2019年2月19日
10	多様化する電源のシステムコスト評価—隠れたコストと政策的課題—	秋元圭吾	日本動力協会 第26回パワートーク、2019年2月21日
11	1.5℃排出経路および緩和費用と低エネルギー需要社会実現のインパクト	秋元圭吾	IPCCシンポジウム、2019年3月6日
12	進む地球温暖化とエネルギー問題	秋元圭吾	エネルギー講演会（北陸原子力懇談会）、2019年3月19日
13	「再生可能エネルギー利用の状況、および、地球温暖化問題への取り組み」	秋元圭吾	書籍「原子力のいまと明日」、丸善出版、2019年3月20日
14	技術メカニズムの活動状況と展望	和田謙一	TECUSE研究会、2019年4月17日
15	IPCC報告書の読み方：意図せざるバイアス	秋元圭吾	国際環境経済研究所 WEB、2019年4月19日
16	エネルギー・温暖化対策の現状と大幅なCO ₂ 排出削減に向けた道筋	秋元圭吾	名古屋商工会議所 名商ecoクラブ 講演会、2019年4月24日
17	気候変動を取り巻く状況とエネルギー・温暖化対策のあり方・課題	秋元圭吾	第29回エネルギーシンポジウム（三労連中国地方環境・エネルギー研究会議（事務局：中国電力労組））、2019年6月1日
18	IoT、AI技術進展による低エネルギー需要社会実現によるパリ協定長期目標へのインパクト	秋元圭吾	日本学術会議公開シンポジウム「長期の温室効果ガス大幅排出削減に向けたイノベーションの役割と課題」、2019年6月6日
19	シェアリング経済誘発の温暖化対策効果	秋元圭吾	グリーンフォーラム21、2019年6月27日
20	進む地球温暖化とエネルギー問題～複雑化する経済・政治の中での解決策	秋元圭吾	横浜電子情報工学会年次総会、2019年7月13日
21	パリ協定の下での2050年に向けた世界のエネルギーシステムの見直し	秋元圭吾	自動車技術会 第9回大気環境技術・評価部門委員会、2019年9月25日
22	長期脱炭素化に向けたエネルギーシステムのあり方—電気と水素の役割—	秋元圭吾	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西、2019年9月26日
23	地球温暖化対応の状況を踏まえた核融合エネルギーの経済性評価	秋元圭吾	文部科学省 核融合科学技術委員会、2019年10月8日
24	Impacts of IT and AI on Energy Consumption and CO ₂ Emission Reductions	秋元圭吾	ICEF, 6th Annual Meeting, Oct. 10, 2019
25	気候変動分析—統合コスト最小化分析の課題とその対応—：コメント	秋元圭吾	日本エネルギー経済研究所 定例研究報告会、2019年10月15日
26	パリ協定達成に向けた日本の長期戦略	秋元圭吾	九州エネルギー問題懇談会（九州経済連合会）2019年エネルギー講演会、2019年10月25日
27	持続可能な発展をめざして：気候変動の長期ビジョンと現実制約を踏まえた短中期の行動	秋元圭吾	鉄鋼工学アドバンスセミナー、2019年10月28日
28	パリ協定長期目標における温室効果ガスの排出削減	秋元圭吾	日本原子力学会 第13回YGN若手勉強会「脱炭素化、イノベーション、原子力の役割」、2019年11月1日
29	技術革新による好循環カギ	秋元圭吾	日本経済新聞「経済教室」、2019年11月7日
30	地球温暖化とエネルギー	秋元圭吾	異常気象と環境問題を楽しむ学ぶセミナー（日本原子力文化財団主催）、2019年11月9日
31	Opportunities and Challenges, and Impacts of Low Energy Demand Society	秋元圭吾	Joint IIASA-RITE International Workshop: Towards Improved Understanding, Concepts, Policies and Models of Energy Demand, Nov. 11, 2019
32	Preliminary Modeling Analyses on Global Impacts of Sharing Mobility Beyond Transportation Sector	魏啓為	Joint IIASA-RITE International Workshop: Towards Improved Understanding, Concepts, Policies and Models of Energy Demand, Nov. 13, 2019



システム研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
33	Evaluations on International Competitiveness of NDCs and the Implications of Long-term Deep Emission Reductions	秋元圭吾	COP25 Japan Pavilion side event, Dec. 11, 2019, Spain
34	Evaluations on International Competitiveness of NDCs and the Role of Technological and Social Innovations toward the Paris Long-term Goals	秋元圭吾	COP25 UNFCCC official side event, Dec. 12, 2019, Spain
35	脱炭素社会に向けたエネルギーシステムの変遷の評価	秋元圭吾	革新的環境技術シンポジウム、2019年12月18日

バイオ研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Enhanced production of D-lactate from mixed sugars in <i>Corynebacterium glutamicum</i> by overexpression of glycolytic genes encoding phosphofructokinase and triosephosphate isomerase	Y. Tsuge, N. Kato, S. Yamamoto, M. Suda, M. Inui	Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol.127, pp.288-293, 2019
2	Introduction of glyoxylate bypass increases hydrogen gas yield from acetate and L-glutamate in <i>Rhodobacter sphaeroides</i>	T. Shimizu, H. Teramoto, M. Inui	Applied and Environmental Microbiology, Vol.85, e01873-18, 2019
3	Carbohydrate-binding property of a cell wall integrity and stress response component (WSC) domain of an alcohol oxidase from the rice blast pathogen <i>Pyricularia oryzae</i>	S. Oide, Y. Tanaka, A. Watanabe, M. Inui	Enzyme and Microbial Technology, Vol.125, pp.13-20, 2019
4	Metabolic engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> for hyperproduction of polymer-grade L- and D-lactic acid	Y. Tsuge, N. Kato, S. Yamamoto, M. Suda, T. Jojima, M. Inui	Applied Microbiology and Biotechnology, Vol.103, pp.3381-3391, 2019
5	炭素循環社会の実現を目指したバイオリファイナリー技術の開発	豊田晃一、乾 将行	環境技術、Vol.562、pp.141-145、2019
6	Bioenergy and Biorefinery	S.O. Han, M. Inui, Y.S. Jin	Biotechnology Journal, Vol.14, e1900160, 2019
7	バイオプロセスによる芳香族化合物生産技術の開発	北出幸広、乾 将行	プラスチック、Vol.107、pp.20-23、2019
8	Engineering the transcriptional activator NifA for the construction of <i>Rhodobacter sphaeroides</i> strains that produce hydrogen gas constitutively	T. Shimizu, H. Teramoto, M. Inui	Applied Microbiology and Biotechnology, Vol.103, pp.9739-9749, 2019
9	バイオ芳香族化合物の高生産技術の開発	北出幸広、乾 将行	接着の技術、Vol.136、pp.22-26、2019
10	Isobutanol production in <i>Corynebacterium glutamicum</i> : suppressed succinate by-production by <i>pckA</i> inactivation and enhanced productivity via the Entner-Doudoroff pathway	S. Hasegawa, T. Jojima, M. Suda, M. Inui	Metabolic Engineering, (in press)

