

RITE Today^{2018 Vol.13} 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 2018年版 第13号



RITE Today

2018 Vol.13

Contents

巻頭言

- 科学の力で温暖化を克服
●● 常務理事 大西 晃

03

特集

- 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 座談会
●● CCS 実用化に向けた二酸化炭素地中貯留技術研究組合の役割

04

研究活動概説

- 企画調査グループ ● 企画調査グループにおける調査活動概要
- システム研究グループ ● システム研究グループの研究活動報告
- バイオ研究グループ ● 低炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発
- 化学研究グループ ● CO₂ 分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み
- CO₂ 貯留研究グループ ● 安全かつ実用規模の CCS 実現のための CO₂ 地中貯留技術開発の取り組み
- 無機膜研究センター ● 無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の研究開発、およびその実用化・産業化に向けた取り組み

10

16

22

28

34

40

トピックス

46

普及啓発活動

54

2017年（平成29年）発表論文一覧

56

2017年（平成29年）主な関連新聞記事一覧

66

特許紹介

67



科学の力で温暖化を克服

公益財団法人地球環境産業技術研究機構
常務理事 大西 晃

2016年11月に「パリ協定」が発効し、地球温暖化防止の新たな国際枠組みがスタートした。我が国でも、2017年3月に「長期低炭素ビジョン」、4月に「長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書」が示された。

ただ、米国がパリ協定からの離脱を表明するなど、その前途は不透明と言わざるを得ない。振り返ってみれば、前世紀に地球温暖化が問題提起されて以来、人類は未だ地球温暖化に対するスタンスを定めきれていないように感じる。

誤解を恐れずに言えば、従来の延長線上の発想にある限り、人類は地球温暖化に本気で向き合うことはないだろう。CO₂の削減は経済性を阻害すると考えられているし、国際枠組みにフリーライドしたがる指導者がいるためである。理念だけでは不十分なのが現実だ。その点で、CO₂削減そのものが高いビジネス性を有し、産業として確立することが何より重要と考える。人間社会の摂理に従って地球温暖化を克服するというのだ。そしてそれを可能にするのは、科学の力によるイノベーションだけと確信している。

地球環境産業技術研究機構（RITE）の使命は、科学の力で地球温暖化を解決することだ。縁あって私は昨年7月からRITEに勤務しているが、改めて、その人材力の高さ、研究レベルの高さに驚かされている。RITEの手がける研究の数々がどれも地球温暖化問題にイノベーションをもたらしうるものと、外部から見ていた時よりもはるかに強く感じているところである。

そのひとつが、大量のCO₂を地下層に閉じ込めるCO₂地中貯留の研究である。これを手がける研究主体は少なくないが、RITEの繊細かつ地道な研究の積み重ねは国際的にも高い評価を受けており、トップランナーの米国やノルウェーに比肩する。最近では、サウジアラビアの国営石油会社もRITEの技術に関心を寄せており、今後の大きな広がりが期待できる。

産業分野で排出されるCO₂の分離・回収技術の研究も進めている。RITEでは、新たに開発した固体吸収材を用い、従来と比べて大幅に省エネルギーでCO₂を分離・回収する技術を川崎重工業と共同開発した。2019年以降、関西電力・舞鶴発電所において実用化試験を実施する予定である。

「RITEバイオプロセス」もまた革新的である。RITEでは、代謝モデルの高度化を図ることによって効率的にバイオ燃料や化学品を製造するコリネ型細菌を独自に開発し研究を重ねてきた。このエネルギーロスが少ないプロセスの完成により、稲わらや古紙など食用に供されないバイオマスを原料として、グリーンジェット燃料や芳香族化合物などのバイオ製品の製造が可能になる。

技術開発に加えて、温暖化対策の持続可能なシナリオ策定も進めている。地球温暖化に関し、社会がより良い意思決定をするためには、その前提として人口、産業、技術などあらゆる変数を加味した合理的な見積もりが不可欠だ。RITEでは科学的不確実性も踏まえたシステム分析を進めており、その分析結果、データは、経済産業省をはじめ政府の議論の場に提供されている。またRITEの研究者は、国際応用システム分析研究所（IIASA）との協力、国際モデル比較プロジェクトへの参画などを通じて、世界中の研究者との議論を進めている。

経済成長と環境保全の両立は、未来ではなく現在の課題である。RITEはこれからも科学の力でその達成を力強く先導していく。

CCS実用化に向けた二酸化炭素地中貯留技術研究組合の役割

RITEは、有力な地球温暖化対策技術である二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）の実用化に向けて、2016年4月に4つの民間企業、国立研究機関とともに、二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立しました。本組合では、我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン/年）での効率的なCO₂地中貯留技術、CCSの安全性を高める技術、CCS普及のための条件整備等の研究開発を行っています。今回、組合の理事の皆様、組合におけるこれまでの活動や今後の抱負について語っていただきました。



研究推進委員会 委員長：佐藤光三（東京大学大学院工学系研究科 教授）

理事長：山地憲治（公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE） 理事・研究所長）

理事：平松晋一（応用地質株式会社 常務執行役員 技術本部長）

栢川哲朗（国際石油開発帝石株式会社 技術本部 参与）

竹花康夫（石油資源開発株式会社 執行役員 環境・新技術事業本部長）

矢野雄策（国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター長）

今村 聡（大成建設株式会社 執行役員 原子力本部長）（誌上参加）

山地 2016年4月に二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立し2年目の後半に入りました。今日は組合の理事の皆様と研究推進委員会の委員長をお願いしている佐藤光三先生に参加していただいて、CCS実用化に向けた組合の役割をテーマにして座談会を行います。忌憚ない意見をお願いしたいと思います。

■組合に期待する役割

山地 ではまず佐藤先生に研究組合に期待する役割をお話しいただきたいと思います。

佐藤 CCSには経済的なインセンティブがない、経験も少ないとよく言われ、コストが高いとか、CO₂漏えいのリスクが心配だという懸念が付き纏います。これは、



何もしない現状をリスクフリーの状態だという誤った見方をしているためで、そこと比べるとCCSはコストがかかり、リスクもあるということになってしまふ。しかし、無為無策

は2℃シナリオの達成を阻害し気候変動を引き起こすため、コストとリスクが非常に高い状態を招くこととなります。この高コスト・高リスク状態に比べると、気候変動を抑制するCCSを適切に操業すれば、これはリスクを低減するのであって、相対的にはプロフィットを生むことになる。コストとリスクの低減には2種類あります。1つは、元々高い状態から、コストやリスクを

下げるもの。もう1つは、リスクフリーのところになかなかな技術を導入する際に発生するコストやリスクを低く抑えるものです。この2つでは、設定すべき目標のレベルは自ずと違ってくると思っています。CCS研究は前者に当たり、コストやリスクが高い状態からそれらを下げることが目的とした研究であって、設定すべき目標は後者のそれとは違うということ意識すべきだと思っています。パブリックアクセプタンスに関して、この点に気を配った結果の公表の仕方に気を配るべきでしょう。例えば、コストをいくら下げたというのではなく、費用がこれだけ減った結果、プロフィットがこれだけ増えたと捉えられるべきだし、漏えいに関して、こういう技術で漏えいのリスクを減らせたというのではなく、安全性がより高まったという感覚を人々に持って貰えるような伝え方をすべきだと思います。

山地 ありがとうございます。そもそもCCSの役割は先生のお話にあったように地球温暖化というとても大きなリスクへの対策です。しかしCCSに伴うリスク問題もある。そこをしっかりと社会との関係を考えて上手く成果を伝えて下さい、というお話だったと思います。では次に、理事の皆さんに組合に入ったきっかけや、組合に期待していることをお話したいと思っています。

■組合に参加したきっかけ、期待するもの

竹花 当社はE&P (Exploration & Production) 企業として、色々な技術開発や研究を進めてきました。その中の1つとして、二酸化炭素の溶解促進に関連するマイクロバブルの技術は非常に期待できる技術ではないかという手応えを感じており、実用化したいという強い思いが以前からありました。RITEさんはマイクロバブル技術に関して先進的な取り組みをされ、豊富な経験をお持ちであるし、関係各社の方とも組合という組織の中で同じ目的意識を持って、しっかりと議論をしながら技術開発をしていくことが、当社の目標、目的を達成する上で非常に意味のある取り組みだと考え、参加させていただきました。

栃川 2015年に当社は「気候変動問題への対応」というポジションペーパーを出したのですが、その中でしっかりとCCSの重要性を謳っていて、CCSには貢

献すべき、また貢献できるだろうという思いがありました。これが組合に参加した動機です。また、CCS以外の技術開発も全てそうですが、自分達だけでやるというのは限界があると思っています。ですので、お互いのコラボレーションの中で刺激を受けながらシナジーを最大化していく、ちょっと大袈裟ですが、ケミカルリアクションを起こしていく、そういったことも期待してこの研究組合に入らせていただきました。

平松 当社は一般的には公共事業の地質調査をしている会社だと思われていますが、実はもう随分前から原子力の仕事もさせていただいていたので、エネルギーの問題、そしてその裏側にある地球環境問題についても以前から意識していました。そこで、ある意味、引き出しを増やそうという思いで地球環境問題にも関心を持ち、長岡の弾性波トモグラフィを使ったモニタリングや、エンジニアリング協会さんと一緒に全国の貯留層の貯留量評価等を行って来ました。これらを通じて、我々が土木地質から培った検層技術やトモグラフィ、あるいは地質学の知識がCCSの実用化のために役立てられるのではないかと考えていたところ、組合へのお誘いを受けましたので、会社としてもこの重要な地球環境問題に対する事業を今後、進めていこうということで参画しました。



矢野 産総研は2001年の創立の当初から地中貯留の研究に関わってきました。と言うよりも、産総研が創立される前は私も15の研究所でしたが、その内の1つの地質調査

所で、CCSの考え方の萌芽の時から携わって来ました。2005年からは地中貯留の経済産業省のプロジェクトにも参加してやってきましたので、地中貯留については長い歴史を持っています。その中で培ってきた私どもの技術は、1つは地球物理学的なモニタリング技術、それから地化学技術、あるいはジオメカニクス技術といったものであり、これらの技術が地中貯留の今後に役立てることができると考えていました。そして、この組合が、CCSを本当に実用化して民間に繋いでいくために関係者が一本化していこうという動きだ

と思いましたが産総研も参加した次第です。



今村 当社は様々な建設工事に関わる地下水環境保全、土壌汚染浄化、放射性廃棄物の地層処分、エネルギー地下備蓄などのプロジェクトを通じて、地下水の流れや物質移行の調査・解析技術を培ってきました。地球温暖化に対して当社が貢献できることの1つとして、CCSをターゲットに、CO₂の地中挙動シミュレーションに取り組んできました。以前より、RITEさんの研究開発や苫小牧などの実証試験などにはシミュレーション技術でご協力させていただいておりましたが、技術の実用化は地下探査や貯留のコア技術をお持ちのパートナーとの連携が不可欠で、できれば政策にも近いところでの研究開発が望ましいと考えておりました。また、ゼネコンとしてCCSの貯留システム設計・施工への参入の可能性の検討をしていた段階で組合参加へのお誘いがありましたので、ゼネコンのCCSでの貢献のあり方、可能性を模索する狙いもこめて参加を決意いたしました。

山地 RITEは、組合設立以前は産総研さんとペアのような形で研究開発を行ってきました。また、応用地質さんをはじめ、各社からRITEに出向者を出す形でご協力をいただけてきました。これまでに、2003年から2005年にかけてRITEが長岡で1万トン規模のCO₂貯留の実証試験を行い、現在は苫小牧でJCCSさんが年間10万トン規模の実証試験を行っていますが、その次の年間100万トンという実用規模にもって行く段階では本格的に民間企業さんと一緒に研究開発を推進していく体制が必要であり、そういう意味でこの組合が設立されたと理解しています。そして、当然ながらRITEもこの組合に参加させていただきました。

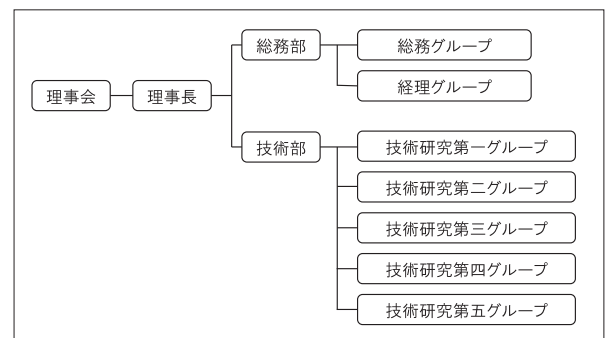
■組合員としての役割、研究課題

山地 CCSの実用化がこの組合の使命ですが、各々組合員としての研究課題、これまでの成果や今後の目標などについてお聞きしたいと思います。

矢野 モニタリング技術、長期的な遮蔽性能を評価する技術、そして水理と力学の連成解析技術、これらが私どものコア技術です。まずモニタリング技術に関しては、今後、地中貯留をやっていく場合、貯留した後の長期的なモニタリングは必ず必要で、それをいかに低コストで行うか、その方法として、重力をモニタリングすることが有効だろうと考えており、超伝導重力計を用いた技術開発を苫小牧で実際に測定しながら行っています。次にキャップロックの長期的な遮蔽性能評価ですが、これも産総研では組合発足以前から取り組んでいます。特に地化学反応がどう影響を及ぼすのかということの研究しており、それが水理特性や力学特性にどう影響しているのかということを実験によって検証しています。超臨界のCO₂と水の系での地化学反応、これが遮蔽性能にどう影響を及ぼすかということについて見た時に、1つは岩石の種類によって影響が変わってくるということを見出しました。またジオメカニクスのモデリング技術も私どものコア技術ですので、RITEさん等が研究されている光ファイバーによるひずみ測定に今後お役に立ちたいと思っています。



平松 私どもは技術研究第一グループに属しており、地質モデルの構築という課題に取り組んでいます。具体的には苫小牧の実証試験サイトの4本の坑井の検層データを解析して地質性状を評価しています。対象の地層は萌別層の下部層で、自然放射能、比抵抗、孔隙率、P波速度等の相関関係、物性値との相関関係を見ながらモデリング



二酸化炭素地中貯留技術研究組合 組織図

曲線との比較を行っています。坑井によってややデータのバラつきがあり、正直、苦戦しているところではありますが、坑井のコア試験のデータもありますので、今後はこれも加味しながら大雑把な貯留層というのではなく、その中の岩相を細かく区分しながら分割して見ていこうとRITEさんと一緒に頑張っているところです。

栃川 当社のコア技術は貯留層に近いところですよ。例えば地下のイメージング技術は当社のコア技術として従来から蓄積してきたものです。今回、DAS (Distributed Acoustic Sensing : 分布型音響計測) や光ファイバーを使ったVSP (Vertical Seismic Profile : 鉛直地震探査) を試みっていますが、できるだけ信頼性のある情報を、できるだけ低コストで示すことが当社の課題だと思っています。今年、当社の油田で実際に計測を行っていますが、これは世界でも新しいと言われていて、我々のジオフィジストを含む関係者が凄くワクワク感を持ってやっているのが非常によいなと感じています。来年には何か画像でお見せできればと考えています。

山地 やはり現場のフィールドを使って実際にやれるというところは、組合を作ったメリットだと思います。



竹花 当社が取り組んでいる課題は、マイクロバブルの技術を使っていかに二酸化炭素の貯留効率を高めるかということです。CCSのプロフィットを高めるためには、地下の貯留層をいかに有効に活用するか、貯留効率を高めていくか、そこがポイントだと思っています。そのため、地下1,000メートルや2,000メートルという深度でマイクロバブルを発生させ、それを貯留層の中に送り込むツールを新たに開発することが我々の使命だと思っています。もう一つはCO₂マイクロバブルが貯留層の中に浸透していくプロセスとそのメカニズムの解明です。いかにして貯留効率が高まっていくのか、実験室でのコア試験、フィールドでの観測データやシミュレーション等を上手く組み合わせながら明ら

かにすることが我々のもう1つの使命だと思っています。今年度は坑内で使用するツールの試作機の開発を行っており、実際に坑内に下げて正常に作動するかどうか、CO₂マイクロバブルが発生するかどうかをチェックしています。来年度以降はフィールドにおいてCO₂マイクロバブルの貯留層への注入試験を行う予定です。

今村 当社は主にCO₂地中挙動シミュレーションに関わる課題を担当しております。地下の探査精度には限界があるため、地中貯留のコスト予測あるいは安全性の評価が難しい面があります。わが国の将来の大規模貯留でどのくらいのコストが現実的に必要なのか、事業者から見るとやはり不透明と感じています。現在、経済産業省と環境省のジョイントで適地調査が進められていますが、リアリスティックな貯留量を不確実性もあわせてできるだけ早く評価し、提示することが重要と感じます。当社が技術組合で主に取り組んでいる課題は、地層の調査データの不確実性を踏まえながら、必要な貯留量を確実に確保できる坑井本数や貯留場所を合理的かつ低コストで設計する手法です。これには、当社が保有する超並列計算機による高速シミュレーション技術を活用できます。もう一つ、地中貯留の安全性を確率論的手法により分かりやすく定量化して評価する手法にも取り組んでいます。これについては、当社が培ってきた原子力分野の技術も役立つのではないかと期待しています。



山地 RITEでは「大規模CO₂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」を柱に技術開発を進めています。CO₂圧入によって、地中の圧力が増加し、地震を誘発することが懸念されるため、CO₂圧入サイトでは地震観測など様々なモニタリングが行われていますが、技術研究第一グループではこれらの観測結果に基づいたCO₂圧入管理システム (ATLS : Advanced Traffic Light System) を開発しています。本研究ではCO₂圧入サイトの各種モニタリング情報を、緑・黄・

赤の信号器の色で表現し、圧入状況も勘案したより発展的な機能を有するシステムとして開発中です。また、モニタリング技術として、光ファイバーによる深度方向に連続的に地層変形（ひずみ）を測定する技術開発を行っており、既存の坑井を活用した地層変形観測の現場実験では、砂岩互層の変形特性や力学的解析モデル構築に関する重要な知見を得ることができました。その他にも万が一に備えて、CO₂漏出が起きていないことを確認するためのモニタリング（漏出監視）技術として、サイドスキャンソナー（Side-Scan Sonar）を用いたCO₂気泡の検知手法の開発に取り組んでいます。今後、これらの技術を事業化を見据えて現場に実適用していくわけですが、そのためにはこの組合の枠組を使って、組合員の皆さんと協力しながら実施していくことが、CCS普及に向けての近道ではないかと思っています。

山地 佐藤先生、ここまでのお話で何かコメントはありますか。

佐藤 最初に申し上げたCCSに特有の目標設定ということですが、例えば、複数坑井の最適配置について、石油開発の場合、採れるだけ採る方が石油会社の利益につながるので、最適化を突き詰めることは理にかなっていると思います。しかしCCSの場合は入れる量は決まっていますから、その量さえ入れればよい。加えて、地下のことですので、不確実性は絶対に付随します。CCSに関しては一番入るところを見つけるのではなく、この辺りのエリアであればどこに入れても予定している貯留必要量はカバーできますよ、という目標設定にすべきだと思います。地質モデルの構築に関しても石油開発で突き詰めるような地質モデルの作り方ではない、CCSに合った地質モデルの作り方があると思います。これは組合の全ての技術検討で言えることだと思いますので、是非、CCSに特有の目標設定を意識して、研究を進めて頂きたいと思っています。

■組合のこれまでの活動についての評価と今後の課題

山地 それでは最後に、組合に参加して2年、これまでの活動をどう評価しているか。よかった点やこれからの課題、あるいは抱負をお願いできればと思います。

竹花 同じ問題意識を持っているサブサーフェイスのスペシャリストと言いますか、そういう集団の中で問題を解いていくこと、そして栃川さんの発言にもありましたが、自社だけでできることというのはどうしても発想なりが限定されるのに対して、組合は異業種の方もいらっしゃるし、そういった中で議論ができることは有意義だと思います。また、組合の研究推進委員会で独立的な視点から有識者の方に、適宜、研究の方向性について率直な意見をいただけることは非常に有難く、組合に参加してよかったと思う点です。課題としては、先ほど申し上げたように、新しい技術を開発するというところで、色々はまだ試行錯誤している部分があります。佐藤委員長が仰ったように、“CCSとして必要な技術”という視点で、いかにして残り3年で作り上げていくか、しっかりと取り組まなければいけないと考えています。



栃川 一人でやるよりは複数でやった方が刺激がある。そしてその中で化学反応を起こしていくことへの期待を最初に私は言いましたが、そこがまだ足りないかなと思っています。例えば、課題設定についてはCCS全体としてどうしていくのかという議論があるべきで、我々は貯留だけを対象にして他のことは知らないというのは少し違うのかなと思っています。組合には5つのグループがありますが、横の関係を強くする仕組みを考えて、互いの課題設定について議論し合うようなことをしないと研究組合として特色が出てこないと思います。またこの一年、気候変動問題へのE&P業界の対応は急速に進展したと感じておりその意味でも海外の色々なコンソーシアムとも何か、刺激とか化学反応という意味合いで一緒にできることがあると思います。例えば、Total、Shell、StatoilやGassnova等、そういうところと最初は意見交換から始まるかもしれませんが、何か一緒にできるのではないかと思います。

山地 最近、研究開発とか起業の時にグリーンケミストリーとかエコシステムとか言いますが、組合の中でもそういうことは大事ですね。



平松 私は新卒の入社試験の面接を何年もやっているのですが、「志望動機は？」と聞くと「御社のホームページを見ると地質調査だけではなくCCSやメタンハイドレートもやっている。そういう色々なことをしてみたい。特に地球環境問題に興味があります」という若者が凄く多い。そういう意味で、単なる地質調査会社というイメージではなく引き出しが広がったというメリットがあったと思っています。また面接を通じて、自然科学をやっている若い人たちはCCSにかなり興味を持っていると感じます。そういう意味で、もっと業界誌や関連の学会誌、雑誌等にも積極的にアピールして、もうちょっとCCSが一般的になったらいいんじゃないかと思います。今後の抱負ですが、先ほど栃川さんが横のつながりと仰いましたが、去年、茂原でDAS-VSPの震源車を当社は持っているの、使っていただきましたけど、海底重力計やP-Cable（高分解能海上3次元反射法探査）等、様々なツールを当社は持っていますので、これからモニタリングの現場でもお手伝いできたらと思っています。

矢野 組合に参加してよかったと感じるのは、こうして皆さんとお会いできたことが一番ではないかと思えます。これは抽象的な話ですが、地中貯留に取り組み国研として単独でやっているよりも、国プロを関係者が一体となってやっているところに入って、全体として評価や意見をいただきながら、そこで私どもの力も伸ばしていける点がよかったと感じています。産総研としては、国のプロジェクトを今後も組合員として一体の中で取り組み、産学官の連携を深めていければ有難いと思っています。

今村 組合設立から2年弱となり、各技術研究グループでの研究もそれぞれ着実に進んでおり、国の政策担当者や組合員間の密接な情報共有や連携が実現されつつあると感じています。また、研究推進委員会の先生方のサジェスションも的確であり、効率的な技術開発の場を提供していただいていると思います。今後の課題としては次のような項目があると考えています。1つは電力事業者の積極的な参加および経済産業省、環境省の電力事業者に対するインセンティブの付与、2つ目は省庁・事業者とともに社会的に受容性を得るための継続的な活動、3つ目は環境影響や漏えいのモニタリング方法と信頼性、4つ目は貯留能力推定の精度

の向上です。これらの課題を官民連携によって少しでも早くクリアしてCCSの実用化に寄与できればと考えております。


山地 佐藤委員長、ここまでお聞きになっていかがでしたでしょうか。最後に一言お願いします。

佐藤 変な言い方になりますが、本研究組合の自己否定、つまりCCSに関しては安全性を云々する必要がない状況というのが一番よいわけです。今後、そのような状態に近づけていくためにも、不必要に高精度化を追い求める考え方やアプローチは避けるべきと思っています。例えば、井戸数が少ないからモデル構築が困難であり、それにチャレンジしているという姿勢は、受け取る人にとっては“綱渡りのオペレーションで怖い”と映るかもしれません。そうではなく、CCSには井戸2~3本で評価できる地質モデルで十分であり、それでリスクを抑えた安全な貯留ができるし、CO₂の挙動を推定できるのだという意識を持つべきだと思います。少し肩の力を抜いて、最高を目指すというのではなく、2番目、3番目、4番目ぐらいの解でもよいので、それでもCCSのオペレーションであれば十分リスクを低減して適切にマネジメントできる、というような意識で組合としての取り組みや世の中への発信を考えていただけるとよいと思います。

■最後に

山地 組合設立の目的は、大規模なCCSの実用化に向けた研究を進めていく、ということです。その中で、特に民間企業4社さんに入っていただいて実用化への橋渡しをしていく役割、それはこの2年間で着実に進んできていると思います。ただ、より大きな目で見ると、佐藤先生のご意見にありましたように、我々がいただいた課題の中には安全管理のための技術開発だけではなく、社会的受容性に関するものもあるわけです。今日の座談会を通して、微小振動とか漏えいとかが大丈夫ですよと言うだけではなく、CCSそのものの必要性も併せて説明していく、それが大事なんだと改めて思いましたので、今後の取り組みに生かしていきたいと思っています。今日はありがとうございました。

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	美澄 祐志
サブリーダー	中村 哲	主幹	倉中 聡
主席研究員	高木 正人		
研究管理チームリーダー	作山 邦夫		
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	金星 春夫		
主幹・主任研究員	東 宏幸		
主幹・主任研究員	清水 淳一		

企画調査グループにおける調査活動概要

1. IPCCにおけるAR6に向けた動向

2020年以降の温暖化対策に関する国際枠組み「パリ協定」が、2016年11月に発効した。温暖化に関する最新の科学的知見を提供する役割を担う「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」においても、パリ協定の発効を受けて、2015年から2022年までの「第6次評価サイクル」における各種報告書作成に向けた作業が加速している。

RITEは経済産業省から委託を受け、IPCC関連会合への出席と専門家派遣を通じた情報収集・分析、アウトリーチ活動の準備、総会・レビューに関する調査と報告などを実施している。これらの活動を通じて得られたIPCCにおける第6次評価報告書（AR6）に向けた動向について以下に述べる。

1.1. IPCCの概要

IPCCは、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）により設立された。世界の科学者が発表する論文や観測・予測データから、科学的な分析のほか、社会経済への影響、気候変動を抑える対策などについて、政府の推薦などで選ばれた世界の専門家が共同で執筆して評価報告書（AR:Assessment Report）がとりまとめられる。国際的な対策に科学的根拠を与え

る重みのある文書となるため、報告書は国際交渉に強い影響力を持つ。これまで、第5次にわたり、評価報告書がまとめられ、公表されている。

IPCCは、総会、3つの作業部会およびインベントリー・タスクフォースにより構成されている。IPCCの構成を図1に示す。3つの作業部会のうち、第1作業部会は気候システム、気候変動など科学的な根拠に関する評価を、第2作業部会は生態系、社会、経済などの各分野における影響、適応策等に関する評価を、第3作業部会は気候変動に対する対策（緩和策）に関する評価を実施する。また、IPCC総会により意思決定が行われる。評価報告書は作業部会毎に策定され、更にこれらを踏まえた統合報告書が取りまとめられる。

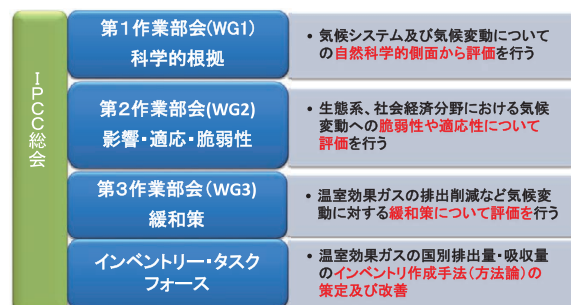


図1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の構成

1.2. AR6サイクルの組織

2015年10月に、IPCC議長としてHoesung Lee氏（韓国）が、副議長としてKo Barrett氏（米国）、

Thelma Krug氏(ブラジル)、Youba Sokona氏(マリ)が選出された。また、第3作業部会の共同議長として Jim Skea氏(英国)、P.R. Shukla氏(インド)が選出された。第3作業部会の副議長は、ハンガリー、イタリア、ニュージーランドなどの国々から計7名が選出されている。今後この体制により報告書が策定されることとなる。AR6サイクルの組織概要を図2に示す。

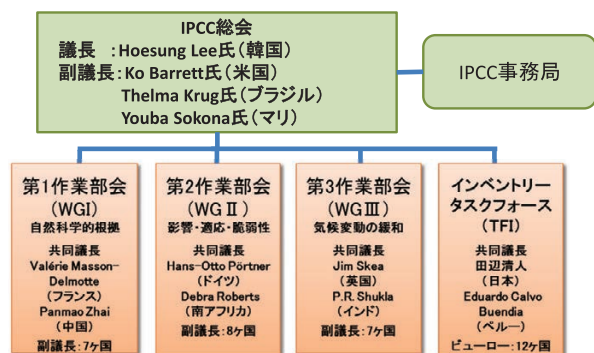


図2 第6次評価報告書サイクルの組織概要

1.3. AR6の策定手順

第6次評価報告書 (AR6) の策定手順を図3に示す。まず、政府や関係機関によって選定された専門家が報告書の内容についてアウトライン案を策定し、IPCC総会においてこれを承認する。これを基に、政府や関係機関が報告書の執筆者 (author) を推薦し、IPCCビューロー (IPCC議長および副議長、各作業部会の共同議長および副議長並びにタスクフォースの共同議長) が執筆者を選定する。選定に当たっては、候補者の知識、経験のほか、地域バランスなども考慮される。その後、執筆者会合を開催するなどして、執筆者が議

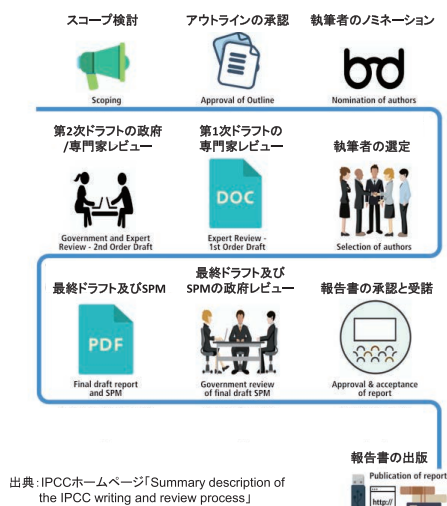


図3 第6次評価報告書の策定手順

論し、執筆し、第1次の報告書案を作成する。この報告書に対して専門家による評価 (レビュー) が行われる。次に、専門家による評価を経て執筆者が作成した第2次の報告書案に対して政府および専門家による評価が行われる。政府および専門家による評価を経て執筆者が作成した報告書および政策決定者向け要約 (SPM) の最終案は、各国政府に送付され、評価を受ける。これらの評価を経て、最終的にIPCC総会において、報告書の承認と受諾がなされる。

1.4. AR6WGⅢのアウトラインの概要

政府や関係機関から選出された専門家によるスコoping会合が2017年5月に開催され、アウトラインの議論が行われた。その後、2017年9月のIPCC総会において、各WGのアウトラインが承認された。WGⅢのアウトラインを図4に示す。WGⅢの共同議長である Jim Skea氏によれば、WGⅢのアウトラインの概要は以下の通りである。

まず、第1章では、新たに「カギとなる枠組みのコンセプト」として「持続可能な開発」を盛り込む。第2章から第4章では、排出傾向、排出源、排出経路についてハイレベルの評価を行う。長期の排出経路では排出と吸収のバランスを、中期の排出経路では約束草案 (NDC)、排出のピーク、低排出のための開発戦略について扱う。第5章から第11章では、各セクターに関する分析を行う。第12章では個別のセクターでは捉えられないセクター横断の事項について扱う。第13章では制度、政策を、第14章では国際協力を、第15章では投資、財政を、第16章では技術開発・移転

