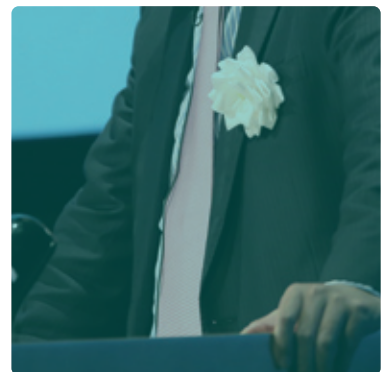
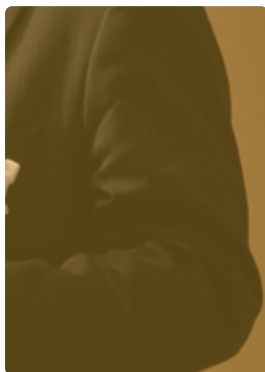
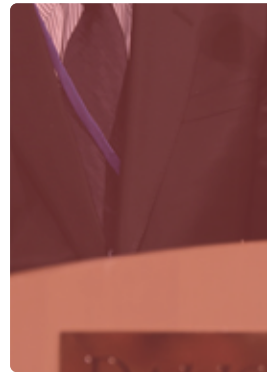
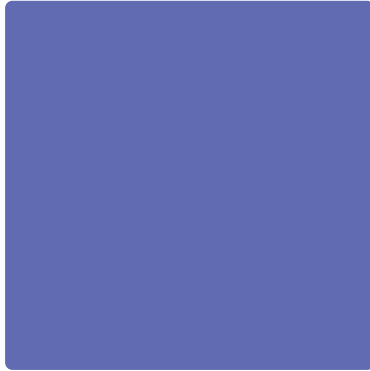


# RITE Today 2014 Vol.09 Annual Report

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 年次報告書 2014年版 第9号



# RITE Today

2014 Vol.09

## Contents

### 巻頭言

- イギリスに学ぶ環境政策立案過程 03  
●● 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 参与 山口 光恒

### 特集

- IPCC とその第 5 次報告書 04  
●● 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事長 茅 陽一  
システム研究グループリーダー 秋元 圭吾  
企画調査グループサブリーダー 高木 正人
- わが国の環境エネルギー政策の動向  
●● 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長 山地 憲治

### 研究活動概説

- 企画調査グループ ● CCS の実現に向けた RITE の取り組みの現状と展望 12
- システム研究グループ ● 統合評価モデル分析の国際モデル比較プロジェクト 20
- バイオ研究グループ ● バイオリファイナリーの世界動向と実用化への取り組み 26
- 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、及び水素エネルギー社会構築に向けた無機膜、膜反応器開発への取り組み 34
- CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ ● 実適用を目指す CO<sub>2</sub> 貯留技術開発の取り組み 42

### トピックス

### 2013 年発表論文一覧

### 登録特許および公開特許一覧

### 特許紹介





## イギリスに学ぶ環境政策立案過程

公益財団法人地球環境産業技術研究機構

参与 山口 光恒

イギリスでは2008年の気候変動法（以下CCA）により世界で初めて「2050年の温室効果ガス（GHG）排出量1990年比80%減」を法的拘束力ある目標として制定し、この目標を達成すべく2008年から5年ごとの予算（削減目標）を法定化し、現時点で2025年（正確には2023-2027年）迄に90年比50%とすることが決まっている。筆者は上記のGHG削減目標は余りに意欲的でその達成に関してはかなり疑問視しているが、他方でこうした政策立案過程には大いに学ぶべき点があると思う。そこで今回はこの点を簡単に紹介して今後の参考に供したい。

イギリスの長期目標は外部の専門家からなる独立の委員会（気候変動委員会、CCC）の勧告を受け、政府が議会の承認を受けて決める仕組みとなっている。2008年12月、CCCは政府に対する勧告を公にした。本文511頁、技術付録317頁、合計828頁の大部なもので、2050年に向けた長期目標、2022年までの中期目標とその達成策、コスト・競争力・エネルギー安定供給など幅広い内容をカバーしており、これが現在のイギリスの温暖化政策の基礎となっている。

このうち長期目標の根拠として、温暖化の悪影響を一定程度にとどめるために気温上昇を工業化から2℃以内に抑える必要がある（イギリス政府の価値判断）とし、ここから逆算して2050年の世界排出量の現状比半減を導き出している。この場合2050年の世界の一人あたり排出量は2.1～2.6t程度となり、イギリスがこの数値に達するためには90年比80%削減が必要というロジックである。是非は別にしてこの背景は世界の一人あたり排出量均等化である。

続いて削減技術について詳細に検討した上で、独自のモデルを用いて費用便益分析を行っている。それによると半減目標の2050年のコストは世界GDPの1～3%で、便益は遙かにこれを上回るとしている。この計算で用いられている割引率（純時間選好割引率）は0.1～1.5%であるが、参考としてこれが2.25%より大きくなるとコストが便益を上回る点も技術付録に明示されている。

筆者はこの目標の実現可能性には大きな疑問を抱くものであるが、政策立案過程（当該政策の必要性、目標達成の手段とその競争力や経済に与える影響の明示など）は大いに参考になる。このことは昨年末議会で承認された電力市場改革についても同様で、その政策の必要性、そのための手段とコストなど都度政府が文書を公表して専門家や国民の意見を聞きながら進めている。日本の2020年削減目標（2005年比3.8%減）策定過程との相違を感じるの筆者のみではあるまい。この面でRITEに期待される役割は大きい。



## IPCCとその第5次報告書



理事長  
茅 陽一



システム研究グループリーダー  
秋元 圭吾



企画調査グループサブリーダー  
高木 正人

### 1. IPCCの役割

理事長 茅 陽一

気候変動問題が政策課題として国際的に大きく浮上したのは1988年のことである。この年のサミットでは地球環境問題が大きく扱われたが、気候変動問題はその中心となった。具体的な最初の対応は、1992年の国連環境会議の際に調印された気候変動枠組条約で、これを基盤に1995年以後条約加盟国会議（COP）が毎年1回開かれ、その第3回会議が京都議定書の作られた京都会議、いわゆるCOP3である。一方、このような世界の状況を受けて、世界気象機構（WMO）が国連環境プログラム（UNEP）と共同して気候変動の状況を科学的に明確にする目的で1988年に設立したのが気候変動に関する政府間パネル、略称IPCCである。

ここには関連する科学者が多数世界諸国から招かれたが、その名が示すように組織が各国政府のサポートの上に作られたという意味では従来の国際学会等とは明らかに性質を異にしている。IPCCには大きく3つの部会があり、第1作業部会（WG1）は気候変動に関する科学的知見の評価、第2作業部会（WG2）は気候変動に対する社会経済システムや生態系の脆弱性、気候変動の影響及び適応策の評価、第3作業部会（WG3）は気候変動の緩和（主に温室効果ガス排出抑制）の評価を担当している。この構成は多少名前と内容の変化はあるものの現在に至るまで続いている。

筆者はたまたま1989年2月のWG3の最初の総会に出席したが、500名に及び出席者で当時の米国国務長官が最初に挨拶をするなど、はじめからかなり大掛かりなものであったことを覚えている。IPCCは、当初からその役割を、気候変動に関する最新の情報を収集整理しそれを政策担当者に提出することにあり、具体的な気候変動対応の方向についてはそれら政策担当者に任せる、という考え方を打ち出した。これは現在までIPCCの基本方針となっている。その後IPCCは2007年まで、5～6年ごとに合計4つの報告書を発表しているが、それらはしばしばCOPで引用されており、特に気候変動対策目標の設定においてIPCCの科学的知見をベースとしたことが述べられている。しかし、上記に述べたように、IPCCはあくまで科学的知見のとりまとめが目的であり、一定の目標を推奨する

ことは行っていない。この点はしばしば誤解されるが、そのような具体的対策行動に結びつく議論はIPCCではなくCOPの役割であることを繰り返し強調しておきたい。

IPCCは現在第5次の報告書の作成にかかっており、WG1についてはすでに2013年9月にその内容を発表している。この報告の要点については後述するが、他の2つの作業部会の報告書は、WG2は2014年3月に、WG3は4月に発表されることとなっている。いずれも多数の科学者が参加し数度の修正を経て作り上げた大部のもので、たとえばWG1の報告書の場合は、主席筆者、協力筆者あわせて約800人の科学者が参加し、ボリュームは2,000ページを超えるものとなっている。

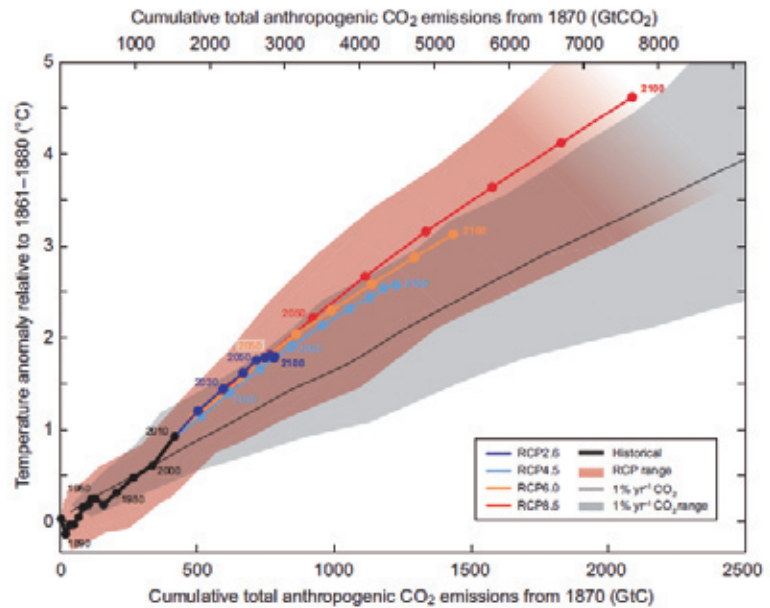
## 2. WG1第5次報告書の内容と将来に向けた取り組みについて

理事長 茅 陽一

IPCCの第5次報告書のうち、現在までに発表されたWG1の報告書は気候変動の科学の現状を扱うもので、大変興味深い。ここでは、その報告書の政策決定者用概要（SPM）から特に注目すべき2つの点について述べてみよう。

第一は、気候変動、特に1950年以後の状況では温度上昇が顕著にみられ、それが人為的原因によるものであることを強調している（確率95%以上）ことである。一見当たり前のように感じられるかもしれないが、従来から気候変動問題に関してはいろいろな懐疑論が出されており、今回の報告はそれをほぼ明確に否定する意義がある。たとえば従来から有名な懐疑論の一つはデンマークのH.Svensmarkの太陽放射論で、詳細は略するが太陽放射の変化が銀河系から地球に飛来する宇宙線の量の変化を呼び、更にそれが地球大気低層の雲の量の変化を引き起こす、という論理で地球表面気温の温度変動を説明しようとするものである。これであると、これまでの気候変動は人為的なものではなく自然変動、ということになるが、今回の報告書はこれを否定していることになる。実際、SPMでは1986年以降の太陽放射は地球表面気温の上昇に一切貢献していない、と明確に書かれている。

第二は、温度上昇が大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の累積排出量とほぼ線形の関係にあることを示したことである。図1から見てとれるように、過去からの地球表面気温変化とCO<sub>2</sub>累積排出量の関係は、完全に直線とはいえないが、両者はほぼ比例的である。これは極めて重大な指摘である。というのは、もし地球の気温上昇を一定値に安定化しようとするれば最終的にはCO<sub>2</sub>の人為的排出をゼロエミッションに近い値にしなければならぬからである（ただし、完全なゼロエミッションではなくとも現状の10分の1程度以下ならよい、と筆者は考えているが詳細は略する）。従来から、地球表面気温の上昇を工業化以前のレベルに比べて2℃以内に抑える、という目標がしばしば取り上げられているが、このSPMによるとこの目標を達成するにはCO<sub>2</sub>の過去からの累積排出量を3,010 GtCO<sub>2</sub>にしなければならぬ（確率50%）が、すでに人類は2011年までに1,890 GtCO<sub>2</sub>排出していると記している。



出典：IPCC AR5 WG1 Fig. SPM-10

図1 CO<sub>2</sub>累積排出量と地球表面気温の関係

人類が毎年排出しているCO<sub>2</sub>は、農業等で大地から排出するCO<sub>2</sub>まで加えるとほぼ38GtCO<sub>2</sub>程度になるので、仮に現在の排出量を今後維持するとすればあと30年程度で3,010GtCO<sub>2</sub>に達し、あとはCO<sub>2</sub>を抜本的に削減しない限り地表温度は2°C以上に上がることになる。実際には世界のCO<sub>2</sub>排出は2000年以後年率2%のオーダーで増えているから状況はもっと悪い。このことは、上記の2°Cが、実現がきわめて難しい目標であることを示していると同時に、いずれにせよ今後の温度上昇を一定の範囲に抑えるためには人類は抜本的なCO<sub>2</sub>排出の抑制をしなければならない、ということを示している。

したがって、人類は次のことを考えるべきだろう。一つは2°Cという目標があまりに厳しい目標であることを考慮して、これをやや緩めた目標を考えることである。この場合は同時にその目標緩和がどの程度の気候変動影響の悪化に結び付くかを検討することが必要だろう。筆者らはこれらのことを考慮して2.5°C目標を提案しているがその具体的内容は他の機会に示すこととしたい。もう一つは、長期将来のCO<sub>2</sub>排出の抜本的削減、あわよくばマイナス化（すなわち吸収）を実現するための具体的方策の開発に今から取り組むことだろう。出力変動が少なく基盤電源となり得る大規模太陽光発電の開発（宇宙太陽光発電、太陽熱発電はその候補）や、高効率の水の太陽光分解などはそうした技術のよい候補ではないだろうか。

### 3. WG1第5次報告書の概要とポイント

システム研究グループリーダー 秋元 圭吾

IPCCは1988年に設立されて以来、気候変動問題という広範にわたる複雑な問題に対して、世界の科学的知見の集約を一つの目的に作業を行ってきた。1990年に第1次評価報告書が出版され、前回第4次評価報告書（AR4）は2007年、今回は第5次評価報告書（AR5）となる。ここでは、既に公表されたWG1 SPMの概要とポイントについて述べることにしたい。

報告書は、前述2.においても触れているが、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、1950年代以降、観測された変化の多くは数十年～数千年間で前例のないものとし、1880～2012年の期間では0.85（90%信頼区間では0.65～1.06）℃上昇したとしている。また、過去20年にわたりグリーンランド及び南極の氷床の質量は減少しており、氷河はほぼ世界中で縮小し続けているとも述べている。その上で、人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い（“extremely likely”：95-100%程度の確率）とした。これは、AR4の評価（“very likely”：90-100%程度の確率）よりも一歩踏み込んだ評価である。

一方、将来推計に関して、長期間にわたる気候モデルシミュレーションは、1951～2012年の世界平均地上気温について観測と一致する変化傾向を示しているとしつつも、10～15年間程度の短い期間においては、シミュレーションと観測の間に違いが見られるとした。気温上昇は確実に進んでいるものの、AR4時の気候モデルシミュレーション予測の不確実性の幅に対し、実際に観測された全球平均の気温上昇は過去10～15年程度の間、低めの気温上昇しか示しておらず（「ハイエタス（小休止）」と呼ばれている）、IPCC推計の下限値を外れそうになっていることを指摘したものである。海洋の熱容量は大きいため、10年周期程度の内部変動までをモデルで再現することは困難であり、長期的には気候モデルシミュレーションの推計は大きく外れたものではないのではないかとの見方が専門家の中では多い。実際に海洋の深い層での熱吸収が増しているとする最新の研究も出てきている。しかしながら、現在のモデルでは表現できていない事象も多いと見られ、更なる研究の進展が必要と考えられる。

温室効果ガスの濃度と気温上昇の関係を簡単に示す指標として気候感度がある。特にこれまでもよく用いられてきたのが「平衡気候感度」である。これは、大気中の温室効果ガス濃度が倍増しそこで安定化した際に、気温が最終的に何℃上昇するかを示す指標である。今回の報告書では1.5～4.5℃の範囲である可能性が高く、また1℃以下である可能性は極めて低く、一方6℃を超える可能性は非常に低いとされた。実は、第3次評価報告書（2001年）までは1.5～4.5℃の可能性が高いとされていたが、AR4では2.0～4.5℃に変更された。しかし今回、元に戻った形である。気候モデルシミュレーションはAR4と大きな予測の差異がなかったものの、最近の観測結果が低位に推移していることを反映した判断である。いずれにしても、不確実性が未だ大きく、簡単には気候変動予測の不確実性が低減しないと考えると良いだろう。不確実性を前提とした気候変動対策の意思決定が求められる。





その他のポイントとしては、「平衡気候感度 (ECS)」だけではなく、「過渡的気候応答 (TCR)」も強調された点が挙げられる。TCRは年率1%で濃度上昇し濃度が倍増(約70年後)したときに予想される気温を推計するもので、ECSよりも現実感に近いと考えられる。今回、TCRは1.0~2.5℃の範囲である可能性が高く、3℃を超える可能性は極めて低いとされた。これは、最近、濃度安定化シナリオだけでなく、濃度が一旦450ppmを超えて500ppmになりその後450ppmに戻していくなどの、いわゆるオーバーシュートシナリオの議論も進められるようになり、この場合ECSが定義できないこともこの議論の背景にある。更に関連したポイントとして、「累積炭素排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE)」が取り上げられた点も重要である。これは累積で大気中に何GtCO<sub>2</sub>排出すると、どの程度気温が上昇するかを近似的に示す指標である。これは濃度計算をせずとも、累積排出量から簡易的に気温上昇の目安を得ることができるものである(前述2.を参考にされたい)。

今後、承認、公表されるWG2、WG3報告書と合わせて、正確に内容を理解し、その知見を、具体的な温暖化対策、政策、気候変動の国際交渉等に生かしていくことが重要である。

## コラム IPCC総会に出席して

企画調査グループサブリーダー 高木 正人

2013年9月23~26日にスウェーデンのストックホルムで開催された第12回WG1会合および第36回IPCC総会(ここでWG1報告書の承認・採択が行われた)に参加した。これらの会議の様子について簡単に紹介したい。

まず、最初にAR5が採択に至るまでのプロセスを簡単に紹介する。代表執筆者(LA)が報告書の原稿を執筆した後、2回の専門家レビューと1回の政府レビューが行われ、ドラフトが修正されていく。WG1報告書の場合、執筆には39カ国から259人のLAと50人の査読編集者が参加し、1次ドラフトの専門家レビューでは47カ国669人から2,100のコメント、2次ドラフトの専門家・政府レビューでは46カ国800人の専門家および26カ国の政府から31,422のコメントを受けた。さらに最終ドラフトの政策決定者向け要約(SPM)が政府レビューに掛けられ、約30ページのサマリーに対して32カ国から1,855のコメントが提出された。

WG1会合では、IPCCのパチャウリ議長、スウェーデンの環境大臣Lena Ekの挨拶の後、Dahe Qin(中国)とThomas Stocker(スイス)の2人の共同議長が議長となり、議論が進められた。政府レビューを受けて修正されたSPMをスクリーンに投影しながら、一文ずつ議論を進めていく。異議や意見のある国は名札を立てて“Intervention”を表明し、“Intervention”が出なくなった段階で、全員のコンセンサスを得られ、承認となる。ただし、各国の意見が対立し遅々として進まない。この場合、議論の当事者を中心にコンタクトグループやコンサルテーショングループが作られ、本会議と並行してグループ内で議論し解決案が作られ、本会議で承認されるプロセスを踏む。国際交渉の通例で、特に前半は進展が遅い。そのためパフォーマンスメーターが用意され、進捗が可視化されたが、それでも出だしから瑣末な点で交渉が難航し、1日目が終わって全体の5%、2日目で10%、3日目で20%程度と遅々として進まず、3日目は夜2時過ぎに終了、最終日は徹夜となり、すべてが承認されたのは27日の明け方であった。

主な議論は、International Institute for Sustainable Development (IISD) 発行のENBレポート(<http://www.iisd.ca/download/pdf/enb12581e.pdf>)に記載されている。参照年、ハイエタス、古気候と海面上昇、平衡気候感度、ならびにTCREのところで長い議論となった。非常にハードな会議であったが、これらの検討プロセスを通して、抽象的な表現から、より具体的かつ科学的な表現に修正されたと思う。

## わが国の環境エネルギー政策の動向



理事・研究所長 山地 憲治

### 1. 2014年1月時点での「エネルギー基本計画」の状況

2011年10月以来、2012年末の政権交代を挟み、基本問題委員会33回、総合部会4回、基本政策分科会13回の総合資源エネルギー調査会の審議を経て、2013年12月に「エネルギー基本計画に対する意見（案）」（以下、意見（案））が取りまとめられた。今年1月中には新しいエネルギー基本計画が閣議決定される見込みといわれているが、政権与党内でも原子力の扱いについて様々な見解があり、本稿執筆時点では流動的な状況が続いている。

意見（案）では、わが国のエネルギー政策の基本目標として、「安定供給（エネルギー安全保障）」、「コスト低減（効率性）」、「環境負荷低減」及び「安全性」の3E+Sが再確認され、さらに「国際的視点」と「経済成長」が加味されている。特別な新鮮味はないが、これらの基本目標は福島事故後も一貫して維持されてきた共通認識である。この基本目標の実現のために、あらゆる政策資源を投入すべきであり、意見（案）では、第3章において、生産（調達）、流通、消費の各段階における取組みが列挙され、原子力と国際戦略、技術開発、国民とのコミュニケーションについてはそれぞれ節を設けて取組みが整理されている。

意見（案）において種々指摘されている取組み事項はバランスよく網羅的で、概ね妥当なものとして評価できる。問題は、これらの取組みをいかに具体化するかである。意見（案）では、原発再稼働、再エネ導入の進捗の度合いを見極めつつ、速やかに実現可能なエネルギーミックスを提示するとしているが、今夏の電力需給不安へ対処するためにも、また、「現時点での目標」として暫定的に決めた2020年の温室効果ガスの削減目標（原子力による削減効果を見込まずに2005年比で3.8%削減）を正式のものに改訂するためにも、具体的なエネルギーミックス目標の提示は不可欠である。

福島事故後長く続いた「決められない政治」の影響を受けて、原子力は事実上のモラトリアム状態に陥り、化石燃料消費の急増によって1日100億円に達する輸入増となり、CO<sub>2</sub>排出量も急増している。今回のエネルギー基本計画改訂では、3E+Sという基本目標に照らして、いずれも大きなマイナス状態からの出発であるという現実を強く意識して取り組む必要がある。

## 2. 環境エネルギー政策のフロンティア

2011年3月の福島原子力事故以降、わが国の環境エネルギー政策は歴史的転換点に立っている。3E+Sを同時に達成するという基本目標は変わらないが、これからの原子力への依存の程度、2020年以降の地球温暖化対策目標などの点で、現実に実行できる具体的な方策をめぐって議論が継続している状態である。

基本目標の実現に向けて、わが国の環境エネルギー政策においては政策の選択肢をできる限り広く維持することが重要である。原子力という選択肢を維持し、更なる省エネを進め、再生可能エネルギーを積極的に導入すると共にクリーンな化石燃料を安定的に利用する必要がある。ここでは、わが国の環境エネルギー政策のフロンティアとして、需要側の資源の活用と国際的視点の確保の重要性を指摘しておきたい。