口頭発表 (国内学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	<i>Rhodobacter sphaeroides</i> における <i>nifA</i> 改変および炭酸固定経路遮断による酢酸からの水素収率の向上	清水 哲、寺本陽彦、乾 将行	日本農芸化学会2019年度大会、2019年3月24-27日
2	コリネ型細菌におけるRNase IIIの発現制御解析	澤 誠人、田中裕也、乾 将行	日本農芸化学会2019年度大会、2019年3月24-27日
3	コリネ型細菌におけるCRISPR - Cas9システムを使った物質生産株構築のためのゲノム編集法の開発	小澤 輝、久保田健、須田雅子、乾 将行	日本農芸化学会2019年度大会、2019年3月24-27日
4	コリネ型細菌における転写因子AnsRによるアスパラギン代謝オペロンの発現制御機構の解析	菅谷理貴、豊田晃一、須田雅子、平賀和三、乾 将行	日本農芸化学会2019年度大会、2019年3月24-27日
5	コリネ型細菌におけるECFシグマ因子SigEのレギュロン同定	豊田晃一、乾 将行	第71回日本生物工学会大会、2019年9月16-18日

口頭発表 (国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Identification of the regulon of the ECF sigma factor SigE in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	Koichi Toyoda, Masayuki Inui	FEMS2019 8th Congress of European microbiologists, Jul. 7-11, 2019
2	The regulon of the ECF sigma factor SigE in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	Koichi Toyoda, Masayuki Inui	14th international symposium on the genetics of industrial microorganisms (GIM2019), Sep. 8-11, 2019

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	炭素循環社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発	乾 将行	日本生物工学会「第6回SBJシンポジウム」、2019年5月24日
2	バイオエコノミーの実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発	乾 将行	高分子学会19-2 ポリマーフロンティア21、2019年6月11日



バイオ研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
3	100%グリーンジェット燃料生産の研究開発	乾 将行	第71回日本生物工学会大会シンポジウム「日本におけるバイオジェット燃料生産技術の最先端」、2019年9月18日
4	持続可能な社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	乾 将行	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西、2019年9月26日
5	The emerging green bioprocess technology to attain a carbon-free society	Masayuki Inui	Innovation for Cool Earth Forum (ICEF) 6th Annual Meeting, Oct. 9, 2019
6	持続可能な社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	久保田健	BioJpan 2019出展者プレゼン、2019年10月10日
7	バイオ化学品製造の技術開発状況と今後の展望	乾 将行	蔵前工業会「バイオマスセミナー」、2019年10月18日
8	脱炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	乾 将行	石油学会「新エネルギー部会 次世代バイオ燃料分科会」勉強会、2019年11月21日
9	脱炭素社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発	乾 将行	革新的環境技術シンポジウム2019、2019年12月18日
10	特集 バイオジェットで空を飛ぶ!!	—	明日の翼（日本航空株式会社 社外報）、Spring 2019年
11	明日の空へ SDGs-JALの取り組みー/第73回 バイオジェットで空を飛ぶ	—	SKYWARD（日本航空株式会社 機内誌）、2019年5月号
12	第6回SBJシンポジウム報告	—	生物工学会誌2019、Vol.97、第8号

化学研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Development of high-performance polymer membranes for CO ₂ separation by combining functionalities of polyvinyl alcohol (PVA) and sodium polyacrylate (PAANA)	Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Shuhong Duan, Hidetaka Yamada	Journal of Polymer Research Vol.26, 106 (2019)
2	Ab Initio Study of CO ₂ Capture Mechanism in Aqueous 2-Amino-2-methyl-1-propanol: Electronic and Steric Effects of Methyl Substituents on the stability of Carbamate	Hidetaka Yamada, Firoz A. Chowdhury, Shin Yamamoto, Kazuya Goto	Industrial & Engineering Chemistry Research Vol.58 Issue8 pp. 3549-3554, 2019
3	Oxidative Degradation of Tetraethylenepentamine-Impregnated Silica Sorbents for CO ₂ Capture	Quyen T. Vu, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	Energy & Fuels Vol.33 Issue4 pp. 3370-3379, 2019
4	Preparation of Biodegradable Polymer Nanospheres Containing Manganese Porphyrin (Mn-Porphyrin)	Fuminori Ito, Hidetaka Yamada, Kiyoshi Kanamura, Hiroyoshi Kawakami	Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials Vol.29, 3, pp 1010-1018, 2019
5	Enhancement Mechanism of the CO ₂ Adsorption-Desorption Efficiency of Silica-Supported Tetraethylenepentamine by Chemical Modification of Amino Groups	Hidetaka Yamada, Firoz A. Chowdhury, Junpei Fujiki, Katsunori Yogo	ACS Sustainable Chemistry & Engineering Vol.7 Issue10 pp. 9062-9726 May 20, 2019
6	Bottom-Up Synthesis of Defect-Free Mixed-Matrix Membranes by Using Polymer-Grafted Metal-Organic Polyhedra	Nobuhiko Hosono, Wenbo Guo, Kenichiro Omoto, Hidetaka Yamada, Susumu Kitagawa	Chemistry Letters Vol.48 No.6 pp. 597-600, 2019
7	Water adsorption on nitrogen-doped carbons for adsorption heat pump/desiccant cooling: Experimental and density functional theory calculation studies	Junpei Fujiki, Katsunori Yogo	Applied Surface Science, Vol. 492, 30 October 2019, pp. 776-784
8	Examination of selection and combination of water-absorbing agent to blend with polyvinyl alcohol (PVA) in preparing CO ₂ separation membrane with high performance	Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Shuhong Duan, Hidetaka Yamada	Macromolecular Research (online) Nov. 22, 2019
9	Effect of Carbonic Anhydrase on CO ₂ Separation Performance of Thin Poly(amidoamine) Dendrimer/ Poly(ethylene glycol) Hybrid Membranes	Shuhong Duan, Teruhiko Kai, Shin-ichi Nakao	Membranes 9(12), 167, 2019

解説/総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	固体吸収材による省エネルギーCO ₂ 回収	山田秀尚, 余語克則	高分子Vol.68 No.5 pp.222-223, 2019
2	313Kにおけるブチルエタノールアミン水溶液およびメチルジエタノールアミン水溶液のCO ₂ 吸収に伴う電気伝導度の変化	山田秀尚	分析化学68巻 9号 p.647-655, 2019
3	CO ₂ 回収用アミン溶液の反応とその圧力依存性	山田秀尚	高圧力の科学と技術2019年29巻3号 p.199-205



化学研究グループ

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	新しい膜分離技術の開発と応用	中尾真一	第28回日本MRS年次大会 2018年12月18日-20日
2	テトラメチルジアミノアルカン-水-CO ₂ 系の液液相分離機構に関する研究	山田秀尚, 沼口遼平, Firoz A. Chowdhury, 山本信, 後藤和也, 松崎洋市	化学工学会第84年会 2019年3月13日-15日
3	理論計算と反応速度論によるピペラジン-CO ₂ 系の濃度及びpH追跡	山口徹, 山田秀尚, 眞田昭平, 堀憲次	化学工学会第84年会 2019年3月13日-15日
4	地球温暖化対策技術開発におけるマイクロとマクロの分子科学	山田秀尚	分離技術会年會2019 2019年5月24日-25日
5	アミン担持吸着剤の合成条件とCO ₂ 吸着性能の評価	園田幸樹, 木下朋大, 余語克則	第33回日本吸着学会研究発表会 2019年11月14-15日