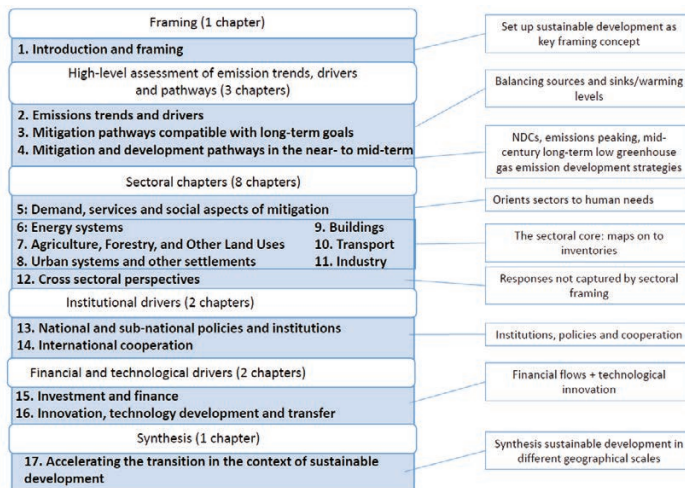


図4 第6次評価報告書のアウトライン

を扱う。最後に第17章では持続可能な開発に関するまとめを行う。

1.5. AR6の今後の予定

報告書の執筆者については、2017年9月から10月にかけて各国から候補者が推薦され、2018年2月に執筆者が決定された。

WGⅢの今後の予定を以下に述べる。まず、執筆者会合については、2019年4月に第1回が開催予定で、その後、第4回まで開催される予定である。2019年12月から2020年1月にかけて第1次報告書案 (FOD) の専門家レビューが、2020年6月から7月にかけて第2次報告書案 (SOD) の政府、専門家レビューが、2021年2月から3月にかけて最終報告書案 (FGD) の政府レビューが行われる予定である。そして、2021年7月にIPCC総会において報告書の受理、採択、承認される予定である。

また、WGⅠの報告書については2021年4月のIPCC総会で、WGⅡの報告書については2021年10月のIPCC総会で承認される予定である。統合報告書については2022年にIPCC総会で承認される予定である。なお、AR6サイクルの中では、ARの他に、2018年～2019年にかけて3つの特別報告書、温室効果ガスのインベントリーの手法に関する報告書が取りまとめられる予定である。

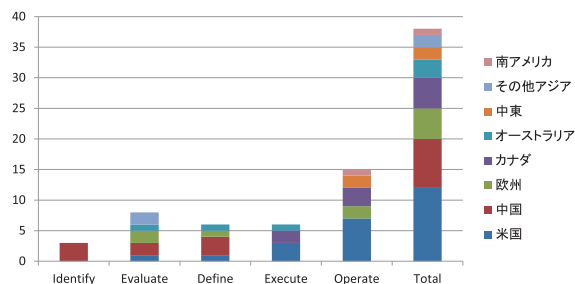
2. CCSの導入の現状

2.1. 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2017」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 (図5参照)。

2.2. 船舶によるCO₂輸送

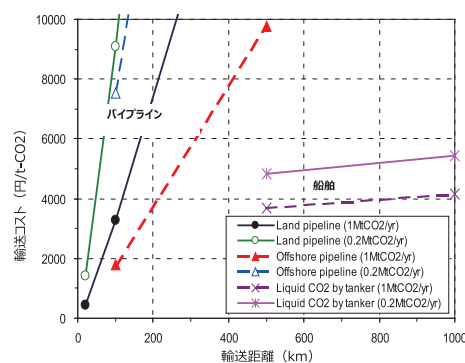
現在運転中の大規模CCSプロジェクトのCO₂輸送はほとんどがパイプラインとなっている。しかしながら、貯留地点とCO₂発生源との地理的關係によっては、船によるCO₂輸送を選択することもあると考えられる。日本においては、貯留可能量は海域に多く存在している。また、CO₂の大規模発生源は全国の沿岸域に存在していることから、CO₂の船輸送も選択肢となり得る。図6に、CO₂/パイプラインと液化CO₂船による輸送 (100万t-CO₂/年) のコスト比較を示す。パ



出典: The global Status of CCS 2017 VOLUME 2

図5 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

イプライン輸送は短距離であればコストは抑えられるが、距離が増加するにつれコストが高くなる。長距離輸送では、船舶輸送がコスト効果的だが、液化設備・動力等で全体的にコスト高となる。ただし、CO₂輸送コストは、単純に輸送距離のみの問題ではなく、社会受容性、土地制約、経路 (都市、河川、水深、漁場等) などの多くの要因が関連する。



※輸送 = 昇圧/液化 + 輸送 (パイプライン/船輸送)
 ※船輸送: タンカー15,000 t (100万 t CO₂/時) + 貯蔵出荷設備・受け入れ貯蔵設備
 ※コストベース: 2001年
 出典: CCSワークショップ2007 (RITE)

図6 CCSの輸送コスト比較

ノルウェーでは、セメント工場、アンモニアプラント、廃棄物焼却場からのCO₂回収、輸送、貯留を行うフルスケールのCCSプロジェクトに関して、現在FS調査が行われている。3か所の回収プラントから回収したCO₂を一か所の中間ストレージへ集め、そこから船で貯留地点まで輸送する計画となっている。各地点の配置状況を図7に示す。本プロジェクトにおいてCO₂船舶輸送を選択した理由は、排出源から貯留地点近傍

までの輸送距離が800km程度あり、パイプライン輸送では費用がかかりすぎること、導入初期においては船舶輸送が柔軟で価値あるソリューションであると評価されたことである。船舶輸送の方式については、圧力、温度の違いにより、低圧方式(6~8bar、-50℃)、中圧方式(15bar、-25℃)、高圧方式(45bar、+10℃)の3つが検討されている。どの方式も可能性があるが、中圧方式が技術の成熟度が高い。また、低圧、中圧の場合は圧入に向けて圧力と温度を高めるためのエネルギーが必要になるが、高圧の場合は温度を高める必要はない。FS調査は、2016年から2017年に実施され、2018年から基本設計 (FEED:Front End Engineering and Design) が実施される予定である。



出典: Feasibility study for full-scale CCS in Norway

図7 ノルウェーにおけるfull-scale CCSプロジェクト (CO₂排出源と貯留地点)

3. CCSのISO化の動向

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国内審議委員会と関連ワーキンググループを設置して対応している。

各WGの活動状況および進捗状況を表1に示す。各WGにおいては、国際規格 (IS)、技術報告書 (TR) 等の策定作業を行っている。

WG1では、回収技術の技術報告書 (TR27912) が2016年5月に出版された。現在、発電分野燃焼後回収技術の性能評価手法に関する国際規格 (ISO27919-1) の開発に着手し、現在最終国際規格案 (FDIS) の段階となっている。また、発電分野燃焼後回収技術の性能確保・維持の評価手続きに関する国際規格 (ISO27919-2) の開発に着手し、現在作業原案 (WD) を作成中である。

WG	標準化の内容	出版目標	出版済み
WG1 (回収)	<ul style="list-style-type: none"> IS (発電分野・燃焼後回収技術性能評価)のFDIS投票準備中。ISO/FDIS27919-1 IS (発電分野・燃焼後回収技術性能維持評価)のWD開発中。ISO/WD27919-2 セメント分野の回収技術のTR開発準備中。 	IS27919-1: 2018 IS27919-2: 2020	ISO/TR 27912(回収技術): 2016
WG2 (輸送)	<ul style="list-style-type: none"> パイプライン流量保障、その他課題解決のためのTR開発の準備中。 今後船舶輸送に関する検討を開始する。 	-	ISO 27913(パイプライン輸送): 2016
WG3 (貯留)	<ul style="list-style-type: none"> 圧入オペレーションと圧入設備及び海域貯留のTR開発準備中。 	-	ISO 27914(貯留): 2017
WG4 (Q&V)	<ul style="list-style-type: none"> IS (定量化と検証分野)のWD開発中。ISO/WD27920 	IS:2019	ISO/TR 27915(Q&V): 2017
WG5 (クロスカッティング)	<ul style="list-style-type: none"> Lifecycle risk managementに関する出版準備中。ISO/TR 27918 Lifecycle risk managementのTS開発準備中。 TR (CO₂ stream composition)のWD開発中。ISO/TR27918 	TR:2019	ISO 27917(ボキャブ): 2017
WG6 (CO ₂ -EOR)	<ul style="list-style-type: none"> IS (CO₂-EOR)のDIS投票中。ISO/CD27916 	IS:2018	

表1 各WGの最新の活動状況

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。現在、パイプライン輸送におけるフローアシュアランスを含めた課題解決のための技術報告書作成の準備にとりかかるとともに、船舶輸送に関する国際規格について策定するか議論されている。

WG3では、陸域、海域の貯留を対象にした地中貯留に関する国際規格 (ISO27914) が2017年10月に出版された。2018年より、圧入オペレーション・圧入設備に関する技術報告書の開発に着手する。2020年完成を目途としている。

WG4では、定量化と検証分野の情報を集めた技術報告書 (TR27915) が2017年8月に出版された。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、2017年4月に作業原案 (WD) を作成した。2018年2月の委員会原案 (CD) 完成を目指している。

WG5では、CCSのクロスカッティング用語に関する国際規格 (ISO27917) について、2017年9月に最終国際規格原案 (FDIS) が承認され、12月に出版された。ライフサイクルリスクマネジメントに関する技術報告書 (TR27918) が2016年11月に承認され、現在出版準備中である。また、CO₂流の組成に関する技術報告書 (TR27921) の開発に着手し、現在作業原案 (WD) を作成中である。

WG6では、CO₂-EORに関する国際規格 (ISO27916) が開発中である。現在国際規格原案 (DIS) の段階となっている。

以上の通り、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. 長期的な視野で大幅なCO₂の排出削減を担う対策技術の動向

RITEにおいては、長期的な視野で大幅なCO₂の排出削減を担う対策技術を抽出し、その概要、CO₂削減ポテンシャル、導入の課題について調査した。図8に抽出した技術の一覧を示す。その中から主な技術について、概要を以下に述べる。

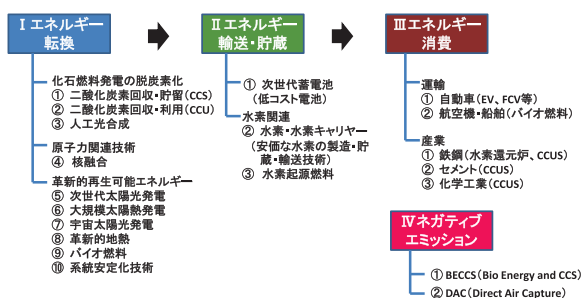


図8 長期的な視野で大幅なCO₂の排出削減を担う対策技術

二酸化炭素回収・貯留 (CCS)

二酸化炭素回収・貯留 (CCS) は、大規模発生源から大気中へ排出されるCO₂を分離・回収し、輸送、貯留する技術である。CCS付きの化石燃料発電はIPCCのAR5でも重要な技術と位置付けられ⁷⁾、再生可能エネルギーの大量導入時のグリッド調整電源としても重要である。CO₂削減ポテンシャルについて、世界全体での貯留可能量は少なくとも2兆トンと試算されており、世界の総排出量の約100年分に相当する¹⁾。導入の課題としては、コスト低減、貯留ポテンシャルおよび貯留性能の不確実性等による事業リスク、CCS事業の枠組みの整備、パブリックアクセプタンス等が挙げられる。

二酸化炭素回収・利用 (CCU)

二酸化炭素回収・利用 (CCU) は、大規模排出源の排ガス等からCO₂を分離・回収し、有効利用する技術である。現時点でも尿素製造やEORなどで実用化されている。2030年のCO₂削減ポテンシャルとしては、骨材製造において3~36億トン、燃料製造において7,000万~21億トン、コンクリート向けとして6~14億トンと推測されている²⁾。導入の課題としては、現状と同水準の製造コストを実現する量産技術や大量利用される有価物を高効率に合成できる革新的技術の開発が挙げられる。また、利用の過程で最終的にCO₂が排出される場合もあるため、削減可能なCO₂排出量のLCA評価が必要である。

核融合

核融合は、高温・高密度の核融合燃料を閉じ込めて核融合反応を引き起こし、発生した高速中性子のエネルギーを取り出して発電を行う技術である。核融合のCO₂削減ポテンシャルとしては、2100年の世界全体で発電部門の45%程度を占めるポテンシャルを持つと評価されている³⁾。今後、技術確立のためには、炉構成機器の照射試験と原型炉における発電実証が必要である。また、材料照射試験やブランケット機器試験も重要な課題である。

宇宙太陽光発電

宇宙太陽光発電は、宇宙空間に巨大な太陽電池とマイクロ波送電アンテナを配置し、マイクロ波に変換して地球上に設置した受電アンテナへ送電、地上で電力に再変換し、エネルギー源として用いる技術である。天候や昼夜を問わない安定したゼロエミッション電源として期待できる。CO₂削減ポテンシャルは、静止軌道にいくつの宇宙太陽衛星を置くかで決まるので、相当のポテンシャルがあると考えられる。導入の課題としては、宇宙への輸送費の低減、長距離無線エネルギー伝送技術の実現、マイクロ波等の安全性の確保、送受電設備の設置場所の確保が挙げられる。

バイオ燃料

バイオ燃料は、植物等を変換して燃料化する技術である。燃料を使用した際にCO₂が発生するが、植物に含まれる炭素は大気中のCO₂を固定化したもので、CO₂排出量は実質ゼロ (カーボンニュートラル) と評価される。CO₂削減ポテンシャルとしては、AR5では、2050年の全一次エネルギーの35%、液体燃料の70%がバイオエネルギー由来となっている⁷⁾。ただし、日本では、現状利用可能なバイオマスを全て利用しても日本全体の約3%程度のCO₂排出量しかカバーできないと試算されている⁴⁾。導入の課題としては、天然貯存量 (供給量) の限界、他の土地利用との競合問題、植物栽培のための水源確保、人工肥料投入による亜酸化窒素 (N₂O) の発生可能性が挙げられる。

次世代電池

次世代蓄電池は、「金属-空気電池」、「リチウム硫黄電池」、「金属負極電池」等があるが、いずれも研究段階である。コストの目標として、自動車用のコストを約5千円/kWhなどとなっているが⁵⁾、コスト低減が大きな課題である。また、リチウムイオン電池の性能限界を超える高い性能を達成し得る可能性のある革

新電池の開発も導入の課題として挙げられる。

水素・水素キャリアー

現在検討されている水素キャリアーは、①液体水素、②有機ハイドライド、③アンモニアの3種がある。コストの目標としては、2020年までにガソリン等価で60円/m³、2030年までにLNG発電等価の水素発電向けで40円/m³となっている⁶⁾。導入の課題としては、コスト低減、国内水素インフラの整備、水素の用途分野の拡大、水素利用機器の開発、法規制整備などが挙げられる。

水素起源燃料

水素起源燃料は、既存エネルギー供給インフラ使用を前提とした、再生可能エネルギー由来の水素を用いた燃料を指す。具体的には、メタン、アンモニア、メタノール等である。製造までのコストは水素直接利用に比べ大きくなるが、輸送・供給コストは既存インフラが使用できる分、小さいと考えられる。バイオ発電から回収したCO₂などのカーボンニュートラルのCO₂を利用する場合には、ゼロエミッションに貢献するが、それ以外の場合には、削減可能なCO₂排出量のLCA評価をすることが必要である。

BECCS

BECCSは、Bio Energy with Carbon dioxide Capture & Storageの略で、バイオマス発電やバイオ燃料製造プロセスに二酸化炭素回収・貯留（CCS）を組み合わせた技術である。バイオマスは大気中のCO₂を取り込んでできているため、正味のネガティブ・エミッションをもたらすと考えられている。IPCCでは、2°Cシナリオの多くがBECCSなどのネガティブ・エミッション技術を世紀後半に導入している。世界のBECCSのCO₂削減ポテンシャルは、2050年時点で3~20GtCO₂/年の範囲と評価されている⁷⁾。導入の課題としては、土地の確保、食料との競合、生態系環境への影響、栄養素要求、水の使用量の増加による制限が挙げられる。また、CO₂の貯留に関する課題としては、CCSと同様に、技術、コスト、社会制度、社会受容問題等も課題として挙げられる。

DAC

DACは、Direct Air Capture of CO₂ from ambient airの略で、大気中からの化学反応等を利用してCO₂を回収し、地中等に貯留する技術である。大気中のCO₂を吸収することはバイオマスと同様だが、成長に水が必要なため降水量の小さな地域には適用で

きないバイオマスと異なり、DACの場合にはその制約は無い。CO₂削減ポテンシャルは不明だが、貯留を除いてもコストが\$400/tCO₂~\$1,000/tCO₂と非常に高く試算されている⁸⁾。導入の課題としては、高コストで生産性が低いこと、土地の確保、かなりのエネルギーが必要であることが挙げられる。CO₂の貯留に関する課題はCCSと同様である。

5. まとめ

IPCCのAR6サイクルが開始している。各WGのアウトラインが承認され、各国から報告書の執筆者候補が推薦され、2018年2月に執筆者が決定された。WGⅢについては、その後、執筆者会合が開催され、第1次報告書案（FOD）、第2次報告書案（SOD）及び最終報告書案（FGD）のレビューが行われ、2021年7月に報告書が取りまとめられる予定である。

CCSにおけるCO₂輸送について、貯留地点とCO₂発生源との地理的關係によっては、船によるCO₂輸送を選択することも選択肢の一つである。現在、ノルウェーにおいて、3か所の回収プラントから回収したCO₂を一か所の中間ストレージへ集め、そこから船で貯留地点まで輸送するプロジェクトの調査が行われている。


CCSのISO化についても、関連の国際規格、技術報告書の開発が進むなど、着実に進んでいる。

RITEにおいては、長期的な視野で大幅なCO₂の排出削減を担う対策技術を抽出し、その概要、CO₂削減ポテンシャル、導入の課題について調査した。

参考文献

- 1) IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005)
- 2) ICEF Roadmap 2016
- 3) RITEシステム研究グループ
- 4) NEDO 再生可能エネルギー技術白書（第二版）4章 2014
- 5) NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013
- 6) NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010
- 7) IPCC第5次評価報告書
- 8) National Research Council, The National Academies Press (2015)

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
副主席研究員	永田 敬博	研究員	有野 洋輔
主任研究員	和田 謙一	研究員	ショアイ・テラニ・ビアンカ
主任研究員	長島美由紀	研究員	魏 啓為
主任研究員	本間 隆嗣	研究員	王 楠
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	金星 春夫 (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、システムの思考、システムの分析を通して、地球温暖化やエネルギー対応に関する有用なる情報提供を国内外に行っている。最近の研究の中から3つのテーマを紹介する。1つ目は、GDPとCO₂排出量のデカップリングに関する分析、2つ目は、パリ協定国別貢献NDCsの排出削減努力の評価、3つ目は、温暖化適応策の経済性の評価である。国内外の政策動向を踏まえながら、気候変動に関する政策において重要と考えられるトピック等について、分析、評価を行うことで、より良い温暖化対策・政策立案に貢献してきている。

1. GDP成長とCO₂排出量増加のデカップリング

近年、先進国の一部では、GDPは上昇しているものの、CO₂排出量は減少している（GDP成長とCO₂排出量増加のデカップリング）。また、世界全体でもGDPは成長しているものの、CO₂排出量は近年ほぼ横ばいになっている。その要因について分析を行った。

1.1. 世界全体の動向

世界GDPとCO₂排出量の関係は基本的に強い正の相関が見られる。2013～15年にかけて排出量はほぼ横ばいだが、長期の傾向で見ると、むしろ2009～13年の間の排出の伸びが大きかったものが調整されてきているに過ぎないと見ることができる。長期の排出トレンドからすると、2014年および15年の排出量は、

その長期的トレンドに戻ってきたに過ぎないと考えるのが自然ではあるが、2000～15年の排出実績に限って線形回帰を行った結果を基準にとると、2015年の実績排出量は約11億トンCO₂少ない。この11億トンの削減の要因について分析、考察を行った。

RITEによる要因分析によれば、この内、鉄鉄とセメントの生産調整でそれぞれ約2.5億トンCO₂、約1.7億トンCO₂の削減効果分と推計され、これは主に中国の影響である。鉄やセメントのストック量等からして、中国では将来的にも再び大きく増大するようなことはない可能性が高い。しかし、インドなどの途上国においては、今後の増大が予想され、世界全体では生産増大のトレンドは続くと思われる。一方、米国のシェールガスの利用拡大による効果は約2.2億トンCO₂と推計される。シェールガスは、石炭等の他のエネルギーよりも安価なために急速に利用拡大したものであり、環境制約や環境政策によって利用拡大が起これ、CO₂

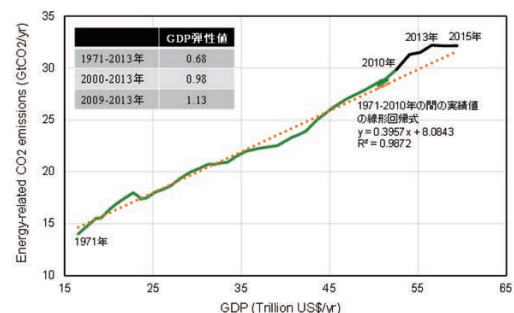


図1 世界のGDPとエネルギー起源CO₂排出量の関係

減少につながったものではない。これは明確なデカップリング効果である。再エネ拡大の効果もあるものの、これによる排出削減効果は1.6億トンCO₂程度と推計された。

1.2. 主要先進国の動向

英国等の欧州諸国では、GDPは上昇しているものの、CO₂排出量やエネルギー消費量は減少傾向にある。図2に英国における1995～2011年間の生産ベースおよび消費ベースのCO₂排出量を示す。生産ベースCO₂排出量は当該国で燃焼し排出が行われた排出量であり、通常報告される当該国の排出量に相当する。一方、消費ベースCO₂排出量は、製品等を輸出入した場合、それらを製造した際の排出量を加算もしくは減算し、当該国のCO₂排出量を算定したものである。生産ベースのCO₂排出量は大きく減少しているが、消費ベースのCO₂排出量はほとんど減少していないことがわかる。すなわち、エネルギー多消費の製造業からサービス産業への産業構造変化が進みGDPは増えるものの、国内でのCO₂排出は減少しているが、製品の形で引き続き購入することで、世界の他の国で排出がなされ、世界全体では削減に寄与していないということである。なお、英国では白熱灯から蛍光灯、LEDなどへの転換や高効率ガス機器の普及によってエネルギー消費量の低減が進みデカップリングに寄与している部分は見られるが、全体の傾向を説明できるほど大きなものではない。また、別途の研究によれば、英国のGDP成長の一つの大きな要因は、高レベルスキルの移民労働者によるものとの研究がある。

なお、イタリアでは、英国と同様に電力消費量の減少が見られるが、GDPの減少も起こっており、カップリングしている状況にある。

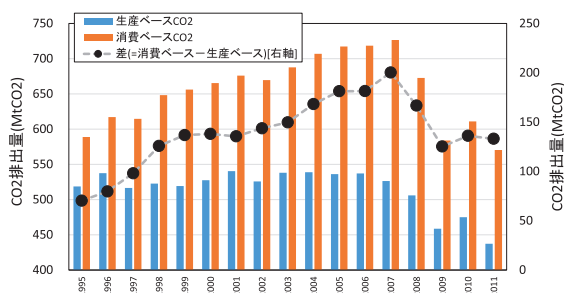


図2 英国の生産ベースCO₂、消費ベースCO₂排出量 (OECD (2015) より作成)

1.3. 日本の動向

日本はこれまで製造業を比較的大きな比率で維持してきた。その中で、経済成長率も大きくはないものの、CO₂排出量もほぼ横ばいとなっており、大きなデカップリングの傾向は見られていない。ただし、東日本大震災後の電力料金上昇の中で電力消費量の低下が見られる(図3)。行動変容による節電の進展、LED照明等の省エネ機器の普及等による部分もあるが、製造業の停滞の要因もあると考えられ、引き続き動向とその要因の分析を進めることが重要である。英国で見られたように、サービス産業への産業転換がEUの傘の下で実現したようなことが、日本で当てはまらないと考えられ、適切な対応をしていくことが必要である。

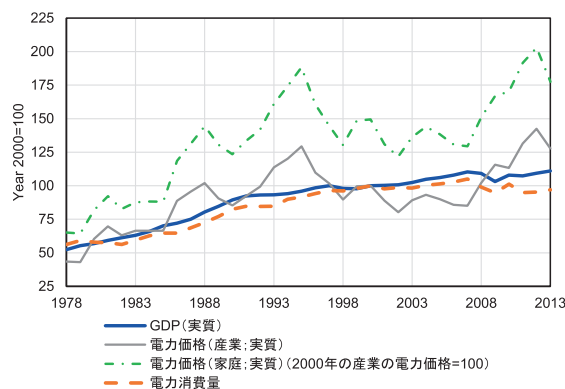


図3 日本におけるGDP、電力料金と電力消費量の推移

1.4. デカップリングのまとめ

持続的な温暖化対策のためには、GDPとCO₂排出量のデカップリングが重要である。シェールガス革命のように安価かつ低炭素なエネルギー供給を実現し、デカップリングに大きく寄与した事例もある。また、LED照明もコストが急激に低下し、コスト負担がほとんどなく省エネを実現し、デカップリングに寄与してきている。しかし、最近の世界のトレンドの最も大きな要因は、中国における素材産業の生産調整による考えられ、大きなトレンドとしてはGDPとCO₂排出量のカップリングは続いていると考える方が妥当である。また、一部の国に見られるデカップリングは、産業構造の変化によるところが大きく、消費構造の変化によるものではない。よって、世界の別の国にCO₂排出量が移転しているところが大きい。グローバルでの対策が重要であるし、GDPとCO₂排出量のデカップリングをもたらし得る技術の革新またそれによって誘発され得る社会の革新が必要である。

2. パリ協定NDCsの排出削減費用の評価

2.1. はじめに

2015年12月にパリで開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) 第21回締約国会議 (COP21) において、2020年以降の気候変動対策の新たな国際枠組となるパリ協定が合意され、2016年11月に発効した。パリ協定は、各国が自主的に目標を宣誓し、それを国際的にレビューする枠組となっており、日本を含め各国は、約束草案として自国の排出削減目標をCOP21に前後して宣誓・提出した (パリ協定合意後はNationally Determined Contributions (NDCs) とされている)。

今後、2℃目標等の長期目標との整合性を確認しつつ (グローバルストックテイク)、NDCsの実効性を高めるために、各国の排出削減目標の「排出削減努力」を適切に評価して各国にフィードバックすることを通し、その努力の差異が是正されるような枠組を構築することが重要であると考えられる。ここでは、排出削減費用をその努力の指標の1つとして取り上げ、システム研究グループが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、各国のNDCsの排出削減費用について評価を行った。

2.2. 世界主要国のNDCsの排出削減費用

図4に世界主要国のNDCsのCO₂限界削減費用の推計結果を示す。スイス、日本、EU28は200\$/tCO₂を超える水準にあると評価されている一方、中国やインド等では0\$/tCO₂と評価されており、NDCsのCO₂限界削減費用は国によって大きな差異があると推計されている。この時の世界全体の排出削減費用はGDP比で0.38%程度と見込まれている。一方、各国のNDCsによって得られると見込まれる世界全体の排出削減量を、世界全体で最も費用効率的に達成した場合 (各国のCO₂限界削減費用が均等化する排出削減分担となる)、CO₂限界削減費用は6\$/tCO₂、GDP比排出削減費用は0.06%と推計された。

このように、各国がNDCsを達成した場合の世界全体の排出削減費用0.38%は、世界全体で最も費用効率的となる排出削減分担の下での0.06%に対して6.5倍程度と相当大きな費用になると推計されている。これは、NDCsにおいては、エネルギー効率の高い技術の導入が進んでいる日本等の先進国を中心により大きな排出削減を進め、安価な排出削減対策が豊富に存在する新興国や途上国での排出削減は相対的に小さく

なっていることに起因する。

図4のようにCO₂限界削減費用が国によって大きく異なる状況は、いわゆる炭素リーケージを引き起こす要因となり、世界全体での排出削減の実効性が低下する危険性が懸念される。ただし、現実には世界全体でCO₂限界削減費用が均等化するような排出削減分担とすることは非常に困難であるし、例えばGDP比排出削減費用 (各国の経済力に応じた負担) といった指標を考慮すれば、CO₂限界削減費用の均等化が必ずしも公平・衡平であるわけでもない。今後取り得る対応として、CO₂限界削減費用が低いとみられるNDCsを提出している国には、更なる排出削減の深堀を促していくことが重要と考えられる。

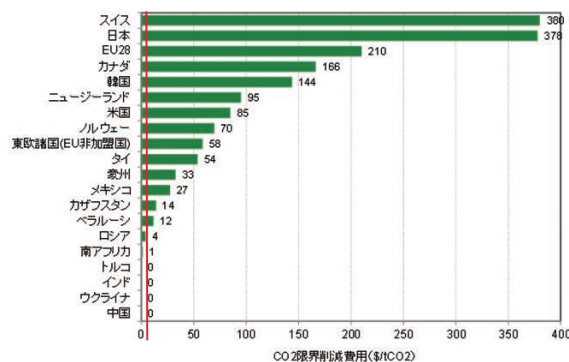


図4 世界主要国のNDCsのCO₂限界削減費用

2.3. 日米欧における政策や国情を踏まえたNDCsの排出削減費用

現実には、各種政策を用いてNDCsの達成が図られることとなるが、気候変動緩和に関して費用効率的な対策ばかりがとられるとは限らず、非効率な対策もあり得る。また、気候変動緩和のみを考慮して意思決定がなされることはなく、政治的、社会的な制約を鑑みたと上で排出削減を行うこととなる。本節では、日米欧について、政策や国情を踏まえたケース (表1) を想定し、その想定が排出削減費用に及ぼす影響の分析を行った。

米国については、費用最小化の下でNDCを達成するケースと、行政、立法等のシステム上、連邦レベルで新規の温暖化対策の法律制定が困難なことを鑑み、発電部門での排出削減はCPP規制で見込まれる以上に進まず、その他の部門で排出削減を進めてNDCを達成するケースの分析を行った。図5に示すように、費用最小化のケースでは、CO₂限界削減費用は76~94\$/tCO₂程度と推計されるが、このケースでは発電部門での対策 (石炭火力からガス火力への転換や風力発電の拡大等) が大幅に取られており、発電部門での

表1 想定した分析ケース

		想定
米国	I-a	費用最小化の下で2005年比▲26%
	I-b	費用最小化の下で2005年比▲28%
	I-c	発電部門での排出削減はEPAによるCPPの評価に留まるとした上で2005年比▲26%
	I-d	発電部門での排出削減はEPAによるCPPの評価に留まるとした上で2005年比▲28%
EU28	II-a	費用最小化の下で1990年比▲40%
	II-b	英国は1990年比▲40%、英国以外の27か国も1990年比▲40%
	II-c	ETS対象部門と非ETS対象部門を区別して1990年比▲40%
日本	III-a	費用最小化の下で2013年比▲26%。但し、原子力発電の比率は最大20%
	III-b	費用最小化の下で2013年比▲26%。但し、原子力発電の比率は最大15%
	III-c	電源構成をNDCにあわせた(原子力20%等)上で2013年比▲26%
	III-d	原子力発電を15%、再エネを29%とし、残りの火力の比率をNDCにあわせた上で2013年比▲26%

対策がCPP規制以上に進まないとしたケースでは、費用最小化のケース以上に発電以外の部門での排出削減が必要となり、CO₂限界削減費用は333~421\$/tCO₂と大幅に上昇すると推計された。

EU28については、費用最小化の下でNDCを達成するケースと、ブレグジットを考慮したケース(英国以外の27か国で1990年比40%を達成するケース)、ETS対象部門と非ETS対象部門を区別したケースの分析を行った。費用最小化のケースではCO₂限界削減費用は210\$/tCO₂と評価される一方、ブレグジットを考慮したケースにおいては英国以外の27か国のCO₂限界削減費用は230\$/tCO₂程度に上昇する(この時、英国のCO₂限界削減費用は40\$/tCO₂程度)と評価された。これは、英国を含めてEU28全体で40%削減を図る場合は、英国で40%以上の削減を進めることが費用効率的であるが、英国が40%の削減に留まると、英国以外の国の費用が上昇することを意味する。ETS対象と非対象を区別したケースは、ETS対象部門では提示されている排出割り当て以上の削減が進まない想定したケースであるが、ETS対象部門のCO₂限界削減費用は70\$/tCO₂と評価される一方、ETS非対象部門のCO₂限界削減費用は480\$/tCO₂と推計された。なお、ETS非対象部門のCO₂限界削減費用は均等化すると想定したが、実際には各国の政策に依る所となるため、費用は更に増大する可能性がある。分析からは、EU全体で40%削減を費用効率的に進めるという視点では、ETS対象部門の排出枠は過剰であると言える。