今までのわが国の環境エネルギー政策では、もっぱら供給側の対策が取り上げられてきた。省エネルギー政策においてもエネルギー利用の効率化が中心であり、エネルギーの需要側におかれた電源やエネルギー貯蔵設備などを積極的にエネルギー需給調整に活用するという視点での検討はほとんど行われてこなかった。

しかし、さらに一層の省エネを進めるためにも、出力が自然変動する太陽電池や風力発電の大量導入のためにも、そして東日本大震災のような大規模災害に対してエネルギー供給の強靭性を確保するためにも、エネルギー需給情報を社会全体で共有し、需要側におかれた種々のエネルギー機器をエネルギーシステム全体の運用に動員することが極めて重要である。

この需要側の能動化はエネルギー供給に分散型の資源を本格的に導入することを意味し、分散する需要をネットワーク化して集中型の供給源で賄うという従来のエネルギーシステムの基本構造に大きな変化をもたらすことになる。需要側と情報連携したスマートなエネルギーシステムを構築し、分散型コージェネ、電動自動車の発電機や蓄電池、給湯器の貯湯槽など需要側にあるエネルギー機器を情報ネットワークを通してエネルギー需給制御に活用（エネルギー版クラウド化）する。これを通して、建物・都市構造などに高効率エネルギー利用のインフラを形成し、地域社会全体としてスマートコミュニティを作る。これは大きな挑戦であるが、新しい社会システムの展開として日本再興の糸口になるものと期待できる。

一方、今後の地球温暖化対策では国際的視点が特に重要である。現在わが国は世界の温室効果ガス排出量の3~4%を占めるに過ぎない。今後この比率はさらに低下するものと予想される。したがって、温暖化対策におけるわが国の貢献を国際的視点から見出すことは非常に重要である。

わが国は、石油危機以来の技術開発によって、鉄鋼部門など多くの産業分野で世界最高水準の高効率生産技術を保有しており、ヒートポンプやLED照明などエネルギー利用製品においても世界をリードする高効率製品を製造している。わが国の地球温暖化対策への貢献は、国内における温室効果ガス削減だけではなく、わが国の優れた技術や製品の国際展開によっても実現できる。

産業分野の温室効果ガスの排出量算定については、自らの生産活動によるものだけでなく、他者から調達したモノやサービスに伴う排出や自らの生産物が他者によって使用されることによる排出も含めたライフサイクルでの排出が評価され



るようになってきている。このような温室効果ガスのライフサイクル評価手法を整備すれば、世界全体におけるわが国の温室効果ガス削減への貢献を計量することができる。

従来のわが国の温暖化対策は国内対策を重視し、京都メカニズムの活用など国際連携によるものは補完的位置づけだったが、国際連携による温室効果ガス削減はもっと積極的に評価すべきである。従来のクレジット獲得という形では、金による排出権購入という側面が強調されて金融商品化し、本来の世界の排出削減への貢献が評価されにくい仕組みだった。しかし、ライフサイクル評価によって国際的貢献による削減量を明示することができれば、わが国の国際貢献の認知は大きく改善すると期待される。

また、優れた石炭火力技術や水素関連技術など、わが国の先端技術も国際展開によってその活用先を拡大する必要がある。高効率石炭火力技術の国際展開では2国間オフセット・クレジットの獲得を目指すなどの動きもみられる。さらには、わが国の技術によってオーストラリアの褐炭から製造する安価な水素の導入構想が発表されるなど、わが国の技術の国際展開は温暖化対策だけでなく、エネルギーの安定供給や経済性向上にも資すると期待される。

世界経済は国境を超えてグローバル化している。わが国の環境エネルギー政策も積極的に国際舞台を活用して展開する必要がある。

## 企画調査グループ



グループリーダー  
都筑 秀明

### 【コアメンバー】

サブリーダー	高木 正人
サブリーダー	大倉 良一
研究管理チームリーダー	作山 邦夫
国際標準化チームリーダー	青木 好範
調査役	鉄矢 高文
調査役	鳥居 広康
主幹	古賀 憲一
主幹	葛原 宏治
主幹	指宿 敦志

## CCSの実現に向けたRITEの取り組みの現状と展望

### 1. はじめに

地球温暖化を防止する為にCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が求められている。2012年に国際エネルギー機関（IEA）が発表した「エネルギー技術展望2012」<sup>1)</sup>によると、地球の平均温度の上昇を2℃に抑制するためには、2050年に、世界のCO<sub>2</sub>排出量を2009年比で約半分の16Gt/年とする必要があり、自然体ケースのCO<sub>2</sub>排出量58Gt/年に対して42Gt/年のCO<sub>2</sub>を削減しなければならないことになる。このような大幅なCO<sub>2</sub>削減は複数の手段を組み合わせなければ達成できない。ここで注目されているのが、CO<sub>2</sub>の回収・貯留（CCS: Carbon dioxide Capture and Storage）などの革新的なCO<sub>2</sub>削減技術である。CCSは比較的コストの安いCO<sub>2</sub>削減技術であり、また風力発電や太陽電池とは異なり、出力変動について心配する必要がない。

本稿では、RITEの中心的研究課題であるCCSの動向と課題について概観するとともに、CCSの実現に向けたRITEの取り組みの現状と今後の展望について述べる。

### 2. CCSに関する最近の動向

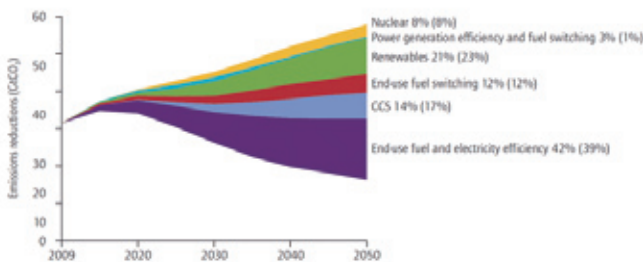
#### 2.1 CCSの必要性と展望

IEAが2012年1月に発表した「エネルギー技術展望（ETP）2012」<sup>1)</sup>によれば、2℃上昇抑制シナリオ（2DS）では、CCSのCO<sub>2</sub>削減寄与度は、2050年時点では、累積で14%、2050年時点で17%としている（図1）。このように、CCSは、CO<sub>2</sub>削減のために重要な手段の一つとして位置づけられている。

CCSによるCO<sub>2</sub>削減を図るためには、石炭火力、ガス火力など電力分野のみならず、鉄鋼、セメント、化学プロセスなどの産業部門においても、その導入が必要である。これらの産業分野においては、生産に伴ってCO<sub>2</sub>が発生することから、再生可能エネルギーなどの手段でCO<sub>2</sub>を削減することができないため、大幅なCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、CCSの導入を図るしかない。2DSにおい

て、CCSによるCO<sub>2</sub>の削減量のうち、産業分野における削減量が、2013年から2050年時点で全体の約45%を占めている（図2）。

Figure 6: CCS contributes 14% of total emission reductions through 2050 in 2DS compared to 6DS

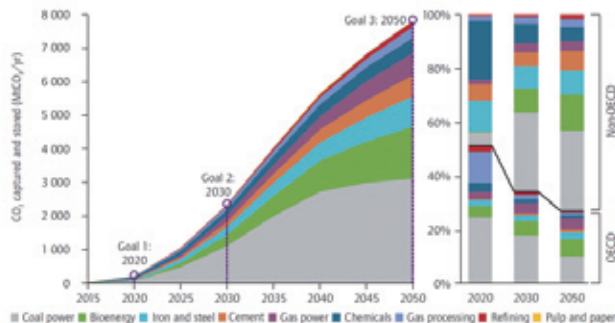


Note: numbers in brackets are shares in 2050. For example, 14% is the share of CCS in cumulative emission reductions through 2050, and 17% is the share of CCS in emission reductions in 2050, compared with the 40%. Source: IEA, 2012c.

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」<sup>2)</sup>

図1 温暖化対策における各技術の貢献

Figure 4. CCS in the power and industrial sectors in the 2DS



KEY POINT: The 2DS suggests a steep deployment path for CCS technologies applied to power generation and a number of industries. Over 70% of all CCS projects take place in non-OECD countries by 2050.

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」<sup>2)</sup>

図2 電力、産業別のCCS設置によるCO<sub>2</sub>削減量

## 2.2 CCSのプロジェクト動向

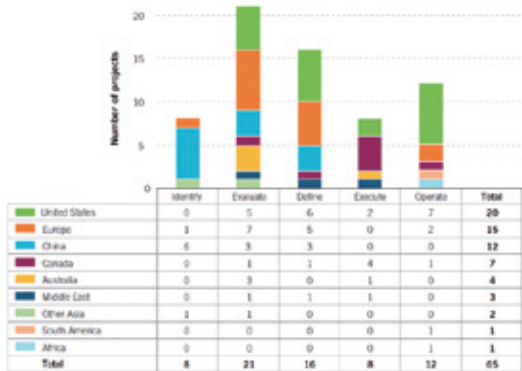
グローバルCCSインスティテュート (GCCSI) が発表した「The Global Status of CCS: 2013 (世界のCCSの動向2013)」<sup>3)</sup> には、各国のCCSプロジェクトの最新動向がまとめられている。ここでは、進行度に合わせて、Identify、Evaluate、Define、Execute、Operate、Closureの6つにプロジェクトを分類して表示している。最初のIdentifyはサイトのスクリーニング段階、Evaluateはサイト評価とプレFS段階、Defineは絞り込まれた候補地における詳細なサイト調査とFSの実施段階、Executeはプロジェクトの建設段階、そしてOperateで運転開始である。最後のClosureは圧入が終了し、廃坑となる段階である。

GCCSIによると、大規模プロジェクトの開発状況については、運転中のものが12件、建設中のものが8件、計画中的のものも含めて全体で65件となっており、全体で昨年より10件減少した（図3）。中国のプロジェクトは、計画段階のものが多いが、今後中国の経済成長とそれに伴うエネルギー需要、さらにIEA見通し等を考慮すると注目に値すると考えられる。

我が国においては、苫小牧地点においてCCS大規模実証試験が実施されている。

2015年度までに、CO<sub>2</sub>の分離・回収設備と圧入設備を建設するとともに、2坑の圧入井を掘削し、2016年度以降、年間10万トン以上のCO<sub>2</sub>を、2坑の圧入井にて2層の貯留層へ圧入する計画となっている。また、CO<sub>2</sub>の圧入開始以降、貯留層内でのCO<sub>2</sub>の挙動を観測し、貯留されたCO<sub>2</sub>の漏えいや自然地震による影響がないことを、圧入前に取得したデータをベースにモニタリングする計画となっている。

FIGURE 2.4 LSIPs by project lifecycle and region/country



出典：GCCSI「世界のCCSの動向2013」<sup>3)</sup>

図3 プロジェクト種別及び地域/国別大規模統合プロジェクト

### 2.3 CCS導入への課題

2013年7月、IEAは、「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition (CCS技術ロードマップ2013年版)」<sup>2)</sup>をとりまとめ公表した。この中で、ハイライトとして、これまでに分かったこと、今後7年間で特に重要な7つの行動が記載されている。

これまでに分かったこととして、CCSは、一般の方などの関係者からの理解不足が展開の遅延や困難さを招いていること、政府等は、インセンティブや規制の枠組みを構築するとともに、政府間の協力を推進すべきこと、CCSは、電気事業だけでなく、製鉄、セメント等の産業への適用が必要なことなどが挙げられている(表1)。

また、今後7年間で特に重要な7つの行動としては、CCSの実証と早期展開のための財政支援メカニズムの導入、CCSの貯留地点の探査、特性化、開発を促進する政策の推進、新規の火力発電所にCCS-Readyの能力を効果的に求めるような国内法や規制の開発、一般公衆や関係者において、CCS技術や普及の重要性の理解改善に向けた一層の努力などが挙げられている(表2)。今後、7年間にこれらの取り組みを行うことが、CCS導入には不可欠である。

表1 これまでに分かったこと

これまでに分かったこと
CCSは、低炭素エネルギー技術の中の重大な構成要素である。
CCSの回収、輸送、貯留の各技術は、全般的によく理解され、幾つかの事例では成熟しているが、一般の方などの関係者からの理解不足が展開の遅延や困難さを招いている。
政府等は、CCSプロジェクトを進めるため、インセンティブや規制の枠組みを構築するとともに、政府間の協力を推進すべきである。
CCSは、電気事業だけでなく、製鉄、セメント等の産業への適用が必要である。
CCSによる2050年までの累積のCO <sub>2</sub> 削減量の70%を占める非OECD諸国にCCSを大規模に展開する必要がある。
CCSのための強いビジネスモデルの開発など、将来のエネルギー需要を勘案した計画と行動が必要である。

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」<sup>2)</sup>

表2 今後7年間で特に重要な7つの行動

先導する機関	今後7年間で特に重要な7つの行動
政府	プロジェクトへの民間投資を促すため、CCSの実証と早期展開のための財政支援メカニズムの導入
政府	CCSの貯留地点の探査、特性化、開発を促進する政策の推進
政府	新規の火力発電所にCCS-readyの能力を効果的に求めるよう、多面的資金提供はもちろん、国内法や規制の開発
産業	CO <sub>2</sub> 回収が未だ実証されていない産業におけるCO <sub>2</sub> 回収システムのパイロット規模での実証
政府	一般公衆や関係者において、CCS技術や普及の重要性の理解改善に向けた一層の努力
産業/研究機関	継続的な技術開発を通じてCO <sub>2</sub> 回収システムを装備した火力発電コストの低減と可能な限り効率的な火力発電の利用
政府	将来の需要中心地とCO <sub>2</sub> の量を想定したCO <sub>2</sub> 輸送インフラの効率的な開発

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」<sup>2)</sup>

### 2.4 CCSに関する規制の海外動向

2013年9月、オバマ大統領の「Climate Action Plan」に基づき、米国環境省、EPAが「新排出性能基準 (EPS) 規制案」を提案した。今後、新規に火力発電所を設置する際には、石炭火力については、CO<sub>2</sub>の排出量を500kg/MWh (1年平均) 又は480kg/MWh (7年平均) 以下に、ガス火力については出力規模に応じて450又は500kg/MWh以下にすることを求めている。図4にあるように、この値は、石炭火力発電においては、最新のIGCCやIGFCの技術を活用しても達成することができないものであり、石炭火力発電を設置するためには、CCS設備を設置せざるを得ないものである。一方、ガス火力発電については、複合サイクル発電などの高効率の発電所ではクリアできる値となっている。カナダでは、2015年に新規石炭火力発電等に対して、420kg/MWhの新排出性能基準 (EPS) 導入を決定し、英国でも新排出性能基準 (EPS) の導入が国会で承認された。

また、火力発電所の設置申請において、CCS設置のFS調査等を義務付ける

CCS-Ready規制については、EU指令が2009年4月に発効されており、スペイン、デンマーク等の国々において国内法への移行が完了している。これらの動向をまとめると表3の通りである。

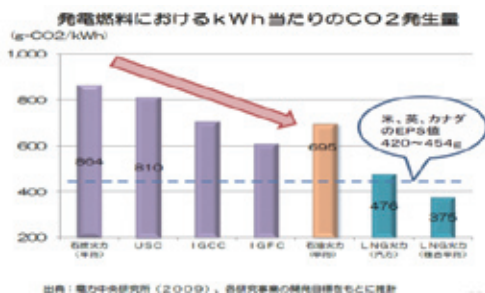


図4 発電電力量当たりのCO<sub>2</sub>発生量 (出典：経済産業省)

表3 海外のCO<sub>2</sub>に関する主な規制概要

国名	CO <sub>2</sub> に関する主な規制概要
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>○EPAによる新稼働性能基準(EPS)規制案:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規石炭火力: 500 kg/MWh(1年平均)、480kg/MWh(7年平均)</li> <li>・新規ガス火力: 450 or 500kg/MWh(出力規模に応じて適用)</li> </ul> </li> <li>○各州によるEPS規制(カリフォルニア州、ワシントン州、オレゴン州)</li> <li>・ベースロード電源: 500kg/MWh</li> </ul>
カナダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○EPS規制: 新設石炭火力等: 420kg/MWh</li> </ul>
英国	<ul style="list-style-type: none"> <li>○EPS規制案: 新設石炭火力: 450kg/MWh</li> <li>○CCS-Ready規制: 300MW(スコットランドは50MW)以上の新設火力</li> </ul>
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>○EUCCS指令(CCS-Ready規制): 300MW以上の新設火力 (国内法移行済の国: ス페인、デンマーク、オランダ、イタリア、フランス、リトアニア、マルタ、スロベニア、ポルトガル、ルーマニア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、ドイツ、エストニア、ギリシャ、ラトビア、ルクセンブルク、フィンランド、英国)</li> </ul>

RITE調べ

なお、我が国においては、2013年4月25日、経済産業省と環境省との間で、「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ」が公表された。この中で、2050年までにCO<sub>2</sub>等を80%削減するという目標との関係が記載されている。そこに、CCSに関連する事項として、2020年頃のCCSの商用化を目指したCCS等の技術開発の加速化を図ること、CCS導入の前提となる貯留適地調査等についても早期に結果が得られるよう取り組むこと、商用化を前提に、2030年までに石炭火力にCCSを導入することを検討すること、貯留適地の調査や、CCS-Readyにおいて求める内容の整理を行った上で、出来るだけ早期にCCS-Readyの導入を検討すること等が記載されている。

## 2.5 CCSのISO化

CCSの実用化を前にして、現在、国際標準化機構 (ISO) では、CCSの規格原案の作成作業が始まっている。2011年10月に、ISOの下にCCSの国際標準を議論する専門委員会 (TC: Technical Committee 265) が設立された。議長国がカナダとなっており、参加国であるPメンバーが17か国、オブザーバー国であるOメンバーが10か国、国際機関等のリエゾンが6機関参加している。TCの下に、「回収」、「輸送」、「貯留」、「定量化と検証」、「横断的課題」、さらに2013年から「EOR (石油増進回収法)」に関する6つのワーキンググループ (WG) が設置されている。我が国は、WG1 (回収) のコンビーナ及び事務局を、またWG3 (貯留) のコンビーナを務めている (図5)。

これに対する我が国の体制としては、ISO/TC265国内審議委員会を設置し、対応を検討し、決定している。また、国内審議団体としてRITEが指名され、ISO/TC265国内審議委員会の事務局を担当している。国内審議委員会の下に、国際機関のWGに合わせて回収WG、輸送WG、貯留WG、「定量化と検証 (Q&V)」、「横断的課題 (クロスカッティングイシュー)」については、まとめて1つのWGを設置している (図5)。今後必要に応じてEOR (石油増進回収法) 対応のWGの設置も検討される予定である。



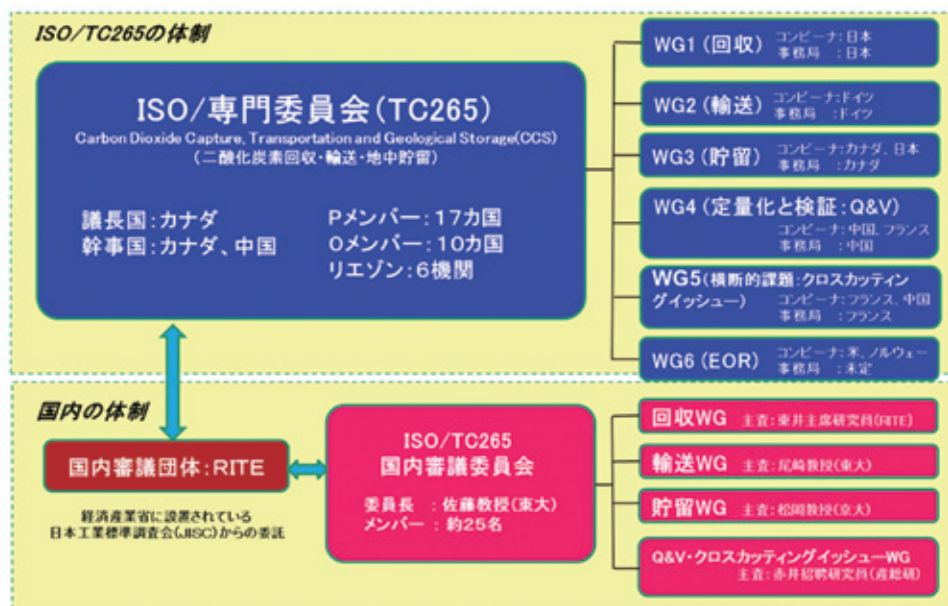


図5 CCSのISO化に関する審議体制

専門委員会TC265は、これまで総会が3回開催された。第1回の総会では、専門委員会 (TC) の名称、スコープ (適用範囲) などが決められ、第2回の総会では、5つのWGが設立され、各WGの主査が決められた。第3回の総会は、2013年9月に北京で開催され、参加国であるPメンバー11か国が、リエゾン3機関が参加した。日本からは、15名が参加した。第3回総会では、4つのWGの新業務項目提案 (NWIP) が了承され、標準化が具体的にスタートしている。また、新たにEOR (石油増進回収法) のWGが設立された。各WGの境界を検討するアドホックグループが設立され、次回専門委員会TC総会までに検討結果を出すこととなった。次回会合は、2014年の3月31日から4月4日にドイツのベルリンでWG会合を含んで開催することとなった。これに対応して、国内審議委員会、我が国がこれまで培った技術、知見が適切に評価されるよう、TC265に対する日本の対応方針の検討などの対応を行った。

ISOの各WGの検討状況、今後のスケジュールは、表4、図6の通りである。

表4 ISOの各WGの検討状況

WG	新業務項目提案 (NWIP)	種別	出版目標	備考
WG1 (回収)	承認済み	技術報告書 (TR) と国際規格 (IS) 回収技術、プロセス	TR:2015年 IS:2017年	・TR:日本をベース ・章別に編集グループ ・IS:対象を絞り込む
WG2 (輸送)	承認済み	国際規格 (IS) パイプライン輸送	2016年	・ベースはDNY-RP-J202 ・章別に編集グループ ・次に船、車両輸送
WG3 (貯留)	承認済み	国際規格 (IS) 陸域、海域の貯留	2017年	・ベースはCSA-Z741 ・章別に Technical Panel
WG4 (定量化と検証)	検討中	技術報告書 (TR) と国際規格 (IS) 定量化と検証	検討中	・TR ・次にシリーズでIS化
WG5 (横断的課題)	承認済み	国際規格 (IS) ポキャブラリ	2016年	・次の目標はシステムインテグレーション
WG6 (CO2-EOR)	検討中	検討中	検討中	・他のWGとの重複を避ける

