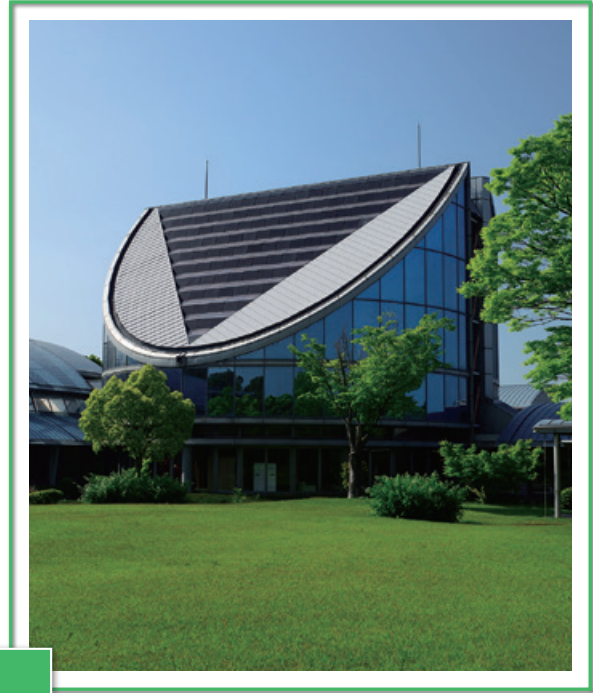


# RITE Today <sup>2017 Vol.12</sup> Annual Report

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 年次報告書 2017年版 第12号



# RITE Today

2017 Vol.12

## Contents

### 巻頭言

- CCS の社会受容性  
●● 公益財団法人深田地質研究所 理事長 松岡 俊文 03

### 特集

- 無機膜研究センターの取り組み  
●● 無機膜研究センター センター長 中尾 真一  
産業化戦略協議会会長 久徳 博文 04

### 研究活動概説

- 企画調査グループ ● CCS の現状と今後の導入に向けた課題 08
- 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 14
- バイオ研究グループ ● バイオリファイナリー社会の実現を目指したバイオ燃料・グリーン化学品生産 20
- 化学研究グループ ● CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み 26
- CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ ● 実用化規模に適用できる CO<sub>2</sub> 地中貯留に係る安全管理技術開発の取り組み 32
- 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 38

### トピックス

44

### 普及啓発活動

52

### 2016 年（平成 28 年）発表論文一覧

54

### 2016 年（平成 28 年）主な関連新聞記事一覧

65

### 特許紹介

66



## CCSの社会受容性

公益財団法人深田地質研究所  
理事長 松岡 俊文

昨年12月に、サハラ砂漠における37年ぶりの積雪がニュースになった。我が国においても「記録的短時間大雨情報」という言葉を何度も耳にした。温暖化による地球規模での気候変動が、益々身近に感じられるようになった。気候変動は、さまざまな社会リスクを生み出すが、「気候安全保障」という概念が多くの場面で議論されるようになって来た。米国では「気候変動は、自然災害の増加、難民の流入、食料や水等の生活必需資源に係る紛争の増加をもたらす、米国の国家安全保障に対して緊急かつ増大する脅威である」と認識されるに至っている。もはや気候変動は、集中豪雨が多発すると言ったようなレベルの問題ではなく、国家における安全保障上のリスクと考えて、その対応が取られつつある。無論のこと、このリスクを作り出している温暖化に歯止めを掛けることが、最も重要である。

温暖化対策の1つであるCCSは、大量のCO<sub>2</sub>を一度に直接的に削減出来る為、経済的な対応策と考えられている。しかしながら、地表へのCO<sub>2</sub>の漏出や、圧入に伴う誘発地震の発生の懸念がある。これらはCCSを実施する際のリスクである。RITEの長年の技術開発は、これらのリスク軽減に大きく寄与してきた。温暖化が引き起こす地球規模でのリスクと、CCSの実施に伴うリスクを比較すると、冷静に考えればCCSを進める方が世界の将来にとって良いことのように思われる。しかしながら人間社会はそう簡単ではない。

昨年世界では、多くの専門家の予測を覆す出来事が起こった。英国では、国民投票によってEU離脱が決まった。また米国でのトランプ新大統領の誕生は、驚きをもって迎えられた。振り返ってみると、2010年にオランダで計画されたCCSプロジェクトが、住民の反対によって中止に追い込まれたのも、このような例の1つかも知れない。

オランダ政府はシェル石油と共同で、水素製造プラントからCO<sub>2</sub>を回収し、パイプラインを使用して約17km離れた枯渇ガス田まで輸送し、合計で1,000万トンのCO<sub>2</sub>を地中貯留するプロジェクトを計画した(Barendrecht プロジェクト)。しかしながら、地元住民の強い反対により実施が困難になった。専門家による事前評価では、サイト労働者や地域住民にとって、CCS実施のリスクは許容可能レベルであり、騒音や廃棄物の影響、交通量の増加も無視できるレベルと評価されていた。にもかかわらず、このプロジェクトは実現できなかった。その原因は、CCSの社会受容性に関する検討と配慮が不十分であったと反省されている。世界のリスクを私が背負うのはいやだという感情であろうか。アメリカファーストという標語で選挙戦を制したトランプ新大統領の温暖化に対する政策を見守りたいが、人間社会がくたす意志決定には、専門家の予想を覆す場合が少なく無いことを我々は肝に銘ずるべきである。

すでに世界では13カ所を超える大規模CCSが稼働中であり、その技術的基盤は固まりつつある。しかしながら建設予定地の住民がCCS事業を受け入れるかは、全く別次元の問題である。RITEは我が国のCCS技術開発を牽引してきた。今後はCCSの社会受容性などのソフト面に関しても、より積極的に研究を進められることを期待したい。



## メーカー、ユーザー企業、RITEが共同で 無機膜の早期実用化・産業化を目指す

センター長 中尾 真一

2016年4月に、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の研究開発を推進するとともに、その実用化・産業化を促進して地球環境の保全に貢献する研究組織として無機膜研究センターを設立しました。

### ——無機膜研究センターを設立した狙いをお聞かせ下さい。

日本の無機膜開発の現状は、研究の面では世界を大きくリードしていますが、実用化されているのはアルコール脱水用途のゼオライト膜の例があるだけで、幅広い分野での実用化、そして産業化に向けた取り組みが課題となっています。

私は「学」の立場で長らく無機膜研究に携わってきましたが、どうも最近の「学」の傾向として、論文を書くための研究が増えてきているように感じられます。工学の研究ですから、やはり産業応用を視野に入れた研究が必要でしょう。ちょうど2012年にRITEの化学研究グループのグループリーダーに就任した時、RITEであれば研究開発に加えて実用化・産業化に向けた取り組みを行えると思い、機構内の理解を得て、新たな研究組織設立の準備を進めてきました。関係各位から多大なご支援をいただき、お陰さまで無事設立することが出来ました。

### ——今、地球温暖化対策として無機膜はどのように期待されているのでしょうか。

当センターで対象としているのは無機材料の分離膜です。膜分離法は蒸留法や吸着法などと同じ分離技術の一つですが、これらの従来技術と比較してエネルギー消費量が小さく、大幅な省エネルギーを実現して生産プロセスイノベーションを創出する技術として期待されています。特に無機膜は、従来の有機高分子系の分離膜と比較して耐熱性や耐環境性に優れており幅広い用途で使えるとともに、分離性能の点でもこれまでの高分子膜の限界を超えるものとして注目されて



いるのです。また、水素社会を構築するために不可欠とされる水素分離膜としても研究開発が進められており、そういった点でも地球温暖化対策技術として期待されています。

### ——無機膜は欧米や中国でも研究開発が進んできていると聞きます。それらに対して我が国の技術開発はどのような状況でしょうか。

無機膜の研究は、もともと欧州が発祥の地でしたが、その後日本が先進的な研究に取り組み、世界を大きくリードするようになりました。ところが、近年、中国



が急速に追いついてきています。これは、研究開発の早い段階から実証プラントを使った実験を行い、抽出された課題を研究にフィードバックするという手法をとっているためです。実証には大きな費用が掛かりますが、日本も早期の実証をやすくする仕組み作りが肝要です。

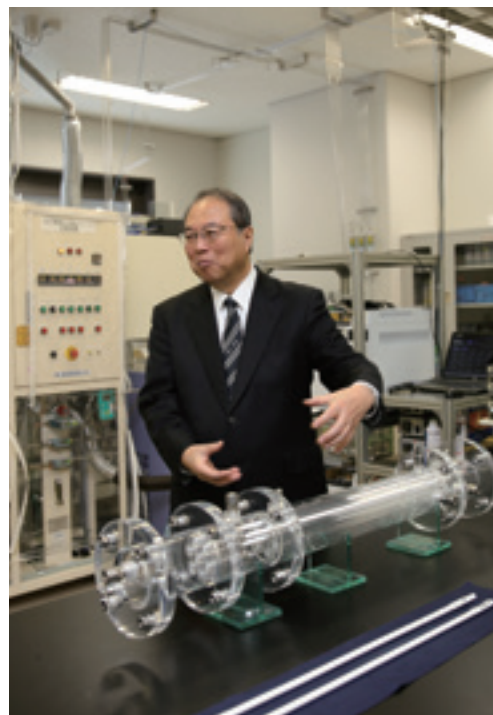
——無機膜研究センターでは産業連携部門を設け、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化へ向けた取り組みも行っています。研究機関であるRITEが無機膜産業の確立をリードする意義はどのようなところにありますか。

研究機関とはいえ実用的に使われない技術の研究開発を行っていても意味がありません。その名前に「産業技術」とうたっているRITEですので、やはり研究開発と同時に無機膜産業を確立することも考えないといけないと考えたわけです。そのためには、メーカーとユーザー企業が多様な視点から複合的に協力していく必要があります。メーカー同士、ユーザー企業同士の協力も不可欠です。RITEは中立的な研究機関ですので調整役として貢献できる余地は大きいと思います。また、RITEは無機膜に関する先進的な研究開発に取り組んでおり、豊富な知見を持っています。さらに、これまで主にユーザー企業とは強固な信頼関係を構築してきました。メーカーおよびユーザー企業と連携しながら、無機膜産業の確立に貢献できると考えています。

——アドバイザーボードとして無機膜の第一人者の先生方が多く参加されています。中堅・若手研究員への技術伝承を行なうことも無機膜研究センターの目的の一つに掲げていますが、これに対する想いをお聞かせ下さい。

これまで培ってきた技術を着実に次の世代に伝承していくことは大切なことです。大学では教授が交代すると研究室の研究テーマ自体が変わることが一般的で、残念ながらなかなか技術伝承ができません。その点、RITEのような研究機関であれば、そのような心配がないと言えます。

幸い、各種無機膜や、主たる出口の一つである水素や燃料電池の第一人者の先生方に無機膜研究センターの趣旨にご賛同いただき、アドバイザーにご就任いた



できました。RITEの中堅・若手研究者だけではなく、広く企業の研究者にも技術伝承の場として活用していただければと思っています。

——設立から一年弱が経ち、様々な活動が動き出していると思いますが、今後のスケジュールや展開についてお聞かせ下さい。

研究部門の活動は、着実に成果が上がっています。シリカ膜を用いたエネルギーキャリア（注：水素を効率的に輸送・貯蔵する技術）の脱水素用膜反応器など、無機膜の早期の産業化につながる研究開発が進展しています。また、国や民間企業への新たな研究開発の提案も積極的に進めています。

産業連携部門では、昨年4月15日に、メーカーやユーザー企業から構成される「産業化戦略協議会」を設立しました。大阪ガスの久徳様に会長を務めていただき、現在16社で活動を進めていますが、テーマ別にニーズ・シーズマッチングやロードマップ策定などの取り組みを行う研究会や、会員限定セミナーなどの活動を活発に行っています。

研究部門と産業連携部門が密接に連携しつつ、メーカー、ユーザー企業、RITE共同での研究立ち上げなどを図り、無機膜の早期の実用化・産業化につなげていきたいと思っています。



## 『無機膜を何とか産業化したい』と集まった会員企業が 熱心に検討や議論を進めています

産業化戦略協議会会長 久徳 博文

無機膜研究センターでは、最大の特徴として研究部門のほかに産業連携部門を設置し、分離膜・支持体メーカー、ユーザー企業の企業会員から構成される「産業化戦略協議会」を主催して無機膜の実用化・産業化に向けた多様な取り組みを推進しています。

——無機膜研究センターと産業化戦略協議会について初めてお聞きになったときの感想と、会長をお引き受け頂いた理由についてお聞かせ下さい。

私自身はこれまで無機膜には担当の技術開発部門の一テーマという程度しか関与したことがなかったのですが、RITEからお話を伺って、無機膜が地球環境保全、そして日本の産業競争力強化につながる貴重な技術であり、その実用化・産業化への取り組みが喫緊の課題であることを知りました。その実用化・産業化に向けた取り組みを行う「産業化戦略協議会」の活動に、無機膜の潜在的なユーザー企業であるガス会社で技術開発を行ってきた経験がお役に立てるのではないかと感じ、お引き受けすることにしました。



1978年大阪瓦斯株式会社入社、2005年理事、2008年エネルギー技術研究所長、2009年執行役員、社団法人日本ガス協会常務理事、2010年取締役常務執行役員を経て、2013年4月代表取締役副社長執行役員に就任。2016年6月より顧問。

——無機膜を産業化するにはどのようなことが必要でしょうか。

やはり、分離膜・支持体メーカーとユーザー企業が、実用化・産業化に向けたビジョンを共有化することが必要だと思います。そのためには、メーカーとユーザー企業がお互い知恵を出し合ってロードマップを策定するということがとても大切なことだと思います。協議会では、まずはそれを最重要課題として取り組んでいきたいと思っています。

そのようなロードマップの策定やニーズ・シーズマッチングを行うにあたり、無機膜技術に精通していて、かつ中立的な立場であるRITEはその推進役として最適な存在ではないでしょうか。

——産業化戦略協議会は無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化を目指して発足しましたが、具体的にはどのような取り組みをされていますか。

協議会の柱となる取り組みとして、テーマを設定してそのテーマ別にロードマップ策定やニーズ・シーズマッチングを行う「研究会」があります。昨年4月の協議会発足以来半年にわたって、どのようなテーマの研究会を立ち上げるか、会員が集って事前検討を進め、11月に「CO<sub>2</sub>分離研究会」、「水素製造研究会」、「共通基盤（信頼性評価等）研究会」の3つ研究会を立ち上げました。検討を始める前はどのような雰囲気になるか少し心配もしましたが、会員の皆さんに積極的に建設的な議論をしていただき、今ではお互いの信頼関係も醸成されつつあります。とてもよい形で研究会を



立ち上げることが出来たのではないかと思います。

——産業化戦略協議会の活動として、従来にはないような特徴的なものがあれば教えてください。

メーカー・ユーザーが入った協議会としても特に目新しいものはありませんし、研究会にしてもいろいろな分野でこれまでも同様の取り組みは試みられてきたと思います。ただ、今回は「無機膜を何とか産業化したい」との想いに賛同した会員が集まっており、熱心に検討や議論が進められています。このような雰囲気、場、というものが、こういう活動が実を結ぶためのポイントだと思います。参加者全員でこの「場」をさらに盛り上げていけるような協議会の運営を目指しています。

——会員の中にはお互いライバル関係にある企業同士も含まれていると思いますが、協議会の運営上、難しい点はありませんか。

やはり、それが一番難しいところです。もちろん、メーカー同士はライバル関係にありますし、またユーザー企業のニーズは事業戦略に直結する話です。ただ、「無機膜はこのままではなかなか実用化・産業化できないのではないか」との危機感がメーカーにあり、幸いにしてお互い協力していく素地がありました。また、ユーザー企業側にも、協議会の活動で無機膜の高いポテンシャルを知り、活用していきたいとの気持ちが高まっています。知的財産権などの点での難しさもありますが、皆で知恵を出し合って乗り越えていきたいと思っています。



——今後の協議会における産業化に向けての活動と抱負をお聞かせ下さい。

これから研究会の活動が本格化します。実用化・産業化に向けての第一歩ですので、これを着実に進めていきたいと思っています。そして、会員の要望を十分反映しながら、研究会での成果を共同研究などさらに一歩進んだ活動につなげていくことを目標としています。また、会員向けセミナーやニーズ・シーズ情報の提供を行い、会員にとっていろいろな点で役に立つ活動を進めていきます。

無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化を一日も早く実現して、地球環境の保全と日本の産業競争力強化にお役に立つことができればと思っています。

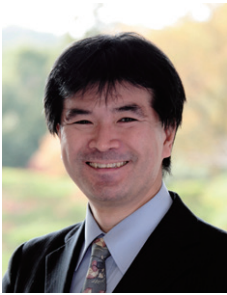
(聞き手・企画調査グループ 辰巳奈美)



産業化戦略協議会 総会



## 企画調査グループ



グループリーダー  
都筑 秀明

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	野村 眞	主幹・主任研究員	東 宏幸
サブリーダー	中村 哲	主幹・主任研究員	清水 淳一
主席研究員	高木 正人	主幹	美澄 祐志
研究管理チームリーダー	作山 邦夫	主幹	倉中 聡
国際標準化チームリーダー・副主席研究員	青木 好範		
副主席研究員	出口 哲也		
副主席研究員	和泉 良人		
調査役・主任研究員	中神 保秀		

## CCS の現状と今後の導入に向けた課題

### 1. はじめに

一昨年（2015年）12月にCOP21で合意されたパリ協定では、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて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こと」、「今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成するために、最新の科学に従って早期の削減を行うこと」などが盛り込まれた。これらの目標を達成するためには、様々な対策手段を用いて取り組むことが極めて重要である。特に、人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡、つまりゼロエミッションを達成するためには、従来技術の枠を超えた革新的な技術の開発が必要である。

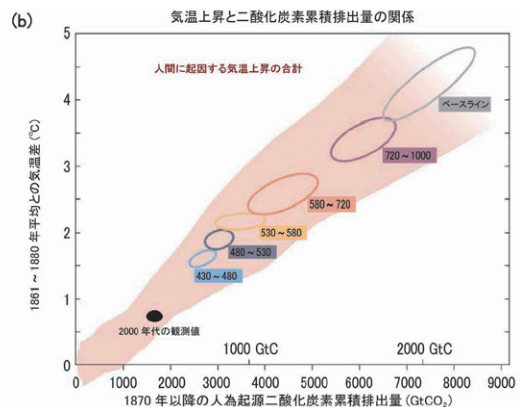
このような中、温室効果ガスである二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を削減する重要な対策の一つとして、二酸化炭素回収・貯蔵（CCS）が大きく期待されている。一方、CCSには、今後の導入に向けた様々な課題もある。

本稿では、CCSを巡る内外の動向を概観するとともに、CCSの今後の導入に向けて取り組むべき課題等について述べる。

### 2. ゼロエミッションとCCS

2014年に取りまとめられた気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次報告書 統合報告書の政策決定者向け要約に掲載されている「CO<sub>2</sub>の累積排出量

と世界平均地上気温との関係」を図1に示す。IPCC報告書では、この図の説明として、「2100年までの範囲では二酸化炭素累積排出量と予測される世界平均気温の変化量の間に、強固で、整合的で、ほぼ比例の関係があることを示している。」と記載されている。つまり、CO<sub>2</sub>の累積総排出量と世界平均地上気温は、ほぼ比例関係にあると言える。したがって、世界の平均気温を一定にさせるためには、CO<sub>2</sub>の「累積」排出量を一定にすること、つまり年間のCO<sub>2</sub>排出量をゼロにすることが必要である。CO<sub>2</sub>の年間排出量をゼロにするのは極めて難しい課題だが、温度の安定化のためには、いつかは達成させなければならない課題である。



出典：気候変動に関する政府間パネル 第5次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約 図SPM.5(b)

図1 CO<sub>2</sub>の累積排出量と世界平均地上気温との関係



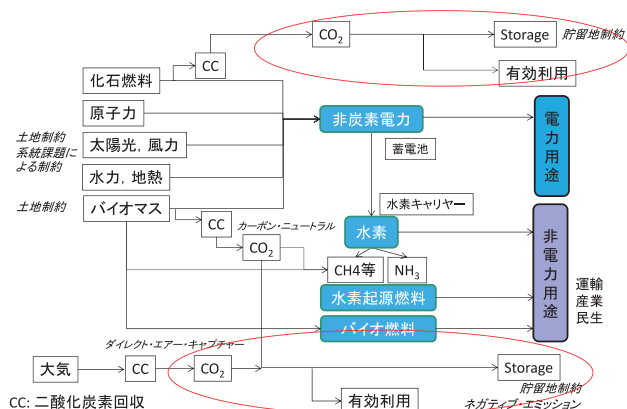


図2 ゼロエミッションに向けた対策技術の概念

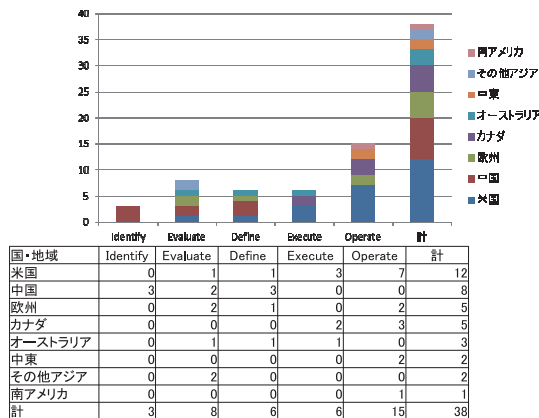
図2に「ゼロエミッションに向けた対策技術の概念」を示す。まず、エネルギー需要のうち電力用途については、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギー、更には原子力の導入が考えられる。しかし、太陽光、風力等のエネルギーは気候による出力変動が大きいという課題、原子力は、その安全性に関する国民の懸念がある。また、世界の膨大なエネルギーをこれらのエネルギーだけで賄えるかという課題もある。このため、CCSを装備した火力発電所等の導入が必要と考えられる。一方、産業用熱需要などの非電力用途においては、カーボンフリーの電力(非炭素電力)から生産した水素やカーボンニュートラルのバイオマスから生産したメタンなどが考えられる。また、鉄鋼生産、セメント生産等においては、製造のプロセスにおいてCO<sub>2</sub>を排出することから、大量のCO<sub>2</sub>発生量を削減するには、CCSが唯一の対策手段となっている。さらに、IPCC報告書においては、2°C目標達成のためには、大気中のCO<sub>2</sub>を削減するネガティブエミッションが対策の一つとして掲げられている。例えば、バイオマスエネルギーとCCSを組み合わせさせて大気中のCO<sub>2</sub>を固定化するBECCS、大気から直接CO<sub>2</sub>を回収して固定化するダイレクトエアキャプチャーなどの技術も考えられる。これらネガティブエミッションには、CCSとの組み合わせが不可欠である。以上の通り、ゼロエミッションに向けてCCS技術は極めて重要であると言える。

### 3. CCSの導入の現状

#### 3.1. 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

GCCSIの「世界のCCSの動向2016」によれば、世

界の大規模プロジェクトの開発状況は、運転中のものが15件、建設中のものが6件、全体で38件となっている。昨年に比べ、建設中のものが1件、全体のプロジェクトは7件減っている(図3参照)。



出典：The global Status of CCS 2016 VOLUME 2

図3 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

#### 3.2. CCS導入事例における導入の仕組み

大規模CCSプロジェクトを見ると、操業中のほとんどのプロジェクトが、天然ガス採掘の業種で、かつ貯留形態がEOR(石油増進回収法)のものであることが分かる。天然ガス採掘の場合は、元々天然ガス精製の際にCO<sub>2</sub>を分離するため、増分費用が輸送及び貯留に限定されることからCCSに比較的取り組みやすい。また、EORの場合は、回収したCO<sub>2</sub>を販売してコストを回収できるので、事業性がある。これらの点が操業中のCCSプロジェクトが、天然ガス採掘業種、EORに集中している理由と考えられる。このように、CCSの導入には、経済的に成立する要因が必要である。以下にCCS導入事例における導入の仕組みの例を説明する。

##### 3.2.1. バウンダリーダム発電所のCCSプロジェクト

2014年10月に、バウンダリーダム発電所において、発電分野におけるCCS大規模プロジェクトとしては世界で初めて、CO<sub>2</sub>を分離回収貯留するプロジェクトが運転を開始した。カナダでは、2015年7月に石炭火力発電所を対象に、CO<sub>2</sub>排出規制が施行された。バウンダリーダム発電所は、本規制の対象となり、第3号機のリプレイスに合わせて、CCSを実施することとした。バウンダリーダム発電所3号機の発電出力は11万kW、CO<sub>2</sub>回収量は年間100万tである。追加投

資となるCO<sub>2</sub>回収設備の費用、9億カナダドルに対して、カナダ政府から2億4000万カナダドルの補助金が出ている。また、回収したCO<sub>2</sub>のほとんどは、近隣の油田のEOR用に販売され、一部は貯留実証プロジェクトに利用される。このように、バウンダリーダム発電所のCCSプロジェクトは、CO<sub>2</sub>排出規制、政府からの補助金、EORへのCO<sub>2</sub>の販売等の仕組みの下で、実施されているプロジェクトと言える（図4参照）。

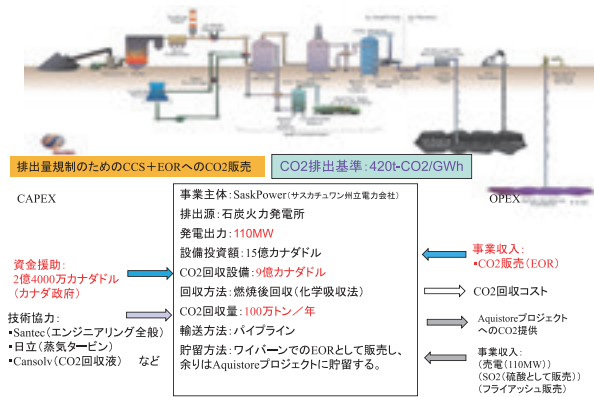
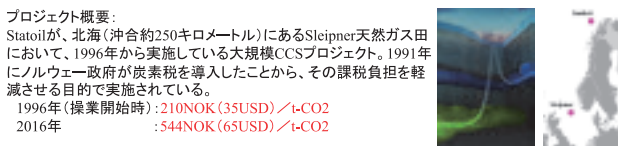


図4 バウンダリーダム発電所CCSプロジェクトの仕組み

### 3.2.2. スライプナーCCSプロジェクト

北海にあるスライプナープロジェクトは、天然ガス採掘の際に分離されているCO<sub>2</sub>を地下に貯留するものである。ノルウェー政府は、1991年に炭素税を導入した。GCCSIによれば、スライプナープロジェクトが操業を開始した1996年の炭素税は、210クローネ/t-CO<sub>2</sub>だったが、年々増加して2016年現在で544クローネ/t-CO<sub>2</sub>となっている。一方、CO<sub>2</sub>を地下に貯留するための追加コストは、17米ドル/t-CO<sub>2</sub>と推計され、年間の費用は約1億クローネと推計され



炭素税回避のためのCCS+天然ガス精製でCO<sub>2</sub>はもとも分離

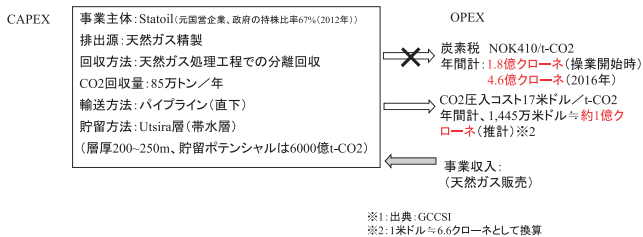


図5 スライプナーCCSプロジェクトの仕組み

ている。CO<sub>2</sub>を貯留しない場合に年間支払うべき炭素税は、操業開始時で約1.8億クローネ、現時点では4.6億クローネとなっており、CO<sub>2</sub>を貯留した方が安価である。このようなことを勘案して、天然ガス事業主体であるStatoil社は、炭素税回避のため、CO<sub>2</sub>を地下に貯留する対策を選択した。CO<sub>2</sub>は元々分離されるので、追加コストは貯留、輸送に要する費用に限定される。このように、スライプナープロジェクトは、炭素税の仕組みが導入されたこと及び元々天然ガス生産でCO<sub>2</sub>を分離していたことから、実施されているプロジェクトと言える（図5参照）。

### 3.3. CCSにおける規制の現状

#### 3.3.1. CCSにおける規制の概念

我が国においては、CO<sub>2</sub>回収、輸送では、CCSに特化した法令はないが、実施形態によっては、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、毒物及び劇物取締法等の規制を受け、必要に応じて環境影響評価、安全規制等が実施されることとなる。

一方、貯留では、実際にCCSプロジェクトが実施されている海外においては、既存法を改正するなど、法令等による規制が行われている。CO<sub>2</sub>を安全に貯留できる地点は有限な資源と捉えることができるため、その資源を最大限に有効利用すること必要である。また、地下空間には、様々な鉱物、資源が存在しており、これらの採掘などとの調整を法的に図る必要がある。このような観点から、国による規制が必要となる。また、CO<sub>2</sub>を大量に地下に埋めるため、その安全性は問題ないか、環境への影響はないかは、大変重要な課題である。規制機関による安全性確保のための規制、環境影響評価に関する規制が必要である。また、CO<sub>2</sub>の貯留量は、CO<sub>2</sub>削減量にカウントされるため、その量を正確に把握することを担保する必要もある。さらには、CO<sub>2</sub>の漏洩がないかのモニタリングなどの管理は長期間続く。したがって、民間企業である貯留実施者に何十年も義務を課すのは現実的ではないため、海外では、15年から20年、最大50年程度で、規制当局に管理義務を移管する制度がとられている。このことから、貯留には法的な規制体系を構築することが必要である。

CCSにおける規制の概念図を図6に示す。本図では、海外における規制を参考に、貯留の規制の概念図

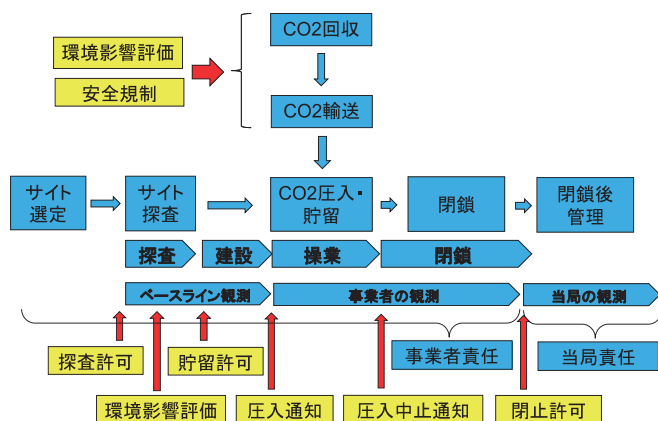


図6 CCSにおける規制の概念

を示す。まず、サイト選定を行い、十分な情報がない場合には、探査を行う。探査については、地下空間資源の有効利用、他の地下資源との調整等の観点から国による許可が行われる。探査の結果、実施が見込まれる場合には、環境影響評価を行い、貯留許可申請を行うことになる。安全性に問題はないか、環境への影響はないか、実施者に技術的、経済的能力はあるかなどの観点から審査が行われることになる。貯留許可が交付されると、施設・設備の建設段階へと移行し、完成後に圧入開始の通知を規制当局に対して行い、操業開始となる。その後、圧入が計画通りに実施され、終了した場合には、圧入中止通知を規制当局に対して行い、操業中止となる。その後、サイトを閉鎖して漏洩等がないか観測する。実施者による観測の結果、終了後15年から20年経過した後に規制当局に管理義務の移管を行う。なお、不測の事故、事象が起きた場合は是正処置等の処理方法についても、規制体系の中で規定することが必要である。

### 3.3.2. CO<sub>2</sub>貯留に関する内外の規制状況

日本におけるCCSに関連する法令としては、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」（海防法）があり、その他の関連法案としては、高圧ガス保安法、鉱業法、鉱山保安法等がある。これらの法令は、環境保全、安全確保等を目的としており、地下資源の有効利用等の観点から探査許可、圧入時の安全基準等のCCSを規制する法令は整備されていない。

欧州では、関連法令としては、2009年にCCS指令が施行された。この中で、サイトの選定、探査、申請、許可、運用、閉鎖後の義務等が規定されている。CCS

の法的規制としては、サイト選定、探査許可から閉鎖後終了までの規定が整備されており、包括的な枠組みとなっている。EUCCS指令を受けて、加盟国において、法的な措置をとることとなっており、現時点で国内法への移行はほぼ終了している。

米国では、関連法令としては、安全な飲料水に関する法律（Safety Drinking Water Act : SDWA）の規制の下で、安全な飲料水源の確保の観点から、UIC(Under Injection Control)プログラムにより規制が行われている。圧入井戸の種類により規制内容を決めており、CO<sub>2</sub>地下貯留については、クラスⅥとして基準が定められている。米国では、飲料水源の確保の観点からの規制のため、日本と同様に探査許可等の概念はないが、圧入時の安全基準等は整備されている。豪州では、関連法令としては、沖合石油法（OPA法）の改正で対応している。サイト選定、探査許可、圧入許可、圧入時の安全基準、閉鎖後管理等の規定が整備され、比較的包括的な枠組みとなっている。