日本については、原子力発電に上限を想定しつつ費用最小化の下でNDCを達成するケースと、NDCにおける電源構成に準拠するケース(原子力発電の上限を

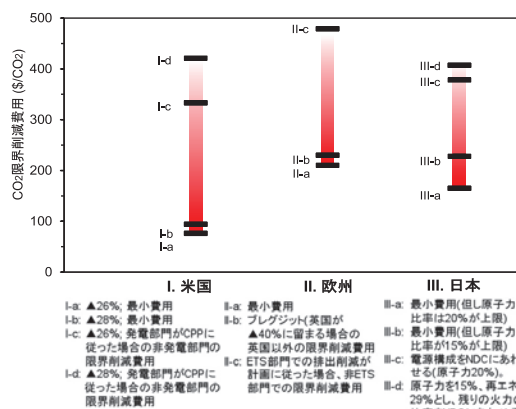


図5 日米欧のNDCsのCO₂限界削減費用

15%とするIII-dケースでは、非化石電源で44%の比率を想定)について分析を行った。原子力発電の上限を20%とした上での費用最小化の場合、CO₂限界削減費用は165\$/tCO₂と推計された。原子力発電の再稼働が順調に進展せず、NDCにおける電源構成(原子力発電の比率は20~22%)の水準とすることは容易ではないと想定したIII-bケース(原子力発電の上限を15%と想定)では、CO₂限界削減費用は230\$/tCO₂程度にまで上昇する。原子力発電の再稼働の進展によって、NDC達成のための排出削減費用は大きく影響を受けると言える。S+3Eの観点から決定されたNDCにおける電源構成比率にあわせた上で排出削減を行う場合、CO₂限界削減費用は380\$/tCO₂を超える水準になると推計された。現実の世界はCO₂排出削減のみを考えて動いているわけではなく、多目的性がある中でバランスがとれた対応をとることが重要である。こうした状況を踏まえると、CO₂排出削減のみを単一目的とした費用最小化の下での排出削減費用に比べ、その費用は高いものとなり得る。

2.4. NDCs評価のまとめ

世界主要国のNDCsの排出削減費用の比較を行うと共に、日米欧について、関連する政策や国情が排出削減費用に及ぼす影響の分析を行った。CO₂排出削減以外にも様々な目的を有する現実社会では、費用最小化の下での排出削減費用に比べてより高い費用が必要となり得る。高い排出削減費用により経済を悪化させ、様々なリスクが大きくなる可能性も懸念される。国際的に調和した実効性のある排出削減対策を取りながら、こうしたリスクを十分に理解した上で、排出削減費用の大幅な増大を避けた、柔軟且つ持続的な対応をとることが重要である。

3. 温暖化適応策の経済影響・経済効果の評価

3.1. はじめに

温暖化対応のリスク管理として、気候変動緩和費用と適応費用、気候変動残余影響について定量的かつ総合的な把握が重要である。本研究では、これまで十分に評価されていなかった、温暖化適応策の経済影響・経済効果に関する分析を実施した。主に、適応策の経済影響（温暖化による影響被害を軽減させる効果の他に、適応策投資による経済効果）について評価することが目的である。適応策の効果は局所的かつ短期的であるため、(何も対策をとらない場合に)温暖化被害が確実に増加することが認知されていれば、被害軽減のための適応策投資は効用を高めると期待され、合理的な経済活動とみなされる。

本研究では、2100年までの期間の影響被害・適応策評価が可能な動的モデルを新たに開発し分析した。分析の第一段階として、海岸部門の適応策に焦点を当てた。海岸部門の適応策による温暖化影響被害の軽減に加え、適応策として資本ストックへの投資による波及効果についても、産業間の定量的関係を明示的に表示した産業連関構造を考慮し、適応策に関する定量的な評価を行い、気候変動戦略における適応策の有効性について分析した。また、気候感度に関する感度分析として、気候感度が高いシナリオについて、影響・適応費用の分析を行った。最後に、リスク管理の観点から、緩和評価と本研究から得られた影響・適応評価を合わせた対応戦略について考察した。

3.2. 分析の枠組み

温暖化影響被害とその影響を低減する適応策の導入による経済影響を評価するために、トップダウン型経済モデルを新たに開発した(図6)。モデルは、世界全体の割引後消費効用を最大化する、動的非線形最適化モデルとして定式化した(割引率は年3%想定)。モデルの評価対象期間は、基準年を2011年とし、代表時点を2030、2050、2075、2100年として最適化計算を行う。世界全体を12地域(日本、北米、EU、中国、インド、サブサハラアフリカなど)に分割し、また産業を10産業(農業、素材産業、社会サービス産業など)に分類して評価した。モデルでは、全球平均気温・全球平均海面上昇に対して、温暖化被害・適応策の経済影響が分析可能である。現バージョンでは、緩和策の影響を考慮していない。

ここでは、温暖化影響被害を、海岸部門とその他部

門に分類した。その他部門の温暖化影響被害については、フローであるGDPへの被害を、全球平均気温の二次関数を想定し定式化した。その他部門における適応策は現段階では考慮していない。

海岸部門の影響被害と適応策は文献¹⁾に基づき想定した。影響被害に関して、沿岸域の氾濫による資本ストックへの被害を想定した。適応策として、沿岸域の氾濫に対して防護する沿岸堤防を想定した。沿岸堤防は、ストック(金額ベース)として明示的に扱い、その投資費用は、導入量の二次関数を想定した。なお、温暖化影響がないと想定した場合においても、経済発展によりある程度の堤防建設が増強されると想定した。

このようなモデル化により、地域別・産業部門別に、フローの投資の効果や資本ストックへの影響などを明示的に考慮し、温暖化影響によりストックが棄損した場合には、単年ではなく複数年にわたって影響が及び効果等を含めて精緻に分析することが可能である。

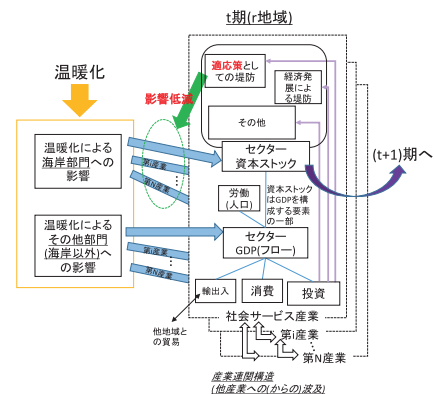


図6 温暖化被害・適応策と開発した経済モデルの関係

3.3. 分析結果

2100年・平衡気候感度(C.S.) 3.0°C・RCP²⁾ 8.5(2100年の全球平均気温上昇は約4.2°Cを想定)において、適応策が無い場合には世界全体でGDPロス5.6%(気候変動無ケース比)であるが、適応策によって3.1%まで低減されると推計された(図7)。この時、適応策として沿岸堤防に必要な追加的建設投資額は2100年でGDP比約0.02%と推計された。沿岸堤防の投資増加およびその波及効果による経済効果はGDPに占める割合が小さいが、沿岸堤防建設による温暖化被害の低減の効果が非常に大きいことが示された。

温暖化被害影響・適応策の費用だけではなく、緩和費用も含めて対応戦略を議論するために、図8には、

適応の有無および気候感度の差異による、世界全体の影響・適応費用および緩和費用を示した。本研究では緩和策については分析していないので、緩和費用としてIPCC-AR5-WGIIIのデータ（複数のモデル分析結果の中央値）を用いた。ただし、この緩和費用推計は基本的に世界全体での費用最小化（限界削減費用を世界で均等化した理想的な状況）を前提に推計されたものである点に留意が必要である。

気候感度3.0℃の場合、影響・適応策の費用について、精度の課題やティッピングエレメントの未考慮などいくつかの不確実性があるが、本分析では、適応有の場合は、RCP8.5が最も費用が小さく、また、適応無の場合にはRCP4.5（2100年に全球平均気温上昇が約2.3℃）が最も小さいと推計された。本研究の範囲では、緩和および影響・適応の費用を含め総合的に考慮すると、最も厳しい緩和策シナリオであるRCP2.6（2100年に約1.6℃上昇）は、必ずしも費用効率的とは言えないことが示唆された。

また、気候感度が0.5℃高い3.5℃想定とした場合でも、適応策によってかなりの影響被害を抑制できる可能性があることが示された。RCPシナリオ間の結果の傾向は、気候感度が3.0℃の場合と同じ傾向を示した。

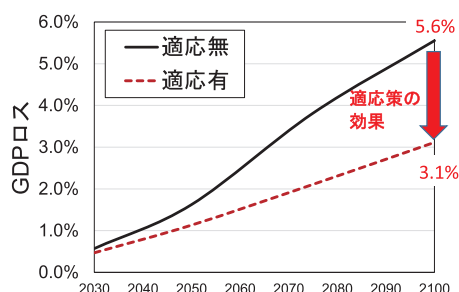


図7 世界GDPロスの変化

注：気候感度3.0℃のRCP8.5シナリオの場合であり、2100年の全球平均気温上昇は約4.2℃を想定した。

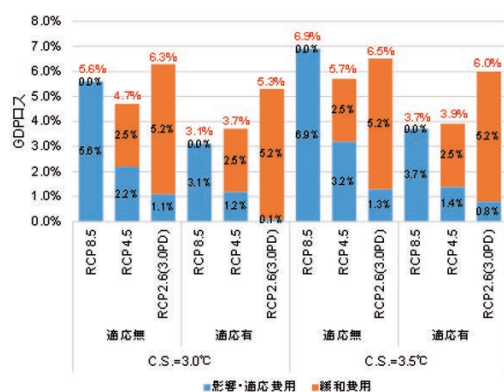


図8 世界全体の温暖化影響被害・適応費用および緩和費用（適応の有無および気候感度の差異）

注：PD: Peak and Decline

3.4. おわりに

本研究では、温暖化影響・適応策に関する評価モデルを開発し、気候感度とRCPシナリオに対する温暖化影響被害および適応策の費用を分析し、適応策の有効性を示した。また、緩和策との費用との比較や、気候感度が高い場合の適応策の有効性を評価した。

同じ気候感度レベルの中で全球平均気温上昇が最も高位に推移するRCP8.5では、適応策が導入されない場合には、影響被害は時点とともに拡大する。しかし、このケースにおいて海岸部門に最適な適応策が導入された場合には、適応策として追加的に必要な費用はGDPに対して非常に小さく、いずれの地域でも適応策の導入が進み、被害額は大きく低減される。このように、温暖化適応策は温暖化影響被害を低減する可能性は大きいと示唆される。温暖化影響被害・適応費用の推計には精度の問題などいくつかの課題はあるものの、本研究のように適応策の導入により温暖化被害をかなり抑制できるならば、2℃目標のような大きな緩和策費用を要する厳しい排出削減ケースが影響被害を含めた総費用を最小化するかは議論の余地がある。ただし、本研究は2100年までの評価であり、2100年以降も海面上昇は時間遅れをもって上昇する可能性が高く、その影響については考慮していないことには留意が必要である。

また、温暖化適応策は、0.5℃程度の気候感度が高い場合に対しても有効な対応として期待できることが示唆された。気候感度が高い場合には影響被害はやや増加するが、気候感度が3.0℃の場合と比べ、RCPシナリオ間の経済影響の傾向は基本的には変わらない。少なくとも0.5℃程度の気温目標水準や気候感度の違いなどであれば、温暖化リスクを大きく低減できる可能性がある。そのため、気候感度の不確実性の問題がある中で、厳格に2℃目標などを目指すような戦略よりむしろ、温暖化対策に要する費用や被害額を考慮しながら、おおよそとしての気温目標水準を意識した緩和策をとり、その上で適切な適応策を組み合わせることで、気候変動のリスク管理として重要であると考えられる。

参考文献

1) J. Hinkel et al.; Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise, PNAS Vol.111, No.9, pp.3292-3297 (2014)

注1) RCP: Representative Concentration Pathways

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
副主席研究員
副主席研究員
副主席研究員
主任研究員
主任研究員
主任研究員
主任研究員
主任研究員
主任研究員

佐々木朱実
稲富 健一
寺本 陽彦
平賀 和三
田中 裕也
須田 雅子
北出 幸広
豊田 晃一
加藤 直人
長谷川 智

主任研究員 渡邊 彰
主任研究員 小暮 高久
主任研究員 小杉 浩史
主任研究員 久保田 健
研究員 生出 伸一
研究員 橋本 龍馬
研究員 清水 哲
研究員 橋詰 正義
研究員 原 知明

低炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発

1. はじめに

生物機能を利用したバイオテクノロジーは、医療や農業、工業などの分野に幅広く貢献している。近年、この技術を利用する産業と循環型社会を融合させた市場である「バイオエコノミー」の概念が提唱され、欧米を中心に総合的なバイオ戦略として注目を集めている（図1）。当グループでは、このバイオエコノミーの中核技術であるバイオリファイナリー技術、即ち再生可能資源（バイオマス）を原料としてバイオ燃料やグリーン化学品を製造する技術の開発を進めている。本項では、まずバイオ燃料やグリーン化学品生産について、世界の概況を紹介する。

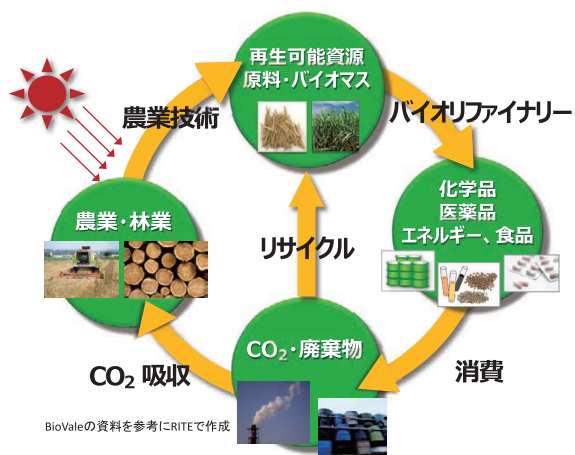
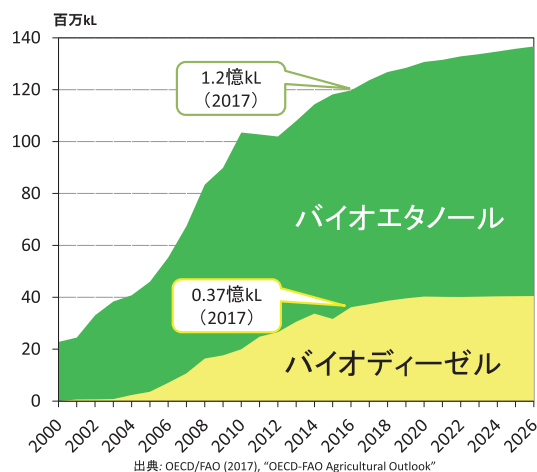


図1 バイオエコノミーのコンセプト

バイオ燃料

バイオ燃料の代表であるバイオエタノールは、米国ではトウモロコシ、ブラジルではサトウキビを原料として生産され、ガソリンに10～25%混合されて自動車用燃料として供給されている。最大の生産・消費国である米国では、2017年もトウモロコシは豊作であり、2016年を僅かに超える150億ガロン（5,700万kL）のバイオエタノールが生産された。OECD-FAOの「Agricultural Outlook 2017-2026」によれば、2017年は1.2億kLのバイオエタノールが世界で生産され、その約半分の生産を米国が占めた。

バイオディーゼルは、欧州では主に菜種、米国では大豆を原料として生産されており、2017年のバイオ



出典: OECD/FAO (2017), "OECD-FAO Agricultural Outlook"

図2 世界バイオ燃料生産の見通し

ディーゼル生産量は0.37億kLと予測されている（図2）。最大の消費地は、ディーゼル自動車の割合が多いフランスやドイツなどの欧州である。

2017年、英国やフランスから2040年までにガソリン車・ディーゼル車の販売を終了するというニュースが流れ、世界に衝撃を与えた。欧州では、パリ協定を踏まえた低炭素化長期目標に沿った措置としており、将来的に欧州を中心に従来の自動車用ガソリン／ディーゼルエンジンは減少する方向と予測される。一方、航空機や大型船舶は自動車と異なり電動化が困難であるため、今後も液体燃料への依存は変わらないとみられる。従って現状では、運輸部門からのCO₂を削減するためにも、バイオ燃料については引き続き需要が発生し続けると予想されている（図2）。

原料が食料資源と競合しない第2世代バイオ燃料であるセルロースエタノールは、トウモロコシ等の農業残渣を原料として生産されることから、CO₂排出削減への大きな期待が寄せられてきた。しかし、2017年は欧州で稼働していた10万kLレベルの大規模プラントの操業停止が伝えられ、その原因は、維持費や製造コストと言われている。現在、米国とブラジルの2か国で大規模セルロースエタノールプラントが稼働中である（各社website）。

航空機からのCO₂削減の切り札であるバイオジェット燃料は、年々普及が進んでおり、海外では調理用廃油などを利用したバイオジェット燃料による商業飛行が継続されている。我が国でも、2017年4月に微細藻類および木質バイオマスを原料とした2件の技術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）に採択された。共に2030年の実用化を目指した一貫プロセス（パイロットスケール）でのバイオジェット燃料生産が検証される予定である。

グリーン化学品

バイオ素材やバイオポリマー等のグリーン化学品の生産は、化石資源からバイオマスへの原料転換やCO₂の削減に有効である。さらに循環型社会の実現や持続的なモノづくりに貢献する重要な素材として期待が高い。欧州バイオプラスチック協会によると、2017年のバイオプラスチックの世界生産量は440万トン、2021年は611万トンの予測である。従来予想よりも市場拡大の速度が遅くなっているのは、製造コストな

どの経済性が原因と考えられる。しかし、自動車部品や携帯電話の筐体、衣料品などにバイオプラスチックやバイオ繊維を採用するユーザー企業は増えており、今後も市場拡大が予想されている。国内でも、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テレフタレート（PET）の消費が増えており、今後は、モノマーの種類拡大やバイオ生産性の向上に、後述するスマートセル技術の応用が期待されている。

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、バイオ燃料やアミノ酸、芳香族化合物を始めとしたグリーン化学品を、高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。

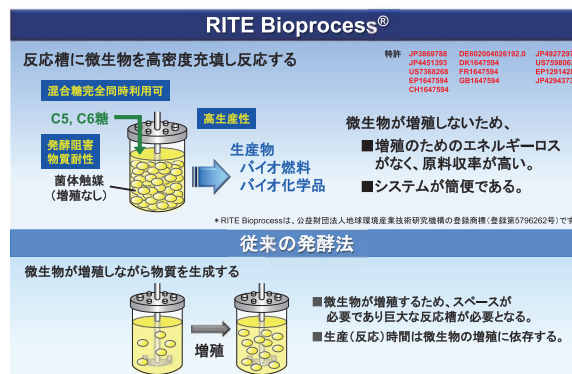


図3 RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）の特徴

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

が高い（詳細はRITE Today 2013～2017参照）。

現在、エタノール、L-乳酸、D-乳酸、アミノ酸等の高効率生産に加えて、ブタノールやジェット燃料素材、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エネルギー密度が高く、蒸気圧が低く、水と混和しにくいという優れた特性を有している。さらにブタノールを出発原料として化学変換によってジェット燃料を製造することができる。即ち、植物由来のバイオブタノールから製造したバイオジェット燃料で航空機を飛ばすことができる。航空機からのCO₂排出削減にはこれが必須と認識され、業界団体の動きが加速している。ブタノールを原料としたジェット燃料は、Alcohol to Jetを略してATJ燃料と呼ばれ、2016年に米国材料試験協会（ASTM）の規格をクリアしたことから、商業フライトへの利用が可能となった（<http://www.gevo.com/>）。

こうした動きに先駆け、当グループでは、RITEバイオプロセスを利用した高効率バイオブタノール生産プロセスの開発を進めている。2015年度からは、経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」を推進中である（RITE Today 2016トピックス参照）。我々の生産技術の特徴は、原料としてセルロース系バイオマスを利用可能で、且つ高速・高収率生産が可能点にある（図4）。

しかし、ブタノールは細胞毒性が強い問題がある。そこで、本事業では高度な育種技術により、RITEバイオプロセスの高い生産性を更に引き上げると共に、米国立再生可能エネルギー研究所（NREL）と連携し、

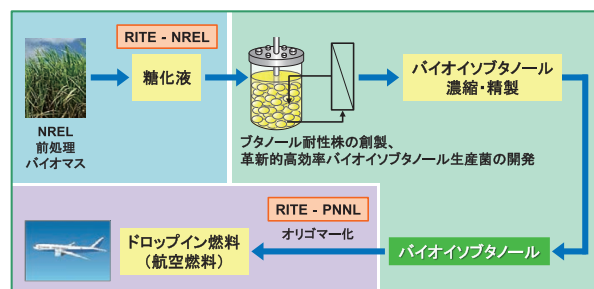


図4 RITEバイオプロセスによるバイオブタノールおよびジェット燃料生産

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。

更に、2017年からは米パシフィック・ノースウエスト国立研究所（PNNL）と連携し、ブタノール等を化学的にオリゴマー化してジェット燃料などのdrop-in燃料に変換する技術開発を進めている。

ブタノール生産においては、世界最高レベルの高生産性を達成しており、生産菌のブタノール耐性の向上、生産菌の代謝経路の最適化、および省エネルギー型ブタノール回収技術の開発、などの個別要素技術開発を進め、更にバイオブタノールの高速・高収率な生産を目指している。

3.2. グリーンジェット燃料

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、安全性のために析出点や引火点などの物理的性質が厳格に規格化されている。

現在ASTMの認証によって商用利用が可能となっているバイオジェット燃料は、いずれも必須な成分の不足などによって単独では使用できず、石油系ジェット燃料と混合する必要がある、いずれも混合比率は最大でも50%までとなっている。

航空機からのCO₂排出量削減対策として、国際民間航空機関（ICAO）は2020年以降、航空機からのCO₂排出量を増やさないという目標を立て、国際航空運送協会（IATA）は2050年時のCO₂排出量を2005年時の50%まで削減するという目標を立てている。これらの目標を達成するには2050年時において、ジェット燃料消費量の60%以上をバイオジェット燃料で代替させる必要がある、混合比率50%までのバイオジェット燃料では目標を達成できない。そこで当グループでは、芳香族化合物も含んだ様々な炭化水素成分からなる、最大で100%使用も可能な「100%グリーンジェット燃料」製造技術の確立を目指している。

本技術では、有機分子触媒を細胞内に導入することで、酵素では困難な反応も可能な新規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。本ハイブリッド微生物を用いれば、様々な非可食バイオマスを原料として、炭素数が10～15個の分岐鎖や環状の多様な構造をもったジェット燃料前駆体を生産させることが可能となる。これまでの研究の結果、グルコースからC10のジェット燃料前駆体を生産さ

せることに成功している。さらに石油化学企業の協力のもと、生産させたC10ジェット燃料前駆体をジェット燃料として利用しうる炭化水素成分に変換させることにも成功しており、実用化の早期実現を目指して研究を加速している（図5）。

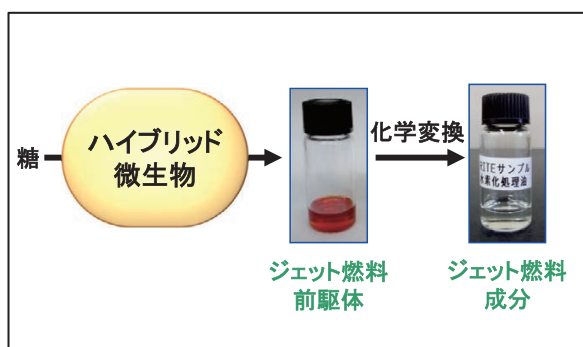


図5 ハイブリッド微生物を用いたジェット燃料製造

3.3. バイオ水素

水素は燃焼時に水しか生成しないため、究極のグリーンエネルギーとして期待される。しかしながら、現行の主要な水素製造技術は化石エネルギーを原料とするため、これに由来するCO₂の排出が大きな課題となる。この課題を克服するため、再生可能エネルギー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の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CO₂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CO₂フリー水素製造技術となり得るが、経済性あるバイオ水素生産技術の確立には、生産性の飛躍的な向上が必要とされる。バイオマス由来糖類などの有機物を原料としたバイオ水素生産は、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。当グループは、シャープ（株）との共同研究により、ギ酸を介する暗発酵水素生産経路を利用した高速バイオ水素生産プロセスを開発し、従来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「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」に採択され、現在本事業の中で、京都大学、NREL、フランス国立科学研究セン

ター（CNRS）と連携して研究開発を進めている。

本研究開発では、バイオマス由来糖類からの水素収率の向上のため、新たな水素生産経路の導入、暗発酵で副生する酢酸から光発酵により水素を生産する光合成細菌の改良、セルロース系バイオマス（コーンストーパー）からの水素生産における条件検討を進めている（図6）。

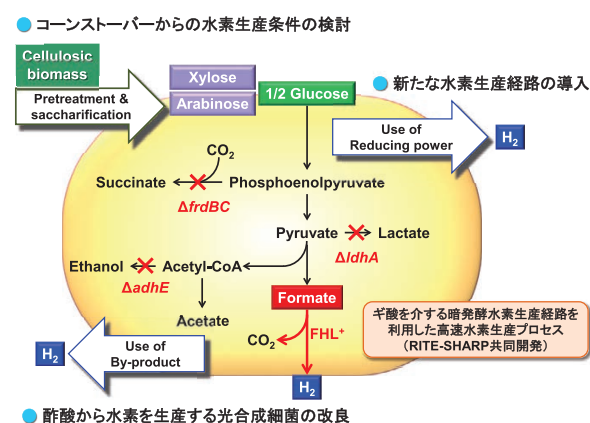


図6 セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発

4. バイオ化学品の生産技術開発

4.1. NEDOスマートセル

バイオテクノロジーの急速な進展により、これまで利用し得なかった、潜在的な生物機能を引き出すことが可能となった。この大きな技術革新の流れを背景に、経済産業省は「高度に機能がデザインされ、機能の発現が制御された生物細胞」をスマートセルと定義し、これを活用した新産業（スマートセルインダストリー）創出の戦略を示した。

これを受けてNEDOが実施する「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発」（スマートセルプロジェクト）に当グループは参画し、コリネ型細菌に特化した高精度な代謝モデルの開発を開始した。細胞の持つ有用物質生産に関する潜在能力を最大限引き出すよう、このモデルを用いて代謝設計を行い、実際にこの生産菌（スマートセル）を構築して生産性を検証することで代謝モデルを利用した情報解析システムの有効性を示すことを目指す（図7）。

2017年度は5年計画の2年目にあたる。目的有用物質に対する高耐性株の取得と解析および生産に必須な遺伝子のスクリーニングを行った。並行して神戸大学、産業技術総合研究所と連携して代謝モデル開発とその

高精度化、さらにモデルから提案された代謝経路の有効性検証を進めている。

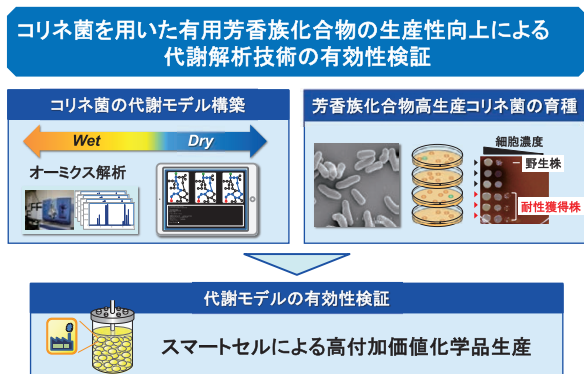


図7 スマートセルプロジェクトの概要

4.2. 様々な芳香族化合物への展開

芳香族化合物はポリマー等の原料として重要な基幹工業化学品であると同時に、医薬品、機能性栄養素材、香料、化粧品等の原料となる高付加価値な化合物が多く存在する。芳香族化合物は現在、石油や天然の植物等を原料として製造されているが、脱石油依存、環境保全、および生産性の観点から、高効率なバイオ生産法の確立が望まれている。このような背景の下、我々はコリネ型細菌を用いた高効率バイオ変換技術を用いて、様々な有用芳香族化合物を非可食バイオマスを原料として高効率生産させる技術開発に取り組んでいる。これまでに芳香族化合物合成の中間体であり、インフルエンザ治療薬タミフルの原料とされるシキミ

酸、ポリマー原料として有望な4-アミノ安息香酸、および医薬品や化粧品原料として有望な芳香族ヒドロキシ酸のバイオ高生産プロセスの確立に成功しており、企業と共同で実用化に向けた研究を加速させている。また、他の種々の有用芳香族化合物についても代謝改変を駆使して高生産菌株の育種を進めている（図8）。特に菌株改良においては、前述したスマートセルプロジェクトでの情報解析技術や統合オミクス解析技術を融合させ、最適な代謝設計を生産菌株に反映させることにより、生産性を飛躍的に向上させた有用芳香族化合物高生産菌の開発に取り組んでいる。

5. 実用化への取り組み

5.1. フェノール

現在の工業生産されているフェノールはすべて石油由来の原料から製造されている。我々は地球環境保全や温室効果ガス削減の観点からグリーン化が困難とされてきたバイオ法によるフェノール製造技術開発を進めてきた。我々の開発した2段工程法を利用した実用生産を早期に実現するため、住友ベークライト（株）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

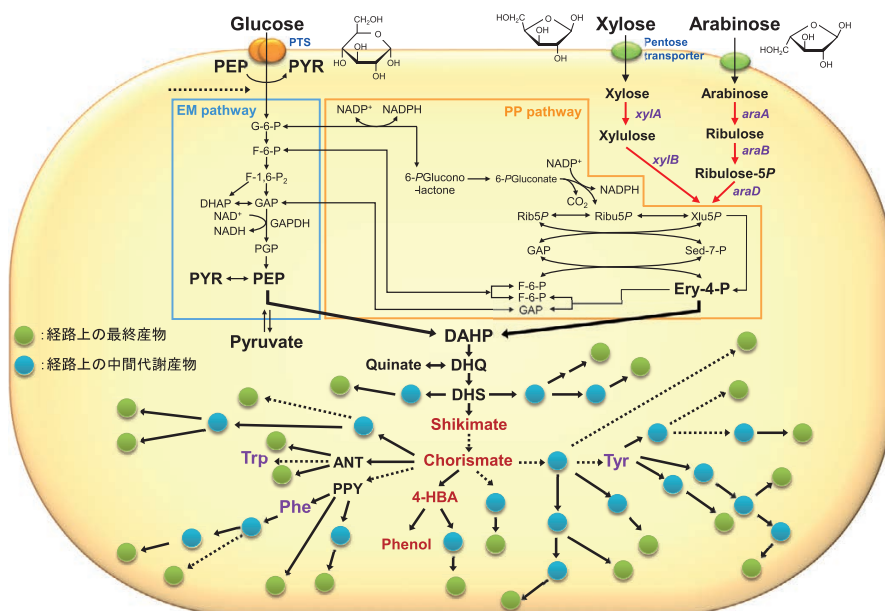


図8 様々な芳香族化合物の生産技術開発

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。図9は、グリーンフェノールを原料としたフェノール樹脂成型品である。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。

フェノール樹脂成型品（ギア）

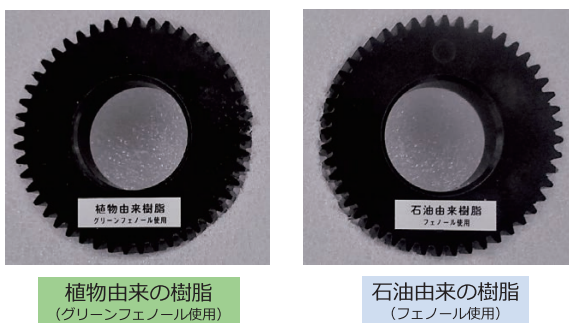


図9 BioJapan2017でのフェノール生産展示

5.2. アミノ酸

一般的なアミノ酸発酵は、微生物の培養と発酵生産に通気（酸素）を必要とし、この通気量が適切にコントロールされることが、高生産性の達成に重要である。これに対してRITEでは、前述したように通気の必要のない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合成経路を細胞に導入する必要がある。当グループでは、こうした課題を解決した非通気条件でのアミノ酸生産プロセスのコンセプトを2010年に学術雑誌に発表した (Appl. Microbiol. Biotechnol. 87: 159-165. 2010.)。

RITEは、RITE発ベンチャー企業Green Earth Institute (株) (GEI) を2011年9月に設立し、RITEバイオプロセスによるアミノ酸等のバイオ化学品やバイオ燃料の事業化を目指した共同研究を実施している。本共同研究において、アミノ酸の一種であるアラニン生産に関しては、生産菌株の開発、スケールアップ検討やコスト低減のための各種検討を進め、2016年には、GEIの国内パートナー企業が保有する商業スケールの発酵槽を用いた試験生産に成功し、実用生産

の段階に進んでいる。試験生産には、当グループの研究員も参加し、現地の職員と力を合わせて成功へ導いた。RITEが開発したアラニン生産株を利用して生産されたL-アラニンは、2017年8月、厚生労働省食品安全委員会による評価の結果、食品添加物としての安全性が確認され、工業用用途のみならず食品添加物としても利用可能になった。現在、海外の複数の国でのアラニン生産プロジェクトが進行中である。また、アミノ酸の一種であるバリン生産についてもGEIとの共同研究を本格化させ、生産性向上のための菌体改良や、スケールアップによるサンプル製造等に取り組んでいる。