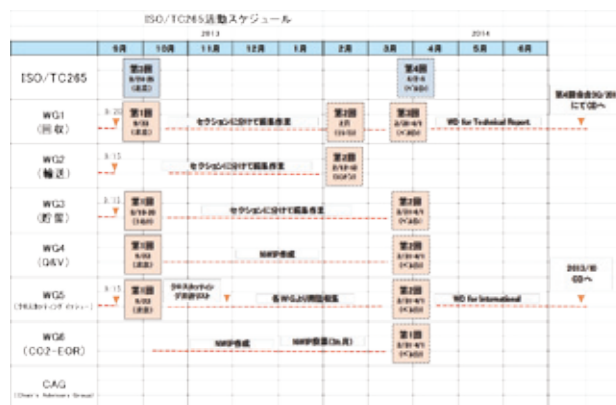


図6 ISO/TC265活動スケジュール

### 3. ゼロエミッション事業の結果

RITEでは、「NEDO革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト」（ゼロエミッション事業）のうち、「CO<sub>2</sub>の貯留システムの概念設計と貯留ポテンシャル評価」についての検討を、応用地質株式会社とともに、2008年度から2012年度にかけて実施した。貯留層評価手法の構築、貯留エンジニアリングの調査、および全国レベルでの貯留層評価を行い、これらを基に、本事業で検討を行う貯留地点としてA、B、Cの3地点を定めた。想定貯留地点での貯留設備の概念設計を行い、実証規模（24万トンCO<sub>2</sub>/年）および商用規模（1,154万トンCO<sub>2</sub>/年）の貯留設備の概算費用を算出した。さらに大規模貯留サイトとして、貯留地点Dを選定し、1,000万トンCO<sub>2</sub>/年を貯留するための設備の概念設計と費用の算出を行った。大規模貯留は小スケールの貯留層を多数開発するよりコスト的にも有利となることが分かった。また、調査結果を基に貯留層経済性評価ツールを作成した。

本事業で選定した各地点の概要を表5に示す。A地点からD地点に行くに従って、沖合になっており、水深も深くなっている。貯留可能量については、C、Dの沖合の貯留可能量が大きく、D地点では、49億トンとなっている。貯留システムは、A地点は陸上からの傾斜井、B地点は着底プラットフォーム、C地点、D地点は、浮体プラットフォームとなっている。154万t-CO<sub>2</sub>/年貯留の概算費用は、260億円から380億円となっており、沖合地点に行くほど高くなった。D地点においては、大規模貯留に関する費用の概算を行ったところ、年間1,000万トン規模の貯留システムを一気に構築した場合は894億円、順次構築した場合には1,121億円となった。一方、年間154万トンの場合の設備費は316億円なので、小規模貯留を複数開発する場合、1,000万トンとすると約6倍の1,800億円程度となる。したがって、大規模貯留は、小スケールの貯留層を多数開発するよりコスト的にも有利となることが分かった。

また、本事業では、貯留層の経済性評価ツールを作成した（図7）。将来の本格的なCCS実施に際して、CO<sub>2</sub>貯留層を選定するためには、その地点での貯留可能量や貯留の安全性とともに、経済性についても評価する必要がある。貯留層のスクリーニング段階において、輸送までを含めた経済性を評価することは容易ではないため、この貯留層選定作業を支援するための「貯留層経済性評価ツール」を作成した。今後、これらのデータベースツールを活用して、CCSに関するデータを提供することができればと考えている。

表5 ゼロエミッション事業におけるCO<sub>2</sub>地中貯留サイトの選定

	A地点	B地点	C地点	D地点
位置	東北日本海側沿岸域	東日本太平洋側沿岸域	西日本大陸棚沖合	西日本大陸棚沖合
離岸距離	1.5km	5km	約30km	約140km
水深	約50m	約15m	約120m	約120m
深度	800, 1500m	1800m	1500, 2500m	1500m
貯留可能量(億トンCO <sub>2</sub> )	～2	～9	～27	～49
貯留システム	陸上から傾斜井	着底プラットフォーム	浮体プラットフォーム	浮体プラットフォーム 大規模貯留
貯留概算費用(154万t-CO <sub>2</sub> /年)	約260億円	約210億円	300～380億円	約310億円
貯留概算費用(1,000万t-CO <sub>2</sub> /年)	-	-	-	約894億円(一気に建設) 約1,121億円(順次建設)

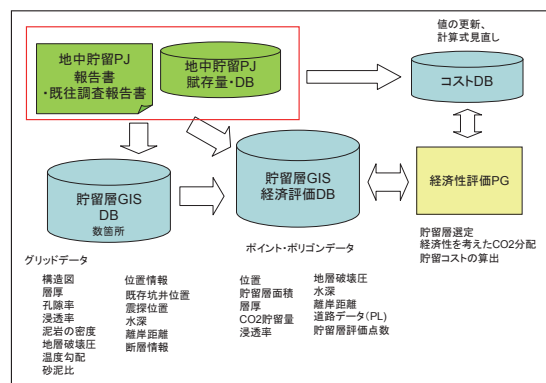


図7 貯留層経済評価ツールの作成

さらに、本事業では、CCS貯留の今後の課題と将来に向けた提言をまとめた（表6、表7）。これらの中で、特に、貯留層開発の優先順位付けを行い、それに従いさらなる探査を行うとともに、貯留層に関する情報をデータベース化して、関係者がアクセス可能にすること、これと並行して、CO<sub>2</sub>地中貯留における貯留層の探査をより効率的に行うための、技術やツール開発を行うことが、重要と考えられる。

表6 CCS貯留の今後の課題

CCS貯留の今後の課題	
1. CO <sub>2</sub> 貯留サイトの探査	各地域でCO <sub>2</sub> 地中貯留に着目した新たな調査が必要
2. 国内実証、海外連携を通じたCO <sub>2</sub> 貯留層設計スキルの向上	大規模実証試験の経験を、十分にシェアできる様にしておくこと、海外の大規模貯留プロジェクトと緊密なネットワークを構築し、大規模実証試験での多数経験をとり込めるようにしておくこと
3. CCSシステム全体の最適化プランニング	サイトでのエネルギー供給の問題、より安価で効率的なシステムの選定、および将来を見通したプランニング
4. CCS実用化に向けた道筋の明確化と、大規模プロジェクトの具体的な計画作成	具体的な排出源、具体的な貯留層に対して行う、より実証的なプランの作成
5. 我が国の優秀な技術をより展開できるようにすること	国内での実証試験で技術を磨く、海外との連携、国際標準化に積極的参加

表7 CCS貯留の将来に向けた提言

CCS貯留の将来に向けた提言	
1. 大規模貯留は小規模の貯留層を多数開発するより有利であるため、その探査をすすめる。特に山陰沖から九州北部にかけての大規模な堆積層は有力な候補である。	
2. 北部九州エリアには、CCSに有望な地点があるので、これらの地域についてより詳細な調査を実施し、大規模貯留プロジェクトの具体的な計画作成とFSを実施する。	
3. 貯留層開発の優先順位付けを行い、それに従いさらなる探査を行うとともに、貯留層に関する情報をデータベース化して、関係者がアクセス可能にする。これと並行して、CO <sub>2</sub> 地中貯留における貯留層の探査をより効率的に行うための、技術やツール開発を行う。	
4. 国内での実証試験の実施を推進するとともに、多くの海外の機関・プロジェクトとのネットワークを構築し、知識・経験の共有を図る。また、国内での実証試験で技術を磨き、海外進出のための基本データとする。特にアジア諸国との連携を強化し、人材育成事業等を通じた普及啓発活動を推進。相手国での日本のプレゼンスを高め、インフラ・システム輸出を促進する。	
5. CCSの国際標準化の推進によって、CCSの安全性を保障するとともに、フェアな競争が可能となるような環境を整備。また国際標準を基に、法規制の整備が未発達な諸国でのCCSの実施を推進する。	

#### 4. 次世代CO<sub>2</sub>貯留・利用システム (SUCCESS)

CO<sub>2</sub>貯留可能な地点の拡大を図るためには、より経済的で安全なCCS技術が必要である。次世代CO<sub>2</sub>貯留・利用システムは、より安全で経済的な次世代のCCS技術であり、「Storage & Utilization of CO<sub>2</sub> for Coexistence of Economical & Safe System」のイニシャルを取って、SUCCESSと呼んでいる。これは、昨年のRITE Todayで報告した「高温岩体発電」をより発展させたものである。SUCCESSは、帯水層内の地層水等を排出することで、従来なかった効果（地熱有効利用、地層圧緩和、圧入レート改善）が期待できる次世代のCO<sub>2</sub>貯留・利用システムである（図8）。

本システムの効果の一つ目として、地熱エネルギーの回収、有効利用を図ることにより、CCS事業の収入の確保を図り、経済性を向上させることが可能である。排出した高温の地層水から熱エネルギーを回収する。CO<sub>2</sub>が帯水層内に満ちた後では、CO<sub>2</sub>を循環させて地熱エネルギーを回収する。米国のローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）はCCSを活用した地熱利用の実証試験を計画しており、RITEは、LBNLと共同研究を計画している。次に、効果の二つ目として、圧入時の帯水層の地層圧上昇を緩和するので、地層圧の異常上昇に備えた安全対策ツールとして利用し得る可能性がある。これにより安全性の向上が期待される。効果の三つ目としては、地層圧の上昇が緩和されるので、井戸1本当たりのCO<sub>2</sub>圧入速度を大きく取れる。1本の井戸でより多くのCO<sub>2</sub>を圧入できるので、コスト削減につながる。

このような取り組みは、海外でも実施されつつある。例えば、豪州のGorgonプロジェクトでは、注入井を設置してCO<sub>2</sub>を圧入するとともに、圧力管理井を設置して排水をさせることにより圧力を調整することとしている。その結果、圧入レートの維持、地層破壊圧への到達の回避、貯留能力の最適化が期待されている。

プロジェクト技術評価書においても、地層圧が上昇した場合の緊急時の対策として、CO<sub>2</sub>を圧入している帯水層から水を抜くことが記載されている（図9）。

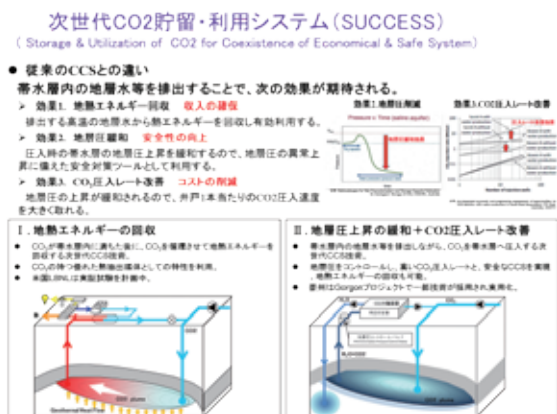


図8 次世代CO<sub>2</sub>貯留・利用システム (SUCCESS) の概要

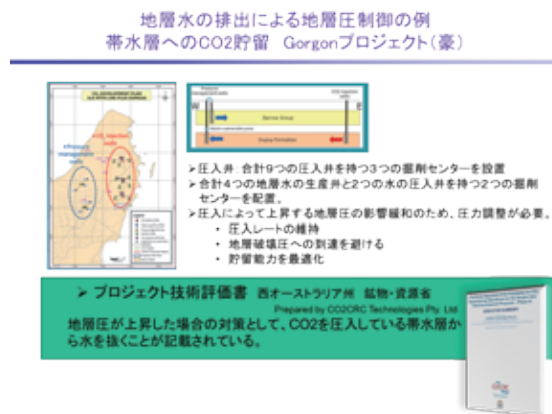


図9 地層水の排出による地層圧制御の例

## 5. まとめ

今後、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減していくためには、限られた技術オプションの中で、CCSは引き続き大きな役割を担うことが期待されている。一方、CCSの導入に向けては、財政支援の導入等のインセンティブ、貯留地点の探査、CCS-Ready等の規制の開発、産業分野での実証試験の実施、一般国民への理解の促進、CCS技術の研究加速などを進める必要がある。海外の一部の国においては、CCS-Readyや新排出性能基準（EPS）などの規制の導入がされつつある。また、CCSのISO化も着実に進展している。

CO<sub>2</sub>貯留に関しては、ゼロエミッション事業の結果を踏まえると、CCSの導入促進のためには、CO<sub>2</sub>貯留サイトの探査、CCS全体システムの最適化、大規模プロジェクトの具体的な計画作成などに取り組む必要がある。特に、貯留層開発の優先順位付けと、さらなる探査を行うとともに、貯留層に関する情報をデータベース化して、関係者がアクセス可能にすることが重要である。

CO<sub>2</sub>貯留可能な地点の拡大を図るためには、より経済的で安全なCCS技術が必要である。次世代CO<sub>2</sub>貯留・利用システム (SUCCESS) は、帯水層内の地層水等を排出することで、従来なかった効果（地熱有効利用、地層圧緩和、圧入レート改善）が期待できる次世代のCO<sub>2</sub>貯留・利用システムであり、RITEとしては、今後FS調査を実施していく予定である。

## 参考文献

- 1) IEA, "Energy Technology Perspectives 2012" (2012)
- 2) IEA, "Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition" (2013)
- 3) GCCSI, "The Global Status of CCS: 2013" (2013)



## システム研究グループ



グループリーダー  
秋元 圭吾

### 【コアメンバー】

主席研究員	友田 利正
主任研究員	和田 謙一
主任研究員	長島美由紀
主任研究員	本間 隆嗣
主任研究員	佐野 史典
研究員	林 礼美
研究員	小田潤一郎
研究員	徳重 功子

## 統合評価モデル分析の国際モデル比較プロジェクト

### 1. はじめに

IPCC第5次評価報告書（AR5）公表が進められている。温暖化緩和策は第3作業部会（WG3）の報告書にまとめられることとなっており、2014年4月のIPCC総会で承認がなされる見通しである。AR5においても、統合評価モデル（IAM）による分析やシナリオは、重要な位置を占める。過去数年にわたり、IPCC AR5でのとりまとめを意識しつつ、欧米において様々な国際モデル比較プロジェクトが立ち上げられてきた。RITEシステム研究グループでも、主要な国際モデル比較プロジェクトに参画し、RITEが保有するモデルによる分析結果をそれらプロジェクトに提供してきた。

本稿では、現在、気候変動に関する統合評価モデルがどのような課題に対する分析を試みようとしているのかについて、国際モデル比較プロジェクトの内容を踏まえて紹介する。

### 2. モデル比較分析

統合評価モデルは、扱う範囲が広く、またそもそも不確実性が大きい事象を分析するため、モデルによって分析結果に大きな差異が生じる場合も多い。そこで、モデル分析結果の理解を促進しつつ、比較的蓋然性の高い政策的含意を導いたりするために、国際的にモデル比較が多くなされている。表1は、最近実施された、もしくは現在実施中で、RITEも参加した国際モデル比較プロジェクトである。

統合評価モデルは温暖化対応を検討する上で有力なツールであるものの、現実社会を表現するにはあまりに小さな存在であり、単純化されて表現されている。例えば、世界排出量を大幅に削減する場合でも、世界経済への影響はGDPのほんの数%である、といったことが強調されたりする。たしかに多くの経済モデル分析ではそのような結果を提示しているし、IPCC第4次評価報告書（AR4）<sup>1)</sup>でも

表1 近年RITEが参加した国際モデル比較プロジェクト

	幹事研究機関	目的、概要等
AME	JGCRI/PNNL(米)	Asia Modeling Exercise. US EPA、EMF、EPRIなどがファンディング。2009～11年の間実施。今後排出削減にあたって最も重要と見られるアジア地域における気候変動緩和の分析を行うことを主目的としたモデル比較プロジェクト。成果はEnergy Economicsの特別号 <sup>2)</sup> にまとめられている。世界の28モデルチームが参加
EMF27	スタンフォード大EMF(米)	2010～12年に実施。テーマは「気候政策の目標達成に向けた技術戦略 (Technology Strategies for Achieving Climate Policy Objectives)」。成果はClimatic Changeの特別号 <sup>3)</sup> に発表された。
AMPERE	PIK(独)	Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates. 欧州委員会がファンディング。2011～14年予定。気候予測の不確実性、技術の役割、地域による排出削減取り組みへの参加時期の違いによる影響の評価等。成果はTechnological Forecasting and Social Changeの特別号 <sup>4)</sup> に発表された。欧州を中心しつつも世界から18モデルチームが参加
ADVANCE	PIK(独)	欧州委員会がファンディング。IPCC AR6に向け、エンドユース技術や消費者行動などのモデル表現を改善していくことを目的とした2013年1月～2016年12月までの4年プロジェクト
EMF30	スタンフォード大EMF(米)	バイオ/土地利用と京都議定書6ガス以外の温室効果ガスの温室効果 (Non-Kyoto Forcing) をテーマに2013年10月に開始されたプロジェクト。気候目標におけるNon-Kyoto Forcing の影響、気候政策と大気汚染政策のシナジー、バイオエネルギーの大規模普及のフィードバック、土地利用・水・エネルギーの関係などを分析する。

そのような結果がまとめられている。しかしながら、通常このような分析を示すモデルは、世界のすべての国が均等に排出削減努力を行うこと（限界削減費用均等化）を前提としている。また、多くの対策技術の技術普及には障壁がないことを前提とする場合も多い。しかし、このような仮定は、現実社会では相当非現実的に単純化された仮定である。こういった理解がないまま、統合評価モデルが示した結果のみを引用し、それがまた2次利用されていく過程で、誤った解釈もしばしば見受けられるので注意が必要である。

そこで、より現実社会における制約に近い状況の下で、どのような結果が生じるのかを分析しようとする試みが、特にIPCC AR4以降の国際モデル比較プロジェクトにおいて多くの分析がなされてきた。以下に、EMF27とAMPEREの2つの国際モデル比較プロジェクトについて、その成果の一部を紹介する。

### 3. EMF27における分析

スタンフォード大のエネルギー・モデリング・フォーラム (EMF) は30年以上にもわたってエネルギーや温暖化対策に関するモデル分析比較を実施してきており、その成果はこれまでのIPCC報告書でも多く引用がなされてきた。EMF27のテーマは「気候政策の目標達成に向けた技術戦略 (Technology Strategies for Achieving Climate Policy Objectives)」である。なお、EMF27はグローバル戦略の検討であり、現在、同時にEMF24として米国を、EMF28として欧州を対象にした戦略検討をテーマとしたモデル比較も行われた。EMF27には、RITEを含め、世界各国の研究機関、大学から18のモデルチームが参加した。

EMF27では多くのシナリオが分析されており、技術に関するシナリオと政策に関連するシナリオの組み合わせによって合計32が設定された。その分析シナリオの下で計算された複数のモデル分析結果等を用いつつ、再生可能エネルギー、在来型エネルギー資源（化石燃料）、バイオエネルギー、省エネ、エアロゾル、

原子力等にフォーカスした論文作成が行われた。排出削減レベルによる利用技術の差異、また、それぞれの技術利用が制約されたとき緩和コスト等に与える影響などの分析が行われた。

図1は、ベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオにおける最終エネルギーにおける電力の寄与度を評価した結果である。電力消費量としては厳しい排出削減になるにしたがって、2050年頃までは減少、一方2100年になるとむしろ増加傾向が見られる。最終エネルギー消費量に占める電力のシェアで見ると、2050年頃からは厳しい排出削減になるにしたがって、むしろ増加傾向が見られる。450 ppm CO<sub>2</sub>eq.のような厳しい排出削減を行う場合は、電力の脱炭素化を進め、最終消費段階では電力比率を高めることが不可欠であることが、多くのモデルでロバストな結果であることが示されている。

図2は、各技術の利用可能性によるベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオの実現性の評価 (a) と450 ppm CO<sub>2</sub>eq.シナリオ時のコスト増の評価 (b, c) を示したものである。11のモデル中10のモデルが450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の実現可能性は示している。しかしながら、例えばCCSが利用されないと仮定した場合には、それでも実現可能性を示唆したモデルはわずか4つであった。また、実現可能性はモデル上、示されたとしても、例えばCCSが利用されない場合には、対策コストは2.5倍程度に膨れ上がることが示されている。また、バイオエネルギーのポテンシャルが想定よりも小さく、世界で商用バイオエネルギーが最大100EJ/年しか利用できないとした場合にも、対策コストは1.5倍程度に膨れ上がる。このような分析は、個別のモデルで特徴があり、示す結果が大きく異なる場合もあるものの、複数の多くのモデルを比較評価することによって、比較的ロバストな知見を得ることができる。なお、RITEのDNE21+モデルによる2050年までの分析において対策コストが最も高いのはCCSが利用されない場合であり、図2に示された他のモデルの結果と同様であるが、次いで対策コストが高いのはエネルギー原単位の改善が進展するもののCCSが利用されず原子力発電がフェーズアウトするEEREケースであり、図2におけるモデル間の平均で示されるコスト増の順序とは少し違いもある。

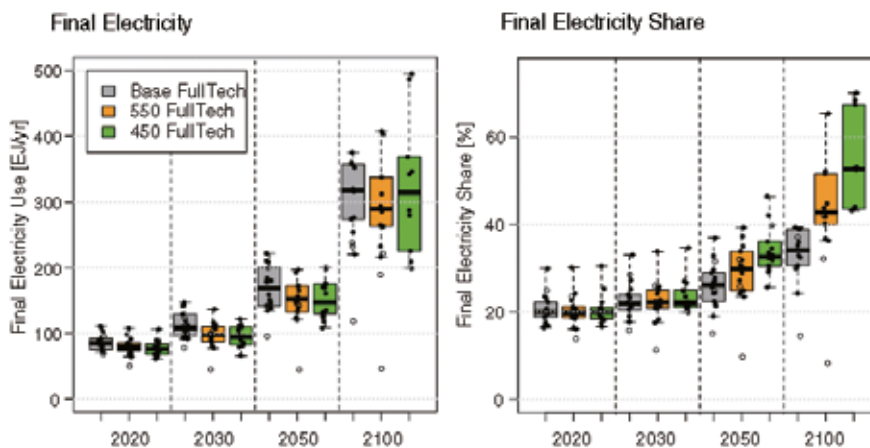


図1 EMF27において分析されたベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオにおける最終エネルギーにおける電力の寄与度<sup>3)</sup>

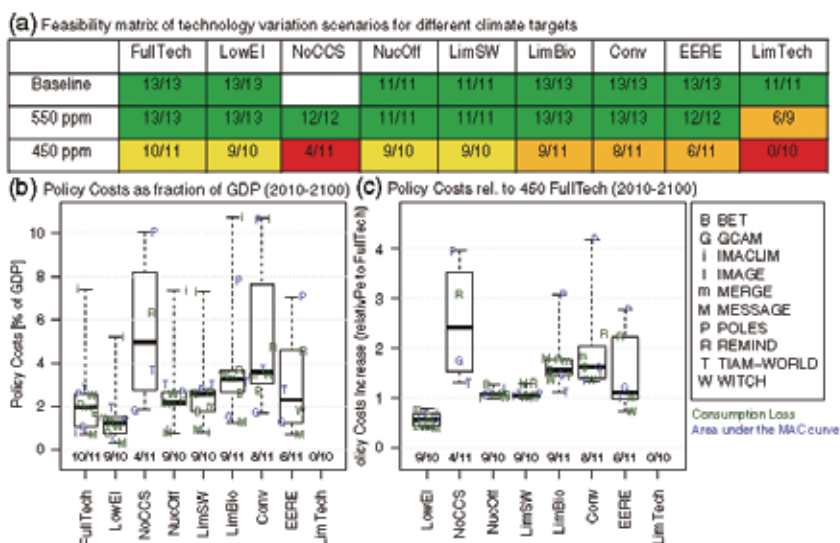


図2 EMF27において分析された各技術の利用可能性によるベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオの実現性の評価(a)と450 ppm CO<sub>2</sub>eq.シナリオ時のコスト増の評価(b, c)<sup>3)</sup>