### 3.3.3. EU CCS Directive の各国への移行状況

欧州におけるCCS Directive の各国の法令への移行状況を表1に示す。CCS Directiveは、2009年に施行され、その後、2011年までに各国の法令に移行され、2012年までに発効されることとなったが、2011年までにECにより移行として受け入れられたのはスペインのみであった。その後、順次移行が行われ、2013時点で、ECによる評価中のものも一部あるが、2013年にEUに加盟したクロアチアを含めたEU加盟国28か国において国内法への移行が終了している。

その結果、英国、オランダ、スペイン、フランス等は、国内すべての地域がCO<sub>2</sub>貯留許可の対象となった。ベルギー、ギリシャ、イタリアでは、地震地域、地層が国境を越えて連続している地域を除く限定された地域にのみCO<sub>2</sub>貯留を許可することとなった。ノルウェー、スウェーデンは、沖合地域に限定してCO<sub>2</sub>貯留を許可することとなった。ドイツでは、2018年までに年間最大400万トンのみ、1プロジェクト当たりの貯留量は130万トンのみがCO<sub>2</sub>貯留許可の対象となった。デンマーク、ポーランド等では、沖合のEOR、実証プロジェクトを除いて、一時的にCO<sub>2</sub>貯留を不許可とし、オーストリア、フィンランド、アイルランドなどでは、永続的にCO<sub>2</sub>貯留を不許可とした。

表1 EU CCS Directive の各国への移行状況 (CO<sub>2</sub>貯留許可に関するもの)

EU CCS Directive の移行状況 (CO <sub>2</sub> 貯留許可に関するもの)	該当国
全領土においてCCSを許可地域とした国	クロアチア、キプロス、フランス、リトアニア、マルタ、ルーマニア、スロバキア、スペイン、オランダ、英国
貯留に制限を加えた国	
特定地域許可地域として除外した国	ベルギー、ギリシア、イタリア
開発地域の容積を制限した国	ポルトガル (容積)、ブルガリア (表面積)、ハンガリー (表面積)
CO <sub>2</sub> 貯留量を制限した国	ドイツ (2018年までに年間最大400万トン、1プロジェクト当たり130万トン)
沖合のみに貯留を制限した国	ノルウェー、スウェーデン
貯留を研究用途 (10万トン未満) に禁止した国	
一時的に不許可とした国	チェコ (2020年まで) デンマーク (沖合EORを除き2020年まで) ポーランド (実証プロジェクトを除き2024年まで)
永続的に不許可とした国	オーストリア、ブリュッセル首都圏地域及びベルギー沖合、エストニア、フィンランド、アイルランド、ラトビア、ルクセンブルク、スロベニア

出典：Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013

EUにおけるCO<sub>2</sub>最大排出国であるドイツでは、州議会の反対があったため、妥協の結果2018年までに年間最大400万トンのみを貯留許可する制度となった。また、EUで5番目に排出量が多いポーランドでは、長い議論の結果、実証プロジェクトを除いて一時的に貯留を不許可することとなった。これらの背景として、ドイツやポーランドでは、CCSに反対する環境NGOの運動があったことが報告されている。これらの事例では、EUによって法律制定の期限が定められたことから、返ってCCSの推進にとって好ましくない妥協の結果となってしまったと考えられる。今後わが国で枠組みを構築する上で、考慮すべき事項であると考えられる。

### 3.3.4. CCSのISO化

国際標準化機構 (ISO) では、専門委員会 (TC265) を設立し、CCSの規格原案の作成作業が行われている。TCの下に、「回収」、「輸送」、「貯留」、「定量化と検証」、「横断的課題」、「EOR」に関する6つのワーキンググループ (WG) が設置されている。これに対する我が国の体制としては、ISO/TC265国内審議委員会を設置し、対応を検討し、決定している。

各WGの活動状況及び進捗状況を表2及び図7に示す。各WGにおいては、技術報告書 (TR)、国際規格 (IS) の策定作業を行っている。

WG1では、回収技術の技術報告書が最終合意され、

2016年5月に出版した。本技術報告書は、日本が主導して議論を進めてきたが、TC265として初の出版物として発行された。また、発電分野燃焼後回収技術に関する国際規格の開発に着手し、現在委員会原案 (CD) が承認され、国際規格原案 (DIS) の策定に向けて開発を進めている。

WG2では、パイプライン輸送に関する国際規格が2016年の11月に出版された。TC265として初の国際規格である。

WG3では、陸域、海域の貯留を対象にした国際規格を開発中である。現在、国際規格原案 (DIS) が承認され、最終国際規格案

(FDIS) に向けて開発を進めている。

WG4では、定量化と検証分野の情報を集めた技術報告書が承認され、出版準備中である。これを踏まえた定量化と検証に関する国際規格の開発に着手した。

WG5では、CCSのポキャブラリに関する国際規格を開発中である。クロスカッティング用語に関する国際規格案 (DIS) が承認された。ライフサイクルマネジメントに関する技術報告書が承認され、出版に向けて最終準備が行われている。

WG6では、CO<sub>2</sub>-EORに関する国際規格の委員会原案 (CD) が否決され、内容を修正中である。

以上の通り、2016年に至り、技術報告書、国際規格がそれぞれ出版され、関連の国際規格、技術報告書の開発が進むなど、CCSのISO化が着実に進んでいる。

## 4. CCS導入のために着実に進めるべき対応の方向

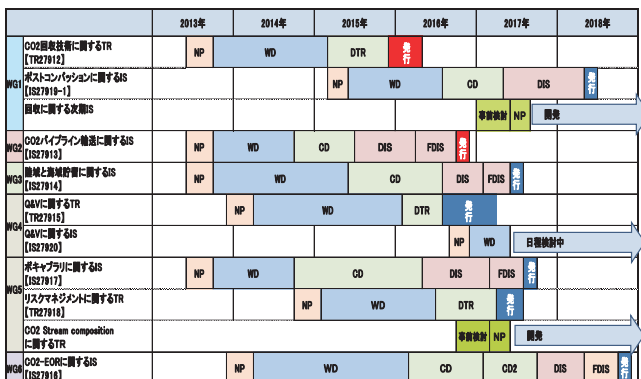
### 4.1. CCSの課題と今後取り組むべきこと

外部不経済の地球環境温暖化問題に対応する方策であるCCSは、市場原理だけでは導入が困難である。したがって、CCS導入のためには、補助金、税制インセンティブ、規制等の仕組みを構築することが不可欠である。CCSを今後本格的に導入していくためには、コスト削減、実施の不確実性の低減等が必要である。具体的には、①CCSコスト削減のための技術開発の継続的な実施、②CO<sub>2</sub>貯留賦存量の把握とデータベ

表2 CCSのISO化 (各WGの状況)

WG	標準化の内容	出版目標	備考
WG1 (回収)	●日本提案ベースに回収技術を集めたTRは、出版済み。(2016/5/15) ISO/TR 27912 ●IS (発電分野・燃焼後回収技術) のDIS開発中。ISO/CD27919-1 ●次期テーマの検討開始。	TR:2016 (済) IS:2018	ISO/TR 27912 は TC265からの最初の出版物。
WG2 (輸送)	●パイプライン輸送に関するISは出版済み。(2016/11/1)出版済み。ISO 27913	IS:2016 (済)	ISO 27913はTC265からの最初の標準。
WG3 (貯留)	●陸域、海域の貯留を対象にIS開発中で、DIS投票実施し承認。現在FDISに向けて作業中。ISO/DIS 27914	IS:2017	2017年5月FDIS投票開始予定。
WG4 (Q&V)	●定量化と検証分野の情報を集めたTRは、ISO事務局と出版準備中。ISO/TR 27915 ●IS化開始。ISO/AWI27920	TR:2017 IS:2019	IS開発開始。
WG5 (クロスカッピング)	●CCSのポキャプラリーに関するISを開発中で、FDISの準備中。ISO 27917 ●Lifecycle risk managementに関するTR出版準備中。ISO/TR 27918 ●CO <sub>2</sub> stream compositionに関する新テーマ。	IS:2017 TR:2017	分野別の用語のシリーズ開発はキャンセル。
WG6 (CO <sub>2</sub> -EOR)	●ISを開発中で、2回目のCD投票に向けて準備中。ISO CD27916	IS:2018	

(参考) 国際標準策定手続きの概要



NP:新規項目提案, WD:作業原案, CD:委員会原案, DIS:国際規格原案, FDIS:最終国際規格原案

図7 標準化のスケジュール

ス化、③日本の地層を想定した経済的で安全なCCS技術の開発、④CCS導入のための仕組み、法制度等の整備、⑤CCSの理解増進に取り組んでいくことが必要である。

#### 4.2. CCS導入に向けて明確にすべきこと

今後、CCSの本格導入に向けては、法制度の整備が必要である。しかしながら、EU CCS Directiveのドイツ、ポーランドの移行手続きを見ると、拙速に進めることは避けなければならないと考える。したがって、法制度を整備する前に、関係事業者、国民の理解を十二分に獲得することが不可欠である。この際、理解を得るためには、少なくとも、①CCS導入のため

のインセンティブ、規制等の仕組みの概要、②CCS導入に伴い、関係事業者、引いては国民が負うべき金銭的負担の見込み (CCSのコスト)、③CCSの導入により可能となるCO<sub>2</sub>削減量の見込み (CO<sub>2</sub>賦存量) を明確にすることが必要である。今後、上記の点を調査、検討して、その結果を提示することが、CCSを進める上で不可欠である。特に、CO<sub>2</sub>賦存量の把握は期間と資金が必要であるため、早期の調査開始が望まれる。

#### 5. まとめ

世界の平均気温を一定にさせるためには、CO<sub>2</sub>の「累積」排出量を一定にすること、つまり年間のCO<sub>2</sub>排出量をゼロにすることが必要である。ゼロエミッションに向けては、ネガティブエミッションが対策の一つとして考えられるが、このためには、CCSとの組み合わせが不可欠である。ゼロエミッションに向けてCCS技術は極めて重要である。

CCSの導入には、経済的に成立する要因が必要である。バウンダリーガム発電所CCSプロジェクトは、CO<sub>2</sub>排出規制、政府からの補助金、EORへのCO<sub>2</sub>の販売等の仕組みの下で、また、スライプナープロジェクトは、炭素税等の仕組みの下で実施されている。

海外ではCCS導入のための法整備が進んでおり、今後日本でもCCS導入に必要な法制度を進めていく必要があるが、拙速に進めることは避けなければならない。法制度を整備する前に、関係事業者、国民の理解を十二分に獲得することが不可欠である。少なくとも、①CCS導入のためのインセンティブ、規制等の仕組みの概要、②CCS導入に伴い、事業者、引いては国民が負うべき金銭的負担の見込み (CCSのコスト)、③CCSの導入により可能となるCO<sub>2</sub>削減量の見込み (CO<sub>2</sub>賦存量) を明確にすることが必要である。



## 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

### 【コアメンバー】

主席研究員	友田 利正	研究員	林 礼美
主任研究員	和田 謙一	研究員	有野 洋輔
主任研究員	長島美由紀	研究員	ショアイ・テラニ・ピアンカ
主任研究員	本間 隆嗣	研究員	魏 啓為
主任研究員	佐野 史典		
主任研究員	小田潤一郎		
主任研究員	山川 浩延		
主任研究員	中神 保秀 (企画調査グループ兼務)		

## システム研究グループの研究活動報告

システム研究グループは、システム的な思考、システム的な分析を通して、地球温暖化やエネルギー対応に関する有用なる情報提供を国内外に行っている。以下に、2016年に当グループが取り組んだ研究の中から3つのテーマを紹介する。1つ目は、パリ協定で言及がなされた1.5℃目標に関する分析である。2つ目は、CO<sub>2</sub>削減とPM2.5削減のコベネフィット分析を含む排出削減戦略の評価である。米国や中国等での温暖化対策としてPM2.5削減とのコベネフィットが強調されることが多くなっており、定量的な分析を実施した。3つ目は、炭素価格の不確実性、変動性を踏まえたときの温暖化対策の合理的な投資行動の分析、評価である（CCSを例に分析）。このような分析、評価を通して、より良い温暖化対策・政策立案に貢献してきている。

### 1. 1.5℃目標の排出経路と削減費用の評価

2015年12月に合意され、2016年11月に発効したパリ協定では、長期目標として、全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2℃未満に十分に（“well below”）抑える。また1.5℃に抑えるような努力を追求する、とした。そして、COPの要請に応じて、気候変動に関する政府間パネルIPCCは、1.5℃目標の影響と排出経路に関する特別報告書を2018年までに策定することとなった。そのような背景の下、1.5℃目標の排出経路と削減費用の分析、評価を行った。

#### 1.1. 気温目標に関する各種不確実性と1.5℃目標の気温経路の想定

パリ協定では1.5℃目標に言及がなされたが、政治文書であるパリ協定の曖昧さに加え、そもそも気温上昇推計に大きな科学的な不確実性が存在している。例えば1.5℃未満をいつの時点で達成することが求められているのか。1.5℃未満をどの程度の確率で達成することが求められるのか。もしくは、期待値として1.5℃をどの程度下回るようにすることが求められるのか。そもそも気候感度（大気中温室効果ガス倍増時の気温上昇の程度）が不確実であるとともに、その確率密度分布関数自体が不確実である。

本研究では、表1のように気温経路として3種類を、気候感度についても3種類を想定した。IPCC第4次評価報告書（2007年）では平衡気候感度は2.0～4.5℃がありそうな範囲で、最良推定値は3.0℃とされていた（このとき3.4℃程度が66%以上で対象とする気温目標を達成できる水準とおおよそ見込まれる）。第5次評価報告書（2013年）では1.5～4.5℃がありそうな範囲で、最良推定値は合意できないとした（第3次評価報告書（2001年）以前は同じく1.5～4.5℃がありそうな範囲としており、このときは最良推定値は2.5℃としていた）。これらを参考に表1のように平衡気候感度の水準を想定した。

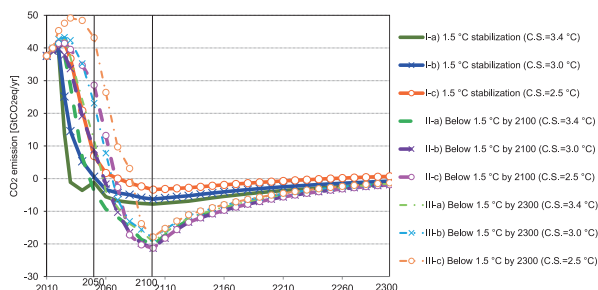
表1 1.5°C目標に関する分析のシナリオ想定

気温経路	平衡気候感度		
	a) 3.4°C	b) 3.0°C	c) 2.5°C
I) 1.5°C安定化 (全期間で1.5°Cを下回る)	I-a	I-b	I-c
II) 2100年までに1.5°C未満 (気温のオーバーシュート有; ピーク気温: 約 1.75°C)	II-a	II-b	II-c
III) 2300年までに1.5°C未満 (気温のオーバーシュート有; ピーク気温: 約 2.0°C)	III-a	III-b	III-c

### 1.2. 1.5°C目標実現のための排出経路

表1で想定した気温推移と気候感度より、1.5°C目標実現が期待できる世界のCO<sub>2</sub>排出経路について、IPCC等でよく活用されている簡易気候変動モデルMAGICCと、RITE開発の世界エネルギー・温暖化対策モデルDNE21+によって導出した(図1)。図1のように、すべてのケースで世界での正味負排出が必要である。とりわけ気温のオーバーシュートシナリオの場合(シナリオII、III)、いずれのシナリオでも2100年には年間約20 GtCO<sub>2</sub>もの負排出が必要となる。なお、1.5°Cに限らないが、気温安定化のためにはいずれのケースでも長期的にほぼCO<sub>2</sub>ゼロ排出が必要である。

なお、GHG排出量で見ても、最も厳しいI-aシナリオでは、2030年時点において世界の排出量を2010年比で85%も削減する必要がある。一方、最も緩いIII-bシナリオでは、2030年までのGHG排出経路は、既に各国が提出した排出削減目標(約束草案)と整合的な水準にあるが、2100年に向けて大幅な正味負排出が必要で、その後も2300年にかけて負排出を続ける必要があり、植林による吸収では世界の土地利用の制約上、実現不可能と見られる。


 図1 1.5°C目標のための世界のCO<sub>2</sub>排出量推移

### 1.3. 1.5°C目標実現のための排出削減費用と対策

DNE21+モデルによって、世界の排出削減対策とそのときの費用を2050年までの期間について推計した。I-aおよびII-aシナリオ(いずれも気候感度3.4°C)

の場合、DNE21+モデルの分析において実行可能な解は存在しなかった。1.5°C目標の排出経路は気候感度が3.0°Cの場合(I-b、II-bシナリオ)、少なくとも2050年までは実行可能な解は存在するが、2100年に1.5°Cの場合(オーバーシュート)は2050年の限界削減費用は710 \$/tCO<sub>2</sub>程度、1.5°C安定化の場合には5900 \$/tCO<sub>2</sub>程度と推計される(いずれも世界全体で費用最小化の場合)。

図2に世界一次エネルギー供給量を示す。I-bシナリオでは、2030年時点で、石炭利用量は相当抑制、BECCSの導入も見られる。一方、I-c、III-b、III-cシナリオでは、2030年まではそれほど大きなエネルギー構成の変化は見られない。また、III-cシナリオでは2050年でもそれほど劇的な変化は見られない(ただし、このシナリオでは2050年以降、急激な排出削減が求められる)。

なお、発電電力量については、一次エネルギー供給量とは異なり、厳しい排出削減となるシナリオで、より大きな電力量となる傾向にある(脱炭素電源化の対策と一体化しての対策によって)。また、植林やCCSによるCO<sub>2</sub>固定量は、2050年にそれぞれ年間10 GtCO<sub>2</sub>程度もの量が必要と見込まれる。

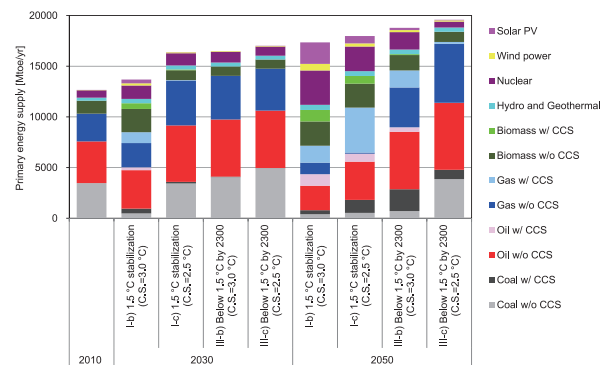


図2 1.5°C目標シナリオの世界一次エネルギー供給量

### 1.4. まとめ

パリ協定では、2°C目標に加え、1.5°C目標に言及がなされた。様々な不確実性があり、排出経路の可能性は幅広く存在する。しかし、不確実性を考慮したとしても、1.5°C目標の多くは2030年の約束草案とあまりに大きなギャップがある。約束草案とのギャップが小さいシナリオでも、21世紀後半から2300年にかけて、継続的に大きな正味負の排出が必要であり、実現性は極めて乏しいと考えられる。

## 2. 温室効果ガス排出削減と大気汚染対策との関連分析

### 2.1. はじめに

大気汚染物質である浮遊粒子状物質(例：PM2.5)についての健康影響被害が、途上国をはじめとし、先進国でも懸念されている。一方で、温室効果ガス排出削減も、世界的な重要課題とされている。このような背景の下、温室効果ガス排出削減に伴って、同時にPM2.5排出を抑制できるといったコベネフィットがあると期待されている。

これらの関係を定量的に分析し、対策のあり方の示唆を得るため、2016年に火力発電所からのPM2.5起因物質であるSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>に焦点を当て、システム研究グループで開発してきている世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+を用い、温室効果ガス排出削減と大気汚染対策との関連について分析を行った。

### 2.2. SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出削減対策のモデル化

火力発電所におけるSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>の排出削減対策については、数多く商用化されている技術として、SO<sub>2</sub>対策としては、湿式法による排煙脱硫、NO<sub>2</sub>対策としては、燃焼改善技術である低NO<sub>x</sub>バーナー、排煙脱硝技術である乾式触媒選択還元法の3つが知られている。本研究では、DNE21+モデルを拡張し、これらSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>対策技術を明示的に考慮した。表2は、火力発電の技術別発電電力量当たりSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出量と、設備費の想定例である。

表2 火力発電の技術別発電電力量当たりSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出量と設備費の想定(2030年)

技術	発電効率	排出削減対策の有無*1	SO <sub>2</sub> 排出量 [gSO <sub>2</sub> /kWh]	NO <sub>2</sub> 排出量 [gNO <sub>2</sub> /kWh]	設備費 [US\$/kW]
石炭火力	低効率	無し	9.88	4.39	600
		有り	0.24	0.44	970
	中効率	無し	5.97	2.65	1250
石油火力	低効率	無し	20.16	2.88	250
		有り	0.86	0.29	620
	中効率	無し	12.06	1.72	650
ガス火力	低効率	無し	0.29	1.80	300
		有り	0.29	0.18	360
	中効率	無し	0.20	1.23	650
高効率*2	有り	0.20	0.12	690	
	有り	0.15	0.09	1100	

\*1 排出削減対策が有りの欄には、モデル化した3つの技術全てを導入した場合の想定を記載している。ただし、SO<sub>2</sub>排出原単位の低いガス火力には、排煙脱硫技術の導入を考慮していない。

\*2 高効率技術については、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出削減対策が必ず導入されると想定している。

### 2.3. 分析ケースの想定

特段の温暖化対策を考慮せず、火力発電所からのSO<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>の排出原単位を2010年より悪化しないとするベースラインケースの他に、表3に示す分析ケースを想定した。CO<sub>2</sub>削減優先ケースは、火力発電所からのSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>についてはベースラインケースと同じ制約とした上で、エネルギー起源CO<sub>2</sub>の排出削減を行うケースである。排出削減レベルは、CP4.5：温室効果ガス濃度を650ppmCO<sub>2</sub>eqに安定化するレベル、CP3.7：温室効果ガス濃度を550ppmCO<sub>2</sub>eqに安定化するレベル、CP3.0：産業革命前比2℃未満が期待できるレベル、の3つを想定した。PM2.5削減優先ケースは、エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量には特段の制約を課さず、火力発電所からのSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出をCO<sub>2</sub>削減優先ケースの結果として得られた排出量まで削減するケースである(CO<sub>2</sub>排出削減のことは考えず、最も費用効率的にSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>の排出削減を行う)。

表3 想定した分析ケース

		想定
CO <sub>2</sub> 削減優先ケース	エネルギー起源CO <sub>2</sub>	エネルギー起源CO <sub>2</sub> を世界全体で最も費用効率的に削減する。排出削減レベルは、CP4.5、CP3.7、CP3.0とする。
	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub>	地域別のSO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 排出原単位は、2010年より悪化しないとする。
PM2.5削減優先ケース	エネルギー起源CO <sub>2</sub>	特段の温暖化対策を考慮しない。
	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 削減優先ケースの結果として得られる、各CO <sub>2</sub> 排出削減レベル下の地域別SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 排出量を排出制約とする。

### 2.4. 分析結果

図3に、各ケースにおける2030年の世界全体の電源構成を示す。CO<sub>2</sub>削減優先ケースにおいては、CO<sub>2</sub>排出削減策として、発電部門では石炭火力から、ガス火力や原子力発電、再生可能エネルギーへの転換が進むことがみとれる。また、電力需要部門での省電力も進み、総発電電力量も減少する。このようなCO<sub>2</sub>排出削減策の導入に伴い、火力発電所からのSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>の排出削減も同時に進むこととなる。2030年における排出量は、CP4.5の下では2010年と同程度まで抑制され、CP3.7では2010年の60%程度、CP3.0では2010年の18%(SO<sub>2</sub>)、26%(NO<sub>2</sub>)まで減少しており、CO<sub>2</sub>排出削減を進めることに依る大気汚染対策とのコベネフィットが存在することが定量的に示された。

一方、CO<sub>2</sub>削減優先ケースと同じSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出量



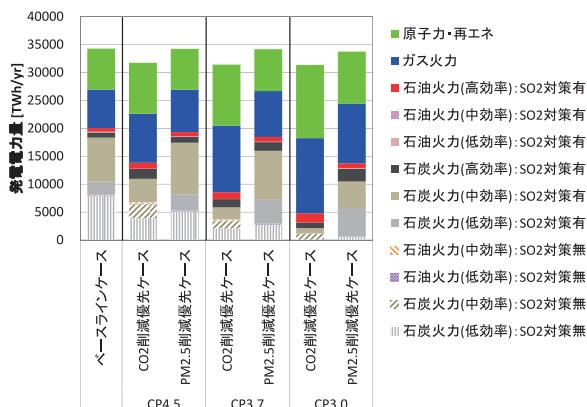


図3 2030年における世界全体の電源構成

まで抑制するために最も費用効率的な対策をとるPM2.5削減優先ケースにおいては、CO<sub>2</sub>削減優先ケースに比べ、SO<sub>2</sub>対策を導入した石炭火力をより多く利用する結果となっている。PM2.5の削減を優先するならば、電源構成そのものを変えるよりも、いわゆるエンド・オブ・パイプの対策技術を導入する方が費用効率的であるとの結果である。

このように、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>の排出削減手段がケースによって異なる状況について、各ガス排出の要因分解を茅恒等式に基づいて行った。図4は、CP3.7におけるSO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>の要因分解をCO<sub>2</sub>削減優先ケース、PM2.5削減優先ケースそれぞれについて示している。なお、NO<sub>2</sub>の要因分解は紙面の都合上割愛したが、SO<sub>2</sub>の要因分解と似通った結果となっている。

特に、短中期(2015~2030年)において、SO<sub>2</sub>排出削減対策の内容が、CO<sub>2</sub>削減優先ケースとPM2.5削減優先ケースで大きく異なる。CO<sub>2</sub>削減優先ケースでは、短中期における費用対効果の高い対策としては省エネ(エネルギー消費量/発電電力量の改善)がまず選

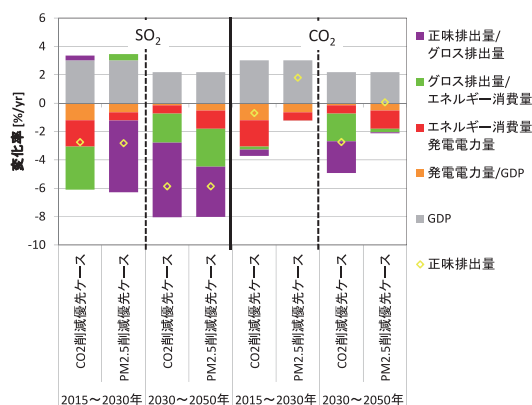


図4 SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>排出の要因分解(世界全体、CP3.7)

択され、削減が厳しくなるに伴って、燃料転換(エネルギー消費量/発電電力量やGross排出量/エネルギー消費量の改善)、CCS(正味排出量/Gross排出量の改善)といった対策が導入される。一方、PM2.5削減優先ケースでは、短中期における費用対効果の高い対策としては、脱硫・脱硝対策(正味排出量/Gross排出量の改善)が大きく貢献している。このように、費用対効果の高い対策の順序が異なるため、先に述べたように、同じSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出量の下でも電源構成に差異が生じる結果となっている。

それぞれのケースの費用について、2000~2050年における累積エネルギーシステムコスト(割引率は5%/年)のベースラインケース比増分で見ると、CO<sub>2</sub>削減優先ケースでは、0.8 Trillion US\$ (CP4.5)~5.3 Trillion US\$ (CP3.0)と評価されている。一方、PM2.5削減優先ケースにおけるその費用は、0.1 Trillion US\$(CP4.5)~0.8 Trillion US\$(CP3.0)であり、その差は非常に大きい。当然ながら温室効果ガス排出削減は重要であり、CO<sub>2</sub>排出削減対策はとられるべきである。しかし、仮にPM2.5による健康影響被害が大きい一方、ここで示されたようにSO<sub>2</sub>やNO<sub>2</sub>の削減費用が相対的に小さいならば、PM2.5削減が進んでいない途上国等で、これまでに日本等が行ってきたと同様に、CO<sub>2</sub>の大幅な削減よりもまずは安価な脱硫、脱硝等の対策を進めることが合理的な戦略と考えられる。

## 2.5. まとめ

火力発電所を対象としてSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>排出削減対策をDNE21+モデルで明示的に考慮した上で、温室効果ガス排出削減とPM2.5対策との関連について分析を行った。温室効果ガス排出削減を進めることにより、PM2.5の削減が進むといったコベネフィットが存在する一方、PM2.5の削減を優先するのであれば、より安価な対応戦略があることを定量的に示した。温室効果ガス排出削減やPM2.5削減によって得られる便益の算定は困難なところもあるが、仮に後者の便益が大きければ、費用の高い温室効果ガス排出削減に先んじて、より安価なPM2.5削減を進める方が費用効率良くリスク低減につながる可能性もあると示唆される。今後、火力発電以外の対策も含め、より包括的にPM2.5削減と温室効果ガス排出削減の分析を進め、総合的な対策のあり方を提示する予定である。

### 3. リアル・オプション分析によるCCS投資分析

#### 3.1. はじめに

CO<sub>2</sub>回収貯留 (CO<sub>2</sub> capture and storage; CCS) 技術は、大幅なCO<sub>2</sub>排出削減を実現するために有望かつ不可欠な技術とされている。ただしCCSが実際にCO<sub>2</sub>排出削減に寄与するためにはCCSの普及、即ち事業者がCCSへ投資を行うことが可能な環境が少なくとも必要である。

CCSへの投資を阻害する要因としていくつか考えられるが、本研究ではその阻害要因の一つと考えられるLNG価格と炭素価格の不確実性、変動性を取り上げた。そして、これら価格の不確実性の下で、CCSに直ちに投資を行うか、その時点で投資せず待機するのが費用効率的かについて、リアル・オプション法を用いて分析を行った。リアル・オプション法とは、もともと金融の分野で用いられていたオプション評価法を実物資産に関する分析へ応用・拡張した手法である。

より具体的には、LNG価格、炭素価格が不確実な状況下で電源種 (石炭火力+CCS、ガス火力+CCSなど) とそのタイミングについて柔軟な意思決定が可能であるケースに着目した。即ち、どの電源種 (CCS含む) を選択するか直ちに決定せず待機することが可能であり、待機することで将来時点で電源選択のオプションを残すことができる。待機することは既存石炭火力をより長い期間に渡り保有・稼働することを本研究では意味する。逆に、例えば石炭火力+CCSへ投資することを決定した場合、その決定後に炭素価格が大幅に低下しても、その決定を取り消すことはできないとした。このように意思決定の柔軟性 (オプションを残すこと) の価値や不可逆性を明示的に考慮することは、リアル・オプション法の特徴の一つである。

なお、CCSは想定した圧入レートでCO<sub>2</sub>を圧入可能か、許認可や地元合意を含め安定的稼働が可能か、といった不確実性にさらされている。ただしこれらパラメータの特定が困難であったため、これらの不確実性は扱わなかった。

#### 3.2. 分析フレーム

分析対象の事業者は次の状況にあるとする。

- ・石炭火力を保有・運用してきたが、10年以内にその既存石炭火力を停止・廃棄し新規電源へ更新 (リプレース) する必要がある。
- ・リプレース先の候補は、石炭、石炭+CCS、ガス、ガス+CCSの4種とした (表4)。これらは許認可な

表4 発電設備、CO<sub>2</sub>回収設備の想定

	既存石炭火力	新規石炭火力：USC		新規ガス火力：コンバインドサイクル	
		CO <sub>2</sub> 回収なし	CO <sub>2</sub> 回収あり	CO <sub>2</sub> 回収なし	CO <sub>2</sub> 回収あり
発電効率(%、送電端、LHV基準)	32.9	41.1	34.0	56.8	48.8
資本費 (US <sub>2007</sub> \$/kW <sub>net</sub> )	-	2,719	5,005	1,549	2,926
リードタイム (年)	-	5	5	3	3

どの手続きが終了しており短い工期 (リードタイム) で運開可能と想定した。

- ・事業者はLNG価格と炭素価格の不確実性にさらされている中、ベースロード用の電源に関して今後40年間に渡る期待費用を最小化するものと想定した (割引率5%/年)。

また、CCS付きとした場合、CO<sub>2</sub>輸送費用は23.3 US<sub>2007</sub>\$/tCO<sub>2</sub>輸送、CO<sub>2</sub>貯留費用は24.8 US<sub>2007</sub>\$/tCO<sub>2</sub>貯留をそれぞれ想定した。

LNG価格、炭素価格は代表的な確率過程の一つである幾何ブラウン運動に従うとする。炭素価格の期待値 (初期値を30 US<sub>2007</sub>\$/tCO<sub>2</sub>とした場合) とその価格変動のいくつかの例を図5に示す。LNG価格のボラティリティは日本のCIF価格を基に0.24、炭素価格のボラティリティは欧州排出量取引制度 (EU ETS) を参照し0.29とした。より詳細な分析フレームや想定したパラメータについては文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