6. おわりに

2017年10月、経済産業省は「Connected Industries」東京イニシアティブ2017を発表した。Connected Industriesとは、第4次産業革命において我が国が目指す産業の在り方を示す新しいコンセプトであり、2030年以降の超スマート社会 (Society 5.0) に向けた行動計画である。この中の重点分野の一つであるバイオ・新素材では、前述したスマートセルを利用したバイオリファイナリー技術が中核技術として大きな役割を果たすことは間違いない (図10)。

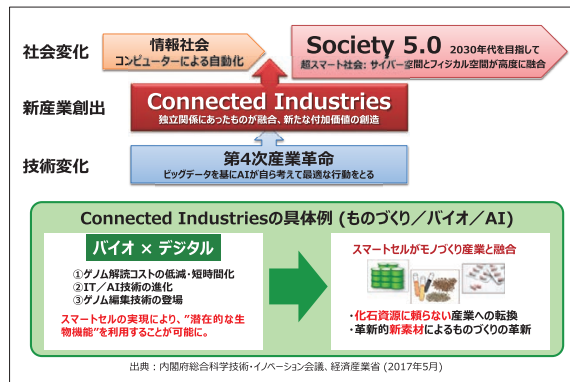


図10 バイオ技術 × デジタルの融合 (Connected Industries)

当グループでは、2018年も次世代燃料であるバイオブタノールやバイオ水素、およびグリーンジェット燃料等の生産技術開発や、「スマートセル」技術を活用した芳香族化合物生産などの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、地球環境保全や低炭素社会の実現に貢献していきたい。

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

主席研究員

副主席研究員

主任研究員

主任研究員

主任研究員

主任研究員

主任研究員

主任研究員

主任研究員

杉田 啓介

東井 隆行

余語 克則

石黒 兼二郎

甲斐 照彦

後藤 和也

フィロース アラム チョウドリー

三上 智司

山田 秀尚

山本 信

主任研究員

龍治 真

研究員

伊藤 史典

研究員

高山 信幸

研究員

段 淑紅

CO₂分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み

1. CO₂分離・回収技術の研究開発

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

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

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

化学吸収法では、新化学吸収液の開発目標とした分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出すことに成功した。また、COURSE50プロジェクトで開発した化学吸収液は、民間企業で採用され、CO₂回収設備商用1号機が運転中であり、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、CO₂高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材の研究開発に取り組んできており、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-CO₂を達成可能な材料を見出している。また、10m³規模での固体吸収材合成を可能とするスケールアップ合成技術を確立した。現在、民間企業と共同で実用化研究に取り組んでいる。今後、関西電力舞鶴発電所内に40t-CO₂/day規模の試験設備を設置し、実ガス試験を行う予定である。

膜分離法は、圧力を有するガス源からCO₂を低コスト、省エネルギーで分離するプロセスとして期待されている。RITEは膜分離の事業化を目的に設立された次世代型膜モジュール技術研究組合の一員として、高いCO₂分離性能を有する分子ゲート膜（高いCO₂分離特性を有する dendritic と架橋高分子材料を用いた複合膜）を用いて、石炭ガス化複合発電（IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle）等の高圧ガスから低コスト、省エネルギーでCO₂を回収することを目指した膜および膜エレメントの開発を行っている。実用化を目指し、量産化を念頭において、連続製膜技術および膜エレメント化技術の開発を進めているところである。また、実ガス試験による膜および膜エレメントの分離性能、プロセス適合性等に関する技術課題の抽出と解決を行うために、今後、国内外で石炭ガス化ガスを用いた実ガス試験を行う予定であ

る。

以上のように、幅広い次世代の礎となる革新的な技術開発によりCO₂削減に向けた研究開発をリードし、かつ産業界が受け入れ可能で実用的な技術を開発している。

2. 化学吸収法

化学吸収法によるCO₂分離回収は、ガス中のCO₂をアミン水溶液等の吸収液中に化学的に吸収させ、その吸収液から高純度CO₂を温度操作または圧力操作により分離回収する技術である。RITEは、「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発」プロジェクト（経済産業省（METI）補助事業、2004～08年度、COCSプロジェクトと呼称）以降、製鉄所プロセスガスを主対象にCO₂分離・回収エネルギーおよびコストを低減し得る高性能吸収液の開発に取り組んでいる（図1）。

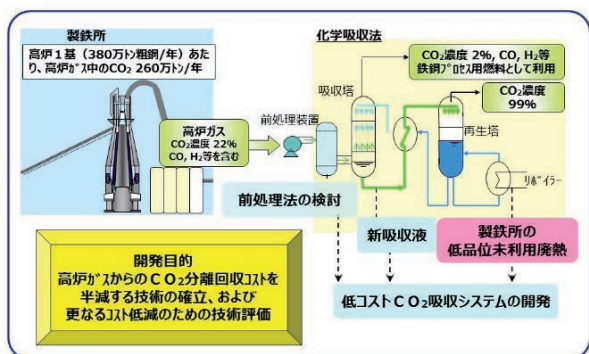
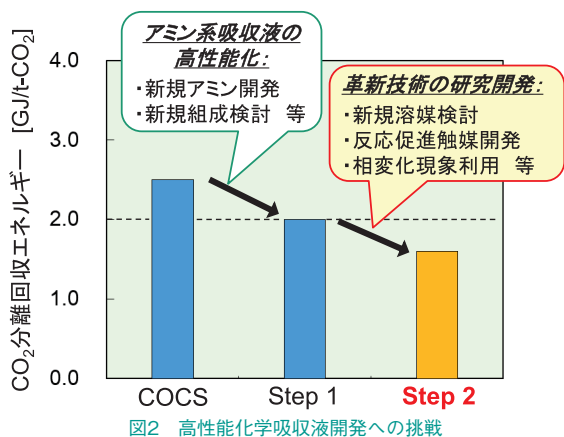


図1 化学吸収液を利用する高炉ガスからのCO₂分離回収技術概要



2008年度からの「環境調和型製鉄プロセス技術開発」プロジェクト（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業、COURSE50

Phase1 Step1: 2008～12年度）においては、吸収液の分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする吸収液を見出し、開発することに成功した。更に、2013年度から引き続きNEDO委託事業COURSE50 Phase1 Step2（2013～17年度）に参加し、画期的な高性能化学吸収液の開発に取り組んでいる。ここでは、CO₂分離・回収コストのより一層の低減に、従来のアミン系水溶液の高性能化に加え、新たなブレイクスルーを見出すために、新規溶媒や反応促進触媒、相変化現象を有する物質等の研究を実施している（図2）。

また実用技術としては、新日鉄住金エンジニアリング株式会社の省エネ型CO₂回収設備商用機にRITEと新日鉄住金株式会社が共同開発した吸収液が採用されている（1号機（図3）：製鉄所排ガス用、2014年運転開始、2号機：石炭火力発電排ガス用、2018年運転開始予定）。RITEの研究成果は、既に様々なCO₂発生源を対象とする産業技術に貢献している。



図3 炭酸ガス販売用商用化1号機（新日鉄住金(株)室蘭製鉄所内）

※新日鉄住金エンジニアリング株式会社写真提供

これまでの研究開発で蓄積したアミン系化合物の反応特性および吸収液性能、および吸収液開発・評価技術等をベースに、高圧CO₂含有ガス（例えば、石炭ガス化ガス）を対象とするCO₂分離回収において、吸収・放散性能に優れたアミン系化学吸収液の開発も進めている。

本研究の目的は、温度スイングのみにより、CO₂含有ガスの高いCO₂分圧を維持しつつ、高効率にCO₂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、

CO₂が高い圧力を保って回収されるため、既存のメチルジエタノールアミン系の化学吸収液やセレクトソールなどの物理吸収液に比べ、回収後に必要となる圧縮エネルギーが大幅に削減できる。

RITEはこれまでに、1MPa以上の高圧下において高いCO₂回収量、高い反応速度、および低いCO₂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CO₂分離・回収エネルギー（回収後の圧縮エネルギーを含む）として、世界最高レベルの1.1GJ/t-CO₂以下（吸収:1.6MPa-CO₂、再生:4.0MPa-CO₂）を達成する見通しを得ている。

現在、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。

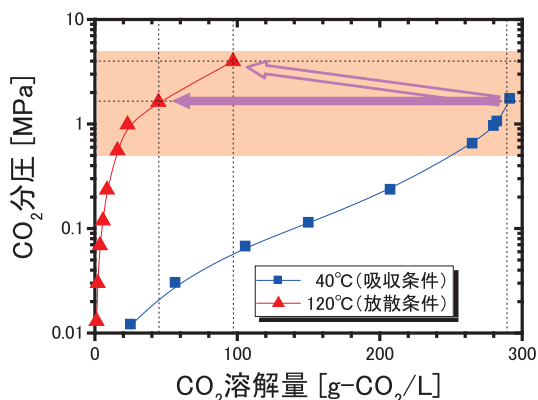


図4 高圧下で高い吸収放散性能を有する新規吸収液

3. 固体吸収法

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。固体吸収材は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持さ

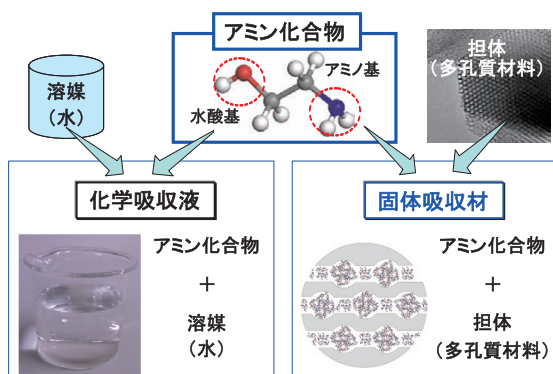
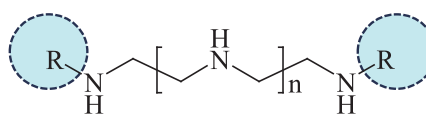


図5 アミン固体吸収材

せたもので（図5）、化学吸収液と類似のCO₂吸収特性を有しながら、再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーの大幅低減を可能とする。

開発した固体吸収材には、RITEが合成した新規アミンを採用している（図6）。アミンの分子構造とCO₂脱離性能との関係性を計算化学によって明らかにしたことで、低温での脱離性能に優れ、高いCO₂回収容量を有する独自の固体吸収材を開発することに成功した。



置換基Rの効果でCO₂吸収脱離性能向上

図6 RITE開発アミン

開発したRITE固体吸収材の性能に基づき、プロセスシミュレーションを行った結果、再生エネルギー1.5GJ/t-CO₂のポテンシャルを示した。本固体吸収材によるCO₂分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、従来の化学吸収法（2.5GJ/t-CO₂）と比べて発電効率の低下を約2%改善出来ると見込んでいる。

2015年度から始まった経済産業省からの委託事業「先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発」においては、実用化のための材料最適化を行うとともに、川崎重工業株式会社と連携して、石炭燃焼排ガスを用いた移動層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。

材料の最適化においては、これまでに、十分な摩耗強度や耐久性を有し、移動層システムに適した担体を選定し、また、新規アミンについては合成手法の合理化、スケールアップ合成を進めている。その結果、事業中間目標である「10m³規模の固体吸収材合成技術確立」を達成した。

確立した手法によって大量合成 (>10m³) した固体吸収材について、小型連続回収試験装置（図7）を用いて、性能評価を行った。脱着工程でスチームを供給するSA-VSA (Steam-aided vacuum swing adsorption) プロセスで、サイクルタイム等を最適化した結果、模擬ガス（12% CO₂）から回収純度99%、回収率>

90%でCO₂を回収することができた。この際、60°Cの再生工程に必要なスチームエネルギーは1.4GJ/t-CO₂と極めて低く、RITE固体吸収材が優れたCO₂分離・回収性能を有することを実証した。

現在、大量合成したRITE固体吸収材を用いて、川崎重工業株式会社明石工場に設置されている移動層システムの試験装置を利用して、ベンチスケール燃焼排ガス試験を実施中であり、吸収材の移動特性およびCO₂回収性能の把握、要素機器改善による回収CO₂純度の向上、ガス中水分の計測機器選定、実ガス試験に向けた課題抽出を進めている。



図7 小型連続回収試験装置

今後、関西電力株式会社舞鶴発電所内に40t-CO₂/day規模の試験装置を設置し、実ガス試験を実施する

予定であり（2017年9月プレスリリース）、2020年を目処に石炭火力発電所からのCO₂分離・回収に適した、より高性能な固体吸収材システムを確立すべく、研究開発に取り組んでいる（図8）。

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 CO₂ 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CO₂とH₂を含む混合ガスを製造し、CO₂を回収・貯留して、H₂をクリーンな燃料として発電に用いる（図9）。この圧力を有する混合ガスから、低コスト、省エネルギーでCO₂を分離回収する新規CO₂分離膜モジュールを開発中である。

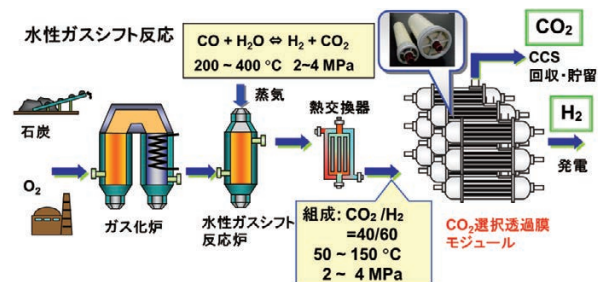


図9 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電(IGCC)からのCO₂分離回収

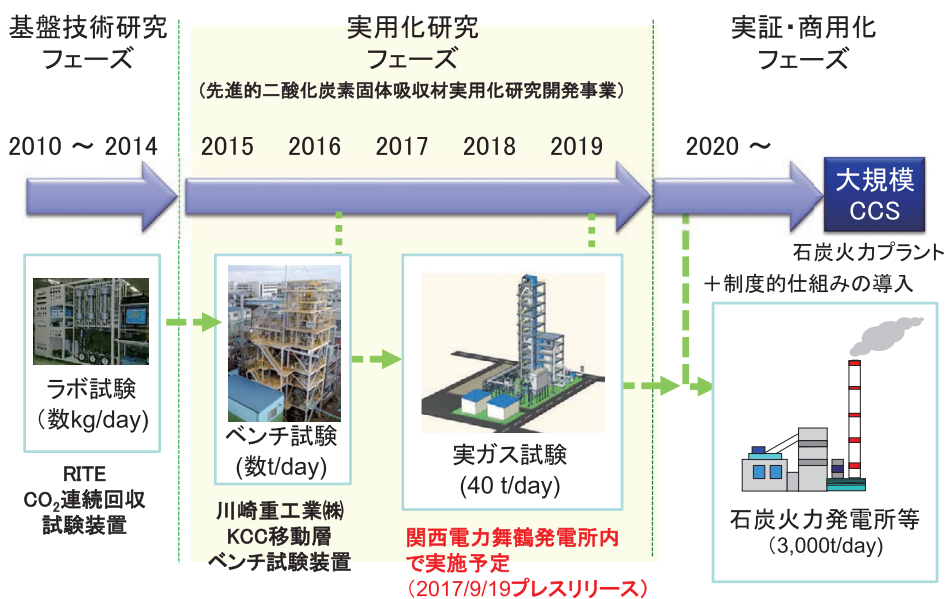


図8 研究開発ロードマップ

RITEでは、デンドリマーを用いる新規な高分子系材料が優れたCO₂とH₂の分離性能を有することを見出し、このデンドリマーと架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜（分子ゲート膜）の開発を行ってきた。図10に分子ゲート膜の概念を示す。

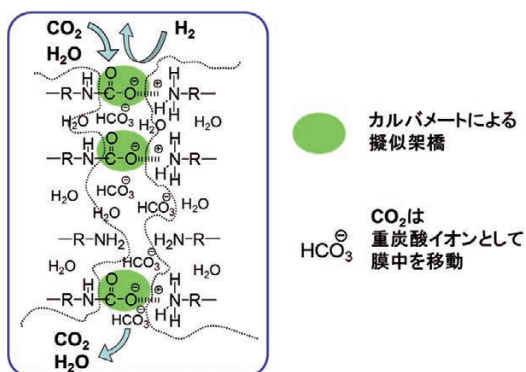


図10 分子ゲート膜の概念図

ここに示すように、透過機構としては、加湿条件で、膜中に取り込まれたCO₂が膜中のアミノ基とカルバメートや重炭酸イオンを形成し、分子サイズの小さなH₂の透過を阻害することで、従来のCO₂分離膜では分離が難しかったCO₂とH₂を効率良く分離できると考えている。

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

この成果の実用化を推進するために、現在、RITEおよび民間会社を組合員とする次世代型膜モジュール技術研究組合（MGM組合）によって、CO₂分離膜、膜エレメントの開発（図11）および膜分離システム検討を実施中である。



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

METI委託事業「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（2011年～2014年度）における基盤技術開発に続き、現在、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、実機膜モジュールシステムの開発を進めており、実用化に向け、MGM組合として連続製膜技術の開発、連続製膜した膜を用いた膜エレメント製作および分離性能試験を行っている。また、今後、国内外で、実ガス試験を行う予定である。

連続製膜した単膜および作成した膜エレメントの分離性能を表1に示す。

表1 連続製膜した単膜及び作製した膜エレメントの分離性能

	Q _{CO2} [m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	Q _{He} [m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	α
単膜(連続製膜)	1.94E-11	1.18E-12	16.5
膜エレメント	1.83E-11	1.54E-12	11.9

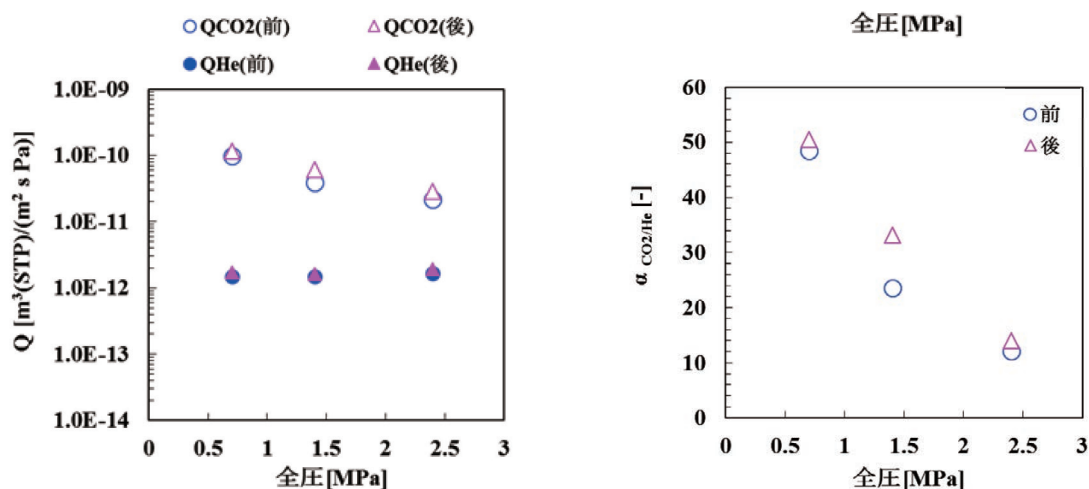
試作エレメント: 直径 2inch、長さ 220mm
測定条件: 温度: 85℃; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度70% RH; 透過側: 大気圧

連続製膜を実施するために、塗布液粘度の調整、乾燥時間、塗布厚みの検討を行い、製膜レシピの改良を実施した。連続製膜品は同膜厚の枚葉製膜品と同等の分離性能を示すことを確認した。また、膜エレメントについても単膜とほぼ同等な分離性能が得られた。

石炭ガス化ガス中には、CO、CH₄、H₂S、COSなどの微量不純物が含まれている。このうち、特に膜劣化への影響が懸念されるH₂Sについて曝露試験を実施した。その結果、曝露試験前後の分離性能に大きな違いは認められなかったことから、H₂Sに対する耐性があることを確認した（図12）。

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



(“前”:曝露試験前,“後”:曝露試験後)
 分離性能測定条件: 温度:85°C; 供給側:全圧2.4MPa,
 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol.,湿度60%RH; 透過側:大気圧

図12 H₂S曝露試験前後の分離性能 (単膜)

(曝露試験条件)

- ・ 圧力: 2.4MPa以上; 温度: 85°C ± 3°C
- ・ ガス組成: CO₂ (33%) + H₂S (500ppm) + N₂/バランス (湿度: 約80% RH)
- ・ 試験期間: 7日間

5. おわりに

2015年12月、COP21で「パリ協定」が採択され、これまで以上にCO₂排出量の低減が必須となってきた。我が国では、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、CO₂固定化、有効利用も有望分野として特定され、2017年9月には、2050年へ向けた技術ロードマップが策定された。CO₂革新的分離・回収技術では、分離・回収エネルギーを現在より半減させる (1.5GJ/t-CO₂) 中長期目標および2030年頃にシステムレベルでの実証と2050年頃に普及のスケジュールが示された。

様々なCO₂排出源に対し、最適な分離・回収技術を提案することにより、CCS実用化を推進していかねなければならない。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。

CO₂貯留研究グループ



グループリーダー・
主席研究員

薛 自求

【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	松田 央	主任研究員	樋脇 和俊
主席研究員	野村 眞	主任研究員	高野 修
副主席研究員	高須 伸夫	主任研究員	指宿 敦志
副主席研究員	中島 崇裕	主任研究員	清水 信寿
副主席研究員	名井 健	主任研究員	岡林 泰広
主任研究員	内本 圭亮	研究員	張 毅
主任研究員	田中 良三	研究員	朴 赫
主任研究員	三戸彩絵子	研究員	伊藤 拓馬
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	蔣 蘭蘭
主任研究員	橋本 励	研究員	王 璐琛
主任研究員	木山 保	研究員	孫 艶坤
主任研究員	小牧 博信	研究員	三善 孝之
主任研究員	西村 眞		

安全かつ実用規模のCCS実現のためのCO₂地中貯留技術開発の取り組み

1. はじめに

カナダアルバータ州のQUESTに続いて、米国イリノイ州のIndustrial CCSプロジェクトでも、陸上で実用化規模の100万トン/年のCO₂圧入が行われている。また、オーストラリアのGorgonプロジェクトが2018年圧入開始予定であり、CO₂圧入規模は340～400万トン/年にのぼる。一方、ノルウェーでは複数の大規模排出源におけるCO₂分離回収と輸送、そして海域貯留までを一体化したフルスケールプロジェクト（Smeaheia）のフィジビリティスタディが計画されている。また、2017年11月に米国エネルギー省（DOE）はメキシコ湾を対象に、2つの海域帯水層貯留の研究プロジェクトを採択している。油ガス田開発で得た豊富な地下情報やパイプライン等の既存インフラの活用を念頭に置いたと思われる。このため、今後は海域の大規模CO₂貯留への注目が高まっていくことになる。

CO₂貯留研究グループは二酸化炭素地中貯留技術研究組合の一員として、我が国の貯留層特性に適した実用化規模のCO₂地中貯留技術開発を推進している。海域帯水層貯留に係わる海洋環境影響評価については、まだ知見が少なく、欧州では海域での漏出CO₂の検知や海洋生物への影響評価を主要な課題とする研究

プロジェクト（STEMM-CCS）が進められている。

CO₂貯留研究グループでは、貯留サイトの海域サンプリングポイントごとに海水を採取し、海水中のCO₂溶解量を調べる化学的手法とは異なる音響ソナー技術を利用して漏出気泡を物理的に検知する手法の確立を目指している。2017年は海域の模擬実験を基に音響ソナー技術を利用した漏出気泡検知手法の有効性を明らかにした。

また、特殊な多孔質フィルターを介してCO₂を圧入することにより、貯留効率の向上や地層水への溶解促進が期待できるマイクロバブル技術開発にも取り組んでおり、本技術の実用化のカギとなる坑内ツールを試作し、現場テストを実施した。

さらに、CO₂地中貯留の安全管理技術開発のほかに、国際連携・海外動向調査にも取り組んでおり、苫小牧の大規模実証試験とも連携してCCSの早期実用化を目指している。

2. 主な研究課題と成果

CO₂貯留研究グループは二酸化炭素地中貯留技術研究組合の枠組みの下で、CCSの実用化に向け、「大規模CO₂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」を柱に技術開発を進めている(表1)。主な研究課題の実施内容及び研究成果を以下に紹介する。

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	実施組合員	
(1)大規模CO ₂ 圧入・貯留の安全管理技術の開発	●大規模貯留層を対象とした地質モデル構築(2.1)、貯留層評価	RITE, JAPEX, 応用地質
	●CO ₂ 長期モニタリング技術の確立	AIST
	●圧入安全管理システムの開発(2.2)	RITE, JAPEX, INPEX
	●大規模貯留層に適合したCO ₂ 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
	●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(2.3)	RITE, AIST, JAPEX, INPEX
●CO ₂ 漏出検出・環境影響評価統合システムの構築(2.4)	RITE	
(2)大規模貯留層の有効圧入・利用技術の開発	●CO ₂ 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立/NRAPツール評価	RITE, 大成建設
	●CO ₂ 溶解促進技術の適用による貯留効率向上(2.5)	RITE, JAPEX
(3)CCS普及条件の整備、基準の整備	●CO ₂ 貯留安全管理プロトコル(IRP)の整備	RITE
	●苫小牧実証データの提供による技術事例集の作成(2.6)、海外機関との連携(2.7)	RITE
	●社会受容性の向上、国際標準化との整合	RITE

2.1. CO₂地中貯留のための地質モデル構築手法開発

貯留層地質モデルの構築はCO₂地中貯留にとって基本的かつ重要な課題である。図1の通り、地中貯留の各ステージにおいて、必要とされる地質モデルが異なっている。油ガス田開発に比べて、利用できる坑井データが少なく、コア試料、物理検層や弾性波探査データは空間的分解能やカバレッジ(カバーする範囲)が異なっており、それらを統合する手法が必要となる。

ステージ	サイト選定	圧入前評価	詳細設計・建設計画	CO ₂ 圧入	サイト閉鎖後
作業	・広域地質評価 ・広域概念モデル	・基本地質モデル ・詳細地質モデル ・圧入地点決定	・地質モデル更新 ・圧入貯留設計 ・監視範囲決定	・地質モデル更新	・地質モデル更新 ・貯留範囲評価
目的	・構造形態 ・貯留層の広がり ・浸透層の広がり	・貯留層評価 ・透水性評価 ・CO ₂ 貯留範囲	・圧入貯留計画 ・モニタリング計画	・安全管理 ・不確実性の低減 ・貯留可搬量把握	・長期挙動予測 ・安全管理
取得すべき情報	・地質学的知識 ・既存地質情報 ・2D/3D画像	・調査井 ・高解分/解析 ・3D画像	・評価井 ・ベースラインデータ	・モニタリングデータ ・4D画像	・モニタリングデータ ・4D画像



図1 地中貯留における地質モデル構築について

2017年は、貯留サイトの特性評価時の地質モデル構築に関して検討を行った。数少ない坑井から得た検層等のデータより、できるだけ多くの地質情報を得ようとして、堆積学的な知見から、各データを統合する手法について検討した。

FMI (Formation Micro-Imager) 検層では192個の電極より、細密な比抵抗を測定している。このイメージデータのヒストグラムは、岩種や堆積環境に関する情報が比抵抗の次元で表現されている。一方、NMR

(Nuclear Magnetic Resonance) 検層では励起スピン緩和時間分布が孔隙特性の情報を持つため、貯留層性能につながる情報が得られると考えられる。本研究では、長岡サイトのFMIとNMR検層データを対象に、貯留層特性解析を行った。FMI検層データからは、平均的な比抵抗値と淘汰度に関する情報が得られた。また、NMR検層データ解析では、貯留層の孔隙径分布の特徴を調べるための緩和時間分布の因子解析を行い、8つのクラスターに分けることができた。これらの解析結果を基に、地質性状に関する解釈を行った。図2の緑・黄・赤枠部分はそれぞれ地質性状(孔隙率、浸透率など)が良・中・不良であることを示している。このような地層の不均質性は、図2右の、圧入性(injectivity)の高・中・低の違いとよく一致する。このように、検層データの分解能やカバレッジに注意しながら地層解析を行えば、貯留層評価に有用な情報が得られることが分かった。

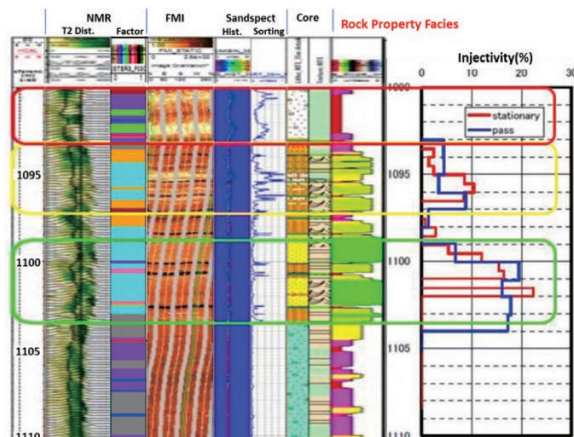
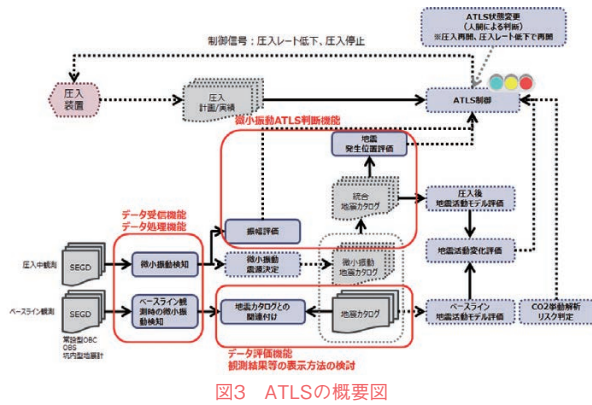


図2 検層データの解析結果とCO₂圧入性の比較

2.2. 圧入安全管理システム (ATLS) の開発

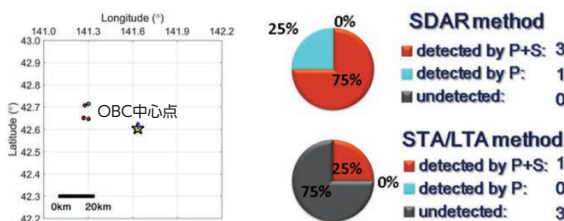
CO₂圧入によって、地中の圧力が増加し、地震が誘発されることが懸念されている。このため、CO₂圧入サイトでは地震観測など様々なモニタリングが行われている。CO₂貯留研究グループではこれらの観測結果に基づいたCO₂圧入管理システム(ATLS: Advanced Traffic Light System)を開発している。高温岩体地熱発電(EGS)では、主に微小地震観測結果に基づき、緑・黄・赤の交通信号機の色で表現する、トラフィックライトシステム(TLS)が開発されている。本研究ではCO₂圧入サイトの地震観測を含むすべての観測データや圧入状況も勘案した、より発展的な機能を有

するATLSシステム開発を行っている(図3)。ATLSは



いち早く異常を検出し、CO₂圧入制御にフィードバックする仕様になっている。事業者はATLSからの情報を基に、CO₂圧入量を制御するほかに、異常事象に対する必要な対策を講じることも可能となる。図3はATLS概要を示しており、赤枠の部分は開発済みであり、他の部分についてもプログラム開発を進めている。

ATLSに地震観測結果を反映させるには、微小振動(極微小地震)まで取りこぼさずに確実に検出すること、ノイズを誤って抽出しないことが必要である。微小振動をより確実に検出するため、従来から使われているSTA/LTA法(Short Term Average/Long Term Average method)に替えてSDAR(Sequentially Discounting AR model learning: 忘却型学習アルゴリズム)をとり入れている。この2つの判定法を、OBC(Ocean Bottom Cable)の観測データに適用し、有効性を検証した。図4はOBC周辺100km以内で1年間のマグニチュードM1程度の自然地震を対象とする解析結果である。これより、SDARのパラメータを適切に設定することにより、STA/LTAより確実に地震イベントを検出できた。今後はOBC以外、例えば坑井内地震計などの観測データへの適用性を検証する予定である。

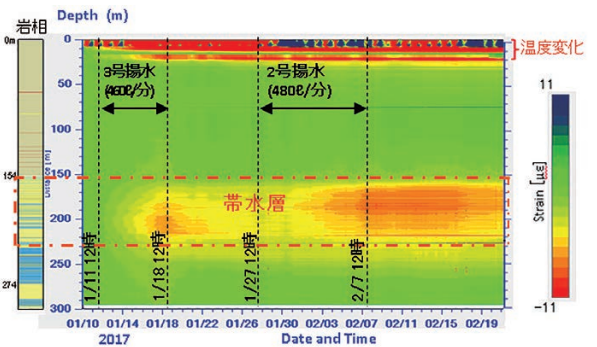


2.3. CO₂圧入時の地層安定性モニタリング技術開発

CO₂圧入サイトの地層の力学的安定性について、貯留層や遮蔽層だけでなく、貯留層から地表までのすべての地層の変形を監視することが望ましい。地表から地下深部まで連続的に計測できる手法として、DTS(Distributed Temperature Sensing: 分布式温度センシング)が開発され、石油・天然ガス開発分野において実用化されている。同様な光ファイバーセンシング技術として、CO₂貯留研究グループでは、地層変形(ひずみ)を深度方向に連続的に測定する技術開発を行っている。