口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Experimental and DFT Calculation Studies on Water Vapor Adsorption on Nitrogen-Doped Carbons	Junpei Fujiki, Katsunori Yogo	FOA2019 (13th International Conference on Fundamentals of Adsorption), May 26-31, 2019
2	Development of Amine-based Solvents for CO ₂ Capture from Blast Furnace Gas	Kazuya Goto, Firoz A. Chowdhury, Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Yoichi Matsuzaki, Masami Onoda	World Hydrogen Technologies Convention(WHTC)2019, Tokyo, Japan, Jun. 2-7, 2019
3	Simulation of Amine-Based CO ₂ Capture Using Transition State Theory	Hidetaka Yamada	17th International Conference on Carbon Dioxide Utilization - ICCDU 2019, Aachen, Germany, Jun. 23-27, 2019
4	Effect of Membrane Thickness and Carbonic Anhydrase on CO ₂ Separation Properties of Poly(amidoamine) Dendrimer/Poly(ethylene glycol) Hybrid Membranes	Shuhong Duan, Teruhiko Kai, Shin-ichi Nakao	The 12th Conference of the Aseanian Membrane Society (AMS 12), Jeju, Korea July 2-5, 2019
5	Development of CO ₂ Molecular Gate Membranes for CO ₂ Capture	Teruhiko Kai	The 12th Conference of the Aseanian Membrane Society (AMS 12), Jeju, Korea July 2-5, 2019
6	CO ₂ Separation and Capture System with Polyamine-Supported Solid Absorbent	Shin Yamamoto, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
7	Molecular Mechanism of Liquid-Liquid Phase Separation in the Amine-CO ₂ -H ₂ O System	Hidetaka Yamada, Ryohei Numaguchi, Firoz A. Chowdhury, Shin Yamamoto, Yoichi Matsuzaki, Kazuya Goto	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
8	Development of CO ₂ Capture Technology with Solid Sorbent Utilizing Low-Temperature Steam: Progress in Bench-Scale Demonstration	Shohei Nishibe, Katsunori Yogo, Yoshizawa, Okumura Takeshi, Ryohei Numaguchi, Kazuo Tanaka, Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Tomohiro Kinoshita, Katsunori Yogo	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
9	Oxidative Degradation of Polyamine-Containing CO ₂ Adsorbents	Quyen T. Vu, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
10	Development of amine-based non-aqueous absorbent for post-combustion CO ₂ capture	Firoz A. Chowdhury, Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Yoichi Matsuzaki	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
11	Development of CO ₂ Molecular Gate Membranes for post-combustion and pre-combustion	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Shin-ichi Nakao	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019
12	Advanced CO ₂ Capture Technologies in RITE Chemical Research Group	Shin-ichi Nakao	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5), Kyoto, Japan, Sep. 17-19, 2019

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	二酸化炭素分離回収技術開発の動向	余語 克則	活性炭技術研究会 第166回講演会 大阪産業技術研究所 森ノ宮センター2019年3月19日
2	CO ₂ 回収技術の最新動向	山田秀尚	新化学技術推進協会 (JACI) 『CO ₂ 固定化・有効利用』 エネルギー分科会講演会 東京 2019年3月20日
3	Advanced CO ₂ capture Technologies: Absorption, Adsorption, and Membrane Separation Methods	Shin-ichi Nakao, Katsunori Yogo, Kazuya Goto, Teruhiko Kai, Hidetaka Yamada	SpringerBriefs in Energy ISBN 978-3-030-18858-0 2019年5月7日発行
4	二酸化炭素の分離・回収技術開発の動向とRITEの研究開発	余語克則	日本機械工業連合会 第101回環境配慮事例研究会、RITE京都本部、2019年5月14日



化学研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
5	Development of CO ₂ Capture	Kazuya Goto	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver Canada, May 28-29, 2019
6	RITE Solid Sorbent for Energy-Saving CO ₂ Capture	Kazuya Goto	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver Canada, May 28-29, 2019
7	Development of CO ₂ Molecular Gate Membrane for IGCC with CO ₂ Capture	Kazuya Goto	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver Canada, May 28-29, 2019
8	「NEDOのCCUSに係る取組について」 -CO ₂ 分離回収技術-	余語 克則	気候変動・災害対策Biz 2019 (第1回 環境・再エネ・レジリエンス展) 東京ビッグサイト 2019年12月4日-6日

CO₂貯留研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Fiber optic sensing for geomechanical monitoring: (1)-Distributed strain measurements of two sandstones under hydrostatic confining and pore pressure conditions	Ziqiu Xue, Ji-Quan Shi, Yoshiaki Yamauchi, Sevket Durucan	Applied Sciences, 8, 11, 2103, 2018, https://doi.org/10.3390/app8112103
2	Fiber optic sensing for geomechanical Monitoring: (2)- Distributed strain measurements at a pumping test and geomechanical modeling of deformation of reservoir rocks	Xinglin Lei, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto	Applied Sciences, 9, 3, 417, 2019, https://doi.org/10.3390/app9030417
3	Shear-induced permeability reduction and shear-zone development of sand under high vertical stress	木村 匠、金子広明、野田翔兵、伊藤拓馬、皆川秀紀	Engineering Geology, 238, 86-98, 2018
4	Depressurization and electrical heating of methane hydrate sediment for gas production: Laboratory-scale experiments	皆川秀紀、伊藤拓馬、木村 匠、金子広明、野田翔兵、天満則夫	Journal of Natural Gas Science and Engineering 50, 147-156, 2018
5	Gas-Tight pH Measurements to Assess an Effect of CO ₂ on Groundwater	Saeko Mito, Ziqiu Xue, Bracken Wimmer, Abbas Iranmanesh, Hongbo Shao, Randall Locke II, Sallie Greenberg	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3366313), 2019
6	Field Measurement Using Distributed Fiber-Optic Sensing Technology and Numerical Simulation of Geomechanical Deformation Caused by CO ₂ Injection	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Yi Zhang, Tsutomu Hashimoto, Hyuck Park	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3365651), 2019
7	A Preliminary Experiment on the Detection of Bubbles in the Sea with Side-Scan Sonar	Uchimoto, Keisuke and Nishimura, Makoto and Xue, Ziqiu and Watanabe, Yuji	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3365765), 2019
8	Micro-seismic monitoring data analysis system based on sequentially discounting autoregressive and its application to offshore CO ₂ storage safety operation	Luchen Wang, Tetsuma Toshioka, Takahiro Nakajima, Akira Narita, Ziqiu Xue	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3366201), 2019
9	Advanced well log analyses using image data at the Nagaoka CO ₂ injection site	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3366058), 2019
10	Utilization of wave attenuation in time-lapse sonic logging data for the monitoring of CO ₂ migration along the well	Takahiro Nakajima, Luchen Wang, Ziqiu Xue	SSRN (https://ssrn.com/abstract=3366057), 2019
11	Can We Detect CO ₂ Plume by Distributed Fiber Optic Strain Measurements?	Yi Zhang, Hyuck Park, Tamotsu Kiyama, Yankun Sun, Ziqiu Xue	SSRN (https://papers.ssrn.com/abstract=3366224), 2019
12	Tracking CO ₂ Plumes in Clay - Rich Rock by Distributed Fiber Optic Strain Sensing (DFOSS): A Laboratory Demonstration	Zhang, Yi, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Ji - Quan Shi, Tamotsu Kiyama, Xinglin Lei, Yankun Sun, Yunfeng Liang	Water Resources Research 55, 1, 856-867, 2019
13	Distributed Fiber Optic Sensing System for Well - based Monitoring Water Injection Tests—A Geomechanical Responses Perspective	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto, Xinglin Lei, Yi Zhang	Water Resources Research, 2019, https://doi.org/10.1029/2019WR024794
14	房総半島中東部の上総層群から掘削されたボーリングコア試料の層序とイベント起源堆積物に見出された堆積サイクル	伊藤拓馬, 中里裕臣, 橋本 励, 薛自求	第四紀研究、投稿中
15	Deformation - Based Monitoring of Water Migration in Rocks Using Distributed Fiber Optic Strain Sensing: A Laboratory Study	Yi Zhang, Ziqiu Xue	Water Resources Research, 2019, https://doi.org/10.1029/2019WR024795
16	Experimental and numerical simulation of supercritical CO ₂ microbubble injection into a brine-saturated porous medium	Anindityo Patmonoaji, Yi Zhang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Tetsuya Suekane	International Journal of Greenhouse Gas Control 91, 2019,
17	Bubble detection with side-scan sonar in shallow sea for future application to marine monitoring at offshore CO ₂ storage sites	Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Yuji Watanabe, Ziqiu Xue	American Journal of Marine Science, 7, 1, 1-6, 2019
18	Utilization of wave attenuation in the time-lapse sonic logging at the Nagaoka site for a near well monitoring of CO ₂ migration	Takahiro Nakajima, Luchen Wang, Ziqiu Xue	International Journal of the Greenhouse Gas Control, 88, 342-352, 2019