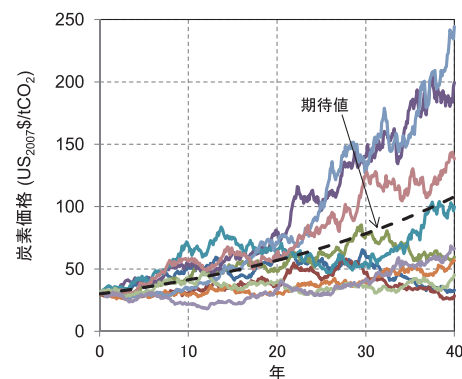


図5 想定した炭素価格 $P_2$ の期待値とその不確実性を表現した価格変動の例

#### 3.3. シミュレーション結果

事業者の今後40年間 ( $t=0\sim 40$ 年) に渡る期待費用が最小となる投資・待機の閾値を数値計算により求めた。図6に、電源選択の投資判断の開始時期 $t=0$ 年から、投資判断の最終時点となる $t=7$ 年における経済合理的な投資判断を示す。図ではLNG価格、炭素価格共に幅広い領域を示したが、例えば日本の輸入

LNG CIF価格は2012年16.2、2015年9.7 US<sub>2007</sub>\$/GJ<sub>LHV</sub>である。

以下、先の時点から順に結果を見て行く。t=7年では既存石炭火力の稼働を3年後に停止する必要があり、ガス火力、ガス火力+CCSのどちらかを選択する必要がある（ガス火力のリードタイムを3年と設定したため）。

t=6年では待機するか、ガス火力、あるいはガス火力+CCSへ投資するか選択できる。例えば図の左上の領域であれば、直ちにガス火力+CCSへ投資することが期待費用最小となる。

t=5年は石炭火力、石炭火力+CCSへ投資可能な最終時点である（石炭火力のリードタイムを5年と設定したため）。当該時点のLNG価格が約14 US<sub>2007</sub>\$/GJ以上、かつ炭素価格が約65 US<sub>2007</sub>\$/tCO<sub>2</sub>以上の範囲で石炭火力+CCSへの投資が期待費用最小となる。

t=0年では待機が期待費用最小となる価格の領域がかなり広い。これは、幅広いLNG価格、炭素価格において当面待機し（投資を見合わせ）、状況がより明らかになった将来時点で電源（+CCS）を選択する方が期待費用最小となることを意味する。つまり、不確実性下において早期のCCS投資が容易ではないことを示している。

### 3.4. まとめ

本研究では、LNG価格、炭素価格が不確実な中、石炭火力（+CCS）、ガス火力（+CCS）の選択とタイミングについて柔軟な意思決定が可能としたリアル・オプション法にて、電源（+CCS）の投資リスクを評価分析した。その結果、投資の待機が選択されやすく、LNG価格、炭素価格が不確実性下では、早期のCCS投資は事業者にとって容易でないことが示された。ただし、ボラティリティが小さければ待機領域が小さくなることを確認した。従って、炭素価格の水準のみならず炭素価格の予見性や安定性もCCS投資にとって重要である。なお、本研究ではCCSを事例に分析を行ったが、本研究の結論はリードタイムの長い温暖化対策技術投資全般に適用可能な示唆と考えられる。

#### 参考文献

1) 小田 他, エネルギー・資源, 37(6), pp.13-22, (2016)

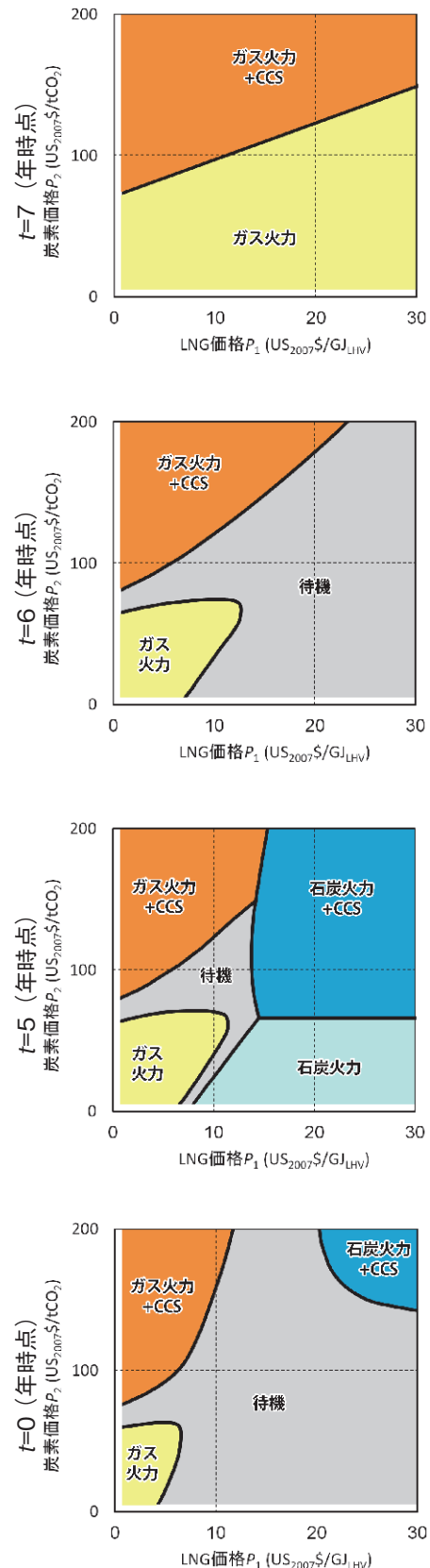


図6 期待費用最小となる投資・待機の閾値の結果  
補足) 横軸、縦軸共に当該時点の価格を意味する。



## バイオ研究グループ



グループリーダー・  
主席研究員  
乾 将行

### 【コアメンバー】

サブリーダー・副主席研究員	佐々木朱実	主任研究員	長谷川 智
副主席研究員	稲富 健一	主任研究員	渡邊 彰
副主席研究員	寺本 陽彦	主任研究員	小暮 高久
副主席研究員	城島 透	主任研究員	小杉 浩史
副主席研究員	平賀 和三	主任研究員	久保田 健
主任研究員	田中 裕也	研究員	生出 伸一
主任研究員	須田 雅子	研究員	猿谷 直紀
主任研究員	北出 幸広	研究員	橋本 龍馬
主任研究員	豊田 晃一	研究員	石田 純也
主任研究員	加藤 直人	研究員	清水 哲

## バイオリファイナリー社会の実現を目指したバイオ燃料・グリーン化学品生産

### 1. はじめに

当グループでは、非可食バイオマスからバイオ燃料やグリーン化学品を製造するバイオリファイナリー技術の研究開発を進めている（図1）。最初に、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。

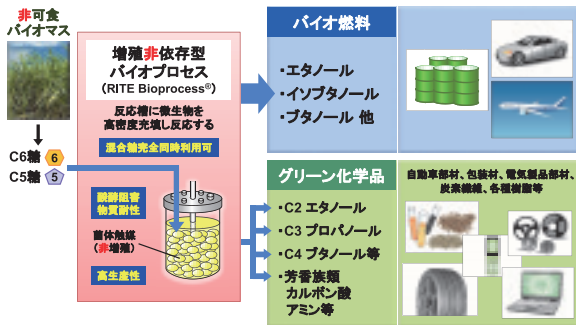


図1 バイオリファイナリーの概要

### バイオ燃料

バイオ燃料は、再生可能資源であるバイオマス为原料として製造されることを特徴とする燃料であり、バイオエタノールやバイオディーゼルがその代表である。生産が拡大しており、2015年の世界生産量は、OECD-FAOLレポートによると、それぞれ1.16億kL（図

2）、及び3,100万kLの見通しである。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主な原料として生産され、自動車燃料に混合されている。最大の生産・消費国である米国では、昨年145億ガロン（5,500万kL）のバイオエタノールが生産された。バイオディーゼルは、EUでは菜種、米国では大豆から主に生産され、ディーゼル自動車の割合が多いEUが最大の消費地である。

米国では、米国環境保護庁（EPA）がバイオ燃料の普及を強力に推進している。昨年11月、EPAは2017年の再生可能燃料使用量の目標値について、前年より6%増えた193億ガロン（7,300万kL）、その中でセルロースバイオ燃料（第2世代バイオ燃料）については

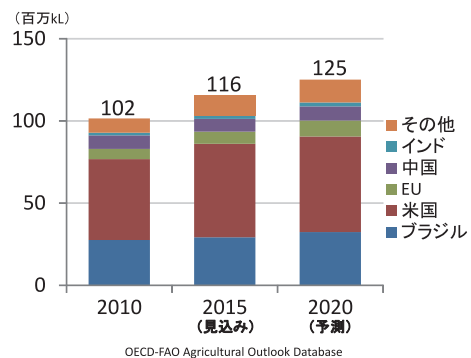


図2 世界バイオエタノール生産の見通し



3.1億ガロン（120万kL）と発表した。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ことからCO<sub>2</sub>排出削減効果が大きく、食料資源とも競合しないことから、大きな期待が寄せられている。現在、米国、ブラジル、イタリアでセルロースバイオマスを原料とした10万kLレベルの大規模エタノールプラント5基が稼働中である（各社website）。

バイオジェット燃料については、2020年の東京オリンピックを目指した技術開発が話題になっているが、昨年10月、日本を含む世界60カ国以上は、国際民間航空機関（ICAO）が提案した国際線の温暖化ガス排出規制に合意した（<http://www.icao.int/>）。この合意によると2021年以降、航空会社はCO<sub>2</sub>排出権枠を購入する必要があることから、国内でもバイオジェット燃料の活用や技術開発が加速すると予想される。また、米国では非可食バイオマスを原料としたバイオジェット燃料による民間航空フライトも実施された。この燃料は、米国のベンチャー企業が木質を原料として発酵生産したセルロースブタノールを化学変換して製造され、従来型ジェット燃料に20%混合された（<http://www.gevo.com/>）。

### グリーン化学製品

バイオ素材やバイオポリマー等のバイオ化学製品もバイオ燃料と同様に市場拡大が続いている。欧州バイオプラスチック協会によると、2016年のバイオプラスチックの世界生産量は205万トン、環境省によると、昨年の日本国内出荷量は32万トンの予想であった。国内では、生分解型のポリ乳酸や、ドロップイン型のバイオポリエチレン（PE）やバイオポリエチレンテレフタレート（PET）等の消費が増え、さらに中国や東南アジアでの生産に伴いアジア各国での市場が拡大している。また、バイオプラスチックの高機能化が進んでおり、高耐熱性のポリ乳酸（PLA）や耐衝撃性や耐薬品性に優れるバイオポリアミド（PA）等が開発されている。PLAは繊維やフィルム、PAは自動車部品等の用途に使われている。

## 2. RITEバイオプロセスの特徴

当グループでは、これまでに新規技術コンセプトに基づく革新バイオプロセス「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、バイオ燃料や有機酸を始めとしたグリーン化学製品を、高経済性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。

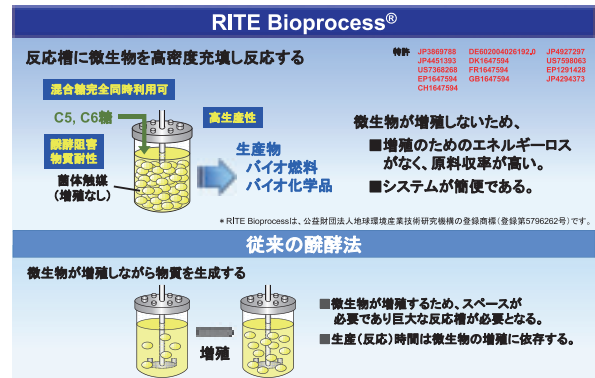


図3 RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）の特徴

本プロセスの特徴は、目的物質を効率的に生産できるように代謝設計したコリネ型細菌を大量に培養し、細胞を反応槽に高密度に充填後、嫌気的な条件で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 2013～2014参照）。

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、フェノール等の芳香族化合物など幅広い展開を図っている。次章では、当グループの主要ターゲットであるバイオ燃料の生産技術開発について紹介する。

## 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優れた特性を持つ物質であり、また、化学的にオリ

ゴマー化することでジェット燃料に変換可能なため、近年になってバイオマス原料の中でも、特に非可食原料であるセルロース系バイオマスからの生産が期待されている。ブタノールから製造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)の規格をクリアしたことから、商業フライトへの利用が可能となった (<http://www.gevo.com/>)。また、前述したように航空機からのCO<sub>2</sub>排出削減へ向けた業界団体の動きも加速しており、バイオジェット燃料への社会的期待が高まっている。

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きた。我々の生産技術の特徴は、原料としてセルロース系の非可食バイオマスを利用可能であり、且つ高速・高収率生産が可能な点にある(図4)。

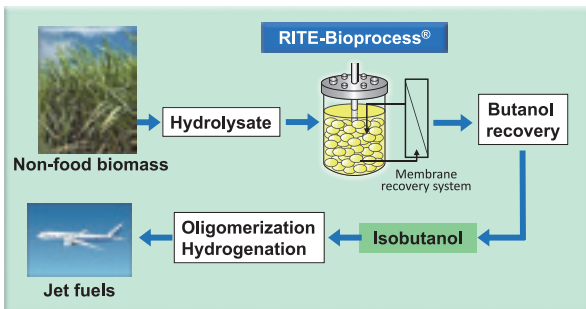


図4 RITEバイオプロセスによるブタノール及びジェット燃料生産

2015年度からは、経済産業省の「革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業」において、革新的なブタノール製造技術の開発を推進している(RITE Today 2016トピックス参照)。本事業では、高度な育種技術により、RITEバイオプロセスの持つ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。その結果、非可食バイオマスからのブタノール生産において、世界最高レベルの高生産性を達成することができた。現在は、生産菌の代謝経路の最適化、生産菌のブタノール耐性の向上、および生産菌の安定性向上に取り組んでおり、早期実用化へ向けて開発を進めている。

### 3.2. グリーンジェット燃料

航空機から排出されるCO<sub>2</sub>は、全世界のCO<sub>2</sub>排出量の約2%を占めており、新興国での航空利用需要の増大などから、今後ますます増加すると予測されている。航空機の燃費向上や運航方法の改善により、CO<sub>2</sub>排出量の削減が検討されているが、さらなる削減には、前述したようにバイオジェット燃料の利用が不可欠と考えられている。

ジェット燃料は、炭素数C10~C15の直鎖・分岐鎖および環状飽和炭化水素と芳香族化合物を主成分とする混合物であり、その物理的性質は厳格に規格化されている。バイオジェット燃料についても同様の燃料規格を満たす必要がある。

当グループは、2014年に提案した「生物・有機合成ハイブリッド微生物による100%グリーンジェット燃料生産技術の開発」が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)に採択され、ジェット燃料の規格に適合する多様な分岐および環状飽和炭化水素化合物と芳香族化合物の全てをバイオマス由来の混合糖から製造可能な、100%グリーンジェット燃料生産技術の開発を進めている。

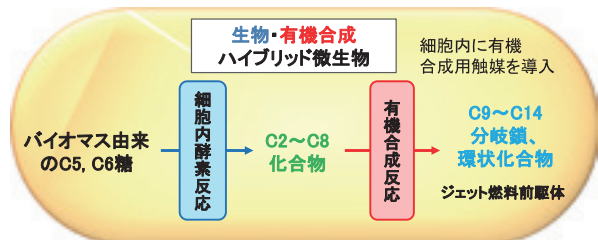


図5 100%グリーンジェット燃料生産微生物の概要

本技術では、これまで発酵法では利用されていなかった有機合成反応を微生物細胞内に導入し、新規なバイオ触媒である「生物・有機合成ハイブリッド微生物」を創製し、これをバイオ触媒とする点に特徴がある(図5)。本ハイブリッド微生物を利用すると、非可食バイオマス由来のC5, C6糖から炭素数がC9~C14の範囲で多様な炭素数と、分岐鎖や環状の多様な構造をもった化合物を同時に生産させることが可能となる。また、本技術では、従来の発酵法では製造できなかった化合物の生産も可能になるため、応用範囲はジェット燃料製造にとどまらない。これまでの研究の結果、ハイブリッド微生物のカギとなる有機合成反



応の効率を顕著に向上させることに成功しており、実用化の早期実現を目指して研究を加速している。

### 3.3. バイオ水素

水素は地球上に大量に存在し燃焼時に水しか生成しないため、究極のク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資源を原料とするため、これに由来するCO<sub>2</sub>排出が大きな技術課題である。この課題を克服するため、再生可能資源から水素を安定的かつ安価に製造する技術について中長期的な基盤的研究が必要とされており、経済産業省のロードマップでは、2040年頃までにCO<sub>2</sub>フリー水素供給システムを確立することが目標として掲げられている。

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CO<sub>2</sub>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）との共同研究により、高密度菌体触媒による高速バイオ水素生産プロセスを開発し、従来の発酵水素生産と比較して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2015年に提案した「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」が、経済産業省の「革新的エネルギー技術国際共同研究事業」に採択され、NRELとの共同研究により、対糖水素収率の大幅向上に向けた技術開発を進めている（図6、RITE Today 2016トピックス参照）。

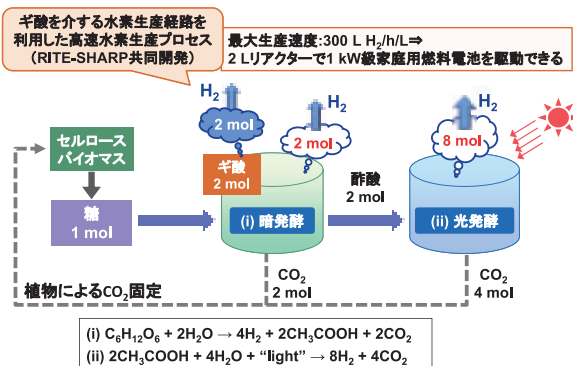


図6 暗発酵と光発酵の統合型水素生産プロセス

バイオマス由来糖類などの有機物を原料とした微生物による水素生産は、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」とに大別される。両者を組み合わせて、暗発酵水素生産プロセスで副生する酢酸を光発酵水素生産プロセスの基質として利用すれば、バイオマス原料あたりの水素収率は大幅に向上する。現在、それぞれのプロセス（暗発酵と光発酵）の水素収率向上のため、遺伝子工学による水素生産微生物の改良を進めている。

## 4. バイオ化学製品の生産技術開発

### 4.1. バイオマス由来フェノール

フェノールは、自動車部品、電子材料等に不可欠な材料であるフェノール樹脂、エポキシ樹脂、ポリカーボネート樹脂等の有用な樹脂原料であり、巨大市場を有し今後も需要拡大が見込まれる。しかし、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高温高压（～250℃、30気圧）条件で有機溶媒や強酸を用いて製造されている。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。その結果、RITEバイオプロセスによるバイオマス由来グリーンフェノールの「2段工程法」による製造技術開発に成功し、既存の報告を大幅に上回るフェノールを生産可能とした（RITE Today 2016参照）。本法は、従来の石油由来フェノールの製造法と比較して、エネルギー（原油換算）は約69%の削減、CO<sub>2</sub>排出量は焼却廃棄まで考慮すると約70%削減可能と試算される（図7）。

現在、実用化へ向けて菌株改良による更なるフェノール濃度向上、実廃液のリユースとの融合など種々の検討を進めている。

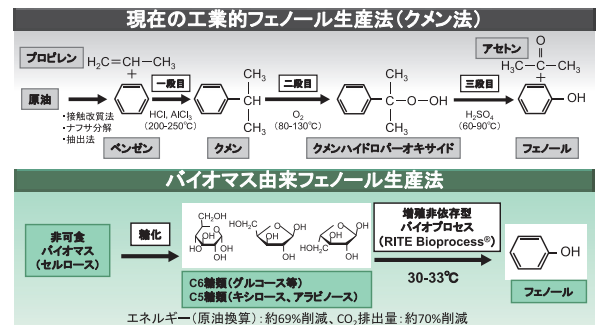


図7 工業的フェノール生産法とバイオ生産法の比較

## 4.2. 様々な芳香族化合物への展開

前述のとおり、我々は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生産に成功した。本技術は、他の様々な芳香族化合物のバイオ生産に対しても発展的に適用可能で、ポリマー原料としてだけでなく、医薬品中間体や、農薬、香料、化粧品原料などの高付加価値な物質への応用展開など、高い発展性を有している。

昨年からはスタートしたNEDO新規プロジェクト「スマートセル」では、様々な芳香族化合物を生産する細胞プロセスをコンピュータ上で解析し、最適なプロセス設計を可能とする統合オミクス解析等の情報解析技術開発を行う予定である（本誌トピックス参照）。さらに、得られた成果を統合して高性能なスマートセルを創製し、このセルを利用したグリーン生産技術を開発するなど、高付加価値芳香族化合物の高生産への新たな展開を目指して研究開発を進めている（図8）。

## 5. 実用化への取り組み

### 5.1. 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。これに対して我々は、前述したように通気の必要のない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非天然型のアミノ酸生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.）。

Green Earth Institute (株) (GEI) は、RITEバイオプロセスの実用化に向けて設立されたRITE発ベンチャーである（RITE Today 2012参照）。アミノ酸

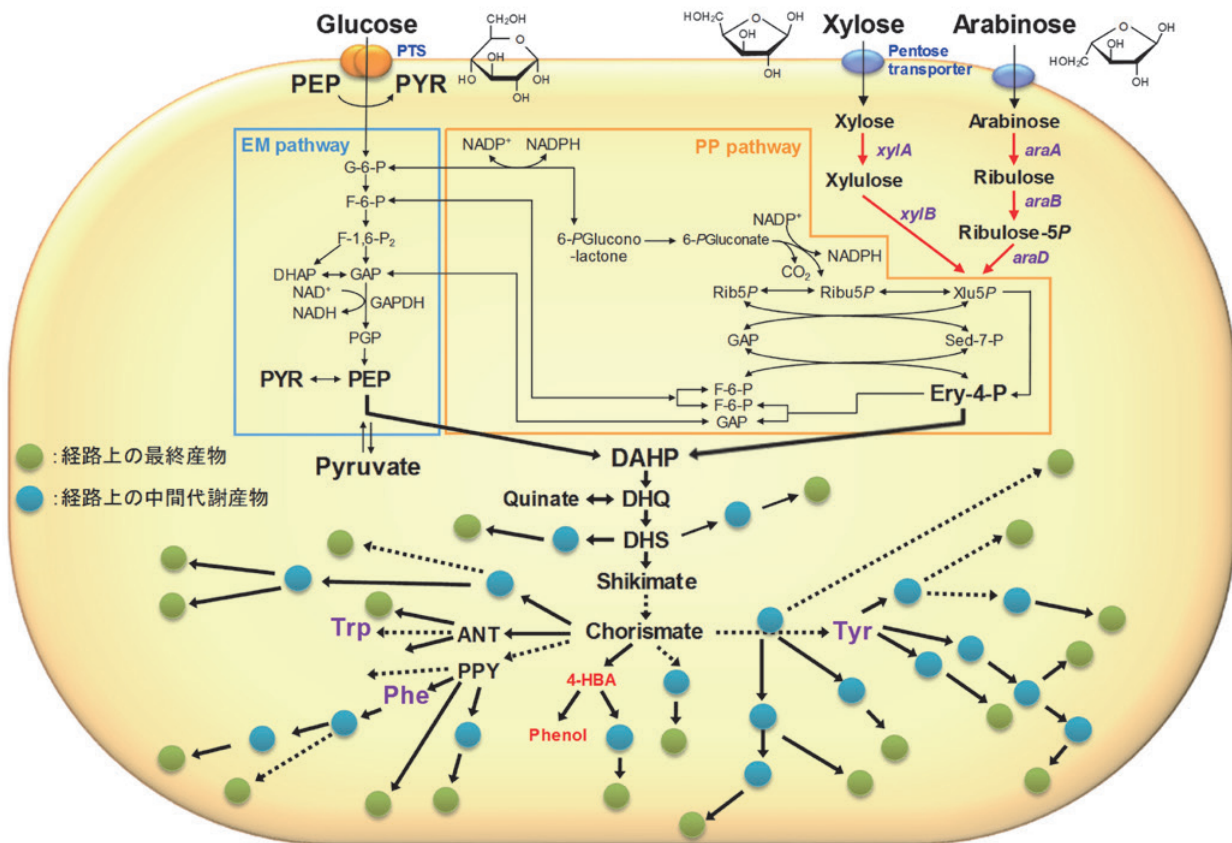


図8 様々な芳香族化合物の生産技術開発





生産に関しては、2011年よりRITEと共同研究を開始し、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てきた。対象としたアミノ酸は、通常、石油由来の原料を用いて製造されているが、製品のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量の削減の観点から、バイオマス原料からの製造方法の開発が望まれていた。2016年には、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、実用化へ向けて大きく前進した(図9)。初回の生産には、当研究グループの研究者も参加し、現地の職員と力を合わせて試験生産を成功へ導いた。GEIでは2017年には、本格的な商業生産の報告ができるよう、鋭意、取り組んでいる。



図9 BioJapan2016でのアラニン生産展示

## 5.2. フェノール

前章で述べた世界初のグリーンフェノール製造技術である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)と共同で2014年5月にグリーンフェノール開発(株)(GPD)を設立した(RITE Today 2015参照)。2015年にはNEDOプロジェクト「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(2015~2017年)」が採択され、既存のGPDのバイオ変換プラントに併設する形で濃縮精製プラントが新設された(2016年6月、住友ベークライト(株)静岡工場内)。これにより、非可食バイオマス由来の糖を原料としたバイオマス由来フェノール生産におけるバイオ変換工程と濃縮精製までの一貫製造システムが完成した。

現在、実用化を目指して各種原料の検討、フェノー

ルのバイオ生産、精製濃縮、および実廃液のリユースなどを有機的に統合すべく実用化検討を進めている。

## 6. おわりに

2016年の世界穀物生産は、天候にめぐまれ、干ばつ等の被害も少ないことから、トウモロコシや小麦などは過去最高の生産量が予測されている。米国では、トウモロコシ価格も1ブッシェルあたり3ドル半ばまで低下し、さらに原油価格も1バレル50ドル付近であることから、バイオエタノール生産コストは低下していると予想される。また、米国でのガソリン需要も堅調なことから、トウモロコシ由来のバイオエタノールは2017年も150億ガロン(5,700万KL)付近の高い生産レベルが継続する見通しである(図10)。一方、原料安はバイオ化学品生産にも追い風であるが、シェールガス等を原料とした従来型化学品の価格競争力も高く、今後もさらなるコストダウンに向けた取り組みが期待されている。

当グループでは、本年も次世代バイオ燃料であるブタノールや水素、およびグリーンジェット燃料等の生産技術開発や、新規プロジェクトである「スマートセル」などの先端バイオテクノロジーを駆使した高機能化学品のバイオプロセスによる効率的生産を目指した研究開発を進めていく予定である。今後とも、バイオリファイナリー技術開発を進め、地球環境保全や持続可能社会の実現に貢献していきたい。

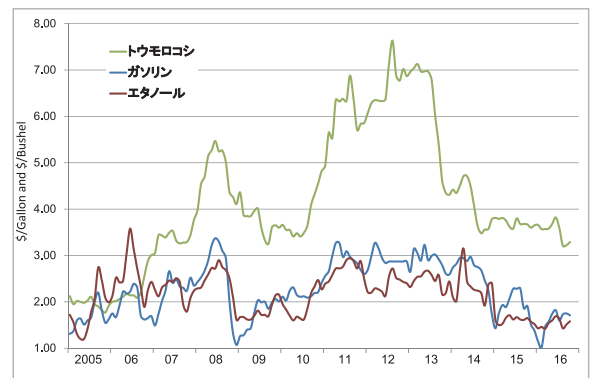


図10 バイオエタノール価格推移



## 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

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	佐藤 謙宣	主任研究員	山本 信
主席研究員	東井 隆行	主任研究員	龍治 真
副主席研究員	余語 克則	研究員	伊藤 史典
主任研究員	石黒兼二郎	研究員	来田 康司
主任研究員	甲斐 照彦	研究員	段 淑紅
主任研究員	加藤 次裕	研究員	沼口 遼平
主任研究員	後藤 和也	研究員	藤木 淳平
主任研究員	フィローズ アラム チョウドリー		
主任研究員	三上 智司		
主任研究員	山田 秀尚		

## CO<sub>2</sub>分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み

### 1. CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を発電所や工場などの発生源から分離・回収し、回収したCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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-CO<sub>2</sub>を達成するとともに、吸収液からのCO<sub>2</sub>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。開発した化学吸収液は、民間企業で採用され、CO<sub>2</sub>回収設備商用1号機が運転中であり、更に2018年には商用2号機が稼働予定である。

固体吸収法は、CO<sub>2</sub>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きており、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、再生エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成可能な材料を見出している。現在、民間企業と共同で実用化研究に取り組んでいる。

膜分離法は、圧力を有するガス中から分離する際の効率が非常に高いプロセスとして期待できる。現在は、H<sub>2</sub>を含むガスからCO<sub>2</sub>を選択的に分離・回収する性能を発現する分子ゲート膜を用いて、IGCC等の高圧ガスから分離・回収コスト1,500円/t-CO<sub>2</sub>でCO<sub>2</sub>を回収することを目指している。 dendrimerを用いる新規な高分子系材料がCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離に優れていることを見出し、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の開発を行っている。現在、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、実用化を目指した分離膜、膜モジュール、膜分離システムを開発中である。膜材料の改良により、2.4MPaの高圧条件で、ラボレベルで目標性能を達成した。さらに、膜モジュールを構成する実証用エレメントの製作を進めている。これを用いた実機膜モジュールシステムの開発として、実ガス試験による膜モジュール性能、プロセス適合性等に関する技術課題の抽出と解決に向けて取り組んでいる。

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CO<sub>2</sub>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。

## 2. 化学吸収法

化学吸収法は、ガス中のCO<sub>2</sub>をアミン溶液からなる吸収液に化学的に吸収させた後、加熱することでCO<sub>2</sub>を吸収液から分離・回収する技術であり、常圧で大規模に発生するガスからのCO<sub>2</sub>分離に適している。RITEでは、10年以上、化学吸収法における最大の課題であるCO<sub>2</sub>分離・回収コストを低減する高性能吸収液の開発に取り組んできた。

2004年度から2008年度においては、経済産業省(METI)補助事業である「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(COCSプロジェクトと呼称)を企画推進し、引き続き、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、「環境調和型製鉄プロセス技術開発」プロジェクト(COURSE50 Phase1 Step1、2008~2012年度)において、製鉄所プロセスガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収を目的とした研究開発を行った。

これ等のプロジェクトを通じて、吸収液の分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>回収温度を100℃以下で可能とする吸収液を見出し、開発することに成功した(図1、2)。これらの化学吸収液の開発成果については、新日鉄住金エンジニアリング株式会社の省エネ型CO<sub>2</sub>回収設備商用機に採用され、2014年秋に1号機(製鉄所排ガス用)が運転を開始した。また、先ごろ2号機(石炭火力発電排ガス用)の受注が決定し、2018年に運用開始予定である。このようにRITEの研究成果は、さまざまな大規模CO<sub>2</sub>発生源において、着実に実用化が進められている。

さらに、2013年度から引き続きNEDO委託事業、「環境調和型製鉄プロセス技術開発」プロジェクト(COURSE50 Phase1 Step2、2013~2017年度)に参加し、新日鉄住金株式会社と共同でCO<sub>2</sub>分離・回収コストをより一層低減する画期的な高性能化学吸収液の開発に取り組んでいる。(図3)

また、これまでの吸収液開発で培った研究経験を基に、高圧CO<sub>2</sub>含有ガス(例えば、石炭ガス化ガス)か

らのCO<sub>2</sub>分離・回収において、CO<sub>2</sub>の吸収・放散性に優れたアミン系化学吸収液を開発している。

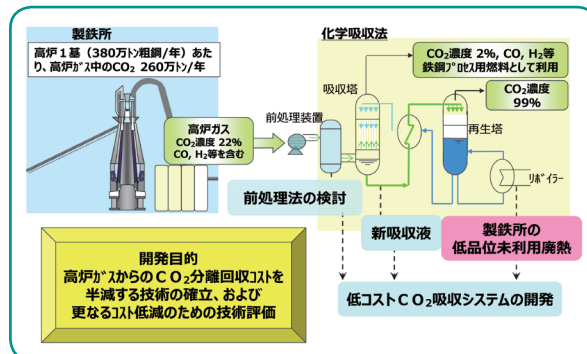


図1 化学吸収液を利用する高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術概要



図2 パイロット試験機の外観

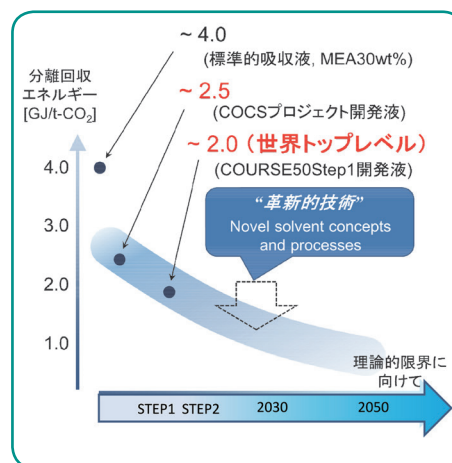


図3 高性能化学吸収液開発への挑戦

本研究の目的は、温度スイングのみにより、CO<sub>2</sub>含有ガスの高いCO<sub>2</sub>分圧を維持しつつ、高効率にCO<sub>2</sub>の分離・回収が可能な吸収液(高圧再生型化学吸収液)を開発することである(図4)。本プロセスでは、