注) FullTechはモデルで想定された技術すべてが利用可能で標準想定、LowEIはエネルギー原単位の改善が標準の想定よりも進展するケース、NoCCSはCCSが利用されないケース、NucOffは原子力発電がフェーズアウトするケース、LimSWは太陽光、風力のポテンシャルが少ないケース、LimBioはバイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース、Convは太陽光、風力、バイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース、EEREはエネルギー原単位の改善が標準の想定よりも進展するものの、CCSが利用されず、原子力発電がフェーズアウトするケース、LimTechはCCSが利用されず、原子力発電がフェーズアウトし、太陽光、風力、バイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース

#### 4. AMPEREにおける分析

AMPERE (Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates) は欧州委員会が研究資金を提供し (ただし欧州域外の研究機関には欧州委員会からの研究資金は提供されない)、ドイツPIKが主幹事研究機関としてとりまとめを行ってきたプロジェクトである。AMPEREにおいても、EMF27同様、技術の利用が限定された場合に、大幅な排出削減の実現可能性がどの程度困難になるかの評価も行われた。ここでは、AMPEREの特徴である排出削減への2020~30年頃の中期における世界の取り組みが固定された場合、その後の対策の評価について紹介する。

まず、温室効果ガス濃度が450 ppm CO<sub>2</sub>eq.に抑制するような各モデルの最適な排出経路を求め (図3の緑色の経路)。一方、カンクン合意に基づき、世界各国がプレッジしている2020年の排出削減目標から世界全体の排出が2020年およびその延長としての2030年でどの程度になるかを推計する。各国の目標は、原単位目標が混ざっているなど、様々なため上下限として推計する (図3の青と赤色の2030年までの排出経路)。2030年までがこの排出経路にしたがった場合に、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を実現する2030年以降の排出経路を算出する。このとき、2030年以降に450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を達成するために、世界排出量の年削減率を算定したのが図4である。そして、それを過去20年平均と30年平均で見た世界各国の排出量年増減率と比較した。2030年までに大きな排出削減を行ったとしても、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を達成するためには、過去と大きく異なる排出削減を世界レベルで実現することが必要であるし、まして、2030年までこれまでの取り組み、目標から予想されるような排出で固定された場合には、



より一層の大きな削減が2030年以降必要であることが示されている。RITEのDNE21+モデルによる2050年までの分析では、他のモデルに比べてより急激な2030年以降の排出削減が必要と分析している。なお、このとき、CCS、原子力、再生可能エネルギーなど、技術の利用に制約があった場合には、対策コストが大きく上昇するのみならず、モデルとして実現可能な解を見いだせないとしたモデルが多数となる結果も示した。

政策的な含意は、大きく2つあると考えられる。1つは2030年までの世界での取り組みを一層強化することが重要であるということである。もう1つは、現実性を考えると様々な制約があり、IPCC AR4以降、国際的にも長期の目標として議論によく上ってきた450 ppm CO<sub>2</sub>eq. (産業革命以前比2℃目標相当) という排出削減目標はあまり現実的とは言えないため、実現性のあるより穏当な削減目標を志向することも考えるべきということである。

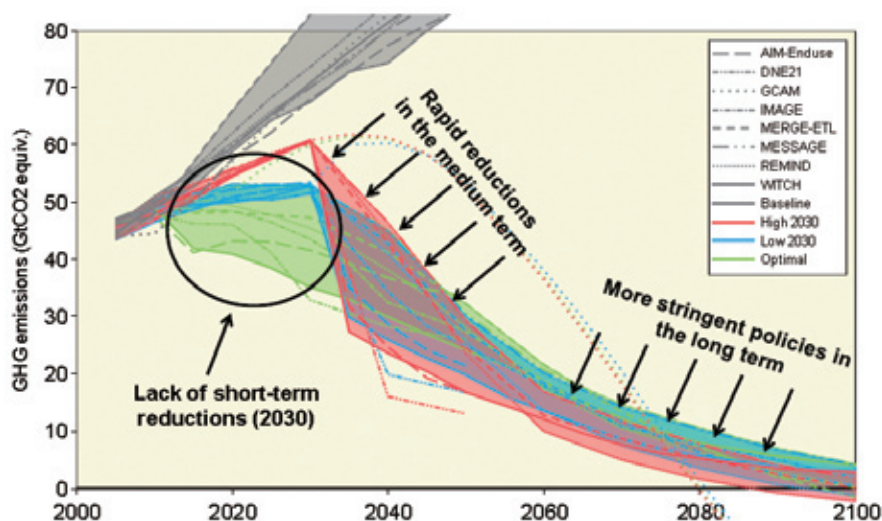


図3 450 ppm CO<sub>2</sub>eqの排出経路<sup>4)</sup>。最適排出経路(緑)、カンクン・ブレッジの排出下位ケース(青)、同上位ケース(赤)

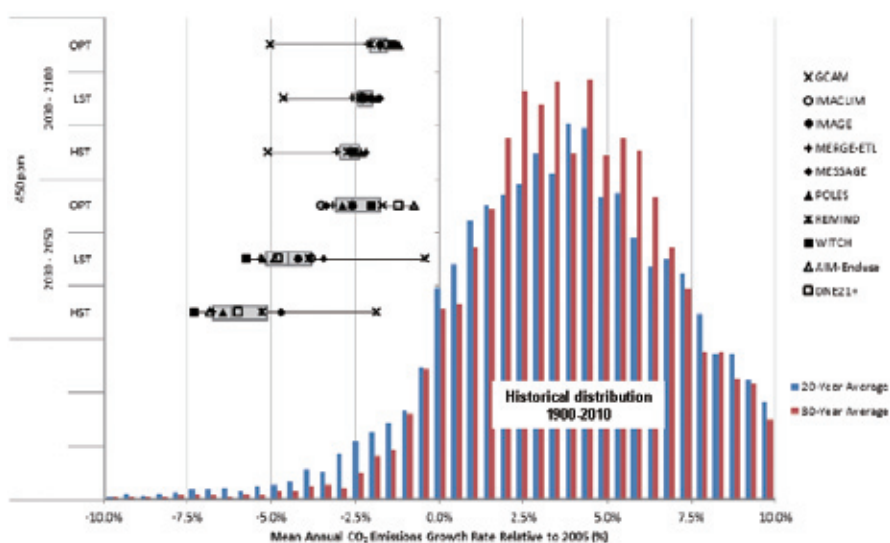


図4 過去の排出削減率と450 ppmのために必要な削減率の評価<sup>4)</sup>



## 5. 統合評価モデルコンソーシアム

また、IAM関連の幅広い研究コミュニティと相互に情報交換を行っていくことを目的に、統合評価モデルコンソーシアム (IAMC) が2007年に結成されている<sup>5)</sup>。IAMCは、緩和策評価モデルを中心にしつつ、名称どおり、気候変動予測や気候変動影響・適応評価などの相互依存の評価までを含めて、総合的に評価するモデルの情報共有、意見交換の場である。また、今後のIAM研究の方向性を議論する場にもなっている。IAMCは、オープンになっており、希望すれば会費不要でいずれの統合評価モデルチームも参加が可能である。年1回のペースで会合を開催しており、RITEは結成以来、IAMCにも参加し、RITEのIAM分析結果等を紹介してきている。

RITEでは、引き続き、国際モデル比較プロジェクトにも参加し、RITEのモデル分析結果等を提供、情報発信を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) IPCC, Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press (2007)
- 2) K. Calvin et al., The role of Asia in mitigating climate change: Results from the Asia modeling exercise, Energy Economics 34, S251-S260 (2012)
- 3) V. Krey et al., Getting from here to there – energy technology transformation pathways in the EMF27 scenarios, Climatic Change (2013)
- 4) K. Riahi et al., Locked into Copenhagen Pledges - Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals Technological Forecasting and Social Change (2013)
- 5) Integrated Assessment Consortium (IAMC). <http://www.globalchange.umd.edu/iamc/home/>



## バイオ研究グループ



グループリーダー代行  
乾 将行

### 【コアメンバー】

主席研究員 乾 将行  
 副主席研究員 稲富 健一  
 主任研究員 渡辺 高延  
 主任研究員 クリスピヌス オムサバ  
 主任研究員 寺本 陽彦  
 主任研究員 城島 透  
 主任研究員 平賀 和三  
 主任研究員 田中 裕也  
 主任研究員 須田 雅子  
 主任研究員 北出 幸広

研究員 山本 省吾  
 研究員 西村 拓  
 研究員 豊田 晃一  
 研究員 渡辺 恵郎  
 研究員 信龍 亮志  
 研究員 加藤 直人  
 研究員 長谷川 智  
 研究員 竹本 訓彦  
 研究員 渡邊 彰  
 研究員 小川 昌規  
 研究員 久保田 健

研究員 生出 伸一  
 研究員 小暮 高久  
 研究員 猿谷 直紀  
 研究員 小野 達矢  
 研究員 荒金 光弘  
 研究員 依田 篤人  
 研究員 橋本 龍馬  
 研究員 前田 智也

## バイオリファイナリーの世界動向と実用化への取り組み

### 1. はじめに

バイオリファイナリーはバイオマスを原料としたバイオ燃料や化学品製造に関する技術や産業を意味し、2030年には市場規模が\$300 Billionに達するとの予測もある。米国では1990年代からITと並び、21世紀の脱化石資源・循環型社会の構築に向けた革新技術、新産業として位置づけられ、国家戦略として技術開発が強力に推進されてきた。IT産業の発展にはベンチャー企業の活躍が大きく貢献したが、バイオリファイナリー分野においても、すでに多くのベンチャー企業が誕生し、それら企業群への各種ファンド等からの投資総額は、IT関連企業へのそれを上回っているとされている。特にバイオ燃料では、米国政府の手厚い助成策や原油価格の高騰等もあり、200を越えるバイオエタノールプラントが建設され、米国でのバイオ燃料市場は急速に拡大した。しかし、コーンを原料とするエタノール生産はトウモロコシ生産の約40%を消費し、食料資源との競合による世界的な穀物価格高騰の主要な原因とされたことから、近年ではセルロースなどの非可食バイオマスを原料とした生産技術開発に対して積極的な支援が行われている。セルロース系バイオ燃料は、コーンエタノールよりも温室効果ガス削減効果が大きく、資源量も豊富なことから、クリーン燃料の切り札として今後も大きな期待が続くと予想される。

### 2. 米国でのバイオエタノール生産状況と次世代バイオ燃料への期待

2013年の世界のバイオエタノール生産量は、F.O. Licht 社等によると225億ガロン（8500万KL）に達し、2012年から1.5%増える予測である。米国でも昨年のバイオエタノール生産量は若干増加して世界生産量の約60%（135億ガロン）を占めた。

## 2.1 再生可能燃料基準 (RFS2) の修正と2014年度目標の提案

米国では、食料資源との競合を回避しながらバイオ燃料（再生可能燃料）の製造・消費拡大を行うため、2007年12月にエネルギー自立・安全保障法（Energy independent and security act of 2007 : EISA）を成立させ、2005年に制定した再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard : RFS）をさらに拡大修正したRFS2を2010年から実施して非可食バイオマスへの原料転換を進めてきた（図1）。ところが、原料転換は順調に推移するどころか、完全にストップしている状況にある。米国環境保護庁（EPA）は、RFS2で定められているセルロースエタノールの使用義務量達成は困難として2010年以降、毎年目標値を大幅に減少させた値に修正しているが（図2）、その後の実生産量も未達の状況になっている。

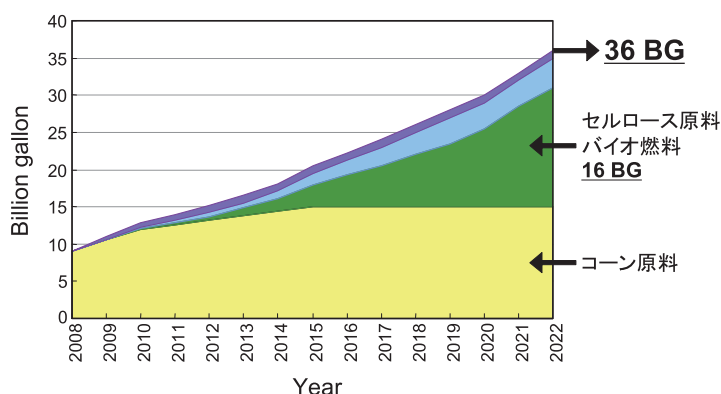


図1 米国におけるバイオ燃料導入計画

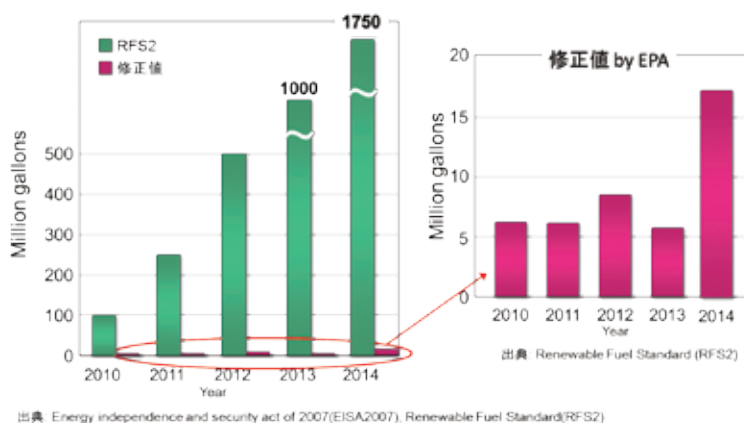


図2 米国におけるセルロース系バイオ燃料導入計画と修正値

昨年11月、EPAは2014年度の使用義務量を公表した。発表された内容では、再生可能燃料全体で従来計画から約16%の低減量が提案されている。この低減は、シェール革命による米国原油生産の増加や混合するガソリン需要の減少などが理由とされているが、その中でもセルロース系バイオ燃料については、逆に昨年の約3倍にあたる1700万ガロンが目標量として計画されている（図2、右図）。セルロース系バイオ燃料の目標値の増加は、大手化学会社やベンチャー企業によ

る年産10万KLレベルの農業残渣（コーンストーバー）を原料とするエタノールプラントの稼働が2014年から予定されているためだが、実は当初計画よりも稼働開始が軒並み3～4年遅れている。次章でその原因について述べる。

## 2.2 セルロースエタノールの現状と問題点

この理由は、膨大な研究開発費が投入されてきたにもかかわらず経済性あるセルロースエタノール製造が現状技術では確立されていないことにある。セルロースエタノールのキーとなる製造プロセスは、セルロースの結晶構造を緩めて糖化を促進する前処理工程と発酵工程の2つから構成される。「技術的な壁」は、前処理工程における「発酵阻害物質（フルフラール等）」の副生である（図3）。

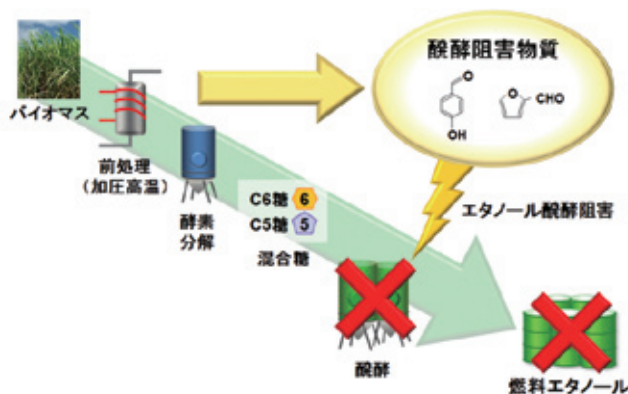


図3 発酵阻害物質による発酵工程への影響



図4 “セルロースエタノール生産”実現への障害

副生を抑えるため、原料セルロースの前処理条件（温度、処理時間等）をマイルドにすると、糖化酵素セルラーゼの必要量の大幅アップが避けられず、当初予測をはるかに超える量となる点にある。逆にハードな前処理条件にすると、セルラーゼ必要量が減り酵素コストが下がるが、発酵阻害物質が多量に副生してエタノール発酵効率が低下する。即ち、前処理条件と必要酵素量はtrade-offの関係となっているのである（図4）。現状では、必要酵素セルラーゼのコストは、ガロン・エタノール当り、\$3～5に達すると言われ、経済性が低い状況である（ガソリンの末端価格から計算されるエタノール価格は\$3前後となる）。これに対し、工学的に該阻害物質を除去する方法や、発酵に用いる微生物に耐性機能を付与させる試みなどが行われているが、経済性ある解決策がないのが現状である。

## 2.3 次世代バイオ燃料への期待

エタノールに続く次世代バイオ燃料として注目されているのが、ブタノール燃料である。ブタノールは熱密度が高く、水にはほとんど溶けないために製油所で混合し、既存のインフラ設備（パイプライン）で輸送できるという大きな利点がある。ブタノールの生産方法について、近年、バイオマス資源を原料とする発酵法が改めて注目されている。バイオブタノール生産方法はクロストリジウム属細菌を用いる古典的なABE発酵法の改良や、新たに工業用微生物にブタノール生合成遺伝子を導入してブタノールを生産させる方法などがある。RITEでは、大腸

菌にブタノール生合成遺伝子を導入したブタノール生産を世界に先駆けて発表しているが、近年ではさらに分岐鎖アミノ酸合成経路の中間代謝物を利用したブタノール生産の可能性が報告され、これらの代謝系を利用した幅広い微生物種での製造技術開発が行われている。

最近、バイオブタノールは航空機燃料素材の一つとしても大きく注目されている。IEA（国際エネルギー機関）によると、2050年に運輸部門で最大のCO<sub>2</sub>排出量割合（40%）を占めるのは航空機部門の見通しである（IEA Energy Technology Perspective 2010）。現在、航空機からのCO<sub>2</sub>排出量は運輸部門の約20%を占めるが、航空機は抜本的な改善策が容易ではなく、機体の軽量化などの対策が進んでも、旅客数やLCCの増加によりCO<sub>2</sub>排出量が増え続けることが大きな理由とされている（図5）。従って、航空機からのCO<sub>2</sub>排出削減対策として、バイオマス为原料とする航空機用バイオ燃料に大きな期待が寄せられている。ブタノールはオリゴマー化や水素化により容易にジェット燃料へ転換できることから（図6）、米国ではベンチャー企業を中心にバイオジェット燃料生産技術開発が始まっているが、原料としてはセルロースエタノールと同様に、非可食バイオマスの利用が必須である。

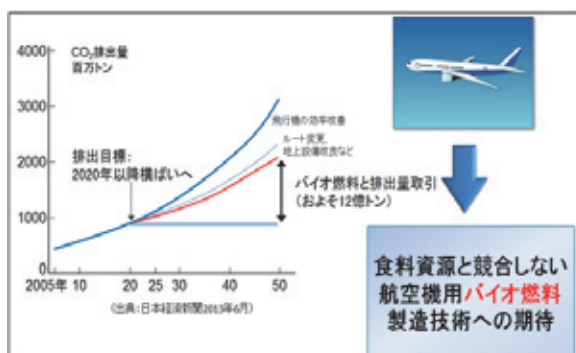


図5 航空機からのCO<sub>2</sub>排出量

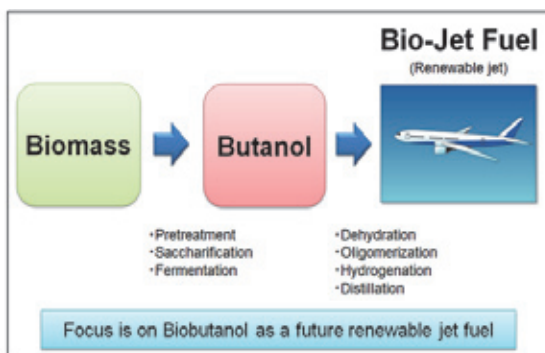


図6 航空機燃料素材としてのバイオブタノール

### 3. グリーン化学品

バイオ燃料とは状況が大きく異なるのが、グリーン化学品分野である。グリーン化学品は、バイオ燃料と比較し、より高度な技術開発が求められるが、製品としては、付加価値も高く、ビジネスモデルも設計しやすい。海外大手化学企業などは、再生可能資源を原料とした生産体制の構築を進めており、化石資源への依存を減らして持続可能な生産体制を作ることが狙いと考えられる。このため、優れた技術を持つベンチャー企業との提携やバイオ原料に自社技術を変換する技術開発に取り組んでいる。これらベンチャー企業のビジネスプランを見ると、グリーン化学品生産は、バイオ燃料と比較し、生産量自体も小さいため、食料資源との競合の批判も少ないとの判断から、各社とも当面は、トウモロコシ等の澱粉由来のC6糖を原料としている。しかしながら、持続可能な産業として発展していくためには、原料としてはバイオ燃料と同様に、食料資源と競合しない非可食バイオマスへの転換が必要である。

#### 4. RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）の技術開発

バイオ研究グループでは、これまでに新規技術コンセプトに基づく革新バイオプロセス「RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）」を確立し、バイオ燃料や有機酸を始めとしたグリーン化学品を、高経済性で製造する技術開発に大きな成果を上げてきた。本プロセスは、非可食バイオマス由来の混合糖（C6とC5糖類）の同時利用をはじめとする世界初の成果を達成しており、バイオ燃料生産に応用した「セルロースからの混合糖同時変換によるエタノール製造技術」は、第18回日経地球環境技術賞の大賞に選出されるなど高い評価を頂いている（RITE Today 2009 トピックス参照）。本プロセスは海外でも注目されており、当グループリーダーは2011年度米国工業微生物学会Fellowship awardを日本人で初めて受賞し（同2012、トピックス参照）、米国エネルギー省傘下の研究所との共同研究も実施している（同2013、トピックス参照）。また、ドイツの研究グループがコリネ型細菌を用いて追試を行い、微生物の増殖と生産フェーズを分離する我々の革新的なバイオプロセスが可能であることを確認している。以下にRITEバイオプロセスの技術内容を紹介する。

##### 4.1 RITEバイオプロセスの特徴

本プロセスでは、目的物質を効率的に生産できるように代謝設計した微生物（コリネ型細菌）を大量に培養し、細胞を反応槽に高密度に充填後、嫌気的な条件で細胞の分裂を停止させた状態で反応を行う（図7）。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、このため増殖に必要な栄養やエネルギーが不要である。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（space time yield；STY, 単位反応容積の時間あたりの生産量）を備えたバイオプロセスが実現した。

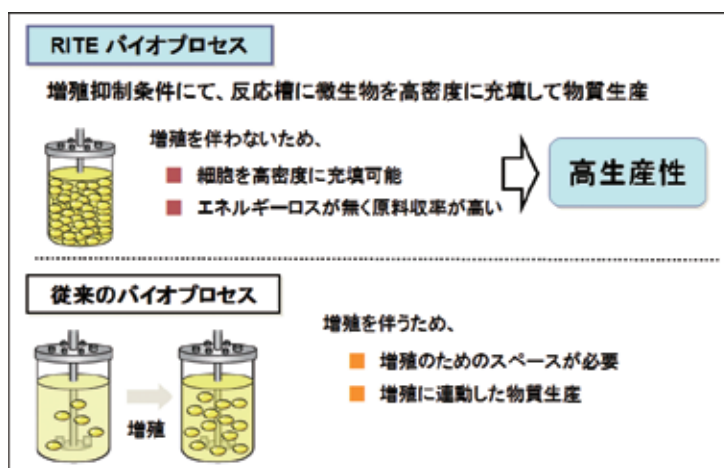


図7 RITEバイオプロセスと従来法の比較

##### 4.2 C6糖類, C5糖類の完全同時利用

食料資源バイオマスの構成糖はグルコースなどのC6糖類であるが、セルロース系バイオマスの加水分解物である混合糖には、セルロース由来のC6糖類と、

ヘミセルロース由来のC5糖類（キシロース、アラビノース）が共存している（図8）。そのため、発酵工程に用いる微生物は、混合糖中のC6糖類とC5糖類を同時利用できることが効率的物質生産に必須の条件となる。我々は、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。