CO₂貯留研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
19	A field experiment of walkaway distributed acoustic sensing vertical seismic profile in a deep and deviated onshore well in Japan using a fibre optic cable deployed inside coiled tubing	Yuki Kobayashi, Yuto Uematsu, Shimpei Mochiji, Ziqiu Xue	Geophysical Prospecting, 68, 2, 501 - 520, 2020
20	Geophysical monitoring at the Nagaoka pilot-scale CO ₂ injection site in Japan	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	Active Monitoring, 2nd ed., 563-569, Elsevier, 2019
21	Towards Designing a National Public Engagement Framework for Carbon Capture and Storage in Japan	Akihiro Nakamura	Annual International Social Sciences Conference 2019, submitted

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	第14回温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT-14) の報告	田中 良三	電気学会電力・エネルギー部門誌2019年7月号
2	CO ₂ 地中貯留技術開発の動向	薛自求	エネルギー・資源, 40,3,24-27,2019
3	二酸化炭素地中貯留における圧入井の配置最適化ツールの高速化	宮城充宏, 山本肇, 秋本洋平, 薛自求	大成建設株式会社 技術センター報12月、2019

口頭発表 (国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	DAS VSP Acquisition Through Coiled Tubing Fiber-Optic Cable	Tsunehisa Kimura, Yanyan Chen, Yuki Kobayashi, Keita Adachi, Ziqiu Xue	European Association of Geoscientists and Engineers, London, UK, 2019/11/18
2	Development of a high speed optimization tool for well placement in Geological Carbon dioxide Sequestration	Atsuhiko Miyagi, Youhei Akimoto, Hajime Yamamoto, Ziqiu Xue	International Society for Rock Mechanics & Rock Engineering YSRM: Young Scholars Symposium on Rock Mechanics, Okinawa, Japan, 2019/12
3	Improving Subsurface Images for Better Reservoir Management by CT-DAS-VSP in a Production Well Onshore Japan	Yuto Uematsu, Yuki Kobayashi, Shimpei Mochiji, Ziqiu Xue	Fifth EAGE Workshop on Borehole Geophysics, Hague, Netherlands, 2019/11/19
4	A comprehensive experiment to reveal the ability of Side-Scan Sonar to detect CO ₂ bubbles in shallow sea	Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Yuji Watanabe, Ziqiu Xue	IEAGHG Monitoring & Environmental Research - Combined Networks Meeting, Calgary, Canada, 2019/08/21
5	Geomechanical Footprint for Downhole Water Injection via Distributed Optic Fiber Sensing Integrating hybrid Brillouin-Rayleigh Backscattering	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto, Xinglin Lei, Yi Zhang	16th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Singapore, 2019/08/01
6	Monitoring of Dynamic Stability of Geological Formations using Fiber-Optic Sensing	Tsutomu Hashimoto, Ziqiu Xue, Ryoza Tanaka	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver, Canada, 2019/05/27
7	Microbubble CO ₂ Injection for Geological CO ₂ Storage and CO ₂ -EOR	Ziqiu Xue, Hyuck Park, Ryoza Tanaka	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver, Canada, 2019/05/27
8	Permanent Ocean Bottom Cable (OBC) System for Offshore CO ₂ Storage	Ryoza Tanaka	CEM10/MI-4 Innovation Showcase, Vancouver, Canada, 2019/5/27
9	Proposal of a New Standard of CO ₂ Concentration in Seawater	Shunsuke Nishimura, Toru Sato, Keisuke Uchimoto, Koichi Goto, Meguru Miki	2019 Carbon Management Technology Conference, 2019/07/15
10	坑井における地震モニタリングのためのDAS使用現場比較試験	王璐琛、薛自求、橋本 勲	中国光ファイバセンシング会議と工業化フォーラム2019、武漢、中国、2019/4/29
11	Towards Designing a National Public Engagement Framework for Carbon Capture and Storage in Japan	Akihiro Nakamura	Annual International Social Sciences Conference 2019, Danang, Vietnam, 2019/10/17
12	Well Placement Optimization under Geological Statistical Uncertainty	宮城充宏、山本肇、秋本 洋平、薛 自求	Genetic and Evolutionary Computation Conference, プラハ、チェコ、2019/6/13~17

口頭発表 (国内学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	日本沿岸域海底貯留CO ₂ の漏出を想定したパッシブトレーサーシミュレーション	内本圭亮、三角和弘、坪野考樹、津旨大輔、薛自求	日本海洋学会 2019年度秋季大会、2019/09/27
2	Stratigraphy and depositional cycles in sediment core taken from Kazusa Group, Central Eastern Boso Peninsula, Japan	Takuma Ito, Hiroomi Nakazato, Tsutomu Hashimoto, Ziqiu Xue	日本第四紀学会、2019/8
3	マイクロバブルCO ₂ 圧入フィールドパイロット試験 -計画と準備-	中川和則、上田良、中野正則、薛自求	日本地球惑星科学連合2019年大会、2019/05/29
4	苫小牧CO ₂ 圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究	王璐琛、中島崇裕、薛自求	日本地球惑星科学連合2019年大会、2019/05/29
5	機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡 CCSサイトの例	三善孝之、中島崇裕、薛自求	日本地球惑星科学連合2019年大会、2019/05/29
6	貯留層中の超臨界 CO ₂ 影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用	中島崇裕、王璐琛、薛自求	日本地球惑星科学連合2019年大会、2019/05/29