CO<sub>2</sub>が高い圧力を保って回収されるため、回収後の圧縮に要するエネルギーが大幅に削減される。

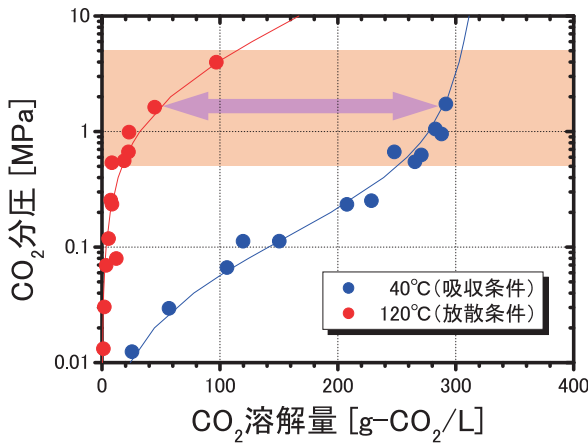


図4 高圧下で高い吸収放散性能を有する新規吸収液

RITEはこれまでに、1MPa以上の高圧下において高いCO<sub>2</sub>回収量、高い反応速度、および低いCO<sub>2</sub>吸収熱を併せ持つ「高圧再生型化学吸収液」を見出しており、圧縮工程を含むCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーとして、世界最高レベルの1.1GJ/t-CO<sub>2</sub>以下を達成する見通しを得ている。

現在は、更に高性能な新規高圧再生型化学吸収液の開発をRITE独自に推進すると共に、開発した吸収液の実用化検討を民間企業との共同研究において進めている。

### 3. 固体吸収法

固体吸収法は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持させた固体吸収材を使うことで、化学吸収液と類似のCO<sub>2</sub>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が期待できる (図5)。

RITEは2010年から2014年度にかけて、経済産業省からの委託事業「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。アミンの分子構造とCO<sub>2</sub>脱離性能との関係性を計算により明らかにしたことで、低温での脱離性能に優れ、高いCO<sub>2</sub>回収容量を有するRITE独自の固体吸収材を開発することに成功した。

また、小型連続回収試験装置 (図6) を用いて、RITEが開発した固体吸収材のプロセス性能を評価し

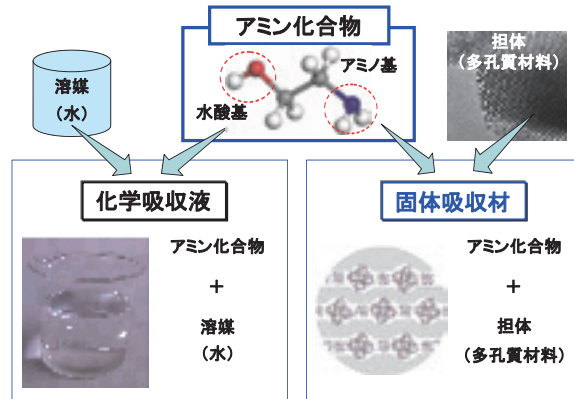


図5 アミン固体吸収材

た結果、脱着工程でスチームを供給するSA-VSA (Steam-aided vacuum swing adsorption) プロセスの適用により、VSAプロセスの場合と比較して、回収率が飛躍的に向上した。さらに、SA-VSAプロセスを最適化し、模擬ガス(12%CO<sub>2</sub>)から回収純度98%、回収率93%でCO<sub>2</sub>を回収可能であり、RITE固体吸収材が優れたCO<sub>2</sub>分離・回収性能を有することを実証した。また、固体吸収材の再生エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成した (図7)。開発した固体吸収材によるCO<sub>2</sub>分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、化学吸収法 (2.5GJ/t-CO<sub>2</sub>) と比べて発電効率の低下を約2%改善出来ると見込んでいる。

固体吸収材の研究開発は、米国等でも実施されているが、従来の固体吸収材は、高温の再生プロセスを伴うため、エネルギー的に不利であり、材料劣化などの問題も生じやすい。RITEが開発した固体吸収材は、低温、低エネルギーで再生可能であるという特徴を有



図6 小型連続回収試験装置

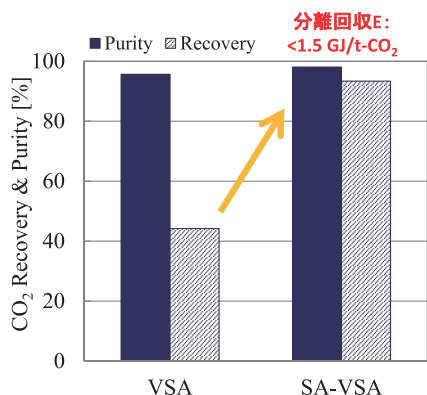


図7 RITE固体吸収材のCO<sub>2</sub>分離回収性能

している。

2015年度より経済産業省からの委託事業「二酸化炭素回収技術実用化研究事業（先進的二氧化碳素固体吸収材実用化研究開発事業）」として、川崎重工業株式会社と連携して、石炭燃焼排ガスをを用いた移動層システムによるベンチスケール試験および移動層システムのシミュレーション技術の構築を進めている。また同時に、固体吸収材の最適化にも取り組んでいる。RITEが開発したアミンは、市販のアミンと比較して高いCO<sub>2</sub>回収容量を有するが、大量合成に適した手法に改良した結果、更に性能が向上した（図8）。

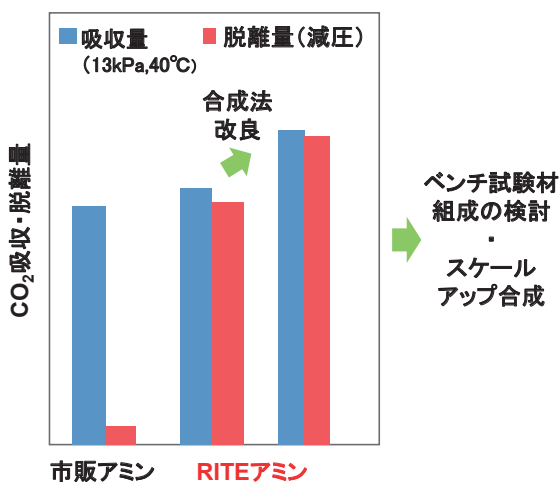


図8 ベンチ試験用アミンの合成

このRITEアミンを用いた固体吸収材をスケールアップ合成し、2016年11月よりベンチスケール試験を開始している。なお、本事業では2020年を目処に石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>分離・回収に適した、より

高性能な固体吸収材システムを開発すべく、図9に示すロードマップで研究開発に取り組んでいる。

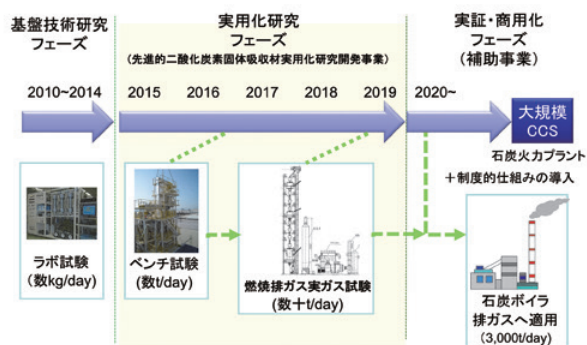


図9 実用化へのロードマップ

#### 4. 膜分離法

日本政府が提唱する「クールアース50」の革新的技術のひとつに「革新的ゼロ・エミッション石炭火力発電」がある（CCS付き石炭ガス化複合発電、integrated coal gasification combined cycle with CO<sub>2</sub> capture and storage (IGCC-CCS)）。石炭をガス化した後に水性ガスシフト反応でCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を含む混合ガスを製造し、CO<sub>2</sub>を回収・貯留して、H<sub>2</sub>をクリーンな燃料として発電に用いる（図10）。この圧力を有する混合ガスから、1,500円/t-CO<sub>2</sub>以下のコストでCO<sub>2</sub>を回収できる新規CO<sub>2</sub>分離膜モジュールを開発中である。

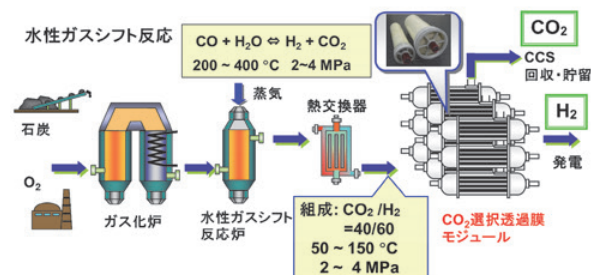


図10 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電(IGCC)からのCO<sub>2</sub>分離回収

RITEでは、 dendrimer を用いる新規な高分子系材料が優れたCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>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11に分子ゲート膜の概念を示す。

ここに示すように、透過機構としては、加湿条件で、膜中に取り込まれたCO<sub>2</sub>が膜中のアミノ基とカルバ

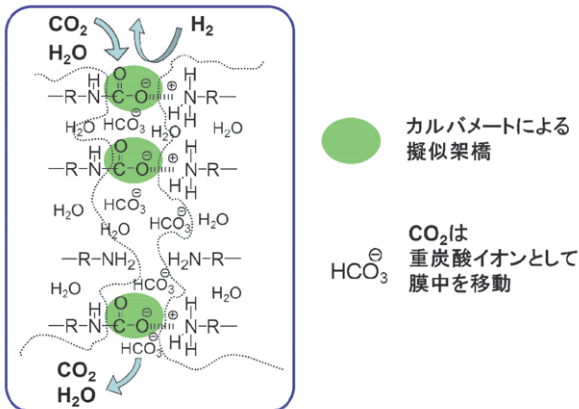


図11 分子ゲート膜の概念図

メートや重炭酸イオンを形成し、分子サイズの小さなH<sub>2</sub>の透過を阻害することで、従来のCO<sub>2</sub>分離膜では分離が難しかったCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を効率良く分離できると考えている。

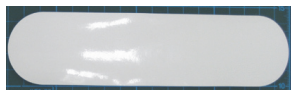
基礎研究段階として、優れたCO<sub>2</sub>透過速度とCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>選択性を有する複合膜の開発に成功している。

この成果の実用化を推進するために、2011年に次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、CO<sub>2</sub>分離膜およびCO<sub>2</sub>分離膜モジュール(図12)の開発、膜分離システム開発を実施中である。

CO<sub>2</sub>分離膜



Membrane 1  
(膜面積: 1.2 cm<sup>2</sup>)



Membrane 2  
(膜面積: 58 cm<sup>2</sup>)



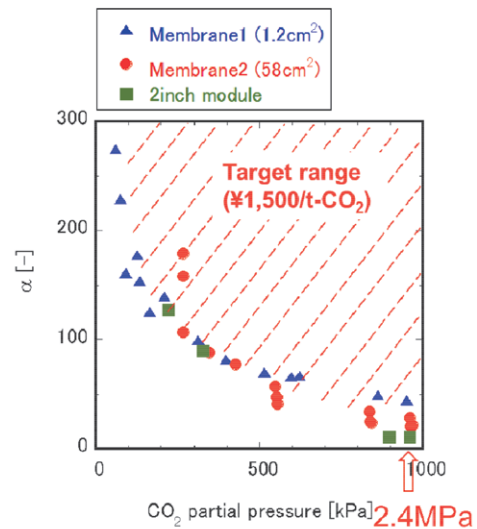
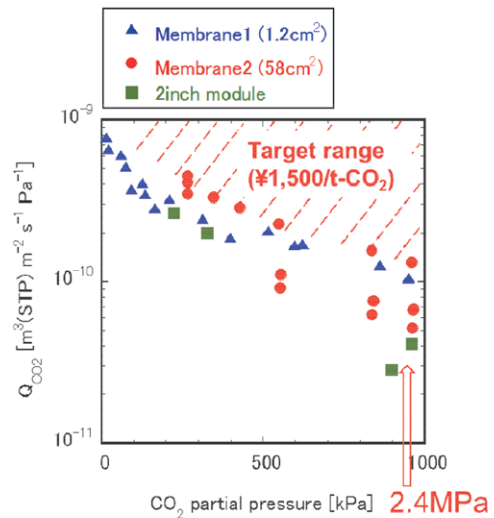
膜エレメント

Spiral membrane elements  
(Left: 2inch, Right: 4inch; L=200mm)

図12 CO<sub>2</sub>分離膜と膜エレメント

METI委託事業「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」(2011年~2014年度)において膜材料の改良を進め、2.4MPaの高圧条件で、平膜に関しては、ラボレベルで目標性能を達成した(図13)。

膜モジュールに関しては、大面積への塗工や水素漏洩など、エレメントの製作に関連する課題が顕在化したため、現在のMETI委託事業「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~)において、改良検討



Q<sub>CO<sub>2</sub></sub>:CO<sub>2</sub>透過速度

α:選択性

操作条件:

温度 85℃

供給ガス組成:CO<sub>2</sub>/He=40/60~5/95%

供給ガス:0.7~2.4MPaA

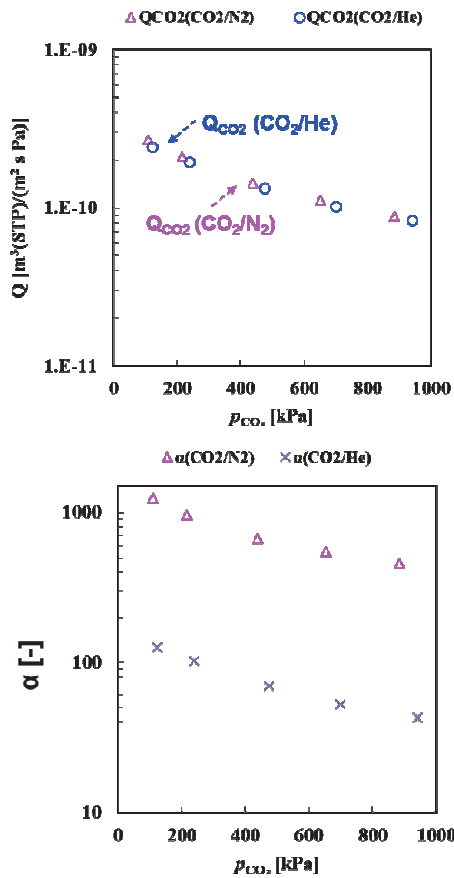
透過側:大気圧(Ar sweep gas).

注:安全上の理由から、H<sub>2</sub>の代替ガスとしてHeを使用

図13 分子ゲート膜の分離性能

を推進している。更に、実機膜モジュールシステムの開発を進めており、模擬ガスを用いた膜モジュール性能、プロセス適合性等に関する技術課題の抽出と解決を行っている。

検討例として、IGCCの石炭ガス化ガス中にN<sub>2</sub>ガスを含む場合の分離性能に及ばず影響を調べるために、CO<sub>2</sub>/Heの分離性能とCO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>の分離性能を比較した結果を図14に示す。ガス組成(CO<sub>2</sub>/HeまたはCO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)によらず、CO<sub>2</sub>透過速度は同程度の値を示



$Q_{CO_2}$ : CO<sub>2</sub>透過速度  
 $\alpha$ : 選択性(( )内は供給ガス組成を示す)  
 操作条件:  
 温度: 85°C  
 供給ガス組成: CO<sub>2</sub>/He or CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>=40/60~5/95%  
 湿度: 60%RH  
 供給側全圧: 2.4 MPaA  
 透過側全圧: 大気圧(Ar sweep gas).

図14 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>分離性能とCO<sub>2</sub>/He分離性能

した。また、分子サイズの大きなN<sub>2</sub>はHeよりも透過速度が低く、結果として、CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>の選択性はCO<sub>2</sub>/Heの選択性よりも1桁高い値を示し、N<sub>2</sub>ガスが混入してもCO<sub>2</sub>分離性能へ与える影響はないことが明らかとなった。

また、本プロジェクトでは、プロジェクト後年度に石炭ガス化実ガスを用いた試験を実施する予定であり、現在、準備を進めているところである。

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CO<sub>2</sub>分離」に登録されている。また、ノルウェー科学技術大学ともCO<sub>2</sub>分離膜に関する学術交流を实

施しており、国際協力体制の下で研究開発を行っている。

\*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CO<sub>2</sub>排出量の低減が必須となってきた。我が国では、2016年4月に、2050年頃という長期的視点に立った「エネルギー・環境イノベーション戦略」が策定され、CO<sub>2</sub>固定化、有効利用も有望分野として特定された。CO<sub>2</sub>革新的分離・回収技術は、分離・回収エネルギーを現在より半減させる(1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>) 中長期目標が示された。

様々なCO<sub>2</sub>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、低コストな技術を提案していくことも重要と考える。



## CO<sub>2</sub>貯留研究グループ



グループリーダー・  
主席研究員  
薛 自求

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	山崎 啓	主任研究員	西村 真
主席研究員	野村 眞	主任研究員	喜田 潤
副主席研究員	高須 伸夫	主任研究員	高野 修
副主席研究員	田島 正喜	主任研究員	和泉 宏典
主任研究員	中島 崇裕	主任研究員	岡林 泰広
主任研究員	内本 圭亮	主任研究員	間木 道政
主任研究員	田中 良三	研究員	張 毅
主任研究員	三戸彩絵子	研究員	朴 赫
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	伊藤 拓馬
主任研究員	橋本 励	研究員	中村 孝道
主任研究員	木山 保	研究員	蔣 蘭蘭
主任研究員	造倉 茂文	研究員	王 璐琛
主任研究員	小牧 博信		

## 実用化規模に適用できるCO<sub>2</sub>地中貯留に係る安全管理技術開発の取り組み

### 1. はじめに

1996年より圧入開始したノルウェーの北海Sleipnerサイトでは、約1,600万トンの天然ガス随伴CO<sub>2</sub>を海底下の塩水性帯水層に圧入してきた。その後、大規模CO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクトとしてカナダのQUESTに続いて、今後は米国イリノイのIndustrial CCS (Decaturサイト)、オーストラリアのGorgonプロジェクトもCO<sub>2</sub>圧入開始予定である。これらはいずれも実用化規模の100万トン/年に達しているだけでなく、CCS事業のインセンティブやCCS関連法規への対応も大きく注目されている。北海Sleipnerサイトは、圧入開始から20年目を迎えているが、これまでにCO<sub>2</sub>漏洩や誘発地震の報告はなく、地下深部帯水層へのCO<sub>2</sub>地中貯留の手本となっている。

CO<sub>2</sub>地中貯留の実用化に向けて、小規模 (pilot-scale) 圧入から大規模 (large-scale) へのアップスケールは欠かせない。このようなアップスケールでは、関連技術検証だけでなく、様々な技術を統合 (integration) することにより、事業のコスト削減も図ることが可能である。そこで、我が国の貯留層に適した実用化規模 (100万トン/年) でのCO<sub>2</sub>貯留に関する技術統合やコスト削減を目指して、2016年

4月1日に「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」が設立された (詳細については後述のトピックス参照)。ここでは研究機関と民間企業が持っている知見やノウハウを幅広く結集してCCS技術の実用化を目指した研究を推進することになっている。

RITEは、CO<sub>2</sub>地中貯留の安全管理技術開発および国際連携・海外動向調査に取り組んでおり、CCSに関する社会受容性の向上を目指している。

### 2. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合の主な研究課題とRITEの役割

二酸化炭素地中貯留技術研究組合は、「二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発」の研究成果を基に、実用化フェーズへ向けて、2016年度に立ち上げられた「二酸化炭素大規模地中貯留の安全管理技術開発」事業の実施者となり、「大規模CO<sub>2</sub>圧入・貯留の安全管理技術の開発」、「大規模貯留層の有効圧入・利用技術」、「CCS普及条件の整備、基準の整備」に取り組んでいる。研究課題の詳細と、実施する組合員を表1に示す。

RITEは、これまでも先導的にCCS関連の研究を進めてきたが、本技術研究組合においても主要組合員とし





表1 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 研究課題と組合員の役割

	研究課題	組合員
(1)大規模CO <sub>2</sub> 圧入・貯留の安全管理技術の開発	①圧入安全管理システムの開発	RITE、JAPEX、INPEX
	②CO <sub>2</sub> 長期モニタリング技術の確立	AIST
	③大規模貯留層を対象とした地質モデル構築、貯留層評価	RITE、JAPEX、応用地質
	④大規模貯留層に適したCO <sub>2</sub> 挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立	RITE、AIST、大成建設、応用地質
	⑤光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発	RITE、AIST、JAPEX、INPEX
	⑥CO <sub>2</sub> 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築	RITE
(2)大規模貯留層の有効圧入・利用技術の開発	①CO <sub>2</sub> 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立	RITE、大成建設
	②CO <sub>2</sub> 溶解促進技術の適用による貯留効率向上	RITE、JAPEX
(3)CCS普及条件の整備、基準の整備	①CO <sub>2</sub> 貯留安全管理プロトコル(IRP)の整備	RITE
	②苫小牧実証データの提供による技術事例集の作成、海外機関との連携	RITE
	③社会受容性の向上、国際標準化との整合	RITE

て、産業技術総合研究所と連携して研究開発を進め、これらの研究成果をもとに、民間企業の組合員と連携して、CCS実用化に向けた技術開発に取り組んでいく。

### 2.1. 大規模CO<sub>2</sub>圧入・貯留の安全管理技術の開発

地質モデルの構築、CO<sub>2</sub>挙動シミュレーションや長期予測手法の確立、光ファイバーを利用した健全性監視システム、圧入安全管理システムの構築等により、大規模CO<sub>2</sub>圧入・貯留の安全管理技術を開発する。

#### ◇圧入安全管理システムの開発

自然地震や圧入に伴う微小振動の観測結果、CO<sub>2</sub>挙動モニタリングおよび海洋モニタリングの結果、CO<sub>2</sub>圧入データを基に、赤、黄、青の交通信号システムのように、CO<sub>2</sub>圧入が安全に実施できる管理システム(ATLS: Advanced Traffic Light System)の開発を行い、苫小牧サイトでの結果をもとに、日本の独自先行技術として、世界展開を目指して、ATLS機能の検証・確認を行う。

#### ◇大規模貯留層を対象とした地質モデル構築、貯留層評価

大規模貯留層の貯留可能量評価のため、評価技術の開発および地質モデル構築手法を確立し、苫小牧実証サイトや適地調査サイトに適用する。

#### ◇大規模貯留層に適したCO<sub>2</sub>挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立

大規模貯留層内のCO<sub>2</sub>の長期的な挙動を予測するため、我が国の貯留層の地化学反応特性(地層水の塩濃度が低い、反応鉱物が多い等)を考慮したCO<sub>2</sub>長期挙動予測手法を確立し、苫小牧実証サイトや適地調査サイトに適用する。

#### ◇光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発

地層の安定性や万一の廃坑井からのCO<sub>2</sub>漏洩を監視するため、地中埋設型光ファイバーを用いて、地層の変形、地中の温度と圧力の変化を連続的に測定するシステムを開発・適用し、有効性を検証する。

#### ◇CO<sub>2</sub>漏出検出・環境影響評価総合システムの構築

万一の廃坑井や遮蔽層等から海底へのCO<sub>2</sub>漏出について、有効な漏出検出手法や漏出CO<sub>2</sub>の海中拡散シミュレーション技術を開発するほか、生物影響データベースの活用によって環境影響評価を行うための総合システムを開発する。

### 2.2. 大規模貯留層の有効圧入・利用技術の開発

大規模貯留層への有効圧入・利用技術を開発するため、圧入井や圧力緩和井の最適配置技術や、微細なCO<sub>2</sub>気泡を活用したCO<sub>2</sub>溶解促進技術の適用に向けた研究を実施する。

#### ◇CO<sub>2</sub>圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立

実用化規模(100万トン/年程度)の大規模貯留サイトでは、複雑な地層構造や貯留層の不均質性に対応して、複数の圧入井、あるいは圧力緩和井を利用するケースもあることから、複数坑井の配置や機能を最適化できる手法、苫小牧や適地サイト等のデータを活用しつつ確立する。

#### ◇CO<sub>2</sub>溶解促進技術の適用による貯留効率向上

塩濃度の低い地層水への溶解促進や、貯留層の圧力増加の抑制につながる溶解促進技術を確立するとともに、微細なCO<sub>2</sub>気泡を貯留層に圧入し、CO<sub>2</sub>貯留効

率向上を図る。室内実験から現場適用手法の検討まで行い、溶解促進技術の適用効果を評価する。

### 2.3. CCS普及条件の整備、基準の整備

CCS普及のためには、普及に向けた条件整備や基準の整備が不可欠であることから、安全性管理プロトコル(IRP)の整備、技術事例集の作成、海外機関との連携、および、社会受容性の向上・国際標準化の整合のための検討を実施する。

#### ◇CO<sub>2</sub>貯留安全性管理プロトコル (IRP) の整備

CCSの社会受容性確保にも寄与するIRPの海外サイトの事例を調査し、その機能検討を行った上で日本版IRPを構築する。

#### ◇苫小牧実証データの提供による技術事例集の作成、海外機関との連携

国内外の大規模CO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクトの技術事例や知見を集約し、CO<sub>2</sub>地中貯留事業の基本計画から閉鎖後管理までをカバーする技術事例集を完成させ、事業者の参照に供する。

#### ◇社会受容性の向上、国際標準化との整合

CO<sub>2</sub>地中貯留事業の普及に欠かせない社会受容性の向上を図る。また、海外機関との連携により、CCS事業の国際標準化との整合に取り組み、我が国のCCS技術の向上や普及を促進する。

## 3. RITEにおける2016年度の主な研究成果の紹介

RITEではCO<sub>2</sub>地中貯留の技術的課題に対する取り組みとして、CO<sub>2</sub>圧入・貯留の安全管理技術の確立、大規模貯留層有効圧入・利用技術の確立、CCS普及条件の整備・基準の整備を進めている。これらの技術的課題の研究推進とともに、国際連携を通じた海外研究機関との研究協力、および海外動向調査等による情報収集にも取り組んでいる。

### 3.1. 地質モデル構築技術の開発

貯留層に圧入されたCO<sub>2</sub>挙動予測のためには、地層の不均質性を反映した信頼性の高い地質モデル構築が重要である。この地質モデル構築においては、これまで石油・天然ガス生産において開発されてきた手法を利用することが可能であるものの、CO<sub>2</sub>地中貯留では漏洩防止の観点から掘削坑井の本数が少ないことが一般的である。そのためCO<sub>2</sub>地中貯留では、そのような

地質学的データが少ない制約下においても、CO<sub>2</sub>貯留可能量の把握、安定した圧入性能、地表へのCO<sub>2</sub>漏洩が起きない事等の評価を行うことが必要である。

CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、限られた坑井からのボーリングコアや物理検層等の地質学的情報と、地表からの弾性波探査等による各種データを最大限に有効活用し、得られた情報を統合して地質モデルを構築していく手法の技術開発を進めている。図1には、地質学的解析と貯留性能評価に関するデータ統合手法の例を示している。

コア試料のX線CT画像および柱状図による堆積環境解析から、貯留層はデルタフロントとプロデルタからなることが示されている。さらに地層中のミクロな不均質性を表す孔隙径分布が、CO<sub>2</sub>圧入性に大きく影響していることを示している。これらの情報から広域の貯留性能評価を行うためには、三次元弾性波探査結果を用いる。その手法の一例として、GDI (Geology Driven Integration) 解析技術を適用し、坑井物理検層等による地質学的データと三次元弾性波探査データを統合することで、長岡サイトにおいて信頼性の高い地質モデルを構築した。これらの手法は、堆積層を対

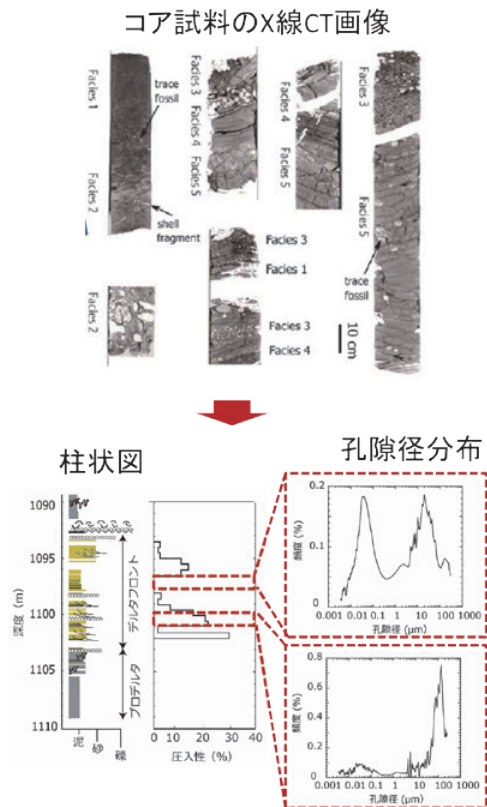


図1 地質モデル構築のためのデータ統合例と不均質性評価の解析例



象としての貯留層に対して適用可能であり、CO<sub>2</sub>貯留可能量の事前評価においても有効な手法である。

### 3.2. 長期CO<sub>2</sub>挙動予測技術の開発

CO<sub>2</sub>地中貯留の実用化においては、地下深部の貯留層に圧入されたCO<sub>2</sub>挙動をモニタリングし、安定的に留まっていることを予測・確認することが重要である。大規模貯留サイトを対象とした挙動予測技術としては、大規模モデルに対応するシミュレータの開発、および長期予測対応として地化学反応を考慮したシミュレータの開発が必要となる。

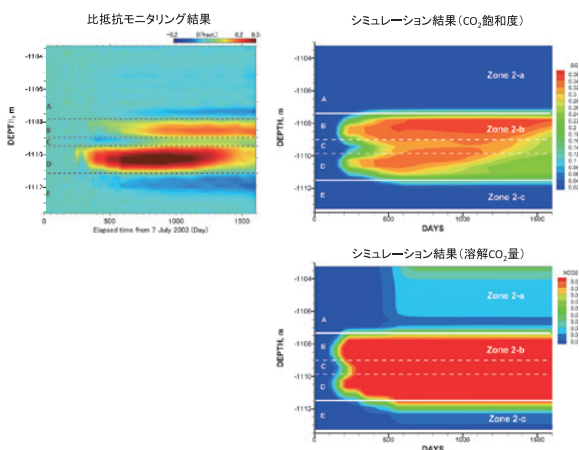


図2 CO<sub>2</sub>モニタリング結果と挙動シミュレーション結果の比較

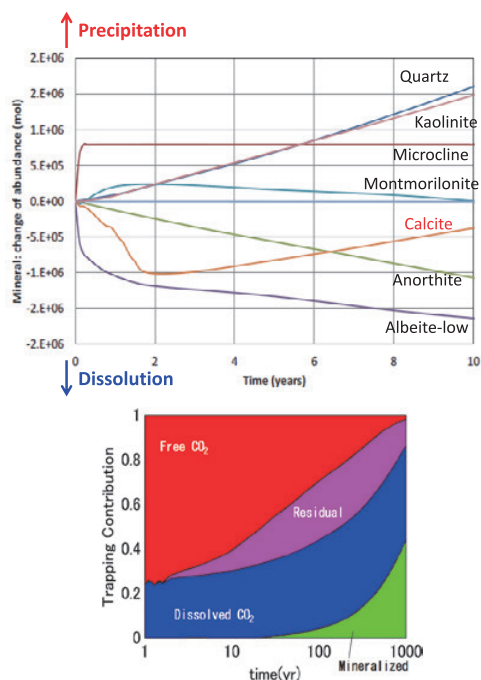


図3 鉱物反応シミュレーション結果とトラッピングメカニズムの経時変化

CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、これらの課題に取り組むために、米国ローレンス・バークレー国立研究所で開発されたTOUGHREACT V2.0の並列化、およびヒステリシス特性への対応のためのコードの改良を行った。開発したコードの検証と性能評価のため、国内で唯一のCO<sub>2</sub>圧入後のモニタリングを行っている長岡サイトの詳細地質モデル（格子数約10万）に対して適用し、その性能評価を行った。比抵抗モニタリング結果では高比抵抗部分に相当する超臨界CO<sub>2</sub>は2つの部分に分かれて存在し、その上下に低比抵抗部分に相当する溶解CO<sub>2</sub>が存在していることが明らかになっているが、シミュレーションによるCO<sub>2</sub>挙動解析結果において詳細に再現できている（図2）。

また、地化学反応を含めた1,000年間の長期挙動予測を行った結果、どのような鉱物が反応（溶解・生成）しているか、およびCO<sub>2</sub>のトラッピングに対する寄与率の経時変化も計算可能となった（図3）。これらの計算は、並列化する計算機数を増やせば短時間で実行可能であるため、大規模サイトへの適用も可能である。

### 3.3. 海洋環境影響評価技術開発

CO<sub>2</sub>地中貯留においては、CO<sub>2</sub>が安定的に貯留される地層を貯留層として選定するため、漏出のおそれは極めて小さいと考えられる。しかし、万が一に備え、漏出を検知する技術は必要である。RITEでは、沿岸域の海底下貯留を想定し、海洋へのCO<sub>2</sub>漏出の検知技術の研究開発を行っている。CO<sub>2</sub>は主として気泡の状態で海底から漏出し、気泡は浮力により海中を上昇しながら海水に溶解すると考えられている。したがって、漏出の検知技術としては、海中の気泡を検知する手法と、漏出CO<sub>2</sub>の溶解によるCO<sub>2</sub>分圧（pCO<sub>2</sub>）の上昇を検出する手法が考えられる。

海中の気泡を検知する手法としては、サイドスキャンソナー（Side-scan sonar、以下、SSS）を用いた音響探査手法を検討している。SSSとは、送波器より発信した音波が物体に反射して戻ってきた際に、音波の強度の違いを色の濃淡によって平面画像に表示する音響探査機器であり（図4）、海底地形や海底地質の探査に頻繁に用いられている。RITEでは、海中の気泡が音波を反射する性質に着目し、これまでに水深6～7mの海底から20mL/minで放出した圧縮空気の気泡柱をSSSで検知できることを明らかにし