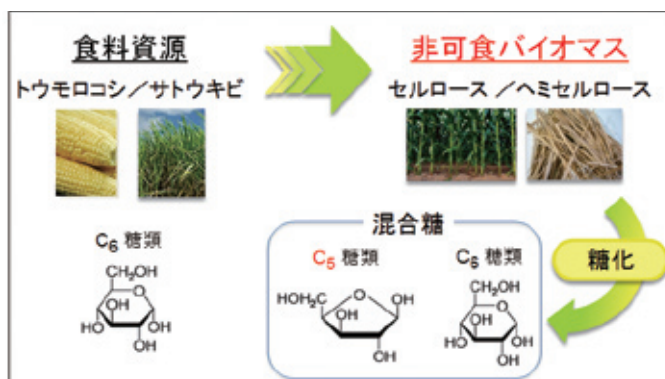


図8 非食料バイオマスの糖化による混合糖の利用拡大

#### 4.3 発酵阻害物質に対する高度耐性

発酵阻害物質とはフェノール類やフラン類、有機酸類などを指し、セルロース系バイオマスの糖化工程で副生されるバイオマスの過分解物である。微生物の生育を強力に阻害するため工業化では大きな課題であった（図3）。しかしながら、RITEバイオプロセスは、これらの発酵阻害物質に対して高い耐性を示した。この理由は、発酵阻害物質の作用機構は微生物の増殖阻害であり、我々のプロセスは非増殖状態で物質生産が行われているためである。即ち、増殖非依存型のRITEバイオプロセスにおいては、その代謝機能は、発酵阻害物質から影響を受けないことが明らかとなった。

#### 4.4 生産物の拡大

コリネ型細菌のゲノム情報に基づいたメタボローム解析や代謝設計、システムバイオロジーを駆使した遺伝子改良により、本プロセスを利用したバイオ燃料やグリーン化学品の拡大を進めている。エタノール、L-、D-乳酸、コハク酸等の高効率生産に加えて、ブタノールや芳香族、アミノ酸など幅広い展開を図っている（図9）。

芳香族化合物は、電子機器や自動車産業等では部品や素材原料の主要化合物であるが、従来の発酵法では経済的生産が極めて困難とされている。従って、これらをRITEバイオプロセスでグリーン化学品として生産することにより、日本企業が高い競争力を維持している産業分野のさらなる強化に貢献できる。また、アミノ酸は、通気攪拌用のコンプレッサーや攪拌モーター等の設備が必要な好気プロセスで発酵生産されている。RITEバイオプロセスは、これらの設備を大幅に簡略化でき、より低コストでの生産が可能と予想されることから、本プロセスを利用したアミノ酸製造技術開発を進めている。



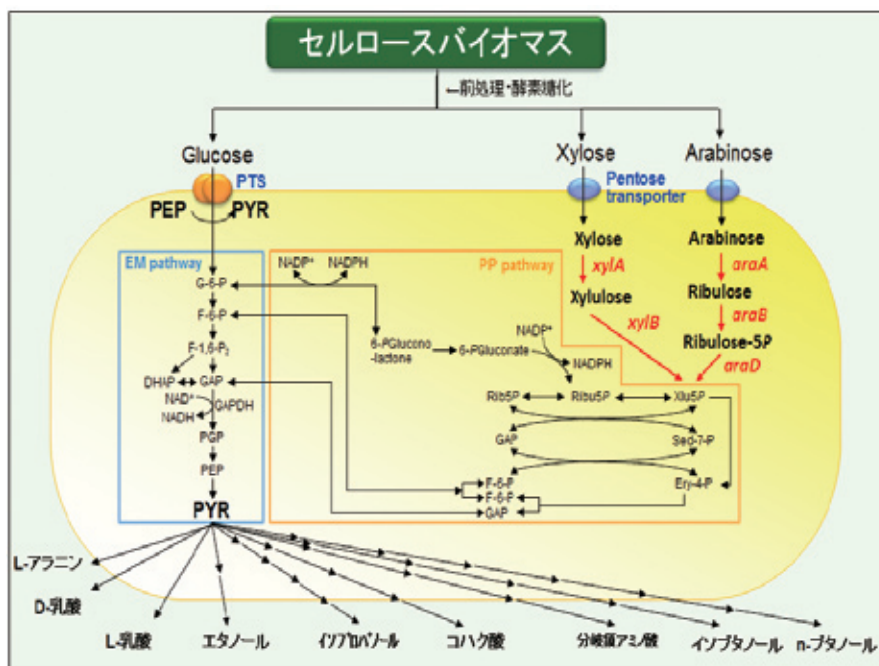


図9 コリネ型細菌の代謝設計によるグリーン化学品・燃料（鎖状化合物）の生産

## 5. RITEの取り組み

### 5.1 RITE発ベンチャー企業の創立

前述したように、RITEバイオプロセスの研究成果をバイオリファイナリー産業の実現に活用し世界をリードする機能設立の要望を受け、RITE発のベンチャー企業として、Green Earth Institute (GEI) 株式会社を、2011年9月に創立した。設立趣旨は、RITEバイオプロセスの事業化、ならびに温暖化対策を含む地球環境の保全及び持続可能な脱化石資源社会の実現である（RITE Today 2012 トピックス参照）。本年1月にはパイロット生産設備を備えたGreen Earth研究所が千葉県かずさアカデミアパークに完成し、非可食バイオマス由来の混合糖を原料とした化学品生産の実証実験を開始する予定である。

### 5.2 米国エネルギー省「再生可能エネルギー研究所（NREL）」との共同研究

NRELは、バイオリファイナリー分野で世界の研究をリードする研究機関であり、非可食バイオマス資源からの混合糖調製に関する研究成果や技術情報、幅広いバイオマス種に対応しうる前処理や糖化技術を保持している。前述したように、セルロースエタノールの経済性ある製造実現には、課題である「発酵阻害物質」の解決が必須である。NRELはRITEバイオプロセスが有する発酵阻害物質耐性機能に着目し、2011年より我々と共同研究を実施してきた。その結果、相互の研究成果を組み合わせることにより、「発酵阻害物質」への課題が抜本的に解決されることが研究レベルで実証された。昨年よりGEIも参加した技術開発に取り組んでおり、非可食バイオマスを原料とした経済性あるエタノール生産の早期実現を目指す予定である。

### 5.3 バイオブタノール生産技術開発

前章で紹介したようにRITEでは、ブタノール生合成系遺伝子を導入したコリネ型細菌を用いたRITEバイオプロセスにより、非可食バイオマス由来の混合糖（C5+C6糖類）を原料とした高効率バイオブタノール生産技術開発を実施している。目標である非可食バイオマス由来混合糖からブタノールへの変換率（対糖収率）を目指し、代謝工学を駆使してコリネ型細菌の育種を行い（図10）、ブタノール生成における高いSTYを達成している。

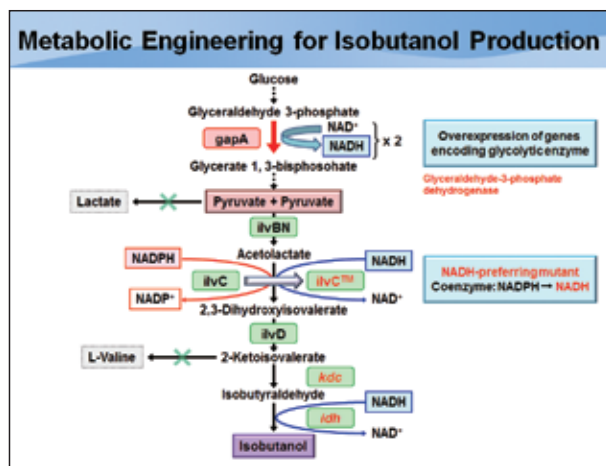


図10 バイオブタノール生産株の育種

ブタノールは微生物の増殖に対し強い細胞毒性を有し、ブタノール生産を阻害することが知られているが、コリネ型細菌は他の微生物よりも耐性が優れていることから高い生産性が期待される。また、昨年航空機燃料素材としての利用をめざした新たなプロジェクトも開始し、バイオブタノール研究開発を加速している（トピックス参照）。

### 6. 終わりに

NRELとの共同研究開発における当面の目標は、非可食バイオマスからの燃料エタノールの高経済性生産であり、この実現による波及効果はエタノール生産に留まらない。バイオリファイナリー産業の原料となる“非可食バイオマス由来の混合糖”が、低コストで供給可能となることにより非可食バイオマスからのブタノールなどの次世代バイオ燃料やグリーン化学品の広範囲な製造も可能となる。NRELとの国際共同研究をさらに進め、バイオリファイナリー産業の実現・拡大による地球環境保全、さらに持続可能社会の実現を図っていきたい（図11）。

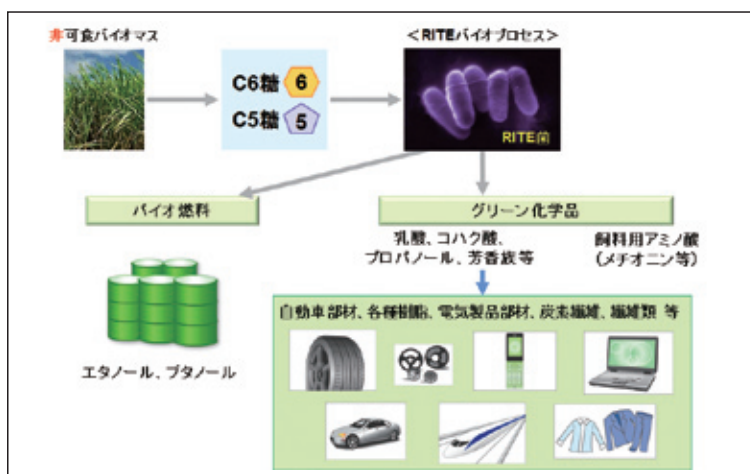


図11 バイオリファイナリー産業の早期実現へ



## 化学研究グループ



グループリーダー  
中尾 真一

### 【コアメンバー】

サブリーダー・副主席研究員	山口 隆志	研究員	段 淑紅
主席研究員	伊藤 直次	研究員	Firoz Alam Chowdhury
主席研究員	東井 隆行	研究員	山本 信
主任研究員	池田 健一	研究員	山田 秀尚
主任研究員	甲斐 照彦	研究員	渡部 毅
主任研究員	加藤 次裕	研究員	山崎 浩太
主任研究員	後藤 和也	研究員	斉藤 崇
主任研究員	余語 克則	研究員	藤木 淳平
		研究員	伊藤 史典

## CO<sub>2</sub>分離・回収技術の高度化・実用化、 及び水素エネルギー社会構築に向けた 無機膜、膜反応器開発への取り組み

### 1. CO<sub>2</sub>分離・回収技術研究開発

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。

CCSコストの約6割程度は排出源からのCO<sub>2</sub>回収に要すると試算されており、CCSの実用化促進にはCO<sub>2</sub>分離・回収コストの低減が重要である。

RITE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、今までに化学吸収法、膜分離法、吸着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、COCSプロジェクト (2004~2008年度) での高性能化学吸収液の開発成果を引き継ぎ、製鉄所高炉ガスを対象にした実証研究となるCOURSE50プロジェクト (2008~2012年度) に参加し、より高性能な新化学吸収液の開発に着手した。その結果、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。ここで開発された化学吸収液は、民間企業での採用が決定している。さらに、本年度から引き続きCOURSE50プロジェクトSTEP2 (2013~2017年度) に参加し、CO<sub>2</sub>分離・回収コストをより一層低減する革新的な高性能化学吸収液の開発に取り組んでいる。

膜分離法では、H<sub>2</sub>を含む高圧ガスからCO<sub>2</sub>を選択的に分離・回収する分子ゲート膜で、IGCC等の高圧ガスから1,500円/t-CO<sub>2</sub>でCO<sub>2</sub>を回収することを目指している。 dendrimerを用いる新規な高分子系材料がCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離に優れること



を見出し、この dendrimer と架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜の開発を行っている。現在は、RITE と民間企業3社で技術研究組合を設立し、実用化を目指した分離膜、膜モジュール、膜分離システムを開発中である。最近では、ポリビニルアルコール (PVA) 系の膜材料の改良を進め、0.7MPa の加圧条件において、プロジェクトの目標性能を示す複合膜の開発に成功した。

吸着法では、これまでに蓄積した化学吸収法等のCO<sub>2</sub>分離・回収技術をベースに、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開発とプロセス評価技術の開発を実施中である。現在、固体吸収材を用いたCO<sub>2</sub>分離・回収に適したより高性能な固体吸収材 (目標とする分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>) を見出すべく研究開発に取り組んでいる。これまでに、RITE液をベースとして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。

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>分離技術をリードし、かつ産業界が受け入れ可能な実用的な技術開発を進めている。

なお当グループは、ゼオライト分離膜によるCO<sub>2</sub>分離技術、パラジウム膜によるH<sub>2</sub>分離技術、膜・吸収ハイブリッド法によるCO<sub>2</sub>分離技術、圧力を利用したプラスチック成型技術などの独自シーズ技術を有しており、その普及に努めている。その中で膜・吸収ハイブリッド法によるCO<sub>2</sub>分離技術が民間企業に採用され、稼働している。

## 2. 化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

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

2004年度から2008年度においては、「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発」プロジェクト (COCSプロジェクトと呼称) を企画推進し、それまで基準として使用されていたMEA (モノエタノールアミン) 吸収液のCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーに対して、本プロジェクトで開発した吸収液は分離・回収エネルギーを大幅に低減した吸収液を開発することができた (図1)。

この開発成果は、製鉄所プロセスガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収を目的とした環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト (COURSE50、2008~2012年度) に引き継がれた。

本プロジェクトにおいては、目標とした吸収液の分離・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℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出し、開発することに成功した (図2)。COURSE50における高性能化学吸収液の開発成果については、民間企業での採用が決定した。

引き続き、本年度から環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクトStep2 (COURSE50 Step2、2013~2017年度) に参加し、CO<sub>2</sub>分離・回収コストをより一層低減する革新的な高性能化学吸収液の開発に取り組んでいる。

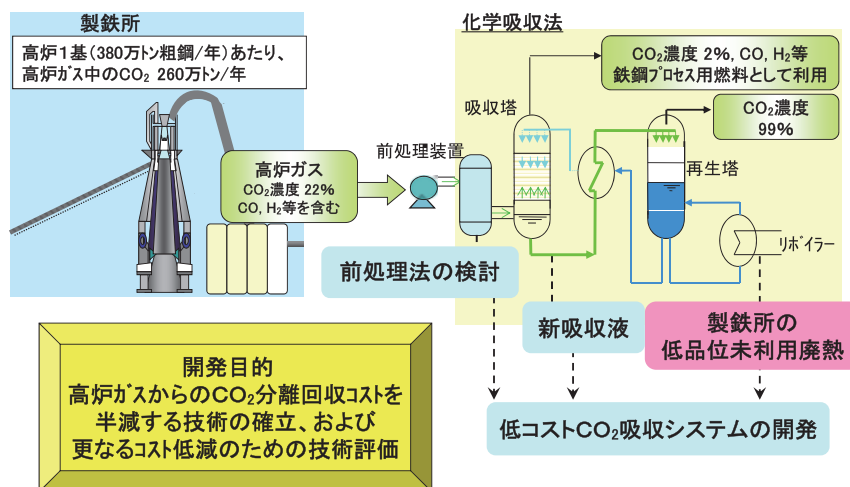


図1 低品位廃熱を利用するCO<sub>2</sub>分離回収技術(COCS)概要

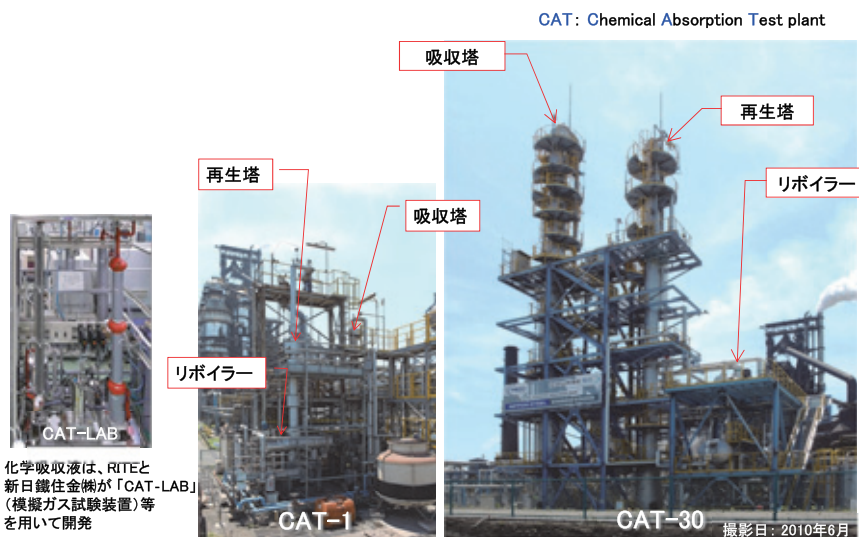


図2 試験設備の外観

また、これまでの吸収液開発で培った研究経験を基に、高压CO<sub>2</sub>含有ガス（例えば、石炭ガス化ガス）からのCO<sub>2</sub>分離・回収において、CO<sub>2</sub>の吸収および放散性能に優れたアミン系化学吸収液を開発している。

本研究の目的は、処理ガスの持つ高い圧力エネルギーをCO<sub>2</sub>の分離・回収および回収後のCO<sub>2</sub>圧縮工程に有効利用することで、それらに要するエネルギーを大幅に低減することができる高性能な吸収液（高压再生型化学吸収液）の開発である。

現在開発中の高压再生型化学吸収液は、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性能な化学吸収液であり、圧縮工程を含む分離・回収エネルギー消費量として、開発目標の1.2GJ/t-CO<sub>2</sub>以下を達成する見通しを得ている。

### 3. 高圧ガスからCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を分離する高分子系膜の開発

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「ゼロ・エミッション石炭火力発電」がある（integrated coal gasification combined cycle with CO<sub>2</sub> capture & 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用いる（図3）。この圧力を有する混合ガスから、1,500円/t-CO<sub>2</sub>以下のコストでCO<sub>2</sub>を回収できる新規な分子ゲート膜を開発中である。

分子ゲート膜は、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を効率良く分離することが可能である。図4に分子ゲート膜の概念を示す。ここで、膜中のCO<sub>2</sub>が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。

RITEでは、デンドリマーを用いる新規な高分子系材料が優れたCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>の分離性能を有することを見出し、このデンドリマーと架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜の開発を行っており、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（図5）。

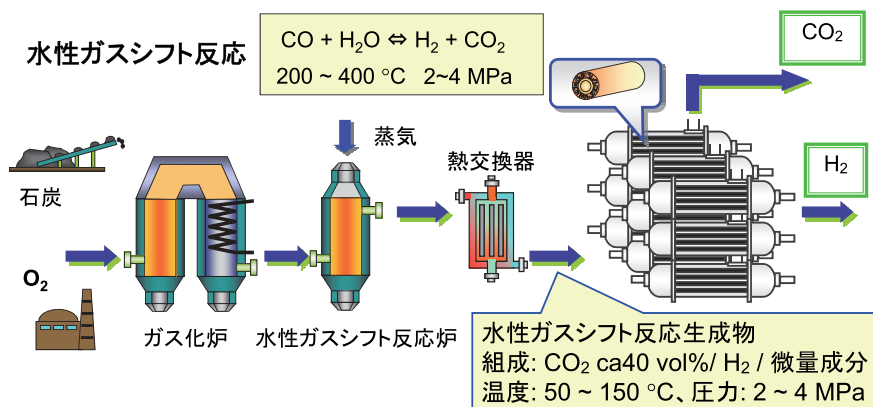


図3 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電(IGCC)からのCO<sub>2</sub>分離回収

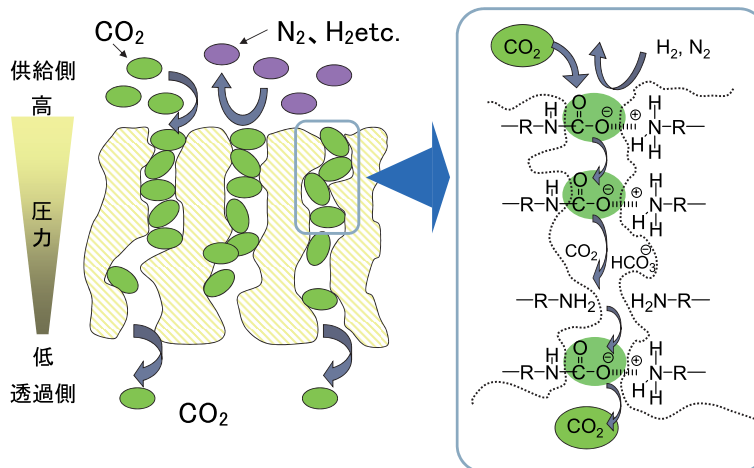


図4 分子ゲート膜の概念図

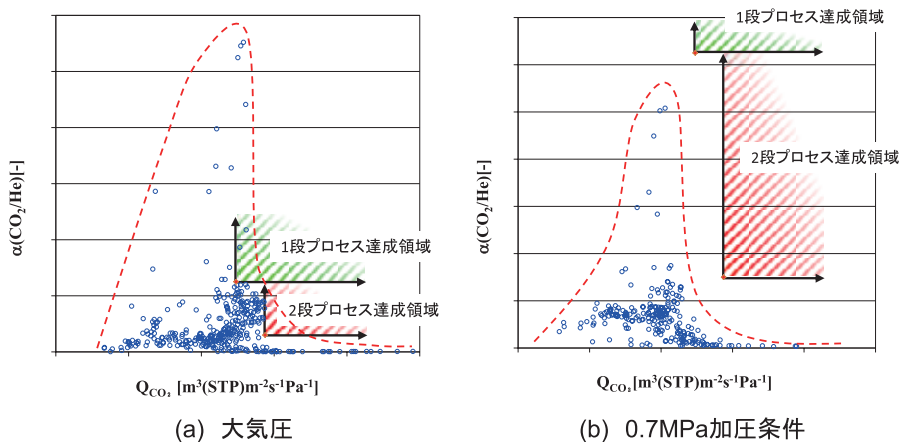


図5 PVA系分子ゲート膜の分離性能 ( $Q_{CO_2}$ : CO<sub>2</sub>透過速度、 $\alpha$ : 選択性)