CO₂貯留研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
7	Bed deformation measured by distributed optical fiber and its sedimentological interpretation: alternated sandstone and mudstone aquifer, Boso Peninsula, Japan	Takuma Ito, Tsutomu Hashimoto, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
8	Field Testing of Hybrid Brillouin-Rayleigh Distributed Sensing System for Subsurface Water Injection Monitoring	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto, Xinglin Lei, Yi Zhang	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
9	光ファイバーセンシング技術およびひずみゲージを用いた泥岩中の化学的浸透による岩石の変形の定量化と計測された歪挙動の比較	廣田翔伍、徳永朋祥、薛自求、朴赫	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
10	CO ₂ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging	Hongyu Zhai, Yi Zhang, Hyuck Park, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
11	Strain detection by optical fiber for CO ₂ injected core specimen	Hyuck Park, Yankun Sun, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
12	Monitoring hydromechanical responses in aquifer by distributed fiber-optic strain sensing: From lab to field	Yi Zhang, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto, Hyuck Park	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
13	Mechanisms inducing anomalously high pCO ₂ without CO ₂ leakage in coastal environment	Yuji Watanabe, Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Saeko Mito, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
14	How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous pCO ₂ owing to CO ₂ leakage?	Keisuke Uchimoto, Yuji Watanabe, Makoto Nishimura, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29
15	大規模地質モデルを用いたCO ₂ 挙動解析	Yuki Shigeoka, Haruki Nishiyama, Hiroshi Kinoto, Takaomi Tobase, Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019/05/29

無機膜研究センター

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Development of CVD silica membranes having high H ₂ permeance and steam stability and a membrane reactor for water gas shift reaction	Ryoichi Nishida, Toshiki Tago, Takashi Saito, Masahiro Seshimo, Shin-ichi Nakao	Membranes 2019, 9(11), 140

解説/総説文

	タイトル	研究者	発表先
1	シリカ膜を用いた膜反応器の開発と耐久性に関する検討	瀬下雅博, 中尾真一	膜, 44 (2019) p.153-157

口頭発表 (国内学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	片端を封止した基材へのCVDシリカ膜の製膜	浦井宏美, 西野仁, 瀬下雅博, 山口祐一郎, 中尾真一	化学工業会第84年会 2019年3月14日
2	水蒸気共存化におけるシリカ膜の劣化挙動に関する検討	瀬下雅博, 浦井宏美, 西野仁, 山口祐一郎, 中尾真一	化学工業会第84年会 2019年3月14日
3	AlPO ₄ -34とAlPO ₄ -18のフッ化物フリー合成における構造規定剤の立体配座	福田 紘征(早稲田大), 瀬下 雅博, 酒井 求(早稲田大), 松方 正彦(早稲田大)	化学工業会第84年会 2019年3月13日~15日
4	シリカ膜を用いた膜反応器の開発と耐久性に関する検討	瀬下雅博, 中尾真一	日本膜学会第41年会 2019年5月10日
5	膜反応器を適用したメタノール合成のシミュレーションによる解析	李 惠蓮, 柳 波, 瀬下雅博, 沼口遼平, 余語克則, 山口祐一郎, 奥山悟郎(JFEスチール), 紫垣伸行 (JFEスチール), 中尾真一	膜シンポジウム 2019年11月12日
6	Preparation of Si-rich LTA zeolite membrane for methanol dehydration	柳 波, 喜多英敏, 余語克則, 李惠蓮, 瀬下雅博, 山口祐一郎, 中尾真一	膜シンポジウム 2019年11月13日

口頭発表 (国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Dehydrogenation of methylcyclohexane by a membrane reactor with silica membranes	Shin-ichi Nakao, Hiromi Urai, Kazuaki Sasa, Masahiro Seshimo, Hitoshi Nishino	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC2019), Tokyo International Forum Jun 03, 2019
2	Influence of steam on permselective performance of dimethoxydiphenylsilane-derived silica membrane	Masahiro Seshimo, Hiromi Urai, Yuichiro Yamaguchi, Shin-ichi Nakao	18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE2019), Sep 23 - 27, 2019



無機膜研究センター

書籍等、その他

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	水素利用等先導研究開発事業/エネルギーキャリアシステム調査・研究/水素分離膜を用いた脱水素 成果報告	浦井宏美, 瀬下雅博, 山口祐一郎, 今川健一(千代田化工建設)	NEDO2019年度成果報告会 2019年7月18日
2	水素社会に向けた無機膜実用化への取り組み	山口祐一郎	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウムin関西 2019年9月26日
3	無機膜研究センターの研究成果と今後の計画	中尾真一	未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム 2019年11月7日
4	無機膜の実用化開発と脱炭素社会に向けた取り組み	中尾真一	革新的環境技術シンポジウム2019 2019年12月18日



掲載年月日	見出し	掲載紙名
2019.1.1	RITE 「未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム」開催	ガスレビュー
2019.1.17	二酸化炭素地中貯留技術研究組合 リスク評価など解説 都内で勉強会	電気新聞
2019.2.1	RITE 「革新的環境技術シンポジウム2018」開催 過去最多の参加者を動員	ガスレビュー
2019.2.8	電源開発、バイオリファイナリー技術開発のGreen Earth Institute社へ出資	日本経済新聞電子版
2019.2.12	新興バイオ企業に出資 Jパワー 事業領域を拡大へ	電気新聞
2019.2.14	CCUS 日米欧が協力へ議論 RITEなど主催 官民集い円卓会議	電気新聞
2019.2.18	CCUS 欧米などの官民へ理解浸透図る 円卓会議結果を報告	電気新聞
2019.2.18	バイオVBに出資 Jパワー	日刊工業新聞
2019.2.20	シンポジウム「気候変動の緩和策について考えようーIPCC1.5℃特別報告書と第6次評価報告書-」	化学工業日報
2019.2.20	排出削減と成長両立へ RITEがシンポ 内外専門家が方策探る	電気新聞
2019.2.28	情報産業の波及効果に力 地球温暖化対策を支援 モデル分析 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループリーダー 主席研究員 秋元圭吾氏	日刊工業新聞
2019.3.7	経産省「緩和」議題にシンポ IPCC報告書を解説	電気新聞
2019.3.17	日航：ジェット機の飛行、古着活用へ 綿繊維からバイオ燃料 ベンチャー2社とタッグ	毎日新聞
2019.4.2	G20で行動計画採択を RITE CCUS普及向け提言	電気新聞
2019.4.15	経済産業省とRITE IPCC1.5℃特別報告書と第6次評価報告書についてのシンポジウム開催	ガスレビュー
2019.5.2	[特集] 平成から令和へ／有識者に聞く (4) 山地憲治氏	電気新聞
2019.5.6	バイオジェット燃料 古着や藻が原料、離陸へ	日経産業新聞
2019.7.8	RITE 温暖化対策技術のシンポ 水素チェーンなど成果発表	ガスエネルギー新聞
2019.8.22	【シリーズ エネルギーを考える】温暖化対策には経済力も必要 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループリーダー 秋元圭吾さん	フジサンケイビジネスアイ
2019.8.26	GREEN FORUM 21 技術社会の革新とエネルギー環境インパクト	日刊工業新聞
2019.9.30	RITE 温暖化対策技術でシンポ 国際的取り組みなど報告	化学工業日報
2019.10.16	GEIのバイオ化学品製造プロセス アミノ酸向け 実用化進む 内外で20件超	化学工業日報
2019.11.5	GREEN FORUM21 石炭を考える 座長 茅 陽一氏	日刊工業新聞
2019.11.6	食品残渣で栄養補助素材 日立キャピタルとグリーンアースインスティテュート	日刊工業新聞
2019.11.6	食品残渣から有用化学品開発へ 日立キャピタル GEI	化学工業日報
2019.11.7	温暖化対策の論点 (上) 技術革新による好循環力ギ 秋元圭吾 地球環境産業技術研究機構主席研究員	日本経済新聞
2019.11.12	RITE無機膜センター 低炭素化に寄与する研究成果発表	化学工業日報
2019.12.1	RITE 無機膜 環境・エネルギー技術 シンポジウム開催	ガスレビュー
2019.12.3	環境技術シンポジウムを開催	電気新聞
2019.12.5	二酸化炭素地中貯留技術研究組合、CCSテクニカルワークショップを開催	化学工業日報
2019.12.19	温室ガス削減 投資環境整備が必須 RITE、都内でシンポ	電気新聞
2019.12.20	CO ₂ 削減する革新技術 RITE、東大でシンポ	化学工業日報