てきた。そこで2016年度は、SSSによる気泡検知技術の実用性を検証するため、海底下貯留の実証試験が実施されている苫小牧沖と同程度の水深30mの海底から圧縮空気およびCO<sub>2</sub>気泡を放出し、気泡放出点と測線との距離（オフセット、図4）によって、得られる気泡画像に違いがあるか否かを検討することにした。圧縮空気の場合には、オフセットが20mおよび10mでは海底付近から気泡柱が認められたが、オフセットが0mおよび2mでは海面から水深5~20mにかけてのみ気泡がみられた（図5a）。一方、CO<sub>2</sub>に対しては、オフセットが10mでは水深5~15m付近に気泡がみられたが、オフセットが0mおよび2mでは水深5m付近に気泡が確認された（図5b）。このように、圧縮空気、CO<sub>2</sub>のいずれにおいてもオフセットによって、SSS画像上に反映される位置（深さ）が異なることが明らかになった。実際の音響探査では、複数の測線を平行に設定するので、複数のSSS画像上の気泡の位置からおおよその漏出地点を予想できることが期待される。CO<sub>2</sub>の放出率は圧縮空気の10倍程度であったにも拘わらず、得られた画像の強度は圧縮空気より弱かった（図5）。これは、海底から放出されたCO<sub>2</sub>気泡が上昇していく過程で溶解するために気泡が小さくなり、反射強度が弱くなったためと推察される。このように、圧縮空気とCO<sub>2</sub>では、SSS画像に特徴的な差が生じることが明らかになった。

CO<sub>2</sub>漏出によるpCO<sub>2</sub>上昇の検出する手法については、異常値判定の基準をどのように設定するのが問題となる。RITEでは、pCO<sub>2</sub>だけでなく溶存酸素飽和度(DO)も用いた異常値判定基準を考案した。以下に、

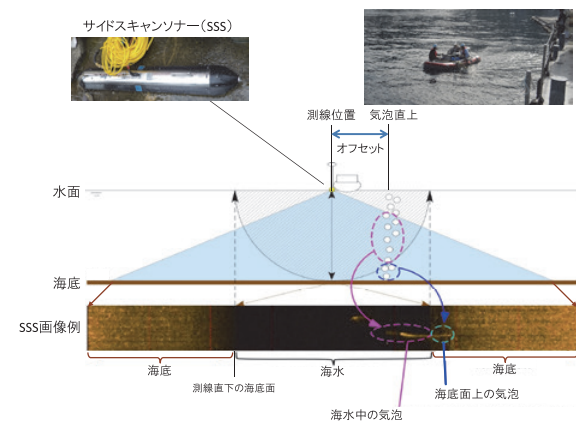


図4 サイドスキャンソナー画像における気泡のシグナルと海水中の位置関係の概念図

大阪湾で観測されたデータを用いて、pCO<sub>2</sub>の値だけで異常値を判定する場合の問題と、その問題がDOも用いることで改善されることを示す。大阪湾では毎年2月、5月、8月、11月に定点観測が行われている。pCO<sub>2</sub>とDOは明瞭な逆相関を示している（図6）。RITEが考案したのは、pCO<sub>2</sub>とDOの線形回帰の予測区間上限を異常値判定基準にすることである。pCO<sub>2</sub>の値のみで異常値の判定基準を設定する（例えば図6の黒点線）と、貧酸素状態では自然変動の範囲内であるpCO<sub>2</sub>値を異常値と誤判定しやすく（図6の①）、酸素が豊富な状態では自然変動の範囲を大きく超える高いpCO<sub>2</sub>値を正常値と判定してしまう（図6の②）という問題が生じる。しかし、回帰直線の予測区間上限（例えば図6の緑太点線）を判定基準にするとこの問題は大幅に改善される。ただし、自然変動データのみしか含まれていない図6においても緑太点線より上にデータがあるように、一定の割合で自然変動が異常値と誤判定されることは避けられない。また、8月（青点）に注目すると、400μatm~1800μatmでばらついており、年によって値が大きく変動していることが示されている。このことから、異常値判定基準の作

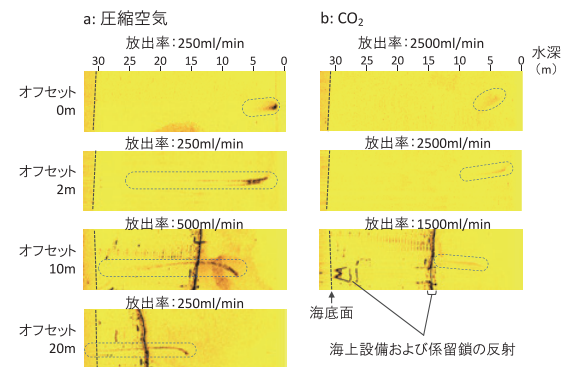


図5 実験で得られたサイドスキャンソナーの画像

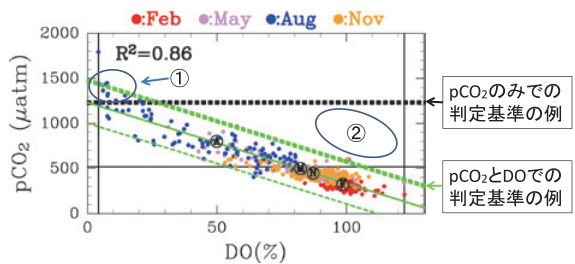


図6 溶存酸素飽和度 (DO) とCO<sub>2</sub>分圧 (pCO<sub>2</sub>) の散布図  
黒点線はpCO<sub>2</sub>の平均値+標準偏差の3倍、緑直線と緑点線は回帰直線とその99%予測区間。①と②は本文参照のこと。



成には少なくとも数年以上のデータが必要であることが示唆される。

#### 4. 国際連携および海外動向調査

RITEは、CCSに関係する国際機関などとの連携を通してCCSの普及に貢献するとともに、CCSの海外動向調査を行っている。ここでは、2016年のCCS関連の主な国際動向と、RITEが参加している国際機関などのうち、2016年10月に東京で会合を開催した炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）の動向をまとめることとする。

##### 4.1. CCSに係る海外動向

2016年は、世界初の大規模CCS事業であるノルウェーのSleipnerプロジェクトにおいて、深部塩水層へのCO<sub>2</sub>圧入が開始されてから20年目に当たる節目の年であった。同プロジェクトは、2016年までに1,600万トン以上のCO<sub>2</sub>を安全に貯留しており、CCS技術の安全性を示す好例となっている。

さらにノルウェーでは3つの産業プラントに対するCCSプロジェクトの計画が進んでいる。事業の実現可能性を探る検討の結果が2016年夏に公表され、政府の支援を受けて詳細な検討を行う次の段階に進むことが決定している。回収されたCO<sub>2</sub>は船舶で浮遊式一時貯蔵施設に集約されたのちに、パイプライン経由で海域の深部塩水層に圧入される計画となっている。2019年春に予定されている最終投資決定が下されれば、2022年の稼働が見込まれる。

2016年に運転を開始した大規模CCSプロジェクトは、世界初の鉄鋼セクターでのCCSであった。アラブ首長国連邦に立地する製鉄所から年間80万トンのCO<sub>2</sub>を回収し、石油増進回収（EOR）に利用するものである。この製鉄所では、高炉方式ではなく、CO<sub>2</sub>回収が比較的容易な直接還元プロセスが採用されている。

オランダのROADプロジェクトは、政府から2016年12月に支持が表明され、2017年中に最終投資決定が下されることへの期待が高まっている。2017年中に運転開始が見込まれる大規模CCSには、米国のイリノイ産業CCSや豪州のGorgonなどの産業CCSのほか、Petra Nova、Kemperという米国の石炭火力CCSがあり、2017年がCCSコミュニティにとって飛

躍の年となることが期待される。

##### 4.2. CSLFの動向

CSLFの2016年の年次会合が、経済産業省とRITEの主催により10月に東京で開催された。この会合において、苫小牧CCS実証プロジェクトがCCSの普及・発展に資するプロジェクトとして認定された。日本国内のCSLF認定プロジェクトは、RITEによる膜分離技術の開発プロジェクトに次いで2件目となる。

技術グループにおいては、2015年秋以降、貯留層の孔隙スペースの有効利用、海域EOR、バイオCCSの3つのタスクフォースが2017年秋の閣僚級会合前の報告書の策定に向けて活動中である。東京会合において、これに加えて、CO<sub>2</sub>利用に焦点を当てた産業CCSについてのタスクフォースも立ち上げることになった。また、日本の提案により、CCSに対する合理的な規制を検討するタスクフォースを政策グループとともに設置することが検討されることになった。

政策グループでは、東京会合においてチェコの加盟が議論され承認を受けた。チェコは石炭の生産量が多く、また、石炭火力への依存度も高いため、CCSへの関心が高い。チェコの加盟により、加盟国数は欧州委員会を含めて26となった。政策グループには、「コミュニケーション」と呼ばれるCCSの啓蒙活動のためのタスクフォースがあるが、その活動の一環としてCSLFのウェブサイトが関係者以外にも有用な情報源となるように東京会合の開催を前に刷新された。



## 無機膜研究センター



センター長・首席研究員  
中尾 真一

### 【コアメンバー】

副センター長・首席研究員	西田 亮一
首席研究員	喜多 英敏
副主席研究員	西野 仁
副主席研究員	余語 克則
主任研究員	山田 秀尚
主任研究員	龍治 真
研究員	来田 康司
研究員	中野 元
研究員	沼口 遼平
	作山 邦夫 (企画調査グループ兼務)

## 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. 無機膜研究センターの概要

2016年4月に、RITEの新たな研究組織として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・エネルギー技術の研究開発、およびその実用化・産業化に向けた取り組みを行っている。

膜を用いる分離法は、蒸留法や吸着法と同じ分離技術の一つで、これまで有機高分子系の膜を用いた海水淡水化や水処理用の逆浸透膜や精密ろ過膜などが実用

化されてきた。近年、ガス分離（蒸気分離を含む）に膜分離法を適用する検討も進められるようになり、エネルギー消費量が格段に小さく、生産プロセスのインベーションを創出する技術として期待されている。

その中でも、シリカ膜やパラジウム膜、ゼオライト膜など無機膜を用いる膜分離法は、耐熱性や耐環境性に優れているため幅広い分野に適用でき、またこれまで課題とされてきた分離対象の「選択性」と「透過率

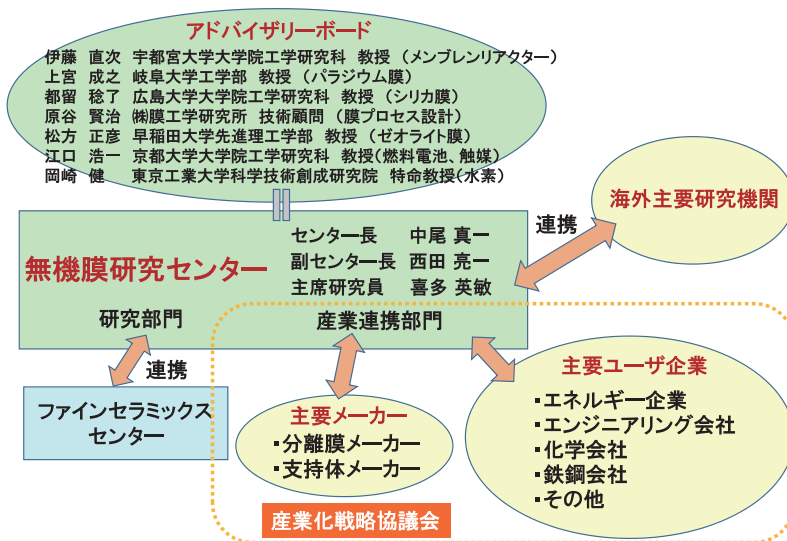


図1 無機膜研究センターを中心とする推進体制



(=処理速度)」とのトレードオフの関係を超える高い分離性能が実現できるものとして大きな注目を集めている。

欧州で始まった無機膜の研究開発は現在では日本が世界を大きくリードしているが、その実用化はまだ一部の用途に留まっている。近年中国等の追い上げも激しく、今後、研究開発を一層進展させるとともに、実用化・産業化に向けた取り組みを積極的に行うことが喫緊の課題となっている。

無機膜研究センターは、その課題を解決すべく、以下の様な目的で活動を進めている。

日本の英知を結集して、

- ①無機膜の研究開発を推進し、革新的環境・エネルギー技術を実用化する
- ②産学が連携して、日本に無機膜の産業を確立するための道筋を提示する
- ③メーカー、ユーザー企業と連携して国費事業等を受託する他、民間企業との共同研究／委託研究の受け皿となる
- ④各種無機膜の第一人者から中堅・若手研究員への技術伝承を行う

当センターは、無機膜を用いた環境・エネルギー技術の研究開発を進める「研究部門」と、その実用化・産業化に向けた取り組みを行う「産業連携部門」の2つの部門を有している(図1)。

研究部門では、それぞれに優れた特長を有するシリカ膜、パラジウム膜、ゼオライト膜の3つの無機膜を

コア技術として、水素の分離・精製、CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>分離、炭化水素などの有機化合物の分離などの研究開発に取り組んでいる。

また、産業連携部門では、分離膜・支持体メーカーやそのユーザー企業を会員とする「産業化戦略協議会」を創設し、メーカーやユーザーが多様な視点から複合的に協力して、ロードマップ策定やニーズ・シーズマッチング、国費事業等の企画・立案などの活動を行っている。

研究部門と産業連携部門のシナジー効果を創出できる体制を有していることが、組織の大きな特徴となっている。

組織のもう一つの特徴として、無機膜研究やその主要な出口の一つと考えられる水素や燃料電池研究の第一人者から構成される「アドバイザリーボード」の設置があげられる。研究部門や産業連携部門へのアドバイス、中堅・若手への技術伝承などのための貴重な場となるものであり、今後、この機能を充実していく計画である。

本稿では、先進的な研究開発と、それを実用化・産業化するための取り組みを両輪として進めている無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術に関する当センターの取り組みについて紹介する。

## 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

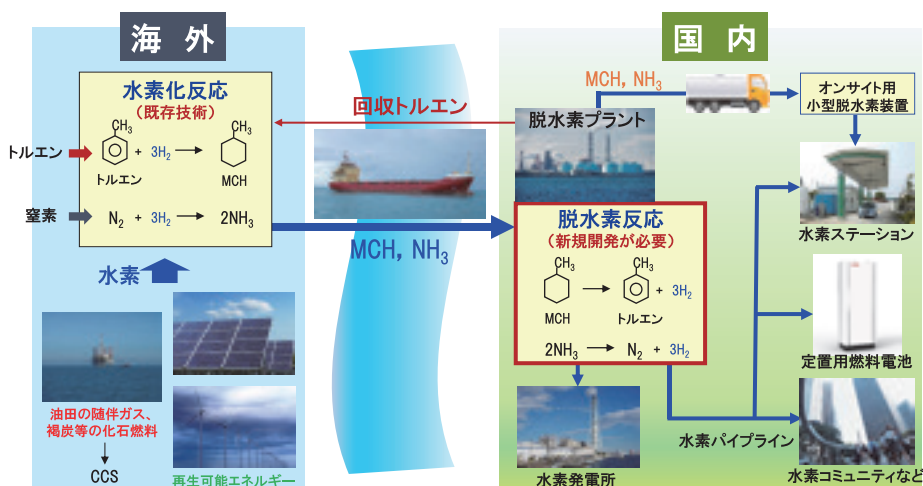


図2 エネルギーキャリア コンセプト図

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。水素をメチルシクロヘキサン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2）。

水素をメチルシクロヘキサン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。最近優れた性能を有する脱水素触媒は開発されたが、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メチルシクロヘキサンから高純度水素を効率的・安定的に取り出す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）の研究開発を推進している。これは、NEDO「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」で行っているもので、千代田化工建設株式会社と共同で受託している。

具体的には、水素分離膜であるシリカ膜の長尺化および水素分離性能の一層の向上、メチルシクロヘキサンから脱水素・精製を行う単管膜反応器の開発、7本の単管膜反応器をモジュール化した試験装置の開発等を行っている。

シリカ膜の長尺化では、2015年度までに達成した20cm長への長尺化から、さらに実機サイズと想定している50cm長への長尺化に取り組み、製膜装置を改

良することによって高性能なシリカ膜の製膜に成功している。また、2016年度は、シリカ膜の水素分離性能のさらなる向上についても新たに取り組み、これまでのシリカ膜の水素分離性能を大きく超える水素分離性能を達成するなど着実に成果を上げることができた。

単管メンブレンリアクターの開発では、装置の実用化に必須と考えられる外側触媒の構成が保護膜等を用いることなく実現可能であることをすでに見出し（図3）、この構成を用いた単管メンブレンリアクターによる平衡シフト効果（同じ転化率での反応温度の低減）を確認している（図4）。これによって、脱水素触媒の長寿命化や副反応の抑制が期待できるが、シリカ膜の水素分離性能を高めることにより、さらなる平衡シフト効果が得られるとともに、脱水素プロセスの簡略化などが期待できる。

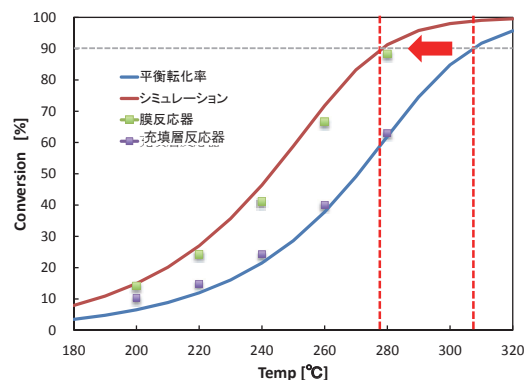


図4 単管メンブレンリアクターによる平衡シフト効果

メンブレンリアクターのモジュール化では、量産化を念頭に置いた低コストシール法などの開発を進めるとともに、7本の単管シリカ膜メンブレンリアクターから構成される試験装置を設計・製作し（図5）、各種エンジニアリングデータの収集を行っている。2016年度は、運転研究を通じて、モジュール試験装置の技術課題を抽出して実用化に向けた装置の改良を進めるとともに、各種データ収集を引き続き行い、モジュール試験装置でも、多様な条件下で良好な平衡シフト効果が得られることをこれまでに確認している。今後、スケールアップを念頭に置いた装置改良検討を進めるとともに、引き続きエンジニアリングデータの収集を行い、実用化開発に繋げる計画である。

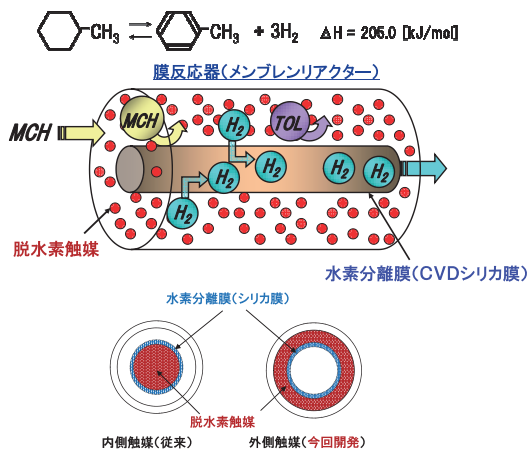


図3 メンブレンリアクターと触媒充填構造



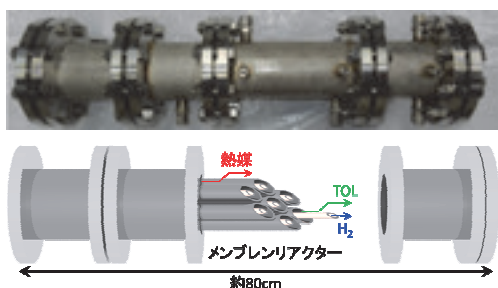


図5 メンブリアクターモジュール試験装置

### 3. 細孔内充填型パラジウム膜を用いた水素分離・精製

パラジウム膜はアンモニアの脱水素・精製や天然ガス改質への適用が期待されており、メンブリアクターを用いた高効率水素製造の検討が進められている。既存技術であるPSAを用いる水素製造法は多段階工程で大掛かりな設備が必要であるが、メンブリアクターを用いることで装置を簡略化・コンパクト化できる。しかし、従来のパラジウム膜は優れた分離性能を示すものの、基材の外表面上にパラジウム膜を有するため、①基材との熱膨張率の差による膜剥離、②水素脆化、③飛翔物による膜破損、④触媒との合金化など、耐久性の面で課題があった。また、高価なパラジウムを使用するというコストの面でも課題があった。

当センターでは、これらの課題を解消する可能性を有する細孔内充填型パラジウム膜（図6）の研究開発を進めている。基材表面から少し内側の細孔内に緻密なパラジウム膜を有する構造にすることで、基材が保護層として働き、従来型と同等の水素透過性能、選択性を示すとともに、従来型パラジウム膜と比較して耐久性が向上することを確認している。また、基材内部の粒子間隙にパラジウムを埋め込む構造のため、パラ

ジウム使用量は同じ膜厚の従来型パラジウム膜（図7）と比較すると約3分の1となり、大幅なコスト低減も可能になるものと期待される。現在、パラジウム膜の性能向上やメンブリアクターへの適用可能性評価など、実用化に向けて研究開発を進めている。

#### 細孔内充填型Pd膜

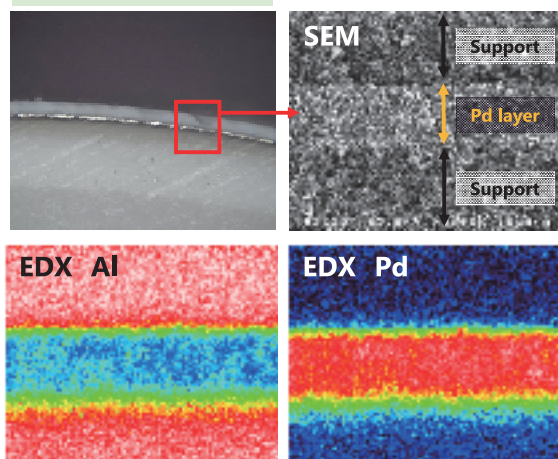


図6 細孔内充填型パラジウム膜のSEM像およびEDXマッピング像

#### 従来型Pd膜

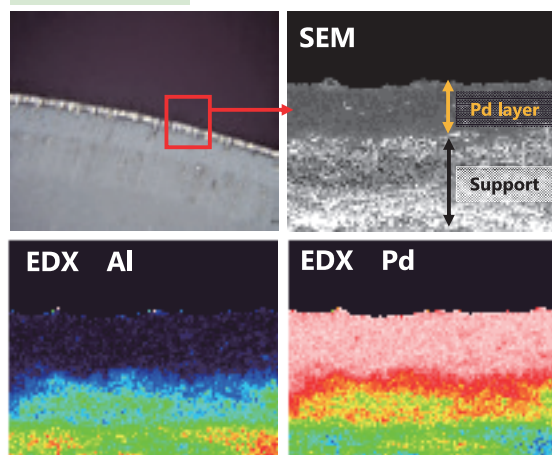


図7 従来型パラジウム膜のSEM像およびEDXマッピング像

### 4. 高性能ゼオライト膜の開発

CO<sub>2</sub>分離技術はCCSだけでなく天然ガスやバイオガス精製などのエネルギー生産プロセスにおいても重要である。近年、高シリカ含有のゼオライト膜を用いたCO<sub>2</sub>分離が注目されている。高シリカ含有のゼオライト膜は、細孔容積が大きく、ガス拡散性に優れることから、低シリカ含有のゼオライト膜よりも高いCO<sub>2</sub>

透過率が得られやすい傾向にある。また、低シリカ含有のゼオライト膜は、細孔内に水分が吸着されやすく、透過性能が低下することが知られている。したがって、低シリカ含有のゼオライト膜では、除湿装置による前処理が必須である。それに対して、高い疎水性を有する高シリカ含有のゼオライト膜は、水分の吸着による細孔の閉塞が起こりにくく、水蒸気の共存下においても活用できる可能性がある（図8）。

当センターでは、Si-O-Si結合のみのフレームワーク構造からなるピュアシリカゼオライト膜の開発を進めている（図9）。これまでに、世界トップクラスのCO<sub>2</sub>分離性能を有するピュアシリカゼオライト膜（RITE-1膜）の開発に成功している（図10）。開発に成功したRITE-1膜は、同じフレームワーク構造を有するアルミノシリケート型のゼオライト膜に比べて、水蒸気に対する安定性に優れていることを確認してい

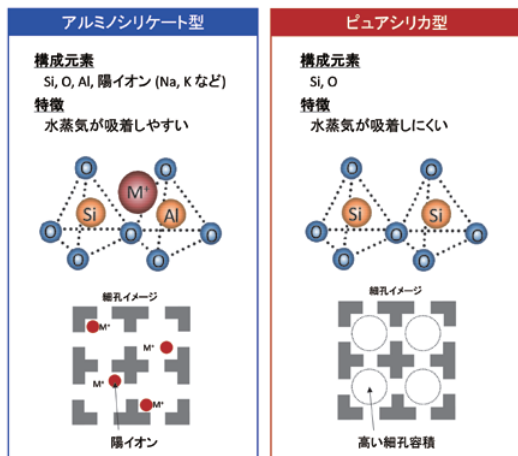


図8 ゼオライトの特長

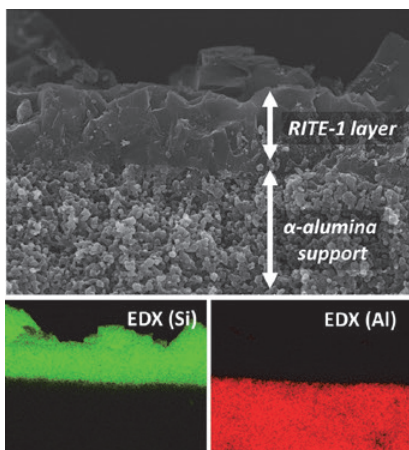


図9 RITE-1膜のSEM像およびEDXマッピング像

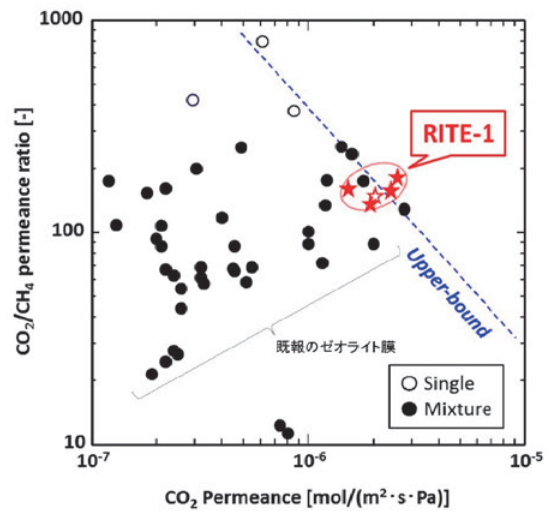


図10 RITE-1膜のCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>分離性能

る。現在、RITE-1をはじめとするピュアシリカゼオライト膜について、各種条件における分離性能評価を進めている。

### 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・支持体メーカーおよびユーザー企業計16社（2017年3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化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」の設置および運営
- ②国、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構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、会員企業間の研究員交流
- 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協議会員限定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。



2016年度は、5月から11月まで約半年をかけて、研究会として取り上げるテーマの検討・選定を行った。ユーザー企業からのニーズ紹介、それに対する分離膜・支持体メーカーからのシーズ提案を行い、活発に検討・議論を行った結果、2016年11月に開催された臨時総会で、次の3つの研究会の設置が第1期（2年間）として承認され、活動を開始した。

- ①CO<sub>2</sub>分離研究会
- ②水素製造研究会
- ③共通基盤（信頼性評価等）研究会

また、協議会会員向けセミナーを開催（2016年末時点で3回開催。年間4回開催予定）し、アドバイザリーボード、会員企業、無機膜研究センターなどから最新の研究開発動向やニーズ、シーズの紹介など計11件の講演を行い、活発な質疑・応答、討論が行われた（図11）。参加者からは、知識を得る場としてだけでなく、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であると好評を得ている。

なお、協議会会員向けセミナーの講演内容に関連する特許・文献調査を実施して、その要約に無機膜研究センターとしてのコメントを添えたニーズ・シーズ情報も、定期的に協議会会員に提供している。

## 6. おわりに

地球環境保全はもちろんのこと、日本の産業競争力強化のためにも、革新的な環境・エネルギー技術の開発に取り組むことは重要である。

無機膜研究センターは2016年4月に発足したばかりではあるが、それぞれに優れた特長のあるシリカ膜、パラジウム膜、ゼオライト膜といったコア技術を有しており、また分離膜・支持体メーカー、ユーザー企業とともに立ち上げた産業化戦略協議会も会員企業の積極的参画のもと、順調に活動が進んでいる。当センターを核とする分離膜・支持体メーカーとユーザー企業、そして大学等の協調の輪をさらに広げて、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の一日も早い実用化、そして産業化を実現したい。



図11 協議会会員向けセミナー

## ISO/TC265第8回総会、関連ワーキンググループ会合(札幌)

CCSの国際規格化を進めるISO/TC265では年に2回、参加各国が一堂に会する総会と関連WG会合を開催しています。この会合は参加各国の持ち回りで開催されているもので、これまでフランス/スペイン/中国/ドイツ/米国（2回）/ノルウェーで開催しています。今回、初めて日本で開催することとなり、その運営をRITEが担いました。札幌市で会合を行い、テクニカルツアーとして日本CCS調査株式会社（JCCS）様苫小牧実証試験サイトを見学しました。



**開催日** 2016年11月28日(月)～12月2日(金)  
**場 所** 札幌コンベンションセンター  
 (札幌市白石区東札幌6条1丁目1-1)  
**主 催** 日本工業標準調査会 (JISC)  
**運 営** 地球環境産業技術研究機構  
 (ISO/TC265国内審議団体)  
**後 援** 国際石油開発帝石株式会社、石油資源開発株式会社、三菱重工業株式会社、応用地質株式会社、株式会社東芝、日本CCS調査株式会社  
**参加者** 約90名

### 日 程

11月28日 9:00～17:00 各WG会合 (WG1-WG6)  
 17:00～19:00 コンビーナ会合  
 11月29日 9:00～17:00 各WG会合 (WG1-WG6)  
 17:00～19:00 WG6ワークショップ  
 11月30日 9:00～11:00 各WG会合 (WG1-WG6)  
 12:30～18:00 苫小牧実証試験見学  
 18:30～20:30 総会レセプション  
 12月1日 9:00～17:00 TC総会  
 18:00～20:00 夕食会  
 12月2日 9:00～12:45 TC総会

ISO/TC265では6つのワーキンググループ (WG) に分かれて規格化を進めています。WG1：回収、WG2：輸送、WG3：貯留、WG4：定量化と検証、WG5：クロスカutting、WG6：CO<sub>2</sub>-EORの分野を扱っています。

規格の開発は段階的にドラフトを作成していくことで進められます。作成にあたってはメンバーのコンセンサスを得ることが必要とされており、また、ドラフトの段階 (CD、DIS、FDIS、IS) ごとに国際投票が実施されます。そのため、今回のようなWGごとの face to faceの会合が規格の開発には不可欠になって

います。さらに、各WGを横断する問題の解決や進捗状況の監視、開発手順の妥当性検討のために全員が一堂に会する総会が開かれます。

今回も最初の3日間で各WGの会合が開かれました。WG1はCD投票のコメントの処理、WG3はDIS投票のコメント処理、WG4は新たな規格開発のための投票対応、WG5はFDISのドラフティング、WG6は2回目のCDのドラフティング、をテーマとしてそれぞれ会議がすすめられました (WG2は開催せず)。その他、この期間にWG6主催によるワークショップが開かれました。これはWG6のCDが投票を通過しなかったことを受けて、各国のメンバーにCO<sub>2</sub>-EORの特徴を理解してもらう目的で実施されました。

苫小牧へのテクニカルツアーではJCCS様のご協力のもと、サイト全体の概要説明に続いて、圧入坑井、コントロールルーム、モニタリングルームを見学しました。その後、室内で行われた実証試験内容のプレゼンに対して活発な質疑応答が行われ、海外メンバーの方々の関心の高さがうかがわれました。

総会では各WGのコンビーナ (議長) の投票結果、今回の各WGの会合結果の確認、クロスカutting用語の取り扱いなどについて議論がされました。また次回の総会は2017年5月8日から12日まで中国の新疆ウイグル自治区で開催されることが紹介されました。

(注) CD：Committee Draft, DIS：Draft IS, FDIS：Final Draft IS, IS：International Standard





## 企画調査グループ

## 第13回 温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT-13) 参加報告

2016年11月14日～18日、スイス ローザンヌで、第13回温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT: International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) が、スイス連邦工科大学 (EPFL: École Polytechnique Fédérale de Lausanne)、スイス連邦エネルギー局 (SFOE: The Swiss Federal office of Energy) および国際エネルギー機関温室効果ガス研究開発プログラム (IEAGHG: IEA Greenhouse Gas R&D Programme (国際エネルギー機関 (IEA) の実施協定の一つであり、事務局は英国)) との共催で開催されました。この会議は温室効果ガスの削減技術の中でも特に、CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS) を中心テーマとした世界最大級の国際会議で、2年毎に、欧州、北米、アジア・オセアニアの3地域の持ち回りで開催しています。