この成果を元に、株式会社クラレ、日東電工株式会社の分離膜メーカー2社及び新日鉄住金エンジニアリング株式会社と次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、分離膜開発、膜モジュール開発、膜分離システム開発を実施中である（図6）。その中でRITEはクラレと共同で分離膜の開発を担当しており、IGCC等の圧力ガスからのCO<sub>2</sub>回収コストを1,500円/t-CO<sub>2</sub>とする膜を開発中である。最近では、ポリビニルアルコール（PVA）系の膜材料の改良を進め、0.7MPaの加圧条件において、プロジェクトの目標性能を示す複合膜の開発に成功し、実用化に向けて大きな一歩を進めることができた。今後は、さらなる複合膜性能の向上、耐圧性や耐久性付与等の実用化に向けた検討を進めていく。

デンドリマー膜の開発は、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「圧力ガスが

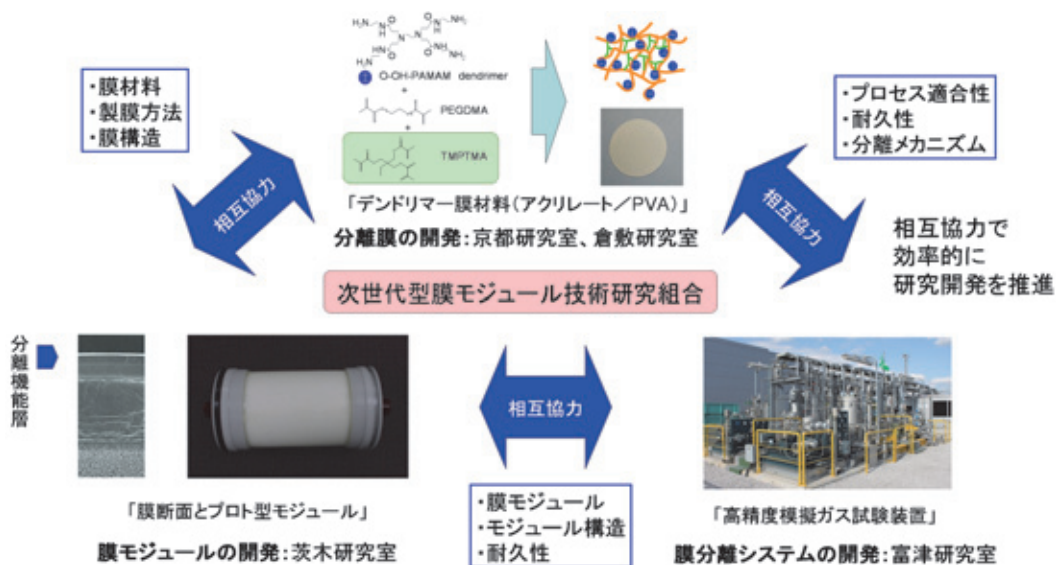


図6 民間企業との連携による膜モジュール化

らのCO<sub>2</sub>分離」に登録され、米国エネルギー省国立エネルギー技術研究所（DOE/NETL）と共同研究を実施している。更に、ノルウェー科学技術大学ともCO<sub>2</sub>分離膜に関する学術交流を実施しており、国際協力体制の下で研究開発を行っている。

\*米国が、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提案した組織。日本を含む多数の国・地域が参加しており、CO<sub>2</sub>の回収、地中貯留等に關する多数のプロジェクトに対して支援を行っている

#### 4. 固体吸収材の開発

地球温暖化対策としてのCCS技術は早期の実用化が期待されており、化学吸収法の実証研究や商業規模の事業検討が行われている一方、更なる低エネルギー消費・低コスト型のCO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発も求められている。RITEは、これまでに蓄積した化学吸収法等のCO<sub>2</sub>分離・回収技術をベースに、2010年度より経済産業省からの委託事業「二酸化炭素回収技術高度化事業」で、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開発とプロセス評価技術の開発を行っている（図7）。なお、本事業では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（目標とする分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>）を見出すべく研究開発に取り組んでいる。

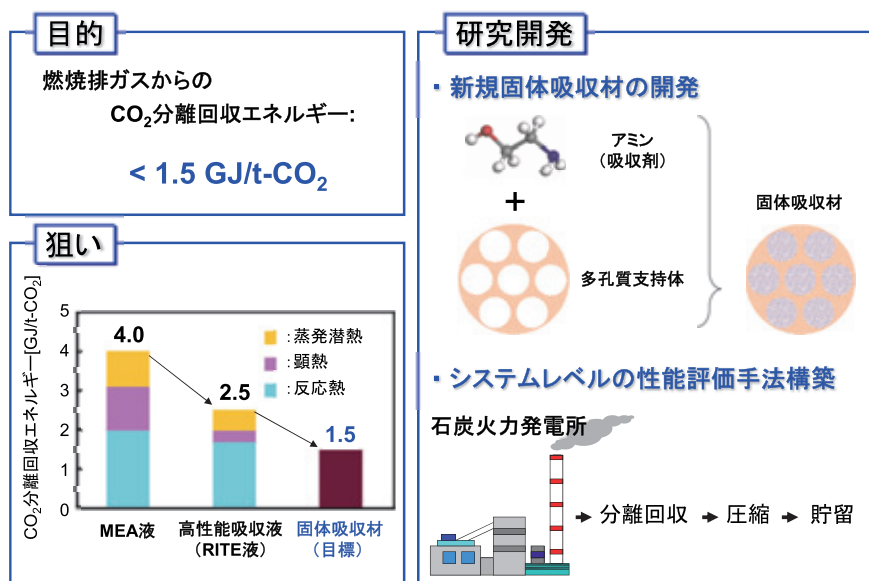
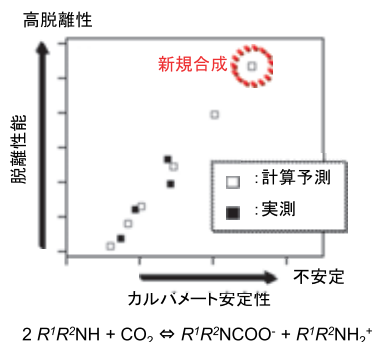


図7 二酸化炭素固体吸収材等研究開発

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固体であり、化学吸収液と類似のCO<sub>2</sub>吸収特性を有しながら、再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーの大幅低減が期待できる。これまで、固体吸収材の開発に実績のある米国のNETLと情報交換を行い、RITEの化学吸収液技術を発展させた新規固体吸収材の研究開発を進めてきた。そして、アミンの分子構造とCO<sub>2</sub>脱離性能との関係性を計算により明らかにしたことで、脱離性能に優れ、高いCO<sub>2</sub>回収容量を有するRITE独自の固体吸収材を開発することに成功した（図8）。



計算化学によるアミンとCO<sub>2</sub>との反応解析



固体吸収材のCO<sub>2</sub>吸収特性

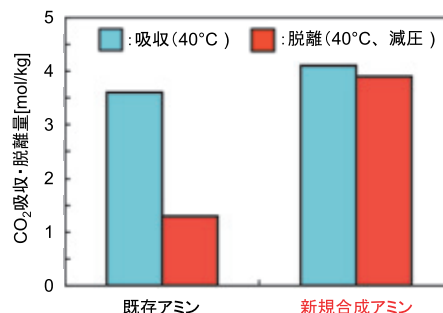


図8 計算化学を活用した高効率回収型アミンの探索

また、プロセス評価技術の開発では、アミンとCO<sub>2</sub>の反応を考慮して、CO<sub>2</sub>分離・回収プロセスおよびCO<sub>2</sub>回収型の石炭火力発電システム全体を対象としたプロセスシミュレーション技術の構築を進めている(図9)。本事業で開発する固体吸収材によるCO<sub>2</sub>分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、化学吸収法と比べて発電効率の低下を約2%改善出来ると見込んでいる。現在、小型連続回収試験を行い固体吸収材のプロセス性能を評価するとともに、発電システムレベルでのプロセスシミュレーションによりCO<sub>2</sub>分離・回収技術が発電効率に与える影響を解析し、CO<sub>2</sub>高効率回収・低エネルギー消費型のCO<sub>2</sub>分離・回収技術の実現可能性を検証中である。

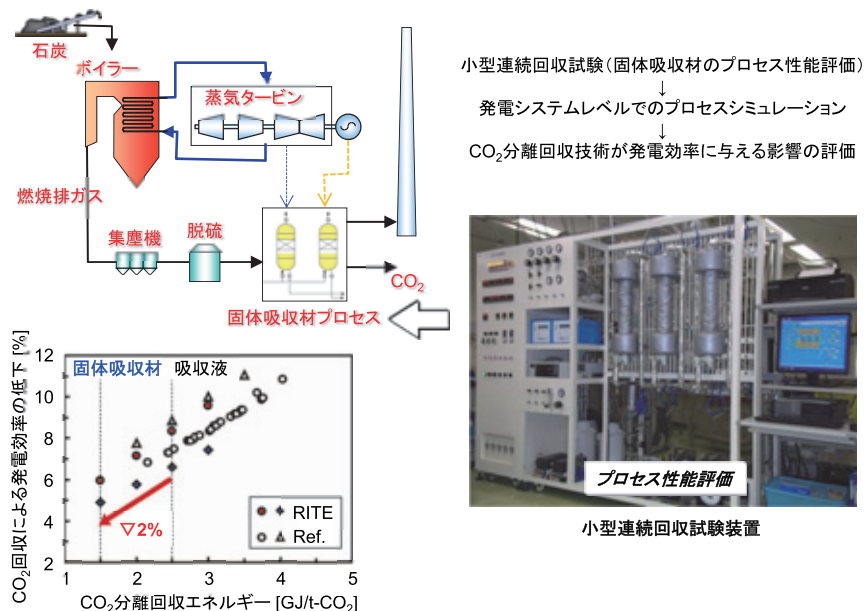


図9 CO<sub>2</sub>回収型発電システムのプロセス設計



## 5. 水素エネルギー社会を支える無機膜技術開発

当グループでは、これまで、放出されるCO<sub>2</sub>を回収・貯留するCCSのためのCO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発を行ってきた。今後は、CO<sub>2</sub>排出そのものを削減する技術内容にも取り組んでいく。具体的には、自然エネルギーやバイオマス等の再生可能エネルギー由来のH<sub>2</sub>を、CO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーとして使用するプロセスの構築を目指す。その中で、必要となるH<sub>2</sub>の分離精製のために、無機系H<sub>2</sub>分離膜開発に取り組む。

2013年度に開始された文部科学省プロジェクト中で、RITEは広島大学、山口大学、宇都宮大学、工学院大学、産総研と共同で、エネルギーキャリアとしての化学系水素貯蔵輸送物質（メチルシクロヘキサン、アンモニア）からの水素の回収・分離精製用の水素分離膜として、CVDシリカ膜などの多孔質無機膜、パラジウム合金膜の開発を実施する。また、多孔質無機膜の細孔径分布の評価技術の検討を実施する。

また、2013年度に開始された経済産業省プロジェクト中で、RITEは千代田化工建設株式会社と共同で、メチルシクロヘキサンをキャリアとする水素輸送システムを一般に普及させるため、現行の水素発生システムをコンパクト化し、低温での運転を可能とする革新的脱水素プロセス技術としてメンブレンリアクターの実用化に向けた研究開発を実施する。CVDシリカ膜の長尺化、メンブレンリアクターの技術課題の明確化に関する検討を実施する。

また、製鉄所プロセスガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収を目的とした環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクトStep2（COURSE50 Step2）中では、高炉ガス（BFG）の有効活用を目的として、CVDシリカ膜を用いたメンブレンリアクター（シフト反応、H<sub>2</sub>分離）によるBFGからのH<sub>2</sub>製造に関する研究開発を行う予定である。



## CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ



グループリーダー  
山地 憲治

### 【コアメンバー】

サブリーダー・主席研究員	野村 眞	主任研究員	大槻 芳伸	主任研究員	利岡 徹馬
主席研究員	薛 自求	主任研究員	喜田 潤	主任研究員	中神 保秀
主席研究員	上林 匡	主任研究員	木山 保	主任研究員	高野 修
副主席研究員	太田 洋州	主任研究員	三戸彩絵子	主任研究員	名井 健
主任研究員	間木 道政	主任研究員	田中 良三	研究員	張 毅
主任研究員	橋本 励	主任研究員	岡林 泰広	研究員	内本 圭亮
主任研究員	西澤 修	主任研究員	河田 裕子	研究員	中野 和彦
主任研究員	白垣 修	主任研究員	辻本 恵一	研究員	朴 赫
主任研究員	中島 崇裕	主任研究員	渡辺 雄二	研究員	伊藤 拓馬
		主任研究員	東 宏幸		

## 実適用を目指すCO<sub>2</sub>貯留技術開発の取り組み

### 1. はじめに

温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出削減は喫緊の課題である。火力発電所や製鉄所等の大規模排出源から排出されるCO<sub>2</sub>を分離回収し地中に貯留するCCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、燃料消費率改善、燃料転換、再生可能エネルギー利用拡大といった他のCO<sub>2</sub>排出削減策とともに、効果的な地球温暖化対策技術として重要視されている。

国際エネルギー機関 (IEA) は、「エネルギー技術展望2012」の分析において、世界の平均気温の上昇を2℃以内に抑えるという世界的な合意を達成するためには、CCSが2050年時点で必要なCO<sub>2</sub>削減量の17%を担う必要があるとするなど、CCSを重要な低炭素エネルギー技術の一つとして位置付けている。

このような状況の中、我が国ではCCS大規模実証試験が立ち上げられ、日本CCS調査株式会社が北海道苫小牧市において坑井掘削等を進めている。この実証試験では、大規模発生源から分離・回収したCO<sub>2</sub>を年間10万トン以上の規模で地下深部の地層 (萌別層:地下1,100~1,200m、滝ノ上層:地下2,400~3,000m) へ圧入し、安全確認のためのモニタリング等を実施する計画である。

現在、RITEは、CO<sub>2</sub>地中貯留技術研究開発、日中CCS-EORプロジェクト、国際連携・海外動向調査といった、CO<sub>2</sub>地中貯留関連の技術開発および情報収集に取り組んでおり、その成果をCCS大規模実証試験に適用し、我が国におけるCCS事業を推進することを目指している。

### 2. CO<sub>2</sub>地中貯留技術研究開発

CO<sub>2</sub>地中貯留には、油層にCO<sub>2</sub>を圧入して石油の増進回収を行うEOR、炭層にCO<sub>2</sub>を圧入してメタンを回収するECBM、枯渇ガス田への隔離、塩水性帯水層への貯留などがある。このうち、帯水層貯留では、貯留層 (砂岩) 上部にガスや

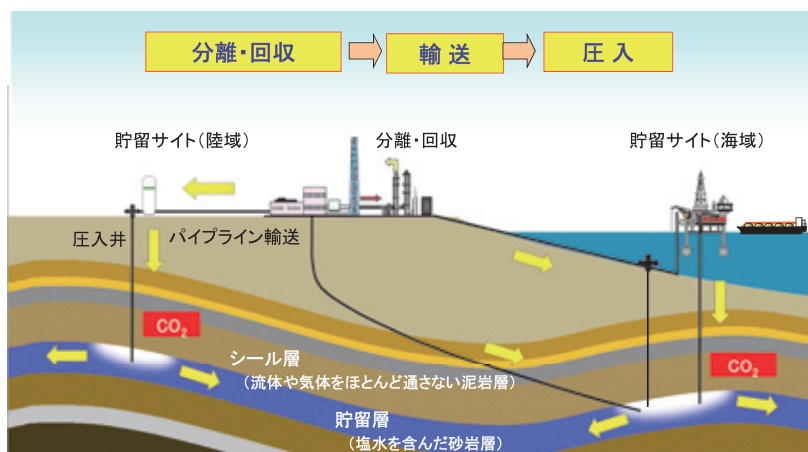


図1 CO<sub>2</sub>地中貯留の概念図

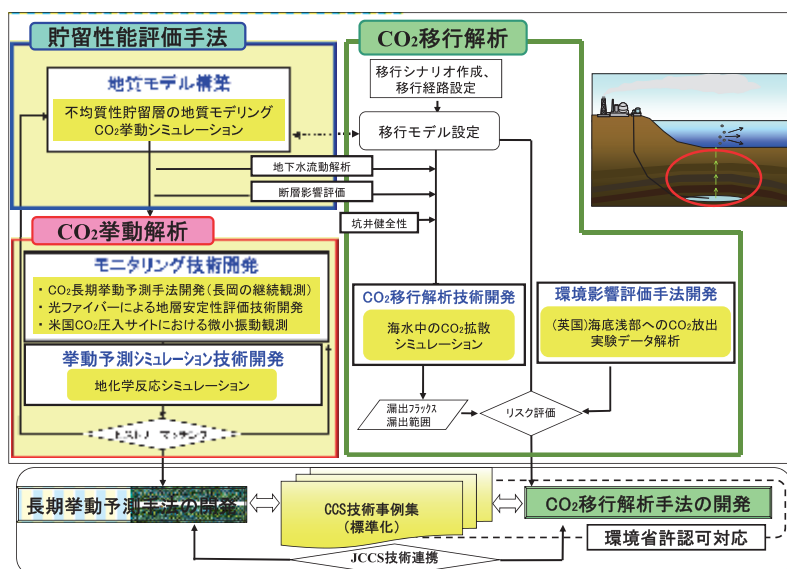


図2 CO<sub>2</sub>地中貯留の技術課題に対するRITEの取り組み

液体をほとんど通さないシール性の高いキャップロック（泥質岩）が存在することにより、CO<sub>2</sub>を長期に安定して貯留することが可能である。

図2に示すとおり、RITEはCO<sub>2</sub>地中貯留の技術課題に対する取り組みとして、貯留性能評価手法（地質モデル構築）、貯留層内のCO<sub>2</sub>挙動解析（モニタリング技術開発、挙動予測シミュレーション技術開発）および貯留層外部へのCO<sub>2</sub>移行解析（CO<sub>2</sub>移行シミュレーション技術開発、海域環境影響評価手法開発）に係る技術開発を進めている。また、これらの研究成果および国内外の知見をもとに技術事例集の作成を行っている。

### 2.1 貯留性能評価手法の開発

貯留性能評価手法の開発は、「我が国特有の地質構造モデルの構築」と「地下水流動の解析手法の開発」からなる。

我が国特有の地質構造モデルの構築では、石油・天然ガス開発において行われる地質モデル構築とその特性評価手法のCCSへの適用とその限界を明らかにし、



図3 RITEにおけるCO<sub>2</sub>地中貯留技術開発経緯

CCS特有のモデリングから特性評価までの手法を確立する。CCSでは石油開発と比べてコストや漏洩防止の観点から、坑井の掘削数や反射法探査から得られるデータが限られている。このため、地質特性評価や貯留層モデルの不確実性が増加し、CO<sub>2</sub>圧入性や分布予測などの数値解析結果への影響が大きくなる。RITEでは限られた地質学的情報と統計学的手法を統合させた地質モデルの構築手法を研究開発することを目的として、CCS実証試験長岡サイトを例として用い、特に砂泥互層を対象として、限定的な地質学的、地球物理学的データから地層の地質特性を評価し、CO<sub>2</sub>挙動解析に必要な貯留層モデルを構築した。

地下水流動の解析手法の開発では、我が国の沿岸域におけるCO<sub>2</sub>地中貯留を想定し、地質データを収集して水理地質モデルを作成し、地下水解析を実施した。その結果、CO<sub>2</sub>圧入による浅層への塩水侵入を予測するためには、CO<sub>2</sub>圧入前のサイトの地下水に含まれる塩濃度分布の把握の必要性が示されるとともに、地下水の流れを正確に予測するためには、文献値を利用するのではなく調査井などを利用し、貯留サイトの岩盤のサンプルを採取・分析して、孔隙率や浸透率などの水理定数データを取得する必要性が示された。

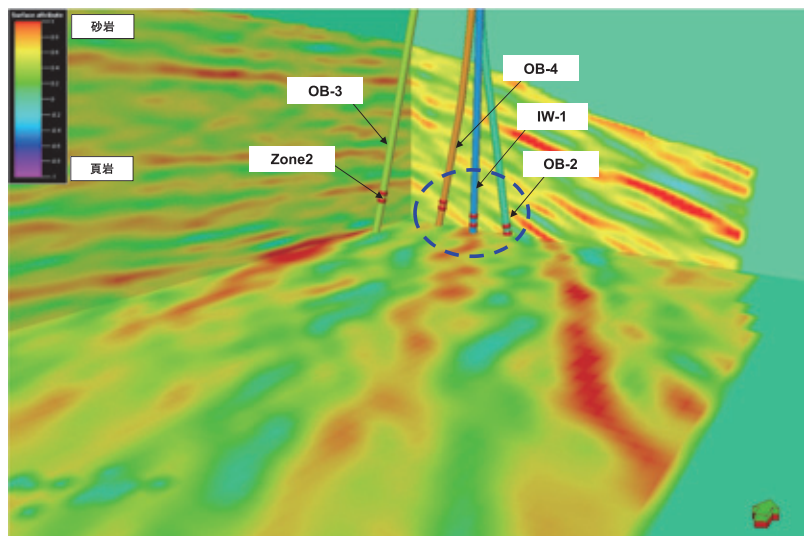


図4 反射法弾性波探査による地質モデリング



## 2.2 貯留層内のCO<sub>2</sub>挙動解析

CO<sub>2</sub>地中貯留の実用化においては、地下深部の貯留層に圧入されたCO<sub>2</sub>の挙動をモニタリングし、安全に留まっていることを確認することが重要である。このため、RITEは長岡CO<sub>2</sub>圧入実証試験サイトにおいて取得した物理検層等のデータを総合的に分析し、CO<sub>2</sub>貯留メカニズムを明らかにするとともに、長期挙動予測シミュレーション技術の高精度化に取り組んでいる。また、光ファイバーセンシングによる地層変形監視技術等、CO<sub>2</sub>地中貯留に資する様々な技術開発を行っている。

### ・光ファイバーによる地層安定性評価技術開発

CO<sub>2</sub>地中貯留サイトにおいて、地下の温度、圧力に加えて地層変形（ひずみ）を深度方向に連続的にモニタリングすることは、CO<sub>2</sub>地中貯留の安全性を評価する上で重要である。RITEでは光ファイバーセンシングによる地層変形監視技術を開発しており、光ファイバーを用いて地層変形（ひずみ）を計測する基盤技術を確立した。この基盤技術の実用化を目指して、2012年度には複数の光ファイバーケーブルを深度300mの坑井に設置し、CO<sub>2</sub>圧入に伴う地層変形（ひずみ）を計測することに成功した。さらに実用化に向けた技術課題を検討するため、2013年度も継続して現場試験を実施している。

また、今後の実用化にあたっては、CO<sub>2</sub>地中貯留サイトに適した光ファイバーケーブルが必須である。このため、温度、圧力、ひずみに対して高感度であることに加えて、十分な強度を持つ地中埋設型光ファイバーケーブルの開発も行っている。