2019年の登録特許一覧

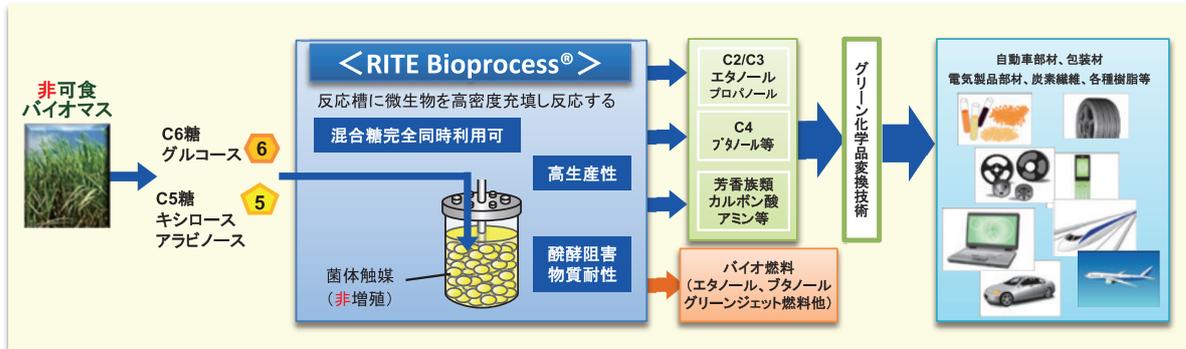
	発明の名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
登 録 特 許	二酸化炭素を分離回収するための吸収剤、及びそれを用いた二酸化炭素の分離回収方法	R I T E 日本製鉄株式会社	日本	6463186 (2019年1月11日)
	コリネ型細菌形質転換体、及びそれを用いる有機化合物の製造方法	R I T E	米国	US10,208,313 (2019年2月19日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いる4-アミノ安息香酸又はその塩の製造方法	R I T E 住友ベークライト株式会社	日本	6564929 (2019年8月2日)

2019年の公開特許一覧

	発明の名称	出願人	国情報	公開・公表番号 (公開・公表日)
公 開 特 許	結晶性シリカ成形体およびその製造方法	R I T E	日本	特開2019-6658 (2019年1月19日)
	機能的皮膚外用剤および抗菌剤ならびにポリヒドロキシ芳香族カルボン酸またはその誘導体の製造方法	R I T E 住友ベークライト株式会社	WO	WO2019/044773 (2019年3月7日)
	二酸化炭素吸収剤および二酸化炭素の回収方法	R I T E 日本製鉄株式会社	日本	特開2019-115888 (2019年7月18日)
	二酸化炭素の吸収剤および二酸化炭素の分離回収方法	R I T E 日本製鉄株式会社	WO	WO2019/163867 (2019年8月29日)
	メタノールの合成方法	R I T E J F E スチール株式会社	日本	特開2019-156730 (2019年9月19日)
	二酸化炭素の再利用方法	R I T E J F E スチール株式会社	日本	特開2019-156658 (2019年9月19日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いる2, 3-ブタンジオールの製造方法	R I T E 出光興産株式会社	日本	特開2019-154357 (2019年9月19日)
	コリネ型細菌の形質転換体およびそれを用いる有用化合物の製造方法	R I T E	WO	WO/2019/211937 (2019年11月7日)
形質転換体及びそれを用いた有機化合物の製造方法	R I T E	WO	WO/2019/211958 (2019年11月8日)	

バイオリファイナリーに関する特許

1. RITEバイオプロセス



* RITE Bioprocessは、公益財団法人地球環境産業技術研究機構の登録商標（登録第5796262号）です。

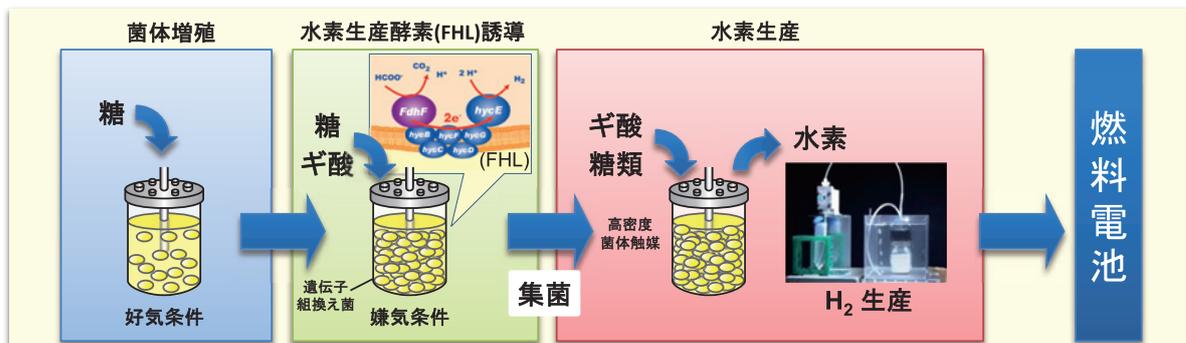
(1) 技術特長

- ・微生物の増殖を抑制した状態で目的化合物を生産させるため、増殖に必要な栄養やエネルギーが不要で、通常の化学プロセスと同等以上の高生産性
- ・非可食バイオマス由来の混合糖類（C6 と C5 糖類）の完全同時利用が可能
- ・フェノール類やフラン類、有機酸類などの発酵阻害物質に対し高耐性