2017年は、光ファイバー設置済み坑井(深度300m)を活用した地層変形観測実験を実施した。この現場実験において20cm間隔で坑井の深度方向の地層変形を測定することにより、砂泥互層の変形特性や力学的解析モデル構築に関する重要な知見を得た。

この坑井では、長期観測中にサイト周辺の地下水汲み上げに起因する地層変形(ひずみ)が複数回計測された。サイト周辺の複数の坑井を利用して揚水し、地下水賦存層の水利特性を調べる実験を行った(図5)。



光ファイバー設置坑から280m離れた坑井からの揚水試験では、揚水後数時間以内に帯水層(深度200-230m)に圧縮ひずみが生じた。また、同方向に940m離れた坑井での揚水試験では、最初の試験と異なる時間差とひずみ量が観測された。さらに、2回の揚水試験の比較では、最大ひずみの深度が異なっていること、および上位層において伸びひずみが生じたことも注目される。このような観測結果は、水理地質学と岩盤力学の連成解析を可能とする世界初のフィールドデータである。

2.4. 海洋環境影響評価技術開発

海底下地層に貯留したCO₂が海中に漏出するおそれは極めて小さいと考えられている。海洋汚染防止法では、万が一に備えて、漏出が起きていないことを確認するための漏出監視が義務付けられている。浅海域の海底の温度、圧力条件では漏出CO₂が気体になる。そのため、漏出が起きると、海底から気泡のCO₂が出てくることになる。したがって、海底から出ている気泡が無いことを確認することが漏出監視の一つの手段となり得る。

海中での気泡検知には、音響機器（音波）が使われており、メタンなどの気泡の観測事例がある。音響機器にはいくつか種類があるが、CO₂貯留研究グループでは、広範囲の気泡探査が可能なサイドスキャンソナー（SSS; side-scan sonar）を用いたCO₂気泡の検知手法の確立に取り組んでいる。SSSは機器の左右両方向（進行方向に直交する面）に音波を発振し、反射波を受信することで、海中の物体や海底の凹凸などのイメージ画像を得る機器である。過年度の研究開発において、SSSを海中に沈め船で曳航することで、海中のCO₂気泡が検知できることが明らかになった。

一方で、海水に溶けにくい空気の気泡に比べると、海水に溶けやすいCO₂気泡は、SSSでの検知が難しく、空気やメタンなどの気泡検知で得られた知見をそのままCO₂の気泡検知に適用することはできないこともわかった。したがって、SSSを実際に漏出監視に用いるためには、SSSのCO₂気泡検知能力や運用手法を明らかにする必要がある。気泡検知能力とは、SSSで検知可能なCO₂気泡の最小フラックス（漏出率）がどの程度なのか、SSSからCO₂気泡までどの程度離れていても検知可能なのかなどであり、運用手法とは、SSSを曳航する船の速さはどの程度がよいのか、SSSをどの程度の深さまで沈めるのがよいのかなどである。

2017年は、現在CO₂の海底下貯留の実証試験が行われている苫小牧の沖合いと同程度の水深（約30m）の海域で、海底からCO₂気泡を放出し、それをSSSで観測する実証実験を行った。様々な気泡放出条件（放出率や気泡のサイズ）と観測条件（SSSを沈める深さ、曳航する船の速さ、気泡放出点からの距離）で実測した結果、船速2.5～5.5ノットで放出（漏出）率500～5000ml/minのCO₂気泡をSSSで検知できることが明らかになった（図6）。

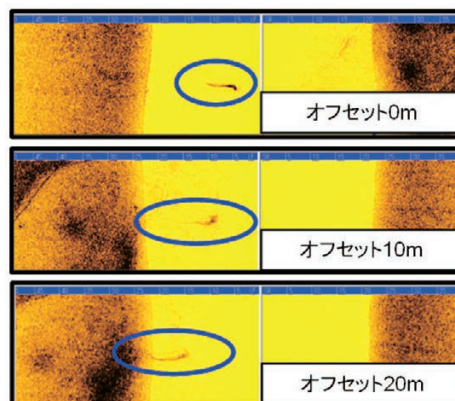


図6 SSSによる観測で検出したCO₂気泡画像（オフセットは気泡放出点から観測線までの距離）

2.5. CO₂の溶解促進技術

CO₂貯留研究グループは東京ガス株式会社との共同研究により、特殊フィルターを利用してCO₂をマイクロバブル（微細気泡）にして地中貯留する技術開発を行ってきた。図7は長さ30cmの多孔質砂岩試料に圧入されたマイクロバブルCO₂の挙動をX-CT装置によって可視化した結果である。暖色系カラーが孔隙内のCO₂分布を示しており、従来法に比べて、マイクロバブルCO₂圧入の方がCO₂飽和率が高く貯留性能が優れていることが分かる。

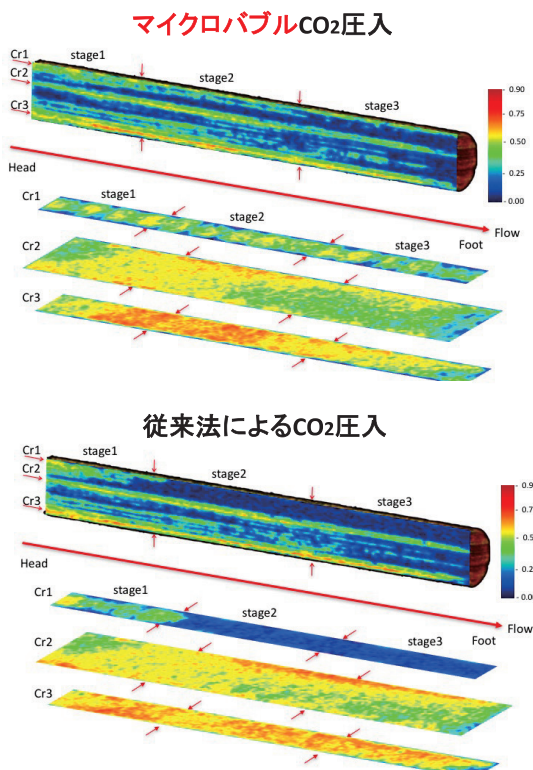


図7 異なる圧入法によって生じたCO₂分布の差異

マイクロバブル技術の実用化に向けて、現在石油資源開発株式会社と協力して、実際のCO₂圧入現場に利用する坑内ツールの開発に取り組んでいる。2017年は試作した坑内ツールを深さ約250mの坑井に設置し、N₂とCO₂の圧入テストを行い、浅部地層におけるマイクロバブルCO₂発生状況を確認した。今後は、大深度坑井を利用して、高温、高圧の条件下での適用を目指して、圧入ツールを改良していくとともに、CO₂貯留メカニズムを検討しながら、マイクロバブル技術の実用化を進めていく予定である。

2.6. CCS技術事例集の作成

カナダのQUESTと米国の産業CCSが相次ぎ、年間100万トン規模のCO₂圧入を実施している。日本においても2016年から年間10万トン規模の苫小牧実証試験事業が開始され、計30万トンのCO₂圧入が計画されている。

このような背景の中、CO₂貯留研究グループではCCS事業の国内普及や日本のCCS技術の海外展開を見据え、国内の事業者がCCS事業を実施する際に技術的に参考となる「CCS技術事例集」の作成を進めている。

このCCS技術事例集は、CO₂地中貯留事業に係る作業工程である「基本計画」、「サイト選定」、「サイト特性評価」、「実施計画」、「設計・建設」、「操業・管理」、「サイト閉鎖」、「閉鎖後管理」を対象に、第1章から第8章に対応して作成している（図8）。

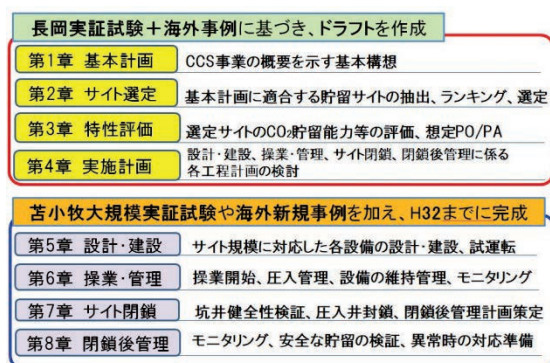


図8 CCS技術事例集全体構成

第1章の「基本計画」から第4章の「実施計画」までは、2003年～2005年に新潟県長岡市で実施された国内初のCO₂圧入実証試験の成果を中心に、米国や

欧州等の海外CCSプロジェクトの情報や技術マニュアルを参考にして、2015年度ドラフト版を作成した。現在は、第5章の「設計・建設」から第8章の「閉鎖後管理」までについて、苫小牧実証試験において得られる成果およびカナダ、米国等の海外の最新CCSプロジェクト情報を参考として、ドラフトの作成に取り掛かっている。

第5章ではサイトに必要とするCO₂輸送、CO₂昇圧、坑井の設計・建設と、各設備の試運転等を、第6章では実施計画に沿ってCO₂圧入操業設備の運転・維持管理、モニタリング、異常対処方法等を、第7章では坑井健全性の検証、坑井封鎖、閉鎖後管理計画等を、第8章では閉鎖後管理期間におけるモニタリング、安全な貯留の実証、CCSを進める海外諸国における閉鎖後管理の現状等について記載する予定である。

2.7. 国際連携および海外動向調査

CCSの普及に貢献するとともに、CCSの海外動向の調査を行っている。ここでは、2017年の動向について、国際機関等の動向にも触れながら以下にまとめることとする。

米国では、1月に既設石炭火力にCCSを追設したPetra Novaプロジェクトが、4月にはバイオマス由来のCO₂を深部塩水層へ大規模圧入するイリノイ州のプロジェクトが本格稼働した。幸先は良かったが、徐々にCCSの退潮の懸念が高まった。トランプ新政権が発電セクターにおけるCCSの普及の駆動力と目されていたCO₂排出規制の撤廃を表明し、5月には次年度のCCS研究開発予算の大幅削減を提案した。6月には、発電用の褐炭ガス化ガスからCO₂を回収するKemperプロジェクトが、ガス化の不具合により天然ガスによるコンバインドサイクル発電に転換されることが決定され、CO₂回収が中止となった。しかし、懸念は払しょくされることになる。予算については、議会により7%減に押しとどめられ、また、エネルギー長官が6月に北京で開催されたクリーンエネルギー大臣会合（CEM）において、原子力とともにCCUSに関する新たなイニシアティブの立ち上げを提案し、12月にアブダビで開催された炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）の大臣会合においてはCCSへの支援を支持するコミュニケのとりまとめに尽力したためである。

欧州では、ノルウェーが孤軍奮闘しているが、その動きが減速する懸念が一時的に高まった。検討中の3つの工業排出源を対象とするプロジェクト向けの次年度政府予算が94%削減されたことが公表されたことによる。しかし、プロジェクトの継続は2018年半ばに議会によって決定されることになっており、継続が決まれば議会による予算修正が期待されることが明らかになった。同プロジェクトの実現を前提に、近隣国のCO₂の受け入れ構想もあるが、海底下貯留を目的としたCO₂の輸出を可能とするロンドン議定書の改正の発効が障壁となる。2017年にフィンランドが批准国に加わったが、発効の必要数には遠く及ばないままである。

英国では、10月に発表された「クリーン成長戦略」により、2015年に大規模実証の政府予算の執行が中止となってから不透明となっていたCCUSに関する戦略が明らかになってきた。この中で、CCUSの本格的な普及はコスト削減の実現を前提として2030年以降とされている。より具体的な普及の道筋は、2018年末を目途に示されることになっている。オランダの石炭火力を排出源とするROADプロジェクトは、EU域内で唯一の大規模実証計画であったが、6月に事業者が撤退を表明し中止された。一方、新政権は10月に野心的な2030年の気候目標を公表し、その方策の一環として産業セクターと廃棄物燃焼での2千万トン/年のCCSの実施を掲げている。オランダでのCCSの実現に期待が高まった一方で、実現を疑問視する声も少なくない。

欧州では、数10万トン/年レベルの工業排出源を対象とするCCSクラスターが志向されていると言える。また、回収したCO₂に付加価値を与えるCO₂利用の検討も世界的に盛んになりつつある。IEA温室効果ガスR&Dプログラム (IEAGHG) が2017年に発行した報告書も、その多くが製油、水素製造、天然ガスなどの工業排出源を対象としている。発電所のCCSについては、フレキシビリティというコストでは測れない付加価値に関する報告書が出された。

なお、上述のCSLFの大臣会合のインプットの一つにCO₂地中貯留に対する合理的、実用的な規制についての提言が含まれていた。これはCO₂地中貯留の許可を取得しているSleipner、ROAD、Peterhead、

Quest、Decatur、苫小牧、Otwayという7つのプロジェクトの許可申請にかかる経験、知見をCO₂貯留研究グループが主導して取りまとめたものである。報告書はCSLFのウェブサイトにおいて公開されている。

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	龍治 真
研究員	李 恵蓮
研究員	瀬下 雅博
研究員	中野 元
研究員	柳 波
	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. はじめに

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

2016年4月に設置された無機膜研究センターは、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の早期の実用化、産業化を目的に、研究開発と産業連携を両輪として活動を進めている。組織も研究部門と産業連携部門の2つから構成されており、研究部門では、それぞれに優れた特長を有するシリカ膜、ゼオライト膜、パラジウム膜をコア技術として、水素分離・精製やCO₂/CH₄分離、炭化水素など有機化合物分離などの研究分野に取り組んでいる。また、産業連携部門では、無機分離膜・支持体メーカーとそのユーザー企業16社からなる「産業化戦略協議会」を設立し、メーカー

とユーザー企業のビジョンの共有化および共同研究の企画・立案等を図るべく、会員企業が定期的に集まり、研究会などの活動を活発に推進している。

2017年度は、水素の効率的な輸送・貯蔵技術としてのメチルシクロヘキサン (MCH) 脱水素用メンブレンリアクター開発において世界最高の水素分離性能を持つシリカ膜を開発するなど大きな成果が得られた。また、CO₂分離・回収、有効利用に関する取り組みにおいても、新しいNEDO事業が採択されるなど顕著な進展があった。さらに、産業化戦略協議会では、国費事業等立ち上げに向けた研究会などの活動が本格化している。本稿では、MCH脱水素用メンブレンリアクターの開発および二酸化炭素有効利用技術開発など研究部門の主な成果と今後の展望、そして産業化戦略協議会の活動状況について紹介する。

2. 水素社会を支えるシリカ膜メンブレンリアクター

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

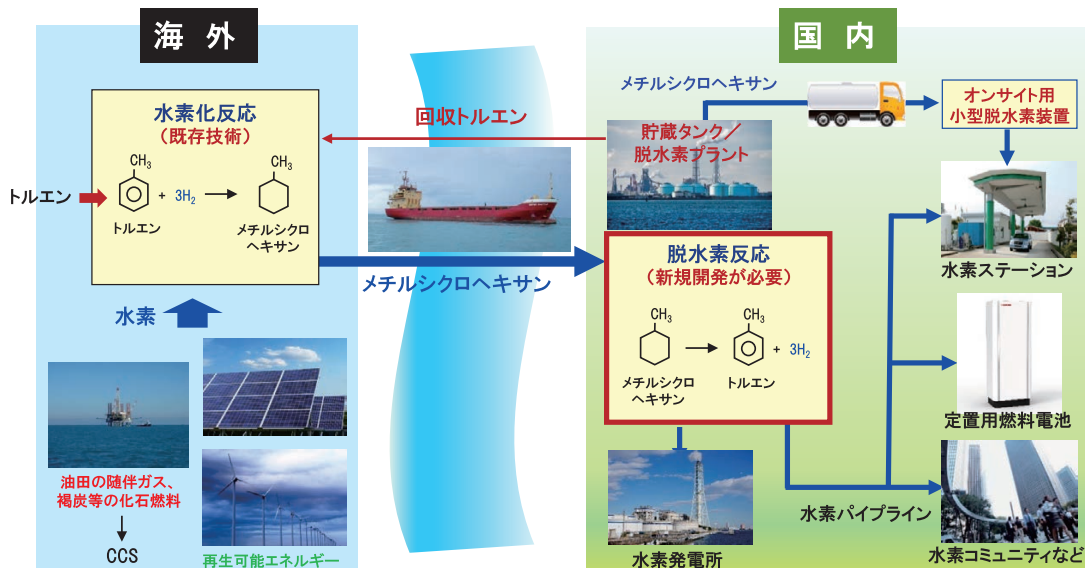


図1 エネルギーキャリアコンセプト

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

当センターでは、商業施設やオフィスビルなど中小規模の需要家を対象にMCHから高純度水素を効率的・安定的に取り出す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リアクター（膜反応器）の研究開発を進めている。

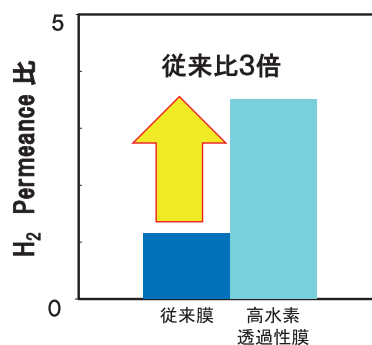
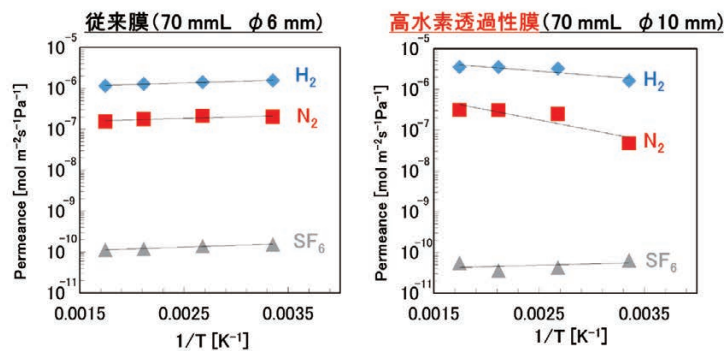


図2 高性能シリカ膜の特性

これは千代田化工建設株式会社と共同で受託している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、水素分離膜であるシリカ膜の一層の性能向上および長尺化を図るとともに、メチルシクロヘキサンからの脱水素・精製を行う単管メンブレンリアクターの開発、シリカ膜複数を有したメンブレンリアクター試験装置の開発等を行っている。

シリカ膜の性能向上では、水素の透過速度（ H_2 パーミアンス）が大きく、かつ、水素以外の分子を通さないこと（分離係数 $\alpha = H_2$ パーミアンス/ SF_6 パーミアンスが大きいこと）が求められるが、一般にはパーミアンスと分離係数 α はトレードオフの関係にある。当センターでは、このトレードオフが生じる原因を個別要因にブレイクダウンして考察し対策を講じることで、パーミアンス $>3.5 \times 10^{-6} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{Pa})$ 、分離係数 $\alpha 63,000$ の世界最高性能を達成した（図2）。

また、シリカ膜の長尺化では、実機として想定される500mm長の製膜を検討した。上述のように、良好な分離性能を有するシリカ膜を形成するにはパーミアンスと分離係数を高い次元で両立させる必要がある。そのためには、約0.3~0.5nmの分子サイズの孔を、ピンホールなく、500mm上に均質に作製する技術が求められる。製膜条件と生成した膜の相関とメカニズムを想定し多面的な検討を行った結果、200mmLのシリカ膜と同等の500mmLの高性能なシリカ膜の製膜に成功した（図3）。

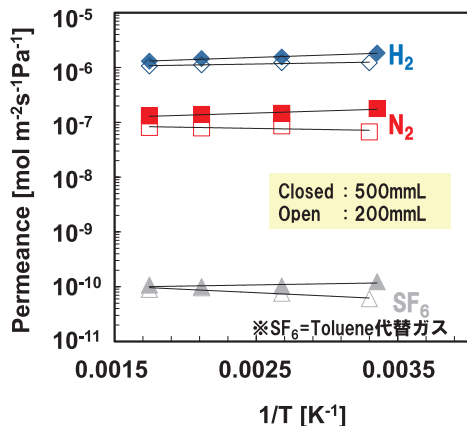
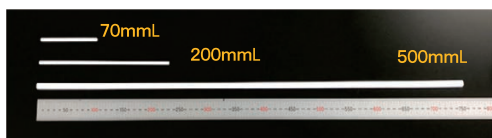


図3 500mm長尺シリカ膜の特性

メンブレンリアクターは、無機分離膜を用いて生成物を選択的に反応場から取り出すことにより、平衡反応において平衡シフト効果が得られ、転化率の向上が図れる反応器である。当センターでは、MCH脱水素反応に単管メンブレンリアクターを用いて検討を進め、明確な平衡シフト効果を実験的に確認し、その有効性を実証してきた（図4、5）。

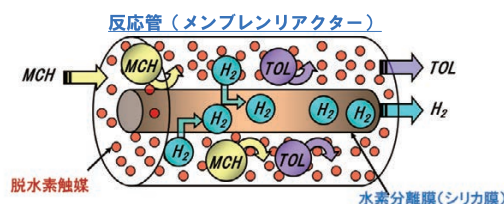
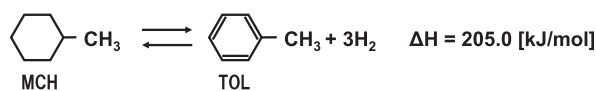


図4 単管メンブレンリアクターの概念図

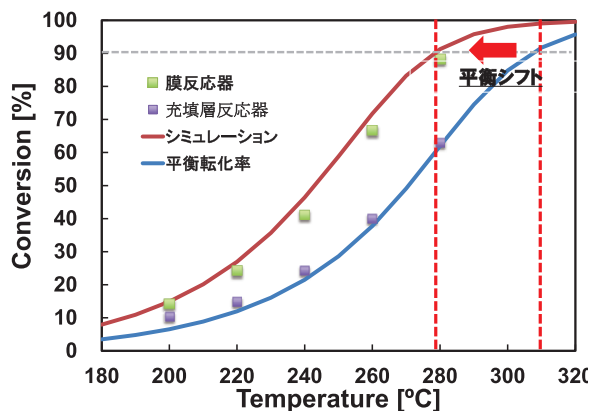


図5 単管メンブレンリアクターによる平衡シフト効果

2017年度は、さらに、単管メンブレンリアクターの反応側供給圧力の高圧化の検討を行っている。これまで、高圧ガス保安法により供給側圧力が300kPaAに制限されていたため透過側を減圧にしていたが、2016年11月の規制緩和により、供給圧をより高めることが可能となり、水素用減圧ポンプを取り外して透過側を常圧とすることが可能か検討を開始した。シミュレーションの結果、これまで標準としていた供給圧300kPaA/透過圧25kPaAに対して、供給圧500kPaA/透過圧105kPaAとした場合でも反応条件を適切に選択すれば同等の転化率が得られ（図6）、減圧ポンプ除去等の設備費低減が図れることが示された。現在、単管メンブレンリアクターを用いた実験による基礎データの収集を行っている。

メンブレンリアクターのモジュール化では、これまで

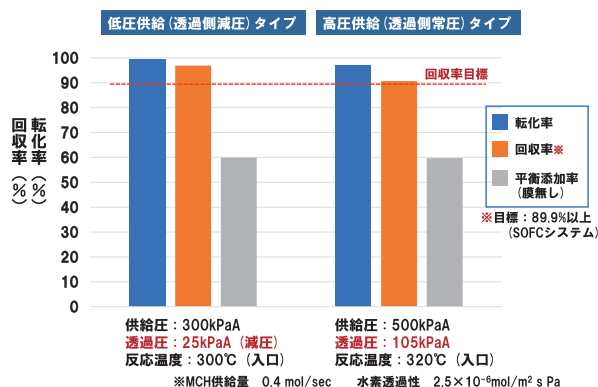


図6 高圧化運転によるシミュレーション結果

でに200mmLのシリカ膜7本から構成される試験装置を作製し、運転データを蓄積してきた。得られたデータ、課題をもとに、反応管構造の改良を進め、2017年度は、実用サイズの膜長である500mmLのシリカ膜3本から構成される試験装置を設計・製作し（図7）、各種エンジニアリングデータを収集した。

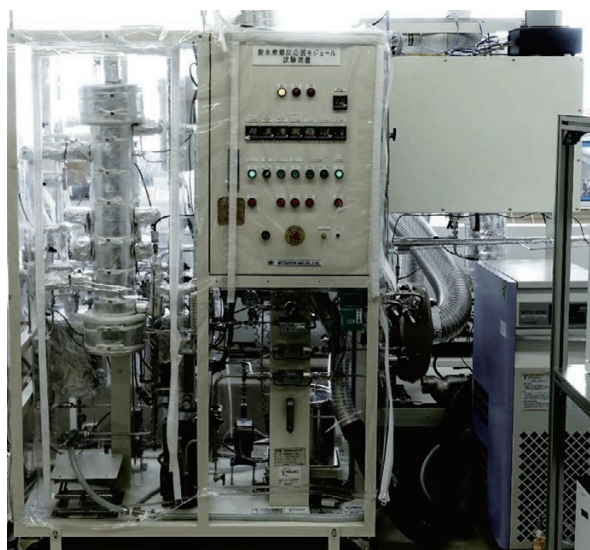


図7 メンブレンリアクターモジュール試験装置外観

その結果、500mmLのシリカ膜を用いた場合でも顕著な平衡シフト効果が確認され、平衡転化率の42.1%を大幅に上回る転化率が得られることが検証された（図8）。

今後、スケールアップを目的にし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。

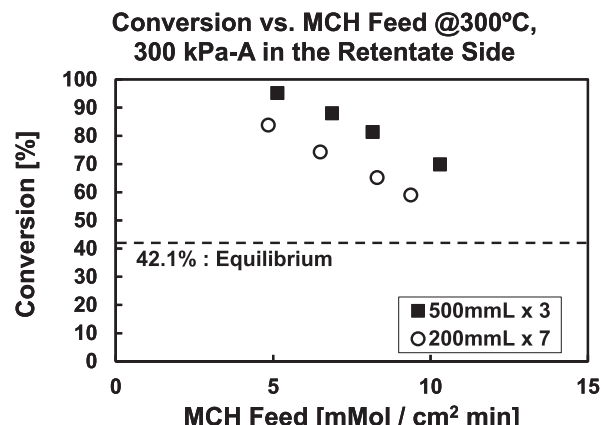


図8 メンブレンリアクターモジュール試験装置の運転結果

3. CCU技術の開発

2017年10月、RITEはJFEスチール、エネルギー総合工学研究所、国際石油開発帝石、日立造船と共同で、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／CO₂有効利用技術開発」に採択された。

供給安定性および経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、長期エネルギー需給見通しにおいて、2030年度の国内の総発電電力量の26%を担う重要な電源であると位置づけられている。しかし、これら石炭火力発電はCO₂排出量が比較的多く、分離回収後のCO₂有効利用（CCU: Carbon Capture and Utilization）が検討されている。現時点ではCO₂の大規模処理は困難であるものの、再生可能エネルギーを活用するなどして有価物の製造等により利益や価値を創出する可能性も考えられる。今後は、再生可能エネルギーの活用などにより、石炭火力発電と相互にその特長を生かし、我が国の電力の安定供給、CO₂排出量の削減を目指していくことが必要と考えられている。

そこで本事業では、2030年度以降を見据え、将来の有望なCO₂有効利用技術（CCU技術）の確立を目指して、我が国の優れたクリーンコールテクノロジー（CCT: Clean Coal Technology）等に更なる産業競争力を賦与することが可能なCCU技術を確立することを目的とし、CO₂有効利用品製造プロセスやシステムにおけるCCU技術の総合評価を実施する計画である。

化学研究グループと企画調査グループの協力も得てCO₂分離回収技術および有効利用技術の調査を行い、

最適な組み合わせを検討するとともに、メンブレンリアクター等によるプロセスの高効率化についても検討を行う予定である。

4. ピュアシリカCHA型ゼオライト膜の開発

アルミノシリケートのゼオライト膜はこれまでに30種類以上の構造体が報告されているものの、ピュアシリカゼオライト膜についてはMFI、DDRに加えて最近LTAの膜化が報告されている程度である。当センターはこれまでに報告例のなかった2種のピュアシリカゼオライトの分離膜化に成功している（Si-CHA膜（RITE-1膜）およびSi-STT膜（RITE-2膜）、特許出願中）。これまでに検討を重ねた結果、①3次元構造、②高い細孔容積、③酸素8員環細孔、を有するSi-CHAゼオライト膜は、耐水蒸気性とCO₂高速透過を両立できることを見出した。

図9に示すように、特にSi-CHA膜におけるCO₂/CH₄分離性能は、CO₂透過速度: 4.0×10⁻⁶mol/m²sPa以上かつCO₂/CH₄透過速度比: 100を上回り、先行の各種ゼオライト膜よりも優れた分離性能を示している。また、水蒸気に曝露しても透過性能に変化はなく、耐水蒸気性を有することから、より実用に適した膜構造であると考えられる。新規開発したSi-CHA膜は、CO₂分離用途以外にも、様々な分離用途に対して高い潜在能力を有しており、水素分離膜としての有用性も確認している。現在、実用化を見据えた長尺化・モジュール化ならびにそれらの膜を用いた分離プロセスを検討しているが、今後、実用化技術開発、実証検討を通じて早期の実用化を図っていく計画である。

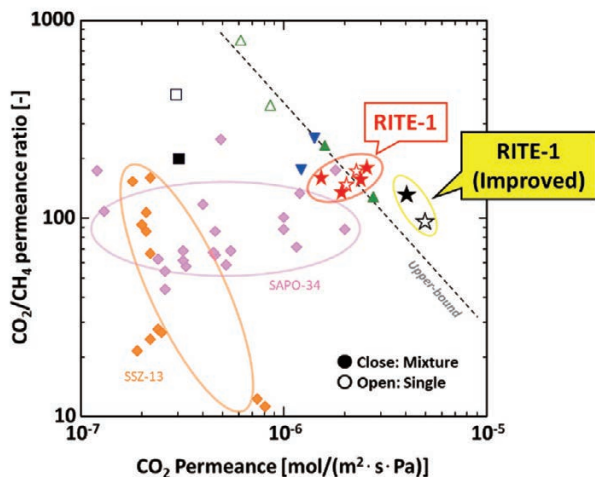


図9 Si-CHA膜のCO₂分離性能

5. 実用化・産業化に向けた取り組み

当センターの産業連携部門は、2016年4月15日に、分離膜・支持体メーカー、ユーザー企業とともに、「産業化戦略協議会」を設立した。

この協議会は、分離膜・支持体メーカーとユーザー企業計16社（2018年1月時点）が参画し、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有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」の設置及び運営
- 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センター研究部門への研究員派遣の受け入れ、研修会の実施
- ④センターアドバイザリーボード及び研究部門からの技術指導
- ⑤協議会員向け無料セミナーの開催
- ⑥協議会員向けニーズ・シーズ情報の発信などの事業を推進している。

研究会については、前年度にテーマの検討・選定を行った結果次の2016年11月に3つの研究会を設置し、活動を開始した。

- ①CO₂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

2017年度は、各研究会およびその下部組織として具体的な作業を進める作業部会の開催（各研究会別に、2017年末までにそれぞれ計6～7回の作業部会を実施）を通じて調査検討を実施しており、実用化に向けたロードマップの作成と国費事業化に向けた準備を進めている。3つの研究会とともに平成31年度の国費事業等の立ち上げを目指している。

また、協議会会員向けセミナーを定期的で開催している（2018年1月時点で3回開催。年間4回開催予定）。アドバイザリーボード、会員企業、膜関連企業などから最新の研究開発動向やニーズ、シーズの紹介、膜の実用化開発事例の紹介など計10件の講演を行い、活

発な質疑・応答、討論が行われた。参加者からは、無機膜の実用化・産業化に有用な知識を得られる上に、会員企業間や第一線の研究者との交流の場としても有意義な場であると高い評価を得ている。

2017年度の新しい取り組みとして、10月に2日間にわたって山口大学大学院で研修会を開催し、無機膜関連の講義・製膜法の実験、作成膜の分析・評価手法指導の機会を設けた（図10）。



