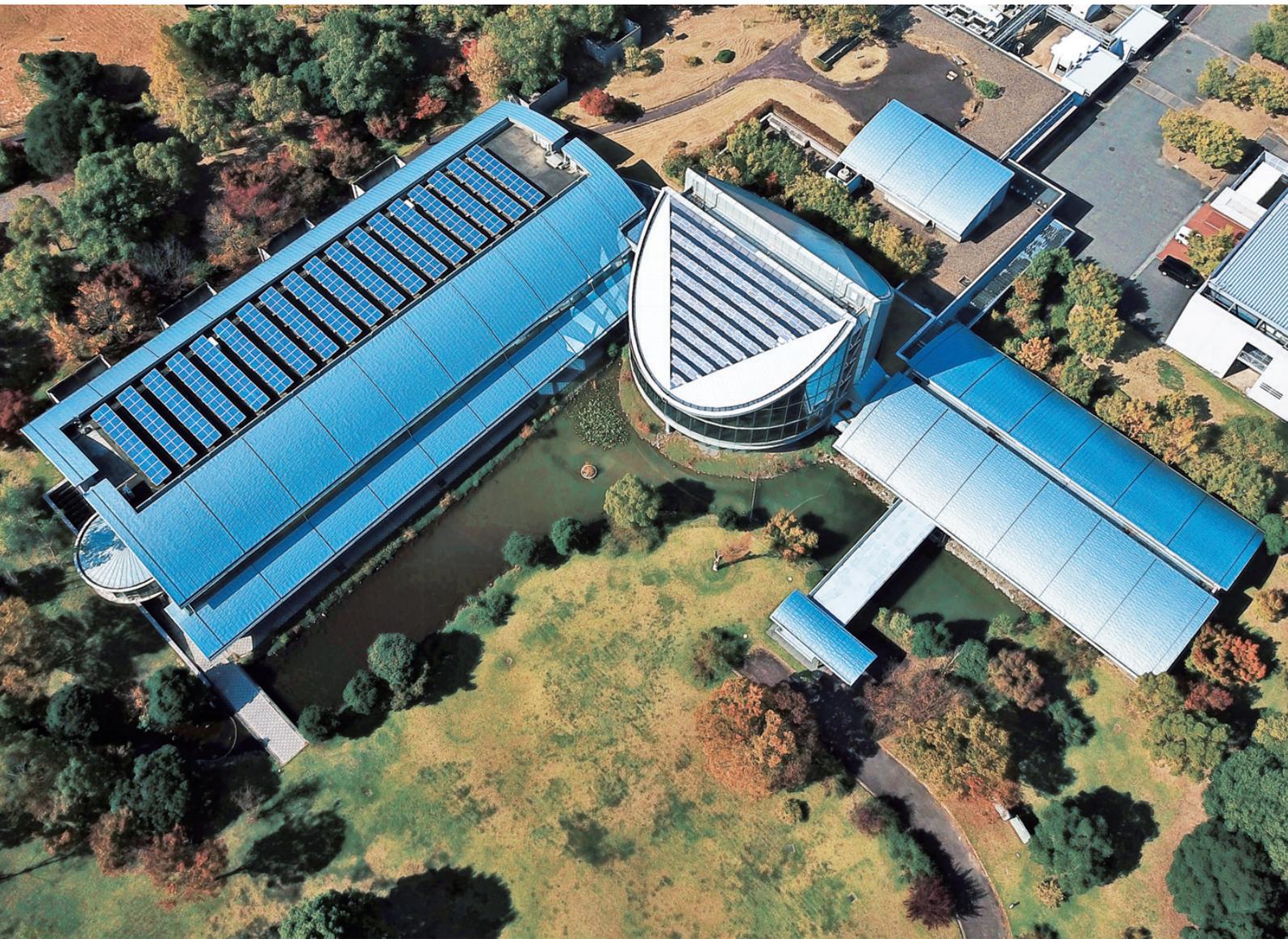


# RITE Today <sup>2019 Vol.14</sup> Annual Report

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 年次報告書 2019年版 第14号



# RITE Today

2019 Vol.14

## Contents

### 巻頭言

- 気候変動防止へ向けた RITE の功績と今後への期待  
●● 国際応用システム分析研究所 (IIASA) 副所長 ネボーシャ・ナキシエノビッチ 03

### 特集

- IPCC 1.5°C 特別報告書について  
●● 参与 山口 光恒 04
- RITE 技術の事業化についてーバイオ分野における取り組みー 10

### 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 12
- 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 18
- バイオ研究グループ ● 持続可能な社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発 24
- 化学研究グループ ● CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み 30
- CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ ● 安全な CCS 実施のための CO<sub>2</sub> 貯留技術研究開発の取り組み 36
- 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 42

### トピックス

48

### 普及啓発活動

56

### 2018 年 (平成 30 年) 発表論文一覧

58

### 2018 年 (平成 30 年) 主な関連新聞記事一覧

68

### 特許紹介

69



## 気候変動防止へ向けた RITEの功績と今後への期待

国際応用システム分析研究所 (IIASA)  
副所長 **ネボーシャ・ナキシエノビッチ**

私は1993年にRITEで過ごした時のことをしばしば思い出す。それは、すばらしく実り多い時間であった。草創期のRITEにおいて、研究者の一員であったことは私の誇りである。当時、けいはんな学研都市はまだ殆どが空地だったが、その中にRITEは温暖化抑制に寄与する設備と技術を備えた革新的な研究所として、そびえ立っていた。建物の周りには池が配され、天然ガス燃料電池や多くの太陽電池アレイが設置されていた。各会議室にはCO<sub>2</sub>計測器が備え付けられていたことを今でもよく覚えている。革新的な職場環境にふさわしく、研究課題として掲げられたテーマは、排ガスからのCO<sub>2</sub>膜分離技術から、技術経済システムや気候変動への対応戦略に関するモデリングまで広範囲に亘っていた。

RITEとIIASAの緊密な協力関係は私のこのRITE滞在に始まり、その後、多くのRITEの研究者がIIASAを訪れ、またIIASAの同僚達もRITEに長期間滞在して研究を行ってきた。

RITEはこの間に、気候変動を回避するための技術や戦略に関する研究で世界をリードする研究機関の一つとなった。人類が、25年前も、そして現在も、地球規模の気候変動という重大な問題に直面していることは疑う余地がなく、RITEはこの気候変動の緩和と適応に向けて、世界、地域、そして日本が採るべき選択や政策を評価する大規模な統合モデルを開発してきた。この業績は日本のみならず国際的にも高く評価されている。RITEはIPCCの気候安定化シナリオを作成する重要なモデリングチームの1つであり、また、IAMC (Integrated Assessment Modelling Consortium) や、その他国内外でさまざまな大きな貢献を行っている。このようなRITEの設立に携われたこと、RITEの業績にサポーターとして協力できたことは私の誇りである。

RITEの多くの業績について、ここでその全てを語ることはできないが、私自身の仕事と関わりの深い2つの業績について特に取り上げたい。

一つは、地球温暖化問題に対するRITEの貢献の中で特に有名な「茅恒等式」である。これはCO<sub>2</sub>の排出とそれをもたらす主要な要素である人口、経済成長、エネルギーとの関係を理解する鍵となるものである。

もう一つはALPSプロジェクト (ALternative Pathways toward Sustainable development and climate stabilization) である。これはRITEの大変重要な研究の一つであり、その開始以来、IIASAも長年にわたり協力してきた。そして私は幸運にも、RITEが成果発表の場として開催しているALPS国際シンポジウムに毎回参加させてもらっている。

さて、カトヴィツェにおいてCOP24がちょうど始まった時に、私はこの巻頭言を執筆している。このCOP24では、パリ協定を推し進めるために改めて明確な合意がなされることを多くの人々が期待している。しかし、昨年の世界のCO<sub>2</sub>排出量は2.7%の増加と推定され、まだ増加が続いている現状を考えると、パリ協定はとてつもない目標であると言わざるを得ない。もし世界の平均気温を2℃より十分低く安定化させようとするならば、今世紀半ばにはCO<sub>2</sub>排出量をネットゼロに近づけることを目指して10年ごとに半減させていくことが必要となる。つまり、CO<sub>2</sub>排出量を2020年の約400億トンから、2030年には200億トン、2040年には100億トンという具合に減らしていかなければならない。これは正に大変革を意味し、おそらく、低炭素化のための全く新しい技術、インフラ、制度、人々の行動を世の中に浸透させていく超人的な努力が必要となるだろう。それ故、世界が発展を続けながらも気候変動を回避するという新たなソリューションや方法を追求する、この前例のない問題に立ち向かうことができるRITEのような研究機関を世界は必要としているのである。



## IPCC 1.5°C特別報告書について



参与 山口 光恒

### 1. 1.5°C特別報告書 (SR1.5) の経緯と性質

2018年10月8日IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が1.5°C特別報告書を公表した。報告書の正式な名称は「1.5°Cの気温上昇 - 気候変動の脅威、持続可能な発展、及び貧困撲滅への地球規模での対応を強化するとの文脈での、工業化から気温が1.5°C上昇する場合の影響とその場合の地球規模での温室効果ガス（GHG）排出経路に関するIPCC特別報告（以下SR1.5）」である。元々は2015年12月12日に第21回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP21）で採択された決定1（パリ協定はこの付属文書）のII. 21でCOPからIPCCに対して「工業化以降1.5°C気温が上昇したときの影響と、その場合の地球規模での温室効果ガス（GHG）排出経路に関する特別報告書」を2018年にCOPに提出することを求められ、翌2016年4月にIPCCがこれを受け入れて執筆者の人选が開始されたもので、第1回執筆者会合が開催されたのは2017年3月で、実質1年半という驚くほどの短期間の作業で完成されたものである。執筆者はじめ査読者その他の関係者の努力に先ず敬意を表したい。

上記の通りCOPからの要請は①工業化以降1.5°C気温が上昇したときの影響、②その場合の地球規模でのGHG排出経路の2点であるが、SR1.5ではこれらを「持続可能な発展、及び貧困撲滅への地球規模での対応を強化するとの文脈」で検討している。パリ合意では持続可能な発展或いは貧困撲滅に度々言及があるのでIPCCがSR1.5をこの文脈で検討していることは正当化されるが、反面これによりSR1.5が若干わかりにくい内容となっている点は否めない。他方COPからの要請はないにしても1.5°C達成の排出経路を詳細に評価しながら、それによる経済的コスト（対GDP或いは消費）に一切言及がないのはIPCCが目標としている「政策に有用な (policy relevant)」報告書とはなっておらず残念な点である。

### 2. SR1.5の概要

#### 2.1. SR1.5の構成

報告書は政策決定者のための要約（Summary for Policymakers、SPM）と本文からなり<sup>1</sup>、本文は5つの章でそのタイトルは次の通り。

第1章 構成と文脈

第2章 持続可能な発展を踏まえた1.5°Cと統合的な排出削減経路

第3章 1.5°C上昇の自然と人間システムへの影響

第4章 国際的対応の強化と実施

第5章 持続可能な発展、貧困撲滅と不平等の軽減

以下SPMを中心に必要に応じて各章の内容に触れつつ概要を紹介する。

SPMのみは行ごとに政府代表によるレビューがあり、そこで全会一致で承認されたものが最終版となる。実際政府レビューの前と後では内容にいくつか修正が加えられるという意味で、SPMは各国政府の意向を受けた政治的色彩を帯びたものである。

#### 2.2. SPMの概要

SPMは第1章から第5章の内容をAからDの4つの節にまとめている。Aはほぼ第1章の要約、Bは第3章、Cは第2章、Dは第4章と第5章の要約である。以下この順に説明する。

##### A節 1.5°C気温上昇の理解

ここは気候科学を中心としたまとめであり、主たるメッセージは、人為的影響により気温は工業化以降1°C上昇したこと、現在の上昇速度のままだと2030～2052年の間に1.5°Cを超える（確率66%以上）ことである。従来起算年を「工業化」としていたが、工業化の時点はまちまちであった。SR1.5ではこれを1850～1900年に統一した。もう1点重要なことは地球の平均気温の定義の統一である。これまで地球の平均気温という場合その定義を特に意識してこなかったが、SR1.5では平均気温Global Mean Surface

Temperature (GMST) を陸上の地表表面近くの大気と海洋の海面水温の加重平均と定義づけた。これまで観測された気温の場合には、この方式を用いていたが、気候モデルでは陸上海上を問わず表面近くの気温 (Surface Air Temperature、SAT) を用いていた。海上の大気の方が海水より温度上昇の速度が早いので、モデル上の地球の平均気温の方が観測値よりも高くなる。この結果が後述の炭素予算 (気温上昇を一定レベルで抑えるための累積CO<sub>2</sub>排出許容量) の増加の一因となったという意味で、これは重要な変更である。

**B節 予想される気候変動、潜在的影響とそのリスク**

ここではCOPから要請のあった「工業化以降1.5°C気温が上昇したときの影響」を記述している。内容は2°C上昇に比べて1.5°C上昇の場合の方が影響が少ないという、常識に合致したものである。例えば、2100年の海面上昇 (ここでは起算点は1986~2005年) は1.5°Cの場合は26~77cmで2°C上昇よりも10cm低い、夏の間に北極海で氷山が無くなる割合は1.5°Cでは100年に一度だが2°Cだと10年に一度となる、珊瑚礁は1.5°C上昇で更に70~90%失われるが、2°Cだと99%以上が失われる云々といった内容が続く。

もう一つ重要なものは種の多様性、異常気象など5つのカテゴリー別の気温上昇に応じたリスクの程度を示す図である。

図1から特に種の多様性については1.5°C上昇でも影響が大きいことが分かる。影響のうち最も大規模なものはグリーンランドや西南極氷床崩壊による大幅な海面上昇であるが、図の右の大規模不連続事象を見る

と、1°C上昇で黄色 (中庸の影響・リスク)、2.5°C周辺で赤 (影響・リスク大) となっている。しかし2014年のIPCC第5次報告書 (AR5) の同様の図では赤に転じるのは3°C~4°C近辺あたりである。この説明として本文第3章に西南極氷床の新たな観察とモデル計算の結果から1°C上昇で黄色、2.5°Cで赤という具合に第5次報告よりも低い気温上昇で影響が出るとしている。これは極めて重要なメッセージであり (第3章のみではなく) 政治家が読むSPMにも掲載すべきである。なお、影響・危険の判断は当該章担当の専門家の価値判断によるもので、且つ影響・リスクについては具体的な数値が全く示されていない。この辺り今後の課題である。

**C節 1.5°Cと整合的な排出経路とシステム変化**

この節はCOPからの要請である気温上昇を1.5°C以内に抑える場合の地球規模での温室効果ガス (GHG) 排出経路に対する回答である。ここで中心をなすのは次の二つの図である。

図2を参照願う。これは2100年に1.5°Cを達成するとした場合のCO<sub>2</sub>排出経路である。

水色と灰色の2つの幅があるが、前者は2100年まで1.5°Cを超えないか、一時的にそれを超過する (オーバーシュートする) としても0.1°C以下に止まる場合の排出経路、後者は0.1~0.4°Cの範囲で一時的に超過する場合のそれである。後者の方が厳しい削減の時期は遅くて良いが、途中から急激に排出削減が必要となっている。図の下の方にシナリオ分布の確率が示されているが、超過の程度に拘わらず2045年~2060年頃にネット排出量をゼロとし、その後はマイナス排

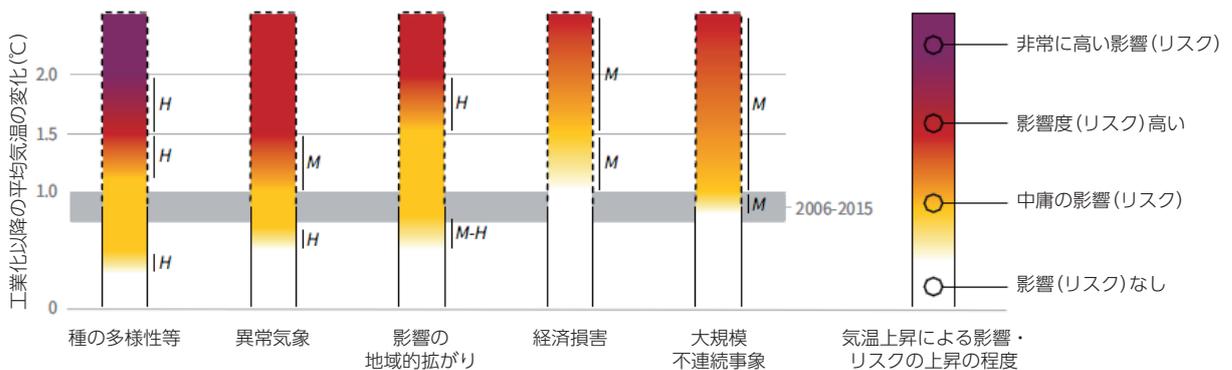


図1 カテゴリー別気温上昇と影響・リスクの程度  
出典：IPCC SR1.5 Fig. SPM.2

出とすることが必要であることを示している。いずれにしても2020年（あと2年）或いは2030年以降、図のような急激な削減を行うことが現実的とは思われない。

次は図3である。これは4つの異なる社会経済状況を例示的に仮定し（P1～P4）、その違いによる1.5°C達成の排出シナリオの相違を表したものである。詳細は省略するがP1は低エネルギー需要社会（LED）、P2は持続可能な社会、P3はP2ほど理想的ではないが、極端に緩和や適応が困難ではない社会、P4は化石燃料中心に発展する社会である。このうちP1はSR1.5で初めて出現した社会経済シナリオである。特段の対策をとらない場合の排出量は左から右にかけて順に大きくなる。従って同じ1.5°C達成シナリオであっても削

減コストに大きな違いがあるのは当然である。図中の4本の緑色の線がそれぞれ異なるシナリオの下での1.5°Cを達成するためのネットCO<sub>2</sub>排出量、灰色は化石燃料及び産業部門からのCO<sub>2</sub>排出量、茶色は植林・再植林による吸収・排出量、黄色がBECCS（バイオエネルギーを用い排出されるCO<sub>2</sub>を回収して地中に貯留する技術で、これは植林・再植林と共にマイナス排出あるいはネガティブ・エミッションと呼ばれる）による吸収量である。図から分かるようにもしLED社会が実現するならば1.5°C実現にはほんの少しだけ植林・再植林に頼るだけで可能であるが、P4では既排出のCO<sub>2</sub>を大量のBECCSで吸収しない限り1.5°Cは実現しないこととなる。この事から気温上昇限度目標の

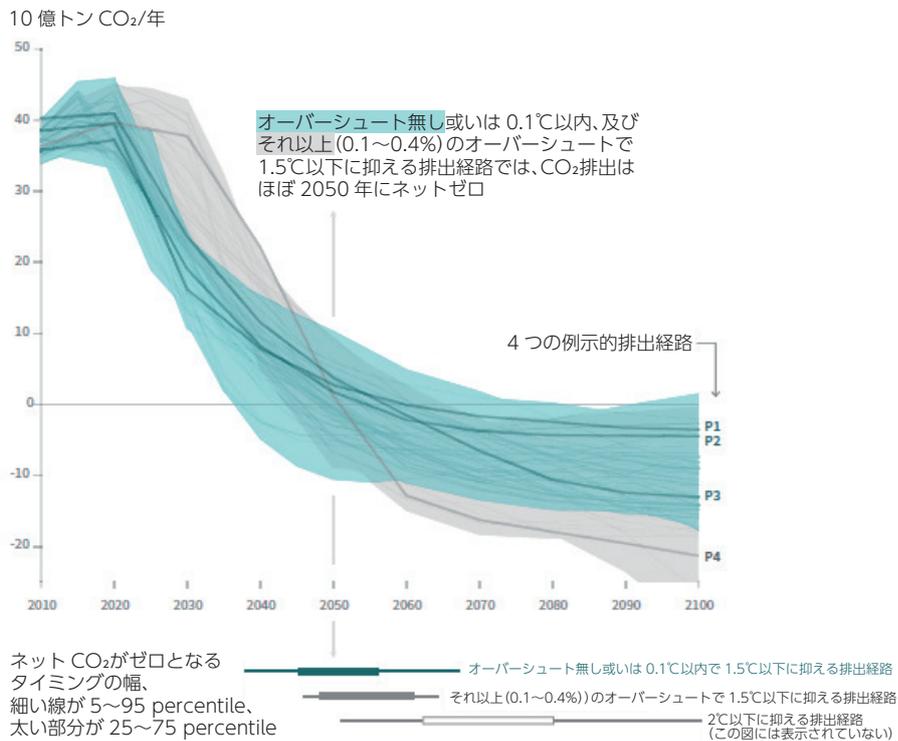


図2 1.5°C達成に向けた世界のネットCO<sub>2</sub>排出経路  
出典：SR1.5 Figure SPM.3a

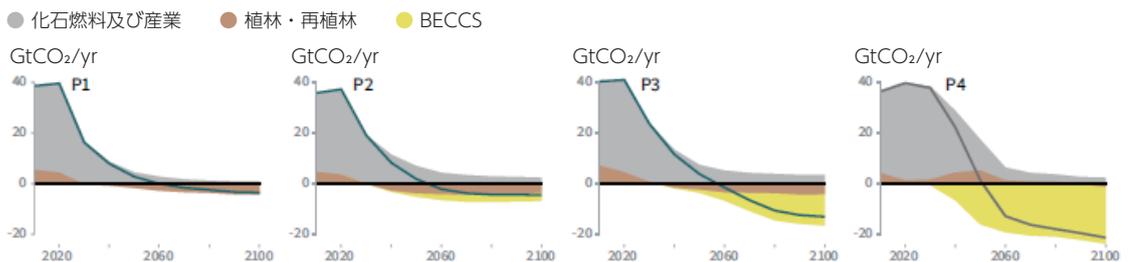


図3 4つの例示的な社会経済状況の下での1.5°C達成のためのCO<sub>2</sub>排出量  
出典：SR1.5 Figure SPM.3b



程度に拘わらず今後世界の社会経済の状況がどの様な状態で進むかが如何に重要であるかが分かると共に、1.5℃を目指すにはP1は余りに非現実的、P4（程度の差はあるがP3）も多量のBECCSに依存するという意味で非現実的で、AR5で最も理想的とされた持続可能な経済発展（P2）が実現可能かにかかっていると見える。

C節ではこの他炭素予算（特定の気温上昇限度目標以下に留まるための累計CO<sub>2</sub>排出量）の増加の記述があるが、この点は後述する。

### D節 持続可能な発展と貧困撲滅の文脈の中での対策強化

ここで最も重要なメッセージは、各国のプレッジを合計すると2030年の排出量はおおよそ52~58Gtになるが、これが約束通り履行されたとしても1.5℃は無理であると言い切っている点である。従って1.5℃を目指すには2030年に向けてのプレッジの大幅見直しが絶対条件になる。このメッセージはCOPからの要請の2点のうち、「1.5℃を可能とする世界の温室効果ガス（GHG）排出経路の知見提供」への答えでもあり、本来であればSR1.5の冒頭におくべきものと思う。

D節は主として本文第4章と5章の内容をまとめたものであるが、第4章にある「1.5℃が長期的には善であっても短期の社会経済的ロスを生じては広範な支持は得られないので、本当に難しいのは経済に甚大な影響を与えずに温暖化対策の強化が出来るかどうかと云うことだ」という含蓄のある記述がSPMに取り上げられなかったのは残念な次第である。

SR1.5は持続可能な発展と貧困撲滅と気候変動の関係を正面から扱った初めてのIPCC報告である。しかしこの点については文献が限られている外に、対象範囲を余りにも拡大した結果、抽象的な記述に止まり、また優先度の記述もないので、残念ながらPolicy Relevantな内容とは言い難い結果となっている。

### 3. SR1.5報告書の評価

既述の通り、極めて短期間に数多くの文献にあたり、得られた有益な知見をまとめてCOPからの要請に応えたという点で、SR1.5の貢献が大であることは誰しもが認める点である。他方、決定的に重要だが全く記述がない情報（対策コストや希少な資源の最適配分）

や、もう少し強調すべきであった点（不確実性）もある。以下この点について筆者個人の意見を述べる。

#### 3.1. 対策コストの欠如

この報告書では従来の2℃ではなく1.5℃を目標とした場合の影響と損害の軽減について詳細に分析しており、この結果から2℃よりは1.5℃目標の方が良いことは一目瞭然である。しかし、政策決定者にとってはそれによる対策コストを知ることが出来なければ意志決定が出来ない。コストとは分かりやすく言えばどの程度の努力が必要かの指標なのだ。報告書はこの点についてSilentで、残念ながらIPCC報告書に必要な「政策決定に役立つ報告」とはなっていない。もっともCOPからIPCCへの依頼事項の中にコストが入っていない。このことはCOPに携わる政府関係者がそもそもコスト論議に興味がなかった可能性があり、もしそうなら事は重大である。

ここで削減コストとは対策を打つことによる経済への負担のことで、GDPあるいは消費がどの程度減るかを指す。コストの記載がない理由としてSPMでは「文献が少ない」ことを挙げている。仮に少なければ、その旨注釈をつけた上で数字を入れるべきであるし、評価した1.5℃シナリオが90もある（SR1.5 表2.1）中で、本当にコストを計算したものがどれくらいあったのかも知りたいところである。困みにAR5では、統合報告書及び第3作業部会のSPMで理想的な場合（全ての国が協力しての世界単一炭素税の導入）および技術等の制約がある場合の削減コスト（消費ロスの割合）を掲載している。これは執筆者が対策コストはIPCC報告書の必須の要素と判断したからである。

これと同様、SR1.5のSPMには1.5℃達成の限界削減費用（Marginal Abatement Cost、MAC、目標達成のための最後の1トンの削減コストで対策の総コストとは別物）は2℃のそれに比べて3~4倍高いとしか表現がなく、これでは具体的数値がないので政治家にはどうしたらよいか分からない。しかし、第2章には具体的な数値がある。例えばオーバーシュート無しで1.5℃を達成する場合のMACは2030年で\$135~6050、2100年には\$690~30100と幅がかなりある（152頁）。こうした数値をSPMに記載して政治家の参考に供すべきであった。

### 3.2. 希少資源の効率的配分と費用便益分析

SPMでは知見の不足から1.5°C目標の費用便益分析は行ってないと1行あるのみであるが、本文第1章(76頁)及び第2章(152頁以降)ではこの分析に否定的である。その理由としては、非市場損害(例えば人の生命)の金銭価値把握が困難なこと、全体としては便益が費用を上回っても個々の国や地域はそうはいかない場合があること、将来の損害を現在価値に換算する割引率には主観的要素が入り込むこと等、誠にもっともな理由である。しかし昨年ノーベル経済学賞を受賞したNordhaus教授はこの点についての更なる研究の必要性を示唆している。筆者もこれに賛成である。

費用便益分析の必要性は気候対策をどこまでやるべきかの分析に役立つのみではない。SR1.5で初めて気候変動問題とこれ以外の持続可能な発展目標(SDG)との関係性を評価しているが、世界の資源は有限で、貧困や飢餓の撲滅、不平等克服、気候変動等、17の重要事項に無限に資金を投入することは出来ない。こう

した中でこれら諸課題の優先順位の判断の有用なツールが費用便益分析である。費用便益分析には上記の問題点があるが、希少な資源の効率的配分の一つの要素としてその重要性は不変であるにも拘わらず、気候変動の分野ではほとんど注目されていないのは残念な次第である。

### 3.3. 顕在化した不確実性 炭素予算問題等

炭素予算とは気温上昇を一定レベルで抑えるための累積CO<sub>2</sub>排出許容量を指す。AR5では1.5°Cに抑えるための2011年以降の(残りの)炭素予算は400Gtとされていた。ここから2011~2017年の排出量290Gtを差し引くと2018年以降の残りの炭素予算は110Gtとなる筈であるが、SR1.5では570Gtと460Gtも増えている。このうち150Gtは地球平均気温の定義をSATからGMSTに変えたことによるものであるが、残りはベースラインと基準年の取り方による影響のようである(以上いずれも目標を66%以上の確率で達成する場合)。

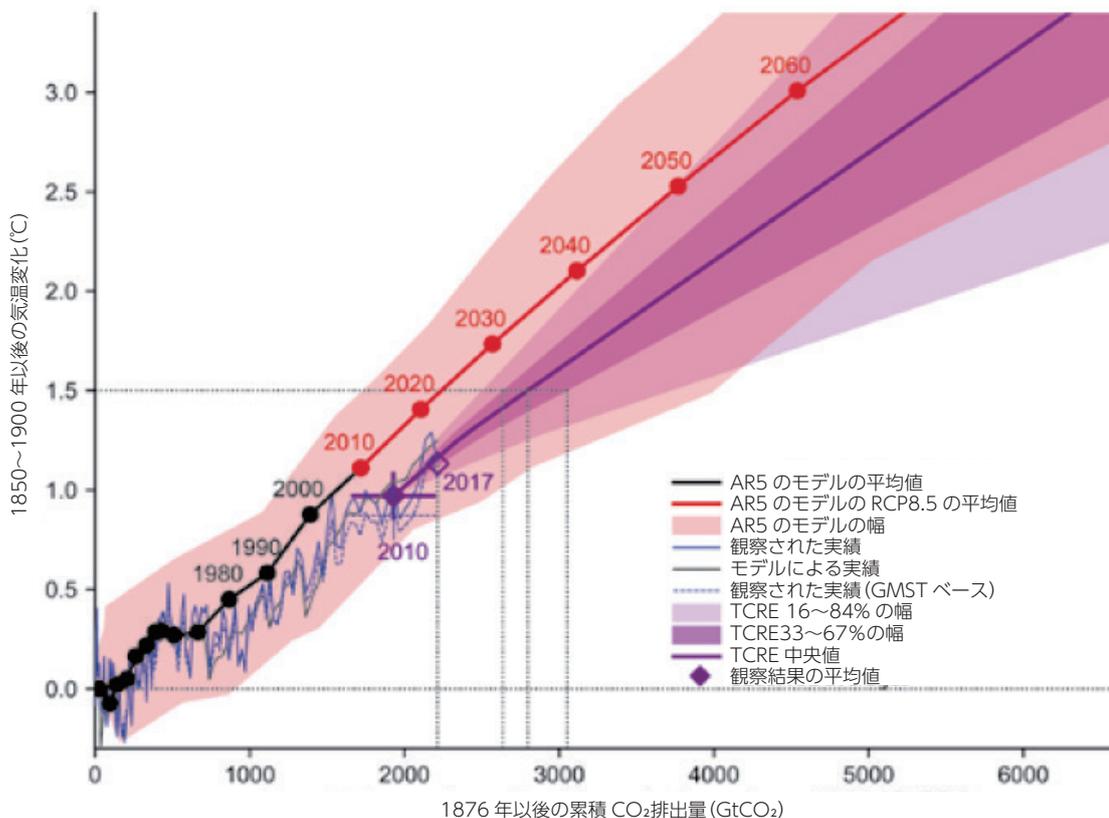


図4 増加した炭素予算 気温上昇と累積CO<sub>2</sub>排出量の関係

ここでAR5とSR1.5の炭素予算の相違の理解を助けるために累計CO<sub>2</sub>排出量と気温上昇の関係を示す図4(炭素予算の図)を参照願う。

細かい点は一切省略するが、AR5では黒の太線が(モデルでの)実績、赤の太線が予測である。2017年の排出量は2200Gtなので、赤の太線(AR5のモデルでの予測)が正しければこの段階でほぼ1.5度上昇していることになるが現実の上昇は1℃である。これは明らかに実態とかけ離れているので、最新のデータを基に2017年以降の予測を改訂したのが紫の太線である。AR5からたった4年で炭素予算がこのように大きく変わると言うことは、今後も同様のことが起こる可能性があることを意味している。

炭素予算には上記以外の不確実性がある。例えば永久凍土が解けることに拠るCO<sub>2</sub>排出増や湿地から排出されるメタンなどの追加的地球システムフィードバックを考慮すると上記の炭素予算は100Gt減少する。また気候感度(CO<sub>2</sub>濃度倍増時の平衡気温上昇)も1.5~4.5℃と3倍の開きがある。

不確実性は他にもある。既述の通り将来社会経済状況がどのような形をとるのか、また技術開発がどの程度まで進むのかによってもBAU排出量や対策の内容は全く異なったものとなる。気候変動問題とは不確実性の下でのリスクマネジメント問題であって、今から確固たる目標を決めて何が何でもそれに向けて突き進むという考え方は柔軟性に欠けるものである。

#### 4. 今後の国際交渉への影響

SR1.5が公表されたときの海外一流メディアの反応は冷静なものであった。例えば公表直後の昨年10月11日付のロンドンエコノミストは「この報告書は警告としらげが不思議に混じり合ったもの」、フィナンシャルタイムズは「気候変動による大災害の警告は世界から沈黙を以て迎えられた」と報じ、10月16日のウォールストリートジャーナルは「対策が絶望的に不可能だとの見方が、この報告書に対する反応がほとんど無いことを説明している」という具合である。要は1.5℃実現には2050年前後に世界のCO<sub>2</sub>排出量をネットでゼロに抑えるという内容が余りに現実とかけ離れているので、これが真剣に取り上げられないと言うことを示している。直後にCOP24が開催される事

になっていたが、日本においてもこの報告に基づいて2030年目標を見直すとの動きは無かった。

他方、COPからすればIPCCにこの報告書の執筆を依頼した手前、これに反応をすることは当然の成り行きである。実際COP24での「決定」のIVに1.5℃報告に関する記述がある。ここではタイムリーな報告書の完成を歓迎すると共に、加盟国政府に対してこの報告書の利用を要請し、更に2019年6月の気候変動枠組み条約の補助機関会合(SBSTA)で1.5℃目標についての科学的知見を深めるとの観点からこの報告書を勘案することを要請することが明記された。少なくとも2019年のSBSTAで1.5℃問題が取り上げられることが決まったわけで、ここでどのような議論が行われるかに留意が必要である。