今回のGHGT-13には、39カ国から約1,000名の参加者 (米国:約160名、ノルウェー:約150名、英国:約110名、日本:約100名) があり、技術セッションは13テーマ、77セッションで活発な議論が行われました。分野別では、貯留に関するセッションが24 (その他の貯留オプションを含む)、回収に関するセッションが23あり、これらの数は全セッションの約6割を占めています。RITEからは、貯留および回収の各技術セッションで合わせて9件の口頭発表を行い、ポスターセッションでは10件の発表を行いました。またRITE CO<sub>2</sub>貯留研究グループの薛主席研究員が、貯留に関するテクニカルセッションのセッションチェアを務めました。

閉会式では、次回GHGT-14 (2018年10月21日～26日、オーストラリア メルボルンにて開催予定) の紹介がなされ、5日間にわたる会議が終了しました。



GHGT-13会場 (スイステックコンベンションセンター) と講演の様子

## システム研究グループ

COP22サイドイベント  
各国 NDC 政策と排出削減努力の評価

COP22会場 (モロッコ・マラケシュ) において、今後、パリ協定で非常に重要となる各国の約束草案 (NDC) の評価に関するサイドイベントを開催し、議論を行いました。米国未来資源研究所 (RFF) の Raymond Kopp 氏による概要説明の後、ハーバード大学の Joseph Aldy氏より、4つのモデル (RITE-DNE21+など) から得られた各国NDCの評価結果概要の紹介と、評価のフレームワークについての説明が行われました。続いてRITE秋元グループリーダーから限界削減コスト比較など各種指標による評価結果を紹介し、さらに秋元GLとイタリアのエニ・エンリコ・マッテイ財団 (FEEM) の Aleluia Reis 氏から、エネルギーの見通しなどの政策の有無によるNDC削減目標実現のいくつかのシナリオの比較評価などの紹介が行われました。

開催日: 2016年11月15日 (火)

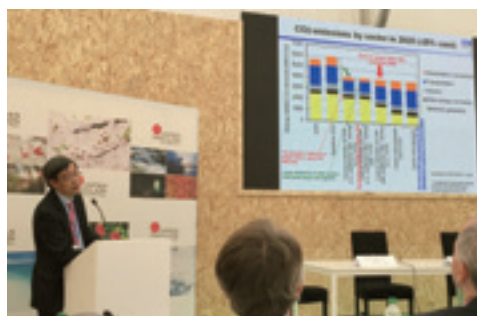
場所: COP22 Japan Pavilion (モロッコ・マラケシュ)

主催: RITE

共催: 未来資源研究所 (Resources For the Future: RFF)、  
エニ・エンリコ・マッテイ財団 (Fondazione Eni Enrico Mattei: FEEM)

プログラム:

- ・概要説明  
RFF Raymond Kopp
- ・透明性、政策審査、削減努力の比較評価  
ハーバード大学 Joseph E. Aldy
- ・コスト評価手法によるNDCの削減努力評価  
RITE 秋元圭吾
- ・透明性、政策審査、削減努力評価  
FEEM/CMCC Lara Aleluia Reis
- ・ディスカッション、質疑応答



## グリーン・サステイナブルケミストリー(GSC)賞 奨励賞の受賞

RITE、住友ベークライト（株）、グリーンフェノール開発（株）(GPD)による「植物由来フェノール製造技術の開発」が、第15回グリーン・サステイナブルケミストリー（GSC）賞奨励賞を受賞しました。この賞は公益社団法人新化学技術推進協会（JACI）によりGSCの推進に貢献した研究者やグループ等に贈られます。JACIによる表彰式と受賞講演が2016年6月2日～3日に神戸で行われました。

地球温暖化対策、石油資源枯渇などの課題に対応すべく、石油資源依存型から資源循環型に産業構造が転換される動きが高まり、植物資源からのプラスチック生産に大きな注目が集まっています。

フェノールは、自動車部品、電子材料、建築材料などに不可欠な材料であるフェノール樹脂、エポキシ樹脂、ポリカーボネート樹脂などの樹脂原料であり、国内需要は約80万トン/年、世界需要は約940万トン/年に及び、今後もさらなる拡大が見込まれます。

現在、工業生産されているフェノールは、石油由来の原料を用いて製造されているもののみです。代表的な工業生産法であるクメン法は高温高压（～250℃、30気圧）の条件下で行われる高エネルギー消費型プロセスであり、さらに有機溶媒や強酸も多用するなど、地球環境保全や温室効果ガス削減の観点から、低環境負荷型のフェノール製造技術の開発が求められています。

こうした背景のもと、受賞者らはアミノ酸の工業生産などで優れた生産能力を有するコリネ型細菌を用い、通常の化学プロセスと同等以上の高効率生産が実

現可能な増殖非依存型バイオプロセス「RITEバイオプロセス」をベースとし、独自のバイオプロセスによるバイオマス由来フェノールの製造技術開発に成功しました。

本技術は、植物由来の混合糖を原料として用い、常温常圧（30～33℃、大気圧）の条件下で反応可能な省エネ性の高いプロセスであり、従来の石油由来フェノールの製造法と比較して、エネルギー（原油換算）については石油由来原料から植物由来原料への置換効果も含めると約69%の削減、CO<sub>2</sub>排出量については焼却廃棄まで考慮するとカーボンニュートラルの効果から約70%削減可能と試算されました。

バイオマス由来フェノールから製造されるフェノール樹脂の性能は、従来の石油由来のものと同様であるため、これまで通り幅広い用途に適用できます。

さらに、本技術はフェノール以外にも芳香族モノマー化成品製造への応用展開が可能であり、ポリマー原料としてだけでなく、医薬品中間体や、農薬、香料、化粧品原料などの高付加価値物質等への高い発展性を有します。



GSC賞 奨励賞受賞



## バイオ研究グループ

## BioJapan2016

World Business Forum BioJapan 2016が2016年10月12日～14日にパシフィコ横浜において開催されました。今回は再生医療JAPAN2016との初めての共同開催となり、来場者数は過去最高の15,133名となりました(2014年12,724名、2015年14,153名)。RITEは、主催者セミナーでの講演、研究員によるプレゼンテーション、展示会への出展と、本イベントに積極的に参画しました。

(1)主催者セミナーでは、10月13日のスペシャルセッション(1)「サステナブル社会の創出に向けた提言」



専務理事 本庄孝志 講演

に、専務理事の本庄孝志が講師の一人として登壇し、「ゼロエミッション社会構築のためのグリーンバイオの役割」と題する講演を行いました。

## 【コーディネーター・講師】

- ・神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科 教授 近藤 昭彦 氏  
「システム生物学や合成生物学の発展が加速するバイオエコノミーの実現」

## 【講師】

- ・トヨタ自動車株式会社 新事業企画部バイオ・緑化研究所 所長 畦上 修 氏  
「トヨタ自動車におけるバイオ分野の取り組み」
- ・(公財)地球環境産業技術研究機構 専務理事 本庄孝志  
「ゼロエミッション社会構築のためのグリーンバイオの役割」
- ・京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授 矢野 浩之 氏  
「持続型社会に向けたセルロースナノファイバーの利用」

(2)展示会場内の「JBAオープンイノベーションゾーン」では、10月13日に4名の主任研究員がRITEバイオプロセスに関する発表を行いました。



JBAオープンイノベーションゾーンでの研究員発表

## 【発表内容】

- ・「RITEバイオプロセスの優位性とその事業化」 加藤直人
- ・「RITEバイオプロセスによるグリーンフェノール生産の実用化開発」 北出幸広
- ・「抗インフルエンザ薬原料「シキミ酸」の高生産」 小暮高久
- ・「高付加価値物質生産への挑戦：芳香族化合物」 久保田 健

(3)昨年に引き続き、RITEはグリーンフェノール開発(株)(GPD)と共同で展示会に出展しました。展示ブ



ースでは、RITEのコア技術を始め、METI国際共同研究及びNEDO先導研究で実施中のプロジェクトの紹介や、RITEバイオプロセスの実用化事例としてGreen Earth Institute(株)(GEI)における取組み、グリーンフェノール技術等の説明を行いました。

## 【展示タペストリーの内容】

- ①RITE及び各研究グループの紹介
- ②RITEバイオプロセス（コア技術）について
- ③バイオ燃料生産技術開発（ブタノール、水素）について
- ④100%グリーンジェット燃料生産技術の開発について
- ⑤RITEバイオプロセスの実用化について
- ⑥グリーンフェノール開発(株)(GPD)について
- ⑦グリーンフェノール製造技術開発について
- ⑧グリーン芳香族のバイオ生産の新展開について

## 【サンプル等の展示】

非可食バイオマス、GEIによる実用化第1号となったL-アラニン、GPDのグリーンフェノール樹脂成形品等、サンプルや写真を展示しました。

多くの方々にお越しいただき、誠にありがとうございました。



RITE/GPD共同展示ブース



バイオ研究グループ

新規プロジェクト紹介

バイオ研究グループは、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）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」に参画し、この中で研究開発項目「高生産性微生物創製に資する情報解析システムの開発」を担当します（研究開発期間は5年間）。

近年、植物や微生物等の生物を用いた高機能品（試薬、香料、化粧品など）の生産技術が注目されており、その市場規模は2030年には20兆円に拡大すると見込まれています。

グローバルな視点からの競争力確保のためには、生物情報に基づく合理的で迅速な遺伝子設計、大規模な遺伝子組換えとの融合による独自技術の構築が必要です。

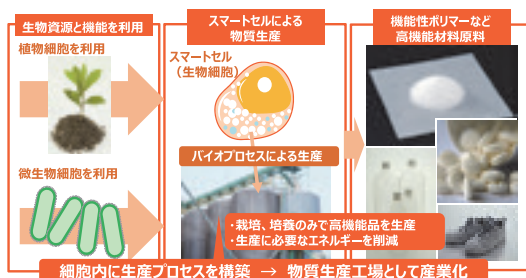
遺伝子設計に必要な大規模な生物情報を高速に取得するシステム、細胞内プロセスの迅速設計、ゲノム編集などを産業化するための技術開発を行い、これらを利用して微生物等による物質生産機能を制御することで、化学合成と比較して省エネ・低コストな高機能品の生産技術開発を目指します。

本事業では最先端のバイオテクノロジー技術を駆使して、植物や微生物の生物が持つ物質生産に関する潜在能力を人工的に最大限引き出した細胞「スマートセル」を構築し、必要となる基盤技術を開発するとともに、特定の有用物質に関する実用化技術を確立します。

RITEは、独自の発酵技術を更に発展させるため、細胞内プロセスの設計と検証、高度な最適化などのサイクルを通じて、生物が潜在的に有する細胞機能を最大限引き出した「スマートセル」を短時間で効率的に創製可能とする情報解析システムの構築とその検証を行います。

即ち、特定の有用物質を製造するために最適化された微生物を迅速に創製可能とし、次に、該システムを用いて高機能品を高生産するための培養（反応）検証を行います。

以上のように、本事業では革新的な技術の開発を推進して持続可能な社会の構築に資する“スマートセルインダストリー”の創出を目指します。



スマートセルインダストリーの創出 (METI資料より)

化学研究グループ

第6回革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム

～地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向～

(2017年1月23日 東京大学 伊藤謝恩ホール)

次世代型膜モジュール技術研究組合では、効率的な石炭ガス化発電（IGCC）等で発生する圧力を有するガスから低コストで分離回収を行う革新的な二酸化炭素分離膜の開発（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）を経済産業省からの委託事業として進めています。当日は、組合が開発している二酸化炭素分離膜技術の他、国内外の二酸化炭素分離回収技術の研究開発動向、CO<sub>2</sub>ゼロエミッションやCO<sub>2</sub>削減についての講演がありました。政府関係者や大学・企業関係者を始め201名の方にご参加いただきました。紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

- ・基調講演：CO<sub>2</sub>ゼロエミッションとCCS  
(公財)地球環境産業技術研究機構 理事長 茅 陽一
- ・基調講演：次世代火力発電とCO<sub>2</sub>削減  
群馬大学大学院理工学府 環境創生部門 教授 宝田 恭之
- ・招待講演：米国National Carbon Capture Center  
における分離膜の実証試験  
Southern Company Services, Inc. Director,  
Technology Development Frank Morton\*  
※Frank Morton氏欠席のため、甲斐技術部長が代読
- ・招待講演：天然ガスからのCO<sub>2</sub>分離のための膜分離  
技術  
Cameron, a Schlumberger company Functional  
Director of Membrane R&D 森里 敦
- ・講演：次世代型膜モジュール技術の進捗について  
MGM技術研究組合 専務理事 中尾 真一
- ・講演：海外のCO<sub>2</sub>分離回収技術の最新動向  
MGM技術研究組合 技術部長 甲斐 照彦





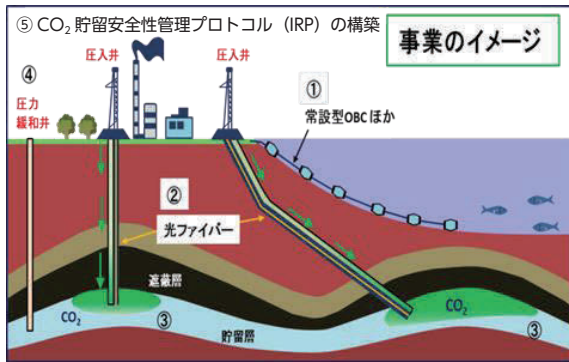


## CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

### 安全管理技術開発PJの開始とGCS組合の設立について

#### ○H28年度「二酸化炭素大規模地中貯留の安全管理技術開発事業」

RITEでは、有力な地球温暖化対策技術である二酸化炭素回収・貯留（CCS）の2020年頃の実用化を目指し、CCSに関する安全管理技術の開発を2016年度以降も継続して進めています。また、CO<sub>2</sub>を圧入・貯留する際のモニタリング技術や、貯留したCO<sub>2</sub>の長期挙動を予測するシミュレーション技術などを開発しています。経済産業省からの委託を受け、2020年度までの5年間にわたり事業を実施し、最終的には実用化規模に適用できるCO<sub>2</sub>圧入・貯留に関わる安全評価手法をサイトで適用し、安全管理技術の確立を目指します。



- ① 自然地震や微小振動観測結果を基に、ATLSによる圧入安全管理
- ② 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視
- ③ 圧入中のCO<sub>2</sub>挙動モニタリングを基に、圧入後の長期挙動予測
- ④ CO<sub>2</sub>圧入井や圧力緩和井の最適配置及び貯留率向上

モニタリング技術では、坑井へCO<sub>2</sub>を圧入した際の温度や圧力、地盤変形を光ファイバーで計測し、地層の安定性や廃坑の健全性を監視する研究を進めています。開発した技術は、北海道苫小牧沖合で経済産業省が進めているCCS実証サイトに適用し、有効性を検証します。また、万が一のCCSサイトからのCO<sub>2</sub>の漏出を検出するため、CO<sub>2</sub>の長期連続モニタリング技術の確立を目指します。

一方、効率的にCO<sub>2</sub>を圧入・貯留するため、大規模貯留層における有効な坑井の配置最適化技術や、貯留層へのCO<sub>2</sub>の溶解を促す技術の適用手法を確立し、貯留効率の向上を目指します。

加えて、CCS普及に向け、蓄積してきた開発技術や海外事例、実証事業の知見を集め、技術事例集を完成させます。また、海外の研究機関などとの技術交流も積極的に進めます。

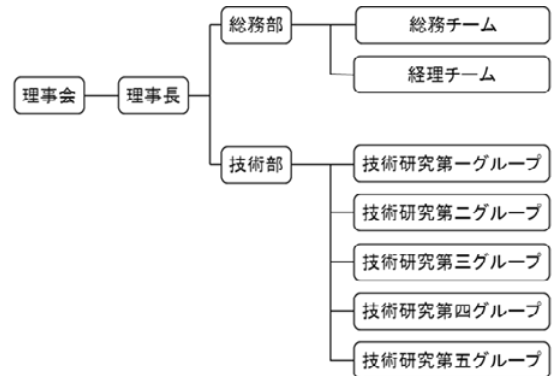
#### ○二酸化炭素地中貯留技術研究組合（GCS組合）

CCSの実用化に向けては、これまでRITEなどで進めていた研究をベースに、民間企業や研究機関が一体となって実用化研究を進めていく必要があります。このため、2016年4月1日に、二酸化炭素地中貯留技術研究組合が設立されました。

本技術研究組合へは、RITEの他に、国立研究開発法人産業技術総合研究所、応用地質株式会社、国際石油開発帝石株式会社、大成建設株式会社、石油資源開発株式会社の、1国立研究開発法人、4企業が参画しています。

本技術研究組合では、CCSの実用化に向け、我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン/年）でのCO<sub>2</sub>地中貯留技術を開発するとともに、CCSの社会受容性の獲得を志向した研究開発を行っています。

国内では日本CCS調査(株)が経済産業省から委託を受け、北海道苫小牧沖合で大規模実証試験を行っていますが、本技術研究組合はこの大規模実証試験とも密接に連携しながら、研究開発を行っています。





CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

公益社団法人物理探査学会  
平成27年度物理探査学会賞を受賞

～分布式光ファイバーセンサーによる静水圧環境下におけるひずみ測定～

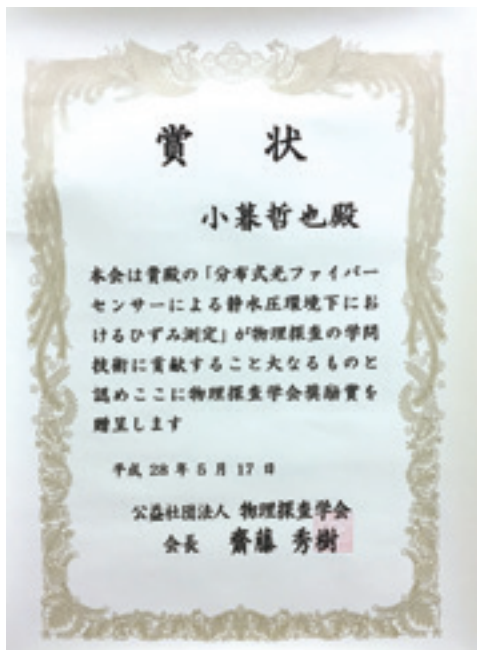
RITE 薛主席研究員、木山主任研究員、小暮研究員（現島根大学助教）他が執筆した論文「分布式光ファイバーセンサーによる静水圧環境下におけるひずみ測定」が、物理探査学会平成27年度物理探査学会賞を受賞し、2016年5月に早稲田大学国際会議場井深大記念ホールにて表彰されました。

本賞は、探査技術の進歩に寄与したもの等から特に優秀なものに授与される賞であります。

RITEでは、CO<sub>2</sub>地中貯留の安全管理技術として、光ファイバーを分布式センサーとして坑井に配置し、地表から地下までの地層変形を深度方向に連続的にひずみ等を観測する研究開発を行っています。

本論文は、静水圧環境下で、分布式光ファイバーセンサーの測定値から、ひずみ変化量を算出する手法を示し、分布式光ファイバーセンサーによるひずみ測定の有効性を示したもので、探査技術としての先進性や高い技術力が評価されたものです。

今後も、室内試験、現場実験を重ねていながら、CO<sub>2</sub>地中貯留における地層健全性監視ツールとして、実用化に向けて取り組んでいきます。



CCSテクニカルワークショップ2016  
「安全な大規模CO<sub>2</sub>地中貯留に向けて」

近年、カナダ、米国を中心として大規模CO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクトが稼働を始める中、日本でも2016年に年間10万トンレベルのCO<sub>2</sub>を帯水層に圧入する苫小牧実証プロジェクトが開始され、安全な大規模CO<sub>2</sub>地中貯留に向けた期待が高まっています。

本ワークショップは、地下深部塩水性帯水層への安全な大規模CO<sub>2</sub>地中貯留の実現に向けて、CCS分野で世界をリードする米国DOEによる実プロジェクトでの政策、研究開発動向や、カナダのQuest、米国のDecatur等年間100万トン規模の商用CCSプロジェクトに係る広範な知見について情報収集することを目的として開催しました。

また、講演の中で、我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン/年）でのCO<sub>2</sub>地中貯留技術の研究開発を行うため、2016年4月に設立された「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」の取り組みについて紹介しました。

プログラム

- ・ 講演1：米国エネルギー省の支援するCCSのR&D  
米国DOE カーボンストレージプログラムマネジャー  
Darin Damiani
- ・ 講演2：米国イリノイ州における深部塩水層貯留のアップスケーリング：イリノイDecaturプロジェクトから産業プロジェクトへ  
イリノイ大学 教授 Sallie E. Greenberg
- ・ 講演3：商業規模CCSに向けての準備ステージ  
Independent Consultant Robert J. Finley Ph.D.
- ・ 講演4：Quest CCSプロジェクト - 操業1年で得られた知見  
Shell Canada  
クエストストレージマネジャー Simon O'Brien
- ・ 講演5：二酸化炭素地中貯留技術研究組合による取り組み  
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

## 無機膜研究センター設立記念シンポジウム

本シンポジウムは、本年4月の無機膜研究センターの設立を記念して開催したもので、茅理事長からの主催者挨拶、経済産業省製造産業局審議官福島洋様のご来賓挨拶に続き、基調講演2件、特別講演1件、革新的環境・エネルギー技術を支える無機膜の現状と今後の産業化に向けた展望に関するパネルディスカッションを行いました。会場からの質問も交え、熱心に議論が行われ、無機膜の可能性と課題がよく分かったと来場者から好評をいただきました。

開催日 2016年4月15日(金)

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、NEDO、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 227名

## プログラム

## ・基調講演①

エネルギー・環境政策における膜技術の役割  
理事・研究所長 山地 憲治

## ・基調講演②

RITE・無機膜研究センターの目指すもの  
無機膜研究センター長 中尾 真一

## ・特別講演

環境・エネルギー技術を支える無機膜の開発  
ーポリイミド膜から炭素膜・ゼオライト膜へ  
山口大学大学院教授 喜多 英敏

## ・パネルディスカッション

「革新的環境・エネルギー技術を支える  
無機膜を展望する」

コーディネータ：無機膜研究センター長 中尾 真一

## パネリスト：

岩谷産業 シニアマネージャー 梶原 昌高

京セラ 小野 孝

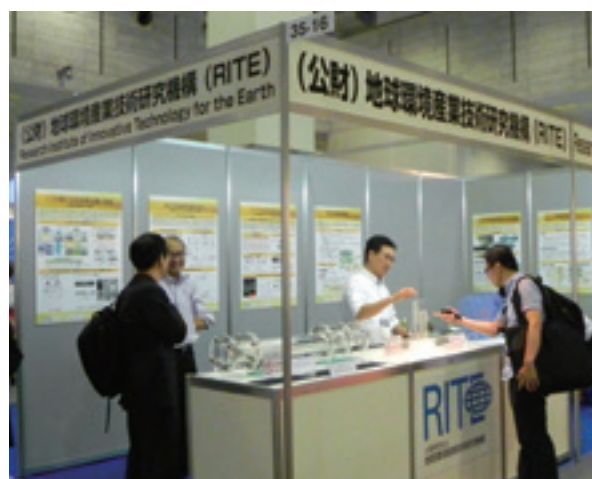
日揮 常務執行役員 保田 隆

日立造船 グループ長 矢野 和宏

広島大学大学院 教授 都留 稔了

## 関西高機能セラミックス展

第1回関西高機能セラミックス展(リードエグジビションジャパン(株)主催)が2016年10月5日~7日にインテックス大阪にて開催されました。RITEは無機膜研究センターで取り組んでいる各種無機膜(シリカ膜、パラジウム膜、ゼオライト膜)の研究開発の概要を実物や模型を交えて紹介するとともに、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化に向けた取り組み(産業化戦略協議会)を紹介しました。分離膜メーカーや無機膜の潜在ユーザーとなる企業を中心に220名を超える方がブースに来場され、数多くのご質問・ご意見をいただきました。また、7日に専門技術セミナーで西田副センター長が行った「セラミックス系ガス分離膜の現状と将来展望~革新的環境・エネルギー技術の実用化に向けて~」と題した講演も満席となり、当機構の取り組みを幅広く知っていただくことが出来ました。今回いただいた多様なご意見を、今後の研究開発および産業連携の一層の強化に役立てていきます。お越しいただいた多くの方々に、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。



RITE展示ブース



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
2016年2月10日	<b>ALPS国際シンポジウム2016</b> –COP21の評価と長期的な温室効果ガス排出削減に向けて– ・会場：大手町サンケイプラザ ・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：320名	システム 研究グループ
2016年3月7日	<b>COPパリ協定と今後のIPCC報告書</b> ・会場：第一ホテル東京 ・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：210名	企画調査 グループ
2016年4月15日	<b>無機膜研究センター設立記念シンポジウム</b> –革新的環境・エネルギー技術を支える無機膜の産業化に向けて– ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：地球環境産業技術研究機構 ・参加者数：227名	無機膜 研究センター
2016年12月7日	<b>革新的環境技術シンポジウム2016</b> –エネルギー・環境技術のイノベーションによる ゼロエミッション社会の構築– ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：地球環境産業技術研究機構 ・参加者数：390名	企画調査 グループ
2017年1月19日	<b>CCSテクニカルワークショップ2016</b> –安全な大規模CO <sub>2</sub> 地中貯留に向けて– ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム メインホール ・主催：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 ・共催：経済産業省 ・参加者数：365名	CO <sub>2</sub> 貯留 研究グループ
2017年1月23日	<b>第6回革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム</b> –地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向– ・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 ・共催：経済産業省 ・参加者数：201名	化学 研究グループ
2017年1月26日	<b>地球温暖化防止に向けての対策</b> –第6次評価サイクルにおける IPCC の活動と今後の取り組み– ・会場：発明会館 地下ホール ・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：250名	企画調査 グループ



## 出展

開催日	出展イベント名・概要	関連部署
2016年10月5日～7日	<b>第1回 [関西] 高機能セラミック展</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>会場：インテックス大阪</li> <li>主催：リード エグジビション ジャパン株式会社</li> </ul>	無機膜研究センター
2016年10月12日～14日	<b>BioJapan 2016</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>会場：パシフィコ横浜</li> <li>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</li> </ul>	バイオ研究グループ

## プレスリリース

発表日	タイトル
2016年1月6日	平成27年度ALPS国際シンポジウム開催のご案内
2016年2月9日	シンポジウム「COPパリ協定と今後のIPCC報告書」開催のご案内
2016年2月29日	「無機膜研究センター」の設立と記念シンポジウムの開催
2016年3月31日	「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」の設立について
2016年10月21日	化学吸収液の使用許諾について
2016年10月21日	革新的環境技術シンポジウム2016開催のご案内
2016年11月28日	CCSテクニカルワークショップ2016開催について
2016年12月1日	第6回革新的CO <sub>2</sub> 膜分離技術シンポジウム開催について
2016年12月20日	日本独自の低炭素化技術を活用した我が国初のCTCN技術支援事業の実施について
2016年12月20日	シンポジウム「地球温暖化防止に向けての対策」開催のご案内
2016年12月20日	韓国KCRCとのCCSに関する技術交流について

## 環境教育

実施日	実施場所	実施事項	人数
<b>◆学校の校外学習（見学）の受け入れ・出前授業</b>			
1月21日	RITE	精華町立精華南中学校 見学	4
3月1日	精華南中学校	精華町立精華南中学校 出前授業	約60
3月3日	東光小学校	精華町立東光小学校 出前授業	約110
5月6日	RITE	奈良県立奈良北高等学校 見学	40
8月2日	//	京都府立西舞鶴高等学校 見学	8
9月15日	//	奈良学園登美ヶ丘中学校 見学	9
10月13日	//	島根県立益田高等学校 見学	22
11月18日	//	精華町立精華西中学校 見学	10
<b>◆ワークショップ・実験教室の開催</b>			
2月6日に2回	けいはんなプラザ	地球温暖化を防ぐ技術を学ぶワークショップ「科学実験教室」	22
7～8月に5回	RITE	地球温暖化とCCSを学ぶワークショップ「実験とゲーム」	72
8月23日に2回	//	// 「サイエンスショー」	56
<b>◆イベント出展</b>			
2月 6日	けいはんなプラザ	けいはんな科学体験フェスティバル2016	



## 企画調査グループ

## ◆解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	CCSの実用化	清水淳一	電気評論2016年6月号、pp.41-46
2	CO <sub>2</sub> 貯留における複数坑井の利用	東 宏幸、高木正人	電気評論2016年8月号、pp.50-51
3	CSSのISO化の動向	青木好範	電気計算2016年10月号、pp.42-49
4	二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)の概要とRITEの取り組み	野村 眞、山崎 啓、中神保秀、和泉宏典、清水淳一、石黒兼二郎、美澄祐志	火力原子力発電2016年10月号、pp.93-103

## 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	日本の2030年温室効果ガス排出削減目標の評価	佐野史典、秋元圭吾、本間隆嗣、徳重功子	エネルギー・資源学会論文誌、Vol.37 No.1, 2016, pp51-60
2	The uncertainty of climate sensitivity and its implication for the Paris negotiation	Y. Kaya, M. Yamaguchi, K. Akimoto	Sustainability Science, May 2016, Volume 11, Issue 3, pp 515-518
3	Comparing emission mitigation efforts across the countries	J. Aldy, B. Pizer, K. Akimoto	Climate Policy (online)
4	Transdisciplinary Co-Design of Scientific Research Agendas: 40 Research Questions for Socially Relevant Climate Engineering Research	M. Sugiyama, S. Asayama, T. Kosugi, A. Ishii, S. Emori, J. Adachi, K. Akimoto, M. Fujiwara, T. Hasegawa, Y. Hibi, K. Hirata, T. Ishii, T. Kaburagi, Y. Kita, S. Kobayashi, A. Kurosawa, M. Kuwata, K. Masuda, M. Mitsui, T. Miyata, H. Mizutani, S. Nakayama, K. Oyamada, T. Sashida, M. Sekiguchi, K. Takahashi, Y. Takamura, J. Taki, T. Taniguchi, H. Tezuka, T. Ueno, S. Watanabe, R. Watanabe, N. Yamagishi, G. Yoshizawa	Sustainability Science (online)
5	Estimating option values of solar radiation management assuming that climate sensitivity is uncertain	Y. Arino, K. Akimoto, F. Sano, T. Homma, J. Oda, T. Tomoda	Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, vol. 113 no. 21, pp.5886-5891, 2016
6	Economic Tools to Promote Transparency and Comparability in the Paris Agreement	J. Aldy, W. Pizer, M. Tavoni, L. A. Reis, K. Akimoto, G. Blanford, C. Carraro, L. E. Clarke, J. Edmonds, G. C. Iyer, H. C. McJeon, R. Richels, S. Rose, F. Sano	Nature Climate Change 6, 1000-1004, 2016
7	The analyses on the economic costs for achieving the nationally determined contributions and the expected global emission pathways	K. Akimoto, F. Sano, B. Shoai-Tehrani	Evolutionary and Institutional Economics Review (online)
8	Decomposing passenger transport futures: Comparing results of global integrated assessment models	O.Y. Edelenbosch, D.L. McCollum, D.P. van Vuuren, C. Bertram, S. Carrara, H. Daly, S. Fujimori, A. Kitous, P. Kyle, E.O. Broin, P. Karakatsoulis, F. Sano	Transportation Research Part D (online)
9	リアル・オプション法による石炭火力及び二酸化炭素回収貯留技術の投資分析	小田潤一郎、秋元圭吾	エネルギー・資源学会論文誌、Vol.37, No.6, pp.13-22, 2016
10	A global analysis of residential heating and cooling service demand and cost-effective energy consumption under different climate change scenarios up to 2050	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, T. Tomoda, K. Akimoto	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (online)

## ◆解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	電力システム改革下での電源ベストミックスー再生可能エネルギー、原子力、火力の見通しと課題ー	秋元圭吾	電気評論、2016年4月号
2	約束草案実現に必要なコスト	秋元圭吾	月刊経団連、2016年4月号、pp.22-23
3	Trends in Japanese Energy Policy & the "Innovative Energy Strategy"	秋元圭吾	JEFジャパンスポットライト7/8月号
4	COP21後の地球温暖化対策の動き	秋元圭吾	ペトロテック（石油学会）Dec. 2016 Vol.39 No.12, pp.939-944
5	世界のエネルギー需給の展望	秋元圭吾	エネルギーレビュー 2017.1月号

## ◆口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	世界各国の約束草案の排出削減努力に関する評価	秋元圭吾、佐野史典、本間隆嗣、小田潤一郎、徳重功子	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日