図10 山口大学での若手・中堅研究者向け研修会

会員企業7社から若手研究者中心に10名の参加があったが、参加者からは、最先端の無機膜実験手法を学習することが出来、貴重な経験が出来たと好評であった。

さらに、協議会会員向けセミナーの講演内容に関連する特許・文献調査を行い、その要約に無機膜研究センターとしてのコメントを付したニーズ・シーズ情報も、定期的に会員に提供している。加えて、無機膜関連の国際会議である第14回無機膜国際会議(ICIM2016)、及び第7回ゼオライト膜国際会議(IZMM2016)で注目された講演についてもその要旨およびRITEのコメントを提供するなど会員企業の無機膜の実用化・産業化に向けた活動をサポートしている。

6. おわりに

以上のように、無機膜研究センター設立2年目の2017年度は、水素の製造、輸送・貯蔵やCO₂分離・回収などに必要な研究開発で着実に成果を上げるとともに、新しいNEDO事業の立ち上げも行った。また、研究開発成果の実用化・産業化に向けた活動も本格化

しており、センターとしての基盤が固まりつつあると言える。今後、世界の無機膜開発・実用化をリードする中核組織となるよう鋭意活動を進めていきたい。



IPCCワークショップ、IPCCシンポジウム

経済産業省主催、RITE共催で「気候変動の緩和について考えよう－IPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組み－」と題するワークショップとシンポジウムを2017年11月に開催しました。IPCCでは、2016年11月のパリ協定の発効を受けて、「1.5℃気温上昇による影響とそれに関連する排出経路に関する特別報告書（1.5℃特別報告書）」の執筆を進めており、また、「第6次評価報告書（AR6）」のアウトラインが2017年9月に、執筆者が2018年2月に決まり、2022年の完成を目指して執筆が開始するところです。この時期に、海外および国内の有識者を講師・パネリストとして招聘してワークショップとシンポジウムを開催し、政府関係者や大学・企業関係者をはじめ合計約290名の方々にご参加者頂きました。

(1) IPCCワークショップ

開催日 2017年11月14日（火）

場 所 品川プリンスホテル メインタワー（東京）

プログラム

- ・基調講演「IPCC第5次評価報告書 第三作業部会報告の主な知見と第6次報告書に向けての計画」
IPCC 第三作業部会 共同議長 Jim Skea
- ・講演-1「CO₂ゼロエミッション技術をめぐる－IPCC AR6 WG3への要請－」
RITE理事長・IPCC国内連絡会座長 茅 陽一
- ・講演-2「カーボンプライス 新たな視点からの国際比較－古くて新しい指標－」
日本エネルギー経済研究所 研究主幹 小川 順子
- ・パネルディスカッション
「IPCCへの期待と課題、および温暖化対策への取り組みについて」
モデレータ: RITE 参与 山口 光恒
- パネリスト:
IPCC 第三作業部会 共同議長 Jim Skea
慶應義塾大学 経済学部 教授 大沼あゆみ
日本エネルギー経済研究所 研究主幹 小川 順子
豊田中央研究所 部長・主席研究員 梶野 勉
キャノングローバル戦略研究所 上席研究員 杉山 大志

Jim Skea共同議長から、第5次評価報告書の主な知見、および、1.5℃特別報告書、第6次評価報告書第三作業部会報告の章立てや構想、また、共同議長として抱いている希望や認識している課題などに関する基調講演に続き、茅陽一理事長、小川順子日本エネルギー経済研究所研究主幹から第6次評価報告書に盛り込まれるべき重要な論点や今後の取り組み課題などに関して講演頂きました。更に、パネルディスカッションでは、各界からの有識者にも加わって頂き、幅広い観点からのIPCCへの期待と課題、および温暖化対策への取り組み方について議論を行いました。

(2) IPCCシンポジウム

開催日 2017年11月29日（水）

場 所 TKPガーデンシティPREMIUM京橋（東京）

後 援 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構
プログラム

- ・基調講演「IPCC第6次評価サイクルにおける評価の新しい要素－第三作業部会の貢献に焦点を当てて」
IPCC 第三作業部会 副議長 Diana Ürge-Vorsatz
- ・講演-1「2050年に向けた建築分野の脱炭素化」
建築環境・省エネルギー機構 理事長 村上 周三
- ・講演-2「地球温暖化対策における産業界の役割とIPCCへの期待」
日本経済団体連合会 環境安全委員会座長 手塚 宏之
- ・パネルディスカッション
「IPCCへの期待と課題、および温暖化対策への取り組みについて」
モデレータ: RITE 参与 山口光恒
- パネリスト:
IPCC 第三作業部会 副議長 Diana Ürge-Vorsatz
RITEシステム研究リーダー・主席研究員 秋元 圭吾
東京大学 公共政策大学院 教授 有馬 純
東京大学 生産技術研究所 特任教授 岩船由美子
日本経済団体連合会 環境安全委員会 座長 手塚 宏之
三井物産戦略研究所 シニア研究フェロー 本郷 尚

Diana Ürge-Vorsatz副議長から、高水準の緩和取り組みの可能性が期待されている都市部における戦略、および、第6次評価報告書の政策決定に与える重要性、アウトラインで取り上げられている新しい要素などに関して基調講演を頂いた後、村上周三 建築環境・省エネルギー機構理事長からは建築分野の脱炭素化の現状と動向、また、手塚 宏之 経団連環境安全委員会 座長からは産業部門における取り組みとIPCCへの期待に関する講演を頂きました。また、後半のパネルディスカッションでは、参加者から質問・意見を幅広く受けながら、有意義な議論を行うことができました。





企画調査グループ

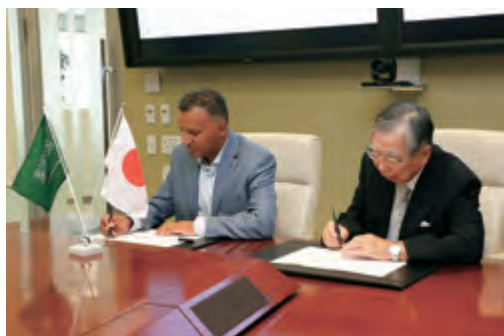
アラムコ・アジア・ジャパンからの寄付金に関する調印式

サウジアラビアの国営で世界最大の石油会社サウジアラムコの日本法人であるアラムコ・アジア・ジャパン株式会社（AAJ）が提供する寄付金の対象に当機構が選ばれ、8月4日（金）、東京丸の内のAAJオフィスにおいて、寄付金授受に関する合意書への調印式を行いました。

本寄付金は、AAJが環境保護や環境に関する研究活動に拠出するもので、今回は、当機構が取り組むCCS（Carbon dioxide Capture and Storage, 二酸化炭素回収・貯留）をはじめとする革新的な地球温暖化対策技術の研究開発活動を支援することを目的に贈られました。調印式では、AAJのアンワール・ヒジャズィ代表取締役社長より当機構の研究開発への期待が述べられ、これに応じて当機構の茅陽一理事長から寄付金を研究推進のために有効に活用していきたい旨を述べた後、合意書に署名を行いました。

本国のサウジアラムコからも、当機構が取り組むCCSをはじめとする温暖化対策技術には関心を持っていただいております。これまでに当機構の研究施設の視察にも来ていただいております。

今回の寄付金をきっかけとして、今後も、サウジアラムコ、AAJとの情報交流を深め、更なる連携についても検討して参ります。



企画調査グループ

革新的環境技術シンポジウム2017
～温暖化対策の長期戦略を支える革新的技術の開発推進～

当機構は、全研究グループ、センターの研究成果を報告する場として、本シンポジウムを毎年開催しています。今年は招待講演に経済産業省の岸本大臣官房審議官をお迎えし、COP23の結果や我が国の地球温暖化対策の長期戦略の方向性等についてご講演頂きました。また、基調講演として当機構の山地所長より、将来の二酸化炭素のゼロエミッションを目指したエネルギー・地球温暖化対策関連技術の大幅なイノベーション創出のための方策と課題について講演しました。各グループ、センターからは最新の研究成果と今後の展望について講演すると共に、今年度から時間を拡大して開催したポスターセッションにおいて、参加者の方々と活発な意見交換を行いました。

開催日：2017年12月6日（水）

場 所：伊藤謝恩ホール（東京）

主 催：地球環境産業技術研究機構

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

参加者数 389名

プログラム

- ・招待講演：地球温暖化問題の現状と今後
経済産業省 大臣官房審議官（環境問題担当）
岸本 道弘
- ・基調講演：長期地球温暖化対策におけるイノベーションの役割
理事・研究所長 山地 憲治
- ・CO₂分離回収技術の実用化に向けた取り組み
化学研究グループリーダー 中尾 真一
- ・大規模CO₂地中貯留技術の実用化を目指した研究開発の取り組み
CO₂貯留研究グループリーダー 薛 自求
- ・革新的環境・エネルギー技術としての無機膜実用化への取り組み
無機膜研究センター長 中尾 真一
- ・低炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発
バイオ研究グループリーダー 乾 将行
- ・パリ協定国別貢献NDCの排出削減努力・政策評価システム研究グループリーダー 秋元 圭吾
- ・ゼロエミッションに向けた技術の動向
理事・企画調査グループリーダー 都筑 秀明



システム研究グループ

平成28年度ALPS国際シンポジウム
パリ協定の下での各国の政策と対策、その課題ー

2020年以降の気候変動対応の国際枠組みとなるパリ協定が、2016年11月に発効しました。パリ協定は、各国が自主的に目標を提出しレビューする仕組みとなっていますが、各国の温暖化対策への取り組み課題は顕在化してきている状況にあります。パリ協定発効という歓迎すべき状況の中、世界各国の状況への理解を深めつつ目指すべき対応策の方向性を探るため、研究事業ALPSの成果報告会としてALPS国際シンポジウムを開催し、国内外の著名な専門家にご講演頂きました。自然科学的、経済的、社会的、政治的な多くの不確実性の下でより良い気候変動リスク対応戦略をとること、持続可能な発展との調和をはかることの重要性について指摘されました。深い知見と経験を有する専門家によって、このように大変有意義な講演及び議論が展開されました。

開催日 2017年2月7日 (火)

場 所 虎ノ門ヒルズフォーラム (東京)

主 催 地球環境産業技術研究機構

共 催 経済産業省

参加者数 298名

プログラム

- ・ 全ての人々の持続可能な未来に向けた大転換
IIASA副所長 Nebojsa Nakicenovic
- ・ 地球温暖化リスクへの基本戦略
RITE理事・研究所長 山地 憲治
- ・ パリ協定の目標にいかに関与するかードイツとヨーロッパの経験による提言
ベルリン工科大学 教授 Georg Erdmann
- ・ 凍結: Brexit時代の英国気候変動政策
フィナンシャルタイムズ 環境担当記者
Pilita Clark
- ・ パリ協定下のサウジアラビアの削減目標を達成するための政策オプションの初期評価
アブドラ国王石油調査研究センター (KAPSARC)
ディレクター Douglas Cooke
- ・ トランプ新政権と温暖化対策
電力中央研究所 主任研究員 上野 貴弘
- ・ 短期的な政策的・社会的課題を踏まえた英国の長期排出削減目標の達成
ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン 教授
Neil Strachan
- ・ パリ協定約束草案の排出削減努力の評価
RITEシステム研究グループリーダー 秋元 圭吾

システム研究グループ

一般社団法人エネルギー・資源学会
論文賞、茅賞を受賞

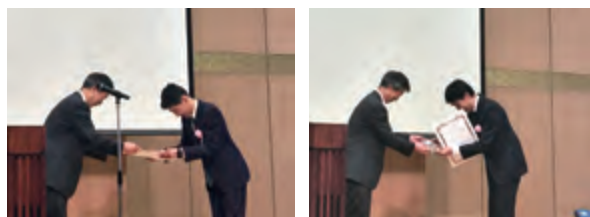
当グループの小田主任研究員及び魏研究員が、一般社団法人エネルギー・資源学会の論文賞と茅賞をそれぞれ受賞しました。

論文賞は、「エネルギー・資源学会論文誌」に掲載され、エネルギー・資源および環境に関する科学技術の発展に多大な貢献をした研究論文の著者に授与されるものです。また、茅賞は、エネルギー・資源・環境に関し、同学会の研究発表会あるいはコンファレンスで研究発表を行い、特に優秀な研究業績が認められた新進気鋭の研究者に授与されるものです。

論文賞を受賞した小田主任研究員の「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」は、将来のLNG価格と炭素価格が不確実な中、事業者から見た石炭火力（+二酸化炭素回収貯留技術、以下CCS）及びガス火力（+CCS）への投資リスクを、リアル・オプション法を用いて分析したものです。不確実性の下でCCS投資を促すためには、炭素価格が単に高いだけでなく、予見性があり安定的な炭素価格が望ましいことを明らかにしました。

茅賞を受賞した魏研究員の「気候変動緩和とPM2.5大気濃度低減の双方を考慮したエネルギーシステムの評価」は、気候変動緩和と大気汚染（PM2.5大気濃度）低減という二つの異なる政策目標に対して、コスト効率的なエネルギーシステムを分析し、コベネフィットを定量的に評価したものです。コベネフィットの大きい地域、コベネフィットを生み出す対策、エネルギーシステムへの影響、トレードオフ、費用効率的な対策について示しました。

2017年6月7日に砂防会館にて同学会の総会に引き続いて表彰式が執り行われ、小田主任研究員と魏研究員に表彰状が授与されました。



小田主任研究員

魏研究員



システム研究グループ

COP23サイドイベント

パリ協定の下での持続可能な気候変動対応に向けて

RITEでは、米国未来資源研究所（RFF）等と協力して、パリ協定において非常に重要な国別貢献（NDC）による排出削減努力の評価方法を示すとともに、実際の緩和対策費用が最小コストよりも高いことを踏まえて、経済コストの評価を行っています。このたびこれらの成果について発表・議論を行うため、ドイツ・ボンでのCOP23において、サイドイベントを開催しました。

まず、米国未来資源研究所（RFF）のRaymond Kopp氏による概要説明の後、RITE秋元グループリーダーよりNDCと長期目標を評価するためのRITEの研究を紹介しました。NDCの野心は現在詳細議論中のプレッジ・アンド・レビューのプロセスを通じて評価と向上が行われることから、NDCの努力水準を測定・比較するためのツールを示すとともに、長期目標に関しては、明示的に高い炭素価格付けを行うよりも現実的な措置で2℃目標を達成するための社会的および技術的イノベーションの重要性を強調しました。その後、エニ・エンリコ・マッティ財団（FEEM）のCarlo Carraro氏からNDCが持続可能な開発目標（SDGs）に及ぼす影響を、欧州地中海気候変動センター（CMCC）のAntonio Navarra氏より気候変動に関係する各分野のモデルについて、また経団連の手塚宏之氏から経団連の自主行動計画とNDCの提出プロセス等について紹介を行いました。



開催日：2017年11月14日（火）

場 所：COP23 Japan Pavilion（ドイツ・ボン）

主 催：RITE 共催：RFF、FEEM

また、翌11月15日（水）に、同会場の Turkey Pavilionにおけるサイドイベントにて、RITEショアイ研究員より同発表を行いました。



化学研究グループ

平成29年度日本エネルギー学会論文賞受賞
～アミン系吸収液による燃焼後CO₂回収のエネルギー消費低減の可能性検討～

後藤主任研究員、Chowdhury主任研究員、山田主任研究員、東井主席研究員が執筆した論文「Potential of Amine-based Solvents for Energy-saving CO₂ Capture from a Coal-fired Power Plant」が、平成29年度日本エネルギー学会論文賞を受賞し、第26回年次大会（8月1、2日）において表彰されました。

本論文は、アミン系吸収液とCO₂との反応機構に基づくCO₂溶解モデルを用いてCO₂を分離回収する際のエネルギー消費を推算し、その低減に必要な吸収液特性を検討しています。更に、化学吸収法を石炭火力発電所に設置した場合の発電効率の低下を解析し、吸収液の高性能化による発電効率の低下抑制の可能性を定量的に示しました。論文賞受賞は、これらの成果がCO₂分離回収技術およびCCS実用化検討の進展に貢献する知見を提供したとして評価されました。

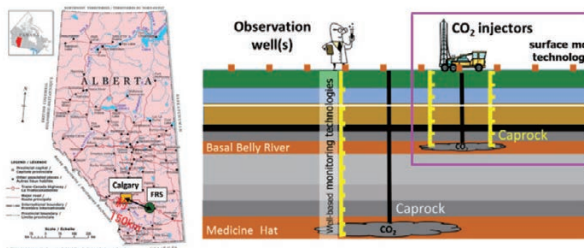
化学吸収法を用いたCO₂分離回収技術において、先行の商業化済み技術はCCSの実用化に向けた実証ステージを既に終了し、技術的にReadyの状態にあります。しかし、本論文が示したように、従来技術の延長線上にあるアミン水溶液では更なるエネルギー消費削減・低コスト化に限界があります。化学研究グループは、分子設計・合成による新規物質の創製や、新規の発想による吸収液の開発等、様々なアプローチにより、CO₂分離回収のための革新的な化学吸収法の研究開発に取り組んでいます。



後藤主任研究員

CO₂貯留研究グループCaMI FRS サイトでの
分布式光ファイバー測定試験

CMC Research Institutions, Inc. に属する研究機関であるCaMI(The Containment and Monitoring Institute) とカルガリー大学は、CO₂地中貯留のモニタリング技術開発とその検証を行うために、カナダ・カルガリーに研究試験場 (CaMI/FRS) を開設しています。CaMI/FRSの目標は、地中のガス相CO₂飽和度の評価と、地中のCO₂移行の早期検出のためのモニタリング手法の開発・改良となっています。本プロジェクトには、CMCとカルガリー大学の他にも、カナダの1機関、ノルウェーの2機関、米国の2機関、ドイツの1機関が参画し、三次元弾性波探査、VSP、微小振動観測、電気探査、微重力探査、地表変状測定、温度測定、地化学反応、地下水・地表環境等のモニタリング技術の検証が実施されています。現在Phase1として、2017年10月に深度300mの貯留層へのCO₂圧入が開始され、モニタリングが行われています (図)。



CaMIサイト位置と測定試験概要

CO₂貯留研究グループではCaMI/FRSにおいて、分布式光ファイバー測定技術 (DFOS) を用いて、地層のひずみ測定法の検証を行っています。2017年11月に、米国ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL) が設置した音波測定 (DAS) 用の光ファイバーを利用し、1回目の現場計測テストを行いました。この試験結果の解析により、光ファイバーの種類や設置方法による応答の違いが明らかになりました。2回目の現場測定を2018年夏ごろに予定しています。CaMI/FRSでの他の観測結果との比較・検討により、浅層におけるCO₂移行特性の解明に寄与し、光ファイバーによる漏出CO₂の早期検知の有効性を明らかにすることも期待されています。

参考文献

Lawton et al. (2016) CaMI Field Research Station: Shallow CO₂ release monitoring. IEAGHG Monitoring and Modelling Workshop.

CO₂貯留研究グループ

CCSテクニカルワークショップ

本ワークショップでは、米国Decatur、ノルウェーSmeaheiaといった実施中、あるいは今後実施予定の実プロジェクトに関わる専門家をお招きし、大規模CO₂地中貯留技術の実用化に向けて、リスクマネジメントの観点も含めた最新の知見・手法についてご講演いただきました。また、「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」で進めている実用化規模の貯留技術の開発、CCSの安全性を高める技術開発、CCS実用化のための条件整備等の研究開発の最新状況について紹介しました。

プログラム

- ・講演1：米国イリノイ州のDecaturサイトの大規模貯留層評価の事例紹介

Illinois State Geological Survey Scott Frailey

- ・講演2：日米CCS技術協力とNRAPプロジェクトの概要

RITE CO₂貯留研究グループ主席研究員 薛 自求

- ・講演3：光ファイバーセンシングによるCO₂挙動モニタリング技術開発

Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)

Barry Freifeld

- ・講演4：我が国のCO₂地中貯留技術実用化研究開発の取り組みについて

RITE CO₂貯留研究グループ主席研究員 薛 自求

- ・講演5：フルスケールプロジェクトにおけるSmeaheiaサイトのフィージビリティスタディの事例紹介

Gassnova SF Kari-Lise Rorvik



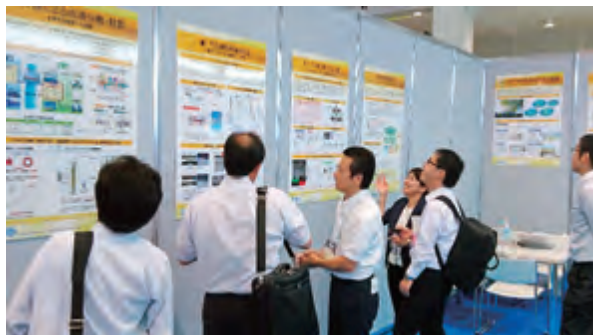


無機膜研究センター

関西高機能セラミックス展

第2回関西高機能セラミックス展（リードエグジビジョンジャパン（株）主催）が2017年9月20日～22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）の研究開発の成果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、メーカーからの用途に関する相談、ユーザー企業からの無機膜を用いることのメリット等に関する質問など、数多くのご相談・ご質問をいただきました。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

無機膜研究センター

未来を拓く
無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム

無機膜やエネルギー分野における著名な研究者に最新の研究開発動向をご講演いただくとともに、当センターの研究開発成果を報告しました。続いて行ったパネルディスカッションでは、無機膜を用いた環境・エネルギー技術の実用化・産業化に向けた展望について、経済産業省、企業経営層の方々、当センター長をパネリストとして熱心に議論いただきました。来場者の皆様からは、無機膜の国際的な動向や可能性がよく分かったと好評をいただきました。

開催日 2017年11月7日（火）

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 199名

プログラム

- ・基調講演 エネルギー・環境政策におけるイノベーションの役割
RITE理事・研究所長 山地 憲治
- ・特別講演 無機膜分離プロセスの最新動向と今後の展望
早稲田大学 理工学術院 教授 松方正彦
- ・特別講演 水素社会実現に向けた動向と課題
—CO₂フリー水素と無機膜の役割—
東京工業大学 特命教授 岡崎 健
- ・活動報告 無機膜研究センターの研究成果と今後の計画
RITE無機膜研究センター長 中尾 真一
- ・パネルディスカッション
「無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の産業化に向けて ～無機膜研究センター・産業化戦略協議会の意義～」
コーディネータ；
大阪ガス（株）顧問（産業化戦略協議会会長）久徳 博文
パネリスト；
経済産業省素材産業課革新素材室長 沼舘 建
RITE無機膜研究センター長 中尾 真一
日立造船（株）常務取締役 白木 敏之
千代田化工建設（株）参与 細野 恭生
日揮（株）常務執行役員 保田 隆



バイオ研究グループ

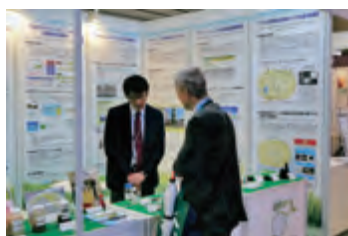
BioJapan2017

World Business Forum BioJapan 2017が2017年10月11日～13日にパシフィコ横浜において開催されました。2016年に引き続き再生医療JAPAN2017との共同開催で、来場者数は過去最高の15,711名となりました(2015年14,153名、2016年15,133名)。

(1) 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、経済産業省「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」、RITEバイオプロセスの事業化事例としてGreen Earth Institute(株)(GEI)における取組、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)
- ③バイオ水素生産技術開発
- ④バイオ燃料ブタノール生産技術開発
- ⑤100%グリーンジェット燃料生産技術の開発
- ⑥RITEバイオプロセスの事業化
- ⑦グリーンフェノール開発株式会社
- ⑧グリーンフェノール製造技術開発
- ⑨グリーン芳香族のバイオ生産の新展開



【サンプル等の展示】

非可食バイオマス、GPDのグリーンフェノール樹脂成形品、GEIによる事業化第1号となったL-アラニンや同社の化粧品用エタノール等、サンプルや写真を展示しました。



(2) 隣接するNEDOブースに、NEDO「スマートセルプロジェクト」で実施中の研究内容「コリネ菌を用いた有用芳香族化合物の生産向上による代謝解析技術の有効性検証」についてパネル出展しました。

(3) 10月12日、展示会場内ステージで、経済産業省「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」で実施中のプロジェクトについて成果発表を行いました

【発表内容及び発表者】

- ・「非可食バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造」(副主席研究員 平賀和三)
- ・「非可食バイオマスからの高効率バイオ水素生産」(副主席研究員 寺本陽彦)

多くの方にお越しいただき、誠にありがとうございました。



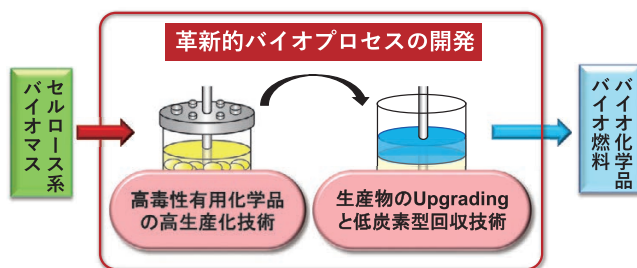
経済産業省 革新的高汎用性バイオプロセス

アルコール類、アルデヒド類、フェノール類などの化学品は、合成樹脂、可塑剤、医薬品、香料など様々な製品の製造に利用される重要な化合物群です。また、化学変換によってジェット燃料などの液体燃料に転換することも可能です。現在、これら有用化学品の多くは石油を原料とした化学プロセスによって製造されており、その製造工程では一般的に高温・高圧反応による大きなエネルギーの消費を伴うとともに、貴金属系の高価な触媒が用いられることもあります。一方、化学プロセスに対して微生物発酵法を利用した物質生産であるバイオプロセスは、微生物という再生可能で安価な触媒を用い、常温・常圧の温和な条件で行われることから、有用化学品の低コスト・低炭素型製造技術として非常に有望です。しかしこれら有用化学品の多くは微生物に対して高い細胞毒性を示すことから、従来のバイオプロセスではこのような物質を高生産できないという問題があります。また、微生物発酵生産そのものは非常に省エネルギーな工程ですが、生産した物質を発酵液から抽出するために蒸留などの大きなエネルギー消費を必要とすることもバイオプロセスによる物質生産のボトルネックとなっています。

毒性物質の高生産化対策としては現状では生産物ごとにスクリーニングによる耐性株の取得が検討されていますが、このような方法では短期間での大幅な生産性の改善は一般的に困難です。また生産物の抽出法も蒸留法に替わる様々な方法が開発されてはいるものの依然エネルギー消費は大きく、しかも物性に依存するため対象物質が変わればその都度一から検討しなおす必要があります。したがって従来のバイオプロセスで

は細胞毒性が高い有用化学品に対して合理的で迅速な高生産化を図るのは困難です。

そこでバイオ研究グループでは、従来のバイオプロセスとは全く異なるコンセプトによって、細胞毒性が高い様々なアルコール類、アルデヒド類、フェノール類の迅速な高生産化を一挙に可能にする革新的なバイオプロセスの開発を目指すことにしました。本プロジェクト「様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新的高汎用性バイオプロセスの開発」は、経済産業省「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」に2017年度採択され、現在実施中です。



高汎用性バイオプロセスの概要



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
2017年1月19日	CCSテクニカルワークショップ2016 ー安全な大規模CO ₂ 地中貯留に向けてー ・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 ・参加者数：365名	CO ₂ 貯留 研究グループ
2017年1月23日	第6回革新的CO₂膜分離技術シンポジウム ー地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向ー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：次世代型膜モジュール技術研究組合 ・参加者数：201名	化学 研究グループ
2017年1月26日	地球温暖化防止に向けての対策 ー第6次評価サイクルにおける IPCC の活動と今後の取り組みー ・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
2017年2月7日	平成28年度ALPS国際シンポジウム ーパリ協定の下での各国の政策と対策、その課題ー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：地球環境産業技術研究機構 ・参加者数：298名	システム 研究グループ
2017年11月7日	未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：地球環境産業技術研究機構 ・参加者数：199名	無機膜 研究センター
2017年11月14日	気候変動の緩和策について考えよう ーIPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組みー ・会場：品川プリンスホテル ・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：158名	企画調査 グループ
2017年11月29日	気候変動の緩和策について考えよう ーIPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組み (2) ー ・会場：TKPガーデンシティPREMIUM京橋 ・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：126名	企画調査 グループ
2017年12月6日	革新的環境技術シンポジウム2017 ー温暖化対策の長期戦略を支える革新的技術の開発推進ー ・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：389名	企画調査 グループ
2018年1月23日	CCSテクニカルワークショップ ー大規模CO ₂ 地中貯留技術の実用化に向けてー ・会場：イイノホール ・主催：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 ・参加者数：320名	CO ₂ 貯留 研究グループ



出展

開催日	出展イベント名・概要	関連部署
2017年9月20日～22日	第2回【関西】高機能セラミックス展 ・会場：インテックス大阪 ・主催：リード エグジビション ジャパン株式会社	無機膜研究センター
2017年10月11日～13日	BioJapan 2017 ・会場：パシフィコ横浜 ・主催：BioJapan組織委員会、 株式会社JTBコミュニケーションデザイン	バイオ研究グループ

プレスリリース

発表日	タイトル
2017年1月5日	平成28年度ALPS国際シンポジウム開催のご案内
2017年9月19日	省エネルギー型二酸化炭素分離・回収システムの実用化試験を関西電力舞鶴発電所で実施
2017年9月29日	「未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム」の開催
2017年10月17日	革新的環境技術シンポジウム2017開催のご案内
2017年11月6日	ワークショップ「気候変動の緩和策について考えよう －IPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組み－」開催のご案内
2017年11月13日	シンポジウム「気候変動の緩和策について考えよう －IPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組み（2）－」開催のご案内
2017年11月27日	CCSテクニカルワークショップ「大規模CO ₂ 地中貯留技術の実用化に向けて」開催について
2017年12月1日	第7回革新的CO ₂ 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－開催について

環境教育

実施日	実施場所	実施事項	人数
◆学校の校外学習（見学）の受け入れ・出前授業			
1月19日	RITE	精華町立精華南中学校 見学	5
1月25日	//	木津川市立木津川台小学校 見学	31
2月20日	精華南中学校	精華町立精華南中学校 出前授業	約60
5月8日	RITE	奈良県立奈良北高等学校 見学	38
5月19日	//	精華町立精華中学校 見学	10
8月2日	//	京都府立西舞鶴高等学校 見学	8
9月28日	//	奈良学園登美が丘中学校 見学	12
10月13日	//	島根県立益田高等学校 見学	22
11月11日	朱雀第四小学校	京都市立朱雀第四小学校 理科チャレンジ 出前授業	27
11月17日	RITE	精華町立精華西中学校 見学	12
◆ワークショップ・実験教室の開催			
2月4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」	66
8月24日に2回	//	// 「工作・実験教室」	54
◆イベント出展			
2月4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2017	－



企画調査グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Environmental impact of dispersed generation	T. Smolka, M. Katagiri, A.L. Mustafa, S. Hellweg, E. Mesquita, S. Martin, Y. Nakagami, E. Szechowicz, T. Dederichs, C. Capello, M. Haupt, L. Eymann.	ELECTRA, pp.49-55, No.291, April 2017
2	日本の気候変動政策決定プロセスの特徴と今後の課題 —欧米との比較を通して—	山口光恒	環境経済政策学会報告論文
3	Climate Change: What Informs a Nation's policy?	M. Yamaguchi	The Japan Journal, pp.10-13, July/August, 2017
4	地球温暖化リスクにどう対応すべきか	山地憲治	生活と環境, pp.31-36, No.739, 2017

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	日本のエネルギー政策と温暖化対策目標	山地憲治	福島事故後台日エネルギー政策の変換と原子力協力、国立台湾大学出版中心、2017年5月