COP24は全ての国に共通のルールブックが適用されるという意味では成功であったが、これと2℃或いは1.5℃目標の実現可能性は別物である。現在でも世界の排出量は増え続けていること、各国のプレッジの大幅引き上げとその履行がない限り1.5℃の可能性はないが、アメリカの離脱声明や世界が協力関係に無い状況からみて、1.5℃に向けて国際交渉が進むとは考えにくい。今後もしCOPで1.5℃を求める声が大きくなるような場合には、国際交渉と現実の国内政策との乖離が進むことになる。筆者はこの状況を恐れる。

とはいえ、CO<sub>2</sub>の排出を続ける限り気温は上昇し続ける。こうした状況は何としても避けねばならない。気温上昇をどこかの時点で安定化させるにはCO<sub>2</sub>排出をゼロにすることである。気候変動対策の目標として従来の気温上昇限度ではなく、CO<sub>2</sub>排出ゼロとすべきで、そのための技術開発とその商業利用の検討を各国が協力して進めることこそ我々が目指すべき方向である。

1 この他第1~4章には更に詳細な補足資料が付随しているが本稿ではこの内容については立ち入らない。



## RITE技術の事業化について — バイオ分野における取り組み —

RITEの各研究グループは、地球温暖化対策における中心的課題であるCO<sub>2</sub>の削減に資するための研究開発に取り組んでいる。これらの開発技術が、産業技術として社会で利用されるよう、国内外の産学官との連携を進めることは我々の重要な使命であり、国や公的プロジェクトの実施、国内外の研究機関や企業との共同研究、技術研究組合での研究開発等を通じて、RITE技術の事業化を目指している。本欄では、バイオ分野における取組みを二件、紹介する。

### 1. Green Earth Institute株式会社

(本社：東京都文京区、研究所：千葉県木更津市かずさ)

Green Earth Institute株式会社（以下「GEI」）は、RITEが独自開発した革新的バイオプロセス（RITE Bioprocess®）の研究開発を早期に事業化するため、2011年9月1日に設立したRITE発ベンチャー企業である。GEIは、バイオ燃料（エタノール、ブタノール）やバイオ化学品等のターゲット物質を高効率に生産することが可能となるRITE開発の微生物（コリネ型細菌）を用いて、アミノ酸の一種について、2014年5月にラボスケール（1L）からベンチスケール（90L）、2014年8月にパイロットスケール（2kL）、2016年3月には商用スケールでの生産に成功した。現在、国内外のパートナー企業とのライセンス契約により、アミノ酸は既に商業生産段階に進んでいる。

#### ラボスケールから商用スケールへ

Lab: ~10L



Bench: 90L  
2014年5月



Pilot: 2kL  
2014年8月



Commercial Size  
2016年3月



出典：GEIホームページから一部改変

また、航空機からのCO<sub>2</sub>排出削減に向けて非可食バイオマスを原料にしたバイオジェット燃料に大きな期待が寄せられている中、GEIは日本航空株式会社（JAL）が主催する「10万着で飛ばそう！ JALバイオジェット燃料フライト」プロジェクトに参加している。GEIは、プロジェクトで回収された古着を原料として、RITEが開発したコリネ型細菌を使用し、RITE Bioprocessによりイソブタノールを生産し、国際規格であるASTM D7566 Annex5に適合したバイオジェット燃料製造を担当している。

### 2. グリーンケミカルズ株式会社

(本社・京都研究所：RITE本体内、

静岡拠点：住友ベークライト株式会社静岡工場内)

RITEと住友ベークライト株式会社は2010年2月15日に「グリーンフェノール・高機能フェノール樹脂製造技術研究組合（GP組合）」を設立し、世界初となる微生物からのフェノールの生成及びフェノール樹脂製造に関わる基盤技術の開発に成功した。その後、早期事業化を目指し、GP組合は、2014年5月27日にグリーンフェノール開発株式会社（GPD）に組織変更した。GPDは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの支援を受け、パイロット設備による非可食バイオマス由来フェノール（グリーンフェノール）生産プロセスを完成させた。フェノールは微生物の細胞に対して強い毒性があるため、バイオプロセスによる生成は不可能とされてきたが、GP組合が独自に考案した二段工程法を導入することによって可能となった。グリーンフェノール成形品は、弾性率も曲げ強度も引張強度も、石油由来の製品と同等の数値が出ている。

【バイオ変換工程設備】



【濃縮精製工程設備】



【グリーンフェノール樹脂】



【グリーンフェノール樹脂材料成形品】



GPDが培ってきた技術は、フェノール以外の有用な化合物も生産可能であるため、これらの有用化合物も含めて早期の事業拡大を図るため、GPDは、2018年4月1日に商号をグリーンケミカルズ株式会社（GCC）に変更した。GCCがターゲットとしているのは、微生物の細胞に対して強い毒性があるためバイオプロセスによる生成が困難とされてきた芳香族化合物である。高機能樹脂や香料、医薬品原料等で、市場における高い需要があり、現在、事業化を目指した取組みを加速している。



## Green Earth Institute株式会社

国内外の企業との連携によりバイオリファイナリー事業を展開



代表取締役社長  
伊原 智人 氏

私たちGreen Earth Institute株式会社（GEI）は、RITE発ベンチャー企業として、2011年9月1日に設立されました。RITEにおいて、20年以上開発されてきたバイオリファイナリープロセスであるRITE Bioprocess®の事業化に向けて取り組みを続けてまいりました。RITEとの共同研究により、菌体の改良を進める一方、ラボスケールからベンチスケール、パイロットスケールとスケールアップを図り、2016年3月にはアミノ酸の一種であるアラニンで、商用スケールでの生産を実現させることができました。この商用スケールの生産は、中国のプラントで実施したのですが、初めての経験ということもあり、想定しないようなアクシデントもありました。そうした困難も、RITEからも研究員の方に来ていただ

き、弊社メンバーと一緒に対応することで、乗り越えることができました。私自身も、4日間連続でプラントに泊まり込みましたが、最後の製品である白い結晶をみた際の感動は強烈でした。このアラニンの商用生産の実績により、RITE Bioprocess®が、革新的なバイオリファイナリープロセスであると同時に、市場でも競争力を持つ技術であることを証明できたことはとても大きな意義があったと考えております。そして、この実績を踏まえ、現在、日本国内だけではなく、中国、米国にも、アミノ酸生産技術のライセンスをしており、既にRITE Bioprocess®で生産したアミノ酸が製造販売されています。現在、アミノ酸だけではなく、バイオ燃料や化粧品素材などのグリーン化学品についても開発を進め、RITEと協力をして、石油由来（ペトロリファイナリー）からバイオマス由来（バイオリファイナリー）への転換を目指しております。そのためには、実際に世の中で使われ、事業として継続できることが重要です。GEIは、RITE発技術の事業化を実現するベンチャーとして、化石資源に頼らない社会の実現に向けて、バイオリファイナリー事業の発展に貢献してまいりたいと思います。

## グリーンケミカルズ株式会社



代表取締役社長  
林 茂 氏  
(住友ベークライト株式会社  
代表取締役会長)

2010年にRITEと住友ベークライト株式会社は、それまで石油由来原料に強く依存したフェノール樹脂原料を、非可食バイオマスからバイオ変換技術で生産された「グリーンフェノール」に置き換えるという野心的な目標を掲げ技術研究組合を立ち上げスタートした。当初、細胞毒性の高いフェノールを、非可食バイオマスから微生物によるバイオ変換技術で作ることは、極めて困難な課題であったが、RITEの高い菌体開発力で、この困難な高濃度生産株の開発という目標をクリアし、さらに、経産省、NEDOの助成を受けて、住友ベークライト株式会社が濃縮精製工程を完成させた。この成果をベースにして、2014年に技術研究組合から株式会社化第一号案

件となる、グリーンフェノール開発株式会社をRITEと住友ベークライト株式会社の2者で設立した。

当社が開発した技術は、フェノール以外の高付加価値な化合物を選択的かつ高効率で産出できることから、2018年4月に商号をグリーンケミカルズ株式会社（GCC）へ変更し、フェノール以外の有用芳香族化合物へ事業化検討品目を拡大し、現在、本格的に市場開発を進めているところである。

昨今、持続可能な開発目標（SDGs）への取り組みが企業にとって社会的な使命となる中で、これまで大規模商業生産が不可能とされていたバイオ変換による芳香族化合物を、いち早く商業化し、持続可能な社会に貢献することは、当社にとって大きな夢であり挑戦である。そのための鍵となるのは微生物の遺伝子設計技術及び高効率培養・回収技術であり、その総合力がGCCの宝である。

GCCの社長に就任した私の役割は、この世界に誇れる技術を顧客に届け、使ってもらうことであり、そのために、お客様のニーズに刺さる商品の実用化を加速していきたい。

## 企画調査グループ



グループリーダー・  
主席研究員

堀尾 容康

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員  
サブリーダー  
主席研究員  
主席研究員  
研究管理チームリーダー  
国際標準化チームリーダー・副主席研究員  
副主席研究員  
副主席研究員  
調査役・主任研究員  
主幹・主任研究員

野村 眞	主幹・研究員	面屋 大輔
中村 哲	主幹	倉中 聡
高木 正人		
東井 隆行		
箕浦 靖明		
青木 好範		
出口 哲也		
内村 泰三		
金星 春夫		
清水 淳一		

## 企画調査グループにおける調査活動概要

### 1. 地球環境と経済の両立

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

#### 1.1. 国際的議論の高まり

2018年は、地球環境問題に関し重要なイベントが相次いで実施された。IPCC第47回総会(パリ・3月)、および48回総会(仁川・10月)が開催され、パリ協定下で実施される気候変動対策の進捗確認に関する議論(パリ)、1.5℃特別報告書の公表(仁川)などが行われ、また、一年を通じ、「タラノア対話」により政府・自治体・企業などから地球温暖化ガスの排出削減に関する取り組み情報が集められ、12月にポーランド・カトビツェで開催されたCOP24における議論の土台となった。RITEは、この中で報告書執筆者会合への専門家派遣、国内連絡会やシンポジウム開催などを通じて温暖化対策の枠組みづくりに貢献した。

#### 1.2. RITEの使命

国際的議論の高まりとともに、「地球環境と経済の両立」は、工業国・途上国共通の目標としての認識が高まっている。1990年、RITEはこの使命の下に設立され、コスト負担や非効率化を抑え、持続的成長を促すようなイノベーションを革新的な環境技術開発(図1)を通じて実現することを目的としている。

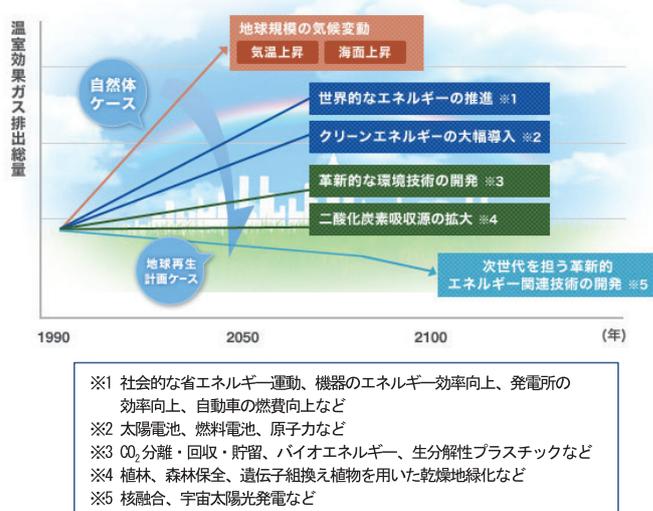


図1 RITEの使命(地球環境と経済の両立)

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

## 2. 経済発展と地球環境

パリ協定の発効（2016年）を踏まえ、地球の平均気温上昇（全球平均気温上昇）を産業革命前の水準に比べて2℃未満に抑えるには、今世紀末の2100年までには温室効果ガスの人為的起源排出と吸収を均衡させることが求められており、脱炭素・ゼロエミッションに向けた機運が世界的に高まっている。地球環境問題の本質的な解決のためには国内の排出削減はもとより、新興国・途上国を含めた世界全体の温室効果ガス的大幅削減を進めることが急務である。

### 2.1. 四半世紀の各国経済発展と温室効果ガス

1990年は、我が国で地球温暖化防止計画が策定されるなどの取組みが本格化した時期である。その後の四半世紀（1990-2015年）で、世界人口は53億人から73億人（1.4倍）に、世界GDP合計は27兆\$<sup>1</sup>から116兆\$<sup>1</sup>（4.3倍）に拡大した。これらの変化の中心は、中国、インド、ブラジル、インドネシア等の東南アジア地域、ナイジェリア等のアフリカ地域の途上国、新興国である。この間、世界貿易総額（輸出）では、3.6兆\$<sup>2</sup>から19.0兆\$<sup>2</sup>（5.3倍）に増加し国際間の取引が急速に拡大した。

世界全体の温室効果ガスのうち燃焼によるCO<sub>2</sub>排出は、年間205億tから323億t（1.6倍）へと拡大した。

工業化国が歩んできた大量生産・大量消費を基調とする化石資源大量消費の道を新興国・途上国が進むとエネルギー安全保障や地球温暖化の問題がさらに拡大する。また、国際貿易取引や国境を超えた情報処理の拡大、代替生産等により、工業化国のエネルギー需要の一部が新興国・途上国にも移転していると指摘されている。各国それぞれの経済状況や社会的優先課題の違いがある中で、温室効果ガスの排出削減を国際間で協力して進め、共通の目標である豊かさの追求＝経済発展を妨げずに同時に温暖化対策を進めていく必要がある。

### 2.2. イノベーション創出に向けて

新しいテクノロジーがエネルギー需給をどのように変化させ、温室効果ガス排出に影響を与えていくか。また、新しい社会や経済、生活のイメージは何かを不断に予測していく必要がある。こういった革新的テクノロジーによるイノベーションについて、国際連携、人材育成、知的財産、産学連携といった各分野における当グループの諸活動について次節より説明する。

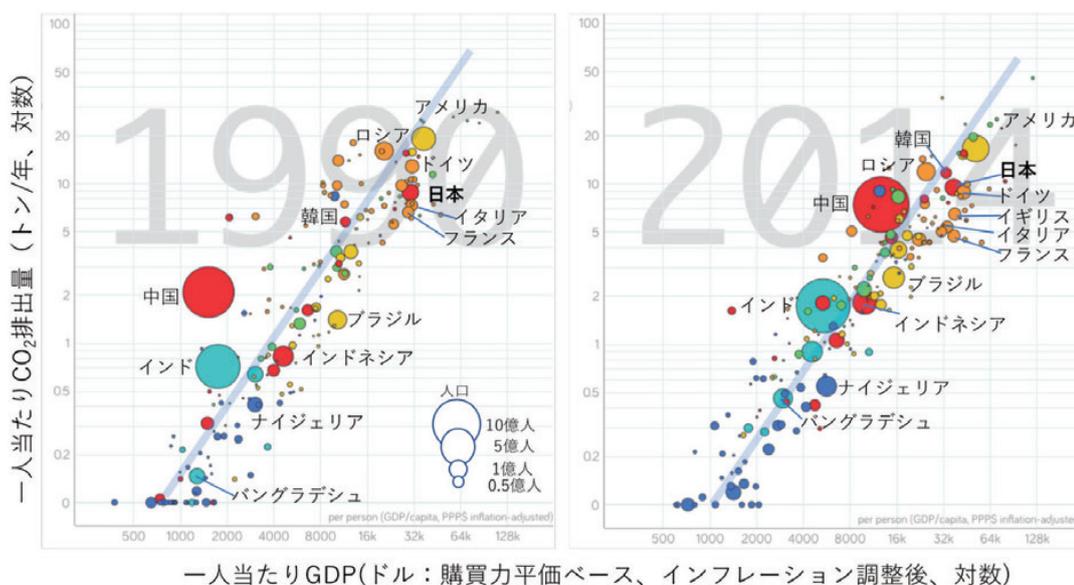


図2 世界80カ国の人口一人当たりGDPとCO<sub>2</sub>排出（1990-2014）

### 3. ゼロエミッション・テクノロジーの探索

CO<sub>2</sub>の人為的吸収として多くの期待が集められている技術の1つとしてバイオマスを伐採し、燃焼エネルギーを得、同時に発生するガスを処理して地中貯留するBECCS (Bio-energy with Carbon dioxide Capture and Storage)と呼ばれる対策がある。一方、その大規模な実施は土地利用転換や植生への影響など様々な課題が多く、むしろその他のCO<sub>2</sub>発生源対策が必要となる。

RITEでは、組織内に「CO<sub>2</sub>ゼロエミッション検討チーム」を設け、電力、運輸、産業といった部門別の対策について調査研究を行なった。

#### 3.1. 部門別アプローチ

世界的人為的CO<sub>2</sub>排出量は、発電41%、運輸25%、産業（鉄鋼、セメント、化学等）20%、の3部門だけで全体の86%を占める。このことから、i) 電力部門：再生可能エネルギー（太陽光・風力）、ii) 運輸部門：電化とゼロエミッション電力、バイオ燃料、iii) 産業部門：鉄鋼におけるゼロエミッション水素利用など化石燃料を用いない生産方法とCCS (CO<sub>2</sub>貯留) /CCU (CO<sub>2</sub>回収・利用) の可能性について、諸外国の事例や最新の技術開発動向に基づいて検討を行なった。

#### 3.2. 例：産業部門（製鉄）のゼロエミッション

ここではエネルギー・CO<sub>2</sub>集約型であり、基幹産業の1つである製鉄を例に検討成果を紹介する。

製鉄における主要原料は、鉄鉱石と石炭（石炭から

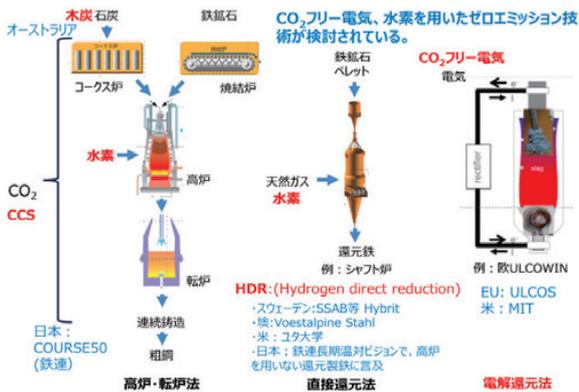
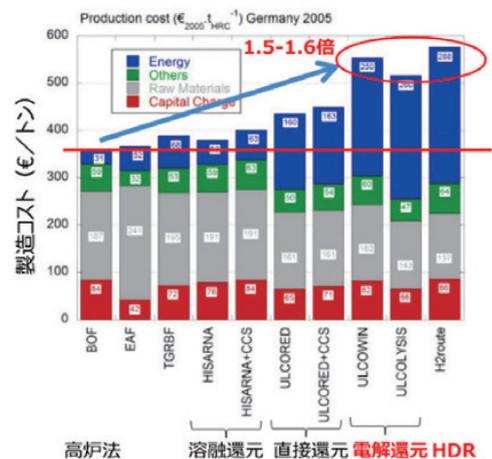


図3 産業のゼロエミッション化技術（鉄鋼）

製造したコークス）であり、これを高炉下部から熱風を送ることにより、コークス燃焼により発生したCO（一酸化炭素）ガスを用いて2千°Cの高温下で鉄鉱石を還元し、溶銜として取り出すものである（図3左）。これを、再生可能エネルギー等から得られたカーボンフリー水素/電力によって置き換えたものが、それぞれHDR (Hydrogen Direct Reduction:直接還元法)、電解還元法であり（図3中・右）、各国政府・鉄鋼業が開発を進めている。

一方、これには再生可能エネルギーからの比較的高価な電力等が用いられるため、コストは1.5-1.6倍程度となる（図4）。新しい製造法に必要な電力は17,270 TWhとなり、これは2016年世界電力需要22,000 TWhの7割に相当する（図5）。これは、ゼロエミッションの実現には大量（かつ安価）のCO<sub>2</sub>フリー水素もしくは電力の技術的・政策的実現を示唆している。



出典：” Iron production by electrochemical reduction of its oxide for high CO<sub>2</sub> mitigation”, EU Law and Publication 2016に加筆

図4 ゼロエミッション化技術のコスト（鉄鋼）

部門	製品量 Gt/年	必要電力量 TWh	必要水素量 万トン/年	備考
鉄鋼	粗鋼1.7	4,420		電解還元：2.6MWh/t-steel (IEA2017)
		6,120	12,750	HDR：75kg-H <sub>2</sub> /t-DRI 電炉分等 0.8 MWh/t-steel (水電解の場合 3.6MWh/t-steel) (IEA2017)
セメント	ポルトランドセメント 4.2	3,600		電気：0.86MWh/t-セメント 熟：8300CJ/t-セメント (IEA2017)
化学	アンモニア 0.18	1,730		電気：9.6MWh/t-アンモニア (IEA2017)
	エチレン 0.12	2,400	5,172	水素 0.431t/t 内閣府系エネルギー研究会2018 (水電解 2.0MWh/t) (IEA2017)
	プロピレン 0.09	3,420	3,879	水素 0.431t/t 内閣府系エネルギー研究会2018 (水電解 3.8MWh/t) (IEA2017)
合計		15,570		(鉄鋼が電解還元の場合、HDRの場合は17,270)

図5 ゼロエミッションに必要なCO<sub>2</sub>フリー水素（世界）

## 4. 国際連携の推進

### 4.1. IPCC（気候変動に関する政府間パネル）

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

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

RITEでは、緩和策（第3作業部会）の国内支援事務局を担い、研究開発・調査と政策を結びつける役割を担っている（図6）。現在、IPCCでは2022年に向けて次の第6次評価サイクル（AR6）を開始しており、2018年にはその執筆者の選定が行われた。RITEはここでも、情報収集・分析・報告・助言等を通じて支援を行なっている。

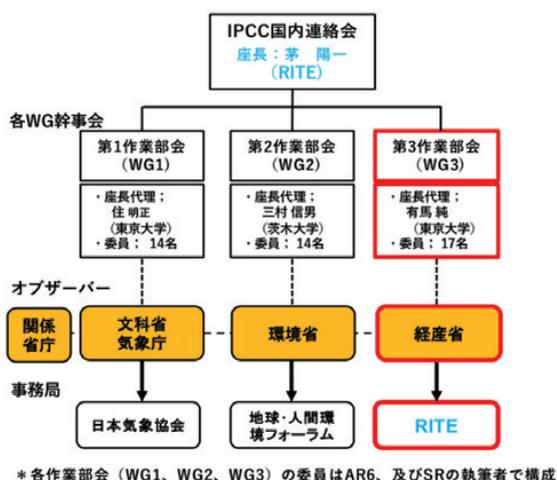


図6 IPCC国内連絡会とRITE

### 4.2. ISO（国際標準機関）

ISOは、各国の162標準化団体で構成される組織であり、国家間に共通な標準規格を提供し、世界貿易を促進している。ISOの標準を使用することで、安全・信頼性が高く、質の高い製品・サービスの提供が可能である。

二酸化炭素回収・貯留（CCS）は、CO<sub>2</sub>の大気中への排出量削減効果が大いこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つであり、すでに諸外国では、多くの実証試験、商業規模でのCCS事業も実施され、国際連携が進められるとともに、標準に関する枠組みが求められている。CCSの国際標準化によって、安全と環境面で、国際的に合意された知見に沿っていることが保証されるため、安全で適切なCCSの普及に貢献することが可能である。

RITEでは、ISO/TC265（CO<sub>2</sub>の回収、輸送、貯留）を中心とした国内審議団体であり、WG1（回収）の事務局を担当している。これらの活動を通じ、CCS分野における設計、建設、操業、環境計画とマネジメント、リスクマネジメント、定量化、モニタリングと検証および関連活動の円滑な実施を国際標準化を通じて実施している（図7）。

2018年にはRITEなど日本主導で発電所における燃焼後CO<sub>2</sub>回収性能の測定、評価、報告方法に関する国際標準を出版した（ISO27919-1）。

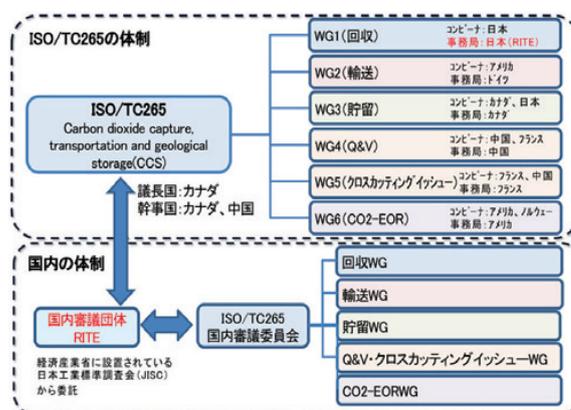


図7 ISO/TC265の各ワーキングと国内支援体制とRITE

## 5. 人材と知財、産学連携

### 5.1. 人材育成

**<小中高高校生>** 地球温暖化問題に関する次世代への教育が重要であり、RITEでは、i) 小中高生を対象に研究所施設を用いた校外学習の受け入れ、ii) 職員等が教材・機材とともに学校を訪問する出前授業要請への対応を進めている。こういった人材育成への要請は年々高まりを見せており、2018年は延べ419人の小中高高校生に対する授業やワークショップを開催した。例えば、RITEが取り組む研究の中からCCS技術を取り上げ、地球温暖化メカニズムを知識として説明し、主要温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>を地中に貯留しても粘土層（遮蔽層）によって漏洩の可能性が低いこと、CO<sub>2</sub>が気体・固体だけではなく、液体になる様子を実験・ワークショップで実際に確認し、さらに考察と意見交換を通じて理解を深めるといった学習サイクルに基づく活動を実施している（図8a）。

**<大学・大学院生>** 次代の研究や技術を支える人材育成の一環として大学・大学院との教育連携を進め、RITE研究者の教授等への兼務を行うとともに、大学院生を中心とした若手人材の研究現場への受け入れを行い、大学における教育と研究所における研究指導を展開している（図8b）。例えば、奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス領域の大学連携研究室をRITEに設置し、単なる技術開発だけでなく、グローバルな生産・消費システムの理解の上に、植物を原料とし、バイオマスを有効に利用した再生可能資源による循環型および低炭素社会実現を目指した研究と教育を進めている。

### 5.2. 知財と産学連携

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

2018年末時点で、RITEが保有する特許は、国内権利129件（うち企業にライセンス中14件）、外国権利65件（同、15件）である。

発明の認定、国内および外国への特許出願、審査請求、特許権維持等といった組織的知財経営を推進するため、RITEでは「特許等審議委員会」を設置し、知財専門家を配した広報・産学連携チームによる運営を行なっている（図9）。

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

さらに知財化は、企業等との連携機会を産み、適切な情報管理と契約に基づき、さらなる知財を生み出すという好循環を期待することができる。また、国際標準（本章4.2など）との連携など、標準を支えるために関連技術を利用可能とするための知財化という側面も期待されている。RITEでは、こういった知財の持つ多様な機能に着目し、市場や他の研究開発動向なども踏まえつつ、戦略的に知財化を推進している。

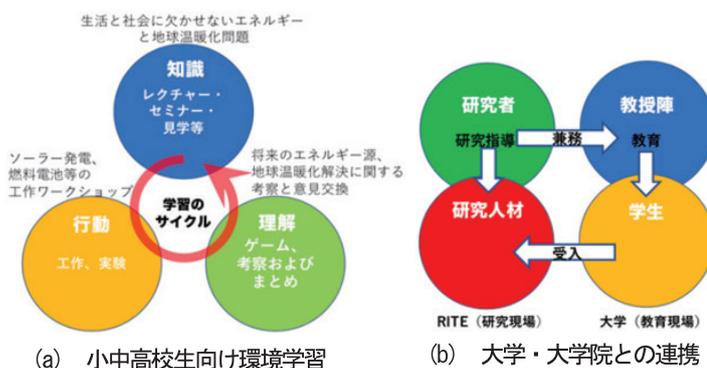


図8 RITEにおける人材育成

## 6. おわりに

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

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

## 参考文献

- 1) RITE, "RITEの役割：地球環境と経済の両立を目指して" (<http://www.rite.or.jp/about/>) .
- 2) OECD, "Air and climate: Greenhouse gas emissions by source", OECD Environment Statistics(database <https://doi.org/10.1787/data-00594-en.>)(2019).
- 3) Gapminder Tools (<https://www.gapminder.org>).
- 4) IEA, "CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion", IEA data service subscriptions(2018).
- 5) IPCC, "AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014" (2014).
- 6) IPCC, "Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C approved by governments" (2018).
- 7) IPCC, "" (2018).
- 8) Grubler A, Wilson C, Bento N, Boza-Kiss B, Krey V, McCollum D, Rao N, Riahi K, et al. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. Nature Energy 3: 517-525.
- 9) Copeland, B and Taylor, S Trade and Environment: Theory and Evidence, Princeton University Press(2003).
- 10) Pearson, C Economics and the Global Environment, Cambridge University Press(2000).
- 11) 石川城太・奥野正寛・清野一治『国際相互依存下の環境政策』「地球環境保護 への制度設計」東京大学出版会（2005）.
- 12) 小川紘一「オープン＆クローズ戦略（増補版）」翔泳社（2014）.
- 13) 文部科学省 科学技術・学術政策局「産学官連携・知的財産政策の現状（科学技術・学術審議会）」（2013）.
- 14) 経済産業省「平成29年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2018）」（2018）.
- 15) 環境省「平成30年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」（2018）.