## システム研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
2	エネルギー作物の大規模調達費に関する評価	林礼美、秋元圭吾、佐野史典	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
3	気候変動リスク管理戦略に関する識者へのアンケート調査	小田潤一郎、秋元圭吾、徳重功子、林礼美	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
4	SSP・温暖化対策シナリオにおける産業構造に関する分析	本間隆嗣、秋元圭吾、佐野史典	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
5	Off-grid Integration of Renewable Energies: a Techno-Economic Assessment	B. Shoai-Tehrani, 秋元圭吾、佐野史典	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
6	海洋酸性化抑制条件下における太陽放射管理のオプション価値に関する評価	有野洋輔、秋元圭吾、佐野史典、本間隆嗣、小田潤一郎、友田利正、林礼美	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
7	気候変動関連投資の傾向<気候資金の分類と評価額のレビュー>	和田謙一	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月2日
8	SSPストーリーラインに基づく長期温暖化対策の分析	佐野史典、秋元圭吾、本間隆嗣、小田潤一郎、林礼美、魏啓為	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月3日
9	世界エネルギーシステムモデルにおける家庭部門用途需要シナリオの構築とエネルギー消費の分析	魏啓為、佐野史典、林礼美、秋元圭吾	第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2016年2月3日
10	世界主要都市における気候変動影響の評価	林礼美、紀伊雅敦	第53回土木計画学研究発表会（春大会）、2016年5月29日
11	世界エネルギーシステムモデルによる気候変動緩和策と大気汚染対策の関連分析	佐野史典、秋元圭吾、魏啓為	第35回エネルギー・資源学会研究発表会、2016年6月6日
12	2°C目標と我が国の2050年排出削減目標との関係	秋元圭吾、佐野史典	第35回エネルギー・資源学会研究発表会、2016年6月7日
13	SSPストーリーラインに基づくバイオエネルギー生産・大規模植林への潜在的利用可能地の推計	林礼美、秋元圭吾、佐野史典	第35回エネルギー・資源学会研究発表会、2016年6月7日
14	リアル・オプション法による石炭火力及び炭素回収貯留技術の投資分析	小田潤一郎、秋元圭吾	第35回エネルギー・資源学会研究発表会、2016年6月7日
15	産業構造に関するSSPシナリオの構築と気候変動シナリオにおける影響分析	本間隆嗣、小田潤一郎、秋元圭吾、佐野史典	第35回エネルギー・資源学会研究発表会、2016年6月7日
16	世界エネルギーシステムモデルによる低炭素シナリオにおける日本の核融合エネルギー開発目標の分析	魏啓為、佐野史典、秋元圭吾	第11回核融合エネルギー連合講演会、2016年7月15日
17	ネガティブエミッションに関するバイオエネルギー潜在量評価	林 礼美、秋元圭吾、佐野史典	第25回日本エネルギー学会大会、2016年8月9日
18	パリ協定を踏まえたエネルギー対策の方向性	秋元圭吾	化学工学会第48回秋季大会、2016年9月6日
19	各国約束草案の排出削減努力の国際比較に関する評価	秋元圭吾	環境経済・政策学会、2016年9月11日

## ◆口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Carbon intensity and its determination in Japanese steel industry	J. Oda, K. Akimoto, T. Homma	The 5th IAEE Asian Conference, The University of Western Australia Business School, Perth, Australia, Feb. 14, 2016
2	Evaluation of 2030 GHG emissions based on the submitted NDCs and their consistency with temperature rise target emission pathways considering scientific and policy uncertainties	K. Akimoto	wholeSEM 3rd Annual Conference, Jul. 4, 2016
3	A Review of Micro and Macro-economic Conditions for Off-grid Integration of Renewable Energies	B. Shoai-Tehrani, K. Akimoto, F. Sano	The Sixth Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Aug. 8, 2016
4	Impacts of continuing low fossil fuel prices on the global greenhouse gas emissions reduction pledged in INDCs	Y. Arino, F. Sano, K. Akimoto	The Sixth Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Aug. 9, 2016
5	An analysis on correlation between climate change mitigation and air pollution control by using a global energy systems model	F. Sano, K. Akimoto, K. Gi, Y. Nakagami	11th SDEWES Conference, Sep. 6, 2016
6	Assessment of Potential and Breakeven Prices of Fusion Power Plants Under Low-Carbon Development Scenarios	K. Gi, F. Sano, K. Akimoto	26th IAEA Fusion Energy Conference, Oct. 21, 2016
7	Are Deregulated Electricity Market and Climate Policy compatible? Lessons from overseas, from Europe to Japan	B. Shoai-Tehrani, P. Da Costa, K. Akimoto, Y. Nakagami	USAEE2016, Oct. 25, 2016
8	Preliminary Study on Policy Mix Effects on Economic Viability of Carbon Capture and Storage Project in Japanese Steel Industry	J. Oda, K. Akimoto	13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-13), Nov. 16, 2016
9	GHG emission pathways for the 1.5 °C temperature rise target and their challenges	K. Akimoto, F. Sano, T. Tomoda	9th Annual Meeting of the IAMC (Integrated Assessment Modeling Consortium), Dec. 5, 2016
10	Underlying policies and evaluations of Japan's Nationally Determined Contribution	K. Gi	9th Annual Meeting of the IAMC (Integrated Assessment Modeling Consortium), Dec. 6, 2016



## システム研究グループ

## ◆書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	世界各国の約束草案の野心度の比較と世界排出量見直し	秋元圭吾	21世紀政策研究所 第117回シンポジウム「COP21を踏まえた戦略を考える」、2016年1月15日
2	エネルギーミックス・エネルギー政策を広く深い視点で考える	秋元圭吾	鹿児島工業高等専門学校、2016年1月25日
3	COP21の成果と今後の課題	秋元圭吾	エネルギー環境教育関西ワークショップ研究会、2016年2月13日
4	Co-benefits Policy and Research beyond Paris	和田謙一	日本-IIASAワークショップ、2016年2月23日
5	1.5°C目標達成にむけた経路の分析と評価	秋元圭吾	シンポジウム「COPパリ協定と今後のIPCC報告書」、2016年3月7日
6	評価すべき新たな温室効果ガス削減枠組みーパリ協定長期エネルギー政策が課題に	秋元圭吾	政経往来 第70巻4月号
7	3Eにおける原子力の価値に関する定量的評価	秋元圭吾	第49回原産年次大会、2016年4月13日
8	COP21とCTCN会合の結果	和田謙一	第53回TECUSE研究会、2016年4月20日
9	約束草案の国際的な位置づけと長期排出経路	秋元圭吾	日本学術会議公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」、2016年5月18日
10	RITEによる日本の約束草案・長期目標の分析	和田謙一	日本版エネルギーMIPワークショップ、2016年6月16日
11	地球温暖化対応を踏まえたエネルギー戦略	秋元圭吾	資源のない日本、将来のエネルギーの姿に関する講演in和歌山、2016年6月21日
12	国際モデル比較プロジェクトにおける1.5°C目標の検討状況	秋元圭吾	IPCC WG3幹事会、2016年7月20日
13	パリ協定と今後の地球温暖化対策	秋元圭吾	エネルギー環境教育セミナー（美浜町教育委員会）、2016年8月26日
14	RITEにおける1.5°C目標に関する分析・評価例	秋元圭吾	「1.5°Cに抑える努力の追求（パリ協定）」研究者集会、2016年9月5日
15	パリ協定の実施に向けた産業界への期待	和田謙一	第12回日本ヘルシー経済協議会、2016年9月12日
16	電力自由化の下でのエネルギーミックス	秋元圭吾	資源のない日本、将来のエネルギーの姿に関する講演in大阪、2016年9月12日
17	Underlying policies of Nationally Determined Contribution by Japan	秋元圭吾	ICEF2016、2016年10月6日
18	カーボンプライシングに関する論点整理 一定量的なデータ・分析より	秋元圭吾	長期地球温暖化プラットフォーム 国内投資拡大タスクフォース、2016年10月13日
19	A Review of Micro and Macro-economic Conditions for Off-grid Integration of Renewable Energies	B. Shoai-Tehrani, K. Akimoto, F. Sano	東京大学政策ビジョン研究センターワークショップ、2016年11月1日
20	地球温暖化対策から考えるエネルギーミックス	秋元圭吾	資源のない日本、将来のエネルギーの姿に関するシンポジウム in 松山、2016年11月8日
21	温暖化対策を踏まえたエネルギーミックスとその実現に向けた課題	秋元圭吾	第11回環境・エネルギーシンポジウム、2016年11月12日
22	Evaluations on the emission reduction efforts of Nationally Determined Contributions (NDCs)	秋元圭吾	COP22サイドイベント、2016年11月15日
23	Transparency, Policy Surveillance, and the Comparison of Mitigation Efforts	J. Aldy, B. Pizer, K. Akimoto	RFF Discussion Paper、2016年11月
24	A Review of Micro and Macro-economic Conditions for Off-grid Integration of Renewable Energies	B. Shoai-Tehrani, K. Akimoto, F. Sano	東京大学政策ビジョン研究センターワークショップ、2016年12月1日
25	複数の社会経済シナリオの下でのパリ協定長期目標の評価	秋元圭吾	革新的環境技術シンポジウム、2016年12月7日
26	今後の地球温暖化・エネルギー政策の展望	秋元圭吾	「メンタルと環境について学ぶ」セミナー（日本原子力文化財団主催）、2016年12月7日
27	UNFCCCプロセスにおけるIPCCへの期待 パリ協定の実施に向けて	和田謙一	日本版エネルギーMIPワークショップ、2016年12月12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	100%グリーンジェット燃料への期待	渡邊彰、乾将行	化学経済、Vol.62、pp.32-38、2015
2	Regulons of global transcription factors in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	K. Toyoda, M. Inui	Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.100, pp.45-60, 2016
3	RNase III mediated cleavage of the coding region of mraZ mRNA is required for efficient cell division in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	T. Maeda, Y. Tanaka, N. Takemoto, N. Hamamoto, M. Inui	Mol. Microbiol., Vol.99, pp.1149-1166, 2016
4	The extracytoplasmic function $\sigma$ factor $\sigma^c$ regulates expression of a branched quinol oxidation pathway in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	K. Toyoda, M. Inui	Mol. Microbiol., Vol.100, pp.486-509, 2016
5	Improving process yield in succinic acid production by cell recycling of recombinant <i>Corynebacterium glutamicum</i>	T. Jojima, R. Noburyu, M. Suda, S. Okino, H. Yukawa, M. Inui	Fermentation, Vol.2, 5, 2016
6	植物由来原料からのフェノールの量産化技術と今後の展開	宮内啓行、乾将行	化学装置、Vol.58、pp.34-38、2016
7	植物由来フェノール（グリーンフェノール）の量産化技術	宮内啓行、乾将行	月刊 BIO INDUSTRY、Vol.33、pp.47-54、2016
8	100%グリーンジェット燃料の開発	渡邊彰、城島透、乾将行	配管技術、Vol.58、pp.6-11、2016
9	バイオリファイナリー技術開発の現状と展望	乾将行	広島醸造学会報、Vol.35、pp.11-12、2016
10	Production of para-aminobenzoate by genetically engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i> and non-biological formation of an <i>N</i> -glucosyl byproduct	T. Kubota, A. Watanabe, M. Suda, T. Kogure, K. Hiraga, M. Inui	Metab. Eng., Vol.38, pp.322-330, 2016
11	Metabolic engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> for shikimate overproduction by growth-arrested cell reaction	T. Kogure, T. Kubota, M. Suda, K. Hiraga, M. Inui	Metab. Eng., Vol.38, pp.204-216, 2016
12	微生物による非可食バイオマス原料からのグリーンフェノール生産	平賀和三、乾将行	電気評論、Vol.631、pp.52-53、2016
13	グリーンジェット燃料開発の現状	渡邊彰、乾将行	電気評論、Vol.632、pp.38-39、2016
14	シェール革命とバイオプラスチック	稲富健一、乾将行	電気評論、Vol.633、pp.54-55、2016
15	水素社会実現に向けたバイオ水素生産技術開発	寺本陽彦、乾将行	電気評論、Vol.634、pp.52-53、2016

## ◆解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	研究室探訪 第1回 化成品産業界に革命起こす 芳香族化合物を微生物で生産	—	日経バイオテク、2016年2月1日、pp.39-40
2	"RITE Bioprocess" to Realize the Clean Production of Phenol	—	The Japan Journal, Vol.13, No.1, 2016年4月, pp.26-27

## ◆口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	RiboswitchによるRNA分解を介した遺伝子発現制御	竹本訓彦、渡邊真弥、田中裕也、乾将行、秋山徹	第89回日本細菌学会総会、2016年3月23日-25日
2	コリネ型細菌におけるECFシグマ因子 $\sigma^c$ のレギュロンの同定	豊田晃一、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
3	Adaptive Laboratory Evolutionによるコリネ型細菌高温耐性株の育種	生出伸一、郡司涉、茂木康弘、山本省吾、須田雅子、城島透、湯川英明、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
4	コリネ型細菌におけるRNase J遺伝子及びRNase E/G遺伝子の発現解析	濱本渚、田中裕也、竹本訓彦、前田智也、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
5	コリネ型細菌におけるピリミジン新規合成経路遺伝子の発現制御解析	田中裕也、寺本陽彦、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
6	アラビノキシラン利用コリネ型細菌の構築	久下貴之、渡邊彰、寺本陽彦、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
7	コリネ型細菌由来phenol 2-monooxygenaseの機能解析	前田淳哉、平賀和三、久保田健、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
8	コリネ型細菌による4-ヒドロキシ安息香酸の高生産	平賀和三、橋本龍馬、北出幸広、須田雅子、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
9	コリネ型細菌における糖消費速度の大幅な向上をもたらす <pfkb1< p="">破壊の解析と物質生産への応用</pfkb1<>	長谷川智、田中裕也、須田雅子、城島透、乾将行	日本農芸化学会2016年度大会、2016年3月28日
10	酸素抑制条件下におけるコリネ型細菌の糖消費速度と細胞内酸化還元レベルの相関	柘植陽太、植松君夫、山本省吾、須田雅子、乾将行	日本生物工学会平成28年度大会、2016年9月28日
11	コリネ型細菌における乳酸デヒドロゲナーゼ遺伝子 <pdha< p="">の発現制御機構の解析</pdha<>	豊田晃一、乾将行	日本生物工学会平成28年度大会、2016年9月30日
12	コリネ型細菌によるパラアミノ安息香酸の高生産	久保田健、渡邊彰、須田雅子、小暮高久、平賀和三、乾将行	日本生物工学会平成28年度大会、2016年9月30日
13	FMN-riboswitchによるRNaseと転写終結因子Rhoを介した遺伝子発現制御	竹本訓彦、渡邊真弥、田中裕也、乾将行、秋山徹	第39回日本分子生物学会年会、2016年12月1日



## バイオ研究グループ

## ◆口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Aerobic quinol oxidation pathways in <i>Corynebacterium glutamicum</i> are under the control of the extracytoplasmic function $\sigma$ factor $\sigma^C$	Koichi Toyoda, Masayuki Inui	The 13th International Symposium on the Genetics of Industrial Microorganisms (GIM2016), Oct. 18, 2016
2	Metabolic engineering for shikimate overproduction by <i>Corynebacterium glutamicum</i> with mixed sugar utilizing ability	Takahisa Kogure, Takeshi Kubota, Masako Suda, Kazumi Hiraga, Masayuki Inui	The 13th International Symposium on the Genetics of Industrial Microorganisms (GIM2016), Oct. 17-19, 2016
3	Overproduction of para-aminobenzoate using metabolically engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i>	Takeshi Kubota, Akira Watanabe, Masako Suda, Takahisa Kogure, Kazumi Hiraga, Masayuki Inui	The 13th International Symposium on the Genetics of Industrial Microorganisms (GIM2016), Oct. 17-19, 2016
4	Development of Manufacturing Process for Bio-mass Derived Phenol	Takanobu Masuda, Hiroyuki Miyachi, Kazumi Hiraga, Masayuki Inui	The 11th SPSJ International Polymer Conferences 2016 (IPC2016), Dec. 13, 2016

## ◆その他発表

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	グリーン芳香族化合物生産技術の開発	乾将行	第11回バイオマス科学会議、2016年1月21日
2	研究室探訪 第1回 化成品産業界に革命起こす 芳香族化合物を微生物で生産	—	日経バイオテクONLINE、2016年2月1日
3	コリネ型細菌を利用した有用な芳香族系化成品生産～非可食バイオマス原料からのフェノール生産～	平賀和三	第36回バイオ技術シーズ公開会、2016年2月9日
4	非可食バイオマスからのバイオ燃料・グリーン化学品生産技術の開発	乾将行	山口大学中高温微生物研究センターシンポジウム「微生物のロバスト化と発酵未来技術～微生物産業でいかに世界をリードしつづけるか～」、2016年3月4日
5	バイオリファイナリー技術開発の動向と実用化に向けた取り組み	乾将行	グリーンフォーラム21「CO2ゼロエミッション実現のための革新技術」、2016年7月4日
6	自動車部品用樹脂原料に不可欠なフェノールおよび各種化成品のバイオプロセスによる生産～RITEバイオプロセスを用いた社会実装～	平賀和三	"未来へのバイオ技術"勉強会「バイオ素材百花繚乱9～容器包装と物流のエコイノベーション」、2016年7月14日
7	Production of biofuels and green chemicals from non-food biomass by a growth-arrested bioprocess	Masayuki Inui	Congreso de Microbiologia Industrial y Biotecnologia Microbiana 2016, Sep. 12, 2016
8	MASAYUKI INUI Instituto de innovación tecnológica de Japón «Japón introducirá biocombustible en la flota aérea»	Masayuki Inui	DIARIO DE LEÓN ONLINE, Sep. 13, 2016
9	バイオ燃料・グリーン化学品生産技術の現状と将来展望	乾将行	広島醸酵会関西支部 平成28年度総会、2016年10月29日

## 化学研究グループ

## ◆原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Highly efficient post-combustion CO <sub>2</sub> capture by low-temperature steam-aided vacuum swing adsorption using a novel polyamine-based solid sorbent	Junpei Fujiki, Firoz A. Chowdhury, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	Chemical Engineering Journal 307, 273-282 (2017)
2	Potential of Amine-based Solvents for Energy-saving CO <sub>2</sub> Capture from a Coal-fired Power Plant	Kazuya Goto, Firoz A. Chowdhury, Hidetaka Yamada, Takayuki Higashii	Journal of the Japan Institute of Energy 95, 1133-1141 (2016)
3	Comparison of Solvation Effects on CO <sub>2</sub> Capture with Aqueous Amine Solutions and Amine-Functionalized Ionic Liquids	Hidetaka Yamada	Journal of Physical Chemistry B 120, 10563-10568 (2016)
4	Analysis of CO <sub>2</sub> absorption behavior of solid sorbent containing purified components of tetraethylenepentamine	Ryohei Numaguchi, Firoz Alam Chowdhury, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	Energy Technology, published online (2016)
5	Sustainable Aspects of Ultimate Reduction of CO <sub>2</sub> in the Steelmaking Process (COURSE50 Project), Part 2: CO <sub>2</sub> Capture	Masami Onoda, Yoichi Matsuzaki, Firoz A. Chowdhury, Hidetaka Yamada, Kazuya Goto, Shigeaki Tonomura	Journal of Sustainable Metallurgy 2, 209-215 (2016)
6	Computational Chemistry Study on the Molecular Interactions for CO <sub>2</sub> Loaded Diethylene Glycol, Triethylene Glycol, and Diethylene Glycol Dimethyl Ether	Yukihiro Muraki, Ryo Nagumo, Hidetaka Yamada, Shuichi Iwata, Hideki Mori	Journal of the Japan Petroleum Institute 59, 211-218 (2016)
7	A Molecular Dynamics Simulation Study on CO <sub>2</sub> Physical Absorption Mechanisms for Ethylene Glycol-Based Solvents using Free Energy Calculations	Ryo Nagumo, Yukihiro Muraki, Shuichi Iwata, Hideki Mori, Hiromitsu Takaba, Hidetaka Yamada,	Industrial & Engineering Chemistry Research 55, 8200-8206 (2016)
8	Modeling of CO <sub>2</sub> Solubility in Tertiary Amine Solvents using pKa	Hiroshi Machida, Shin Yamamoto, Hidetaka Yamada	Journal of Chemical & Engineering Data 61, 2144-2148 (2016)



## 化学研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
9	Optimization of a simple technique for preparation of monodisperse poly (lactide-co-glycolide) nanospheres	Fuminori Ito	Journal of Nanoparticle Research 18, 262-269 (2016)
10	Characteristics of OH production by O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O pulsed dielectric barrier discharge	Shuiliang Yao, Shan Weng, Yi Tang, Chenwei Zhao, Zuliang Wu, Xuming Zhang, Shin Yamamoto, Satoshi Kodama	Vacuum 126, 16-23 (April 2016)

## ◆解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	わが国及び世界のCO <sub>2</sub> 分離回収技術開発の現状	佐藤謙宣, 中尾真一	日本エネルギー学会誌, Vol.95, No.1, 56-65(2016)
2	CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の高度化 CO <sub>2</sub> 膜分離技術	甲斐照彦	電気評論 第625号 (第101巻第4号) 2016年4月号 PP. 52-53
3	CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の高度化 -CO <sub>2</sub> 吸収液開発の進展-	沼口遼平, 山田秀尚	電気評論 第626号 (第101巻第5号) 2016年5月号 PP. 50-51
4	CO <sub>2</sub> 膜分離の国内外の研究動向	甲斐照彦	分離技術 第252号 (第46巻第4号) PP. 22-26
5	高圧再生型化学吸収液プロセスによる革新的CO <sub>2</sub> 分離回収技術	山本信	ENEOS Technical Review Vol. 58, No. 3, PP. 15-19

## ◆口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	高圧CO <sub>2</sub> 吸収プロセスのコスト評価	中元崇, 村岡利紀, 亀田孝志, 山本信, 加藤次裕	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
2	大規模排出源からのCO <sub>2</sub> 分離回収に向けた固体吸収材の開発	山田秀尚, 藤木順平, 沼口遼平, 来田康司, Firoz A. Chowdhury, 後藤和也, 余語克則	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
3	Structure-Performance Relationships Between Ionic Liquid-Amine Solutions for CO <sub>2</sub> Capture	Firoz A. Chowdhury, Tsuguhiko Kato	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
4	CO <sub>2</sub> 吸着用アミン修飾メソ多孔体のアミノ基高密度化に関する研究	東條彩音, 沼口遼平, 山田秀尚, 余語克則	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
5	反応速度論シミュレーションによるガス吸収反応の理論的解析	山口徹, 山田秀尚, 藤原嵩幸, 堀賢次	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
6	Ionic Liquid-Amine Solutions as Novel CO <sub>2</sub> Capture Absorbents	Firoz A. Chowdhury, Tsuguhiko Kato	日本化学会第96春季年会 2016年3月24日-27日
7	CO <sub>2</sub> 分離回収型IGCCのための分子ゲート膜の開発	甲斐照彦, 段淑紅, 伊藤史典, 三上智司, 佐藤謙宣, 中尾真一	日本膜学会第38年会 2016年5月10日-11日
8	化学吸収法による大規模CO <sub>2</sub> 分離回収技術の開発動向	山田秀尚	分離技術会年會2016 2016年5月29日-30日
9	二酸化炭素分離回収技術の研究開発と適用について	山田秀尚	化学工学会産学官連携センターグローバルテクノロジー委員会 2016年6月8日
10	低エネルギー消費型吸収法の適用による火力発電所からのCO <sub>2</sub> 排出量削減	後藤和也	第25回日本エネルギー学会大会 2016年8月10日
11	高圧再生型CO <sub>2</sub> 化学吸収液の開発 — 低温再生プロセスの可能性	山本信	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日
12	カーボン表面の含窒素官能基が二酸化炭素吸着に与える影響	藤木淳平, 余語克則	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日
13	SOFCシステムの高効率化に向けた分離膜開発	多久俊平, 甲斐照彦, 佐藤謙宣, 道幸立樹, 中村和郎, 小笠原慶, 藤田颯二郎	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日
14	溶媒間マイクロ相互作用に着目したCO <sub>2</sub> 物理吸収メカニズムの計算化学的解析	南雲亮, 村木幸弘, 山田秀尚, 岩田修一, 森秀樹	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日
15	CO <sub>2</sub> 排出量の大幅削減に向けたガス分離技術の開発	山田秀尚	神戸大学先端膜工学研究推進機構秋季講演会 2016年9月20日
16	固体吸収材を用いたCO <sub>2</sub> 分離プロセス—減圧再生法と水蒸気再生法の比較—	藤木淳平, 余語克則	第30回日本吸着学会研究発表会 2016年11月10日-11日
17	アミン修飾メソ多孔体のCO <sub>2</sub> 吸着性能に及ぼす隣接アミノ基間距離の影響	東條彩音, 沼口遼平, 山田秀尚, 余語克則	第30回日本吸着学会研究発表会 2016年11月10日-11日
18	マイクロな滞留時間に着目した各種溶媒中のCO <sub>2</sub> 拡散メカニズム解析	村木幸弘, 南雲亮, 山田秀尚, 岩田修一, 森秀樹	日本膜学会膜シンポジウム2016 2016年12月1日-2日



## 化学研究グループ

## ◆口頭発表(国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Advanced CO <sub>2</sub> Capture Technologies at RITE (invited)	Takayuki Higashii	The 6th Korea CCS International Conference, Jeju, Korea 27-29 January 2016
2	Chemically Tunable Ionic Liquid-Amine Solutions for CO <sub>2</sub> Capture	Firoz A. Chowdhury, Tsuguhiro Kato	The 6th Korea CCS International Conference, Jeju, Korea 27-29 January 2016
3	Effect of Carbonic Anhydrase on CO <sub>2</sub> Separation Properties of Poly(amidoamine) Dendrimer/ Poly(ethylene glycol) Hybrid Membranes	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Ikuo Taniguchi, Shingo Kazama	The 10th Conference of Aseanian Membrane Society (AMS10), Nara, Japan 26-29 July 2016
4	Molecular Dynamics Study on CO <sub>2</sub> Solution-Diffusion Mechanisms in Ethylene Glycol-Based Materials	Yukihiro Muraki, Ryo Nagumo, Hidetaka Yamada, Shuichi Iwata, Hideki Mori	The 10th Conference of Aseanian Membrane Society (AMS10), Nara, Japan 26-29 July 2016
5	Calorimetric Study of Absorption of CO <sub>2</sub> in Amine-Based Solvents	Hidetaka Yamada	22nd International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, Czech Republic 27-31 August 2016
6	Development of Novel Amine Solid Sorbents for Post-Combustion CO <sub>2</sub> Capture	Hidetaka Yamada, Junpei Fujiki, Ryohei Numaguchi, Koji Kida, Firoz A. Chowdhury, Kazuya Goto, Katsunori Yogo	11th European Conference on Coal Research and its Applications, Sheffield, UK 5-7 September 2016
7	Influence of Post-combustion CO <sub>2</sub> Capture on Energy performance of a Thermal Power Plant	Kazuya Goto	ASCON-IEEChE 2016, Yokohama, Japan 13-16 November 2016
8	Cost study of high-pressure CO <sub>2</sub> capture processes	Takashi Nakamoto, Yusuke Waratani, Toshinori Muraoka, Shin Yamamoto, Tsuguhiro Kato	ASCON-IEEChE 2016, Yokohama, Japan 13-16 November 2016
9	Development of Post-Combustion CO <sub>2</sub> Capture System Using Amine-impregnated Solid Sorbent	Ryohei Numaguchi, Junpei Fujiki, Hidetaka Yamada, Firoz A. Chowdhury, Koji Kida, Kazuya Goto, Takeshi Okumura, Katsunori Yogo	13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies(GHGT-13), Lausanne, Switzerland 14-18 November 2016
10	Development of CO <sub>2</sub> molecular gate membrane for IGCC process with CO <sub>2</sub> capture	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Satoshi Mikami, Yoshinobu Sato, Shin-ichi Nakano	13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies(GHGT-13), Lausanne, Switzerland 14-18 November 2016
11	Development of Chemical CO <sub>2</sub> Solvent for High-Pressure CO <sub>2</sub> Capture (3) : Analyses on Absorbed Form of CO <sub>2</sub>	Shin Yamamoto, Hidetaka Yamada, Mitsuhiro Kanakubo, Tsuguhiro Kato	13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies(GHGT-13), Lausanne, Switzerland 14-18 November 2016
12	Results of RITE's Advanced Liquid Absorbents Develop for Low Temperature CO <sub>2</sub> Capture	Firoz A. Chowdhury, Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Shin Yamamoto, Takayuki Higashii, Masami Onoda	13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies(GHGT-13), Lausanne, Switzerland 14-18 November 2016

## ◆書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	CO <sub>2</sub> 対策の概要、膜分離によるCO <sub>2</sub> 回収	佐藤讓宣	㈱技術情報協会セミナー「CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の材料設計、高効率化、各種応用」 2016年5月16日
2	高圧CO <sub>2</sub> 吸収プロセスのコスト評価	村岡利紀, 山本信, 加藤次裕, 原真伸	Aspen Capital Cost Estimating セミナー 2016年5月27日
3	RITEにおけるCO <sub>2</sub> 分離回収技術開発の取組み	佐藤讓宣	㈱技術情報センター「CO <sub>2</sub> 等ガス分離回収の技術開発と応用・適用」セミナー 2016年6月22日
4	CO <sub>2</sub> 分離回収としての膜分離技術について	佐藤讓宣	CCT ワークショップ 2016 セッションⅢ「CO <sub>2</sub> 分離技術とCCUS」 2016年7月20日
5	RITEにおけるCO <sub>2</sub> 回収技術開発のこれまでの取り組みと今後の予定について	余語克則	平成28年度地球温暖化問題等対策調査(二酸化炭素回収・貯留に係る技術動向等調査)に係る委員会(第2回) 2016年8月2日
6	地球温暖化対策におけるCO <sub>2</sub> 回収技術について	佐藤讓宣	無機膜研究センター第2回セミナー 2016年9月23日
7	CO <sub>2</sub> 分離回収技術について	佐藤讓宣	第2回日本CCS研究会 2016年9月30日
8	Recent Activity of ISO/TC265/WG1 on Capture (invited)	Takayuki Higashii	2016 CSLF Annual Meeting in Tokyo, Japan Technical Group Meeting 2016年10月4日
9	Results from CSLF-recognized Project:CO <sub>2</sub> Separation from Pressurized Gas (invited)	Shin-ichi Nakao	2016 CSLF Annual Meeting in Tokyo, Japan Technical Group Meeting 2016年10月4日



## 化学研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先／発表先ほか
10	Development of CO <sub>2</sub> Capture Technology by Chemical Absorption System	Kazuya Goto	2016 CSLF Annual Meeting in Tokyo, Japan Technical Workshop 2016年10月5日
11	Development of Molecular Gate Membrane for CO <sub>2</sub> Capture CSLF Project: CO <sub>2</sub> Separation from Pressurized Gas Stream	Teruhiko Kai	2016 CSLF Annual Meeting in Tokyo, Japan Technical Workshop 2016年10月5日
12	Advanced Development of CO <sub>2</sub> Capture by Solid Sorbents	Junpei Fujiki	2016 CSLF Annual Meeting in Tokyo, Japan Technical Workshop 2016年10月5日

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

## ◆原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	A novel high-pressure vessel for simultaneous observations of seismic velocity and in situ CO <sub>2</sub> distribution in a porous rock using a medical X-ray CT scanner	Lanlan Jiang, Osamu Nishizawa, Yi Zhang, Hyuck Park, Ziqiu Xue	Journal of Applied Geophysics 135, 67-76, 2016
2	Observation of Cement/Sandstone Interface after Reaction with Supercritical CO <sub>2</sub> using SEM-EDS, $\mu$ -XRD, and $\mu$ -Raman Spectroscopy	Kazuhiko Nakano, Saeko Mito, Ziqiu Xue, Atsushi Ohbuchi	e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 14, 198-203, 2016
3	Experimental assessment of well integrity for CO <sub>2</sub> geological storage: A numerical study of the geochemical interactions between a CO <sub>2</sub> -brine mixture and a sandstone-cement-steel sample	Joachim Tremosa, Saeko Mito, Pascal Audigane, Ziqiu Xue	Applied Geochemistry, in print
4	Evaluation of mineral reactive surface area estimates for prediction of reactivity of a multi-mineral sediment	Beckingham, L.E., Mitnick, E.H., Steefel, C.I., Zhang, S., Voltolini, M., Swift, A.M., Yang, L., Cole, D.R., Sheets, J.M., Ajo-Franklin, J.B., DePaolo, D.J., Mito, S., Xue, Z.	Geochimica et Cosmochimica Acta, 188, 310-329, 2016
5	Evaluation of accessible mineral surface areas for improved prediction of mineral reaction rates in porous media	Lauren E. Beckingham, Carl I Steefel, Alexander M, Swift, Marco Voltolini, Li Yang, Lawrence Anovitz, Julie M Sheets, David R Cole, Timothy J Kneafsey, Elizabeth H Mitnick, Shuo Zhang, Gautier, Landrot, Jonathan Ajo-Franklin, Donald J DePaolo, Saeko Mito, Ziqiu Xue	Geochimica et Cosmochimica Acta, 投稿中
6	岩石物性研究とCO <sub>2</sub> 地中貯留II：砂岩におけるCO <sub>2</sub> 飽和度とP波速度変化	西澤修, 張毅, 薛自求	物理探査, 69, 3, 5, p195-214, 2016
7	岩石物性研究とCO <sub>2</sub> 地中貯留I：キャピラリー圧支配領域でのCO <sub>2</sub> 流動特性と各種スケールの不均質がトラッピングに及ぼす影響	西澤修・張毅・伊藤拓馬・薛自求・小暮哲也・木山保	物理探査, 69, 127-147, 2016
8	CO <sub>2</sub> 地中貯留層の堆積環境と圧入性支配要因としての粒度組成・間隙径分布の特徴：長岡サイトの例	伊藤拓馬・中島崇裕・薛自求	堆積学研究, 75, 3-15, 2016
9	粉末ベレット/FP法による長岡CO <sub>2</sub> 地中貯留サイトコアの定量分析	中野和彦・伊藤拓馬・大淵敦司・薛自求	X線分析の進歩, 投稿中
10	Effects of fluid displacement pattern on complex electrical impedance in Berea sandstone over frequency range 10000-1000000 Hz	Yi Zhang, Hyuck Park, Osamu Nishizawa, Tamotsu Kiyama, Yu Liu, Kwangseok Chae, Ziqiu Xue	Geophysical Prospecting, DOI: 10.1111/1365-2478.12451
11	Long term CO <sub>2</sub> plume behavior calibrated by 10 years monitoring data at the Nagaoka site	Takahiro Nakajima, Takuma Ito, Ziqiu Xue	Greenhouse Gases: Science and Technology, 投稿中
12	Identification of natural gamma-ray source in shallow-marine siliciclastic strata and its significance for assessing reservoir quality: a case study of the CO <sub>2</sub> storage aquifer at the Nagaoka site, Japan.	Takuma Ito, Atsushi Ohbuchi, Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue,	Journal of Natural Gas Science and Engineering, 投稿中
13	Different flow behavior between 1-to-1 displacement and co-injection of CO <sub>2</sub> and brine in Berea sandstone: insights from laboratory experiments with X-ray CT imaging	Yi Zhang, Tetsuya Kogure, Osamu Nishizawa, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 投稿中
14	Pathway-flow relative permeability of CO <sub>2</sub> : measurement by lowering pressure drop	Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Hyuck Park, Ziqiu Xue	Water Resource Research, 投稿中
15	Optical fiber sensing the deformation of rock caused by fluid front migration	Yi Zhang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Tamotsu Kiyama,	Nature Geoscience, 投稿中
16	CO <sub>2</sub> leakage detection using partial pressure of CO <sub>2</sub> and dissolved oxygen at offshore CO <sub>2</sub> storage sites	Keisuke Uchimoto, Takamichi Nakamura, Makoto Nishimura, Jun Kita, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 投稿中