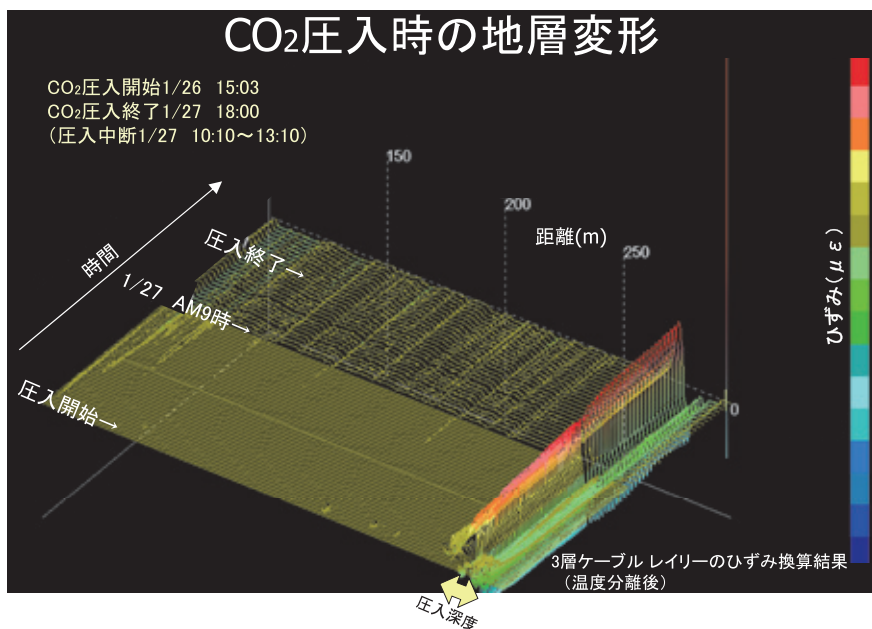


図5 坑井に設置した光ファイバーでの計測結果

### ・ X線CT装置を用いたCO<sub>2</sub>挙動解析

地下深部貯留層に圧入されたCO<sub>2</sub>の長期安定性を評価するためには、地質学的に不均質な貯留層におけるCO<sub>2</sub>の挙動およびCO<sub>2</sub>と地層水との置換メカニズムの解明が重要である。多孔質砂岩中の不均質がCO<sub>2</sub>と地層水の分布に及ぼす影響を室内実験によって調べることは、アップスケールされた実規模の貯留層におけるCO<sub>2</sub>と地層水の挙動を予測する手法を開発する上で多くの知見を与える。X線CTによるイメージング技術により、岩石試料内部の流体挙動を非破壊で観測できる。RITEでは、X線CTイメージデータの解析によって、孔隙率や流体飽和度と岩石の物性との関係を定量化する技術の開発に取り組んでいる。

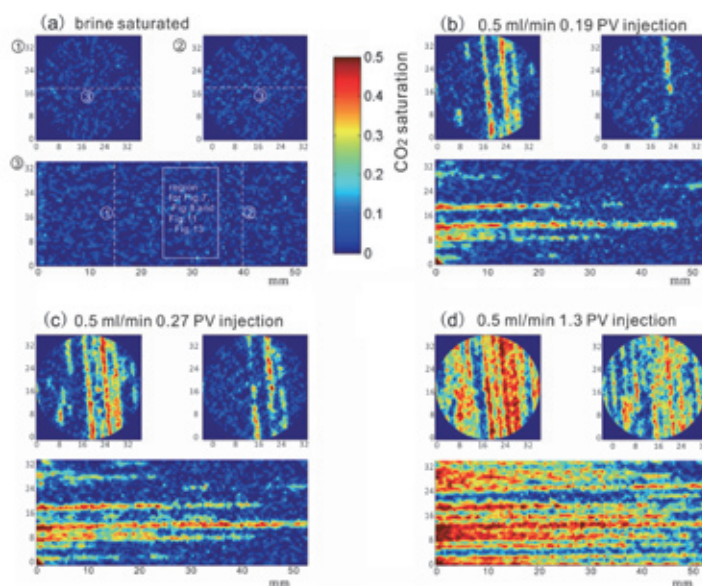


図6 コア試料内のCO<sub>2</sub>分布状況の可視化画像

### ・ 常設型OBCによるCO<sub>2</sub>挙動モニタリング手法開発

CO<sub>2</sub>地中貯留技術の実用化においては、地下に圧入されたCO<sub>2</sub>の挙動モニタリングが重要な研究課題であるが、そのもっとも有力な手段として「繰返し3次元反射法弾性波探査」が挙げられる。この探査方法を海域CO<sub>2</sub>地中貯留に適用する場合、対象エリアの海底に受振器（センサーモジュール）を敷設して受振する常設型OBC（Ocean Bottom Cable）システムが効率的、低コスト、かつ高品質な観測を実施できるため有効である。これまでにRITEは苫小牧沖（北海道）、平塚沖（神奈川県）での実海域性能評価試験を実施した。さらに、2013年度には大規模実証試験サイトである苫小牧沖へ常設型OBCシステムを適用し、反射法弾性波探査に加えて微小振動を同時に観測する準備を行っている。

### ・ 長岡サイトでのCO<sub>2</sub>挙動解析

RITEは2003年7月から2005年1月にかけて実施した新潟県長岡市でのCO<sub>2</sub>圧入実証試験において地下1,100mの塩水性帯水層に10,400トンのCO<sub>2</sub>を圧入し、地下におけるCO<sub>2</sub>の挙動を弾性波トモグラフィや物理検層などで把握するとともに、観測結果をもとにCO<sub>2</sub>地中貯留挙動予測シミュレータを開発した。

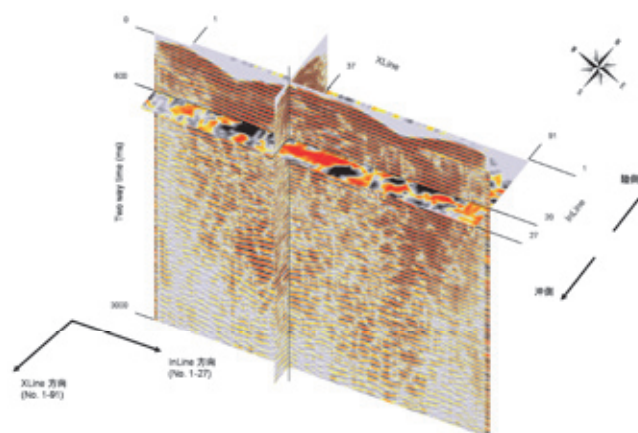


図7 常設型OBCを用いた3次元反射法探査結果

物理検層により観測井周辺の物性変化を計測し、CO<sub>2</sub>の深度方向の広がり、およびCO<sub>2</sub>の状態（超臨界状態のままであるか地層水に溶けた状態であるのか）などを推定した。

2013年度には坑内物理検層を実施して、CO<sub>2</sub>圧入後の貯留状況の調査を行った。また、これらの調査結果をもとにヒストリーマッチングを行い、長期挙動予測シミュレーション解析を進めた。なお、地中貯留の実証試験は海外でも実施されているが、圧入後のCO<sub>2</sub>挙動を継続的に監視しているのは長岡サイトだけであり、その成果は世界から注目されている。

### 2.3 貯留層外部へのCO<sub>2</sub>移行解析

RITEは、安全性評価技術開発の一環として、貯留層外部へのCO<sub>2</sub>移行解析手法の開発を進めている。

CO<sub>2</sub>が貯留層から移行し海水中に拡散する過程をシミュレーションするためには、地層中と海水中の2つのモデルが必要である。地層中での検討においては、断層や廃坑井などの移行経路を想定した上で、CO<sub>2</sub>が海底面まで移行する過程を解析する手法を開発している。この地層中シミュレーションの結果から、評価対象の貯留サイトの特性に応じた地質モデル、および貯留層でのCO<sub>2</sub>分布を初期値に用いるシミュレーションが必要であることが示された。この地層中シミュレーションによって算出される海底面へのCO<sub>2</sub>漏出レートは、海水中シミュレーションの初期値となる。

海水中での検討においては、海底面から漏出する気泡および溶存態CO<sub>2</sub>が海水中で拡散する際の濃度分布シミュレーション手法の開発を行っている。気泡として海底面から漏出したCO<sub>2</sub>は浮力によって上昇しつつ海水の流動や水温等の影響を受けながら海水に溶解するので、使用しているモデルではCO<sub>2</sub>気泡の挙動と溶解が計算できるようになっている。海水中シミュレーションの結果から、CO<sub>2</sub>濃度分布には成層、水温、背景流および気泡励起流が複雑に寄与することが判明した。

漏出によって生じる海水中CO<sub>2</sub>濃度上昇が生物に与える影響を明らかにするため、海洋生物影響を集約したデータベースに最新の知見を加え、解析を行っている。さらに、海洋のCO<sub>2</sub>濃度モニタリングを行った際に自然変動と漏出CO<sub>2</sub>





を識別する手法について検討した。この結果、一般的な観測機器を用いて、水温、塩分、溶存酸素量、pHを測定することにより、漏出による異常値を検出することが可能となった。

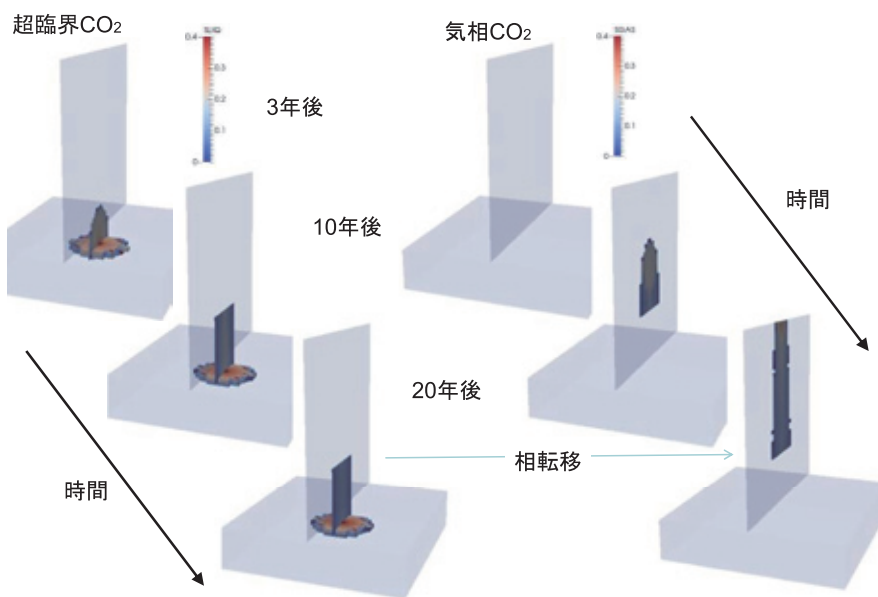


図8 地層中シミュレーション結果 (断層中: CO<sub>2</sub>飽和度分布)

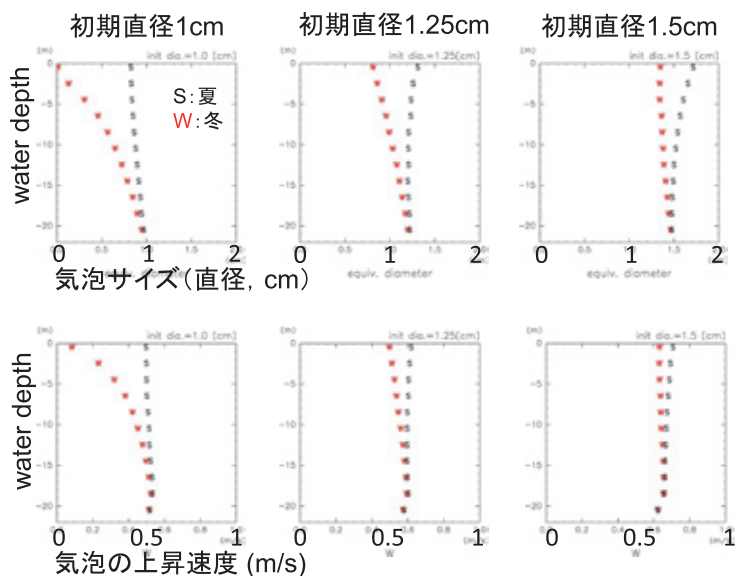


図9 海水中シミュレーションによるCO<sub>2</sub>気泡サイズと上昇速度の変化

## 2.4 CCS実用化に向けた技術事例集の作成

1996年にノルウェーのSleipnerで世界初のCO<sub>2</sub>帯水層貯留（深度800mの帯水層へ貯留）が開始された。その後、主に米国や欧州において多くのCO<sub>2</sub>地中貯留事業が開始された。これらのCCS事業の知見はプロジェクトレポートとして報告されてきたが、数年前から、BP(Best Practice)として汎用的な知見やサイト固有の事例を集約する動きが出てきた。これらに前後して、CCS事業の法的整備も進められてきた。例えば、米国ではEPA（米国環境保護庁）が連邦規則集にCO<sub>2</sub>の深部帯水層貯留に対する規則を整備し、坑井規格としてクラスⅥを設定した。欧州では、欧州委員会がEU加盟国に対してCCS実施の規則としてCCS指令を公表した。これらの法規に対する解説書やガイダンス書も作成されている。民間レベルでは、ノルウェーのDNV社が独自にCCS事業の認証手続きとその解説書を公表している。

一方、我が国では、経済産業省が国内での大規模実証試験を対象として2009年に「CCS実証事業の安全な実施にあたって」を作成した。この報告書にはCO<sub>2</sub>地中貯留実証事業の安全面・環境面からの遵守基準などが示されている。また、CCS技術に関して、RITEは基礎研究や技術開発を進めるとともに、長岡におけるCO<sub>2</sub>圧入実証試験（2003年7月～2005年1月）に引き続き、CO<sub>2</sub>圧入終了後のモニタリングなどを継続的に実施し、多くの知見を得ている。

このように、RITEはCCSにかかわる国内外の豊富な知見を蓄積してきており、CCS事業の国内普及や海外展開を見据え、国内のCCS事業者を主な対象としたCCS事業を実施する際に技術的に参考となる「CCS技術事例集」の作成を進めている。この事例集は、図10に示すように、CCSに関するあらゆる技術事例を対象とし、国内外の技術事例を集約した汎用的事例集を目指している。また、我が国初のCO<sub>2</sub>圧入実証事業である長岡実証試験の知見を集約した事例集も作成中である。将来的には苫小牧大規模実証試験の知見も取り込む計画である。

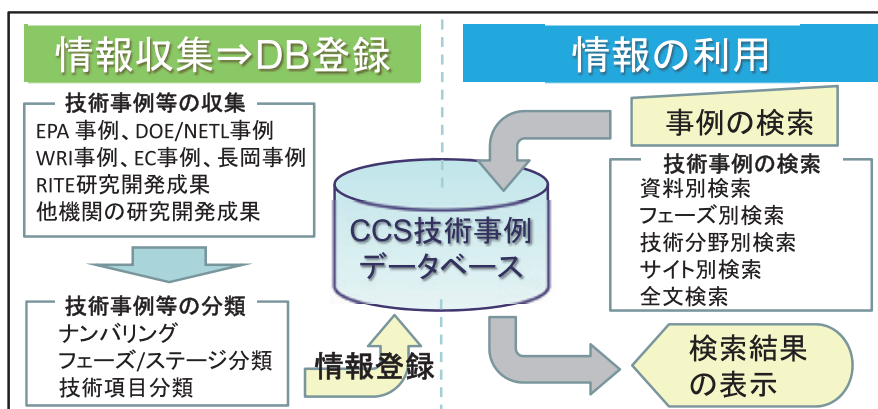


図10 CCS事業にかかわる各種のドキュメントと事例集の関係

CCS技術事例集は、CCSにかかわる国内外の様々な情報を対象としており、関連情報は増加し続けることが想定される。この結果として、膨大な情報が登録・蓄積されることになり、冊子版での提供では技術事例の検索が容易でなくなる可能性がある。そのため、CCS技術事例集は情報の登録・更新・利用の面からデータベース化し、図11に示すような事例情報の登録および利用が可能となるシス

テムを検討している。

CCS技術事例の利用に際して、利用者によるデータベースへのアクセスの利便性を高める必要がある。そのために、利用目的に対応した複数のアクセス方法を検討している（図12）。ここでは、主要な利用方法として、CCSフェーズ別インデックスと技術分野別インデックスの作成を進めている。

CCSフェーズ別インデックスでは、各フェーズの実施工程に対応した事例を関連付けており、事業の進捗に合わせて、該当する事例を把握できるようにする。一方、技術分野別インデックスでは、特定の技術の情報を集約しており、該当技術および関連技術を把握できるようにする。また、視覚的に情報を検索できるように、「CCS技術事例マップ」を作成する。そのほかに用語集・略語集、各種情報の比較表、CCSにかかわる国内外の履歴表などを用意する。

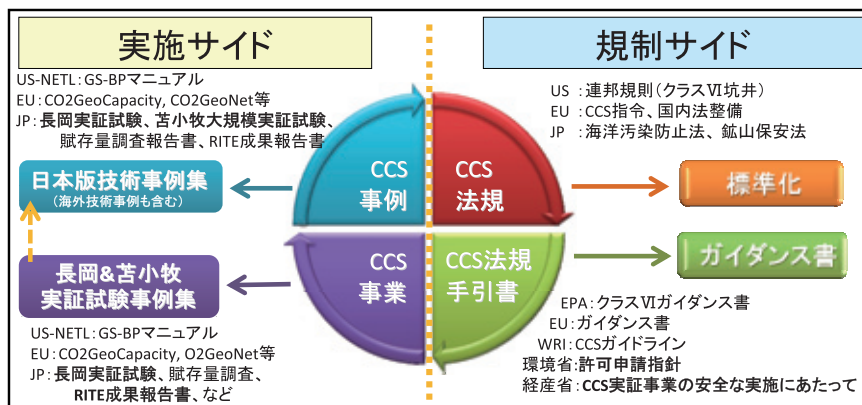


図11 CCS技術事例データベースの登録・利用のイメージ

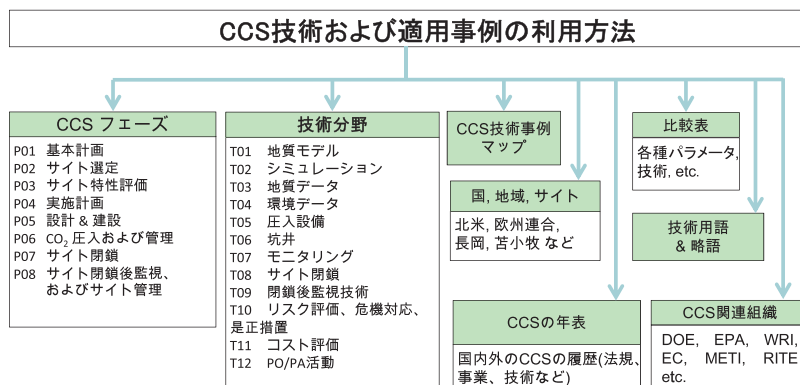


図12 CCS技術事例の様々な利用を考慮した事例インデックスの構成

現在、情報収集の主要な段階はほぼ終了し、データベースの設計および登録作業の段階にある。2014年度中旬にドラフト版を完成させる予定である。



### 3. 日中CCS-EORプロジェクト

化石燃料の燃焼時に排出されるCO<sub>2</sub>を回収し地中に貯留するCCSは、今後の地球温暖化対策にとってきわめて重要な技術であり、なかでもCCSに原油増進回収を組み合わせたCCS-EORは早期実用化が可能なものとして注目されている。

中国においては、CCS-EORの候補地点が多く、その普及展開が強く期待されており、いくつかの油田ではすでにCCS-EORの実績を積んでいる。その一方、期待された石油増産効果が得られないケースも散見されており、CCS-EORの効率化の技術開発が課題となっている。

2009年11月8日、北京で第4回日中省エネルギー・環境総合フォーラムが開催され、RITEと中国石油外事局との日中CCS-EOR協力合意をはじめとする、日中省エネルギー・環境協力案件の調印文書の交換が行われた。

この合意に基づき、RITEは中国石油天然気集团公司（CNPC）と連携し、CCS-EORの技術協力を進めてきた。また、CCS-EORワークショップ（2009年、2010年）、省エネルギー・環境保全・GHG削減ワークショップ（2011年）の共同開催や、日中のCCS/CCS-EOR関連施設/サイトの相互視察など技術交流も深めてきた。これらの連携を通じ、RITEはCNPCの技術力向上に貢献するとともに、CCS-EORの効率化には、圧入したCO<sub>2</sub>の挙動を的確に把握するモニタリング技術の向上が欠かせないことを明らかにした。

これを受け、2013年度には、実際の油田にCO<sub>2</sub>挙動モニタリング技術の適用を目指す活動を開始し、重要な条件整備として当技術を検証する油田候補をCNPCと共同で設定した。また、適用候補油田の一つを訪問し、技術交流会を開催し、中国におけるCCS-EORの具体的な課題を明らかにする一方、RITEのモニタリング技術の有効性の認識を深めた。

今後は、候補油田でのモニタリング技術適用計画を立案するとともに、その効果を事業化可能性調査により明らかにし、CCS-EORモニタリング実証事業へと発展させる予定である。また、プラント建設会社等の協力を得て、中国におけるCCS-EORのビジネスモデルを提案していく計画である。

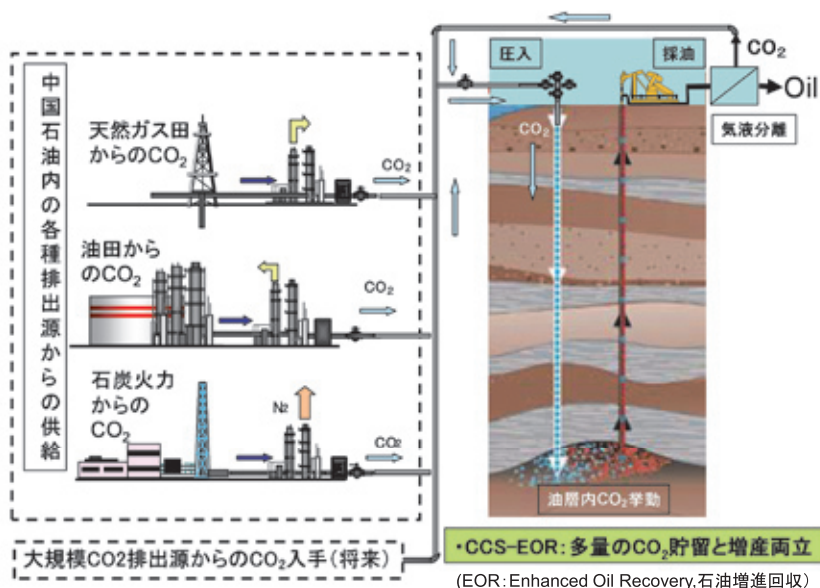


図13 CCS-EORの概念図



#### 4. 国際連携および海外動向調査

RITEは、国際機関等との連携を通してCCSの普及に貢献するとともに、CCSの海外動向調査を実施している。CCSを普及していくためには、経済性の確保、普及政策や法規制の整備、社会的受容性の確立などの課題があり、国際機関等を通しての国際的な連携、協力、知識共有が必要不可欠である。RITEが参加している炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）、国際エネルギー機関（IEA）の温室効果ガスR&Dプログラム（IEAGHG）およびロンドン条約の概要と動向、また、CCSに係る全般的な海外動向を以下にまとめる。