1 GDP, current prices (Purchasing power parity; billions of international dollars)

2 Merchandise exports (annual, Million US dollar)

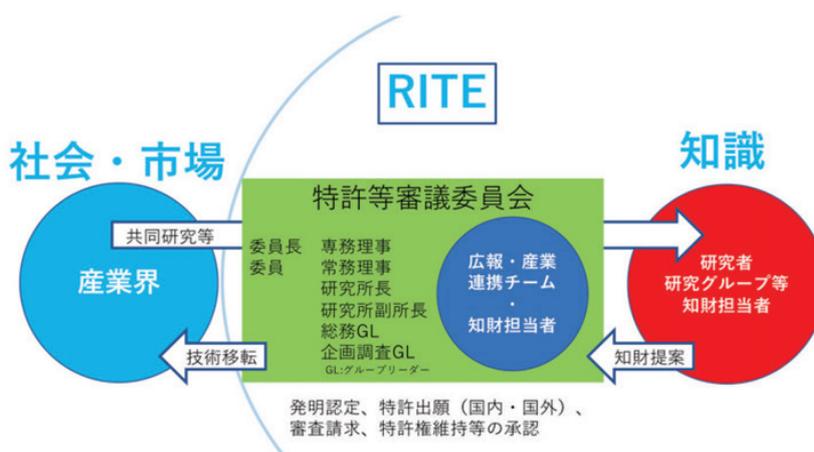


図9 知財戦略と産学連携の推進

## システム研究グループ



グループリーダー・  
主席研究員

秋元 圭吾

### 【コアメンバー】

主席研究員	友田 利正	主任研究員	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	魏 啓為
主任研究員	長島美由紀	研究員	王 楠
主任研究員	本間 隆嗣	研究員	陳 姝凝
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、システム的な分析を通して、地球温暖化やエネルギー対応に関する有用なる情報提供を国内外に行っている。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CO<sub>2</sub>排出量のデカップリングに関する分析、2つ目は、環境調和型製品の普及・展開による貢献の評価、3つ目は、シェアリングエコノミーの進展を考慮した社会経済シナリオの下での温暖化対策の評価である。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とCO<sub>2</sub>排出量のデカップリングに関する分析

#### 1.1. はじめに

これまでGDP成長とCO<sub>2</sub>排出量増加は強い正の相関が見られるとされてきたが、近年になって、その相関が必ずしもはっきり見られなくなる場合があり、GDP成長とCO<sub>2</sub>排出量増加の「デカップリング」が起こってきているのではないかと指摘も見られる。図1は世界のGDP成長とCO<sub>2</sub>排出量増加の関係を示しているが、2013～2016年の世界排出量はほぼ横ばいであり、短期的にはデカップリングの傾向がみられたが、2017年は再び上昇に転じている。長期の傾向で見ると、むしろ2009～13年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とも考えられる。

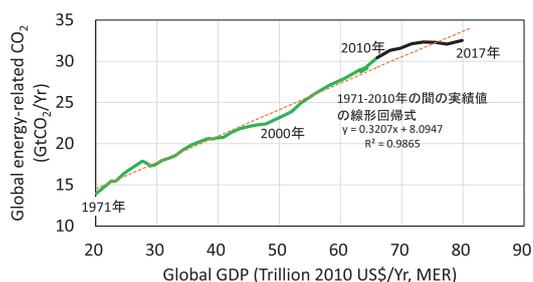


図1 世界の経済成長とCO<sub>2</sub>排出量の関係  
注：IEA統計、IMF統計を用いて作成

また、先進国の一部では、GDPは上昇しているものの、CO<sub>2</sub>排出量は減少している傾向も見られる。そこでRITEでは、そのような動向が現れている要因を評価するため、最新の統計データに基づき、各国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量を推計し、それらの要因等を分析した。

#### 1.2. 消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の推計

世界CO<sub>2</sub>排出量の増加が鈍化した期間の一部を含む2000～2014年について、主要国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量を分析した。グローバルなデカップリングへの寄与を評価するためには、世界全体をカバーした上で各国の産業の国際分業や貿易、消費構造などを考慮することが重要であり、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の評価は、これらを反映した手法と言える。

生産ベースCO<sub>2</sub>排出量は、当該国内で財・サービスを生産・消費した時に燃焼した化石燃料からのCO<sub>2</sub>排

出量を計測したものであり、通常の統計におけるCO<sub>2</sub>排出量に相当する。一方、消費ベース排出量は、当該国内で消費した財・サービスについて、それらに関わる直接・間接CO<sub>2</sub>排出量を示す。よって、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量では、輸出財を生産した国ではなく、輸出財を輸入した後に消費した国で排出量をカウントする。各国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量は、CO<sub>2</sub>排出量（IEA統計）と国際産業連関表（WIOD）のデータを用いて推計した。主要先進国では、2000年以降、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量が生産ベース排出量より継続的に大きい傾向が推計されたが、それらの推移は国・地域によって異なる。

図2に、EU28の生産ベースおよび消費ベースのCO<sub>2</sub>排出量を示す。2008年まで、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の伸びの方が大きく、消費ベースと生産ベースの排出量の差分は増大傾向であった。主要要因は、途上国（主に中国）の機械製品の輸入が大きく増加し、それらに体化したCO<sub>2</sub>の増加である。域内でのCO<sub>2</sub>排出は減少したが、域外から製品の調達がなされており、実際には世界の他の国で排出がなされ、世界全体での大幅な削減の寄与は小さいと言える。リーマンショック後の2008年以降は、引き続き輸入額は増加したものの、輸入元の途上国での原単位の改善の進展などにより、消費ベースと生産ベースの排出量の差分はやや縮小の傾向が推計された。

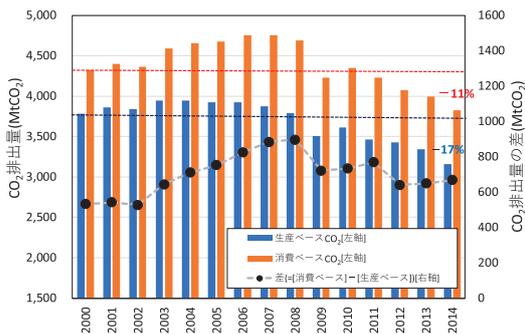


図2 EU28の生産・消費ベースCO<sub>2</sub>排出量

一方、日本については、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量は生産ベースとほぼ同様な変動をしており、CO<sub>2</sub>排出量の差異は緩やかに小さくなっている（図3）。すなわち、日本ではCO<sub>2</sub>原単位の大きい製造業の生産を比較的多く維持し続けたために、輸入依存による炭素リークエッジを拡大させていない。

米国では、2000年以降、EUと同様に、消費ベースと生産ベースCO<sub>2</sub>排出量の差分が拡大傾向にあっ

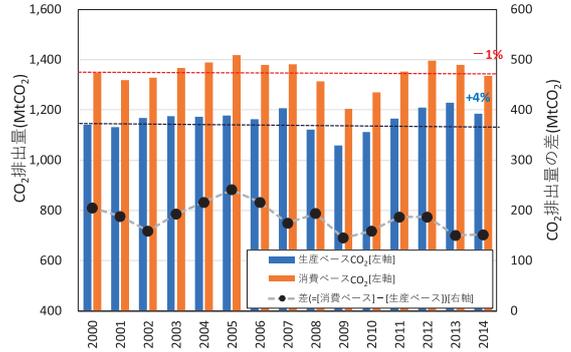


図3 日本の生産・消費ベースCO<sub>2</sub>排出量

たが、シェールガスの国内生産の拡大により2006年以降は縮小傾向がみられる。安価なエネルギー利用が可能となり製造業の米国内への回帰による影響と考えられる。

主要先進国のCO<sub>2</sub>原単位に関する比較として、生産ベースCO<sub>2</sub>排出量を用いてCO<sub>2</sub>原単位（実質GDP当たり排出量）で評価すると、日本は他国と比べ改善が緩やかである（図4（a））。一方、消費ベースCO<sub>2</sub>原単位で比較すると、東日本大震災による原発停止の影響を除けば、原単位改善の程度は欧州と大きな差異はみられない（図4（b））。

(a) 生産ベース (b) 消費ベース

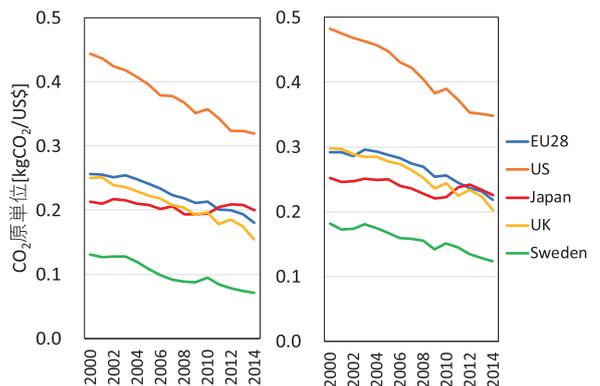


図4 主要国の実質GDP当たり排出量  
注：GDPは2010年価格ドル・市場為替レート換算値

### 1.3. デカップリングに関する分析のまとめ

持続的な温暖化対策のためには、GDP成長とCO<sub>2</sub>排出量増加のデカップリングが重要である。真にグローバルなデカップリングに資する動向が見られるのかを評価するためには、産業の国際分業などの影響を考慮した、各国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の評価が有効である。EUなどでみられるデカップリングは、消費

構造の変化ではなく、輸入による海外依存が進んだ影響が大きく、世界の別の地域にCO<sub>2</sub>排出量が移転していると評価された。世界全体でのデカップリングを達成するためには、グローバルでの対策が重要であり、消費構造の転換、すなわち最終製品やサービスの革新が必要である。

## 2. 世界CO<sub>2</sub>排出削減への環境調和型製品の普及・展開による貢献の評価

### 2.1. はじめに

経済産業省は2017年4月に「長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書」をとりまとめた。報告書では、「国際貢献」、「グローバル・バリューチェーン」、「イノベーション」の3本の柱で大幅な排出削減に向けた取り組みを強化していくとした。また経団連は、2018年11月に「グローバル・バリューチェーンを通じた削減貢献」として、様々な業種・企業による、多種多様な製品・サービス等の削減貢献の「見える化」事例をとりまとめた。

RITEでは、「グローバル・バリューチェーン (GVC)」での世界での貢献を包括的に評価するために、世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+および世界エネルギー経済モデルDEARSを用いて、我が国の2050年に向けた環境調和型製品の普及・展開による排出削減貢献量とそのときの経済的な効果について試算を行ってきている。

### 2.2. 分析にあたっての排出削減シナリオの想定

IPCC第5次評価報告書では430~480 ppm CO<sub>2</sub>eqの排出経路は2℃目標を66%以上の確率で達成可能としており（平衡気候感度が2.0~4.5℃がlikely、最頻値が3.0℃程度の場合）、そのとき、2050年の世界GHG排出量は2010年比40~70%程度の削減が必要としている。これに相当する世界排出削減経路を想定して分析を行った。日本については、2050年のGHG排出削減率を2013年比▲50%、▲65%、▲80%の3種類のシナリオを想定した。

### 2.3. 世界全体の温暖化対策の評価

RITEの世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+によると、世界全体の2050年における部門別・技術別GHG排出削減効果は図5のように推計された。ベースラインにおいては、2050年に80 GtCO<sub>2</sub>eq/yr程度の排出量になると見通される。

2010年比▲40%~▲70%のためには、様々な対策が必要であり、発電部門では、CCSの他、火力発電での対策（高効率化、燃料間転換）、原子力発電の拡大、バイオマスや太陽光発電といった再エネの普及拡大などが大きな排出削減貢献となっている。エネルギー需要部門においても、産業、運輸、民生それぞれの部門において相当の排出削減が見込まれている他、CO<sub>2</sub>以外のGHG（メタン等）についても排出削減が見込まれている。

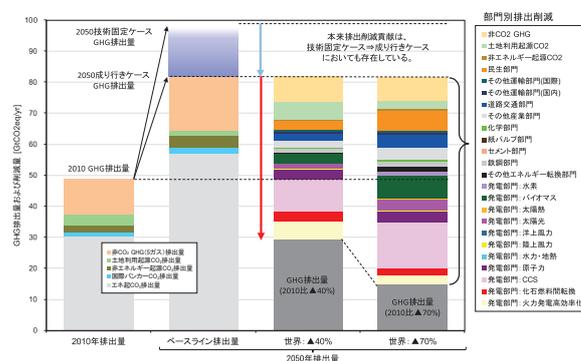


図5 世界全体の2050年における部門別・技術別GHG排出削減効果 (DNE21+による推計)

### 2.4. GVCにおける世界排出削減貢献推計方法

GVC全体での排出削減貢献量は、最終的には最終消費段階で利用される製品の製造時および利用時の排出削減量に帰着できる。しかし、DNE21+では、モデル化の制約から排出削減量は、すべてを最終製品段階で計上することが難しく、電子・電機製品や自動車などの最終製品の利用時と、発電、製鉄等の生産プロセスにおける排出削減量とに分けて算定される（図6）。このような扱いにはなるが、GVC全体の排出量をカバーでき、削減貢献量全体の整合性を有した評価を行った。

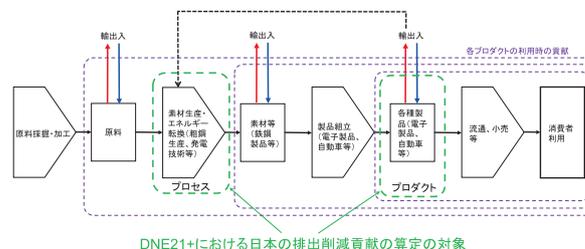


図6 サプライチェーンにおける排出削減貢献量推計

各部門において現時点でのデータ利用可能性の中でより良いと考えられた方法を採用し、以下のような方針で日本の寄与分算定を行った。

・基本的には日本企業の生産額（売上高）シェアの実

績を利用。なお、部品等で見ると、日本はより大きな貢献を行っているケースが多く見受けられるが、基本的には最終製品が日本企業である生産額実績を利用。

- ・生産額シェアの入手が困難な部門・技術については、機械等の付加価値額シェア実績（日本は7%）を利用。

各技術・部門における日本の貢献比率を表1のように想定した。

表1 想定したGVCにおける各部門の日本の貢献比率

分類	技術	日本の貢献比率の想定
発電	原子力発電	19%
	風力発電（陸上）	0%
	風力発電（洋上）	6%
	太陽光発電	4%
	太陽熱発電	0%
	水力発電	0%
	地熱発電	55%
	火力高効率発電	21%
	その他発電	7%
	化石燃料間転換	0%
その他エネルギー転換		7%
産業		7%
運輸部門（自動車）		28%
運輸部門（その他）		7%
民生部門		13%
土地利用変化CO <sub>2</sub> （植林等）		0%
産業プロセスCO <sub>2</sub> 、非CO <sub>2</sub> GHG		7%

## 2.5. GVCにおける世界排出削減貢献およびGDP影響

DNE21+モデルから推計される投資額（図5に対応した投資額の推計）と、GVCにおける技術別の海外排出削減貢献（表1）をベースに、世界での排出削減貢献における日本の寄与分を達成する際の産業別の投資額を算定した。ただし、DNE21+モデルから推計される投資額には建設費等が含まれるため、日本機械輸出組合の報告における調査国平均の機器資材比率53%を参考にした。これには汎用機器も含まれるため、この半分の26%が日本帰属と想定した場合についての結果を掲載する。基準ケースを「世界▲40%、日本▲50%」とし、経済モデルDEARSで推計した各ケースの産業別の生産減少割合によって、海外貢献量による産業別の投資額の減少を考慮した上で、日本の海外削減貢献としての投資増分を推計した。その上で、日本の海外削減貢献としての産業別の投資増分によって国内で誘発されるGDPを推計した。

日本のGDP影響を表2に示す。日本国内▲50%の場合であれば、海外貢献分によって見込まれる日本の投資増分を考慮すれば、日本のGDPはベースライン

に比べて増加も見込まれる。そのため、環境と経済の両立の機会が成立する可能性がある。

一方、日本▲80%の場合では海外貢献分が相対的に小さくなり、国内削減によるGDP低減を十分には補えないため、海外貢献分を考慮しても正味で大幅な負のGDP影響となると推計された。そのため、技術革新等による対策の大幅なコスト低下なしには、環境と経済の両立は達成することが非常に難しいと推計された。

各ケースの国内排出削減率における国内生産影響を考慮した、2050年のGVCにおける日本の排出削減効果を図7に示す。日本が厳しい排出削減に取り組む▲80%の場合、国内削減分は増加するが、国内製造業の維持が難しくなるため、▲50%の場合に比べて海外貢献分は大きく減少し、世界全体への排出削減貢献量は小さくなると推計された。例えば、世界で▲70%時に、日本国内▲80%（ベースライン比で約8億トン削減）とすると、世界削減貢献は約25億トンと推計されるが、一方、日本国内▲50%（ベースライン比で約5億トン削減）とすると、世界削減貢献は約59億トンと推計され、国内排出削減の差分の3億トンの10倍を上回るような削減効果（差分は約34億トン）を海外における排出削減において期待できる。

表2 日本のベースライン比のGDP影響（2050年）

	世界全体▲40%		世界全体▲70%	
	海外貢献考慮なし	海外貢献考慮あり	海外貢献考慮なし	海外貢献考慮あり
日本▲50%	-0.9%	+0.8%	-1.0%	+1.6%
日本▲65%	-2.0%	-0.3%	-2.7%	-0.4%
日本▲80%	-7.2%	-6.5%	-7.1%	-6.1%

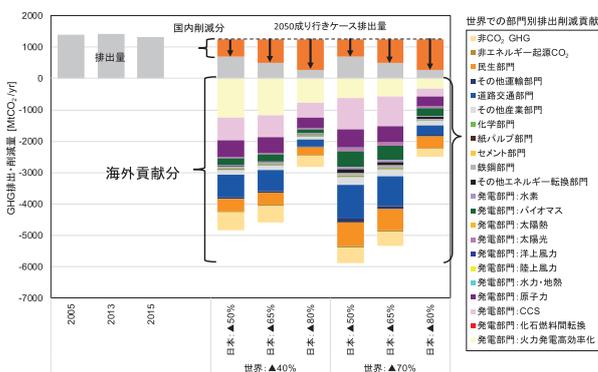


図7 GVCにおける日本の排出削減効果（2050年）

## 2.6. 環境調和型製品の普及・展開による貢献の評価のまとめ

とりわけ日本においては、各種製造プロセスにおける費用対効果の高いエネルギー効率向上や排出削減余地は乏しくなっている。プロセスではなく、プロダク

トに着目し、利用段階で省エネルギーや低排出につながる設備、製品の展開による排出削減が重要になってきている。これは、LCA的な視点からの対応であり、今後一層重要性を増していくと考えられる。こういった環境調和型製品の普及・展開をビジネススペースで競うことは、環境と経済の両立を実現する一つの方向性であり、本研究ではその効果を定量的かつ整合的に分析した。

### 3. シェアリングエコノミーの進展を考慮した社会経済シナリオの下での温暖化対策の評価

#### 3.1. はじめに

近年シェアリングエコノミーが注目を集めており、我が国においてもその推進が検討されている。その領域は多岐にわたるが、対象を「移動」とした場合、現状のサービスはカーシェアリングとライドシェアリングに大別される。これらのサービスは、例えば配車アプリのような、ITやAIといった技術の進展によって効率化される側面がある。また、移動サービスを担う自動車についても、それら技術の進展を取り込みながら、自動運転技術の開発が進められている。こうした技術進展によって、自動運転車をシェアする（ここでは自動運転シェアカーと記す）ような社会も将来像の1つとして考えられる。

ここでは、完全自動運転車によって大規模に普及が誘発され得るカーシェア、ライドシェアを考慮した社会経済シナリオの下での温暖化対策について、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+を改良した上で評価を行った。

#### 3.2. 自動運転シェアカーの想定

完全自動運転の実現には、サイバーセキュリティ対策を含む技術的な課題の他、事故が起きた際の法的責任の所在といった法制度上の課題等の多くの課題が存在しており、その実現時期は不確実である。ここでは2030年以降に利用可能となると想定した上で、文献<sup>1)</sup>等を参考にしつつ、自動運転シェアカーに関して表3のように想定した。なお、対象は乗用車としている。

DNE21+モデルでは、道路交通部門における旅客輸送需要は乗用車とバスに区分し、外生的なシナリオとして想定している。ここでは、自動運転シェアカーの有無に依らず、乗用車旅客輸送需要は一定であると想定した。しかしながら、利便性が高く、かつ安価な

表3 自動運転シェアカーに関する想定

項目	想定
自動化の費用	一台当たり10000\$ (2030年)。技術進歩による価格低減を見込み、2050年：5000\$、2100年2800\$と想定。
自動車の稼働率	従来の自家用車の3倍 (日本の場合、一台当たり30,000km)。
自動車の寿命	7~12年 (幅は地域による違い)。(従来の自家用車は13~20年と想定)
一台当たり乗車人数	ライドシェアリングにより次第に増大すると見込み、2050年:1.75人、2100年2人 (地域によらず一律と想定)。(従来の自家用車は2050年:1.1~1.5人、2100年:1.1~1.3人と想定)
自動車の燃費	従来の自家用車想定と差異なしと想定

輸送手段を手に入れたことによる輸送需要そのものの増加や、公共交通機関 (バスの他、鉄道) との競合 (公共交通インフラの充実度によって輸送モードの選択は影響される) も考えられる。更には、ユーザーは多様な嗜好を持っているため (例えば、他人と自動車をシェアすることをどう考えるか)、表3の想定ではその多様性を十分に考慮できているとは言えない。このような項目については、引き続き検討を行う予定である。

#### 3.3. 粗鋼生産シナリオの想定

前節の想定の下では、自動運転シェアカーの普及により、その普及を想定しない場合 (基準) に比べ、2050年の乗用車保有台数は25%、新車販売台数は41%程度に抑制されると評価される。その結果、シェアリングを考慮していない商用車も含む自動車用鋼板需要は基準比で58%、自動車用以外も含む全粗鋼需要では96%と評価され、基準で見込んでいる需要に比べ4%程度減少すると見積もられる。

ここでは、この減少分も踏まえた上で温暖化対策の評価を行った。なお、粗鋼以外にも、例えば自動車用プラスチック需要の減少等、自動車生産に関連する産業の活動量は低下すると見込まれる。このような各種部門の活動量について、十分に整合性をとった上での分析は、引き続きの検討課題である。

#### 3.4. モデル評価結果

表4に示す3つの社会経済シナリオについて、特段の温暖化対策を考慮しないベースラインシナリオと、2℃目標シナリオ (2030年までは各国の国別貢献相当、2050年には世界全体で2010年比▲40%の排出経路であり、50%以上の確率で2℃を達成し得る) について評価を行った。社会経済シナリオは、気候変動問題に対する国際研究コミュニティにおいて検討されているSSP (Shared Socio-economic Pathways) のうち、中位的なシナリオであるSSP2と、持続可能

な世界を描いたSSP1を想定している。SSP1は、SSP2に比べて技術進歩が高位（電気自動車や燃料電池自動車等のコスト低減がより進む）と想定しており、SSP1+自動運転シェアカーは更に自動運転シェアカーの普及を考慮したシナリオである。

表4 評価したシナリオ

シナリオ名	概要
SSP2	中位シナリオ (Middle of the Road)
SSP1	技術進歩高位など (Sustainability)
SSP1+自動運転シェアカー	技術進歩高位+自動運転シェアカー+粗鋼生産減少

図8、図9は、各シナリオの下での技術別乗用車保有台数、運輸部門のエネルギー種別消費をそれぞれ示している。従来型内燃機関車が主として選択されているSSP2に比べ、電気自動車等の技術進歩がより進むと見込んでいるSSP1では、電気自動車や燃料電池自動車がベースラインでもより広く普及し、運輸部門のエネルギー消費も削減されると評価されている。更に自動運転シェアカーの普及を考慮したSSP1+自動運転シェアカーシナリオにおいては、カーシェア、ライドシェアの効果によって乗用車の保有台数が大きく減少すると共に、ライドシェアリングによって人の移動需要（p-km）を満たしつつ自動車の走行距離（v-km）を抑制することから運輸部門のエネルギー消費も更に削減されるとの評価である。なお、乗用車はエネルギーコストに比べ車両コストが相対的に高く、モデルで想定している3年程度の投資回収判断年数の下で車両コストの増分をエネルギーコストの差で回収するには相当高い炭素価格が必要となるため、温暖化対策シナリオ（ベースラインと2℃目標）による違いよりも、社会経済シナリオ（技術進歩の見通しや自動運転シェアカーの有無）による違いが大きいとの結果である。

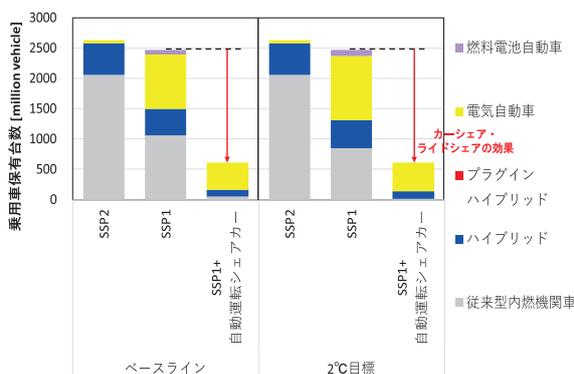


図8 2050年における世界全体の技術別乗用車保有台数

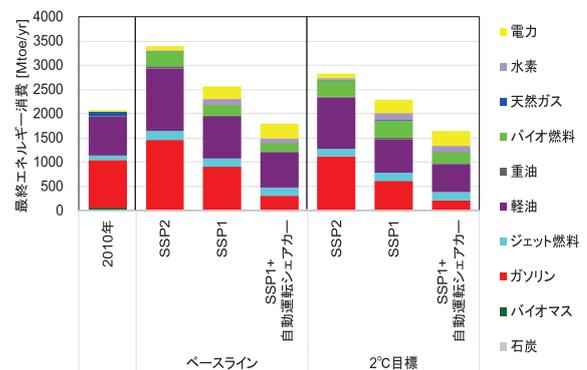


図9 2050年における世界全体の運輸部門エネルギー消費

この時の2050年におけるCO<sub>2</sub>限界削減費用は、SSP2：171\$/tCO<sub>2</sub>、SSP1：125\$/tCO<sub>2</sub>、SSP1+自動運転シェアカー：94\$/tCO<sub>2</sub>、と評価されている。SSP1+自動運転シェアカーシナリオにおいては、100\$/tCO<sub>2</sub>を下回るとの結果であり、運輸部門においてエネルギー消費の抑制が大きく進むため、2010年比▲40%を達成するために必要なその他部門に要求される排出削減水準が緩和され、例えば、厳しい排出削減下では運用できないCCSなしの石炭火力も一部導入されている。

### 3.5. まとめ

完全自動運転車によって大規模に普及が誘発され得るカーシェア、ライドシェアを考慮した社会経済シナリオの下での温暖化対策を、自動車台数低減が及ぼす粗鋼生産の減少もふまえて、DNE21+モデルを用いて定量的に評価した。自動運転シェアカーに関する想定や、他部門との整合性の確保は引き続きの重要な課題であるが、ここでのSSP1+自動運転シェアカーシナリオは、CO<sub>2</sub>排出削減のために費用が高い技術や対策を導入するだけでなく、ITやAIといった汎用的な技術の進歩に誘発されてカーシェアリングやライドシェアリングが大規模に普及するという社会の大きなイノベーションが起こることにより、現実世界においては実現が困難な高いCO<sub>2</sub>限界削減費用が無くともエネルギー需要が大きく低減し、2℃目標も達成できる可能性があるとのシナリオであり、大幅な排出削減への多様な道筋の1つと言える。

### 参考文献

- 1) L. Fulton et al.; Three Revolutions in Urban Transportation (2017)

## バイオ研究グループ



グループリーダー・  
主席研究員  
**乾 将行**

**【コアメンバー】**

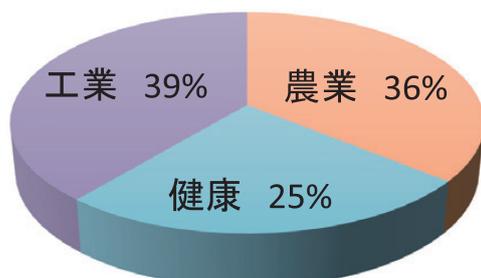
サブリーダー・副主席研究員	佐々木朱実	主任研究員	小暮 高久
副主席研究員	稲富 健一	主任研究員	久保田 健
副主席研究員	寺本 陽彦	主任研究員	大島 俊宏
副主席研究員	平賀 和三	研究員	生出 伸一
主任研究員	田中 裕也	研究員	橋本 龍馬
主任研究員	須田 雅子	研究員	清水 哲
主任研究員	北出 幸広	研究員	橋詰 正義
主任研究員	豊田 晃一	研究員	原 知明
主任研究員	加藤 直人	研究員	肥後 明佳
主任研究員	長谷川 智	研究員	ナタリア マリア テレシア
主任研究員	渡邊 彰		

## 持続可能な社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発

### 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、バイオテクノロジーと再生可能な生物資源を活用して地球規模での課題を解決しながら経済成長を図る「バイオエコノミー」というコンセプトが欧米を中心にアジアまで拡大しており、経済協力開発機構（OECD）によると、「2030年バイオ市場は加盟国全体で約180兆円規模に拡大、工業分野は約4割に達する」との予測である（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。

### 2030年、約1.6兆ドル



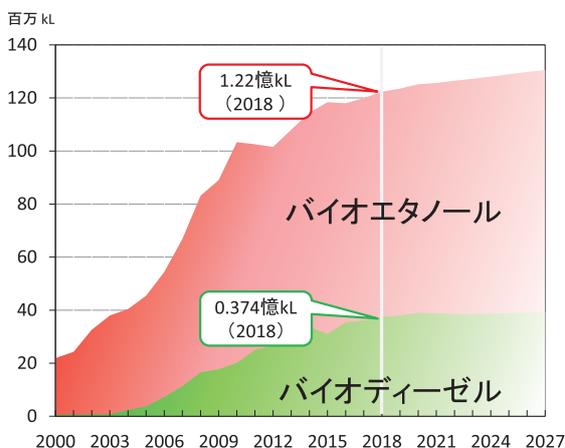
出典：The Bioeconomy to 2030. OECD(2009)、経産省資料

図1 バイオエコノミー市場予測

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、2018年もトウモロコシは豊作であり、米国エネルギー情報局（EIA）によれば、159億ガロン（6,010万kL）のバイオエタノールが生産された。米国における再生可能燃料基準（RFS）に基づいた再生可能燃料添加義務量（193億ガロン、2018年）の約3/4がトウモロコシ由来のバイオエタノールで賄われた。OECD-FAOの「Agricultural Outlook 2018-2027」によれば、2018年は1.22億kLのバイオエタノールが世界で生産され、その半分を米国が占めた。この割合はここ数年変わっていない。

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、2018年のバイオディーゼル生産量は0.374億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。

最近ではアルゼンチンやインドネシアのバイオディーゼル原料輸出量が増加している。しかし、英国やフランスでは2040年までにガソリン車・ディーゼル車の販売を終了する予定であり、ドイツでもディーゼル車の市街走行が禁止される判決が認められた。したがって、欧州ではディーゼル燃料の消費は増加しない方向



出典：OECD/FAO (2018), "OECD-FAO Agricultural Outlook".  
図2 世界バイオ燃料生産の見通し

と予想される。

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、CO<sub>2</sub>排出削減への大きな期待が寄せられてきた。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、2018年は欧州でも新しいプラントの建設が報告された(各社website)。RFSIによる米国でのセルロース系原料からのバイオ燃料の2019年の生産目標は4.18億ガロン(約160万KL)である。

航空機からのCO<sub>2</sub>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。RITEでもバイオエタノールを原料とした民間のバイオジェット燃料生産プロジェクトへの技術協力を2018年から開始した(トピックス参照)。

### グリーン化学品

近年、ペットボトルや使い捨てプラスチックによる環境破壊の問題が国際的な問題としてクローズアップされている。特に海洋におけるマイクロプラスチック汚染は深刻であり、また中国や東南アジアの廃棄プラスチック輸入禁止は、日本のプラスチックリサイクルに大きな影響を及ぼしている。このような背景から、再生可能資源であるバイオマスを原料としたバイオプラスチックや生分解プラスチックに大きな期待が寄せられている。

欧州バイオプラスチック協会によると、2019年の

バイオプラスチックの世界生産量は214万トンの予測であり、徐々に拡大している。欧米の一部では使い捨てのプラスチックボトル等の公園での販売禁止や回収・リサイクルが義務付けられる法案が可決されている。日本バイオプラスチック協会によると日本でのバイオプラスチック出荷量推計は約4万トンと少ないが、環境省ではプラスチックごみを削減するため、生分解プラスチックを使った製品開発への委託事業などを2019年から開始する予定である。

### 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。

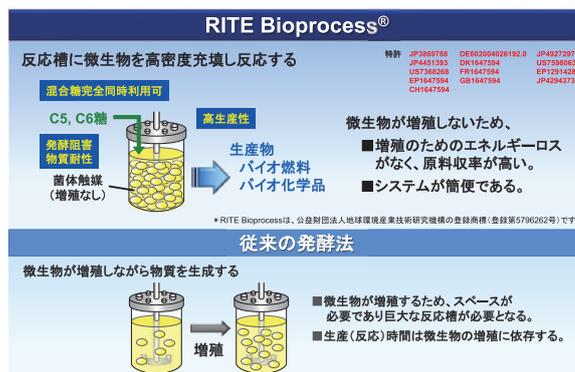


図3 RITEバイオプロセス(増殖非依存型バイオプロセス)の特徴

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、増殖に必須な因子を削除することにより細胞の分裂を停止させた状態で反応を行う(図3)。高効率化の鍵は、微生物の増殖を抑制した状態で化合物を生産させることにあり、増殖に必要な栄養やエネルギーも不要である。これにより微生物細胞をあたかも化学プロセスにおける触媒のように利用することが可能で、通常の化学プロセスと同等以上の高い生産性を備えたバイオプロセスが実現した。また、コリネ型細菌の代謝系の改良により、C6糖類およびC5糖類の完全同時利用を達成し、効率的なセルロース系バイオマス利用を可能とした。さらに、本プロセス

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 2013～2018参照）。

現在、エタノール、L-乳酸、D-乳酸、アミノ酸等の高効率生産に加えて、ブタノールやジェット燃料素材、芳香族化合物などの高機能化学品生産へ幅広い展開を図っている。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CO<sub>2</sub>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）の規格をクリアして、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。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）との共同

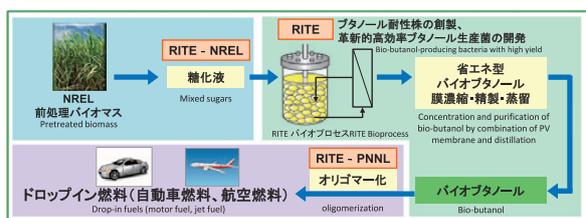


図4 RITEバイオプロセスによるバイオブタノールおよびジェット燃料生産

研究により、非可食バイオマス由来の混合糖を原料としたバイオブタノール生産技術の開発を加速させている。

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

ブタノール生産においては、蒸留におけるエネルギー消費が大きいことから、蒸留とPV（pervaporation）膜濃縮を組み合わせることによって、精製に必要なエネルギーを約10分の1に低減する省エネルギー型ブタノール回収技術の開発も並行して進めている。ブタノールのバイオ生産では、世界最高レベルの高生産性を達成しており、生産菌のブタノール耐性の向上、生産菌の代謝経路の最適化、および上記省エネルギー型ブタノール回収技術の開発、などの個別要素技術開発を進め、これらを組み合わせることによってバイオブタノールの更なる高速・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9～15個のイソパラフィン、シクロパラフィン、芳香族化合物等の混合物で、含量比は原料である原油中の含量比を反映し、産地ごとに異なる。

ジェット燃料は析出点や密度など様々な物性が厳密に規格化されている。ASTMによって認証済みのバイオジェット燃料はいずれもイソパラフィンを主成分とし、石油系ジェット燃料と最大で50%までの混合使用が認められているが、密度の制約から実際には50%も混合できない場合がある。

イソパラフィンはシクロパラフィンや芳香族化合物より密度が軽く、石油系ジェット燃料の密度は各含量を反映して産地によって異なる（図5）。イソパラフィンを主体とする既存のバイオジェット燃料の密度はシクロパラフィンや芳香族化合物を含まないためジェット燃料の規格を下回り、中東やアフリカ産の密度が軽い石油系ジェット燃料に対して50%も混合すると混合燃料の密度も規格を下回り、ジェット燃料として使用できなくなる。

そこで当グループではシクロパラフィンや芳香族化合物も含み、単独でも密度の規格を満たすことで石油系ジェット燃料の産地に依存せずに最大限混合可能な新規グリーンジェット燃料の開発を行っている。また、含有する成分の炭素数分布を石油系ジェット燃料と類似した分布にすることで、最大で100%使用も可能にする。

本技術ではエネルギー消費が小さいバイオプロセスによってジェット燃料サイズの分岐鎖および環状前駆体を非可食バイオマスを原料として生成させ、これらを簡単な化学変換によってイソパラフィン、シクロパラフィン、芳香族化合物に変換させる。すでにこれらの基盤技術はほぼ確立し、様々な炭素数の分岐鎖および環状前駆体の生産を達成しており、一部前駆体についてはジェット燃料成分への化学変換も実証済みである。現在、一貫プロセスの構築に向け、各前駆体の生産収率向上を進めている。なお、本製造技術開発の一環として、2017年から経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」において「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」も実施している（RITE Today 2018トピックス参照）。

CRC fuel survey を参照

	JetA1 規格	石油系ジェット燃料の密度（生産地別）			
		USA	ヨーロッパ	アフリカ	中東
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.775- 0.840	0.810	0.800	0.785	0.790
		HEFA FT-SPK ATJ	RITE法		
製造される成分		イソパラフィン	イソパラフィン シクロパラフィン 芳香族化合物		
成分の密度 (g/cm <sup>3</sup> )		0.75 前後	0.79		
混合比率		50%	最大100%		

図5 石油系ジェット燃料およびバイオジェット燃料の密度の比較

### 3.3. バイオ水素

水素は燃焼時に水しか生成しないため、究極のクリーンエネルギーとして期待される。既に家庭用燃料電池や燃料電池車が市場投入されているが、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CO<sub>2</sub>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的研究が必要とされており、経済産業省のロードマップでは、2040年頃までにCO<sub>2</sub>フリー水素供給シ