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
17	Active acoustic sonar detectability of gas bubbles on shallow seafloor for environmental monitoring at offshore CO <sub>2</sub> storage sites	Takamichi Nakamura, Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Yuji Watanabe, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 投稿中

## ◆解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	CO <sub>2</sub> 貯留におけるトラップメカニズム	三戸彩絵子	電気評論2016年6月号
2	CO <sub>2</sub> 固定化技術の現状と課題—地中貯留技術を中心に—	薛自求	環境技術Vol.45 No.4, 2016
3	CO <sub>2</sub> 貯留の海洋環境影響評価におけるシミュレーション	内本圭亮	電気評論 2016年夏季増刊号/2016年6月
4	CO <sub>2</sub> 貯留と地下圏微生物	中村孝道	電気評論/2016年7月

## ◆口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	水銀圧入法および直接法による超臨界CO <sub>2</sub> スレッシュホールド圧力の評価	木山保、薛自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
2	不均質堆積岩におけるCO <sub>2</sub> 流動の可視化と定量評価	朴 赫、蔣 蘭蘭、木山 保、西澤 修、張 毅、上田 良、中野 正則、薛 自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
3	An Experiment study on dynamic displacement and non-equilibrium dissolution for CO <sub>2</sub> in porous media	Lanlan Jiang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Yongchen Song	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
4	CO <sub>2</sub> 地中貯留サイトにおける坑井情報と弾性波探査情報を活用した地質モデル構築の試み：長岡サイトの例	伊藤拓馬、中島崇裕、薛 自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
5	Simulation study on trapping processes of CO <sub>2</sub> at Nagaoka pilot project	Hajime Yamamoto, Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
6	非線形動的応答解析によるCCSサイトにおける遮蔽層の地震時安全性評価	堀川滋雄、佐々木猛、高田尚秀、橋本 勲、中島崇裕、薛自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
7	弾性波探査データによる特性評価および坑井を用いたモニタリングによって校正された統合地質モデルの構築：長岡CO <sub>2</sub> 圧入サイトでの事例研究	中島崇裕、伊藤拓馬、薛自求、千代延俊	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
8	地層水生産によるCO <sub>2</sub> 貯留層内圧力上昇の抑制に関する数値解析検討	藤田クラウディア、平塚裕介、山本肇、中島崇裕、薛自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
9	音響探査による海中の漏出CO <sub>2</sub> 気泡検知手法の開発	中村孝道、西村真、内本圭亮	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
10	海洋環境影響評価のための漏出CO <sub>2</sub> 海中拡散モデル	内本圭亮、松村義正、喜田潤	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
11	リアルタイムイベント検出への忘却型学習アルゴリズム (SDAR) の適用について	高岸万紀子、利岡徹馬、成田章、古瀬慶博、薛自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
12	世界で稼働中のCCSプロジェクトのインセンティブ	田中良三	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
13	Compilation of Best Practice Manuals toward CCS commercialization	小牧博信、間木道政、指宿敦志、高野修、薛自求	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
14	分布式光ファイバーを用いた遮蔽層や坑井健全性監視技術開発	薛自求、橋本 勲	日本地球惑星科学連合2016年度連合大会, 2016, 2016年5月24日
15	長岡CO <sub>2</sub> 地中貯留プロジェクトにおけるCO <sub>2</sub> トラッピング過程のシミュレーション	山本肇、中島崇裕、薛自求	平成28年度土木学会全国大会, 2016, 2016年9月8日
16	CO <sub>2</sub> 地中貯留における貯留層内圧力情報とその抑制方法	藤田クラウディア、平塚裕介、山本肇、中島崇裕、薛自求	平成28年度土木学会全国大会, 2016, 2016年9月8日
17	浅海堆積物におけるスペクトラルガンマ線検層と地化学分析との比較：長岡CO <sub>2</sub> 圧入実証試験サイトの例	伊藤拓馬、中野和彦、大淵敦司、中島崇裕、薛 自求	日本地質学会, 2016, 2016年9月12日
18	蛍光X線分析法における不均質試料に対する前処理法の検討	高原晃里、大淵敦司、森山孝男、中野和彦、村井健介	第52回X線分析討論会, 2016, 2016年10月27日
19	海底堆積物中におけるCO <sub>2</sub> 応答微生物の特定と挙動モデル化の試み	中村孝道、秋山克	日本微生物生態学会第31回大会, 2016, 2016年10月23日

## ◆口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Tomakomai demonstration project, Japan and its collaboration opportunities	Jun Kita	British Geological Survey (BGC) Keyworth, 2016年3月2日
2	Nagaoka Project, Japan, and its collaboration opportunities	Ryozo Tanaka	BGS and FCO CO <sub>2</sub> Storage Workshop, 2016年3月2日
3	How to reach an offshore injection phase, Japan case study	Ryozo Tanaka	International Workshop on Offshore Geological CO <sub>2</sub> Storage. 2016, 2016年4月19日

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
4	How to do environmental monitoring offshore, Japan case study	Jun Kita	International Workshop on Offshore Geological CO <sub>2</sub> Storage, 2016, 2016年4月19日
5	A reactive transport modelling at the Nagaoka pilot-scale CO <sub>2</sub> injection site	Saeko Mito, Ziqiu Xue	Goldschmidt2016, 2016年7月1日
6	Experimental study on capillary trapping characteristics in porous media for CO <sub>2</sub> geological storage	Lanlan Jiang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Yongchen Song	AOGS(Asia Oceania Geoscience Society) meeting2016, 2016年8月2日
7	1. Long-term sea water monitoring in coastal Japanese waters 2. Modelling marine impact	Jun Kita	Combined Meeting of the IEAGHG Modelling and Monitoring Networks, 2016, 2016年7月6日
8	Optimization Study of Seismic Monitoring Network at the CO <sub>2</sub> Injection Site - Lessons Learnt from Monitoring Experiment at the Cranfield Site, Mississippi, U. S. A.	Makiko Takagishi, Tsutomu Hashimoto, Tetsuma Toshioka, Shigeo Horikawa, Kinichiro Kusunose, Ziqiu Xue, Susan D. Hovork	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
9	Geological reservoir characterization and modeling of a CO <sub>2</sub> storage aquifer: A case study of the Nagaoka site, Japan	Takuma Ito, Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
10	Trapping mechanisms in field scale: Results from Nagaoka geologic CO <sub>2</sub> storage site	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
11	Numerical simulation of the CO <sub>2</sub> behavior to obtain a detailed site characterization: A case study at Nagaoka pilot-scale injection site	Takahiro Nakajima, Takuma Ito, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
12	A novel method to detect CO <sub>2</sub> leak in offshore storage: focusing on relationship between dissolved oxygen and partial pressure of CO <sub>2</sub> in the sea	Keisuke Uchimoto, Jun Kita, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
13	Geomechanical monitoring of caprock and wellbore integrity using fiber optic cable: Strain measurement from the fluid injection and extraction field tests	Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
14	Research and development of a permanent OBC system for time-lapse seismic survey and microseismic monitoring at the offshore CO <sub>2</sub> storage sites	Ziqiu Xue, Tetsuma Toshioka, Naoshi Aoki, Yoshiaki Kawabe, Daiji Tanase	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
15	Self-sealing of wellbore cement under the CO <sub>2</sub> batch experiment using well composite sample	Kazuhiko Nakano, Saeko Mito, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日
16	Availability of a simplified coarse grid model for history matching at the Nagaoka post-injection CO <sub>2</sub> monitoring site	Saeko Mito, Ziqiu Xue	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 2016, 2016年11月17日

## 無機膜研究センター

## ◆原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Preparation and gas permeation properties on pure silica CHA-type zeolite Membranes	Koji Kida, Yasushi Maeta, Katsunori Yogo	Journal of Membrane Science 522, Vol.522, pp.363-370,2017
2	Application of MFI Zeolite Membrane Prepared with Fluoride Ions to Hydrogen/Toluene Separation	Izumi Kumakiri, Lingfang Qiu, Bo Liu, Kazuhiro Tanaka, Hidetoshi Kita, Takashi Saito, Ryoichi Nishida	Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol.49, No.8, pp.753-755,2016

## ◆口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	CHA/STT型ピュアシリカゼオライト膜の調製とガス透過特性	来田康司, 前田康志, 余語克則	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
2	シリカ膜を用いた膜反応器による高炉ガス有効活用	多胡智貴, 松山絵美, 西田亮一, 中尾真一	化学工学会第81年会 2016年3月13日-15日
3	Si-CHA型ゼオライト膜の作製とガス分離への適用	余語克則, 来田康司, 久野太一, 前田康志	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日
4	ピュアシリカゼオライト膜を用いた有機ハイドライドからの高純度水素精製	来田康司, 余語克則,	化学工学会第48回秋季大会 2016年9月6日-8日



## 無機膜研究センター

## ◆口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Development of Practical Membrane Reactores for Dehydrogenating Methylcyclohexane to Supply High-purity Hydrogen	Ryoichi Nishida, Emi Matsuyama, Ryohei Numaguchi, Hiromi Urai, Shin-ichi Nakano	21th World Hydrogen Energy Conference 2016 June 14, 2016

## ◆書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先／発表先ほか
1	CVDシリカ膜及び膜反応器の現状と今後の展望	中尾真一	無機膜研究センター産業化戦略協議会 H28年度第1回セミナー 2016年5月27日
2	CVDシリカ膜のガス分離特性と膜反応器への応用	中尾真一	JFCC研究成果発表会 2016年7月1日
3	Synthesis of MFI Zeolite Membranes in Fluoride Media and Their Applications for Hydrogen Separation	I.Kumakiri, L.Qui, B.Liu, K.Tanaka, H.Kita, T.Saito, R.Nishida	The 10th Conference of Aseanian Membrane Society July 27, 2016
4	セラミックス系ガス分離膜の現状と将来展望～革新的環境・エネルギー技術の実用化に向けて～	西田亮一	[関西] 高機能セラミックス展 専門技術の実用化に向けて 2016年10月7日
5	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	西野仁、西田亮一、浦井宏美	NEDO H28年度成果発表会 2016年10月26日
6	RITEにおける水素分離膜の開発と産業化に向けた取り組み	西田亮一	第33回ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2016年10月28日
7	水素を作る膜－無機系水素分離膜を用いたエネルギーキャリアの脱水素－	西田亮一、中尾真一	先進無機高分子材料の開発 第2章 1、 シーエムシー出版 2016年12月





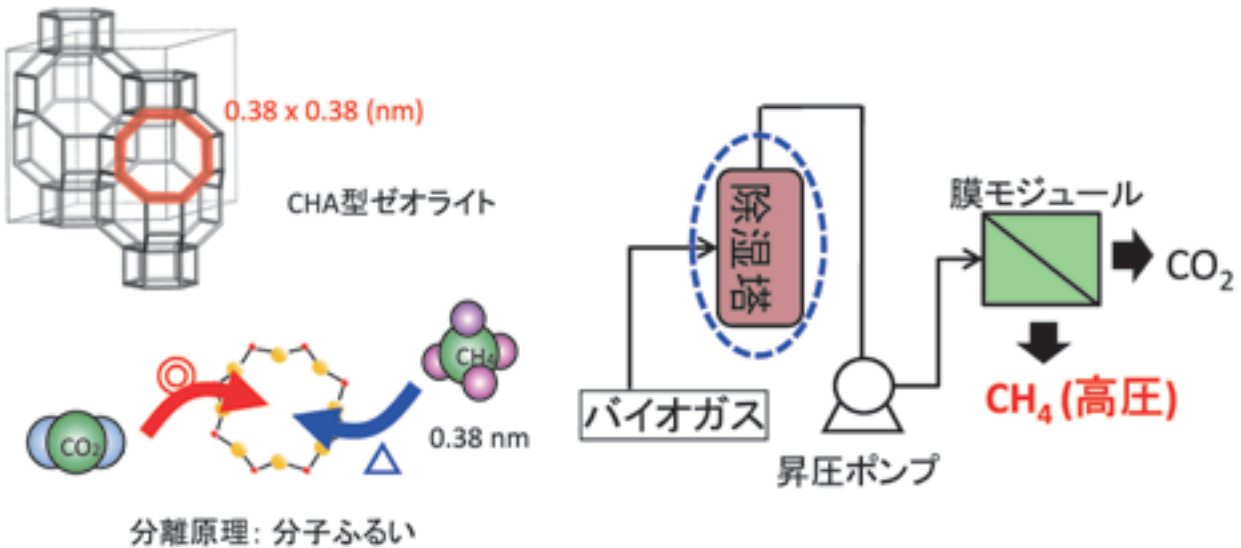
掲載年月日	見出し	掲載紙名
2016.1.8	RITE が最新研究成果報告 CCS コスト低減へ 化学吸着・吸収法など手応え 水素分離膜・反応器開発も	化学工業日報
2016.1.17	温暖化抑止「パリ協定」の意義と課題 地球環境産業技術研究機構理事長茅陽一氏 1.5度目標、理解に苦しむ	日本経済新聞
2016.1.20	CO <sub>2</sub> 地中貯留 安全性評価技術開発で報告 RITE	化学工業日報
2016.2.10	京都特集 先端的研究に無限の可能性 産学の交流通じ画期的製品を	化学工業日報
2016.2.16	RITE シンポ COP21踏まえ分析 国内外の専門家が講演	電気新聞
2016.2.17	RITE ALPS 国際シンポ開催 COP21の評価などテーマに	化学工業日報
2016.2.23	CCS 安全管理技術 RITE など共同研究 経産省、開発委託先を決定	電気新聞
2016.2.25	【論風】厳しいパリ協定への対応 ゼロエミッション基本目標に 地球環境産業技術研究機構理事長・茅陽一	フジサンケイビジネスアイ
2016.3.3	温室効果ガス削減費用 年間最大72兆円に 50年80%減 RITE が分析	電気新聞
2016.3.4	RITE 「無機膜」研究で拠点 京都府内4月設立 CO <sub>2</sub> 分離効率的に	電気新聞
2016.3.9	平均気温上昇抑制目標 研究開発、精査徹底を COP パリ協定と IPCC 報告書 RITE がシンポ	化学工業日報
2016.3.11	1.5度未満努力目標 実現ほぼ困難と指摘 RITE パリ協定巡りシンポ	電気新聞
2016.3.16	パリ協定達成へ 限界削減費用 年2850億ドル 147 カ国・地域個別対策で ばらつき大きく	電気新聞
2016.3.23	CO <sub>2</sub> 地下貯留 共同研究 国際石油帝石など 安全評価、確立へ	日本経済新聞
2016.3.31	グリーンフォーラム21 第3回事例研究会 「パリ協定」採択 求められる 日本の対応・役割	日刊工業新聞
2016.4.1	二酸化炭素地中貯留技術研究組合 経産大臣から認可、始動へ	化学工業日報
2016.4.1	CO <sub>2</sub> 回収・貯留技術で5 ヶ年計画 開発会社などで CCS 貯留組合設立	石油通信
2016.4.1	国際石油開発帝石ら6者／CO <sub>2</sub> 地中貯留技術研究組合設立／実用化へ安全管理技術検討	日刊建設工業
2016.4.4	CCS 確立へ研究組合 INPEX など6者 30年頃実用化目指す	電気新聞
2016.4.5	RITE 無機膜研究センター設立 水素分離など 早期産業化めざす	化学工業日報
2016.4.7	「CO <sub>2</sub> 地中へ」構想 技術実用化へ組織設立	朝日新聞
2016.4.18	技術研究組合を設立、CCS で国際帝石など6者	ガスエネルギー新聞
2016.4.19	無機膜研究センター設立記念シンポ RITE	化学工業日報
2016.4.21	RITE 水素利用に貢献期待 無機膜研究センター設立記念シンポ開く	電気新聞
2016.5.1	RITE 「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」設立	ガスレビュー
2016.5.19	日本学術会議 合理的省エネ策探る 都内でシンポ 技術革新に期待	電気新聞
2016.5.24	第15回 GSC 賞 奨励賞 植物由来フェノール製造技術の開発	化学工業日報
2016.6.1	RITE 水素膜分離・精製技術や CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の早期の産業化、実用化を目指し、無機膜研究センターを設立	ガスレビュー
2016.6.17	【原発は必要か 依存せぬ道は】6 温暖化対策の切り札 CO <sub>2</sub> 貯留 原発より効果 長岡の CO <sub>2</sub> 回収貯留実証試験	新潟日報
2016.7.8	パイオリファイナリー実用化視野 RITE	化学工業日報
2016.8.3	二酸化炭素を体感 地球環境産業技術研究機構 温暖化防止考える	奈良新聞
2016.8.11	温暖化の抑制 実験通じ学ぶ 木津川で科学教室	京都新聞
2016.8.18	【論風】10月に第3回 ICEF 会議 2つの革新的発電技術を議論 地球環境産業技術研究機構理事長・茅陽一	フジサンケイビジネスアイ
2016.10.6	パリ協定1.5度努力目標 実現性極めて乏しい RITE シナリオ別に分析	電気新聞
2016.10.7	パリ協定「1.5度 C 目標」 実現性、極めて乏しく RITE が分析・評価	化学工業日報
2016.10.18	省エネ CO <sub>2</sub> 回収設備 商業2号機を受注 新日鉄住金エンジ 安定操業など評価	化学工業日報
2016.10.18	新日鉄住金エンジ／ESCAP 商業2号機受注／省エネ・製品品質など評価	日刊産業新聞
2016.10.18	省エネ型二酸化炭素回収設備／新日鉄住金エンジが受注	鉄鋼新聞
2016.10.21	無限の化学～イノベーションを支える～ (5) 夢の製造プロセス確立へ	化学工業日報
2016.11.1	RITE 11月に研究テーマ決め、研究会始動 無機膜の「革新的環境・エネルギー技術」実用化目指す	ガスレビュー
2016.12.7	日航、古着から航空機燃料 イオンなど小売り12社と組み回収 20年の試験運航めざす	日本経済新聞
2016.12.15	RITE 新日鉄住金と共同開発した化学吸収液 火力発電所に建設の炭酸ガス回収装置に使用	ガスレビュー
2016.12.22	RITE 南アで FS 実施へ セメント産業を低炭素化	電気新聞
2016.12.27	RITE の低炭素化技術 南アでの事業可能性調査に採択	化学工業日報
2016.12.28	CCS で韓・研究機関と技術交流／RITE	鉄鋼新聞



2016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	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるバリンの製造方法	R I T E	US	9,290,770 (2016年3月22日)
	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	R I T E	ID	IDP000040621 (2016年3月30日)
	排ガス中の二酸化炭素を効率的に吸収及び回収する水溶液	R I T E 新日鐵株式会社	EP	2589424 (2016年4月6日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	CN	ZL 201180063494.2 (2016年5月18日)
	二次電池用正極材料、二次電池用正極材料の製造方法、 および二次電池 (CA)	R I T E 三井造船株式会社	EP	1689011 (2016年5月27日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	日本	5940985 (2016年5月27日)
	物体の体積変化計測方法	R I T E ニュープレクス株式会社	US	9,360,304 (2016年6月7日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるバリンの製造方法	R I T E	日本	5960701 (2016年7月1日)
	複合分離膜	R I T E	日本	5969169 (2016年7月15日)
	光ファイバケーブル、光ファイバケーブルの製造法、 および分布型測定システム	R I T E ニュープレクス株式会社	日本	5980419 (2016年8月5日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるバリンの製造方法	R I T E	CN	ZL201280041150.6 (2016年8月17日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	US	9,453,248 (2016年9月27日)

無機膜に関する保有特許



ピュアシリカゼオライト分離膜

(1) 技術特長

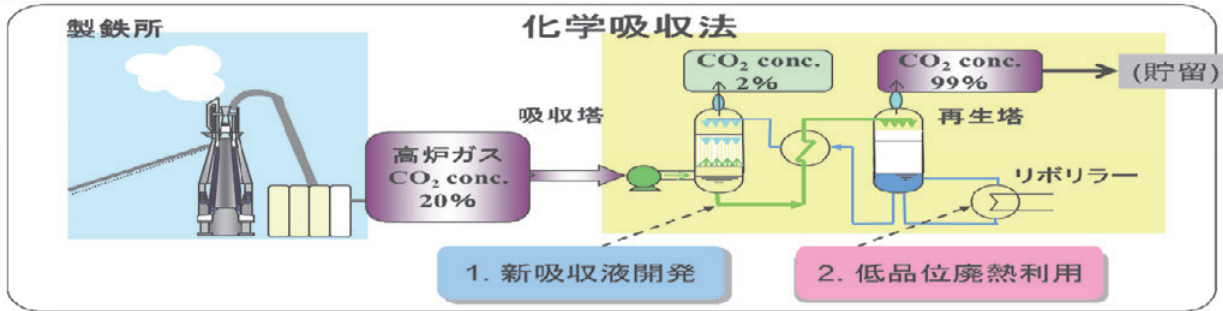
- ・従来技術より、2～10倍高いガス透過率が得られる (特に、二酸化炭素)。
- ・従来技術より、水蒸気安定性に優れた分離膜である。

(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

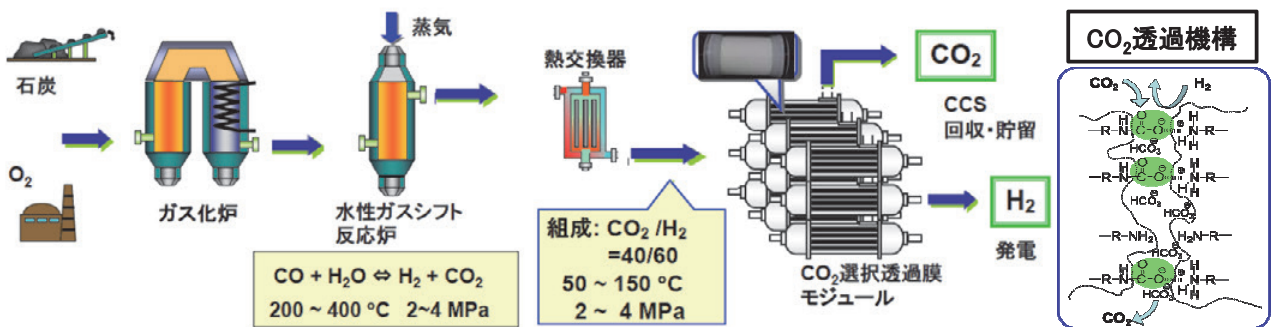
## 二酸化炭素 分離・回収 に関する保有特許



化学吸収技術	<p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所燃焼排ガスや製鉄所高炉ガス等から、CO<sub>2</sub>を高効率に回収 <b>分離・回収エネルギーを大幅に低減</b></li> <li>・石炭ガス化ガスや天然ガス等の高圧ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を高圧で分離・回収 (高圧再生型化学吸収液) 昇圧エネルギー削減で<b>分離・回収エネルギーの大幅低減</b></li> </ul> <p>(2)関連特許</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス中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</li> <li>・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</li> </ul>
--------	--



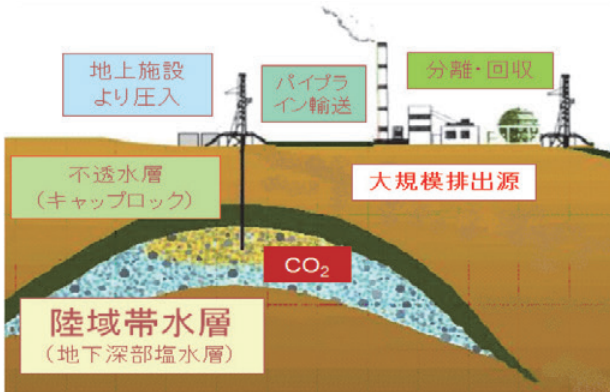
固体吸収技術	<p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アミンを多孔質材料に担持(燃焼排ガス用固体吸収材)し、<b>分離・回収エネルギーを低減(約3割減)</b></li> <li>・<b>低濃度(1%未満)のCO<sub>2</sub>回収が可能</b>(閉鎖空間利用)</li> <li>・<b>除湿プロセスを簡略可能な耐水蒸気型のCO<sub>2</sub>吸着材</b></li> </ul> <p>(2)関連特許</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・二酸化炭素分離材及び二酸化炭素を(選択的に)分離又は回収する方法 特許第5186410号、国際公開第2014/208712号</li> </ul>
--------	--



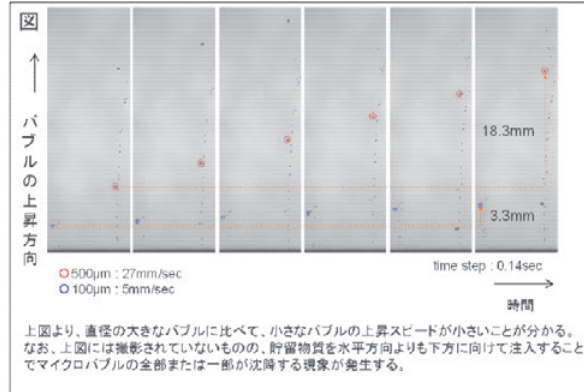
膜分離技術	<p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・石炭ガス化複合発電の<b>高圧ガスからCO<sub>2</sub>を効率よく分離・回収</b> 圧力駆動で省エネルギーを実現</li> <li>・<b>CO<sub>2</sub>とそれ以外のガス(H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等)を効率よく分離</b></li> </ul> <p>(2)関連特許</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>ガス分離膜(高分子膜)及びその製造方法(利用) 特許第4980014号、特許第5314291号、特許第5329207号、国際公開第2014/073582号</li> <li>・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</li> </ul>
-------	--



## 二酸化炭素 地中貯留・地層評価に関する保有特許



二酸化炭素地中貯留方法の概念図



バブル径の違いによる上昇スピードの比較

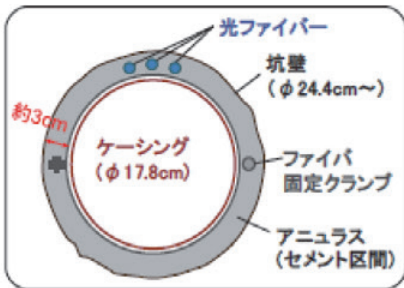
### 1 CO<sub>2</sub>マイクロバブル地中貯留技術

#### (1) 技術特長

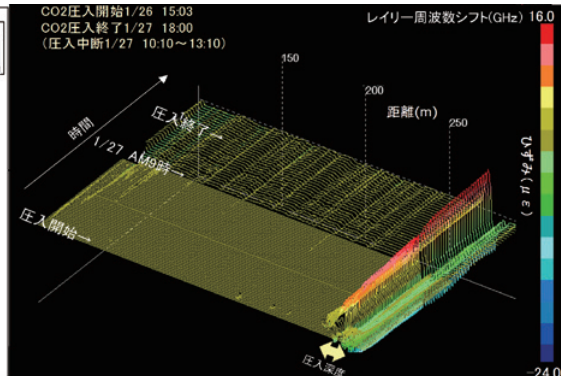
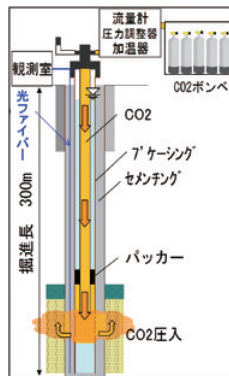
- ・ 特殊フィルターによってCO<sub>2</sub>を微細気泡（マイクロバブル）にして地下深部貯留層へ圧入することにより、長時間安定して貯留層内部に滞留させることが可能
- ・ 浸透性が低い油層や生産性が低下した油層を対象としたCO<sub>2</sub>-EOR（石油増進回収）にも適用可能
- ・ CO<sub>2</sub>以外の廃ガス（フレアー）にも適用可能

#### (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



光ファイバーの設置概念図



CO<sub>2</sub>圧入時の地層変形測定評価結果

### 2 光ファイバーによる地層安定性評価技術

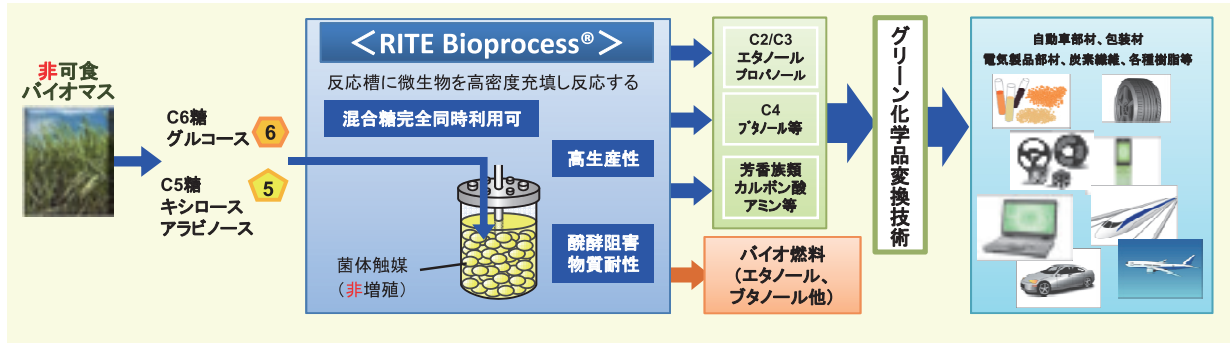
#### (1) 技術特長

- ・ 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
- ・ CO<sub>2</sub>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、国際公開第2014/024233号
- ・ 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、国際公開第2014/181617号、米国公開第2016-0116308号

## バイオリファインリーに関する保有特許



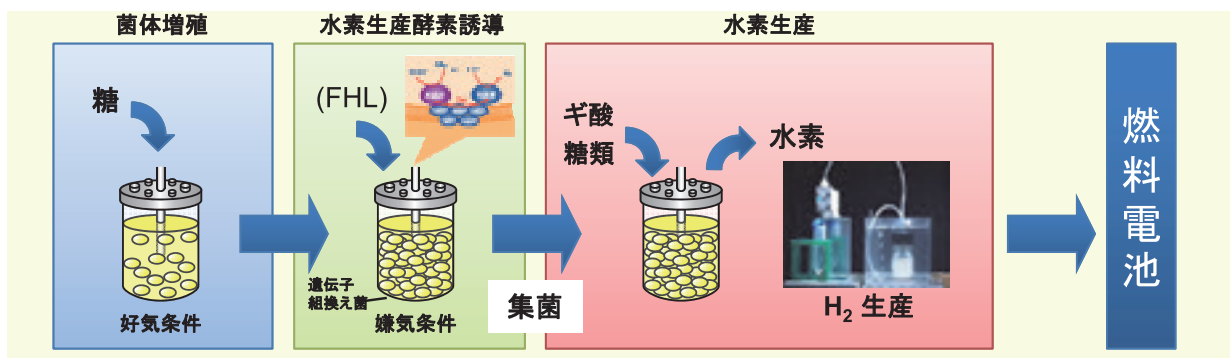
### 1. RITEバイオプロセス

#### (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、インド第209524号、インドネシア第IDP0025354号、E P 第1291428号 (FR、DE、ES)
- ・D-キシロース利用機能が向上したコリネ型細菌菌質転換体 特許第5564423号、米国第8685703号 中国第ZL200980123139.2号、E P 第2287287号(DE)、インドネシア第IDP000040621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

- ・微生物を用いる水素生産装置、およびそれを用いる燃料電池システム 特許第4574375号
- ・水素生産能を有する微生物の培養装置および生物的な水素製造方法 特許第4440732号
- ・水素生成方法および水素生成装置 特許第4860659号、米国第8846358号

# RITE Today 2017 Vol.12

## 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](http://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