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	炭素価格の概念及び炭素価格水準・政策実績評価に関する研究事例	小田潤一郎、秋元圭吾	日本LCA学会誌、Vol.13 No.1、2017
2	パリ協定2°C目標から見た我が国の2050年排出削減目標に関する分析	秋元圭吾、佐野史典	エネルギー・資源、Vol.38 No.1、2017
3	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, N. Yamagishi, G. Yoshizawa	Sustainability Science, Vol. 12, Issue 1, pp 31-44, Jan. 2017
4	Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models	O.Y. Edelenbosch, K.Kermeli, W.Crijns-Graus, E.Worrell, R. Bibas, B.Fais, S.Fujimori, P.Kyle, F. Sano, D.P.van Vuuren	Energy, Vol. 122, pp. 701-710, Mar. 1, 2017
5	Comparing emissions mitigation efforts across countries	J. Aldy, B. Pizer, K. Akimoto	Climate Policy, Vol. 17, Issue 4, pp. 501-515, 2017
6	Next step in geoengineering scenario research: Restrained deployment scenarios and beyond	M. Sugiyama, Y. Arino, T. Kosugi, A. Kurosawa, S. Watanabe	Climate Policy, Published online Jun. 8, 2017
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, Vol. 14, Issue 1, pp 193-206, Jun. 2017
8	Low-emission pathways in 11 major economies: comparison of cost-optimal pathways and Paris climate proposals	H. L. van Soest, L. A. Reis, L. Drouet, D. P. van Vuuren, M. G.J. den Elzen, M. Tavoni, K. Akimoto, K. V. Calvin, P. Fragkos, A. Kitous, G. Luderer, K. Riahi	Climatic Change, Vol. 142, Issue 3, pp 491-504, Jun. 2017
9	Preliminary Study on Policy Mix Effects on Economic Viability of Carbon Capture and Storage Project in Japanese Steel Industry	J. Oda, K. Akimoto	Energy Procedia, Volume 114, pp 7615-7624, July 2017
10	Prove Paris was more than paper promises	D. Victor, K. Akimoto, D. Cullenward, C. Hepburn, Y. Kaya, M. Yamaguchi	Nature 548, 25-27, 03 August 2017
11	GHG emission pathways until 2300 for the 1.5°C temperature rise target and the mitigation costs achieving the pathways	K. Akimoto, F. Sano, T. Tomoda	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Published online: Sep. 5, 2017
12	Deregulation, market competition and innovation of utilities: Evidence from Japanese electric sector	N. Wang, G. Mogi	Energy Policy, Vol. 111, pp.403-413, December 2017
13	Future Fossil Fuel Price Impacts on NDC Achievement; Estimation of GHG Emissions and Mitigation Costs	Y. Arino, F. Sano, K. Akimoto	Eurasian Journal of Economics and Finance, Vol. 5, Issue 4, pp.16-35, 2017



システム研究グループ

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	パリ協定を踏まえた地球温暖化への対応とエネルギーミックス	秋元圭吾	Enelog Vol. 24、2017
2	「パリ協定」目標の社会・経済的含意	和田謙一	環境情報科学2017年46巻3号、2017

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	日本の中期・長期的な緩和パスとその課題:モデル相互比較プロジェクトの試行	杉山昌広、藤森真一郎、和田謙一、遠藤聖也、藤井康正、小宮山涼一、加藤悦史、黒沢厚志、松尾雄司、大城賢、佐野史典	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
2	定量的な分析に基づくカーボンプライシングの評価	秋元圭吾、佐野史典、小田潤一郎、ショアイ・テラニ・ピアンカ	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
3	日本鉄鋼部門のCO ₂ 原単位推移に関する要因分析	小田潤一郎、秋元圭吾	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
4	複数の化石燃料価格シナリオ下でのパリ協定約束草案の評価	有野洋輔、佐野史典、秋元圭吾	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
5	複数のSSPシナリオの下での長期温暖化対策・費用の分析	佐野史典、秋元圭吾、本間隆嗣、小田潤一郎、林礼美、ショアイ・テラニ・ピアンカ、有野洋輔、魏啓為	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
6	1.5℃目標の実現性に関する課題の考察	和田謙一	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月2日
7	複数のSSPシナリオ及び温暖化緩和レベルにおける農業土地・水利用の推計	林礼美、佐野史典、秋元圭吾、中神保秀	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月3日
8	気候変動緩和とPM2.5大気濃度低減の双方を考慮したエネルギーシステムの評価	魏啓為、佐野史典、林礼美、秋元圭吾	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月3日
9	海岸部門における温暖化適応策の経済影響に関する分析	本間隆嗣、有野洋輔、林礼美、長島美由紀、友田利正、秋元圭吾	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月3日
10	EUにおける電力自由化の下での温暖化対策の課題	ショアイ・テラニ・ピアンカ、秋元圭吾、中神保秀、Pascal Da Costa	第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2017年2月3日
11	温暖化影響被害と適応策費用から見たリスク対応戦略	本間隆嗣、有野洋輔、林礼美、長島美由紀、友田利正、秋元圭吾	第36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月7日
12	気候変動緩和費用から見たリスク対応戦略	佐野史典、秋元圭吾	第36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月7日
13	気候変動リスクに関する専門家へのアンケート調査・分析及びそれによるリスク対応戦略への示唆	小田潤一郎、秋元圭吾、林礼美	第36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月7日
14	SRMオプション価値を活用した気候変動リスク対応戦略	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36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月7日
15	気候変動リスク対応戦略の考え方と関連分析	秋元圭吾、佐野史典、本間隆嗣、小田潤一郎、有野洋輔、林礼美、魏啓為	第36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月7日
16	日本鉄鋼部門のエネルギー原単位長期推移の評価分析	小田潤一郎、秋元圭吾	第36回エネルギー・資源学会研究発表会、2017年6月8日
17	現行の気候・エネルギー政策を考慮した約束草案の評価	魏啓為、佐野史典、本間隆嗣、小田潤一郎、林礼美、秋元圭吾	日本エネルギー学会第26回大会、2017年8月2日
18	核融合エネルギー開発の動向	魏啓為	エネルギー・資源学会サマワーキングショップ2017、2017年8月21日
19	世界のエネルギーシナリオにおける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	日本原子力学会2017年秋の大会核融合工学部会セッション、2017年9月14日
20	エネルギー価格のボラティリティに関する分析	小田潤一郎	日本リアルオプション学会 研究発表大会2017、2017年11月25日

口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Economic Impacts of Climate Change Adaptation Considering Spill-over Effects of Stock Investment as Adaptation Measures: Coastal Sector	T. Homma, Y. Arino, A. Hayashi, M. Nagashima, T. Tomoda, K. Akimoto	ICEESD 2017 : 19th International Conference on Ecosystems, Environment and Sustainable Development, Feb. 16-17, 2017, UK
2	Towards co-producing environmental scenario research: A case of climate engineering	杉山昌弘、有野洋輔、朝山慎一郎、石井敦、小杉隆信、黒沢厚志、渡辺信吾	JpGU-AGU Joint Meeting 2017（地球惑星科学連合大会）、May 20, 2017, Japan



システム研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
3	長期的なCO ₂ 削減シナリオとの分析とCCSの位置付け	中神保秀、秋元圭吾	JpGU-AGU Joint Meeting 2017（地球惑星科学連合大会）、May 20, 2017, Japan
4	Combined effects of electricity market liberalization and climate policy: Lessons from Europe	B. Shoai Tehrani, P. Da Costa, K. Akimoto, Y. Nakagami	40th IAEE International Conference, Jun. 19, 2017
5	Deregulation and Utility Innovation: The Case of Japanese Electric Sector	N. Wang, G. Mogi	40th IAEE International Conference, Jun. 20, 2017
6	An Economic Evaluation of the Nationally Determined Contributions of the Paris Agreement under Multiple Scenarios on Fossil Fuel Prices	Y. Arino, F. Sano, K. Akimoto	23rd Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE), Jun. 30, 2017
7	Estimation of Japanese Steel Product Trade Elasticity of Substitution	J. Oda, T. Homma, K. Akimoto	15th IAEE European Conference 2017, Sep. 6, 2017, Austria
8	An assessment of global land-use change required for achieving the 2°C and 1.5°C targets	A. Hayashi, F. Sano, K. Akimoto	12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), Oct. 8, 2017, Croatia
9	An analysis of cost-efficient energy systems in consideration of climate change and ambient PM2.5 concentration mitigation by using a global energy systems model	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, K. Akimoto	12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), Oct. 8, 2017, Croatia

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	地球温暖化対応を踏まえたエネルギー戦略と課題	秋元圭吾	原子力委員会定例会、2017年1月10日
2	現実社会での制約、多目的性を意識した温暖化対策の評価	秋元圭吾	シンポジウム 地球温暖化防止に向けての対策—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—、2017年1月26日
3	ALternative Pathways toward Sustainable development and climate stabilization (ALPS)	Junichiro Oda	Expert workshop towards further collaboration between Japanese research community and IIASA, Jan. 30, 2017, Japan
4	RITE ALPSII Project and IIASA-RITE Collaboration	秋元圭吾	国際シンポジウム IIASAと日本—「2050年の世界」プロジェクトを軸とした将来展望—、2017年1月31日
5	「第10章 産業・生活環境」（執筆・資料提供者）	魏啓為、秋元圭吾	平成29—30年環境年表、丸善出版、2017年1月
6	パリ協定約束草案の排出削減努力の評価	秋元圭吾	ALPS国際シンポジウム、2017年2月7日
7	知っていただきたいエネルギーの話	秋元圭吾	原子力講演会（伊方原子力広報センター）、2017年2月18日
8	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 東京、2017年2月21日
9	エネルギーから見た将来展望	秋元圭吾	スマートエネルギー推進グループ会議（近畿経済産業局）、2017年2月22日
10	地球温暖化とエネルギー	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）、2017年2月23日
11	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核融合の導入可能性評価	魏啓為	核融合エネルギーフォーラム 平成28年度第1回実用化戦略クラスター会合、2017年2月24日
12	Challenges for Land-use and Water Management Under the 2°C Target	A. Hayashi, F. Sano, K. Akimoto, T. Homma, Y. Nakagami	Global Carbon Project/Managing Global Negative Emission Technologies Workshop, Pre-conference, Mar. 1, 2017, Austria
13	パリ協定を踏まえて日本のエネルギーの将来を考える	秋元圭吾	大阪科学技術センター エネルギー技術対策委員会 講演会、2017年3月9日
14	省エネ・低炭素化技術および製品の海外展開による排出削減と経済効果の試算	秋元圭吾	経済産業省地球温暖化対策プラットフォーム 海外展開戦略タスクフォース会合、2017年3月31日
15	TEC14会合と技術交渉の見通し	和田謙一	第62回 TECUSE研究会、2017年4月19日
16	DNE21+ team paper (Assessments of long-term climate change mitigation scenarios from the perspectives of bioenergy contribution and middle-term climate policy)	F. Sano, K. Akimoto, A. Hayashi, T. Homma, K. Gi, K. Wada	Project meeting of EMF-33 bioenergy study, Apr. 25, 2017, France
17	The analyses on the economic costs, co-benefits and risks for the Paris Agreement goals	秋元圭吾	IEA Noon Talk, June 12, 2017
18	エネルギー需給の視点	秋元圭吾	第28回CEEシンポジウム「超長期のエネルギー需給解析の課題—定量分析の意義、課題と解決—」、2017年8月30日
19	日本の2030年に向けた排出削減のインパクトとその課題	秋元圭吾	関西経済連合会・アジア太平洋研究所「世界の温暖化対策の動向と日本の課題」講演会、2017年9月8日



システム研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
20	グローバルな視点での大幅排出削減	秋元圭吾	日本学術会議公開シンポジウム「パリ協定の下での長期温室効果ガス排出削減戦略を考える」、2017年9月27日
21	予測の不確実さ見極め長期の排出ゼロへ転換を	江守正多、秋元圭吾	日経エコロジー、2017年10月号
22	知っておきたいエネルギーミックスの話	秋元圭吾	北陸原子力懇談会「環境・エネルギー講演会」、2017年10月3日
23	Challenges and opportunities for net zero CO ₂ emission harmonized with sustainable development	秋元圭吾	ICEF 4th Annual Meeting, Oct. 5, 2017
24	CTCN, TECの結果とCOP23における技術交渉の見通し	和田謙一	第67回 TECUSE研究会、2017年10月18日
25	長期ゼロエミッションに向けて	茅陽一、山口光恒、秋元圭吾	エネルギーフォーラム、2017年10月
26	脱炭素戦略 経済・環境両立の解決策を探る	有馬純、大野輝之、秋元圭吾	エネルギーフォーラム、2017年11月号
27	Sustainable Climate Change Response Measures under the Paris Agreement	秋元圭吾	COP23サイドイベント（日本パビリオン）、Nov. 14, 2017, Germany
28	Sustainable Climate Change Response Measures under the Paris Agreement	ビアンカ・ショアイ・テラニ、秋元圭吾	COP23サイドイベント（トルコパビリオン）、Nov. 15, 2017, Germany
29	温暖化対策の不確実性のより良い理解とリスク対応戦略の立案に向けて	秋元圭吾	気候変動の緩和策について考えよう-IPCC第6次評価サイクルの活動と今後の取り組み(2)-、2017年11月29日
30	気候変動影響および適応（沿岸対策を中心として）	本間隆嗣	エネルギー・資源学会平成29年度エネルギー特別講座「気候変動リスクとその対応戦略」、2017年12月4日
31	気候変動緩和費用とその経済リスクおよび大気汚染対策とのコベネフィット・トレードオフ	佐野史典	エネルギー・資源学会平成29年度エネルギー特別講座「気候変動リスクとその対応戦略」、2017年12月4日
32	気候変動リスク対応における気候工学的手法の役割	有野洋輔	エネルギー・資源学会平成29年度エネルギー特別講座「気候変動リスクとその対応戦略」、2017年12月4日
33	気候変動リスク対応戦略（総括）	秋元圭吾	エネルギー・資源学会平成29年度エネルギー特別講座「気候変動リスクとその対応戦略」、2017年12月4日
34	パリ協定国別貢献NDCの排出削減努力・政策評価	秋元圭吾	革新的環境技術シンポジウム、2017年12月6日
35	COP23における技術交渉	和田謙一	第68回 TECUSE研究会、2017年12月13日
36	IPCC/UNFCCC updates	和田謙一	The First International Workshop of Japan Model Intercomparison Project (JMIP)、Dec. 14, 2017
37	Energy Intensity in the Japanese Steel Industry: Trend, Determinants, and Decarbonization Challenge	小田潤一郎	The First International Workshop of Japan Model Intercomparison Project (JMIP)、Dec. 15, 2017

バイオ研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Enhanced glucose consumption and organic acid production by engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i> based on analysis of a <i>pkb1</i> deletion mutant	S. Hasegawa, Y. Tanaka, M. Suda, T. Jojima, M. Inui	Appl. Environ. Microbiol., Vol.83, e02638-16, 2017
2	Polynucleotide phosphorylase, RNase E/G, and YbeY are involved in the maturation of 4.5S RNA in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	T. Maeda, Y. Tanaka, M. Wachi, M. Inui	J. Bacteriol., Vol.199, e00798-16, 2017
3	グリーン芳香族化合物生産技術の開発	小暮高久、乾 将行	ケミカルエンジニアリング、Vol.62, pp.54-61, 2017
4	Functional analysis of arabinofuranosidases and a xylanase of <i>Corynebacterium alkanolyticum</i> for arabinoxylan utilization in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	T. Kuge, A. Watanabe, S. Hasegawa, H. Teramoto, M. Inui	Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.101, pp.5019-5032, 2017
5	増殖非依存型バイオプロセスを用いたバイオリファイナー	清水雅士、乾 将行	酵素工学ニュース、Vol.78, pp.19-22, 2017
6	Trehalose acts as a uridine 5'-diphosphoglucose-competitive inhibitor of trehalose 6-phosphate synthase in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	S. Oide, M. Inui	FEBS J., Vol.284, pp.4298-4313, 2017
7	コリネ型細菌が生み出すバイオ化学品多様性の拡大	久保田 健、乾 将行	化学と生物、Vol.55, pp.690-698, 2017



バイオ研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
8	Extracytoplasmic function sigma factor σ^D confers resistance to environmental stress by enhancing mycolate synthesis and modifying peptidoglycan structures in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	K. Toyoda, M. Inui	Mol. Microbiol., Vol.107, pp.312-329, 2018
9	Production of 4-hydroxybenzoic acid by an aerobic growth-arrested bioprocess using metabolically engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i>	Y. Kitade, R. Hashimoto, M. Suda, K. Hiraga, M. Inui	Appl. Environ. Microbiol. (in press)

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	TOPICS 6 RITEのバイオマス有効利用に関する最新の研究開発状況／低炭素社会の実現を目指したスマートセルによるバイオ燃料・グリーン化学品生産	乾 将行	けいはんなView, Vol.36, pp.24, 2017年12月

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	コリネ型細菌によるパラアミノ安息香酸の生産とその際に生じる副生成物の同定	久保田 健、渡邊 彰、須田雅子、小暮高久、平賀和三、乾 将行	第12回バイオマス科学会議、2017年1月18-19日
2	代謝改変コリネ型細菌による抗インフルエンザ薬原料シキミ酸の高生産	小暮高久、久保田 健、須田雅子、平賀和三、乾 将行	第12回バイオマス科学会議、2017年1月18-19日
3	<i>Corynebacterium glutamicum</i> における転写終結因子RhoとRNase E/Gによるゲノムワイドなantisense RNAの産生抑制	竹本訓彦、田中裕也、秋山 徹、前田智也、濱本 清、乾 将行	第11回日本ゲノム微生物学会年会、2017年3月2-4日
4	コリネ型細菌における転写終結因子Rhoの発現制御	田中裕也、竹本訓彦、山本祐司、乾 将行	日本農芸化学会2017年度大会、2017年3月20日
5	アラビノキシラン利用能を有するコリネ型細菌の創製	久下貴之、渡邊 彰、長谷川 智、寺本陽彦、乾 将行	日本農芸化学会2017年度大会、2017年3月20日
6	<i>C. glutamicum</i> のグルコキナーゼ遺伝子の機能解析	塚田悠太、小暮高久、乾 将行	日本農芸化学会2017年度大会、2017年3月20日
7	コリネ型細菌における芳香族化合物に対するストレス耐性機構の解析	小倉峻司、久保田 健、乾 将行	日本農芸化学会2017年度大会、2017年3月20日
8	コリネ型細菌におけるアスパラギン酸合成酵素の機能解析と遺伝子発現解析	土門晃大、福井郁美、須田雅子、西村 拓、平賀和三、乾 将行	日本農芸化学会2017年度大会、2017年3月20日
9	芳香族化合物生産のための基盤技術開発	久保田 健、乾 将行	NEDOスマートセルプロジェクト全体会議、2017年3月30日
10	遺伝子組換え大腸菌を利用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技術の研究開発	寺本陽彦、須田雅子、乾 将行	第69回日本生物工学会大会、2017年9月12-14日
11	遺伝子組換え紅色非硫黄細菌による酢酸からの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発	清水 哲、寺本陽彦、乾 将行	第69回日本生物工学会大会、2017年9月12-14日
12	乳酸・コハク酸生産時におけるコリネ型細菌の耐熱性	水野 光、柘植陽太、仁宮一章、乾 将行、近藤昭彦、高橋憲司	第69回日本生物工学会大会、2017年9月12-14日
13	コリネ型細菌を宿主とした制限修飾系を回避する効率的なDNAライブラリー構築法の開発	長谷川 智、城島 透、乾 将行	日本農芸化学会 関西・中四国・西日本支部2017年度合同大阪大会、2017年9月22日
14	コリネ菌を用いた有用芳香族化合物の生産性向上による代謝解析技術の有効性検証	乾 将行、平賀和三、須田雅子、豊田晃一、久保田 健	BioJapan 2017、2017年10月11-13日
15	非可食バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造	平賀和三、乾 将行	BioJapan 2017、2017年10月12日
16	非可食バイオマスからの高効率バイオ水素生産	寺本陽彦、乾 将行	BioJapan 2017、2017年10月12日

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	植物由来フェノールの製造技術開発	宮内啓行、乾 将行、平賀和三	公益社団法人高分子学会 16-3エコマテリアル研究会、2017年3月3日
2	バイオリファイナー社会の実現を目指したバイオ燃料生産技術開発	乾 将行	エネルギー環境教育 関西ワークショップ、2017年4月22日
3	武蔵野化学とRITEが開発の組換えLアラニンの安全性評価／食安委遺伝子組換え食品等専門調査会が評価書とりまとめ	—	日経バイオテクONLINE、2017年4月27日
4	未利用バイオマスから100%グリーンジェット燃料の生産	乾 将行	第4回GOJO大学、2017年6月4日
5	低炭素社会の実現を目指したバイオ燃料・グリーン化学品生産技術の開発	乾 将行	第93回バイオマス利用研究会、2017年7月14日
6	グリーン化学品・バイオ燃料の生産技術開発と実用化	乾 将行	第5回奈良まほろば産学官連携懇話会、2017年9月8日
7	Emerging Technologies for Biojet Fuel Production in Japan	Masayuki Inui	ICEF第4回年次総会、2017年10月5日



バイオ研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
8	低炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	乾 将行	公益社団法人高分子学会 17-2エコマテリアル研究会、2017年10月6日
9	バイオマス由来フェノールの製造技術開発	宮内啓行、平賀和三、乾 将行	第7回CSJ化学フェスタ2017、2017年10月19日
10	低炭素社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	乾 将行	革新的環境技術シンポジウム 2017、2017年12月6日

化学研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Carbon Dioxide Absorption using Solid Sorbents Incorporating Purified Components of Tetraethylenepentamine	Ryohei Numaguchi, Firoz A. Chowdhury, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo*	Energy Technology Vol. 5 issue 8 pp.1186-1190 August 2017
2	遷移状態理論に基づくキネティクスシミュレーターの開発と溶液のガス吸収反応系への適用	山口徹, 山田秀尚, 堀憲次	化学工学論文集 43 巻 (2017) 2 号 pp.111-116
3	Effect of pore size, aminosilane density and aminosilane molecular length on CO ₂ adsorption performance in aminosilane modified mesoporous silica	Keisuke Hori, Tatsuhiko Higuchi, Yu Aoki, Manabu Miyamoto*, Yasunori Oumi, Katsunori Yogo, Shigeyuki Uemiyama	Microporous and Mesoporous Materials 246 (2017) pp.158-165
4	Development of CO ₂ Molecular Gate Membranes for IGCC Process with CO ₂ Capture	Teruhiko Kai*, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Satoshi Mikami, Yoshinobu Sato, Shin-ichi Nakao	Energy Procedia Vol.114 (July 2017) pp.613-620
5	Results of RITE's Advanced Liquid Absorbents Develop for Low Temperature CO ₂ Capture	Firoz Alam Chowdhury*, Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Shin Yamamoto, Takayuki Higashii, Masami Onoda	Energy Procedia Vol.114 (July 2017) pp.1716-1720
6	Development of Post-combustion CO ₂ Capture System Using Amine-impregnated Solid Sorbent	Ryohei Numaguchi, Junpei Fujiki, Hidetaka Yamada, Firoz Alam Chowdhury, Koji Kida, Kazuya Goto, Takeshi Okumura, Katsuhiko Yoshizawa, Katsunori Yogo*	Energy Procedia Vol.114 (July 2017) pp.2304-2312
7	Development of Chemical CO ₂ Solvent for High-pressure CO ₂ Capture (3) : Analyses on Absorbed Forms of CO ₂	Shin Yamamoto*, Hidetaka Yamada, Mitsuhiro Kanakubo, Tsuguhiko Kato	Energy Procedia Vol.114 (July 2017) pp.2728-2735
8	Effect of isopropyl-substituent introduction into tetraethylenepentamine-based solid sorbents for CO ₂ capture	Hidetaka Yamada, Junpei Fujiki, Firoz A. Chowdhury, Katsunori Yogo*	Fuel Vol.214 (15 February 2018) pp.14-19
9	Effect of addition of Proline, ionic Liquid [Choline] [Pro] on CO ₂ separation properties of poly(amidoamine) dendrimer / poly(ethylene glycol) hybrid membranes	S H Duan*, T Kai, F A Chowdhury, I Taniguchi, S Kazama	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 292 (2017)012040
10	Role of silanol groups on silica gel on adsorption of benzothiophene and naphthalene	Junpei Fujiki*, Katsunori Yogo, Eiji Furuya	Fuel Vol.215 (1 March 2018) pp.463-467

解説/総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	RITEにおける膜分離技術の開発	甲斐照彦, 西田亮一, 中尾真一	分離技術 第47巻 第3号 (2017) pp.35-40
2	CCSと二酸化炭素分離・回収技術開発	東井隆行	「ケミカルエンジニアリング」2017年11月号 VOL.62 No.11 pp.44-48

口頭発表 (国内学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Development of Amine Functionalized Ionic Liquids for Efficient CO ₂ Capture	Firoz Alam Chowdhury, Tsuguhiko Kato	化学工学会第82年会 2017年3月6日-8日
2	下限臨界溶液温度型のアミン-水系におけるCO ₂ 吸収に関する研究	山田秀尚, 沼口遼平, Firoz Alam Chowdhury, 山本信, 後藤和也, 加藤次裕, 松崎洋市, 小野田正巳	化学工学会第82年会 2017年3月6日-8日
3	CO ₂ 物理吸収液のマクロな拡散係数とミクロな滞留時間の関係: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82年会 2017年3月6日-8日
4	量子化学計算と分子動力学計算を組み合わせた方法による精密な誘電率及び粘性の算出	山口徹, 山田秀尚, 藤原崇幸, 堀憲次	化学工学会第82年会 2017年3月6日-8日
5	新規固体吸収材を用いた二酸化炭素分離回収プロセスの最適化	藤木淳平, Firoz Alam Chowdhury, 山田秀尚, 余語克則	化学工学会第82年会 2017年3月6日-8日
6	CO ₂ Capture Using Amine Functionalized Ionic Liquids	Firoz Alam Chowdhury, Tsuguhiko Kato	日本化学会第97春季年会 2017年3月16日-19日



化学研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
7	密度汎関数法を用いたカーボン表面へのCO ₂ 吸着に関する研究	藤木淳平, 余語克則	分離技術会年会2017 2017年5月26日-27日
8	Potential of Amine-based Solvents for Energy-saving CO ₂ Capture from Coal-fired Power Plant	Kazuya Goto, Firoz Alam Chowdhury, Hidetaka Yamada, Takayuki Higashii	第26回日本エネルギー学会大会 2017年8月1日
9	CO ₂ 化学吸収におけるアミン修飾ナノ粒子添加の効果	飴田尚也, 後藤和也, 余語克則	化学工学会東京大会 2017年8月9日
10	(展望講演) アミン系材料を用いたCO ₂ 分離回収技術の研究開発	山田秀尚	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月20日-22日
11	Liquid Speciation Studies in Amine-CO ₂ -EGL system for CO ₂ Absorbents with 13C-NMR	Firoz Alam Chowdhury, Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Masami Onoda	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月20日-22日
12	高圧再生型CO ₂ 化学吸収液の開発 - 常圧CO ₂ 含有ガスへの適用可能性	山本信	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月20日-22日
13	(優秀学生ポスター賞受賞) CHA型ピュアシリカゼオライトのプロピレン/プロパン分離特性	井谷真, 来田康司, 余語克則	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月20日-22日
14	アミン修飾マグネタイトナノ流体のCO ₂ 吸収挙動	飴田尚也, 後藤和也, 余語克則	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月20日-22日
15	(招待講演) 二酸化炭素の分離・回収技術開発の動向	余語克則	日本エネルギー学会 天然ガス部会 科学・反応システム分科会シンポジウム 2017年10月18日
16	二酸化炭素回収・貯留 (CCS) プロセスへのマイクロ波および高周波誘電加熱の効果	古澤康祐, 樺俊太郎, 鈴木榮一, 山田秀尚, 加藤次裕, 東井隆行, 和田雄二	第11回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム 2017年11月8日
17	(招待講演) 二酸化炭素の分離回収技術開発の動向	余語克則	第48回 中部化学関係学会支部連合秋季大会 2017年11月12日
18	窒素含有カーボンにおける水蒸気吸着挙動	藤木淳平, 余語克則	第31回日本吸着学会研究発表会 2017年11月16日-17日
19	(優秀ポスター賞受賞) CHA型ピュアシリカゼオライトを用いたプロピレン/プロパン吸着分離	井谷真, 来田康司, 余語克則	第31回日本吸着学会研究発表会 2017年11月16日-17日
20	CHA型ピュアシリカゼオライトによるプロピレン/プロパン速度差分離	井谷真, 来田康司, 余語克則	第31回日本吸着学会研究発表会 2017年11月16日-17日

口頭発表 (国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Chemically Tunable Ionic Liquid-Amine Solutions for CO ₂ Capture	Firoz Alam Chowdhury, Tsuguhiro Kato	ILSEPT2017, Renaissance Kuala Lumpur Hotel, Malaysia, Jan. 8-11 2017
2	(Invited) A study of the chemical reactions involved in amine-based CO ₂ capture	Hidetaka Yamada	I2CNER INTERNATIONAL WORKSHOP 2017, Kyushu University, Fukuoka, Japan, Feb. 3 2017
3	Post-combustion CO ₂ capture using N-(isopropyl)-tetraethylenepentamine-based solid sorbent	Hidetaka Yamada, Junpei Fujiki, Ryohei Numaguchi, Firoz Alam Chowdhury, Koji Kida, Kazuya Goto, Katsunori Yogo	IEA Clean Coal Centre's 8th international conference on clean coal technologies, Cagliari, Italy, May 10 2017
4	(Keynote, Invited) RITE's Advanced CO ₂ Capture Technologies	Hidetaka Yamada	9th Trondheim Conference on CO ₂ Capture, Transport and Storage, Trondheim, Norway, Jun. 12-14 2017
5	Post-combustion CO ₂ capture by low-temperature steam-aided vacuum swing adsorption using a novel polyamine-based solid sorbent	Junpei Fujiki, Hidetaka Yamada, Firoz Alam Chowdhury, Ryohei Numaguchi, Katsunori Yogo	10th World Congress of Chemical Engineering, Barcelona, Spain, Oct 2-5 2017
6	(Keynote, Invited) The Chemistry of Amine-Based CO ₂ Capture	Hidetaka Yamada	The International Conference on Chemical Science and Technology for Sustainable Development, Hanoi, Vietnam, Nov 8-9 2017
7	(Plenary Lecture, Invited) Research and Development of CO ₂ Capture Technology for CCS	Kazuya Goto	The 11th International Conference on Separation Science and Technology, Busan, South Korea, Nov 9-11 2017
8	Impregnation of Tetraethylenepentamine and Imidazoles Binary Amine in Mesoporous Cellular Foam Silica for CO ₂ Capture	Quyen Thi Vu, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	The 11th International Conference on Separation Science and Technology, Busan, South Korea, Nov 9-11 2017

書籍等その他発表

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	CO ₂ 分離回収技術	杉田啓介	CCTワークショップ2017 2017年6月20日
2	CCSのための化学吸収法について	小玉聡, 後藤和也	「CO ₂ 削減, 省エネに関する新技術, 採用事例, 規制対応」 第2章 第4節 pp.42-53



化学研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
3	CO ₂ 分離回収材の化学	山田秀尚	「CO ₂ 削減,省エネに関する新技術,採用事例,規制対応」第2章 第5節 pp.54-63
4	二酸化炭素回収貯留（CCS）技術について	山田秀尚	化学工学会 超臨界流体部会 第16回サマースクール 2017年8月4日
5	CO ₂ 分離回収技術の最新動向	甲斐照彦	CO ₂ 分離回収の技術/研究開発と適用動向セミナー 2017年8月18日
6	CCSと二酸化炭素分離・回収技術	東井隆行	日本化学会 関東支部 2017年9月8日
7	モノエタノールアミン、ブチルエタノールアミン水溶液の密度、粘度測定およびCO ₂ 添加効果	藤田拳人, 岡田真紀, 保科貴亮, 山田秀尚, 辻智也, 日秋俊彦	第50回日本大学生産工学部学術講演会 2017年12月2日

CO₂貯留研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Geophysical monitoring at the Nagaoka pilot-scale CO ₂ injection site in Japan	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	Active Geophysical Monitoring, Second Edition, Elsevier, 投稿中
2	粉末ベレット/FP法による長岡CO ₂ 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,48,417-428
3	Experimental assessment of well integrity for CO ₂ geological storage: A numerical study of the geochemical interactions between a CO ₂ -brine mixture and a sandstone-cement-steel sample	Joachim Tremosa, Saeko Mito, Pascal Audigane, Ziqiu Xue	Applied Geochemistry, 78, 61-73, 2017
4	海底下CO ₂ 地中貯留における海洋工学の応用;pCO ₂ を用いた漏出検出	内本圭亮、西村真、薛自求	日本海水学会誌、in print
5	Evaluation of accessible mineral surface areas for improved prediction of mineral reaction rates in porous media	Beckingham, Lauren E., 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 DePaolo, Saeko Mito, Ziqiu Xue	Geochimica et Cosmochimica Acta, 205, 31-49, 2017
6	Migration mode of brine and supercritical CO ₂ during steady-state relative permeability measurements at very slow fluid flow velocity	Tetsuya Kogure, Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Ziqiu Xue	Geophysical Journal International, 211, 2, 1259-1275, 2017
7	Effects of fluid displacement pattern on complex electrical impedance in Berea sandstone over frequency range 10 ⁴ -10 ⁶ Hz	Yi Zhang, Hyuck Park, Osamu Nishizawa, Tamotsu Kiyama, Yu Liu, Kwangseok Chae, Ziqiu Xue	Geophysical Prospecting, DOI: 10.1111/1365-2478.12451, 65, 4, 1053-1070, 2017
8	Long term CO ₂ 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
9	CO ₂ leakage detection using partial pressure of CO ₂ and dissolved oxygen at offshore CO ₂ storage sites	Keisuke Uchimoto, Takamichi Nakamura, Makoto Nishimura, Jun Kita, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 査読中
10	Different flow behavior between 1-to-1 displacement and co-injection of CO ₂ 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, 66, 76-84, 2017
11	Detecting CO ₂ leakage at offshore storage sites using the covariance between the partial pressure of CO ₂ and the saturation of dissolved oxygen in seawater	Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Jun Kita, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 査読中
12	Different flow behavior between 1-to-1 displacement and co-injection of CO ₂ 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
13	Mass transfer coefficient measurement during brine flush in a CO ₂ -filled packed bed by X-ray CT scanning	Lanlan Jiang, Bohao Wu, Yongchen Song, Mingjun Yang, Dayong Wang, Yu Liu, Ziqiu Xue	International journal of heat and mass transfer, 115, 615-624, 2017
14	二酸化炭素地中貯留時の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、山本肇、中島崇裕、薛自求	地下水学会誌、投稿中
15	Identifying the source of natural gamma-rays in shallow-marine siliciclastic strata and their significance for shale evaluation: A case study of the CO ₂ storage aquifer at the Nagaoka site, Japan	伊藤 拓馬、大淵敦司、中島 崇裕、薛 自求	Journal of Natural Gas Science and Engineering, 46, 782-792, 2017