ステムを確立することが目標として掲げられている。

微生物を利用した水素生産（バイオ水素生産）は、将来の持続可能なCO<sub>2</sub>フリー水素製造技術となり得るが、経済性あるバイオ水素生産技術の確立には、生産性の飛躍的な向上が必要とされる。当グループは、シャープ株式会社との共同研究により、ギ酸を介する水素生産経路を利用した高速バイオ水素生産プロセスを開発し、従来技術と比較して2桁程度高い生産速度を達成している。この成果を基盤として、現在、経済産業省の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」の中で、光エネルギーに依存しない「暗発酵水素生産」と光エネルギーを利用する「光発酵水素生産」の統合による水素収率の大幅向上に向けた研究開発に取り組んでいる（図6）。

本研究開発では、京都大学およびフランス国立科学研究センター（CNRS）と連携して暗発酵における水素生成酵素発現系の開発を進め、また、暗発酵で副生する酢酸から光発酵により水素を生産する光合成細菌の酢酸代謝経路を改変することにより水素収率が向上した。さらに、NRELと連携してセルロース系バイオマス（コーンストーバー）からの水素生産における条件検討を進めている（図6）。

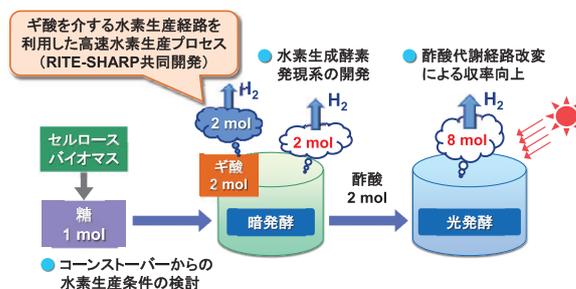


図6 セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発

## 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

用いた高機能生産技術の開発」(スマートセルプロジェクト)にRITEは2016年のスタート当初から参画し研究開発を継続している。プロジェクト参画機関は基盤技術チームと有効性検証チームに別れており、RITEは後者に属している。基盤技術チームは計算機シミュレーション等の情報解析技術(スマートセル設計システム)を用いて生産性向上に寄与する代謝改変を予測し提案する。RITEは提案に従い代謝改変を施し、生産検討データを取得する。得られたデータを利用して基盤技術チームは予測の精度を改善する。このような開発サイクルを繰り返すことで予測技術の精度向上と生産性向上を目指す(図7)。

これまでに複数の開発サイクルを繰り返すことで予測技術の精度向上に貢献するとともに中間目標を大きく超える生産性を達成した。2019年度以降も開発サイクルを続け、スマートセル設計システムの改善と、実用化に向けた生産株の開発を行う。

### NEDO Smart Cell Project

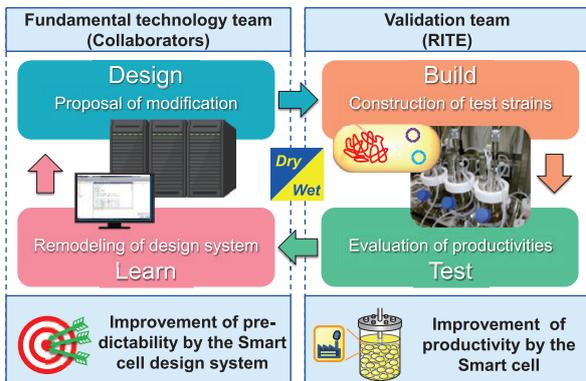


図7 スマートセルプロジェクトにおける開発サイクルの概要

### 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。微生物細胞内ではフェニルアラニン、チロシン、トリプトファンといったアミノ酸や葉酸(ビタミンB9)、補酵素Qなど種々の芳香族化合物が生合成されている。これらの化合物は全てシキミ酸経路と呼ばれる代謝経路から派生する(図8)。我々は適切な遺伝子組換えを施したコリネ型細

菌を高効率バイオ変換技術へ適用することで、非可食バイオマスを原料としてインフルエンザ治療薬タミフルの原料とされるシキミ酸、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高生産プロセスの確立に成功している。

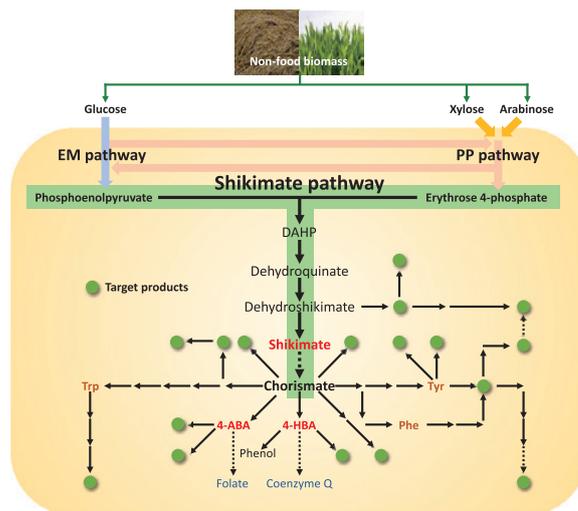


図8 様々な芳香族化合物の生合成経路

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

## 5. 実用化への取り組み

### 5.1. フェノール/芳香族化合物

現在の工業生産されているフェノールはすべて石油由来の原料から製造されている。我々は地球環境保全や温室効果ガス削減の観点からグリーン化が困難とされてきたバイオ法によるフェノール製造技術開発を進めてきた。我々の開発した2段工程法(図9)を利用した実用生産を早期に実現するため、住友ベークライト株式会社と共同で2014年5月にグリーンフェノール開発株式会社(GPD)を設立した。2018年4月に

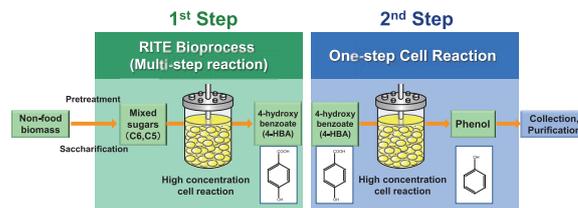


図9 2段工程法によるグリーンフェノール生産

はGPDはグリーンケミカルズ株式会社（GCC）へ社名を変更した（トピックス参照）。

現在、グリーンフェノール生産技術開発で培った基盤技術とノウハウを活用し、従来は不可能と考えられていた芳香族化合物などの付加価値の高い様々なグリーン化学品のバイオ変換技術の確立を鋭意進めており、顧客ニーズに合致したグリーン化合物の商品化を加速している。

### 5.2. アミノ酸

一般的なアミノ酸発酵は、微生物の培養と発酵生産に通気（酸素）を必要とし、この通気量が適切にコントロールされることが、高生産性の達成に重要である。これに対してRITEでは、前述したように通気の必要のない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株式会社（GEI）を2011年9月に設立し、RITEバイオプロセスによるアミノ酸等の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（トピックス参照）。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、当グループの研究者も参加し、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

関してもRITEは世界最高レベルの生産濃度と生産効率の菌株作製に成功し、更にGEIや海外パートナー企業との実用化プロジェクトを本格化させ、スケールアップによるサンプル製造等にも成功し、商用生産を開始した。

### 6. おわりに

日本では2018年から5年間、年間50万KLのバイオエタノールを導入する目標が政府から発表された。GHG排出量の削減基準についても見直しが行われ、米国産のバイオエタノールなど調達先の多角化が可能になる予定である。

バイオ化学品の分野では、近年発展が著しいIoTやAIなどの情報技術（デジタル）とバイオテクノロジーの融合に基づいた新プロジェクトが政府主導により開始され、RITEも参画している（トピックス参照）。これらのプロジェクトでは、前述したスマートセルを利用したバイオリファイナー技術が中核技術として大きな役割を果たし、エネルギーに加えて工業分野（ものづくり）にも大きな波及効果を与えることが期待されている（図10）。

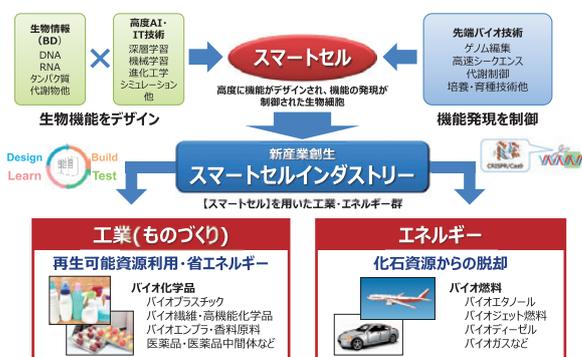


図10 バイオ×デジタルが変える工業/エネルギー分野の融合

当グループでは2019年も引き続き最先端バイオテクノロジーである「スマートセル」を中心とした革新的なグリーンバイオプロセスの研究開発に取り組み、低炭素社会の構築や持続可能社会の実現に貢献していきたい。

## 化学研究グループ



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  
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  
主任研究員

杉田 啓介  
馬場 宏治  
余語 克則  
石黒兼二郎  
甲斐 照彦  
後藤 和也  
フィローズ アラム チョウドリー  
山田 秀尚  
山本 信  
龍治 真

研究員 伊藤 史典  
研究員 木下 朋大  
研究員 高山 信幸  
研究員 段 淑紅

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

### 1. CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、化石燃料の燃焼で発生した温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を発電所や工場などの発生源から分離・回収し、回収したCO<sub>2</sub>を地中や海底に貯留・隔離する技術である。

地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>の大規模削減が期待できるCCSを早期に導入、実用化するためには、そのコストの約6割程度を占めると試算されている排出源からのCO<sub>2</sub>分離・回収コストの低減が重要である。

化学研究グループでは、CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発を行っており、これまでに化学吸収法、固体吸収法、膜分離法で世界をリードする研究開発成果を上げてきた。材料の開発に始まり、加工、システム検討までを一貫して研究開発していることが特徴である。

化学吸収法では、新化学吸収液の開発目標とした分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成するとともに、吸収液からのCO<sub>2</sub>回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出すことに成功した。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、CO<sub>2</sub>回収設備商用1号機が運転中であり、更に2018年7月には商用2号機が稼働を開始した。

固体吸収法は、CO<sub>2</sub>高効率回収・低エネルギー消費

型の固体吸収材の研究開発に取り組んできており、これまでに、低温で脱離性能の良い固体吸収材を開発し、その実現可能性を検証中である。ラボレベルの連続回収試験結果としては、分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成可能な材料を見出している。また、10m<sup>3</sup>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、石炭火力発電所内に40t-CO<sub>2</sub>/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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離性能を有する分子ゲート膜（高いCO<sub>2</sub>分離特性を有する dendrimer と架橋高分子材料を用いた複合膜）を用いて、石炭ガス化複合発電 (IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle) 等の高圧ガスから低コスト、省エネルギーでCO<sub>2</sub>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、米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）で、石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験を開始したところである。

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CO<sub>2</sub>削減に向けた研究開発をリードし、かつ産業界が受け入れ可能で実用的な技術を開発している。また、International Test Center Network（CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発を推進する世界各地の施設のグローバル連合）に加盟し、CO<sub>2</sub>分離回収技術の早期実用化に向けて海外ネットワークを利用する活動も推進している。

## 2. 化学吸収法

化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離回収は、ガス中のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、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CO<sub>2</sub>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）。2008年に始まったCOURSE50（「環境調和型プロセスの技術開発」プロジェクト、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業）では、CO<sub>2</sub>削減目標30%の内、分離・回収によって20%削減と位置付けており、RITEへの期待は大きい。

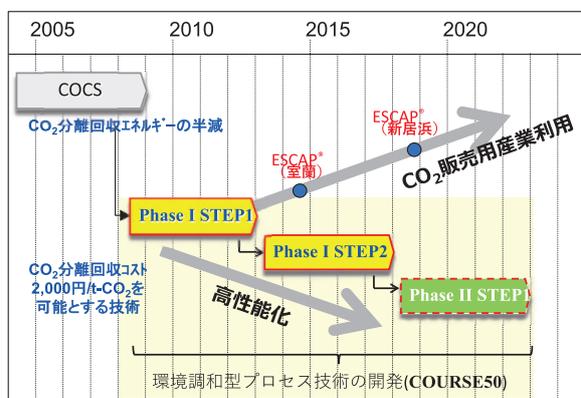


図1 化学吸収液を利用する高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発

これまでの成果としては、2008年度からのCOURSE50 Phase I Step1において、吸収液の分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO<sub>2</sub>回収温度を100℃以下で可能とする化合物を見出し、吸収液開発に成功した。更に、2013年度からのPhase I Step2においては、一層の高性能化を目指し、性能発現機構および関連する要素因子を明らかにした。2018年度からのPhase II では、Step2の成果をベースに、吸収熱低減に寄与する吸収形態改善や分極影響緩和の改善に新規技術を見出し、高性能化に取り組む。

化学吸収法は成熟した技術と見なされているが、RITEは、革新的な新規技術を継続的に提案し、常に世界をリードしている（図2）。

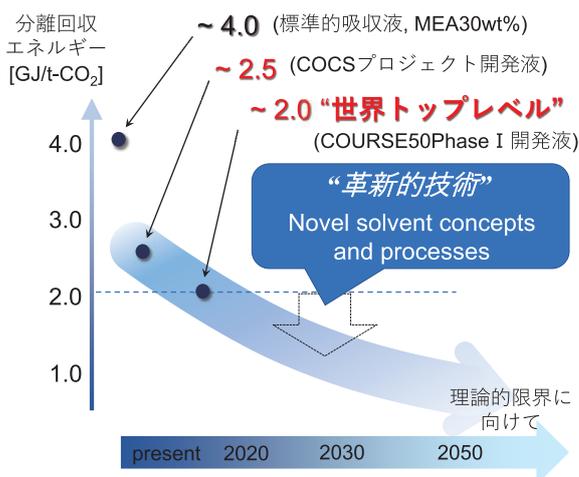


図2 高性能化学吸収液開発への挑戦

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

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CO<sub>2</sub>含有ガス（例えば、石炭ガス化ガス）を対象とするCO<sub>2</sub>分離回収において、吸収・



図3 炭酸ガス販売用商用化2号機  
(住友共同電力株式会社 新居浜西火力発電所内)  
※新日鉄住金エンジニアリング株式会社写真提供

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高圧条件での放散プロセスを行い、高い圧力を有するCO<sub>2</sub>ガスを高効率に分離・回収できる吸収液（高圧再生型化学吸収液）を開発することである（図4）。本プロセスでは、CO<sub>2</sub>が高い圧力を保って回収されるため、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CO<sub>2</sub>回収量、高い反応速度、および低いCO<sub>2</sub>吸収熱を併せ持つ「高圧再生型化学吸収液」を見出しており、圧縮工程を含むCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー（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-CO<sub>2</sub>以下（吸収：1.6MPa-CO<sub>2</sub>、再生

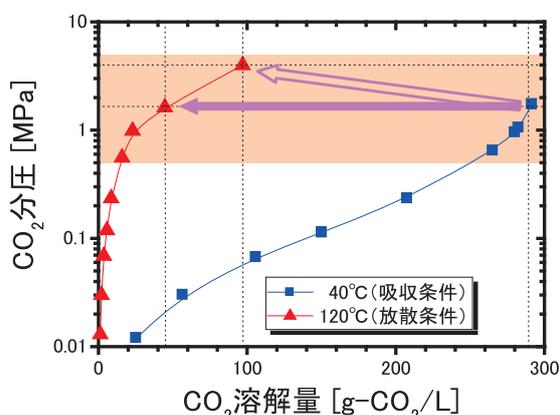


図4 高圧下で高い吸収放散性能を有する新規吸収液

4.0MPa-CO<sub>2</sub>) 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。

### 3. 固体吸収法

RITEは2010年から2014年度にかけて、METIからの委託事業「二酸化炭素回収技術高度化事業」において、固体吸収材の開発を実施した。固体吸収材は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持させたもので（図5）、化学吸収液と類似のCO<sub>2</sub>吸収特性を有しながら、再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーの大幅低減を可能とする。

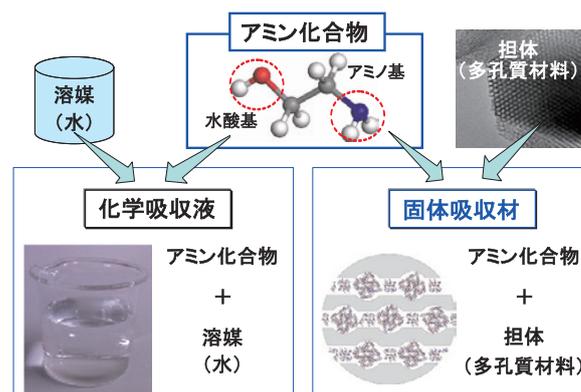
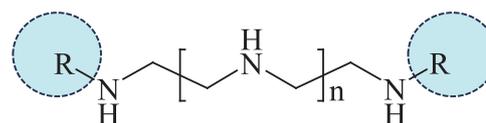


図5 アミン固体吸収材

開発した固体吸収材には、RITEが合成した新規アミンを採用している（図6）。これまでに市販のアミンに置換基を導入することで、低温での脱離性能に優れ、高いCO<sub>2</sub>回収容量を有する独自の固体吸収材を開発することに成功し、米国および日本において特許を取得した。



置換基Rの効果でCO<sub>2</sub>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、分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>のポテンシャル性能が示され、

RITE固体吸収材によるCO<sub>2</sub>分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、従来の化学吸収法（2.5GJ/t-CO<sub>2</sub>）と比べて発電効率の低下を約2%改善できる見込が得られた。

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

材料の最適化においては、これまでに、十分な摩耗強度や耐久性を有し、移動層システムに適した担体を選定し、また、新規アミンについては合成手法の合理化、スケールアップ合成を進めている。その結果、事業中間目標である「10m<sup>3</sup>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（>10m<sup>3</sup>）した固体吸収材について、ラボスケール固定層試験装置（図7）を用いて、性能評価を行った。脱着工程で低温スチームを供給するSA-VSA（Steam-aided vacuum swing adsorption）プロセスを採用し、運転プロセスを最適化した結果、模擬ガス（12%CO<sub>2</sub>）から回収純度>99%、回収率>90%でCO<sub>2</sub>を回収可能であることが確認された。この際、60°Cの再生工程で必要なスチームエネルギーは1.2 GJ/t-CO<sub>2</sub>と極めて低く、RITE固体吸収材が優れたCO<sub>2</sub>分離・回収性能を有することが実証された。



図7 ラボスケール固定層試験装置

現在、大量合成したRITE固体吸収材を用いて、川崎重工業株式会社明石工場に設置されている移動層システムの試験装置を利用して、ベンチスケール燃焼排ガス試験を実施中であり、これまでに5.5 t-CO<sub>2</sub>/day規模でのCO<sub>2</sub>回収を達成している（図8）。吸収材の移動特性およびCO<sub>2</sub>回収性能の把握、要素機器改善による回収CO<sub>2</sub>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。

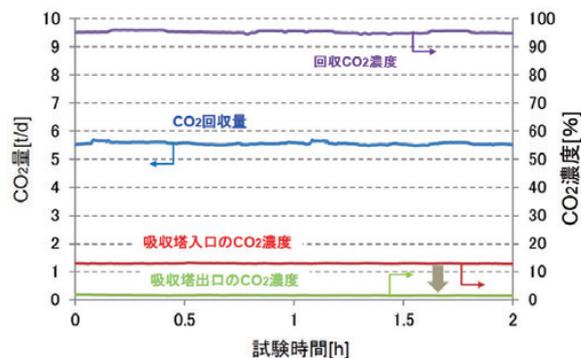


図8 移動層ベンチスケール試験結果  
（川崎重工業（株）明石工場内のKCC移動層システムにて実施）

今後、石炭火力発電所での実ガス暴露試験を経て40 t-CO<sub>2</sub>/day規模のパイロットスケール試験装置を建造し、実ガス試験を実施する計画であり（2017年9月プレスリリース）、2020年代を目処に石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>分離・回収に適した、より高性能な固体吸収材システムを確立すべく、研究開発に取り組んでいる（図9）。

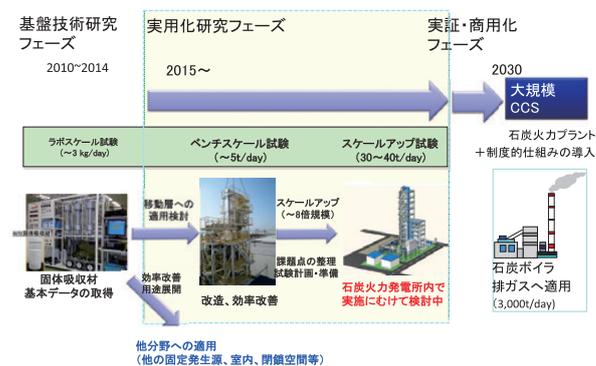


図9 研究開発ロードマップ

#### 4. 膜分離法

日本政府が提唱する「クールアース50」の革新的技術のひとつに「革新的ゼロ・エミッション石炭火力発電」がある（CCS付き石炭ガス化複合発電：Integrated coal Gasification Combined Cycle

with CO<sub>2</sub> Capture and Storage (IGCC-CCS)。石炭をガス化した後に水性ガスシフト反応でCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を含む混合ガスを製造し、CO<sub>2</sub>を回収・貯留して、H<sub>2</sub>をクリーンな燃料として発電に用いる（図10）。この圧力を有する混合ガスから、低コスト、省エネルギーでCO<sub>2</sub>を分離回収する新規CO<sub>2</sub>分離膜モジュールを開発中である。

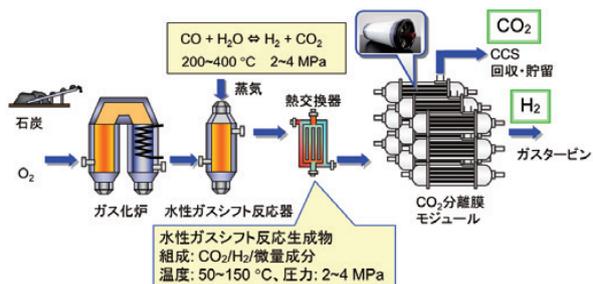


図10 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電 (IGCC) からのCO<sub>2</sub>分離回収

RITEでは、 dendリマーを用いる新規な高分子系材料が優れたCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>の分離性能を有することを見出し、この dend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11に分子ゲート膜の概念を示す。

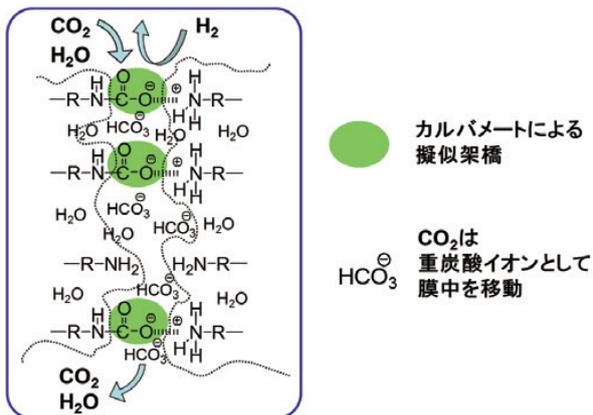


図11 分子ゲート膜の概念図

ここに示すように、透過機構としては、加湿条件で、膜中に取り込まれたCO<sub>2</sub>が膜中のアミノ基とカルバメートや重炭酸イオンを形成し、分子サイズの小さなH<sub>2</sub>の透過を阻害することで、従来のCO<sub>2</sub>分離膜では分離が難しかったCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を効率良く分離できると考えている。

基礎研究段階として、優れたCO<sub>2</sub>透過速度とCO<sub>2</sub>/

H<sub>2</sub>選択性を有する複合膜の開発に成功している。

この成果の実用化を推進するために、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、CO<sub>2</sub>分離膜、膜エレメントの開発 (図12) および膜分離システム検討を実施中である。



CO<sub>2</sub>分離膜



膜エレメント  
(4inch; 長さ200mm)



膜モジュール

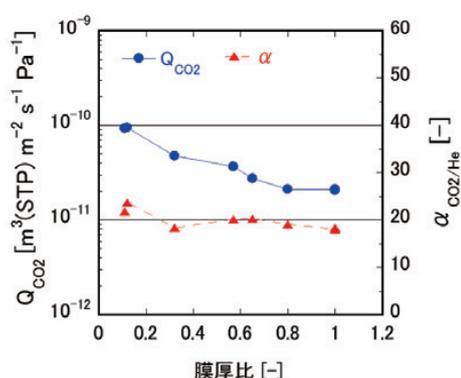


膜モジュール中の  
膜エレメントのイメージ

図12 CO<sub>2</sub>分離膜、膜エレメント（大面積の膜、支持体および流路材等の部材を一体化したもの）および膜モジュール（膜エレメントと収納容器（ハウジング）を組み合わせたもの）

METI委託事業の「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（2011年～2014年度）および「二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）」（2015年度～2018年度）で開発した膜素材、膜エレメントや膜分離システムを基礎として、現在、NEDO委託事業「CCS研究開発・実証関連事業／CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発／二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発」（2018年度～）において、実機膜モジュールシステムの開発を進めており、実用化に向け、MGM組合として連続製膜技術および連続製膜した膜を用いた膜エレメントを開発中である。また、2018年度より米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）で、石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験を開始している。

連続製膜でのCO<sub>2</sub>分離性能を向上させるために、まず薄膜化のための製膜条件の最適化を行った。その後、最適化した製膜条件に基づき、連続製膜により薄膜化検討を行った。作製した分離膜の膜厚と分離性能の関係を図13に示す。なお、模擬ガス試験においては、安全上の理由からH<sub>2</sub>の代替ガスとしてHeを使用している。

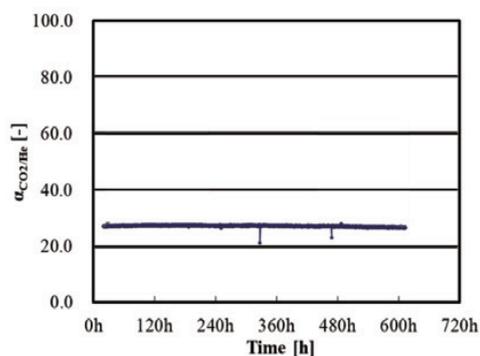
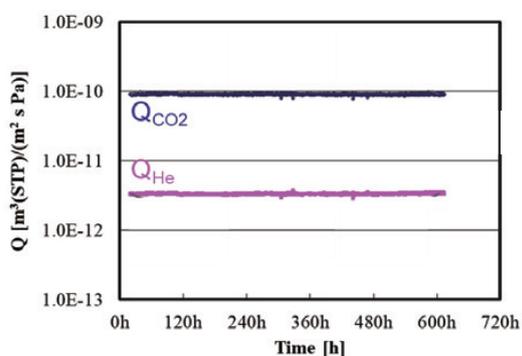


測定条件: 温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO<sub>2</sub>/He=40/60 vol./vol., 湿度60%RH; 透過側: 大気圧

図13 連続製膜の膜厚比とCO<sub>2</sub>分離性能の関係  
(Q<sub>CO<sub>2</sub></sub>: CO<sub>2</sub>パーミアンス、α<sub>CO<sub>2</sub>/He</sub>: CO<sub>2</sub>/He選択性)

検討の結果、薄膜化によりCO<sub>2</sub>/He選択性を維持したままCO<sub>2</sub>透過性が向上することを確認した。

また、単膜の耐圧・耐久性検討を実施し、2.4MPaの高圧条件での模擬ガス試験において、約600時間の耐久性を確認した(図14)。Q<sub>CO<sub>2</sub></sub>低下率は25%/2年(16,000h)であり、単膜に関して目標値の達成が期待できる。



測定条件: 温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO<sub>2</sub>/He=40/60 vol./vol., 湿度60%RH; 透過側: 大気圧

図14 CO<sub>2</sub>分離性能の経時変化(単膜)  
(Q<sub>CO<sub>2</sub></sub>、Q<sub>He</sub>: CO<sub>2</sub>、Heパーミアンス、α<sub>CO<sub>2</sub>/He</sub>: CO<sub>2</sub>/He選択性)

なお分子ゲート膜の開発は、炭素隔離リーダーシップフォーラム (Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)\*の認定プロジェクト「圧力ガスからのCO<sub>2</sub>分離」に登録されている。

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

## 5. おわりに

2015年12月、COP21で「パリ協定」が採択され、これまで以上にCO<sub>2</sub>排出量の低減が必須となってきた。我が国では、2016年4月に、2050年頃という長期的視点に立った「エネルギー・環境イノベーション戦略」が策定され、CO<sub>2</sub>固定化、有効利用も有望分野として特定され、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。CO<sub>2</sub>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-CO<sub>2</sub>)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。さらに、2018年4月のエネルギー情勢懇談会では、産業部門と電力部門で引き続きCCS実用化に向けた課題へ取り組むことが重要と言及されている。

このような背景を受けて、様々なCO<sub>2</sub>排出源に対し、最適な分離・回収技術を提案することにより、CCS実用化を推進していかなければならない。そのためにも、実用化ステージに近いものは、スケールアップ検討や実ガス試験を通して、技術を確認していく必要がある。更には、革新的技術開発を推進し、より省エネルギー、低コストなCO<sub>2</sub>回収技術を提案していくことも重要と考える。

## CO<sub>2</sub>貯留研究グループ



グループリーダー  
主席研究員

薛 自求

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	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	橋本 励
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	高野 修
主任研究員	内本 圭亮	主任研究員	岡林 泰広
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	張 毅	研究員	王 璐琛
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	三善 孝之
主任研究員	西村 眞	研究員	孫 艶坤
主任研究員	小牧 博信	研究員	翟 鴻宇
主任研究員	渡辺 雄二	研究員	小谷 雅文

## 安全なCCS実施のためのCO<sub>2</sub>貯留技術研究開発の取組み

### 1. はじめに

2018年10月にオーストラリアのメルボルンで開催されたGHGT-14は、CCSに関して800を超える発表がなされ、地球温暖化対策としてのCCSの必要性が改めて強調された会議であった。海外の動向に目を向けても、特にトランプ政権になりパリ協定離脱を決定した米国がSection45Qを改正し、CO<sub>2</sub>貯留に関する税額控除を増額するなどしてCCSに対するインセンティブを高めたことは注目に値する。欧州におけるCCSプロジェクトは若干停滞気味であるが、英国では2020年代半ばに最初のCCUS施設を運転開始するためのアクションプランを発表するなど事業化に向けた動きが進みつつある。途上国においても、中国では大規模プロジェクトが進行しており、環境問題に対する取り組みが期待されている。

中国のプロジェクトはCO<sub>2</sub>-EORが主流であるが、中国では浸透性が低いため従来のCO<sub>2</sub>-EOR技術では石油増産が難しい油田が多くある。一方CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、これまで東京ガスと共同でマイクロバブルによるCO<sub>2</sub>圧入効率の向上に取り組んできており、本技術は国内外から注目されている。このような

中、CO<sub>2</sub>貯留研究グループは2018年11月には中国の君倫石油とマイクロバブル技術の使用許諾に関する契約を締結した。今後マイクロバブル圧入技術は低浸透性油田へのCO<sub>2</sub>-EOR適用など事業への展開が大いに期待できる状況である。

二酸化炭素地中貯留技術研究組合の一員として研究開発を進めているNEDO事業「安全なCCS実施のためのCO<sub>2</sub>貯留技術の研究開発」では、事業性向上に係る研究だけでなく、安全性向上に係る研究開発も重要である。特にCO<sub>2</sub>の海洋での漏出は、自然変動との区別が難しく、その発生の有無を判断する適切な基準の設定が大きな課題となる。CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは現在、実海域において連続的に海水中のCO<sub>2</sub>濃度観測を行い最適な基準設定のためのデータ取得・解析を精力的に実施している。

CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、国際連携・海外動向調査にも取り組んでおり、2019年2月にはC2ESとの共催で米国ワシントンにおいて国際CCUSラウンドテーブルを開催した。また、苫小牧の大規模実証とも連携してCCSの早期実用化を目指している。

## 2. 主な研究課題と成果

### 2.1 大規模貯留層を対象とした地質モデルの確立

CO<sub>2</sub>地中貯留技術を実用化するためには、地下情報の不確実性を低減させる技術が必要不可欠である。不確実性の低減に有効な手段は、適切なデータ取得と、データの有効利用であるが、CO<sub>2</sub>地中貯留では、経済的制約および漏洩リスクの低減のために、直接的に地下情報を取得できる坑井掘削は限定的にならざるを得ない。そのため、一般的に使用できる坑井データは少なく、対象とする貯留層物性値の空間的な広がりを推定する情報に乏しい。そこで、2D/3D空間を対象とした地震探査データを有効活用することは、地下情報の不確実性を低減する技術として期待されている。過年度までに実施してきた、地震探査データを用いた堆積相解析もその一つである。2018年度は、一次元データである坑井で取得される検層データを、地震探査データと合わせて空間分布モデルへマッピングする技術の一つとして、機械学習によるアプローチの有効性を検討した。

機械学習とは、予測対象の既知のデータと異なる種類の既存データとの関連性を機械的に学習して特定した上で、その異種データを新たなデータと特定した関連性を基にして、予測対象のデータを推定する技術である。ここでは、長岡CO<sub>2</sub>圧入実証試験サイトを対象として、地震探査データから作られるアトリビュートデータと坑井で取得した孔隙率データとの関連性を坑井沿いのサンプル点で学習した後、坑井から離れた地点におけるアトリビュートデータから対応する孔隙率の分布予測を試みた。使用した機械学習モデルは、図1 (a) に示すような全結合型ニューラルネットワークモデルで、隠れ層を多層にすることにより学習精度の向上を図ることができる。ただし、地震探査データと検層データのデータ間隔が異なっており、直接的に比較することが難しいため、データ間隔の広いアトリビュートデータは内挿によって補間を行い、データ変動周期の短い検層データに対しては平滑化を行うことで、アトリビュートデータと同等の変動周期を有するデータとした。これらの前処理によって、機械学習にとって重要な学習サンプル数を減らすことなく、地震探査データと同程度の空間分解能の地質モデルを構築