(2) 関連特許

- ・コリネ型細菌を用いる還元条件でのアミノ酸の製造方法 特許第4745753号
- ・組換え型コリネ型細菌を用いるエタノールの製造方法 特許第4927297号、米国第7598063号、中国第ZL01811146.7号
- ・D-キシロース利用機能が向上したコリネ型細菌形質転換体 特許第5564423号、米国第8685703号、中国第ZL200980123139.2号、EP第2287287号(DE)、インド第303401号

2. バイオ水素生産



(1) 技術特長

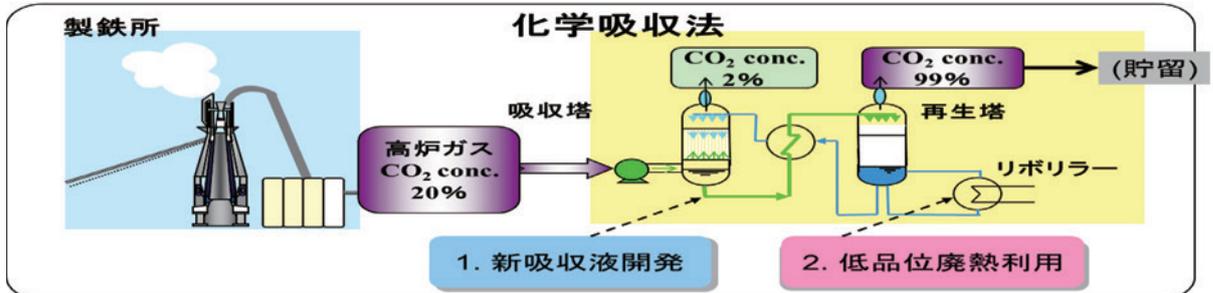
- ・培養（菌増殖）と水素生産を分離
- ・菌体を触媒として利用

(2) 関連特許

- ・水素生産能力に関する遺伝子を改良された微生物、及びその微生物を用いた水素の製造方法 特許第4746558号、米国第8728791号
- ・水素生成能力に関する遺伝子が改良された微生物、その微生物の培養法及び水素生成方法 特許第4827547号
- ・水素生成能力に関する遺伝子が改良された微生物およびその微生物を用いた水素の製造方法 特許第4588693号、米国第7816109号

二酸化炭素 分離・回収 に関する保有特許

1. 化学吸収技術



(1) 技術特長

- ・発電所燃焼排ガスや製鉄所高炉ガス等から、CO₂を高効率に回収 **分離・回収エネルギーを大幅に低減**
- ・石炭ガス化ガスや天然ガス等の高圧ガスに含まれるCO₂を高圧で分離・回収
(高圧再生型化学吸収液)回収したCO₂の昇圧エネルギー削減で**分離・回収エネルギーの大幅低減**

(2) 関連特許

- ・ガスに含まれる二酸化炭素を効果的に回収(吸収)する水溶液(方法)
特許第5557426号、特許第5506486号、特許第5449059号、特許第5452222号、特許第6463186号
- ・高圧用二酸化炭素吸収剤並びに高圧二酸化炭素吸収及び回収方法 特許第5812867号

2. 固体吸収技術



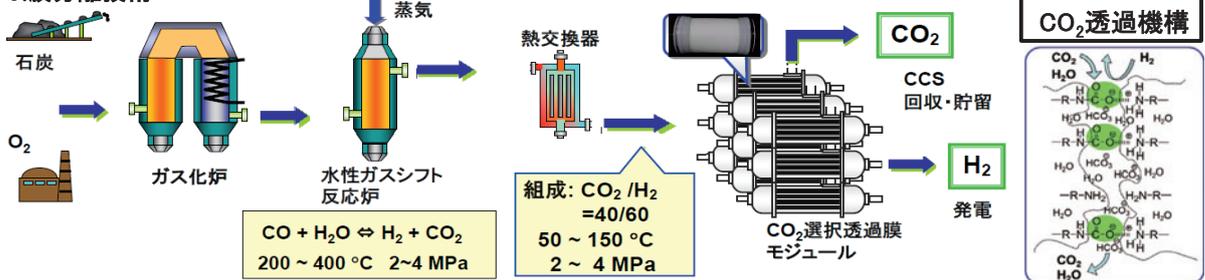
(1) 技術特長

- ・アミンを多孔質材料に担持 (燃焼排ガス用固体吸収材)し、**分離・回収エネルギーを低減(約3割減)**
- ・**低濃度(1%未満)のCO₂回収が可能(閉鎖空間利用)**
- ・**除湿プロセスを簡略可能な耐水蒸気型のCO₂吸着材**

(2) 関連特許

- ・二酸化炭素分離材及び二酸化炭素を(選択的に)分離又は回収する方法
特許第5186410号、特許第6300457号、米国第9931610号

3. 膜分離技術



(1) 技術特長

- ・石炭ガス化複合発電の**高圧ガスからCO₂を効率よく分離・回収** 圧力駆動で省エネルギーを実現
- ・**CO₂とそれ以外のガス(H₂、N₂等)を効率よく分離**

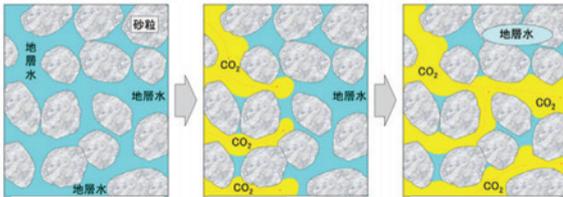
(2) 関連特許

- ・CO₂ガス分離膜(高分子膜)及びその製造方法(利用)
特許第4980014号、特許第5314291号、特許第5329207号、特許第6235479号
- ・新規トリアジン誘導体ならびにその製法およびそのガス分離膜としての用途 特許第5186126号

二酸化炭素 地中貯留・地層評価 に関する保有特許

1 CO₂マイクロバブル地中貯留技術

砂岩などの岩石は砂粒が固まってできたもので多くの間隙を持ち、地層水が溜まっています。CO₂はこのような岩石の間隙に貯留されます。



岩石の間隙には、地層水として古い時代の塩水が溜まっています。

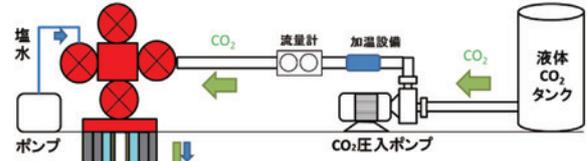
圧入されたCO₂は、地層水の中を流れていきます。

小さな間隙にある一部の地層水は残ります。

貯留層中のCO₂浸透のイメージ

マイクロバブル地中貯留技術とは、特殊フィルターを利用してCO₂をマイクロバブル(微細気泡)化し、より小さい間隙にまでCO₂を浸透させる技術です。

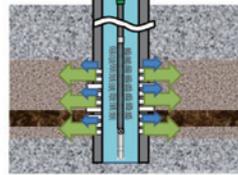
マイクロバブルCO₂圧入現場実証試験



石油資源開発(株) 申川鉱場にて実施した従来方式との比較実証試験において、以下のような結果が得られました。

【マイクロバブルCO₂圧入の効果、効用】

- ポイント1: 圧入性向上
マイクロバブルCO₂圧入では圧入性(Injectivity)が高くなる
- ポイント2: CO₂貯留率向上
マイクロバブルCO₂圧入でのCO₂貯留率は従来方式での圧入より高くなる