CO₂貯留研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
16	Challenges for social impact assessment in coastal regions: a case study of the Tomakomai CCS project	Leslie Mabon, Jun Kita, Ziqiu Xue	Marine policy, Volume 83, 2017, Pages 243-251
17	The Pathway-flow relative permeability of CO ₂ : measurement by lowering pressure drop	Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Hyuck Park, Ziqiu Xue	Water Resources Research, 53, 10, 8626-8638, 2017

解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	二酸化炭素地中貯留技術における坑井配置の最適化ツールの開発	宮城充宏、山本肇、薛自求	大成建設株式会社 技術センター報, 2017年12月

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	X線CTで可視化された地層境界における超臨界CO ₂ の挙動とスレッシュホールド圧力	木山 保, 朴 赫, 張 毅, 薛 自求, 蔣 蘭蘭	MMIJ Annual Meeting 2017, 2017/3/27
2	マイクロバブル圧入がCO ₂ -EORに与える影響	上田 良, 中野 正則, 薛 自求	石油技術協会 平成29年度春季講演会, 2017/6/14
3	光ファイバーを用いた分布式ひずみ測定による地層安定性モニタリング技術開発	薛 自求	第59回光波センシング技術研究会講演会, 2017/06/06
4	長岡サイトにおいて繰り返し検層によって得られたフィールドスケールのトラッピング・メカニズム	中島崇裕、薛自求	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
5	An option for marine monitoring at offshore CO ₂ storage sites: observing pCO ₂ in the sea	Keisuke Uchimoto, Takamichi Nakamura, Makoto Nishimura, Ziqiu Xue	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
6	Acoustic sonar detectability of gas bubbles from seafloor for environmental monitoring at offshore CO ₂ storage sites	Takamichi Nakamura, Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
7	Visualization and measurement of CO ₂ microbubble flooding in heterogeneous sedimentary rock	Hyuck Park, Lanlan Jiang, Tamotsu Kiyama, Ziqiu Xue	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
8	自然ガンマ線検層とコア試料の堆積学的・地球化学的検討を併用したシェール量評価の精緻化の試み:長岡サイトの例	Takuma Ito, Atsushi Ohbuchi, Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
9	Micro-bubble Injection enhance dissolution during CO ₂ Sequestration in saline	Lanlan Jiang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Tamotsu Kiyama	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
10	二酸化炭素地中貯留技術における最適化手法の適用	宮城充宏、山本肇、薛自求	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
11	二酸化炭素の地中貯留におけるCO ₂ 貯留層内の圧力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	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/20
12	二酸化炭素地中貯留時の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、山本 肇、中島 崇裕、薛 自求	Japan Society of Civil Engineers 72nd Annual Conference
13	Effect of micro-bubble CO ₂ injection on CO ₂ -EOR	上田 良, 中野 正則, 薛 自求	第23回日本地層評価シンポジウム, 2017/10/11
14	帯水層における三次元地質モデル構築:CO ₂ 地中貯留サイトでの解析例	伊藤 拓馬、中島 崇裕、薛 自求	日本地質学会124年学術大会, 2017/09/17
15	CO ₂ 地中貯留における坑井配置の自動最適化手法	宮城充宏、山本肇、秋本洋平、薛自求	岩盤力学に関するシンポジウム, 2017/1/15
16	CO ₂ 溶解促進のためのマイクロバブルCO ₂ 圧入の効果検証:長尺コア試料の例	朴赫、蔣蘭蘭、木山保、薛自求	資源・素材&EARTH2017(札幌)平成29年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2017/09/26
17	地層境界コアを用いた超臨界CO ₂ 注入試験におけるX線CTによる流動の可視化と光ファイバーによるひずみ計測	木山保、朴赫、張毅、薛自求、蔣蘭蘭	資源・素材&EARTH2017(札幌)平成29年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2017/09/26
18	pCO ₂ とDOを用いたpCO ₂ 異常値の判定	内本圭亮、西村真、薛自求	日本海洋学会2017年秋季大会, 2017/10/15

口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Micro-bubble Injection Enhanced dissolution during CO ₂ Sequestration in saline	Lanlan Jiang, Ziqiu Xue, Hyuck Park,	Carbon Capture, Utilization and Storage Conference, 2017/1/21
2	Leak detection	Keisuke Uchimoto	2nd International Workshop on Offshore CO ₂ Geologic Storage, Texas, USA, 2017/06/19
3	2nd International Workshop on Offshore Geologic CO ₂ Storage	Tim Dixon, Susan Hovorka, Tip Meckel, Katherine Romanak, Owain Tucker, Nick Hoffman, Kim Swords5, Lars Ingolf Eide, Niels Peter Christensen, Keisuke Uchimoto, Noel Kamrajh	Mastering the Subsurface through Technology Innovation, Partnerships and Collaboration: Carbon Storage and Oil and Natural Gas Technologies Review Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, 2017/08/1

CO₂貯留研究グループ

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	Report from CSLF Regulation Task Force	Ryozo Tanaka	Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) Policy Group Meeting, 2017/12
2	Practical Regulations and Permitting Process for Geological CO ₂ Storage	Ryozo Tanaka	Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), 2017/11
3	Caprock and wellbore integrity monitoring using fiber optic cable: our recent outcomes and what we want to do in the CaMI project	Nobuo Takasu	The annual technical update workshop of CaMI

無機膜研究センター

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Synthesis of pure silica STT-type zeolite membrane	Koji Kida, Yasushi Maeta, Katsunori Yogo*	Materials Letters Vol. 209, 15 December 2017, pp.36-38
2	Hydrogen Purification from Chemical Hydride Using Pure Silica Zeolite Membranes	Koji Kida, Yasushi Maeta, Taichi Kuno, Katsunori Yogo*	Chemistry Letters Vol.46 No.12, 2017, pp1724-1727.
3	Pure silica CHA-type zeolite membranes for dry and humidified CO ₂ /CH ₄ mixtures separation	Koji Kida, Yasushi Maeta, Katsunori Yogo*	Separation and Purification Technology, Vol.197, 2018, pp116-121.

口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	水素選択透過膜メンブレンリアクターのスケールアップ	西野仁、西田亮一、浦井宏美、中尾真一	化学工学会第82年会 2017年3月7日
2	CHA型ピュアシリカゼオライト膜のCO ₂ 分離特性	来田康司、前田康志、余語克則	化学工学会第82年会 2017年3月7日
3	CVDシリカ膜の実用化に向けた検討	浦井宏美、西野仁、西田亮一、中尾真一	化学工学会第82年会 2017年3月8日
4	水素選択透過膜メンブレンリアクターの大型化	西野仁、西田亮一、中尾真一	化学工学会第49回秋季大会 2017年9月22日

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	RITEにおける無機膜研究について:オールシリカゼオライト膜の応用	余語克則	新無機膜研究会第81回研究会 2017年3月14日
2	水素分離膜を用いた脱水素	中尾真一	第4回SIP-NED情報・意見交換会 2017年3月28日
3	ピュアシリカゼオライトの合成と膜分離への応用	余語克則	無機膜研究センター 産業化戦略協議会第5回セミナー 2017年5月19日
4	CVD法によるアモルファスシリカ水素分離膜の製膜と膜反応器	中尾真一	日本ゼオライト学会のゼオライトフォーラム 2017年6月9日
5	CVDアモルファスシリカ膜と膜反応器による水素製造	中尾真一	高分子学会の水素・燃料電池材料研究会 2017年6月16日
6	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	浦井宏美、西田亮一、今川健一（千代田化工建設株式会社）	平成29年度NEDO新エネルギー成果報告会 2017年9月20日
7	(依頼講演) ピュアシリカゼオライトの合成とガス分離膜への応用	余語克則	第34回ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム2017 2017年10月17日
8	ガス分離膜のこれからを展望する～革新的環境・エネルギー技術の実用化に向けて～	西田亮一	KRIクライアントコンファレンス&ワークショップ'17 2017年10月18日
9	無機膜研究センターの研究成果と今後の計画	中尾真一	未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム 2017年11月2日



掲載年月日	見出し	掲載紙名
2017.1.5	CCS技術交流で韓KCRCと覚書	化学工業日報
2017.1.6	CCS技術交流 韓国研究機関と覚書 RITE 5領域で協力推進	電気新聞
2017.1.15	「革新的環境技術シンポジウム2016」開催 RITE	ガスレビュー
2017.1.25	革新的CO ₂ 分離膜技術シンポ開催 モジュール実用化に向け課題を抽出	化学工業日報
2017.2.1	RITE 海外と2つの新プロジェクト始動	ガスレビュー
2017.2.10	RITE パリ協定の課題探る 都内でシンポ 5カ国識者が現況分析	電気新聞
2017.2.16	鉄連の低炭素社会実行計画 生産構成変化適用 BAU評価を適正化 廃プラ活用実績カウント化	日刊産業新聞
2017.3.1	RITE関連の二つの研究組合が、CCSをメインテーマに講演会を開催	ガスレビュー
2017.3.15	RITE等シンポジウム IPCC第6次評価報告書について等	ガスレビュー
2017.3.29	グリーン・アース・インスティテュート 非可食バイオマスでの生成研究	フジサンケイビジネスアイ
2017.6.14	化粧品原料に非可食バイオエタノール	フジサンケイビジネスアイ
2017.6.20	低炭素社会へ「パリ協定」前進を 課題は公平性と実効性 運用ルール作りがカギ	化学工業日報
2017.7.11	工作や実験で環境考えよう 夏休みにRITE	京都新聞
2017.8.18	エネルギー再考 論点を探る（下） 50年目標、具体化が素通りか 温暖化対策 省庁間で溝	日本経済新聞
2017.9.20	火力発電 CO ₂ を抑制	大阪読売新聞
2017.9.20	CO ₂ 分離回収システム 関電・舞鶴に実用化設備 RITE川重など	化学工業日報
2017.9.20	CO ₂ 回収 舞鶴火力で新手法実証 関電など3者 エネ消費量を半減	電気新聞
2017.9.20	CO ₂ 分離・回収システム 19年度以降 実用化試験 RITEなど	日刊工業新聞
2017.9.21	石炭火力発電所の排ガス CO ₂ 、高効率で抽出 川重、19年度から実用化試験	神戸新聞
2017.9.22	経産省、固定吸収材でCCS実証	石油通信
2017.9.25	省エネ型CO ₂ 回収、回収必要エネ4～6割減 RITEなど	ガスエネルギー新聞
2017.10.6	環境後進国ニッポン（下） 思考停止 もう許されない	日本経済新聞
2017.10.6	バイオ樹脂 環境面に配慮 利用拡大	日本経済新聞
2017.10.15	RITE 川崎重工、関西電力と省エネルギー型二酸化炭素分離・回収システムの実用化試験を実施	ガスレビュー
2017.11.2	ちょっと訪問 グリーン・アース・インスティテュート バイオマスで化学品開発	日刊工業新聞
2017.11.2	アルピオン、バイオVBと開発 木材チップで化粧品原料	日経産業新聞
2017.11.10	無機膜分離技術 実用化へ官民連携が必須	化学工業日報
2017.11.13	RITE 「無機膜環境・エネ技術シンポ」開催 CO ₂ フリー水素製造など期待	化学工業日報
2017.11.15	石炭火力由来CO ₂ 利用技術開発に着手 NEDO	化学工業日報
2017.11.15	CO ₂ 有効利用へ技術開発 メタン生成、海藻培養に着手	電気新聞
2017.11.16	気候変動緩和策でシンポ開催 経産省 IPCCの取り組みなど紹介	化学工業日報
2017.11.17	火発排出CO ₂ 利用へ NEDOが技術開発に向け委託予定先決定	北海道建設新聞
2017.11.20	グリーン・アース・インスティテュート 非可食バイオマスから化学品	日本経済新聞
2017.11.27	東京五輪までのサプライズ整備に課題 バイオジェット検討会、認証の取得も	石油通信
2017.12.1	気候変動緩和策シンポ 建築の低炭素化を紹介 経産省	化学工業日報
2017.12.7	社説 無機膜分離技術の早期実用へ道筋を	化学工業日報
2017.12.8	温暖化対策の最新技術など報告 RITEがシンポジウム開催	化学工業日報
2017.12.13	CO ₂ 有効活用の「CCU」基盤技術 JFEスチールが開発へ	鉄鋼新聞
2018.1.1	RITE 「未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム」開催 革新的環境技術シンポジウム2017	ガスレビュー
2018.1.15	経産省とRITE 地球温暖化対策に関するシンポジウムを2回開催	ガスレビュー



2017年の登録特許一覧

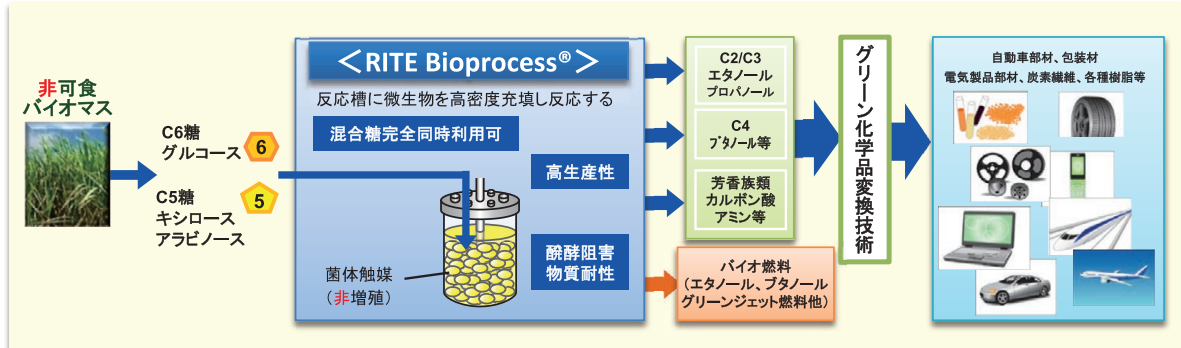
	発明の名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
登 録 特 許	高圧二酸化炭素含有ガス流から二酸化炭素を分離回収するための液状吸収剤及び分離回収方法	R I T E	日本	6073088 (2017年1月13日)
	光ファイバケーブル、光ファイバケーブルの製造法、および分布型測定システム	R I T E ニュープレクス株式会社	米国	9,557,196 (2017年1月31日)
	排ガス中の二酸化炭素を効率的に吸収及び回収する水溶液、及びそれを用いた二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	日本	6095579 (2017年2月24日)
	排ガス中の二酸化炭素を効率的に吸収及び回収する水溶液、及びそれを用いた二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	米国	9,636,628 (2017年5月2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	中国	ZL201480026273.1 (2017年7月21日)
	多孔質基材の内部に薄膜化した金属充填層を有する複合体の製造方法および複合体	R I T E	日本	6208067 (2017年9月15日)
	アニリン生産性の向上したコリネ型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	米国	9,803,223 (2017年10月31日)
	CO ₂ ガス分離膜及びその製造方法	R I T E	日本	6235479 (2017年11月2日)

2017年の公開特許一覧

	発明の名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
公 開 特 許	ガス中の二酸化炭素を吸収及び回収するための液体、並びにそれを用いた二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	日本	WO2014/129400 (2017年2月2日)
	アニリン生産性の向上した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	WO2014/171205 (2017年2月16日)
	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	R I T E ニュープレクス株式会社	日本	WO2014/181617 (2017年2月23日)
	細孔径評価装置および細孔径評価方法	R I T E 広島大学	日本	特開2017-44654 (2017年3月2日)
	結晶性シリカ膜複合体およびその製造方法、並びに流体分離方法	R I T E	WO	WO2017/081841 (2017年5月18日)
	コリネ型細菌形質転換体、及びそれを用いる有機化合物の製造方法	R I T E	日本	WO2016/027870 (2017年6月1日)
	ゼオライト膜複合体およびその製造方法、並びにガス分離方法	R I T E	WO	WO2017/115454 (2017年7月6日)
	水素ガス分離材およびその製造方法、水素ガス分離材を用いた水素含有ガスの製造方法、並びに、膜反応器	R I T E	日本	特開2017-148754 (2017年8月31日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いる4-アミノ安息香酸又はその塩の製造方法	R I T E 住友ベークライト株式会社	WO	WO2017/146241 (2017年8月31日)
	二酸化炭素分離システム及び燃料電池システム	R I T E 東京瓦斯株式会社	日本	特開2017-154120 (2017年9月7日)
	二酸化炭素吸収剤および二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	日本	特開2017-170383 (2017年9月28日)
	形質転換体及びそれを用いるプロトカテック酸又はその塩の製造方法	R I T E 住友ベークライト株式会社	WO	WO2017/169399 (2017年10月5日)
	二酸化炭素分離回収システム	R I T E 川崎重工業株式会社	日本	特開2017-189726 (2017年10月19日)
二酸化炭素分離回収システム	R I T E 川崎重工業株式会社	日本	特開2017-189727 (2017年10月19日)	

バイオリファイナリーに関する特許

1. RITEバイオプロセス



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

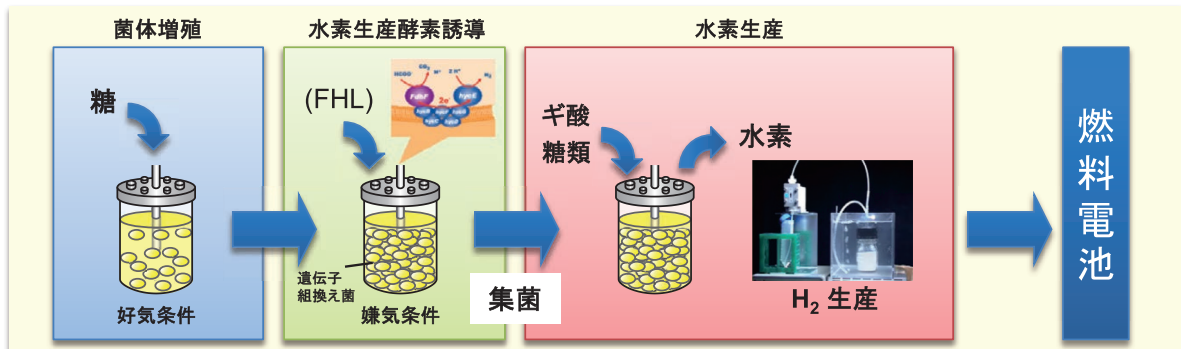
(1) 技術特長

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

(2) 関連特許

- ・コリネ型細菌を用いる還元条件でのアミノ酸の製造方法 特許第4745753号
- ・組換え型コリネ型細菌を用いるエタノールの製造方法 特許第4927297号、米国第7598063号、中国第ZL01811146.7号、インド第209524号、インドネシア第IDP0025354号
- ・D-キシロース利用機能が向上したコリネ型細菌形質転換体 特許第5564423号、米国第8685703号、中国第ZL200980123139.2号、EP第2287287号(DE)、インドネシア第IDP000040621号

2. バイオ水素生産



(1) 技術特長

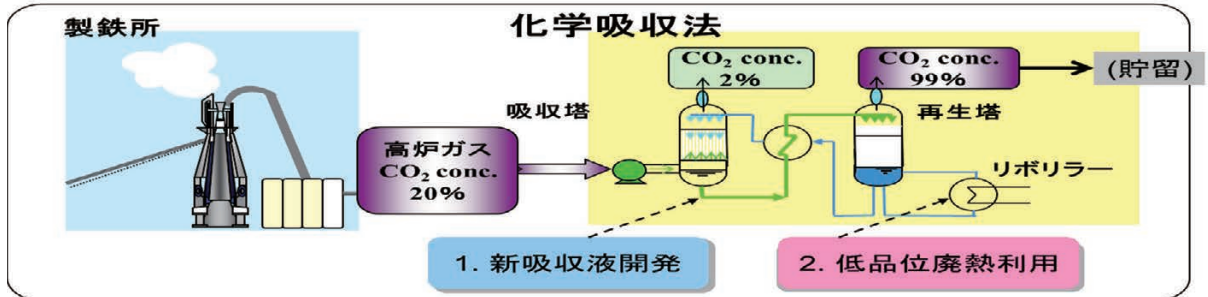
- ・培養(菌増殖)と水素生産を分離
- ・菌体を触媒として利用

(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水素製造方法 特許第4440732号
- ・微生物による高効率水素製造方法 特許第4275666号、米国第7432091号

二酸化炭素 分離・回収 に関する保有特許

1. 化学吸収技術



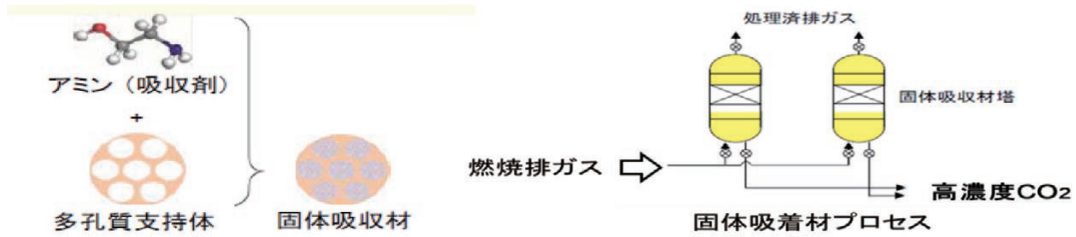
(1)技術特長

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

(2)関連特許

- ・ ガス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
- ・ 高压用二酸化炭素吸収剤並びに高压二酸化炭素吸収及び回収方法 特許第5812867号

2. 固体吸収技術



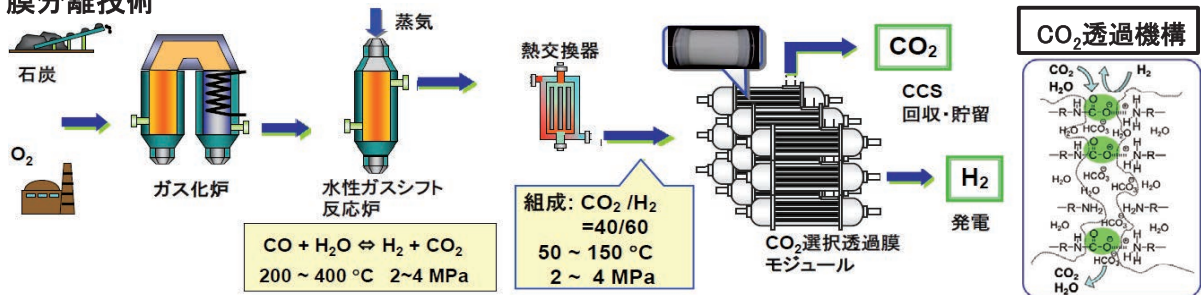
(1)技術特長

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

(2)関連特許

- ・ 二酸化炭素分離材及び二酸化炭素を(選択的に)分離又は回収する方法
特許第5186410号、国際公開第2014/208712号

3. 膜分離技術



(1)技術特長

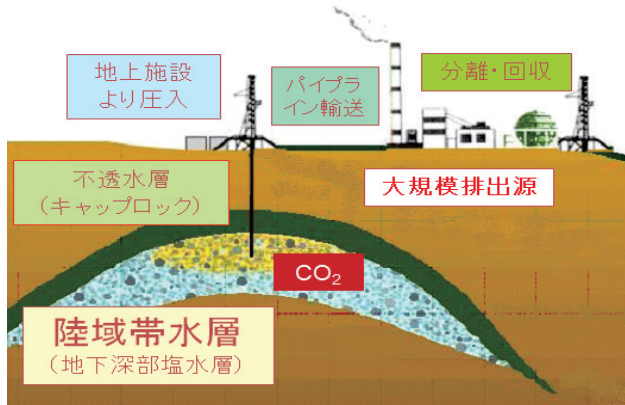
- ・ 石炭ガス化複合発電の**高压ガスからCO₂を効率よく分離・回収** 圧力駆動で省エネルギーを実現
- ・ **CO₂とそれ以外のガス(H₂、N₂等)を効率よく分離**

(2)関連特許

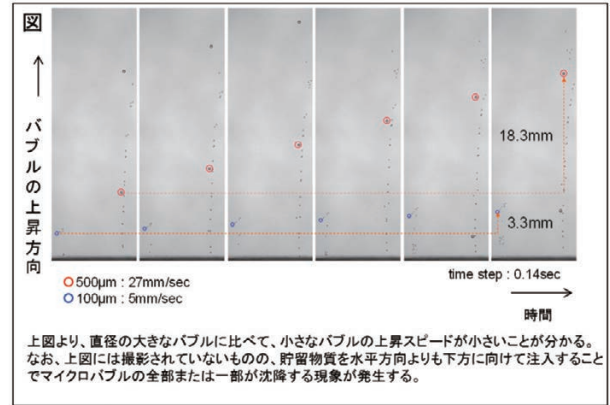
- ・ CO₂ガス分離膜(高分子膜)及びその製造方法(利用)
特許第4980014号、特許第5314291号、特許第5329207号、国際公開第2014/073582号
- ・ 新規トリアジン誘導体ならびにその製法およびそのガス分離膜としての用途 特許第5186126号

二酸化炭素 地中貯留・地層評価 に関する保有特許

1. CO₂マイクロバブル地中貯留技術



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

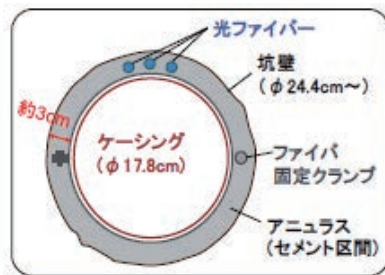
(1) 技術特長

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

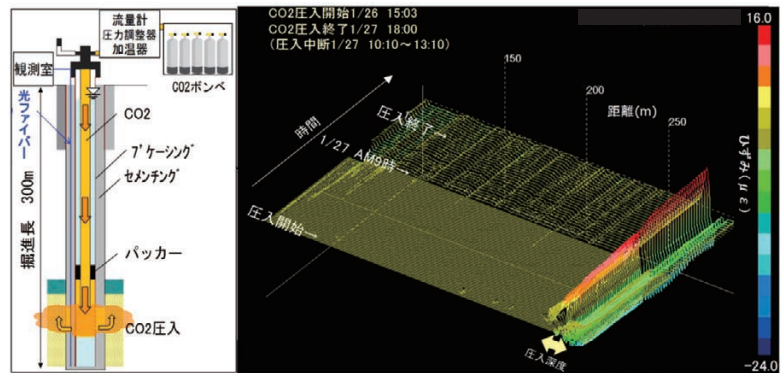
(2) 関連特許

- ・ 貯留物質の貯留装置および貯留方法
特許第5399436号

2. 光ファイバーによる地層安定性評価技術



光ファイバーの設置概念図



CO₂圧入時の地層変形測定評価結果

(1) 技術特長

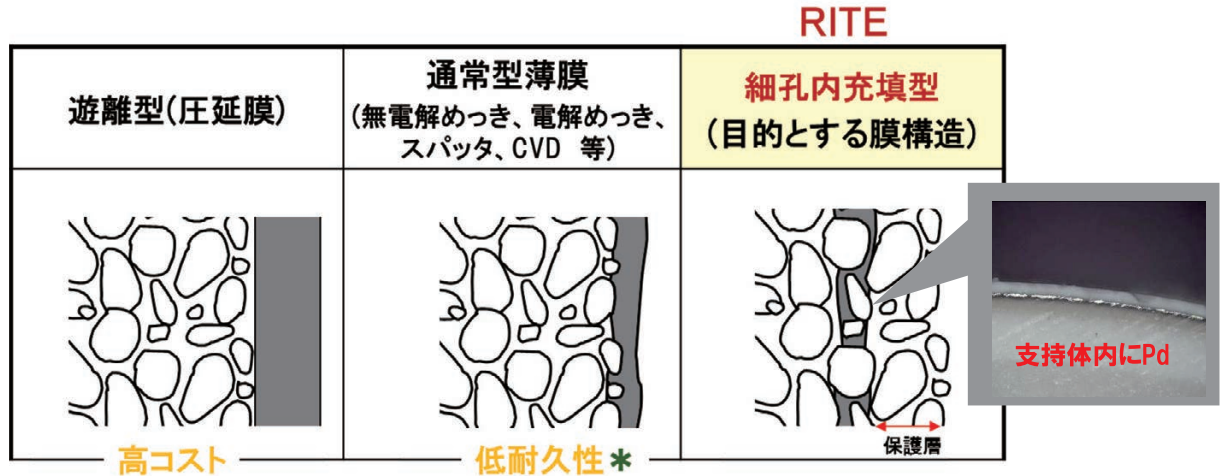
- ・ 光ファイバー内の散乱波周波数シフトや光ファイバー特有の係数を基に、物体のひずみを計測
- ・ 従来はひずみ計を取り付けた箇所のみ計測可能であったが、光ファイバーによる計測では光ファイバー全体で計測できるため、深度方向における地層変形を連続的に把握することが可能
- ・ CO₂地中貯留サイト、石油ガス田開発、シェールガスやメタンハイドレート開発に応用可能

(2) 関連特許

- ・ 物体の体積変化計測方法
特許第5747408号、米国第9360304号、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、米国第9557196号、中国ZL201480026273.1

無機膜に関する保有特許

1. 細孔内充填型パラジウム分離膜



*熱膨張係数差、水素脆化、触媒との合金化、機械的ダメージ

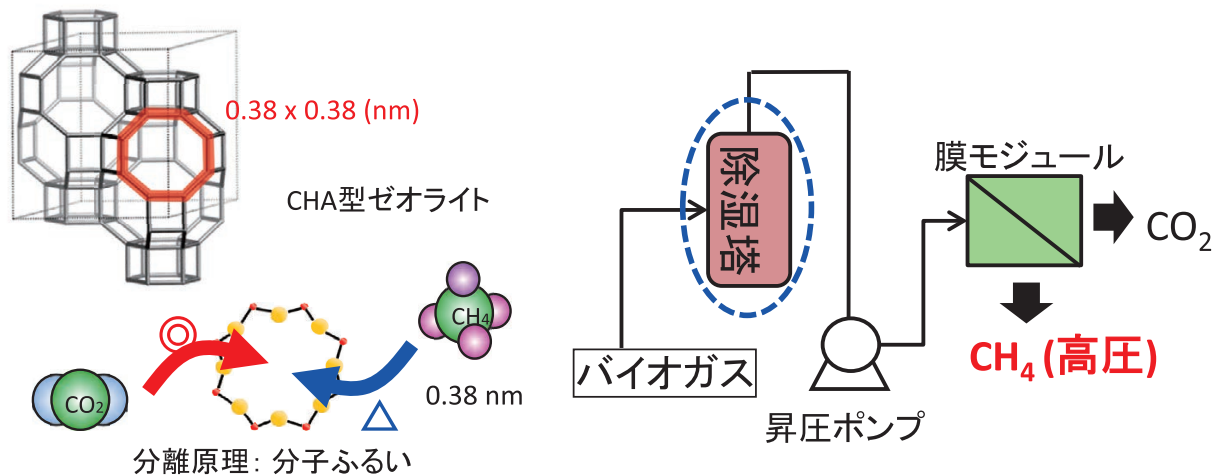
(1) 技術特長

- 支持体の内部に形成(従来は支持体の表面) **耐久性向上の可能性**
- Pd使用量は、従来技術(表面型)の**3分の1程度に低減**

(2) 関連特許

- 多孔質基材の内部に薄膜化した金属充填層を有する複合体の製造方法および複合体 特許第6208067号

2. ピュアシリカゼオライト分離膜



(1) 技術特長

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

(2) 関連特許

- ピュアシリカゼオライトの製造方法 特許第5244367号

RITE Today 2018 Vol.13

Annual Report



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

URL: www.rite.or.jp

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

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