することができた。

機械学習では、訓練データに対するエラーが減少する方向に学習が進むため、訓練データに対するエラー値は一般的には小さな値を示す。それに対して、訓練に用いていない検証データに対するエラーが同様に小さければ、構築されたニューラルネットワークモデルの妥当性は高い。本検討では、坑井沿いの孔隙率分布の機械学習に当たり、全入力データのうちの75%を訓練に使用し、25%のデータを検証データとして用いたときの学習過程における両データに対する平均絶対誤差値を図1 (b) に示す。学習が進むにつれ、訓練エラー（青色）が減少すると同時に、検証データに対するエラー値（オレンジ色）も減少している。そのため、本検討で用いたニューラルネットワークモデルが、新たなデータに対しても同等の予測精度を有していることがわかる。

続いて、構築した坑井沿いの孔隙率分布の予測モデルを用いて、長岡サイトの貯留層における孔隙率の空間分布を推定した。貯留対象層における予測孔隙率の三次元俯瞰図および観測井と圧入井を含む二次元断面図を図2に示す。二次元断面図における坑井位置には、観測された孔隙率を重ねて示す。貯留対象層の中深度付近において坑井で観測されている高孔隙率域（赤～暖色）が薄い層状に広がる様子が見られる。また、坑井より北西方向では、貯留対象層浅部（CO<sub>2</sub>圧入区間）において、比較的高い孔隙率分布域が広がることが予測されている。

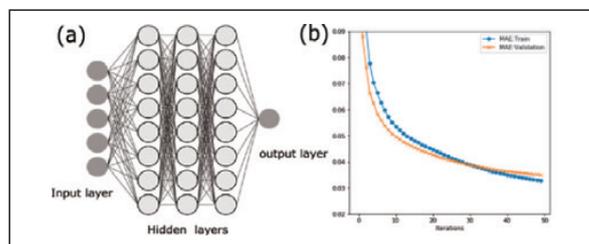


図1 (a) 全結合型ニューラルネットワークの概念図、  
(b) 訓練データと検証データの平均絶対誤差

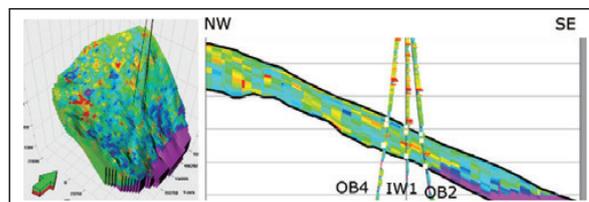


図2 貯留層の孔隙率空間分布図

機械学習を用いたアプローチは、非常に高速で簡便に実施することができるため、CO<sub>2</sub>貯留プロジェクト初期の圧入前評価時点における貯留量評価やCO<sub>2</sub>圧入シナリオテストに用いる地質モデル構築に有効な技術である。さらに、近年発展目覚ましい深層学習技術によって、推定精度のさらなる向上が期待されている。CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは地質モデルの確立に、より適した学習手法の構築に取り組んでいる。

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

海底下地中にCO<sub>2</sub>を貯留する場合、CO<sub>2</sub>が海中に漏出していないことを確認するために、また万が一CO<sub>2</sub>が漏出した場合にも速やかに漏出を検出できるようにするために海洋の監視を行うことが法令で定められている。漏出が起きていないことを示すことは、社会受容性という観点からも重要なことである。

CO<sub>2</sub>は海底から主に気泡として漏出すると考えられるが、CO<sub>2</sub>気泡は海水に溶けやすい。そこで、CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、漏出監視手法として、CO<sub>2</sub>気泡を検知する手法と、海水に溶けたCO<sub>2</sub>の指標の一つである海水のCO<sub>2</sub>分圧 (pCO<sub>2</sub>) の異常値を検出する手法の研究開発を進めてきた。本稿では、海水に溶けている酸素濃度の指標の一つである溶存酸素濃度飽和度 (DO%) とpCO<sub>2</sub>が逆相関を持つことを利用したpCO<sub>2</sub>の異常値判定手法に関して、ベースライン調査 (異常値判定基準値を作成するための観測調査) の必要年数についての研究を紹介する。

この研究には大阪湾で観測されたデータを用いている。大阪湾では40年以上に渡って大阪府が定点で年に4回 (2月、5月、8月、11月) の四季調査を継続している。CO<sub>2</sub>貯留研究グループでは、2002年～2010年の9年分のデータを解析している。

海水には自然状態でもCO<sub>2</sub>が溶け込んでおり、その溶解量の指標であるpCO<sub>2</sub>は一定の幅で自然変動している。そのため、pCO<sub>2</sub>の値で漏出を検出しようとすると、必ず“誤検出”と“漏出の見落とし”が起きる。誤検出は漏出が起きていないにも拘わらず異常値と判定すること、漏出の見落としは漏出が起きているにも拘わらず正常値と判定することである。誤検出を少なくしようとして異常値判定基準値を高く設定すれば漏出

の見落としが増え、漏出の見落としを少なくしようとして異常値判定基準値を低く設定すれば誤検出が増える。そこで、異常値判定基準を設定する際にはどの程度の誤検出や漏出の見落としが起これ得るのかを見積もる必要がある。本研究においては、pCO<sub>2</sub>と溶存酸素飽和度の回帰における95%予測区間 (観測されたpCO<sub>2</sub>の95%が含まれると予測される範囲: 図3の二本の点線の間) の上限を異常値判定基準値とする。この場合、理論的には2.5%の誤検出が生じる。

大阪湾ではCO<sub>2</sub>貯留を行っていないためCO<sub>2</sub>漏出時のデータは解析データに含まれない。したがって、判定基準値を超えているデータの割合を誤検出率とみなすことができる。図3 (a) は、解析に使用した9年分の全データ (465個) をプロットしたpCO<sub>2</sub>とDO%の散布図に、9年分の全データから計算した95%予測区間 (緑点線) を重ねたものである。15個のデータが判定基準値 (上の緑点線) より上にプロットされている。全データ数が465個なので3.2%の誤検出率となり、理論値に近い。しかし、判定基準値に用いるデータ数が少ないと、場合によっては非常に高い誤検出率になることがある。図3 (b, c) に、2005

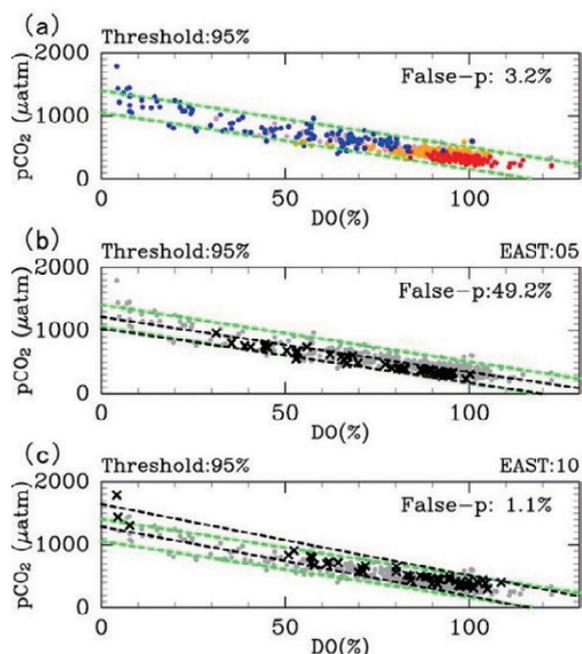


図3 pCO<sub>2</sub>とDO%の散布図。  
 (a) 2002年～2010年の全てのデータ (色は観測月を表す; 赤: 2月、ピンク: 5月、青: 8月、橙: 11月) とその95%予測区間 (緑点線)。  
 (b) 2005年のデータ (x) の95%予測区間 (黒点線)。  
 (c) 2010年のデータ (x) の予測区間 (黒点線)。95%予測区間上限を異常値判定基準としている。

年のデータのみ、2010年のデータのみで判定基準値を作成した例を示す。これらの判定基準値を9年分の全てのデータに適用すると、2005年データによる判定基準値の場合には、誤検出率が49.2%になった。図3 (b) の黒×印が基準値を作るのに使ったデータであるが、この年のデータは、9年分のデータの中でpCO<sub>2</sub>の下限付近に集中している。そのため、95%予測区間が9年分のデータによるものよりずっと狭く、判定基準値（上の黒点線）も9年分のデータで作った基準値（上の緑点線）に比べて低い。その結果、誤検出が多くなり、2.5%程度の誤検出率の基準値と想定しているにも関わらず、約2回に1回の割合で、自然変動による高値を異常値と誤判定してしまう判定基準値となっている。一方、2010年のデータによる判定基準値の場合、誤検出率が1.1%と低い（図3c）。誤検出率は低いが、この場合には判定基準値が高めに設定されているため、漏出が起きた場合には検出されにくくなる。したがって、必ずしも誤検出率が低ければ良い基準値であるということにはならない。

このようにしてN（1 ≤ N ≤ 8）年のデータを用いて<sub>9</sub>C<sub>N</sub>通りの基準を作り誤検出率を計算した結果が表1である。基準を作るのに用いる年数が少ないと、想定している誤検出率（2.5%）を大きく超える誤検出率になることがある。検討の結果、少なくとも4～6年のデータを用いて基準を作ることが望ましいと考えられる。

2018年夏季より大阪湾で連続観測を行っている。連続観測データと今回解析した長期の四季調査のデー

表1 基準作成に用いる年数と誤検出率

年数(N)	<sub>9</sub> C <sub>N</sub>	誤検出率 (%)
1	9	1.1~49
2	36	1.3~20
3	84	1.5~12
4	126	1.7~8.8
5	126	1.7~7.1
6	84	1.9~6.0
7	36	2.2~5.1
8	9	2.5~3.8
9	1	3.2

タを組み合わせることで、CO<sub>2</sub>漏出の有無を判定する基準設定のためのベースライン調査における適切な観測頻度や期間を明らかにできると考えられる。

### 2.3 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

CO<sub>2</sub>圧入によって圧入井周辺の地表が隆起したり、天然ガスの生産によって地表が沈降したりする現象は、アルジェリアで行われていたIn Salahプロジェクトのサイトで明確に観測された。流体圧入に伴う地層の変形量が大きくなると、貯留層を覆う遮蔽層に亀裂が生じる可能性があり、CO<sub>2</sub>地中貯留の安全性に影響を及ぼす恐れがある。このような地層変形の監視には、地下深部から地表まで連続的に観測できることが望ましく、流体圧入に伴う対象層の圧力増加の影響がどのように地表の変位をもたらしたかの検討にも必要である。しかし、従来の地中変位計は埋設場所を事前に決める必要があるほか、作業の観点から多数の変位計を埋設できないため、深度方向に連続的なモニタリングには適さない。分布式光ファイバーセンシング技術を利用すれば、深度方向に連続的なデータ取得が可能となる。以下では室内実験の結果を紹介するほか、光ファイバー測定に地層変形監視技術の有効性を示す。

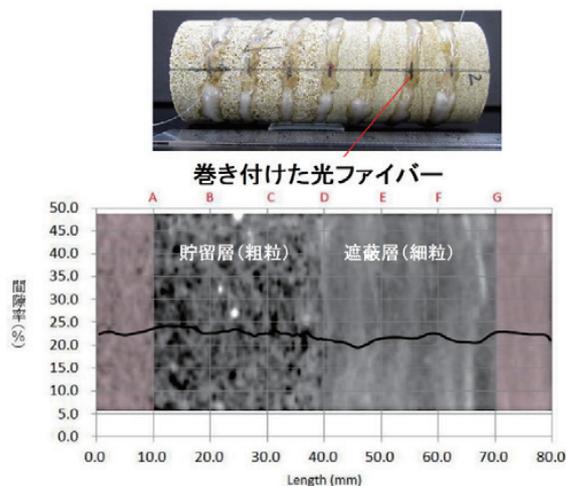


図4 光ファイバーを巻き付けた砂岩試料及びそのX-CTイメージ

図4は地下深部の貯留層と遮蔽層の物理特性を模倣したユニークな砂岩試料を示している。室内実験では地下深部の温度圧力条件を再現したうえで、砂岩試料左端の粗粒部（貯留層）にCO<sub>2</sub>を注入しながら、医療

用X-CT装置でCO<sub>2</sub>の挙動を可視化した。砂岩試料右端の細粒部は浸透率が低く、粗粒部に溜まるCO<sub>2</sub>を封入する遮蔽層の役割を果たしている。細粒部の遮蔽能力を超えると、CO<sub>2</sub>は粗粒部から細粒部へ浸入することになる。この室内実験において、X-CT装置は粗粒部にCO<sub>2</sub>が溜まっていく過程、細粒部に浸入する様子を可視化することができる。また、砂岩試料に巻き付けた光ファイバーはCO<sub>2</sub>が粗粒部に集積する過程の砂岩試料の膨張量や細粒部への力学的影響などを監視することができるようになっている。

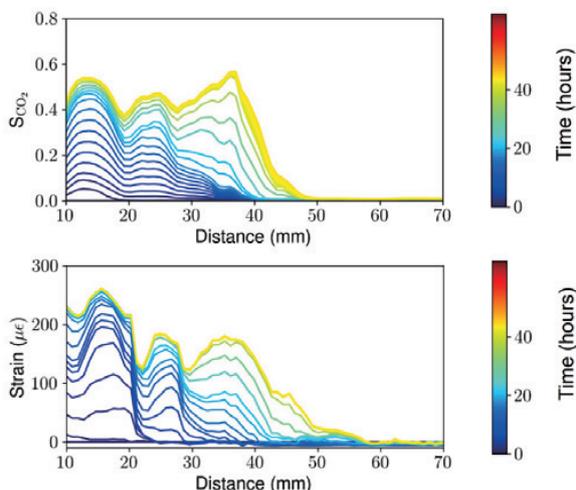


図5 砂岩試料長軸方向におけるCO<sub>2</sub>飽和度や膨張ひずみの分布

図5は注入開始後、粗粒部にCO<sub>2</sub>が徐々に溜まっていくとき、砂岩試料の長さ方向におけるCO<sub>2</sub>飽和度とひずみの分布を示している。CO<sub>2</sub>飽和度はX-CTイメージから求めたものであり、ひずみは光ファイバーによって測定された試料の膨張量である。試料左端から注入されたCO<sub>2</sub>は45mm付近の粗粒部と細粒部の境

界を超えることはなかったが、50mm~60mm区間ではわずかな膨張ひずみが観測された。遮蔽層がわずかな変形を生じるものの、貯留層に溜まるCO<sub>2</sub>をしっかりと封じ込んでいることがわかる。室内実験ではCO<sub>2</sub>注入圧を大きくし、遮蔽層に浸入する現象も模擬してみたところ、CO<sub>2</sub>浸入によって遮蔽層のひずみが急激に増加することが観測された(図6参照)。この室内実験の結果より、圧入井に光ファイバーを設置すれば、遮蔽層の力学的安定性や貯留層からのCO<sub>2</sub>漏えいが監視できることが明らかになった。

#### 2.4 国際連携および海外動向調査

RITEは、CCSに関する国際機関や国際的な枠組みとの連携を通してCCSの普及に貢献するとともに、CCSの海外動向の調査を行っている。ここでは、2018年の海外動向と国際的な枠組みの動向に分けて以下にまとめる。

##### (1) CCSに係る海外動向

英国では、政府により設置された外部有識者からなるタスクフォースがCCSの普及戦略案を2018年7月に公表した。CCSの普及にはCO<sub>2</sub>の輸送および貯留用の共用インフラを核とし、将来の拡張が容易な“クラスター”による推進が有効であるとして、CCSの2030年代の本格普及に向け、2つ以上のCCSクラスターを2020年代半ばに稼働させることを前提に16の提言を示した。CCSの普及は、クラスターにより推進し、かつ、適切なビジネスモデルとリスク分担が確立されれば、民間主導で可能であるとしている点が注目される。一方、政府は2018年11月にCCSに関する

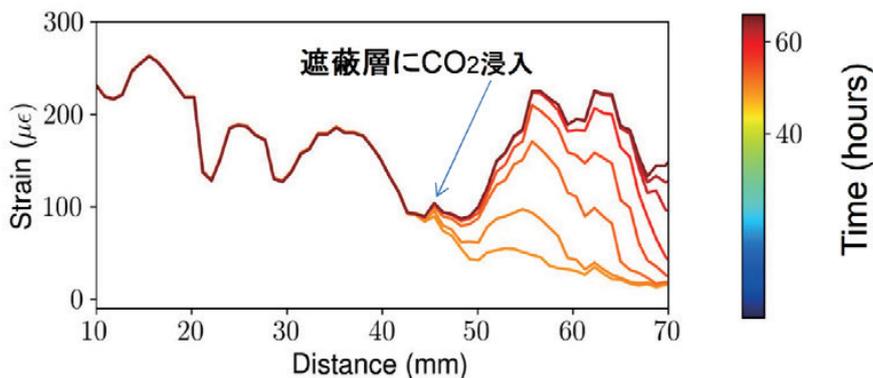


図6 遮蔽層へのCO<sub>2</sub>浸入に伴うひずみの急激な増加の様子



行動計画を公表した。タスクフォースによる提言を踏まえたものになっているが、2020年代半ばに稼働させるクラスターは1件となっている。19の具体的なアクションが示されており、これらは最初のプロジェクトの稼働に向けたアクションと、2030年代の本格普及に向けたアクションに大別される。

ノルウェーで検討されていた産業CCSプロジェクトは、CO<sub>2</sub>排出源が当初の3つから2つに減ったものの、その基本設計（FEED）の実施が2018年5月に議会により正式決定された。このプロジェクトにおいても、CO<sub>2</sub>の船舶輸送と海底下貯留は共用のインフラとなる。プロジェクトの最終投資判断は、2020年度とされている。

CCS分野における共用インフラの草分け的な存在は、米国の石油増進回収（EOR）向けのCO<sub>2</sub>パイプラインのネットワークであると言える。この本場の米国では2018年2月に、地中貯留されたCO<sub>2</sub>量に応じて付与される税額控除のスキームに、控除額が増額されるなどの改正が施された。この改正を受けて、複数のCO<sub>2</sub>回収プロジェクトが新たに検討されるなどしており、CCS普及の活性化が期待されている。

## (2) CCSに係る国際枠組みの動向

CCSの共用インフラは国際的にも関心が高く、CCSに係る国際枠組みである炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）の技術グループにおいて、共用インフラを対象としたタスクフォースが2018年10月の会合で設置された。まずは共用インフラの現状をレビューし、その結果を踏まえて、タスクフォースの継続の必要性が検討され、継続する場合には具体的な方針が策定されることになっている。なお、同会合において、技術グループの副議長の改選が行われ、日本が豪州およびカナダと共に選出された。日本、ひいてはアジアの視点からの国際CCSコミュニティへの貢献が期待されている。

クリーンエネルギー大臣会合の枠組みにおいては、米国が2017年にCCSに係るイニシアチブの設置を提案していたが、その設置が2018年6月の大臣会合において正式に合意された。同イニシアチブでは、クリーンエネルギーコミュニティにおけるCCSの認知度の向上のほか、CCSと金融の両コミュニティ間のコミュ

ニケーションの活性化などに取り組みことになっている。

5年間でクリーンエネルギーに関する研究開発への公的投資額を倍増することを目標に掲げたミッションイノベーションと呼ばれる国際的な取り組みにおいては、CO<sub>2</sub>の回収、貯留、利用、横断的分野の4分野における革新的な研究開発の優先分野を提示したCCSに関する報告書が2018年5月に公表された。CCSコミュニティは、既存技術によるCCSの普及にまい進するとともに、飛躍的な普及を目指して、CCSのコストの大幅な低減に資する研究開発にも取り組むことが求められる。



## 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	山口 祐一郎
首席研究員	喜多 英敏
首席研究員	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

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

## 1. はじめに

シリカ膜やゼオライト膜など無機膜は、その高い分離性能に加え、耐熱性や耐環境性に優れるなどの特長を有しており、多様な用途への適用が可能と期待されている。また、蒸留法や吸着法など従来の分離・精製法と比較して、大幅な省エネルギーが図れるとともに、CO<sub>2</sub>分離・回収用途や水素社会構築に不可欠な水素分離・精製用途にも開発が進められており、地球環境の保全に資する環境・エネルギー技術として大きな注目を集めている。しかしながら、その実用化は、これまでアルコールの脱水など一部用途に留まっており、今後、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の早期の実用化・産業化に向けた取り組みが求められている。

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

支持体メーカーとそのユーザー企業18社からなる「産業化戦略協議会」において、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有および共同研究の企画・立案等を図るべく、会員企業が定期的に集まり、研究会などの活動を活発に推進している。

2018年は、水素の効率的な輸送・貯蔵技術としてのメチルシクロヘキサン（MCH）脱水素用メンブレンリアクター開発において、世界最高の水素分離性能を持つシリカ膜を開発し、金属とセラミクス間のシール構造の開発をするなど大きな成果が得られた。また、新たに新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業として採択されたCO<sub>2</sub>分離・回収、有効利用（CCU：Carbon Capture and utilisation）に関する取り組みにも進展があった。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CCU技術開発など研究部門の主な成果と今後の展望、そして産業化戦略協議会の活動状況について紹介する。

## 2. 水素社会を支えるシリカ膜メンブレンリアクター

水素社会を構築するためには、水素を効率的に輸送・

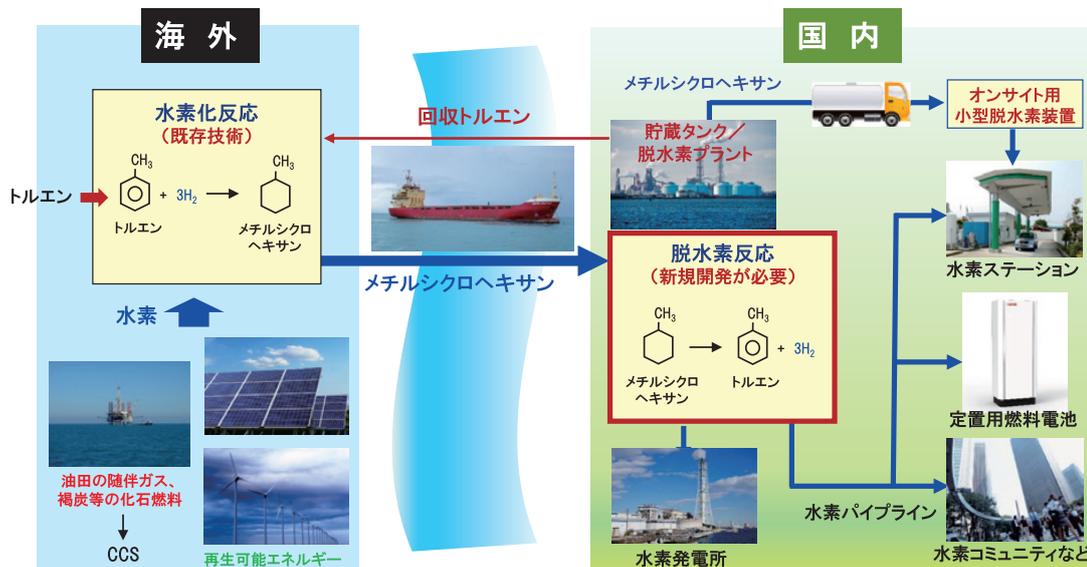


図1 エネルギーキャリアコンセプト

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

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

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

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

このようなメンブレンリアクターによる、MCHからの脱水反応を検討するため、千代田化工建設株式会社と共同でNEDO事業を受託している (「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」)。具体的には、水素分離膜であるシリカ膜の一層の性能向上および長尺化を図るとともに、MCHからの脱水素・精製を行うメンブレンリアクターの開発を行っている。

シリカ膜の性能向上では、水素の透過率 ( $H_2$ 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  $\alpha$  はトレードオフの関係にある。当セ

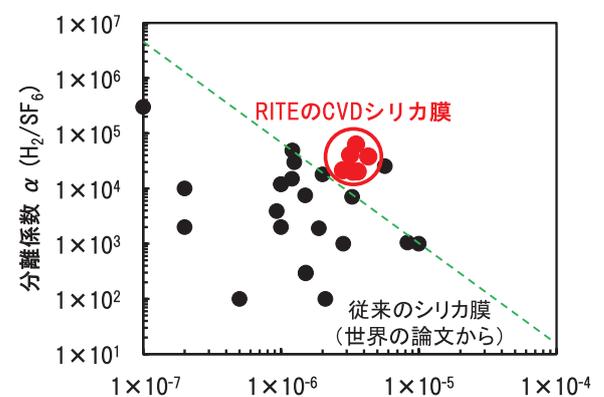


図2 水素選択透過性シリカ膜の特性

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、世界トップレベルの特性を有するシリカ膜（パーミアンス  $>3.5 \times 10^{-6}$  (mol/m<sup>2</sup> sec Pa)、分離係数  $\alpha$  63,000) を再現性良く製膜することができるようになった（図2）。

また、シリカ膜を用いたメンブレンリアクター検討では、200-500mmのシリカ膜数本を用いて、MCHからの脱水素反応をモニタし、反応効率向上の確認を行った。基本的な原理を図3に示す。水素分離膜と触媒を仕込んだ反応管にMCHを供給すると、平衡反応によりトルエンと水素に分離するが、生成した水素のみが水素分離膜を通して、反応場から分離される。反応場から生成物が取り除かれることで反応は生成物側にシフトし、水素製造の転化率が向上する。それと同時に、分離膜を通過した水素は、トルエンを含まない高純度水素となるため、水素精製と、反応効率の向上

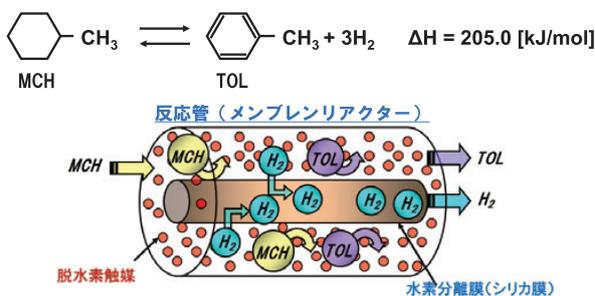


図3 単管メンブレンリアクターの概念図

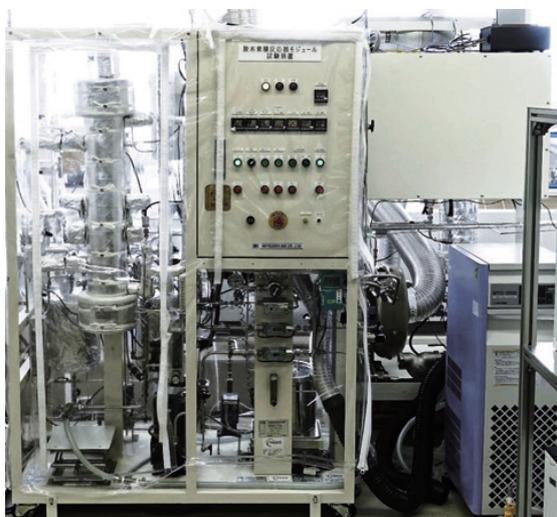


図4 メンブレンリアクターモジュール試験装置外観

が同時に、コンパクトな反応器で進行することとなる。

この現象を実スケールに近い状態で検証するため、500mLのシリカ膜3本から構成される試験装置を設計・製作し（図4）、各種エンジニアリングデータを収集した。

その結果、500mLのシリカ膜を用いた場合でも顕著な平衡シフト効果が確認され、平衡転化率の42.1%を大幅に上回る95%以上の転化率が得られることが検証された（図5）。

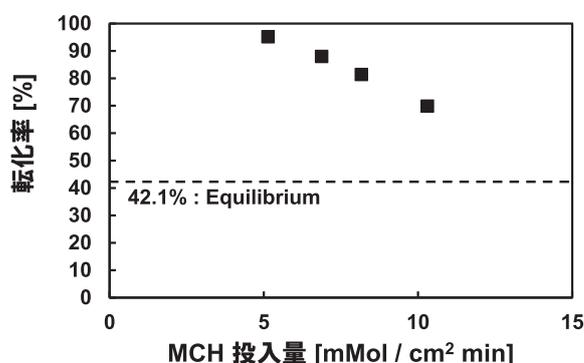


図5 メンブレンリアクターモジュール試験装置の運転結果

しかし、メンブレンリアクターの運転研究からは、シーリングの問題も明らかとなった。メンブレンリアクターでは、金属製の反応管に、セラミクス製の無機膜を気密接合する必要があるが、金属とセラミクスでは膨張率が異なるため、セラミクスが割れないよう、Oリング等のゴムによるシールを行っていた。しかし、反応場は、高温・高圧で、MCHやトルエンの有機溶剤に晒されるため、ゴムシールでは、耐性に課題があ

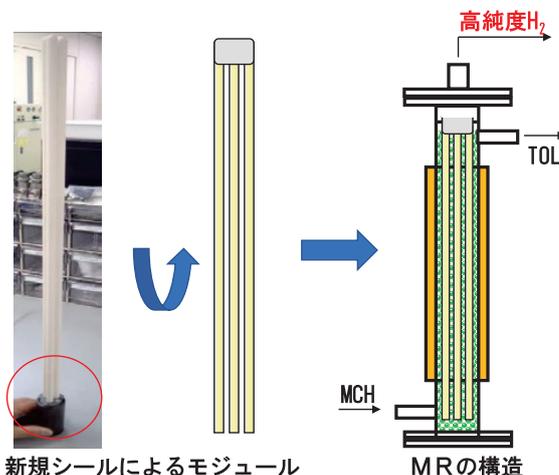


図6 金属-セラミクスの気密接合によるモジュール

ることが分かった。

メンブレンリアクターにおける、シーリング耐久性の課題を検討するため、新たなシール構造の開発にも取り組んだ。反応場の300℃でも耐圧、耐温度、耐溶媒特性を有し、反応管への取付け、取外しが容易なモジュール構造を検討し、図6のような構造のモジュールを試作した。

試作したモジュールは、膨張係数が異なる、金属-セラミクス間の接合にガラスを用い、500mL×3本を束ねたモジュールであり、300℃、500kPa-Gでの気密が確認できた。

これらの検討を通して、RITEでは、高性能シリカ膜を製膜し、それを用いたメンブレンリアクターで、MCHからの水素発生をコンパクトに設計できることを、ベンチスケールで実証してきた。

今後は、実用化への一層の加速を図るため、シリカ膜ならびにシリカモジュールとしての耐久性の実証を行う予定である。

### 3. CCU技術の開発

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、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／CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」に採択され、2019年度末まで研究開発を行なっている。

供給安定性および経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、長期エネルギー需給見通しにおいて、2030年度の国内の総発電電力量の26%を担う重要な電源であると位置づけられている。しかし、これら石炭火力発電はCO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、CCUが検討されている。現時点ではCO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>排出量の削減を目指していくことが必要と考えられている。

そこで本事業では、2030年度以降を見据え、我が

国の優れたクリーンコールテクノロジー（CCT：Clean Coal Technology）等に更なる産業競争力を賦与することが可能なCCU技術を確立することを目的とし、CO<sub>2</sub>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。

RITEでは高い安定性を有するゼオライト膜を開発するとともに、メタノール合成用膜反応器の開発を実験とシミュレーションの双方からアプローチしている。そのほか、カーボン膜などの分離膜開発については山口大学の喜多特任教授（RITE主席研究員兼務）、プロセス開発については京都大学の長谷部教授にご協力いただき、研究を推進している。

### 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）、特願2017-549972）。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CO<sub>2</sub>高速透過を両立できることを見出した。

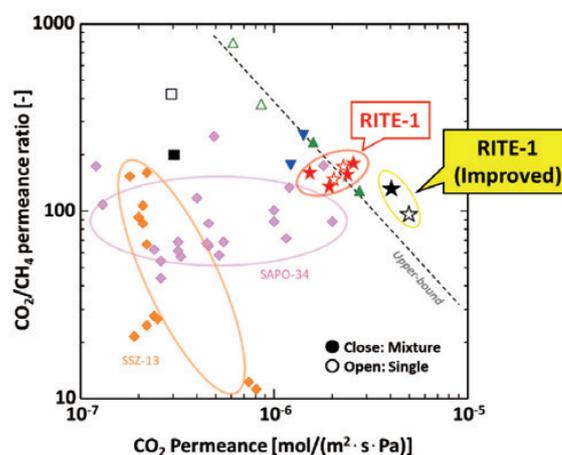


図7 Si-CHA膜のCO<sub>2</sub>分離性能



図7に示すように、特にSi-CHA膜におけるCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>分離性能は、CO<sub>2</sub>透過率：4.0×10<sup>-6</sup> mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>以上かつCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>透過率比：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、CO<sub>2</sub>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。

## 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18社（2019年1月時点）が参画し、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有および国費事業等共同研究の企画・立案等を推進して革新的環境・エネルギー技術に資する無機膜産業を確立することを目的としている。その実現のために、

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

などの事業を推進している。

研究会については、2016年11月に設定した3つの研究会活動を更に進めている。

- ①CO<sub>2</sub>分離研究会
- ②水素製造研究会

### ③共通基盤（信頼性評価等）研究会

2018年は、各研究会およびその下部組織として具体的作業を進める作業部会（各研究会で2018年末までに計4～5回開催）を通じて調査検討を更に深め、実用化をにらんだ国費事業提案準備を進めている。水素、共通基盤研究会ではNEDOに対して、共通の情報提供（RFI）を実施し、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（2019年1月時点で3回。年間3～4回予定）している。アドバイザリーボード、会員企業、膜関連企業などから最新の研究開発動向やニーズ、シーズの紹介、膜の実用化開発事例の紹介など計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・産業化に関連した有用な知識を得られる上に、会員企業間や第一線の研究者との交流の場としても有意義な場であると高い評価を得ている。