超臨界CO₂+塩水圧入(体積比9:1)

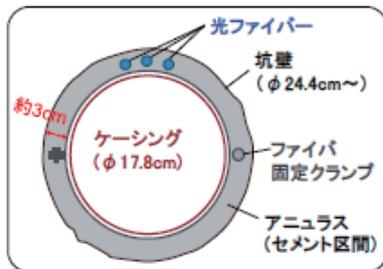
(1) 技術特長

- ・特殊フィルターによってCO₂を微細気泡(マイクロバブル)にして地下深部貯留層へ圧入することにより、長時間安定して貯留層内部に滞留させることが可能
- ・浸透性が低い油層や生産性が低下した油層を対象としたCO₂-EOR(石油増進回収)にも適用可能
- ・CO₂以外の廃ガス(フレアー)にも適用可能

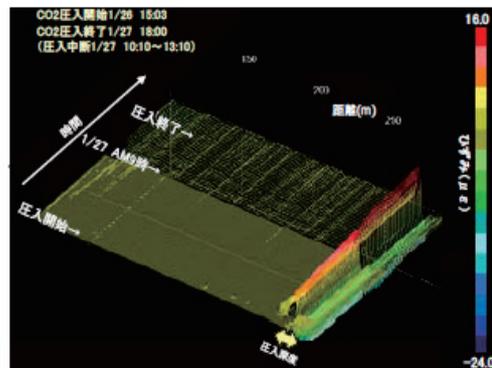
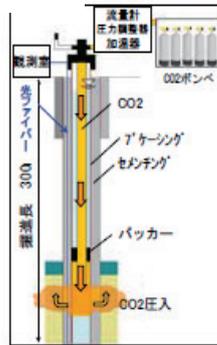
(2) 関連特許

- ・貯留物質の貯留装置および貯留方法
特許第5399436号

2 光ファイバーによる地層安定性評価技術



光ファイバーの設置概念図



CO₂圧入時の地層変形測定評価結果

(1) 技術特長

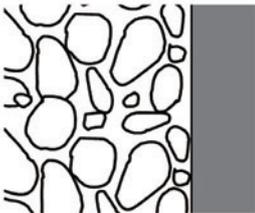
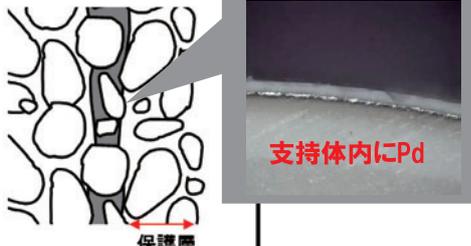
- ・光ファイバー内の散乱波周波数シフトや光ファイバー特有の係数を基に、物体のひずみを計測
- ・従来はひずみ計を取り付けた箇所のみ計測可能であったが、光ファイバーによる計測では光ファイバー全体で計測できるため、深度方向における地層変形を連続的に把握することが可能
- ・CO₂地中貯留サイト、石油ガス田開発、シェールガスやメタンハイドレート開発に応用可能

(2) 関連特許

- ・物体の体積変化計測方法
特許第5747408号、米国第9360304号、中国ZL201280075218.2
- ・光ファイバケーブル、光ファイバケーブルの製造方法、および分布型測定システム
特許第5980419号、米国第9557196号、中国ZL201480026273.1

無機膜に関する保有特許

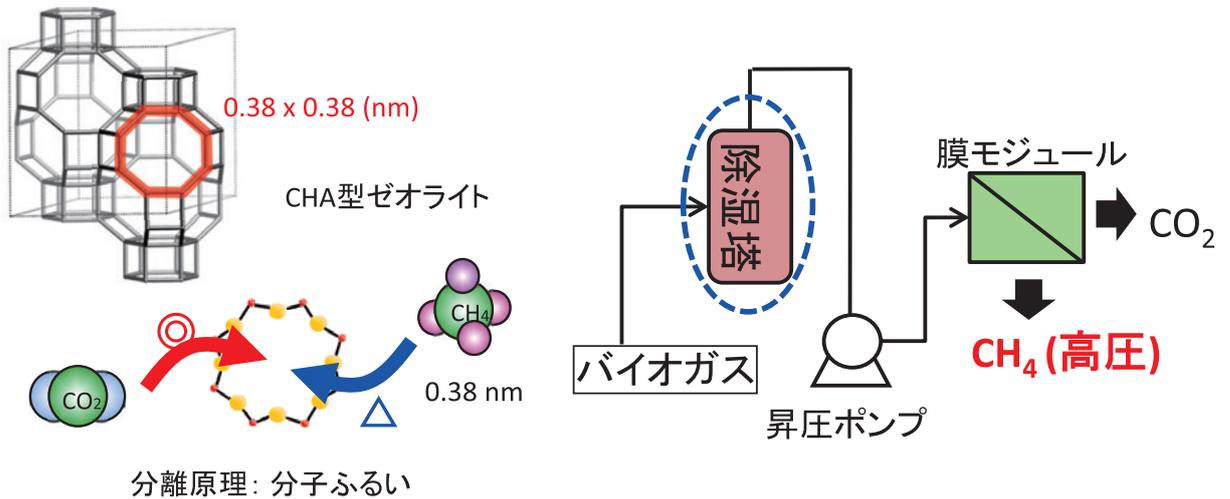
1. 細孔内充填型パラジウム分離膜

RITE		
遊離型(圧延膜)	通常型薄膜 (無電解めっき、電解めっき、 スパッタ、CVD 等)	細孔内充填型 (目的とする膜構造)
		
高コスト	低耐久性*	保護層

* 熱膨張係数差、水素脆化、触媒との合金化、機械的ダメージ

- (1) 技術特長
- 支持体の内部に形成(従来は支持体の表面) **耐久性向上の可能性**
 - Pd使用量は、従来技術(表面型)の3分の1程度に低減**
- (2) 関連特許
- 多孔質基材の内部に薄膜化した金属充填層を有する複合体の製造方法および複合体
特許第6208067号

2. ピュアシリカゼオライト分離膜



分離原理: 分子ふるい

- (1) 技術特長
- 従来技術より、**2~10倍高いガス透過率**が得られる(特に、**二酸化炭素**)。
 - 従来技術より、**水蒸気安定性に優れた分離膜**である。
- (2) 関連特許
- ピュアシリカゼオライトの製造方法 **特許第5244367号**

RITE Today ^{2020 Vol.15} 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

〒619-0292 京都府木津川市
木津川台9丁目2番地
TEL. 0774-75-2300
FAX. 0774-75-2314

9-2, Kizugawadai, Kizugawa-Shi,
Kyoto 619-0292 JAPAN
Telephone: +81 774-75-2300
Facsimile: +81 774-75-2314