海外調査活動として、5月に中国南京工業大学および大学関連工業地域への視察を実施し、3社4名が参加した（図8）。南京工業大学では日中の無機膜シンポジウムとして、互いに講演を行い技術交流を深めることが出来た。また大学関連工業地域では中国の無機膜産業化への意気込みが強く感じられた。

また昨年に引き続き、12月に2日間にわたってRITEで研修会を開催し、RITEの概要説明、膜分離技術講義、および水素分離CVDシリカ膜の講義、製膜法の実験、作成した膜の透過分離性能評価の方法等の指導を行った（図9）。

会員企業2社から若手研究者2名の参加があったが、参加者からは、最先端のCVDシリカ膜製膜および評価実験手法を学習することが出来、貴重な経験が出来たと好評であった。

さらに、協議会会員向けセミナーの講演内容に関連する特許・文献調査を行い、その要約に無機膜研究センターとしてのコメントを付したニーズ・シーズ情報も、定期的に会員に提供している。加えて、無機膜関連の国際会議である第15回無機膜国際会議（ICIM2018）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。

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。

## 6. おわりに

無機膜研究センターは、設立して約3年が経過し、2018年は、水素の製造、輸送・貯蔵やCO<sub>2</sub>の有効利用を行う研究開発で着実に成果を上げた。また、研究



図8 海外調査活動 (南京工業大学)

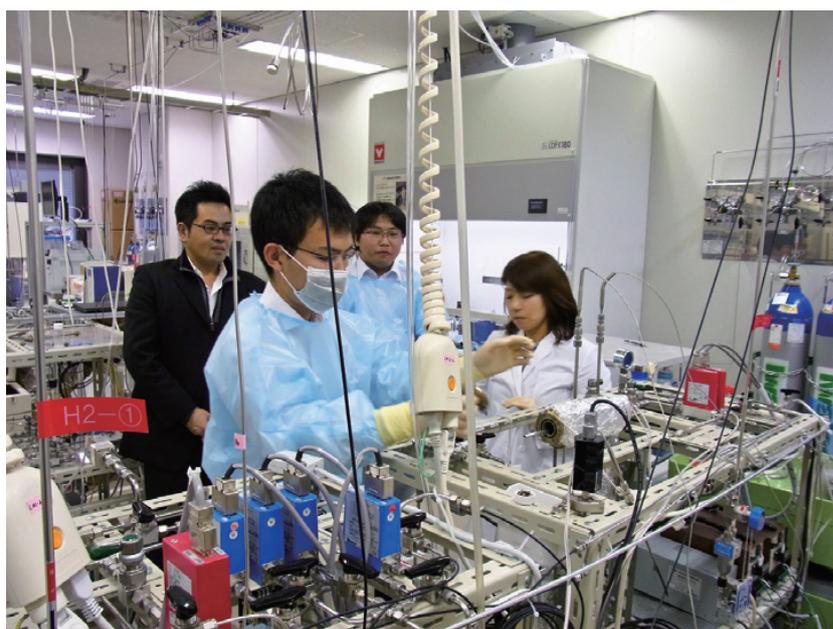


図9 RITE無機膜研究センターでの若手研究者向け研修会



## 企画調査グループ

CCUS映像ゲームを用いた  
環境教育の実施

RITEでは、将来を担う子ども達を対象に、ワークショップの開催、近隣の学校などからの見学受け入れ、出前授業等の機会を通じて環境教育に取り組んでおり、従来から実験やゲームなどを織り込んだレクチャーを行っていますが、2018年の夏は、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage: 二酸化炭素回収・有効利用・貯留) を楽しみながら学ぶことができる映像ゲームを用いたレクチャーを行いました。

この映像ゲームは、一般財団法人地球産業文化研究所 [GISPRI] (協力企業: (株)大広) が制作し、2017年にカザフスタンの首都アスタナで「未来のエネルギー」をテーマに開催された国際博覧会の日本館に展示されたもので、CCUSについてアニメーションとゲームを通じて楽しく紹介するものです。7~8月にかけて、GISPRIからこのゲームをお借りしてRITEに設置し、夏休みの小学生向けワークショップやこの時期にRITEに見学訪問した中学生、高校生へのレクチャーの中で、合計約140人の子ども達にこのゲームを体験してもらいました。

ゲームの内容は、画面をタッチしてCO<sub>2</sub>に見立てた赤いボールを集め、チームで集めたCO<sub>2</sub>の数によって順位を競うものです。子ども達は高得点を出そうと何度もゲームに挑戦し、高順位が出ると歓声を上げていました。子ども達からは、「ゲームでも楽しく学ぶことができたのでよかったです。」「最後にやったゲームが楽しかったです。CCUSという技術があることが分かった。」などの声が聞かれ、とても好評でした。

CCUSについては、初めて聞くという子ども達が殆どで、まずは名前と大まかな技術のイメージを知ってもらうことが大切です。今回の映像ゲームでは、ゲームの前後に、CCUSを解説するアニメーションも含まれており、遊びながらもCCUSのイメージを掴んでもらえたのではないかと思います。



## 企画調査グループ

未来社会を支える  
温暖化対策技術シンポジウム in 関西

当機構は、最新の研究成果を報告する場として革新的環境技術シンポジウムを毎年、東京で開催していますが、今年は、関西の方々にも多数ご参加いただける機会として、9年振りに関西でシンポジウムを開催しました。

今回のシンポジウムでは、当機構の地球温暖化対策技術に関する最新の研究成果や今後の取り組みについて報告するとともに、特別講演として大阪大学の下田吉之教授をお迎えし、「都市から考える将来の低炭素社会の姿」と題して、温暖化対策において大幅な省エネが求められている民生部門のエネルギー消費の将来について、ご講演いただきました。参加者へのアンケートでは「参考になった」との回答を多くいただき、関西の方々にも当機構の研究開発について知っていただく良い機会となりました。

開催日 2018年9月26日 (水)

場 所 大阪科学技術センター (OSTEC) 大ホール

主 催 地球環境産業技術研究機構

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

参加者数 156名

プログラム

- ・特別講演：都市から考える将来の低炭素社会の姿  
大阪大学大学院工学研究科 教授  
下田 吉之
- ・パリ協定を踏まえた気候リスク対応戦略と各種対策技術の役割  
システム研究グループリーダー 秋元 圭吾
- ・炭素循環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
- ・RITEにおける高効率CO<sub>2</sub>分離回収技術の開発状況  
化学研究グループ副主席研究員 余語 克則
- ・CO<sub>2</sub>地中貯留技術開発の現状と実用化への課題  
CO<sub>2</sub>貯留研究グループリーダー 薛 自求
- ・低炭素社会への貢献をめざす無機膜研究センターの取り組み  
無機膜研究センター副センター長 山口 祐一郎



## 第14回温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT-14) 参加報告

2018年10月21日～25日、オーストラリアのメルボルンで第14回温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT-14: 14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) が開催されました。この会議は温室効果ガスの削減技術の中でも特にCCSを中心テーマとした世界最大級の国際会議で、2年毎に開催されています。

今回のGHGT-14には世界各国から1,000名を超える参加者があり、技術セッションは12テーマ、71セッションで活発な議論が行われました。分野別では、貯留に関するセッションが27 (その他の貯留オプションを含む)、回収に関するセッションが20あり、これらの数は全セッションの約7割を占めています。RITEからは、貯留および回収の各セッションで合わせて8件の口頭発表を行い、ポスターセッションでは9件の発表を行いました。また、CO<sub>2</sub>貯留研究グループの薛グループリーダーが貯留に関するセッション「Tracking the Plume in the Reservoir」で座長を務めました。

今回のGHGT-14は開催直前の10月8日にIPCCの1.5℃特別報告書が公表され、その内容、特にCCSの取り扱い方が注目されていたタイミングでした。初日に行われたIPCCのThelma Krug副議長による基調講演では、CCSなしでは1.5度目標は達成できないという結論ではないが、CCSが高効率化や電化、水素やバイオマス利用などとともに必要であり、セメント製造などではCCSなしではCO<sub>2</sub>排出をゼロとすることは不可能であるとの説明がありました。閉会前の全体セッションは「The CCS Narrative」、すなわち、CCSコミュニティ外へのCCSの重要性や価値などの説明や情報発信についての議論がなされました。

閉会式では次回のGHGT-15 (2020年) がアラブ首長国連邦のアブダビにて開催されることが発表され、5日間にわたる会議が終了しました。



## 平成29年度ALPS国際シンポジウム 長期大幅排出削減に向けて

2016年11月にパリ協定が発効し、世界の大多数の国が2020年以降の自国の温室効果ガス排出削減目標等を提出し、排出削減に取り組む新たな国際枠組みができました。一方、2020年までに各国が国連に提出することになっている長期低排出発展戦略の策定に向けて、2050年以降の長期にわたる温暖化対策の議論が国内外で活発になってきています。そこで、様々な気候変動のリスクを認識しつつ、長期の大幅排出削減に向けた方向性を探るため、また研究事業ALPSの成果報告会としてALPS国際シンポジウムを開催しました。国内外の著名な専門家に、長期で正味CO<sub>2</sub>排出をほぼゼロにする必要性、将来目標と現状のギャップに関する考え方、不確実性を認識した総合的視点からのリスクマネジメントの重要性、技術革新の必要性など様々な観点から講演を頂き、講演者と参加者との間で活発な質疑が行われました。

開催日 2018年2月9日 (金)

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 310名

プログラム

- ・長期大幅排出削減に向けて—部門別ゼロエミッション技術開発の必要性—  
RITE理事長 茅 陽一
- ・大幅排出削減と持続的発展のための「炭素法則」  
IIASA副所長 Nebojsa Nakicenovic
- ・地球規模気候リスクとパリ協定の目標についての考察  
国立環境研究所 地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守 正多
- ・世界のエネルギー転換の状況：IEA世界エネルギー展望からの教訓  
IEA エネルギー需要アウトLOOK部門長  
Laura Cozzi
- ・未来の誤用  
コロラド大学 教授 Roger Pielke Jr.
- ・ネットゼロエミッション：最も行動可能な温暖化目標  
ドイツ国際安全保障問題研究所 EU/ヨーロッパ部門長 Oliver Geden
- ・2050年に向けたヨーロッパ-特にフランスの電源構成の脱炭素化に関する技術経済分析  
パリ・サクレイ大学 教授 Pascal Da Costa
- ・長期CO<sub>2</sub>ゼロエミッションに向けての気候変動リスク対応戦略  
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

低需要シナリオに関する  
国際ワークショップの開催

パリ協定では大幅なCO<sub>2</sub>排出削減が求められる一方、2℃や1.5℃といった気温目標に対するこれまでのモデル分析では、2100年のCO<sub>2</sub>限界削減費用が1000\$/tCO<sub>2</sub>前後と推計され、またBECCSに大きく依存するような対策がほとんどであり、極めて達成が難しい目標と考えられます。このような中、エネルギー需要側の大きな革新の可能性についても指摘されており、効用を下げずにエネルギー需要量を下げることが可能な社会変化の可能性について検討を深めることは極めて重要な課題です。

そこでRITEは、国際応用システム分析研究所 (IIASA) と共同で、国内外から幅広い研究分野の研究者を招聘し、低エネルギー需要社会実現の機会と課題の検討を行う国際ワークショップを9月に開催しました。

ワークショップでは、参加者によるエネルギー需要関連分析の紹介の後、全体による議論を行いました。IT等情報技術の進展とその幅広い波及に伴って期待できる運輸におけるカーシェア、ライドシェアによる低エネルギー需要化の機会、食料需給全体における様々な低GHG排出の機会等について指摘がなされました。低エネルギーサービスへの転換や排出削減の大きなポテンシャルが示されていること、需要側の技術や行動に軸を置いた研究が必要であることが示されました。

また、開催内容を日本版タラノア対話ポータルサイト「タラノアJAPAN」に掲載し、パリ協定の長期目標達成に向けた取り組みとして紹介しました。

開催日 2018年9月25日～27日

場 所 東大寺総合文化センター (奈良)

参加人数 21名



## システム研究グループ

COP24サイドイベント  
国内気候政策と国際競争力・Mitigation  
Policy Choices and Levels of Effort

RITEでは、米国未来資源研究所 (RFF) 等と協力して、パリ協定の国別貢献 (NDC) の経済への影響と国際競争力に関する科学的な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、ポランド・カトビツェでのCOP24において、サイドイベントを2回 (12/11および12/13) 開催しました。

両日とも、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における各国の排出削減比較に関する分析を紹介し、限界削減費用は各国で大きく異なり、社会的・政治的制約のためその総コストは最小コストよりも大幅に大きいこと、先進国においてNDCがGDPに負の影響を与えること、また、限界削減費用の大きな差異は炭素リーケージをもたらすため、レビュープロセスを通してNDCの協調を図ることが重要であること等を指摘しました。

また、Adam Sieminski氏 (アブドラ国王石油調査研究センター)、Brian Flannery氏 (RFF)、手塚宏之氏 (経団連)、竹内純子氏 (国際環境経済研)、有馬純氏 (東大) の各登壇者より、高い炭素価格付けの非現実性やグローバルバリューチェーン (GVC) における製品使用時の排出量削減の取り組みの重要性、更にはビジネス界が投資できる環境を整えること、各種技術開発やイノベーションの重要性等について指摘がありました。

開催日 2018年12月11日 (火)

場 所 COP24 Japan Pavilion

主 催 RITE 共催 RFF



開催日 2018年12月13日 (木)

場 所 COP24 公式イベントスペース

主 催 RITE、RFF





バイオ研究グループ

BioJapan 2018

World Business Forum BioJapan 2018が2018年10月10日～12日にパシフィコ横浜において開催されました。BioJapanは、今年で20回目の開催となり、昨年に引き続き再生医療JAPAN2018との共同開催で、来場者数は過去最高の16,309名となりました（2017年15,711名、2016年15,133名）。RITEは、住友ベークライト株式会社と共同で設立したグリーンケミカルズ株式会社（GCC）<sup>(注)</sup>と共同で展示会に出展しました。

(注) 2018年4月1日付でグリーンフェノール開発株式会社（GPD）から商号変更

1. 展示タペストリーによる説明

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」や、NEDO「スマートセルプロジェクト（植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発）」で実施中のプロジェクト、RITEバイオプロセスの事業化事例としてGreen Earth Institute株式会社（GEI）における取組を紹介しました。また、GCCの紹介とともに、グリーン芳香族化合物に関する研究開発について説明を行いました。

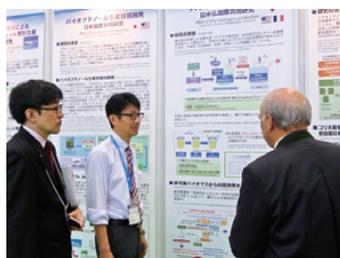
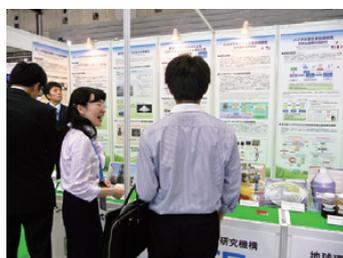
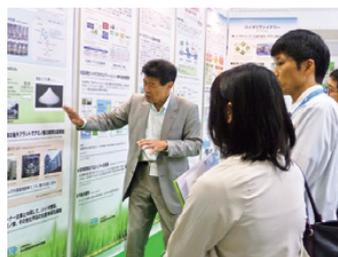
【RITE/GCCブースでの展示タペストリーの内容】

- ①RITEバイオプロセス（コア技術）
- ②スマートセルプロジェクト

- ③バイオ水素生産技術開発
- ④バイオブタノール生産技術開発& Alcohol to Jet 生産技術開発
- ⑤100%グリーンジェット燃料生産技術開発
- ⑥RITEバイオプロセスの事業化
- ⑦グリーンケミカルズ株式会社（GCC社）
- ⑧グリーン芳香族化合物のバイオ生産の新展開

2. サンプル等の展示

非可食バイオマス、GEIによるRITEバイオプロセス事業化事例であるL-アラニン、L-バリン、同社の化粧品用エタノール、GCCのグリーンフェノール樹脂成形品等、サンプルや写真を展示しました。多くの方にお越しいただき、誠にありがとうございました。





バイオ研究グループ

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) への参画

SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program) は、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議が、科学技術イノベーションを実現するために創設されたプログラムです。

本プロジェクトでは、革新的バイオ素材・高機能品等の開発を加速するインフォマティクス基盤技術を開発します。従来はモノマーの選択と重合の試行錯誤によって「欲しいポリマー特性」を得ていましたが、本プロジェクトで開発する“バイオポリマーマテリアルズ・インフォマティクス” (BPMI) により、欲しいポリマー特性から逆推算によって必要なバイオモノマーの提示と、新たな人工代謝経路のデザインが可能になります。更に鍵となる高活性酵素の創製と機能評価、バイオモノマー生産株の構築を通じて従来よりも4分の1程度の短い開発時間で効率生産の実現を目指しています。

① 欲しいポリマー特性から逆推算し、必要なバイオモノマーとその代謝経路のデザインを提示するBPMI\*基盤技術の構築と機能実証  
\* 「バイオポリマー マテリアルズ・インフォマティクス」

欲しいポリマー特性 (高耐熱/高剛性ポリマー, ゴム、エラストマー) → 逆推算 → 必要なバイオモノマー & 代謝経路のデザイン提示

② バイオモノマー開発期間を大幅に短縮するデジタル基盤技術と上記1) との統合モデル開発によるバイオモノマーの効率生産を実現

代謝経路のデザイン決定 → 高活性酵素創製と機能評価 → バイオモノマー生産株の構築と効率生産

SIPによる革新的バイオ素材・高機能品等の開発を加速するインフォマティクス基盤技術の開発イメージ

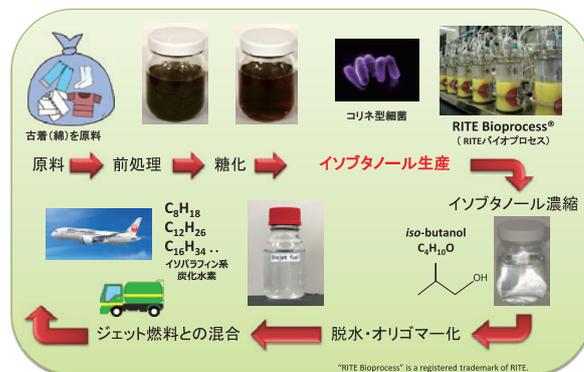
バイオ研究グループ

JALバイオジェット燃料フライトプロジェクトへの協力について

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

本プロジェクトは、JALと日本環境設計株式会社が協力して回収した古着を原料としてバイオジェット燃料を製造するものであり、JALは、2020年中に、このバイオジェット燃料を使用した日本初のチャーターフライトの運航を目指しています。RITE発のベンチャー企業であるGreen Earth Institute株式会社（GEI）は、本プロジェクトの参画企業として、回収された古着を原料としてイソブタノールを生産し、国際規格であるASTM D7566 Annex5に適合したバイオジェット燃料製造を担当します。

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





## 化学研究グループ

エネルギー・資源学会第7回学会賞受賞  
～低温排熱利用による省エネ型CO<sub>2</sub>分離回収システム～

余語克則副主席研究員と山田秀尚主任研究員が川崎重工業株式会社と共同で行った「CO<sub>2</sub>分離回収システム」に関する研究に対し、一般社団法人エネルギー・資源学会より、学会賞が贈られました。本賞は、エネルギー・資源・環境に関する学術の発展に貢献する技術やシステムの開発・解析・調査などで特に顕著な業績をあげた研究者に授与されるものです。

従来の大規模CO<sub>2</sub>分離回収プラントで採用されているアミン水溶液を用いたCO<sub>2</sub>回収法では、CO<sub>2</sub>を吸収させた液を100℃以上に加熱する必要があり、これが回収エネルギー増大の要因となっています。固体吸収法はアミンを比熱の小さな多孔質材料に担持することで、液吸収法に比べて大きなエネルギー低減を実現します。さらに、RITEが開発した低温でのCO<sub>2</sub>回収性能に優れた新規アミンを担持することで、60℃程度の低温排熱の有効利用を可能とします。現在、本材料を川崎重工業が開発した移動層システムに適用し、石炭燃焼炉を併設するベンチ試験設備を用いて試験を行っています。これまでに、低温蒸気（60℃）を用いて5 t-CO<sub>2</sub>/dayを超える高純度CO<sub>2</sub>の回収を達成しています。

本研究開発の成果である「低温排熱利用による省エネ型CO<sub>2</sub>分離回収システム」を着実に実証していくことで、CO<sub>2</sub>分離回収コストの大幅削減とCCSの早期普及が期待されます。



## 化学研究グループ

第8回革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム  
～地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向～

次世代型膜モジュール技術研究 (MGM) 組合では、効率的な石炭ガス化発電 (IGCC) 等で発生する圧力を有するガスから低コストで分離回収を行う革新的な二酸化炭素分離膜の開発 (二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業) を経済産業省、NEDOからの委託事業として進めています。当日は、組合が開発している二酸化炭素分離膜技術をはじめとする国内外の二酸化炭素分離回収技術の研究開発動向、温暖化対策目標やCO<sub>2</sub>削減技術についての講演がありました。政府関係者や大学・企業関係者を始め179名の方にご参加いただきました。紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

開催日：2019年1月18日 (金)

場 所：伊藤謝恩ホール (東京)

プログラム：

- ・基調講演：「温暖化対策目標をめぐるって」  
(公財) 地球環境産業技術研究機構  
理事長 茅 陽一
- ・招待講演① [New Amine-Based Membranes for Post- and Pre-Combustion CO<sub>2</sub> Capture]  
The Ohio State University  
Prof. W.S. Winston Ho
- ・招待講演② [CO<sub>2</sub> capture with membranes : lessons learned from field trials in the USA ]  
Membrane Technology and Research, Inc.  
Vice-President of Technology  
Dr. Tim Merkel
- ・招待講演③ [大崎クールジェンCO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証試験の進捗について]  
大崎クールジェン株式会社 代表取締役社長  
相曾 健司
- ・活動報告① [次世代型膜モジュール技術の進捗について]  
MGM技術研究組合 専務理事 中尾 真一
- 活動報告② [海外のCO<sub>2</sub>分離回収技術の最新動向]  
MGM技術研究組合 主任研究員 甲斐 照彦



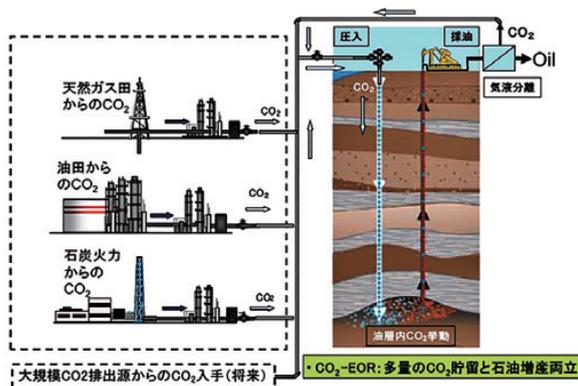
CO<sub>2</sub>貯留研究グループ中国君倫(ジュンロン)石油へのマイクロバブルCO<sub>2</sub>特許技術の提供について

2018年11月に北京で開催された日中省エネルギー・環境総合フォーラムにおいて、中国の石油開発技術サービス会社である北京君倫潤衆科技有限公司(以下、君倫石油)と、当機構が東京ガス株式会社と共同で開発したマイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入に関する特許技術の使用許諾契約を締結しました。



枯渇油田において、大量のCO<sub>2</sub>を地下に圧入して油層中の油の流動性を高めることで石油増産を図るCO<sub>2</sub>-EOR(Enhanced Oil Recovery; 石油増進回収)と呼ばれる技術が利用されることがあります。今回使用を許諾した技術は、CO<sub>2</sub>をマイクロバブル(微細気泡)にして油層内に圧入するもので、CO<sub>2</sub>が低浸透性の地層部分にも入っていくことから、従来のCO<sub>2</sub>-EOR技術よりも高い石油増産が期待されます。

君倫石油は、重質油の生産に高い技術力を持ち、中国石油(CNPC)などとビジネス展開を行っています。浸透性が低い油田の石油生産には対処できていない状況にあります。同社は当特許技術を低浸透性油田に適用し、中国国内の石油増産を図っていく計画です。また、今回の技術提供により、CO<sub>2</sub>-EORが普及することで、大気に排出されるCO<sub>2</sub>が削減され、ひいては地球温暖化の緩和に貢献することが期待されます。

CO<sub>2</sub>-EOR技術の概要CO<sub>2</sub>貯留研究グループCCSテクニカルワークショップ2019「大規模CO<sub>2</sub>地中貯留の事業化を見据えたリスク評価について」

各国で温暖化対策が進められている中、CCSは今後のCO<sub>2</sub>削減の重要な選択肢の1つに位置付けられています。

CCSの実用化にあたっては、その社会受容性を高めることが必要であり、CCS実施時の安全性を担保するとともに、懸念されるリスク事象について共通理解を醸成していくことが重要です。また、CCSの実施に関する現実的な法規制の整備も重要な課題です。

本ワークショップでは、海外から専門家を招いて、主要国のCCS政策や法規制の現状、社会受容性の観点からCO<sub>2</sub>漏出や地震の影響などに関する最新のリスク評価について講演いただくとともに、「二酸化炭素地中貯留技術研究組合」における最新の研究開発状況について紹介しました。

開催日 2019年1月16日(水)

場所 虎ノ門ヒルズフォーラム(東京)

主催 二酸化炭素地中貯留技術研究組合

共催 経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

参加者数 362名

プログラム

- ・講演1: CCS事業における法規制への対応  
IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG)  
Programme Manager Tim Dixon
- ・講演2: CCS事業におけるCO<sub>2</sub>漏出のリスク評価について  
The University of Texas at Austin  
Research Scientist Katherine Romanak
- ・講演3: 米国のCCUS事業におけるリスクマネジメントについて  
LLNL Atmospheric, Earth and Energy Division,  
Subsurface Transport Group  
Group Leader Joshua White
- ・講演4: 大規模CO<sub>2</sub>貯留における地震観測およびリスク評価の事例紹介  
NORSAR Senior Research Geophysicist  
Bettina Goertz-Allmann
- ・講演5: 二酸化炭素地中貯留技術研究組合の研究開発状況  
二酸化炭素地中貯留技術研究組合  
技術部長 薛自求



## 無機膜研究センター

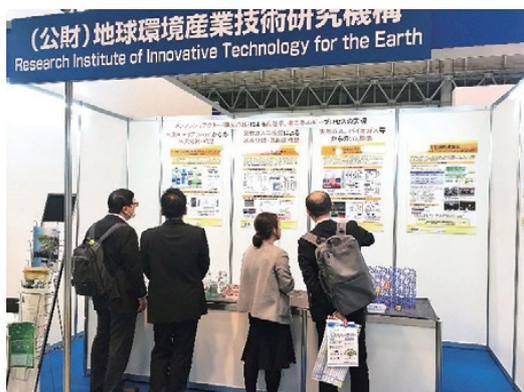
## 無機膜研究センター

## 第3回高機能セラミックス展

未来を拓く  
無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム

第3回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2018年12月5日～7日に幕張メッセ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。

無機膜の潜在ユーザーとなる企業を中心に130名を超える方がブースに来場され、既存プロセスに無機膜を適用した場合のメリット等、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



シンポジウムの状況

今回のシンポジウムは、「水素エネルギー利用」と「無機膜」の最新動向と実用化に向けた取り組みにフォーカスし、NEDOおよび大学、企業の方々にご講演いただくとともに、無機膜研究センターの最新の研究成果や産業化戦略協議会の取り組みを紹介し、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の開発推進や、無機膜産業の創出について、ご参加の皆様と共に考える機会として開催しました。

来場の皆様から、「無機膜の国際的な動向がよく分かった。近未来に実用可能なテクノロジーだと認識できた。」等の好評をいただきました。

開催日 2018年11月6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 136名

プログラム

・基調講演①「水素エネルギー利活用に関する最新動向」

新エネルギー・産業技術総合開発機構

次世代電池・水素部 燃料電池・水素グループ

主任研究員 原 大周

・講演①「SOFC型燃料電池の開発状況と市場投入に向けて」

日立造船（株）環境事業本部 開発センター長

執行役員 家山 一夫

・基調講演②「ナノ/サブナノ多孔性シリカ膜の現状と新しい展開」

広島大学大学院工学研究科 教授 都留 稔了

・講演②「高シリカCHA型ゼオライト膜の特徴と応用」

三菱ケミカル（株）横浜研究所 主席研究員

武脇 隆彦

・活動報告「無機膜研究センターの研究成果と今後の計画」

地球環境産業技術研究機構

無機膜研究センター長 中尾 真一



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

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

## シンポジウム

開催日	シンポジウムタイトル・概要	関連部署
2018年1月23日	<b>CCSテクニカルワークショップ</b> ー大規模CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 貯留 研究グループ
2018年2月9日	<b>ALPS国際シンポジウム2018</b> ー長期大幅排出削減に向けてー ・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：310名	システム 研究グループ
2018年2月13日	<b>第7回革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム</b> ー地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向ー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：次世代型膜モジュール技術研究組合 ・参加者数：179名	化学 研究グループ
2018年9月26日	<b>未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西</b> ・会場：大阪科学技術センター 大ホール ・主催：地球環境産業技術研究機構 ・参加者数：156名	企画調査 グループ
2018年11月6日	<b>未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム</b> ・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：136名	無機膜 研究センター
2018年12月19日	<b>革新的環境技術シンポジウム2018</b> ー長期低排出発展戦略の実現に向けたイノベーションの推進ー ・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：430名	企画調査 グループ
2019年1月16日	<b>CCSテクニカルワークショップ2019</b> ー大規模CO <sub>2</sub> 地中貯留技術の事業化を見据えたリスク評価についてー ・会場：虎ノ門ヒルズフォーラム ・主催：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 ・参加者数：362名	CO <sub>2</sub> 貯留 研究グループ
2019年1月18日	<b>第8回革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム</b> ー地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向ー ・会場：伊藤謝恩ホール ・主催：次世代型膜モジュール技術研究組合 ・参加者数：179名	化学 研究グループ



## 出展

開催日	出展イベント名・概要	関連部署
2018年10月10日～12日	<b>BioJapan 2018</b> ・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
2018年12月5日～7日	<b>第3回高性能セラミックス展</b> ・会場：幕張メッセ ・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

## プレスリリース

発表日	タイトル
2018年1月5日	平成29年度ALPS国際シンポジウム開催のご案内
2018年7月3日	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 開催のご案内
2018年9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」の開催
2018年10月26日	革新的環境技術シンポジウム2018開催のご案内
2018年11月15日	CCSテクニカルワークショップ2019 「大規模CO <sub>2</sub> 地中貯留技術の事業化を見据えたリスク評価について」開催について
2018年11月15日	第8回革新的CO <sub>2</sub> 膜分離技術シンポジウム ～地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向～開催について
2017年11月28日	中国君倫（ジュンロン）石油へのマイクロバブルCO <sub>2</sub> 特許技術の提供について

## 環境教育

実施日	実施場所	実施事項	人数
<b>◆学校の校外学習（見学）の受け入れ・出前授業</b>			
1月18日	RITE	精華町立精華南中学校 見学	5
1月29日	//	木津川市立木津川台小学校 見学	37
2月20日	精華南中学校	精華町立精華南中学校 出前授業	54
3月22日	RITE	奈良県立教育研究所 高校生キャリアセミナー 見学	3
5月1日	//	奈良県立奈良北高等学校 見学	39
5月18日	//	精華町立精華中学校 見学	11
7月13日	//	帝塚山学園帝塚山中学校 見学	25
8月3日	//	京都府立西舞鶴高等学校 見学	40
8月27日	//	東大寺学園中学校 見学	27
8月27日	//	開成学園理化学部 見学	33
9月27日	//	奈良学園登美ヶ丘中学校 見学	11
10月9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	48
10月18日	RITE	島根県立益田高等学校 見学	21
11月16日	//	精華町立精華西中学校 見学	6
<b>◆小学生向けワークショップの開催</b>			
7～8月に5回	RITE	実験とゲームで学ぼう！地球温暖化	59
<b>◆イベント出展</b>			
2月3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2018	-



## 役員・企画調査グループ

## 解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Climate Pledges: The Need for Greater Transparency	Mitsutsune Yamaguchi	The Japan Journal, MAY/JUNE, pp.24-25, 2018
2	総論「再生可能エネルギー大量導入の課題と対応」	山地憲治	電気評論、2018年6月号、pp.7-12
3	CO <sub>2</sub> 分離回収・貯留技術（CCS）技術の現状と展望	清水淳一	環境技術、2018年7号、pp.361-365
4	時論「原子力政策の最低防御ライン」	山地憲治	日本原子力学会誌「ATOMOΣ」、2018年12月号、pp.2-3
5	Issues Concerning the Paris Agreement on Global Warming: Limitations of Negative Emissions Dependence— Make Zero Emissions the Guiding Principle	Y. Kaya and M. Yamaguchi	Discuss Japan—Japan Foreign Policy Forum, No.50, 2018

## 口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	掲載先
1	2030年及びそれ以降の気候変動戦略 短期・中長期の観点から	山口光恒	環境経済・政策学会2018年大会、2018年9月8日

## 口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	掲載先
1	Development of Educational Materials and Programs for Public Outreach of CCS	Naoko Onishi, Nami Tatsumi, Satoshi Nakamura and Yoshinori Aoki.	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018

## 書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	ゼロエミッション技術とCO <sub>2</sub> 分離回収・貯留技術（CCS）の最新動向	清水淳一	一般財団法人大阪科学技術センター（OSTEC）「地球環境技術推進懇談会」講演会、2018年7月13日

## システム研究グループ

## 原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	A global analysis of residential heating and cooling service demand and cost-effective energy consumption under different climate change scenarios up to 2050	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, T. Tomoda, K. Akimoto	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Vol. 23, Issue1, pp. 51-79, Jan. 2018
2	Low-carbon investments from the perspective of electric utilities: The burden of the past	B. Shoai-Tehrani, K. Akimoto, F. Sano	Utilities Policy, Vol. 51, pp. 18-32, April 2018
3	A model-based analysis on energy systems transition for climate change mitigation and ambient particulate matter 2.5 concentration reduction	K. Gi, F. Sano, A. Hayashi, K. Akimoto	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Published online Apr. 2, 2018
4	現行の気候・エネルギー政策および国別貢献による世界全体のエネルギー起源CO <sub>2</sub> 排出削減とエネルギーシステムの評価	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誌、Vol. 97, pp. 135-146, 2018
5	Global energy sector emission reductions and bioenergy use: overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison	N. Bauer, S. K. Rose, S. Fujimori, D. P. van Vuuren, J. Weyant, M. Wise, Y. Cui, V. Daioglou, M. J. Gidden, E. Kato, A. Kitous, F. Leblanc, R. Sands, F. Sano, J. Streffer, J. Tsutsui, R. Bibas, O. Fricko, T. Hasegawa, D. Klein, A. Kurosawa, S. Mima, M. Muratori	Climatic Change, Published online July 2, 2018
6	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, Vol. 23, No. 6, August 2018
7	Next step in geoengineering scenario research: Restrained deployment scenarios and beyond	M. Sugiyama, Y. Arino, T. Kosugi, A. Kurosawa, S. Watanabe	Climate Policy, Vol. 18, No. 6, pp 681-689, 2018
8	Interaction of consumer preferences and climate policies in the global transition to low-carbon vehicles	D. L. McCollum, C. Wilson, M. Bevione, S. Carrara, O. Y. Edelenbosch, J. Emmerling, C. Guivarch, P. Karkatsoulis, I. Keppo, V. Krey, Z. Lin, E. O Broin, L. Paroussos, H. Pettifor, K. Ramea, K. Riahi, F. Sano, B. S. Rodrigues, D. P. van Vuuren	Nature Energy 3, pp. 664-673, 2018
9	Changes in terrestrial water stress and contributions of major factors under temperature rise constraint scenarios	A. Hayashi, F. Sano, Y. Nakagami, K. Akimoto	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Vol.23, No.8, pp.1179-1205, December 2018

## 口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	再生可能エネルギー固定価格買取制度の衡平性に関する評価	永田敬博、有野洋輔、中野優子、秋元圭吾	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月25日



## システム研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
2	省エネ住宅向け補助政策の所得階層別影響分析	中野優子、秋元圭吾、永田敬博、有野洋輔	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月25日
3	海岸・農業部門を考慮した温暖化影響・適応策の経済分析	本間隆嗣、有野洋輔、林礼美、長島美由紀、秋元圭吾	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
4	世界CO <sub>2</sub> 排出削減への環境調和型製品の普及・展開による貢献の評価	秋元圭吾、本間隆嗣、佐野史典、小田潤一郎	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
5	生活時間消費の観点からみたサービス需要の発生に対する一考察	魏啓為、秋元圭吾、佐野史典、本間隆嗣、小田潤一郎	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
6	世界エネルギーシステムモデルによる集光型太陽熱発電の評価	ショアイ・テラニ ビアンカ、秋元圭吾、佐野史典、中村直樹	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
7	鉄鋼貿易に関する代替の価格弾力性の評価	小田潤一郎、本間隆嗣、秋元圭吾	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
8	A Bottom-up End-use Model for Myanmar Regional Residential Electricity Demand	王楠、小田潤一郎、秋元圭吾	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
9	「パリ協定」における途上国支援のあり方の考察	和田謙一	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
10	気候変動対策資金の効率的な配分に関する評価	長島美由紀、佐野史典、秋元圭吾、魏啓為	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
11	長期気温目標シナリオ下での土地利用変化と食料アクセスの分析	林礼美、佐野史典、本間隆嗣、秋元圭吾	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
12	世界エネルギーシステムモデルのためのGISデータに基づく再生可能エネルギーのポテンシャル推計	中村直樹、佐野史典、秋元圭吾、ショアイ・テラニ ビアンカ、魏啓為	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
13	移動に関するシェアリングエコノミーの普及についての検討	佐野史典、秋元圭吾、小田潤一郎、魏啓為	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2018年1月26日
14	地球温暖化対応・エネルギー戦略のあり方と核融合エネルギーの役割	秋元圭吾	第12回核融合エネルギー連合講演会、2018年6月28日
15	パリ協定2°C目標達成に向けたエネルギーシナリオにおける核融合エネルギー導入条件の分析	魏啓為、佐野史典、秋元圭吾、日渡良爾、飛田健次	第12回核融合エネルギー連合講演会、2018年6月28日
16	エネルギーを巡る世界の社会情勢と技術動向	魏啓為	第12回核融合エネルギー連合講演会、2018年6月29日
17	卸電力価格のボラティリティが電源投資に与える影響に関する分析	小田潤一郎、中野優子、秋元圭吾	日本リアルオプション学会 研究発表大会 (JAROS2018)、2018年12月2日

## 口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Ex-post evaluation of cost effectiveness of residential solar PV diffusion policy in Japan: The case of feed-in tariff	Y. Arino	Grand Renewable Energy 2018 (GRE2018), Jun. 19, 2018, Japan
2	An analysis of large-scale supply cost of energy crops under climate change scenarios	A. Hayashi, F. Sano, K. Akimoto	Grand Renewable Energy 2018 (GRE2018), Jun. 21, 2018, Japan
3	Evaluations on emission reduction efforts of NDCs and their economic impacts by sector	K. Akimoto, T. Homma, F. Sano, B. Shoai-Tehrani	WCERE 2018 - 6th World Congress of Environmental and Resource Economists, Jun. 26, 2018, Sweden
4	Toward a strategic design of the CCS demonstration projects: A statistical approach	N. Wang, K. Akimoto	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
5	Contribution of fusion energy to low-carbon development under the Paris Agreement and accompanying uncertainties	K. Gi, F. Sano, K. Akimoto, R. Hiwatari, K. Tobita	27th IAEA Fusion Energy Conference, Oct. 24, 2018, India
6	Assessment of Equity of Feed-in Tariff in Japan	T. Nagata, Y. Arino, Y. Nakano, K. Akimoto	ICUE2018 on Green Energy for Sustainable Development, Oct. 24, 2018, Thailand
7	The interplay of climate policy and electric sector deregulation: the perspective of firm's investment strategy in renewable energy	N. Wang, K. Akimoto	6th IAEE Asian Conference, Nov. 3, 2018, China
8	Alternative pathways for deep emission reductions with low energy demands and low carbon prices considering a car- and ride-sharing society	K. Akimoto, F. Sano, K. Gi	IAMC annual meeting, Nov. 13-15, 2018, Spain

## 書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	エネルギーのことをもっと知ろう	秋元圭吾	高山市ミセス生活学校セミナー、2018年1月13日
2	社会経済、気候変動の不確実性を踏まえたエネルギー対策シナリオ	秋元圭吾	原子力委員会定例会、2018年1月30日
3	Evaluation of Relationship between Embodied Energy and Transport Energy of Cities in Japan	小田潤一郎、秋元圭吾	Japan-Brazil Joint Workshop "Towards Sustainable Urban Energy Systems: Experiences from Asia and Latin America", Feb. 2, 2018



## システム研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
4	Long-term strategy toward deep emission reductions under several kinds of uncertainties	秋元圭吾	International Symposium-Prospect of Decarbonization after the Paris Agreement, Feb. 8, 2018
5	長期CO <sub>2</sub> ゼロエミッションに向けての気候変動リスク対応戦略	秋元圭吾	ALPS国際シンポジウム、2018年2月9日
6	エネルギー基本計画に関わる国内外の情勢と改訂の議論	秋元圭吾	資源エネルギー庁地域等情報交流事業勉強会、2018年2月15日
7	気候予測の不確実性による排出削減費用の差異	秋元圭吾	シナリオイニシアティブ会合、2018年2月20日
8	気候予測の不確実性による排出削減費用の差異	秋元圭吾	統合的気候モデル高度化研究プログラム公開シンポジウム、2018年3月8日
9	長期地球温暖化対策とエネルギー政策の検討状況と課題	秋元圭吾	電力総連産業政策委員会、2018年3月27日
10	CTCN諮問委員会およびTECの結果について	和田謙一	第72回TECUSE研究会、2018年4月18日
11	シェアリングエコノミー進展シナリオの検討	佐野史典	TPES (Tokyo Professional Energy Seminar)、2018年4月20日
12	長期排出削減に向けた天然ガスの位置づけとエネルギー・温暖化政策の動向	秋元圭吾	日本ガス協会東海北陸部会総会、2018年5月15日
13	産業部門のエネルギー消費とCO <sub>2</sub> 削減動向：鉄鋼・セメント部門を中心に	小田潤一郎	早稲田大学 スマート社会技術融合研究機構 (ACROSS) 先進グリッド技術研究所 エネルギーチェーンWG、2018年5月17日
14	タラノア対話について	和田謙一	第73回TECUSE研究会、2018年5月23日
15	第5次エネルギー基本計画の方向性について	秋元圭吾	エネルギー・資源学会 エネルギー政策懇話会、2018年5月29日
16	世界のCO <sub>2</sub> 排出抑制への貢献を目指した日本鉄鋼業の在り方	秋元圭吾、小田潤一郎	第233回西山記念技術講座、2018年6月7日
17	世界のCO <sub>2</sub> 排出抑制への貢献を目指した日本鉄鋼業の在り方	小田潤一郎、秋元圭吾	第234回西山記念技術講座、2018年6月21日
18	Chapter 2: The Paradoxes of the European Energy Market Regulation: A Historical and Structural Analysis of the Electricity Mix	B. Shoai-Tehrani, P. da Costa	Towards a Sustainable Economy, July 2018
19	長期低排出発展戦略の策定に向けたシナリオ分析について	秋元圭吾	RITE交友会、2018年7月6日
20	再生可能エネルギーの経済評価と課題	秋元圭吾	東京大学「再生可能エネルギーと公共政策研究会」、2018年7月11日
21	第5次エネルギー基本計画に対する評価、および中小企業への影響や求められる対応策等について	秋元圭吾	日商第5回エネルギー・環境専門委員会/東商第5回エネルギー・環境委員会、2018年7月11日
22	第5次エネルギー基本計画について	秋元圭吾	佐賀県庁、2018年8月30日
23	地球温暖化とエネルギー対策	秋元圭吾	女性のための勉強会「明日の天気と未来の地球」、2018年9月20日
24	パリ協定を踏まえた気候リスク対応戦略と各種対策技術の役割	秋元圭吾	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西、2018年9月26日
25	A Consideration of Service Demand in Terms of Time Budgets: A case study of passenger travel demand in Japan	K. Gi	Rethinking Energy Demand Discussion Workshop, Sep. 26, 2018
26	第5次エネルギー基本計画とそれを踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策	秋元圭吾	エコテクノ2018「エネルギー先端技術展 キーノートセミナー」、2018年10月10日
27	第5次エネルギー基本計画	秋元圭吾	CCSフォーラム、2018年10月12日
28	RITEエネルギー・温暖化対策評価モデルの概要と各種シナリオ下でのCCSの経済性評価	佐野史典	CCSフォーラム、2018年10月12日
29	IEEJアウトック2019を踏まえたコメント	秋元圭吾	日本エネルギー経済研究所 第430回定例研究報告会、2018年10月15日
30	第5次エネルギー基本計画について	秋元圭吾	核燃料税関係団体連絡協議会、2018年11月1日
31	IPCC 1.5°C特別報告書について	和田謙一	第78回TECUSE研究会、2018年11月21日
32	科学技術とエネルギー、そして地球温暖化問題	秋元圭吾	東海大学付属静岡翔洋高等学校、2018年11月22日
33	パリ協定を踏まえた地球温暖化対応政策の動向と今後	秋元圭吾	日本産業機械工業会、2018年11月26日
34	第10章 産業・生活環境	魏啓為、秋元圭吾	環境年表 2019-2020、丸善出版、2018年11月30日
35	Evaluations on Emission Reduction Efforts of NDCs for Sustainable Measures Responding to Climate Change	K. Akimoto, T. Homma, F. Sano	COP24 Japan Pavilion side event, Dec. 11, 2018, Poland



## 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
36	Evaluations on Emission Reduction Efforts of NDCs and the Implications of Global Effectiveness on Climate Change Mitigation	K. Akimoto, T. Homma, F. Sano	COP24 UNFCCC official side event, Dec. 13, 2018, Poland
37	地球温暖化とエネルギー	秋元圭吾	異常気象と環境問題を楽しく学ぶセミナー、2018年12月18日
38	技術革新による低エネルギー需要の可能性とその温暖化対策への影響	秋元圭吾	革新的環境技術シンポジウム、2018年12月19日
39	IPCC 1.5°C特別報告書及びCOP24の概要	和田謙一	JMIPワークショップ、2018年12月21日

## バイオ研究グループ

## 原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	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., Vol.84, e02587-17, 2018
2	Efficient construction of xenogeneic genomic libraries by circumventing restriction-modification systems that restrict methylated DNA	S. Hasegawa, T. Jojima, M. Inui	J. Microbiol. Methods., Vol.146, pp.13-15, 2018
3	Glutamine-rich toxic proteins GrtA, GrtB and GrtC together with the antisense RNA AsgR constitute a toxin-antitoxin-like system in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	T. Maeda, Y. Tanaka, M. Inui	Mol. Microbiol., Vol.108, pp.578-594, 2018
4	低炭素社会の実現を目指したグリーン化学品生産技術の開発	乾 将行	バイオブラジャーナル、Vol.17, pp.15-19, 2018
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	バイオマス利用研究、Vol.19, pp.25-34, 2018
6	網羅的解析を利用した高生産コリネ型細菌の育種戦略	豊田晃一、久保田健、小暮高久、乾 将行	スマートセルインダストリー—微生物細胞を用いた物質生産の展望—、シーエムシー出版、pp.183-188, 2018
7	Recent advances in metabolic engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> for bioproduction of value-added aromatic chemicals and natural products	T. Kogure, M. Inui	Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.102, pp.8685-8705, 2018 (Mini-Review)
8	コリネ型細菌を用いた芳香族化合物の高生産技術開発	久保田健、乾 将行	アグリバイオ、Vol.27, pp.38-40, 2018
9	Enhanced production of D-lactate from mixed sugars in <i>Corynebacterium glutamicum</i> by overexpression of glycolytic genes encoding phosphofructokinase and triosephosphate isomerase	Y. Tsuge, N. Kato, S. Yamamoto, M. Suda, M. Inui	J. Biosci. Bioeng. (in press)
10	Introduction of the glyoxylate bypass increases hydrogen gas yield from acetate and L-glutamate in <i>Rhodobacter sphaeroides</i>	T. Shimizu, H. Teramoto, M. Inui	Appl. Environ. Microbiol. (in press)

## 口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	コリネ型細菌におけるコールドショックタンパクCspAの発現制御解析	田中裕也、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
2	コリネ型細菌におけるECFシグマ因子 $\sigma^D$ のレギュロンの同定	豊田晃一、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
3	<i>Rhodobacter sphaeroides</i> の代謝改変による酢酸からの水素収率の向上	清水 哲、寺本陽彦、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
4	毒性耐性に注目した芳香族化合物生産菌の適性解析	小倉峻司、久保田健、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
5	コリネ型細菌におけるアスパラギン及びアスパラギン酸の代謝関連遺伝子の機能解析	土門晃大、福井郁美、須田雅子、西村 拓、豊田晃一、平賀和三、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
6	コリネ型細菌におけるRNase IIIの発現制御解析	澤 誠人、田中裕也、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
7	イソプレノイド合成酵素スクリーニング系の構築	町田裕樹、生出伸一、乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
8	コリネ型細菌は増殖できない温度下で乳酸・コハク酸を高生産する	水野 光、豊田晃一、仁宮一章、乾 将行、近藤昭彦、高橋憲司、柘植陽太	日本農芸化学会2018年度大会、2018年3月16-18日
9	コリネ型細菌におけるトキシン／アンチトキシン系の解析	田中裕也、前田智也、乾 将行	第70回日本生物工学会大会、2018年9月5-7日
10	代謝改変コリネ型細菌による4-ヒドロキシ安息香酸の高生産	北出幸広、橋本龍馬、須田雅子、平賀和三、乾 将行	第70回日本生物工学会大会、2018年9月5-7日
11	コリネ型細菌におけるECFシグマ因子の認識プロモーター配列の解析	豊田晃一、乾 将行	第70回日本生物工学会大会、2018年9月5-7日



## バイオ研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
12	コリネ型細菌におけるトレハロース-6-リン酸合成酵素のフィードバック阻害	生出伸一、乾 将行	第70回日本生物工学会大会、2018年9月5-7日
13	コリネ型細菌における増殖最適温度と中央代謝経路の最適温度の違い	水野 光、豊田晃一、仁宮一章、高橋憲司、乾 将行、柘植陽太	第11回北陸合同バイオシンポジウム2018、2018年10月26-27日

## 口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Mutation analysis of an ECF sigma factor-dependent promoter in <i>Corynebacterium glutamicum</i>	Koichi Toyoda, Masayuki Inui	The 43rd FEBS CONGRESS, Jul. 7-12, 2018

## 書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	炭素循環社会の実現を目指したバイオ燃料・グリーン化学品生産	乾 将行	先端シーズフォーラム「バイオマス利用研究の大海を未来に向けて進む舟」、2018年2月1日
2	ポリエチレンテレフタレート（PET）分解菌の発見と分解機構の解明	平賀和三	日本農芸化学会2018年度大会シンポジウム「新規な「微生物機能」の発掘と戦略的改変：スマートセルによるものづくりを目指して」、2018年3月18日
3	高機能化コリネ型細菌によるバイオリファイナリー技術の創製	乾 将行	日本農芸化学会2018年度大会シンポジウム「Super cell-factory, <i>Corynebacterium glutamicum</i> の最新基盤研究と新たな物質生産システムへの展望」、2018年3月18日
4	炭素循環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	長瀬産業株式会社 ナガセR&Dセンター、2018年7月3日
5	炭素循環社会の実現を目指したバイオリファイナリー生産技術の開発	乾 将行	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西、2018年9月26日
6	10万着で飛ばそう！ JALバイオジェット燃料フライト	—	日本航空株式会社 プレスリリース、2018年10月11日
7	持続可能な社会の実現を目指したグリーンバイオプロセスの開発	乾 将行	革新的環境技術シンポジウム 2018、2018年12月19日

## 化学研究グループ

## 原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Preparation of Biodegradable Polymer Nanospheres Containing Manganese Porphyrin (Mn-Porphyrin)	Fuminori Ito, Hidetaka Yamada, Kiyoshi Kanamura, Hiroyoshi Kawakami	Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials (online) pp1-9, 11 October 2018
2	Exploring the Role of Imidazoles in Amine-Impregnated Mesoporous Silica for CO <sub>2</sub> Capture	Quyen T. Vu, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo	Industrial & Engineering Chemistry Research Vol.57 No.7 pp 2638-2644, 2018
3	Development and fabrication of PAMAM-based composite membrane module with a gutter layer of Chitosan/PAA polymer double network for CO <sub>2</sub> separation	Shuhong Duan, Teruhiko Kai, Shingo Kazama	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (NMC12018) Vol.296 pp 1-9, 2018

## 解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	CCSと二酸化炭素分離回収技術	東井隆行	ペトロテック Vol.41 No.7 p.529-534, 2018
2	セッション報告：蒸留/吸収	佐々木正和、後藤和也	分離技術 48巻第2号 pp.22-23, 2018
3	Research and Development of CO <sub>2</sub> Capture Technology for CCS	Kazuya Goto	分離技術 48巻第2号 pp.15-16, 2018
4	CCSと二酸化炭素分離・回収技術開発	東井隆行	化学と工業 Vol.71, No.5 p.400-402, 2018
5	分子ゲート膜によるCO <sub>2</sub> の分離回収	中尾真一	膜 43巻4号 p.122-126, 2018
6	低温排熱利用による省エネ型CO <sub>2</sub> 分離回収システム (KCC: Kawasaki CO <sub>2</sub> Capture)	吉澤克浩、奥村雄志、長谷川祐介、余語克則、山田秀尚	エネルギー・資源 Vol.39 No.5 p.1-4, 2018
7	石炭ガス化複合発電 (IGCC) からのCO <sub>2</sub> 回収を目的とした分離膜の開発	伊藤史典	アグリバイオ Vol. 2 No.11 p.42-45, 2018
8	CO <sub>2</sub> 分離のための分子ゲート膜モジュールの開発	甲斐照彦、石黒兼二郎	配管技術 Vol.60 No.10 p.1-4, 2018



## 化学研究グループ

## 口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Development of Non-aqueous Amine Based Absorbents for Post-combustion CO <sub>2</sub> Capture	Firoz A. Chowdhury, Shin Yamamoto, Hidetaka Yamada, Kazuya Goto, Yoichi Matsuzaki, Masami Onoda	化学工学会第83年会 2018年3月13日-15日
2	新規ポリアミンを用いた二酸化炭素分離回収用固体吸収材の開発	山田秀尚, 藤木淳平, Firoz A. Chowdhury, 山本信, 余語克則	化学工学会第83年会 2018年3月13日-15日
3	313Kにおけるブチルエタノールアミン水溶液のCO <sub>2</sub> 吸収に伴う溶液物性の変化	山田秀尚, 藤田拳人, 岡田真紀, 保科貴亮, 辻智也, 日秋俊彦	化学工学会第83年会 2018年3月13日-15日
4	分子ゲート膜によるCO <sub>2</sub> の分離回収	中尾真一	日本膜学会第40年会 2018年5月8日-9日
5	CO <sub>2</sub> 溶解条件下におけるエチレングリコール類似化合物のミクロ相互作用：計算化学的解析	山田秀尚, 南雲亮, 村木幸弘, 岩田修一, 森秀樹	分離技術会年会2018 2018年5月25日-26日
6	313Kにおけるピペラジン水溶液のCO <sub>2</sub> 吸収に伴う溶液物性の変化	藤田拳人, 岡田真紀, 保科貴亮, 山田秀尚, 辻智也, 日秋俊彦	分離技術会年会2018 2018年5月25日-26日
7	ポリアミン担持固体吸収材によるCO <sub>2</sub> 分離回収技術の開発	山本信, 山田秀尚, 余語克則	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日
8	先進的CO <sub>2</sub> 分離回収技術の研究開発	山田秀尚	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日
9	量子化学計算と反応速度論によるpH及び基質濃度の追跡シミュレーション	山口徹, 山田秀尚, 眞田昭平, 藤原高幸, 堀憲次	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日
10	313Kにおけるブチルエタノールアミンおよびメチルジエタノールアミン水溶液のCO <sub>2</sub> 吸収に伴う電気伝導度の変化	藤田拳人, 岡田真紀, 保科貴亮, 山田秀尚, 辻智也, 日秋俊彦	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日
11	CO <sub>2</sub> 分離のための分子ゲート膜モジュールの開発	甲斐照彦, 段淑紅, 伊藤史典, 石黒兼二郎, 馬場宏治, 杉田啓介, 中尾真一	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日
12	燃料電池システム作動環境における促進輸送膜のガス分離特性	道幸立樹, 甲斐照彦, 杉田啓介, 中村和郎, 池野理沙, 鴻野太郎, 沼田香織, 波多江徹	化学工学会第50回秋季大会 2018年9月18日-19日

## 口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Liquid-liquid phase separation induced by carbon dioxide absorption in amine-water system B39:D46s	H. Yamada, R. Numaguchi, F. A. Chowdhury, S. Yamamoto, K. Goto, Y. Matsuzaki, M. Onoda	23rd International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, Czech Republic, August 26-29, 2018
2	Development of Chemical CO <sub>2</sub> Solvent for High-Pressure CO <sub>2</sub> Capture (4) : Potentiality for Low-Temperature Regeneration	Shin Yamamoto	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
3	Development of novel solvents of CO <sub>2</sub> removal from blast furnace gas	Kazuya Goto, Firoz Alam Chowdhury, Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Yoichi Matsuzaki, Masami Onoda	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
4	A guide to evaluate non-aqueous solvents and amine absorbent structures for post-combustion CO <sub>2</sub> capture	Firoz Alam Chowdhury, Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Masami Onoda	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
5	Development of CO <sub>2</sub> molecular gate membrane modules for IGCC process with CO <sub>2</sub> capture	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Satoshi Mikami, Yoshinobu Sato, Shin-ichi Nakano	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
6	Advanced post-combustion CO <sub>2</sub> capture system using novel polyamine-based solid sorbents	Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Junpei Fujiki, Firoz A. Chowdhury, Nobuyuki Takayama, Kazuya Goto, Katsuhiro Yoshizawa, Takeshi Okumura, Ryohei Numaguchi, Shohei Nishibe, Katsunori Yogo	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
7	Development of Amino-Functionalized New Task Specific Ionic Liquids (TSILs) for Efficient CO <sub>2</sub> Capture	Firoz Alam Chowdhury, Kazuya Goto	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018
8	Demonstration Plant of the Kawasaki CO <sub>2</sub> Capture (KCC) System with Solid Sorbent for Coal-fired Power Stations	Takeshi Okumura, Katsuhiro Yoshizawa, Atsushi Kanou, Yusuke Hasegawa, Shigeki Inoue, Koujiro Tsuji, Satoshi Fujita, Mizuki Nabeshima, Hidetaka Yamada, Shin Yamamoto, Nobuyuki Takayama, Katsunori Yogo	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-14), Melbourne, Australia October 21-26, 2018



## 化学研究グループ

書籍、その他発表等

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	第I編 二酸化炭素・水素分離膜の開発と応用 第2章 二酸化炭素分離膜 3促進輸送膜、第II編 二酸化炭素・水素分離膜の実用プロセス 第1章 二酸化炭素分離膜の実用プロセス 4 CO <sub>2</sub> 分離・回収 (Pre-combustion) のための分子ゲート膜モジュールの開発	甲斐照彦	書籍「二酸化炭素・水素分離膜の開発と応用」
2	CO <sub>2</sub> 分離回収技術の最新動向	甲斐照彦	セミナー「CO <sub>2</sub> 分離回収の技術/研究開発と適用動向」, 2018年4月27日
3	CO <sub>2</sub> 分離回収技術の開発 (化学吸収法、固体吸収法、膜分離法)	山田秀尚	第2回CCSフォーラム, 2018年5月10日
4	Development of the Kinetics Simulator Based on Transition State Theory and its Application to CO <sub>2</sub> Absorption Reactions	H. Yamada, T. Yamaguchi, T. Fujiwara, K. Hori	34th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 2018年6月7日
5	分子ゲート膜によるCO <sub>2</sub> 混合ガスからのCO <sub>2</sub> の分離回収	中尾真一	ニューメンブレテクノロジースンポジウム2018, 2018年10月29日-11月1日
6	RITEにおけるCO <sub>2</sub> 分離回収技術および水素製造技術	中尾真一	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演・討論会, 2018年11月2日
7	「CCS研究開発・実証関連事業/CO <sub>2</sub> 分離回収技術の研究開発/先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発」について	余語克則	GCCSI第25回勉強会, 2018年11月6日
8	分子動力学法によるエーテル導入型イミダゾール溶媒中のCO <sub>2</sub> 拡散メカニズム解析	南雲亮, 村木幸弘, 山田秀尚, 岩田修一, 森秀樹	膜シンポジウム2018, 2018年11月13日-14日
9	RITEにおけるCO <sub>2</sub> 分離回収技術の研究開発	甲斐照彦	セミナー「低炭素社会構築を目指した最新のCO <sub>2</sub> 利用技術」, 2018年11月16日
10	高効率CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の開発状況について	後藤和也	大阪科学技術センター燃料電池・FCH部会第255回定例研究会, 2018年11月26日
11	高効率CO <sub>2</sub> 分離回収技術の実用化に向けた取り組み	中尾真一	革新的環境技術シンポジウム2018, 2018年12月19日

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Geophysical monitoring at the Nagaoka pilot-scale CO <sub>2</sub> injection site in Japan	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	Active Monitoring, 2nd ed., Elsevier, 2019
2	Fiber optic sensing for geomechanical monitoring: (1) -Distributed strain measurements of two sandstones under hydrostatic confining and pore pressure conditions	Ziqiu Xue, Ji-Quan Shi, Yoshiaki Yamauchi, Sevket Durucan	Applied Sciences, 8, 11, 2103, 2018
3	Fiber optics Sensing for geomechanical monitoring (2) distributed strain measurements at a pumping test and geomechanical modeling of deformation of reservoir rocks	Xinglin Lei, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto	Applied Sciences, in press
4	Laboratory Measurement of Submicrogal Gravity Change in Time Domain Using a Portable Superconducting Gravimeter without a Cryogenic Refrigerator	Hiroki Goto, Hiroshi Ikeda, Mituhiko Sugihara	Geophysical Research Letters, 投稿中
5	Detecting CO <sub>2</sub> leakage at offshore storage sites using the covariance between the partial pressure of CO <sub>2</sub> and the saturation of dissolved oxygen in seawater	Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Jun Kita, Ziqiu Xue	International Journal of Greenhouse Gas Control, 72, 130-137, 2018
6	Seismic and strain detection of heterogeneous spatial distribution of CO <sub>2</sub> in high-permeable sandstone	Keigo Kitamura, Osamu Nishizawa, Kenneth T. Christensen, Takuma Ito, Robert J. Finley	International Journal of Greenhouse Gas Control, 72, 65-73, 2018
7	Fiber optic distributed sensing technology for real-time monitoring water jet test: implications for wellbore integrity diagnostics	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto	Journal of Natural Gas Science & Engineering, 58, 241-250, 2018
8	Tracking CO <sub>2</sub> plumes in clay-rich rock by distributed fiber optic strain sensing (DFOSS): a laboratory demonstration	Yi Zhang, Ziqiu Xue, Hyuck Park, Ji - Quan Shi, Tamotsu Kiyama, Xinglin Lei, Yankun Sun, Yunfeng Liang	Water Resource Research, <a href="https://doi.org/10.1029/2018WR023415">https://doi.org/10.1029/2018WR023415</a>
9	DAS-VSPによるTime-lapse subsurface monitoring技術開発 —大深度・高傾斜井を用いたInside CT Walk-away DAS-VSP実証試験—	Yuki Kobayashi, Ryohei Naruse, Keita Adachi, Yusuke Morishima, Masanori Tani, Ziqiu Xue	石油技術協会誌, 83, 11, 2018
10	マイクロバブル技術のEOR適用可能性	上田良, 海藤佐太郎, 中川和則, 中野正則, 薛自求	石油技術協会誌, 83, 6, 2018
11	坑井内に展開した光ファイバーを用いての地震観測の可能性について — 本邦初のDAS計測で観測された自然地震を例として —	Yuki Kobayashi, Ryohei Naruse, Ziqiu Xue	物理探査, 71, 56-70, 2018

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

	タイトル	研究者	掲載先
12	Changes in migration mode of brine and supercritical CO <sub>2</sub> in imbibition process under steady flow state of very slow fluid velocities	Tetsuya Kogure, Yi Zhang, Osamu Nishizawa, and Ziqiu Xue	Geophysical Journal International, 214, 2, 2018, 1413-1425
13	SEM-EDXによる主要元素の平均組成の簡便把握手法とその地質調査への利用	伊藤拓馬、大淵敦司、中野和彦、佐々井登喜男、薛自求	分析化学, 投稿中
14	Deformation-based monitoring of water migration in rock by distributed fiber optic strain sensing	Yi Zhang, Ziqiu Xue	Water Resources Research, 投稿中
15	Experimental and numerical simulation of supercritical CO <sub>2</sub> microbubbles injection into a brine saturated porous medium	Patmonoaji Anindityo, Yi Zhang, Ziqiu Xue, Tetsuya Suekane	International Journal of Greenhouse Gas Control, 投稿中
16	Swelling phenomena of kaolinite induced by CO <sub>2</sub> and water	JiangTao Pang, Yunfeng Liang, Yoshihiro Masuda, Toshifumi Matsuoka, Yi Zhang, Ziqiu Xue	Nature Communications, 投稿中
17	Distributed fiber optic sensing system for well-based monitoring water injection tests - a geomechanical responses perspective	Yankun Sun, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto, Xinglin Lei, Yi Zhang	Water Resources Research, 投稿中
18	CO <sub>2</sub> 地中貯留における地化学反応評価のためのpH塩分補正方法の提案	三戸彩絵子、薛自求	Journal of MMIJ, 投稿中
19	Shear-induced permeability reduction and shear-zone development of sand under high vertical stress	Kimura Sho, Hiroaki Kaneko, Shohei Noda, Takuma Ito, Hideki Minagawa	Engineering Geology, 238, 86-98, 2018
20	Depressurization and electrical heating of methane hydrate sediment for gas production: Laboratory-scale experiments	Hideki Minagawa, Takuma Ito, Sho Kimura, Hiroaki Kaneko, Shohei Noda, Norio Tenma	Journal of Natural Gas Science and Engineering, 50, 147-156, 2018

## 解説／総説文

	タイトル	研究者	掲載先
1	海底下CO <sub>2</sub> 地中貯留における海洋工学の応用：pCO <sub>2</sub> 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, 72, 1, 2018
2	Report on Global CCS Symposium 2017	田中良三	IEEJ Transactions on Power and Energy,, 142, 5, 2018
3	Microbubble CO <sub>2</sub> flooding: an innovative technology for the development of low-permeability oil fields (原題：微気泡駆油：低渗透油田开发的革新技術) (訳：マイクロバブル攻法：低浸透性油田開発のための革新的技術)	薛自求	中国化工信息 (CHINA CHEMICAL NEWS), 2018

## 口頭発表 (国際学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Microbubble CCUS (CO <sub>2</sub> EOR) application effort	Ryo Ueda, Ziqiu Xue	CCS Seminar、インドネシア ジャカルタ, 2018/2/7
2	Tomakomai lessons learned in offshore CO <sub>2</sub> storage regulations	Ryozo Tanaka	3rd International Workshop on Offshore Geologic CO <sub>2</sub> Storage, ノルウェー・オスロ, 2018/5/3
3	Discussion on London Protocol application to Norway and EOR	Ryozo Tanaka	3rd International Workshop on Offshore Geologic CO <sub>2</sub> Storage, ノルウェー・オスロ, 2018/5/3
4	Update on leakage detection	Keisuke Uchimoto	3rd International Workshop on Offshore Geologic CO <sub>2</sub> Storage, ノルウェー・オスロ, 2018/5/3
5	Advantages of Distributed Deformation Monitoring by Fiber-Optic Sensor in Geomechanical Modelling	Xinglin Lei, Ziqiu Xue, Tsutomu Hashimoto	15th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society AOGS2018 Hawaii, US, 2018/6/5
6	Inside CT-DAS-VSP acquisition using a highly-deviated deep well, onshore Japan	Ryohei Naruse, Yuki Kobayashi, Yusuke Morishima, Ziqiu Xue	Society of Exploration Geophysicists International Exposition and 88th Annual Meeting, California, US, 2018/10/16
7	Microbubble CO <sub>2</sub> injection for Enhanced Oil Recovery and Geological Sequestration in Heterogeneous and Low Permeability Reservoirs	Ziqiu Xue, Hyuck Park, Ryo Ueda, Masanori Nakano, Takumi Nishii, Shin Inagaki	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
8	A preliminary experiment on the detection of bubbles in the sea with side-scan sonar	Keisuke Uchimoto, Makoto Nishimura, Yuji Watanabe, Ziqiu Xue	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
9	Rock reaction experiments in CO <sub>2</sub> -dissolved hot spring waters to evaluate effects of carbonate dissolution on caprock's sealing performance	Masao Sorai	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
10	Numerical Study on the Effects of Contact Angle Change on Capillary trapping	Yuki Kano, Tsuneo Ishido, Masao Sorai	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
11	Introduction to ISO Technical Report on Lifecycle Risk Management for Integrated CCS Projects	Xiaochun Li, Guizhen Liu, Sarah Forbes, Atsuko Tanaka, Ken Hnottavange-Telleen, Franz May, Sallie Greenberg, Philip Stauffer, Rick Chalaturnyk, Hubert Fabriol, Xiaoliang Yang, Andy Brown	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
12	Experimental study of microbubble CO <sub>2</sub> flooding in heterogeneous sedimentary rock	Hyuck Park, Lanlan Jiang, Tamotsu Kiyama, Ziqiu Xue,	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
13	Field measurement using distributed fiber-optic sensing technology and numerical simulation of geomechanical deformation caused by CO <sub>2</sub> injection	Yunkun Sun, Ziqiu Xue, Yi Zhang, Tsutomu Hashimoto, Hyuck Park	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
14	Gas-tight pH measurements to assess an effect of CO <sub>2</sub> on groundwater	Saeko Mito, Ziqiu Xue, Bracken T. Wimmer, Abbas Iranmanesh, Hongbo Shao, Randall A. Locke II, Sallie E. Greenberg	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
15	Advanced well log analyses using image data at the Nagaoka CO <sub>2</sub> injection site	Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
16	Utilization of wave attenuation in time-lapse sonic logging data for the monitoring of CO <sub>2</sub> migration along the well	Takahiro Nakajima, Luchen Wang, Ziqiu Xue	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
17	Micro-seismic monitoring data analysis system based on sequentially discounting autoregressive and its application to offshore CO <sub>2</sub> storage safety operation	Luchen Wang, Tetsuma Toshioka, Takahiro Nakajima, Akira Narita, Ziqiu Xue	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
18	Can we detect CO <sub>2</sub> plume by distributed fiber optic strain measurements?	Yi Zhang, Hyuck Park, Tamotsu Kiyama, Yankun Sun, Ziqiu Xue	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
19	Two Dimensional Numerical Simulation of CO <sub>2</sub> Injection into Brine Saturated Berea Sandstone with Normal Bubble and Micro Bubble Injection Modules	Anindityo Patmonoaji, Yi Zhang, Ziqiu Xue, Tetsuya Suekane	14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, Melbourne Australia, 2018/10/22
20	CO <sub>2</sub> Storage R&D Priorities in Japan	Ryozo Tanaka	Research and Innovation Priorities for CCUS Event, 英国・エジンバラ, 2018/11/28

## 口頭発表 (国内学会)

	タイトル	研究者	発表先
1	Detection of CO <sub>2</sub> bubbles in shallow sea using side-scan sonar (SSS)	西村真、内本圭亮、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
2	Thresholds of anomalous pCO <sub>2</sub> in sea water	内本圭亮、西村真、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
3	CO <sub>2</sub> 地中貯留に向けた坑井地質調査におけるカッティングス分析の有効性: 長岡サイトの例	中島崇裕、三善孝之、千代延俊、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
4	Detection CO <sub>2</sub> flooding by optical fiber; Example of a long core specimen	朴 赫、張 毅、蔣 蘭蘭、木山 保、薛 自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
5	貯留層評価のための検層イメージデータの解析: 長岡貯留サイトへの適用事例	伊藤拓馬、中島崇裕、三善孝之、千代延俊、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
6	Application of sequentially discounting autoregressive (SDAR) on seismic event detection for CO <sub>2</sub> injection safety management	Luchen Wang, Tetsuma Toshioka, Takahiro Nakajima, Akira Narita, Ziqiu Xue	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
7	コイルドチュービング内に設置した光ファイバーによる国内初のDAS-VSP実証試験	小林佑輝、成瀬涼平、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
8	光ファイバーとDASテクノロジーを使った坑井内での地震観測	木村恒久、小林佑輝、成瀬涼平、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
9	CO <sub>2</sub> 地中貯留のための地質モデル構築における堆積学的アプローチ	山之内芳徳、西村瑞恵	"日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
10	CO <sub>2</sub> 地中貯留における坑井配置の最適化支援ツールの開発	宮城充宏、山本肇、秋本洋平、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
11	CO <sub>2</sub> 貯留効率向上におけるマイクロバブル圧入効果のメカニズム検討	海藤佑太郎、中野正則、薛自求	日本地球惑星科学連合2018年大会, 2018/05/23
12	Classification of pCO <sub>2</sub> -DO Correlations of Seawater off Tomakomai	Shunsuke Nishimura, Toru Sato, Hiroyuki Oyama, Georgios Fytianos, Keisuke Uchimoto, Koichi Goto	OCEANS'18 MTS/IEEE Kobe / Techno-Ocean 2018/5/31
13	マイクロバブルCO <sub>2</sub> による掃攻効率改善メカニズムに関する検討	中川和則、上田良、薛自求	JAPT 2018 Spring Meeting, 2018/6/13

CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

	タイトル	研究者	発表先
14	マイクロバブル技術のEOR適用可能性	上田良、海藤佑太郎、中川和則、中野正則、薛自求	JAPT 2018 Spring Meeting、2018/6/13
15	新潟陸域で取得したDAS-VSPデータのQC処理結果および周辺データとの比較	安達啓太、森嶋友輔、谷昌憲、小林佑輝、薛自求	石油技術協会平成30年度春季講演会、2018/06/14
16	コイルドチュービング内に設置した光ファイバーを用いた本邦初の大規模DAS-VSP実証試験	小林佑輝	石油技術協会平成30年度春季講演会、2018/06/14
17	井戸配置の高速最適化	宮城充宏、山本肇、秋本洋平、薛自求	土木学会、2018/08
18	地中ひずみ分布測定の実験から見た岩盤工学への光ファイバー測定技術の実用化	薛自求、橋本功	資源・素材学会、2018/09/10
19	CO <sub>2</sub> の回収・輸送・貯留（CCS）に関する国際標準化の動向	田中敦子	資源・素材学会、2018/09/10
20	地下水面の潮汐応答に起因する重力変化に関する予察的検討	後藤宏樹、杉原光彦、池田博、西祐司	日本測地学会第130回講演会、2018/10/16
21	地質試料の主要元素分析のためのSEM-EDXの利用とその定量精度	伊藤 拓馬、大淵敦司、中野和彦、佐々井喜男、薛自求	第54回X線分析検討会、2018/10/25
22	CO <sub>2</sub> 漏出時の海洋環境影響評価に関する基準についての一考察	西村俊祐、佐藤徹、大山裕之、内本圭亮	平成30年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会、2018年 11月 26日

## 無機膜研究センター

## 原著論文

	タイトル	研究者	掲載先
1	Preparation of CHA zeolite (chabazite) crystals and membranes without organic structural directing agents for CO <sub>2</sub> separation	Bo Liu, Rongfei Zhou (Nanjing Tech University), Katsunori Yogo, Hidetoshi Kita	Journal of Membrane Science 573, 333-343 (2019)

## 口頭発表（国内学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	対向拡散CVD法による高水素選択透過性シリカ膜の開発	中尾真一、西田亮一、西野仁、瀬下雅博、浦井宏美	化学工学会第83年会、2018年3月14日
2	CHA型アルミノフォスフェート膜のフッ化物フリー多段階合成	瀬下雅博、(福田紘証、酒井求、松方正彦（早稲田大学）)	化学工学会第50回秋季大会、2018年9月19日
3	DMDPS由来シリカ膜の水素透過性能におよぼす水蒸気の影響	瀬下雅博、浦井宏美、西野仁、山口祐一郎、中尾真一	化学工学会第50回秋季大会、2018年9月19日
4	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、2018年11月6日
5	水素社会を支える無機膜実用化への取り組み	中尾 真一	革新的環境技術シンポジウム2018、2018年12月19日

## 口頭発表（国際学会）

	タイトル	研究者	発表先
1	Inorganic membranes and the applications	Masahiro Seshimo	I2CNER International Workshops 2018, Kyushu University, Feb 02, 2018
2	Operation of small scale membrane reactors with CVD silica membranes for MCH dehydrogenation reaction	Shin-ichi Nakao, Hiromi Urai, Kazuaki Sasa, Hitoshi Nishino, Ryohei Numaguchi, Ryoichi Nishida	158th The International Conference on Inorganic Membranes, Dresden, Jun 22, 2018
3	Structural change of CHA-type aluminophosphate membrane under HF-free synthesis conditions	Masahiro Seshimo, Hiromasa Fukuda (Waseda Univ.), Masahiko Matsukata (Waseda Univ.)	The 11th conference of the Aseanian Membrane Society (AMS11), Brisben, Jul 04, 2018
4	Effect of gel composition for the HF-free synthesis of AIPO4-34	Masahiro Seshimo, Hiromasa Fukuda (Waseda Univ.), Motomu Sakai (Waseda Univ.), Masahiko Matsukata (Waseda Univ.)	International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018, Yokohama, Aug 08, 2018

## 書籍等、その他

	タイトル	研究者	掲載先/発表先ほか
1	Inorganic Membranes Resesarch Center in RITE	李 惠蓮	Korea Research Institute of Chemical Technology, 2018年1月3日
2	水素利用等先端研究開発事業/エネルギーキャリアシステム調査・研究/水素分離膜を用いた脱水素 成果報告	浦井宏美、瀬下雅博、西野仁	NEDO H30年度成果報告会、2018年9月26日
3	シリカ膜を用いた膜反応器の開発	瀬下雅博	化学工学会分離プロセス部会膜工学分科会第17回無機膜研究会、2018年10月26日



掲載年月日	見出し	掲載紙名
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
2018.1.15	RITE 長期排出削減の内外研究を紹介 2月に都内でシンポ	電気新聞
2018.1.24	CCS最新知見を共有 研究組合が都内で講座	電気新聞
2018.2.1	日本鉄鋼業のエネルギー効率 世界最高水準を維持 15年時点の国際比較 省エネ設備、幅広く普及	鉄鋼新聞
2018.2.1	日本鉄鋼業 エネ効率が世界最高 海外へ先進技術 温暖化対策に有効	日刊産業新聞
2018.2.2	地球温暖化対策テーマに国際シンポジウム	化学工業日報
2018.2.13	温室効果ガス 長期削減の道筋探る RITE都内でシンポ 最新知見を共有	電気新聞
2018.2.14	RITE 温暖化問題で国際シンポ開催 GHG大幅削減へ議論	化学工業日報
2018.2.15	CO <sub>2</sub> 分離膜 米で実ガス試験実施 技術研究組合 連続成膜技術確立も	化学工業日報
2018.2.15	RITE 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 「CCSテクニカルワークショップ大規模CO <sub>2</sub> 地中貯留技術の実用化に向けて」開催	ガスレビュー
2018.2.19	「CCSテクニカルワークショップ」 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 CCS技術は実用化視野に入れる段階へ	新エネルギー新聞
2018.3.6	【インタビュー】地球環境産業技術研究機構 石炭火力活用で実効的CO <sub>2</sub> 削減	フジサンケイビジネスアイ
2018.3.9	グリーン化学品 事業化へ UMI RITE発VBに出資	化学工業日報
2018.3.12	水素分離コスト2割減 RITEと千代田化工 燃料電池向け	日本経済新聞
2018.3.15	RITE 第7回革新的CO <sub>2</sub> 膜分離技術シンポジウム開催	ガスレビュー
2018.5.24	グリーンフェノール 住ベ、中間体も対象に エンプラや医薬向け	化学工業日報
2018.5.28	RITE発VB GEI アミノ酸量産へ連携加速 2年内めど メチオニン事業化	化学工業日報
2018.5.31	フェノール樹脂 高付加価値品にシフト 持続可能性を追求	化学工業日報
2018.7.12	普通鋼電炉のエネルギー効率 「日本は世界最高水準」地球環境産業技術研究機構が調査	鉄鋼新聞
2018.7.12	日本の電炉鋼 世界最高水準のエネルギー効率堅持	日刊産業新聞
2018.7.13	金属行人 ー日本の電炉メーカーのエネルギー効率は世界トップクラスー	鉄鋼新聞
2018.7.16	日本のエネ効率、世界一 電炉鋼生産 単体量当たり 最小 RITE調べ	日刊工業新聞
2018.7.16	経済教室 温暖化「パリ協定」の課題 茅陽一東京大学名誉教授、山口光恒地球環境産業技術研究機構参与	日本経済新聞
2018.7.20	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウムin 関西	化学工業日報
2018.7.24	ゲームで学ぶ温暖化 あすから RITEでイベント	朝日新聞
2018.7.26	考えよう！温暖化 実験やゲームで楽しく	奈良新聞
2018.8.15	変革への道標 展望・長期戦略 (4) インタビュー ベースライン変化、適応を 地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長 山地憲治氏	電気新聞
2018.8.18	告知版「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」	朝日新聞
2018.8.29	RITE 温暖化対策技術 研究成果を報告 9月、大阪でシンポ	電気新聞
2018.9.4	DIC バイオVBに出資 グリーン化学品事業創出	化学工業日報
2018.9.7	温暖化対策技術シンポ	読売新聞
2018.9.10	RITE 26日大阪でシンポ 環境技術の実用化加速	読売新聞
2018.9.12	グリーンフォーラム21 エネルギー基本計画における課題	日刊工業新聞
2018.10.15	衣料品で飛行機飛ばす JAL バイオ燃料製造プロに着手	日刊工業新聞
2018.10.18	「10万着で飛ばそう」に協賛 三陽商会	繊維ニュース
2018.10.25	【現場の風】日本航空 古着由来のバイオ燃料でフライト	フジサンケイビジネスアイ
2018.11.1	日中環境保全・省エネ交流会 新日鉄住金・室蘭見学 「ESCAP」CO <sub>2</sub> 削減に貢献	日刊産業新聞
2018.11.15	RITE 関西地区で9年振りの開催 「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウムin関西」 1ステップでMCHの脱水素反応と水素精製を行えるメンブレンリアクターの開発取組み等を報告	ガスレビュー
2018.11.19	【クローズアップ】1.5℃報告書 「50年排出ゼロ」の意味は、交渉への影響度、専門家の見方	ガスエネルギー新聞
2018.11.29	微細気泡CO <sub>2</sub> -EOR 中国社に技術供与 RITE	化学工業日報
2018.11.29	RITE 中国に特許技術提供 CO <sub>2</sub> 気泡で石油増産	電気新聞
2018.12.6	RITEが革新的環境技術シンポジウム開催 19日に東大で	鉄鋼新聞
2018.12.14	革新的環境技術でシンポ 長期低排出発展戦略を議論 RITE、都内で19日から	日刊工業新聞
2018.12.20	RITE 2度目標実現 道探る 都内でシンポ 技術革新成果を発信	電気新聞
2018.12.26	【がつけん たんけん】油田に圧入で一挙両得 地中に大量のCO <sub>2</sub> を封じ込める 地球環境産業技術研究機構 CO <sub>2</sub> 貯留研究グループ (木津川市)	京都新聞
2018.12.26	新日鉄住金エンジ 愛媛で省エネ型CO <sub>2</sub> 回収設備竣工 石炭火力発電の排ガスを回収源	鉄鋼新聞
2018.12.27	【Innovation】古着でジェット機飛ばす 綿からバイオ燃料 20年のフライトめざす	日経産業新聞
2019.1.1	RITE 「未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム」開催	ガスレビュー
2019.1.1	RITE 北京の石油開発技術サービス会社とマイクロバブルCO <sub>2</sub> 圧入に関する特許技術の使用許諾契約を締結	ガスレビュー



## 2018年の登録特許一覧

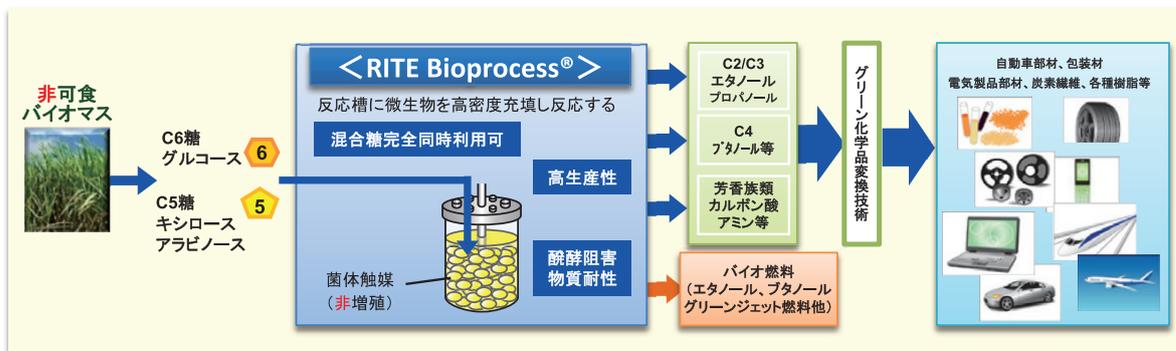
	発明の名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
登 録 特 許	アニリン生産性の向上したコリネ型細菌形質転換体及びそれをを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	日本	6294309 (2018年2月23日)
	二酸化炭素分離材及び二酸化炭素を分離又は回収する方法	R I T E	日本	6300457 (2018年3月9日)
	岩石内部の診断システム、それに用いられる容器、岩石内部の診断方法および岩石試料への流体注入方法	R I T E	日本	6302347 (2018年3月9日)
	コリネ型細菌形質転換体、及びそれをを用いる有機化合物の製造方法	R I T E	日本	6302073 (2018年3月9日)
	二酸化炭素分離材及び二酸化炭素を分離又は回収する方法	R I T E	米国	9,931,610 (2018年4月3日)
	地盤状態監視システムおよび地盤状態監視方法	R I T E ニュープレクス株式会社	日本	6351279 (2018年6月15日)
	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	6377602 (2018年8月3日)
	キシロオリゴ糖利用能を付与したコリネ型細菌形質転換体	R I T E	日本	6434704 (2018年11月16日)
	D-キシロース利用機能が向上したコリネ型細菌形質転換体	R I T E	インド	303401 (2018年11月26日)

## 2018年の公開特許一覧

	発明の名称	出願人	国情報	公開・公表番号 (公開・公表日)
公 開 特 許	メタノール製造方法およびメタノール製造装置	R I T E JFEスチール株式会社	日本	特開2018-8940 (2018年1月18日)
	二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素を分離回収する方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	日本	WO2016/152782 (2018年1月25日)
	分離膜及び分離膜モジュール	R I T E 東京瓦斯株式会社	日本	特開2018-130699 (2018年8月23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2018-134604 (2018年8月30日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれをを用いる4-アミノ安息香酸又はその塩の製造方法	R I T E 住友ベークライト株式会社	日本	WO2017/146241 (2018年9月6日)
	形質転換体及びそれをを用いるプロトカテ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	日本	WO2017/169399 (2018年9月6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	日本	WO2017/081841 (2018年10月11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	日本	WO2017/115454 (2018年10月25日)
	多孔質構造体	R I T E 大阪瓦斯株式会社	日本	特開2018-192436 (2018年12月6日)

## バイオリファイナーに関する特許

### 1. RITEバイオプロセス



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

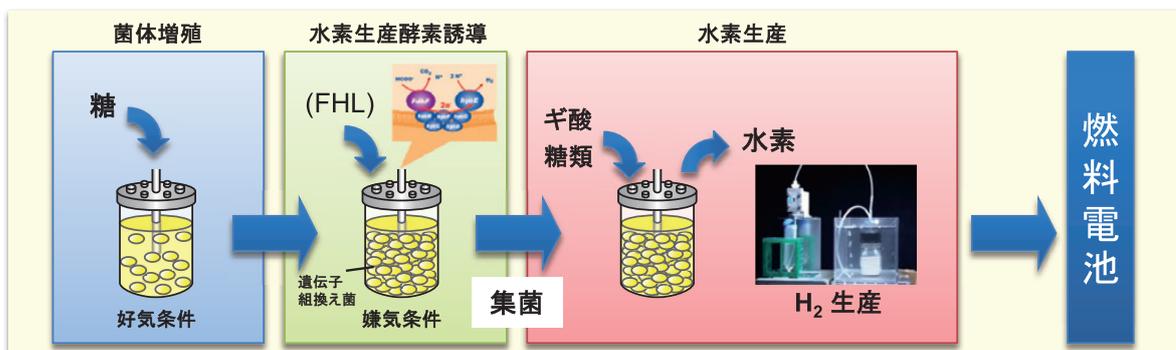
#### (1) 技術特長

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

#### (2) 関連特許

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

### 2. バイオ水素生産



#### (1) 技術特長

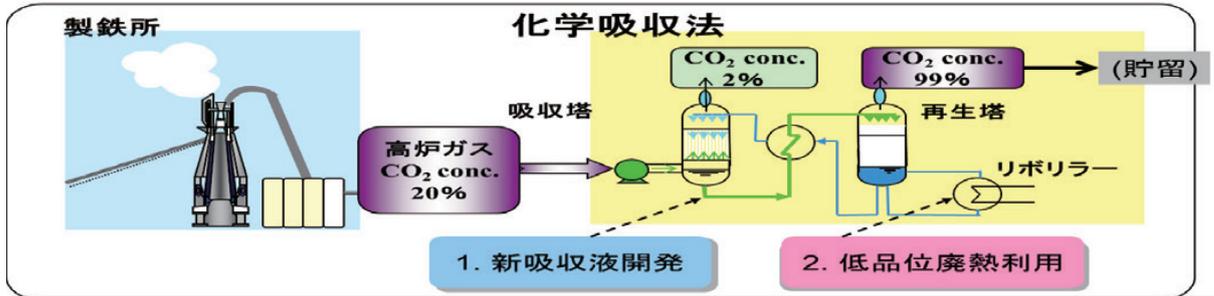
- ・培養(菌増殖)と水素生産を分離
- ・菌体を触媒として利用

#### (2) 関連特許

- ・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、CO<sub>2</sub>を高効率に回収 **分離・回収エネルギーを大幅に低減**
- ・ 石炭ガス化ガスや天然ガス等の高圧ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を高圧で分離・回収 (高圧再生型化学吸収液)回収したCO<sub>2</sub>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
- ・ 高圧用二酸化炭素吸収剤並びに高圧二酸化炭素吸収及び回収方法 特許第5812867号

### 2. 固体吸収技術



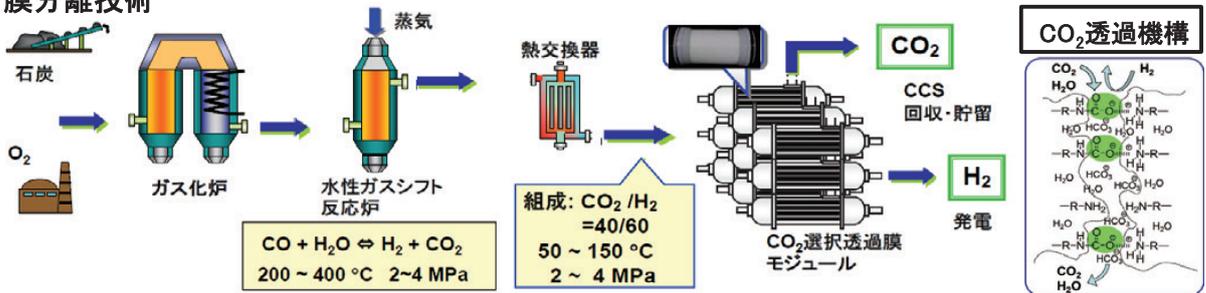
(1)技術特長

- ・ アミンを多孔質材料に担持 (燃焼排ガス用固体吸収材)し、**分離・回収エネルギーを低減(約3割減)**
- ・ **低濃度(1%未満)のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>吸着材**

(2)関連特許

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

### 3. 膜分離技術



(1)技術特長

- ・ 石炭ガス化複合発電の**高圧ガスからCO<sub>2</sub>を効率よく分離・回収** 圧力駆動で省エネルギーを実現
- ・ **CO<sub>2</sub>とそれ以外のガス(H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等)を効率よく分離**

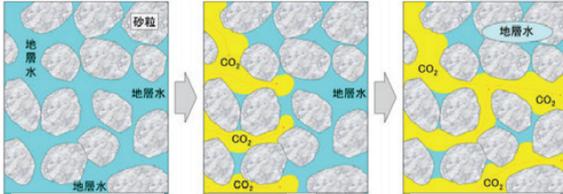
(2)関連特許

- ・ CO<sub>2</sub>ガス分離膜(高分子膜)及びその製造方法(利用)  
特許第4980014号、特許第5314291号、特許第5329207号、特許第6235479号
- ・ 新規トリアジン誘導体ならびにその製法およびそのガス分離膜としての用途 特許第5186126号

## 二酸化炭素 地中貯留・地層評価 に関する保有特許

### 1 マイクロバブルCO<sub>2</sub>地中貯留技術

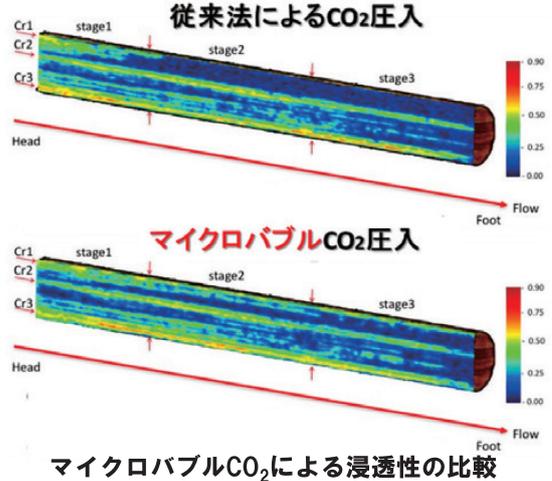
地下深部では砂粒からなる砂岩の間隙に地層水(古い海水)が溜まっています。CO<sub>2</sub>はこのような間隙にある地層水を押し退けて貯留されます。



岩石の間隙には、地層水として古い時代の塩水が溜まっています。  
 圧入されたCO<sub>2</sub>は、地層水を押し退けながら流れていきます。  
 小さい間隙にある地層水は残ります。

貯留層中のCO<sub>2</sub>浸透のイメージ

マイクロバブルCO<sub>2</sub>地中貯留技術とは、特殊フィルターを利用してCO<sub>2</sub>をマイクロバブル(微細気泡)化し、より小さい間隙にまでCO<sub>2</sub>を浸透させる技術です。



マイクロバブルCO<sub>2</sub>による浸透性の比較

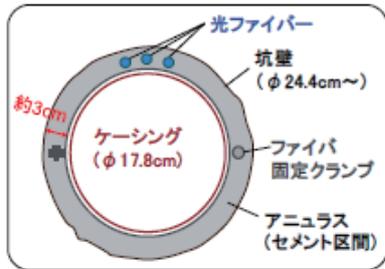
#### (1) 技術特長

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

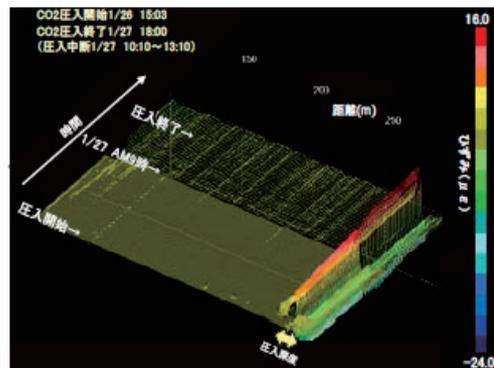
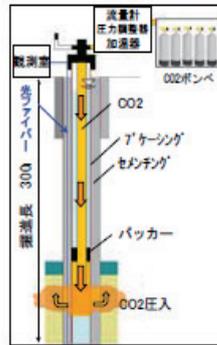
#### (2) 関連特許

- ・貯留物質の貯留装置および貯留方法  
特許第5399436号

### 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



CO<sub>2</sub>圧入時の地層変形測定評価結果

#### (1) 技術特長

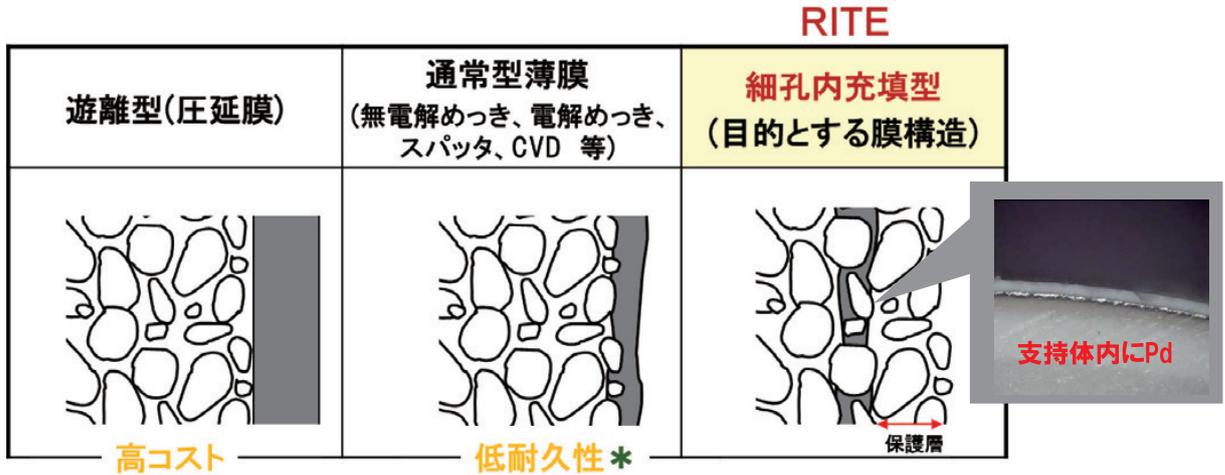
- ・光ファイバー内の散乱波周波数シフトを基に、物体のひずみを測定
- ・従来はひずみ計を取り付けた箇所のみ計測可能であったが、光ファイバーによる計測では光ファイバー全体で計測できるため、深度方向における地層変形を連続的に把握することが可能
- ・CO<sub>2</sub>地中貯留サイト、石油や天然ガス田開発、シェールガスやメタンハイドレート開発に応用可能

#### (2) 関連特許

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

## 無機膜に関する保有特許

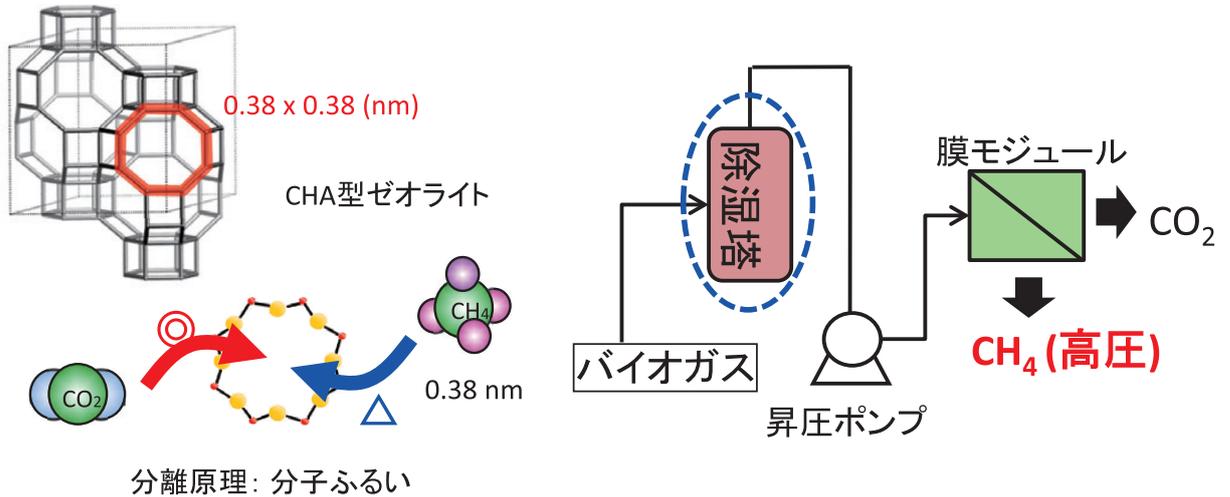
### 1. 細孔内充填型パラジウム分離膜



\* 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 <sup>2019 Vol.14</sup> Annual Report



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

URL: [www.rite.or.jp](http://www.rite.or.jp)

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

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