##### ・CSLFの概要と動向

CSLFは、CO<sub>2</sub>の回収とその地中貯留ならびに産業利用（CCUS）の研究開発、実証、商業化のための国際協力を推進する国際的な組織として2003年に設立された。米国エネルギー省が事務局を務めており、現在、日本を含む22か国と欧州委員会が参加している。その活動は各国の省庁職員から構成される政策グループと企業や研究機関からの代表者からなる技術グループによって行われており、2年ごとに閣僚級の会合が開催される。RITEは2009年から技術グループに参加している。

第5回閣僚級会合が2013年11月に米国において開催され、CCSの研究開発、実証、そして世界的な普及の加速の必要性が確認された。インセンティブ・メカニズムの創出など、CCSの普及に必要な7つの主要アクションが採択され、また、政策グループのもとに小委員会を設置し、今後のCSLFの具体的な活動をこれまで以上の協力を行っていくことを念頭に議論していくことになった。

##### ・IEAGHGの概要と動向

IEAGHGは温室効果ガスの削減技術の評価、普及促進、評価調査の情報発信、国際協力の推進を目的とする国際機関であり、IEAのもとで締結された国際協定に基づいて1991年に設立された。主にCCS技術を活動対象としており、日本を含む20の締約メンバーと23の民間企業等から出資を受けている。RITEは2009年から締約メンバーである日本を代表して執行委員会に参加している。

IEAGHGの主要な活動の一つにCCS専門家の各種ネットワークの運営とそれらの会合の開催、および国際学会の開催がある。ここ数年、モニタリング、モデリング、リスク評価、環境影響というCO<sub>2</sub>貯留に関連するネットワークが、複数のネットワーク間の合同会合を開催してより幅広い専門家間の知識共有を重視するようになってきている。また、世界最大のCCSの学会である温室効果ガス制御技術国際会議の12回目の会議（GHGT-12）が2014年10月に米国テキサス州で開催されることになっており、その準備が進められている。

##### ・ロンドン条約の概要と動向

CO<sub>2</sub>の海底下貯留は、ロンドン条約の96年議定書の改正が2007年に発効したことによって国際的に認められるようになった。RITEは、締約国会合、および科学的知見をベースに情報共有化を図る科学会合に日本代表団の一員として参加している。

同議定書はCO<sub>2</sub>の越境移動が認められるように2009年に修正されたが、批准国が規定の必要数に達しておらず発効していない。条約の改定以降、輸出されたCO<sub>2</sub>が圧入される場合、CO<sub>2</sub>が複数の国によって同じ貯留層に圧入される、あ



るいは、圧入されたCO<sub>2</sub>が国境を越えて移動する可能性がある場合の責任の所在を規定する作業が行われてきた。2012年に後者の責任の所在が既存のCO<sub>2</sub>の海底下貯留に係るガイドラインに盛り込まれ、前者についても2013年に新たに策定されたガイダンスで定められて決着した。

#### ・ CCSに係る海外動向

IEAは、2050年までに必要とされるCO<sub>2</sub>削減量へのCCSによる貢献を14%とする分析結果を2012年に公表した。この貢献度を達成するには、CCSによるCO<sub>2</sub>の年間貯留量を2020年で2億6千万トン、2030年で25億トン、2050年で80億トンとする必要があるとしている。しかし、2020年に必要な貯留量の達成はほぼ不可能な情勢となっており、IEAは2020年までの7年間に取るべきアクションに焦点を当てたCCSの技術ロードマップの改訂版を2013年7月に公表した。この中で資金支援メカニズムの導入、貯留層の探査等の推進の必要性などを指摘している。

現在、操業中の大規模なCCSプロジェクトは、人為排出のCO<sub>2</sub>を用いた石油増進回収（EOR）事業を含めても12件（GCCSIによる）に留まっている。しかも、これら全てがCO<sub>2</sub>回収に追加コストが不要ないし限定的な工業プラントからのCO<sub>2</sub>を利用している。12件中8件を実施している北米が世界のCCSをリードしていると言えるが、同地域で2014年の稼働を目指して建設されている2件の石炭火力のCCSプロジェクトが操業を開始すれば、さらにその存在感が増すことになる。

温暖化対策に積極的な欧州は、石炭火力に対するCCS実証試験を推進してきたが、いずれのプロジェクトも中止あるいは停滞している。欧州議会は、2013年9月、欧州でのCCSのテコ入れを図るための政策提言案を公表したが、この提言案への期待は高くはない。欧州委員会の取り組みが機能しない中、EU圏外のノルウェーで計画されていたガス火力の大規模CCSプロジェクトに期待が集まっていたが、この計画も政府によって2013年9月に中止が決定された。このような状況の中、英国でのCCSの進展への期待が高まっている。同国政府は2012年にCCS実証のスキームを刷新し、2013年11月および2014年2月に2件のプロジェクトの基本設計（FEED）への出資を決定した。また、CCS普及に向けて政策的な環境整備を進めている。

一方、これまで注目度が低かったアジアでは、日本政府が北海道苫小牧市での実証試験の準備を進めているほか、中国が過去2年間で大規模CCSプロジェクト計画の件数の増加した唯一の国である（GCCSIによる）など、CCSに係る進展が見られる。東南アジアでも先進国の支援を得て将来のCCS普及に向けた基礎調査や貯留パイロットの計画が実施されており、CCSへの関心が高まっている。

## ALPS国際シンポジウム 開催について

### システム研究グループ

2013年2月27日、大手町サンケイプラザ（東京）にて、RITE主催、経済産業省共催による、平成24年度ALPS国際シンポジウム（副題：持続可能な温暖化対策の実現に向けて）を開催致しました。

今回のシンポジウムでは、海外からの招待講演者の発表6件（国際応用システム分析研究所：Nebojsa Nakicenovic氏・Arnulf Grübler氏・Keywan Riahi氏、エクセロン社：James L. Connaughton氏、カリフォルニア大学サンディエゴ校：David Victor氏、ジェットロ：有馬純氏）、国内からの講演者の発表2件（住環境計画研究所：中上英俊氏、RITE理事長：茅陽一）、またALPSプロジェクトに関する発表（RITE：秋元圭吾）にて、最新の研究成果をご紹介いただきました。持続可能な発展と温暖化対策、およびそのシナリオ分析に関して、長期かつ多視点からのご意見を伺いました。

約200名の方に参加いただき、地球温暖化問題に関わる研究者のみならず、広く行政機関や企業等関係者の交流の場としても有意義なものになったと考えます。今後の研究・開発に役立て、一層の貢献をして参ります。



平成25年度ALPS国際シンポジウムを2014年2月4日に開催予定です（RITE主催、経済産業省共催）。国内外からの著名な研究者に講演を頂き、持続可能な温暖化対策、対応の枠組みについて最新の動向、見通しを紹介いただく予定です。

## Vital Spark セミナーについて

### システム研究グループ

2013年10月10日、京都大学国際交流ホールIII（京都）にて、RITE主催、日本エネルギー経済研究所共催、日本鉄鋼連盟他多数後援による、Vital Spark セミナー（副題：エネルギー技術革新に基づく新しい気候変動政策）を開催致しました。

2013年7月に、ロンドン経済大学から発表された論文「The Vital Spark（創造の閃き）」は同大のGwythian Prins名誉教授が主筆を務め、共同執筆には日本からも多数が名を連ねている他、英、米、独、伯、加、スウェーデンの研究者計20人が名前を連ねています。論文の概要は、技術に基づくボトムアップ・アプローチでなければ真に有効な気候変動対策としては機能せず、特に今後はエネルギー技術革新政策が鍵になるというものです。

同セミナーでは、Prins名誉教授と再生可能エネルギー財団のConstable博士を日本に招聘し、東京大学、経団連、日本エネルギー経済研究所からの国内専門家3名にも講演を頂き、講演者と参加者との間で活発な質疑が為されました。このセミナーは、地球温暖化問題に関わる研究者のみならず、広く行政機関や企業等関係者の交流の場としても有意義なものになったと考えます。



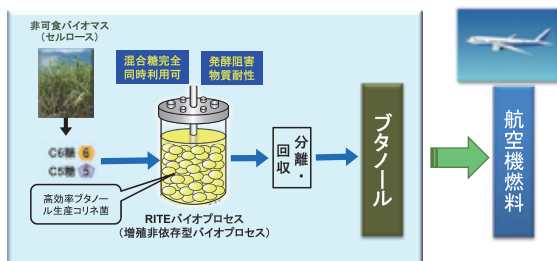


## 国際共同による航空機燃料素材 (ブタノール) 生産技術開発を開始

### バイオ研究グループ

近年、新興国での旅客数やLCCの増加により、航空機からのCO<sub>2</sub>排出が増え続けており、世界の運輸部門における大きな課題になっています。この航空機からのCO<sub>2</sub>排出量を大幅に減らす方法として、バイオマスを原料とする航空機用バイオ燃料が注目されています（研究活動概説参照）。このプロジェクトでは、航空機燃料素材として注目されている「ブタノール」を食料資源と競合しないセルロース系バイオマスから効率的に生産する技術開発を目指しています。本技術の導入・普及を図ることにより、運輸部門のCO<sub>2</sub>排出量を低減し、温暖化防止や持続的社会的の実現に貢献することが最終目標です。

技術開発は、RITEおよびGreen Earth Institute株式会社（GEI）、米国立再生可能エネルギー研究所（NREL）の国際共同体制で取り組みます。RITEは、高効率なブタノール生産微生物（コリネ型細菌）の育種および、独自開発した本提案のコア技術である「RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）」技術を有し、GEIは、本プロセスの独占的通常実施権をもつ事業会社です。NRELは、セルロース系バイオマス前処理・糖化工程においての世界トップの技術を有しており、3者が緊密に連携して生産技術開発を行います。尚、本プロジェクトは2013年度日米等エネルギー環境技術研究・標準化協力事業（経済産業省）からのご支援を受けて実施しています。

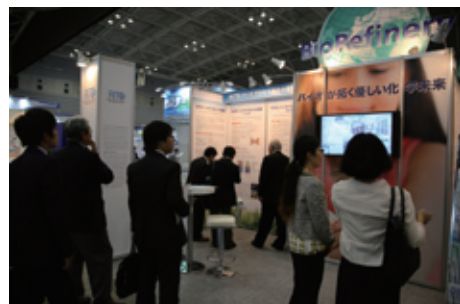


RITE/GEI/NRELの国際共同体制で取り組むセルロース系バイオマスを原料とした航空機燃料素材(ブタノール)生産技術開発の概要

## BioJapan2013 World Business Forumセミナー および出展に多数の来場者

### バイオ研究グループ

BioJapan2013 World Business Forum が2013年10月9日～11日にパシフィコ横浜において開催されました。RITEは、主催者団体であるBioJapan組織委員会の一員として参加し、当研究グループは展示ブースでの出展ならびに主催者セミナーを行いました。展示ブースでは、革新的バイオ変換技術であるRITEバイオプロセスの事業化を担うGreen Earth Institute株式会社（GEI）と共同で出展し、「BioRefinery」をメインテーマに、本プロセスの研究開発状況やGEI社の事業展開について紹介しました。主催者セミナーでは、当グループの湯川理事がコーディネーターを務め、「グリーンイノベーションサミット」を開催しました。今回で5回目を迎える本セミナーでは、今回も有力企業の幹部の皆様から、各社の「環境経営」に対する取り組みなどをご講演いただき、またGEI社からもバイオリファイナーリーに関する米国の状況やRITEバイオプロセスの事業展開について紹介しました。展示ブースおよびセミナー共に政府関係者や企業関係者を始め多くの方々にご来場いただき、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。



RITE/GEI展示ブース



主催者セミナー（グリーンイノベーションサミット）



## CO<sub>2</sub>分離・回収技術の世界の状況に関する海外調査

### 化学研究グループ

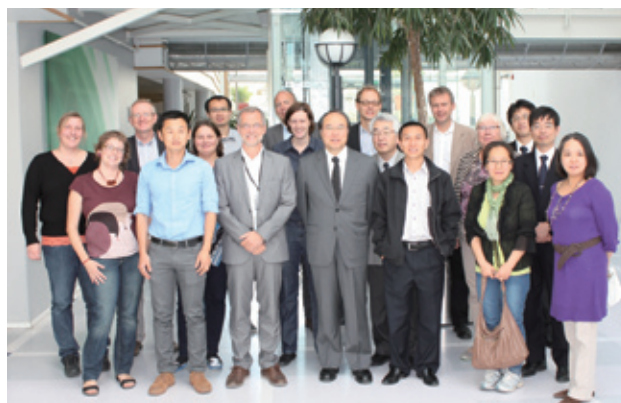
米国、ノルウェー、オランダにおいて、CO<sub>2</sub>分離・回収技術に関する情報収集を行いました。

2013年7月、米国ピッツバーグで開催された米国エネルギー研究所（NETL）主催のCO<sub>2</sub> Capture Technology Meetingに出席しました。本会議は、米国エネルギー省（DOE）の研究開発プロジェクトの年次報告会であり、DOEの開発方針に沿ったテーマに研究資金が与えられることから、DOEが目指すテーマの最新動向が分かります。

今年度は209人が出席し、口頭発表は61件、ポスター発表は11件でした。基礎研究から実証試験まで、幅広い内容のCO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発の報告が行われました。燃焼後回収技術（Post-combustion）では、吸収液（13件）の件数がやや多く、次いで吸着剤（10件）、膜（8件）という報告数でした。一方、燃焼前回収技術（Pre-combustion）では、膜（4件）が最も多く、吸収液、吸着剤は各1件でした。DOEは実用化の進んだ技術ではなく、新しい技術に予算を出す方針のようです。そのためか、今回の発表では、基礎研究では、吸収液を含め、新しいコンセプトの提案が目立っていました。燃焼後回収技術では、例えば吸収液において、CO<sub>2</sub>を吸収した吸収液を沈殿させてスラリーとして回収するプロセスや、酵素の使用、膜を介して吸収部と放散部を接触させるプロセスなど新しいコンセプトに基づく研究開発が行われていました。燃焼前回収技術の分離膜の研究開発は、膜の発表が多く、新しい研究開発テーマとして分離膜の基礎研究が採択されていました。

8月には、ノルウェーで開催された膜分離に関するワークショップに出席（写真）、また、引き続きオランダのオランダエネルギー研究センター（ECN）、Twente大学を訪問し、CO<sub>2</sub>分離膜等のガス分離膜開発の最新動向を調査しました。

ワークショップにおいては、ノルウェー科学技術大学（NTNU）、ノルウェー産業科学技術研究所（SINTEF）やオスロ大学の研究者が発表を行い、日本側からは山口大学とRITEの研究者が、CO<sub>2</sub>分離膜、H<sub>2</sub>分離膜、溶媒分離膜等の発表を行いま



した。CO<sub>2</sub>分離膜に関しては、NTNUの促進輸送膜モジュールの研究が進んでいて、高圧条件でのCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>分離に関する検討など、参考になる知見が得られました。

ECNは、オランダ最大のエネルギーに関する研究機関で、スタッフは約500名います。訪問したDr. Jaap Ventelは、分離膜開発に長年携わっている研究者で、Twente大学やSINTEFなどとも、分離膜のモジュール化等に関して協同で研究開発を進めています。ECNでは、ベンチスケールの水素分離膜（パラジウム膜）の試験設備や、水/アルコール分離膜の長期試験装置などを見学しました。スケールアップや長時間の耐久試験など、実用化を意識した研究開発を進めていることがうかがえました。

また、Twente大学のProf. Dr. Arian Nijmeijerも訪問しましたが、ここでは、シリカ膜、セラミック多孔膜の有機物修飾、セラミックや金属の多孔質中空糸膜の開発、パラジウム膜の開発と石炭ガス化複合発電（IGCC）プロセスへの適用など、基礎からプロセス検討までさまざまな検討を行っていました。

ヨーロッパにおいても、大学は基礎研究を行っており、SINTEFやECNといった研究機関は、RITEと同様に、大学のシーズ技術を企業につなぐ橋渡しという重要な役割を担っています。

## CCSテクニカルワークショップ

～CCS大規模実証プロジェクトに向けた  
安全性評価技術開発の最前線～

### CO<sub>2</sub>貯留研究グループ

我が国では、北海道苫小牧市においてCCS大規模実証プロジェクトに向けた準備が進められており、2016年度にはCO<sub>2</sub>圧入が開始される予定です。CCSの安全性・信頼性を構築する技術開発への注目が高まる中、RITEは経済産業省との共催により2014年1月23日に第一ホテル東京（東京都港区）において「CCS大規模実証プロジェクトに向けた安全性評価技術開発の最前線」をテーマにワークショップを開催しました。政府関係者、企業、大学、研究機関等から295名の参加があり、松岡俊文京都大学大学院教授の司会進行のもと、海外3名、国内2名の計5名の専門家の講演を通して、参加者は、CCS関連の様々な安全性評価技術について議論を行いました。

初めに、英国BP社のIain W. Wright博士からIn Salahプロジェクトで得られた多くの知見についてご講演いただきました。次に、日本CCS調査(株)の棚瀬大爾苫小牧操業部長から苫小牧CCS実証試験の現況についてご説明いただき、カナダ地質調査所のDon White博士からSaskatchewanにおける商業規模のCO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクトについてご説明いただきました。また、米国ローレンス・バークレー国立研究所のTom Daley博士およびRITE主席研究員 薛自求から光ファイバーセンシングによるモニタリング技術の最新動向が紹介されました。

ワークショップのまとめとして、長期に亘るCCSプロジェクトでは、CO<sub>2</sub>の分布を把握することによりシミュレーションの不確実性を低減させるためにも、また経済性を成り立たせるためにも、モニタリング技術が大変重要であるとの総括がなされました。



## 革新的環境技術シンポジウム2013

～新たな環境エネルギー政策を踏まえた  
低炭素社会の構築～

### 企画調査グループ

2013年12月4日に伊藤謝恩ホール（東京大学）において「革新的環境技術シンポジウム 2013～新たな環境エネルギー政策を踏まえた低炭素社会の構築～」を開催しました。

本シンポジウムは、経済産業省、公益社団法人日本化学会、公益社団法人化学工学会、公益社団法人日本農芸化学会、一般社団法人エネルギー・資源学会、一般社団法人日本エネルギー学会の後援を受け、RITEの成果報告会として開催したものです。今回は成果報告に加え、招待講演として経済産業省大臣官房審議官（環境問題担当）の三田紀之様をお迎えし、「COP19及び最近の地球温暖化対策をめぐる動向」と題してご講演いただきました。国際交渉の最前線で活躍されたご経験から、交渉の推移や日本の貢献について分かりやすく解説され、大変有意義な講演となりました。RITEからは、山地所長が「新たな環境エネルギー政策の展望と課題」と題した基調講演を行い、3.11後の環境エネルギー政策の再構築を巡る動きと、政府が策定する環境エネルギー技術革新計画においてRITEが関連する技術項目などについて講演しました。研究グループからは、地球温暖化対策シナリオ提案やバイオリファイナリー技術、二酸化炭素分離回収・貯留（CCS）技術、さらに化学研究グループからは、2013年から研究を開始した水素分離膜と膜反応器を用いた水素製造・輸送貯蔵技術について、研究・開発成果と今後の展望について報告しました。

経済産業省など政府関係者のほか、産業界・学界等から357名の方々が参加され、予定時間を超過するほどの活発な質疑やご意見をいただくことができました。さらに今回は、新たにポスターセッションも企画開催し、RITEの研究者と直接の意見交換がなされるなど、有意義な交流の場となりました。



## 二酸化炭素回収・貯留(CCS)の国際標準化

### 企画調査グループ

研究活動概説で紹介していますCCSのISO化について、ここでは各ワーキンググループ (WG) に分けて分野別の活動内容を報告します。現在WG1からWG6まで6つのWGが設置されており、WG6を除いたそれぞれの検討分野を図1に示します。

2013年9月に「回収」、「輸送」、「貯留」、「横断的課題」の4つのWGにおいて新業務項目提案 (NWIP) が了承され、規格開発作業が具体的にスタートしています。2013年12月時点で、さらに「定量化と検証」および「CO<sub>2</sub>-EOR (石油増進回収法)」についても、NWIPが各国の投票にかかっており、規格開発作業に向けて準備を進めている状況となっています。

各WGにおける2013年の主な活動状況および今後の予定 (2014年1月時点) は以下のとおりとなっています。

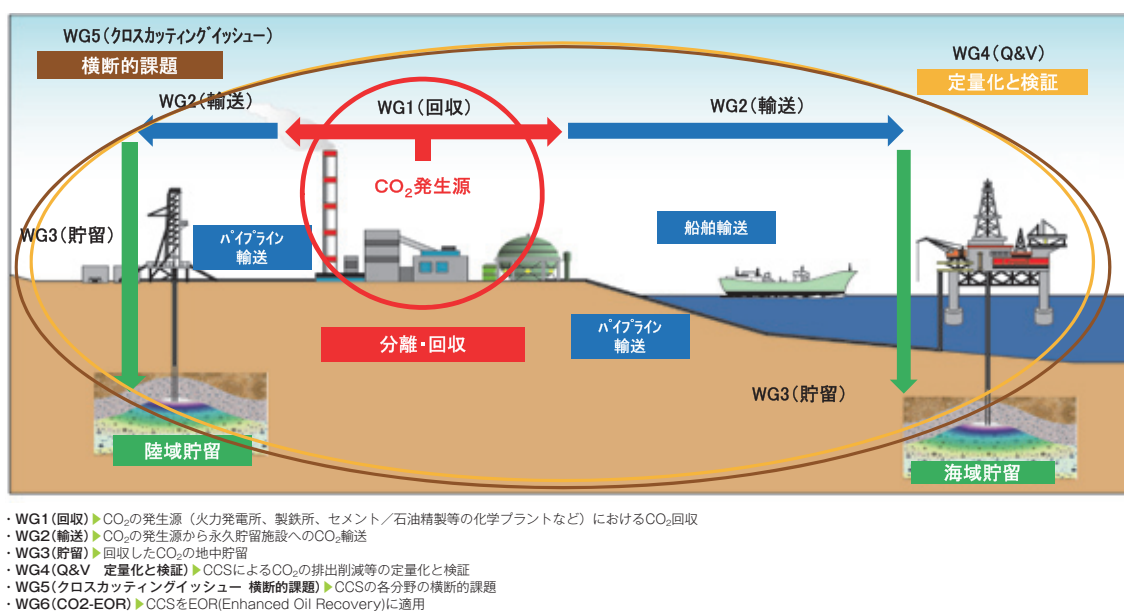


図1 各WGの検討分野

### ・WG1 (回収)

2013年9月に第1回WG1を北京（中国）で開催しました。そこでは、標準 (IS) 開発に先立って、TR (Technical Report) を開発することについて、参加各国の合意が得られ、日本から提案したシードドキュメントをドラフトとして、各セクションエディタを決め、セクション別に編集作業を進めていくことが決議されました。

今後は、2014年2月に電話会議により各セクションの進捗状況を確認しつつ、3月の第2回WG2での議論を経て、2014年秋口のWD (Working Draft) 完成を目標に編集作業に取り組んでいきます。日本がコンビーナと事務局を務め、議論を積極的にリードしています。

### ・WG2 (輸送)

2013年6月に第1回WG2がボン（ドイツ）で開催されました。そこでは、種々のCO<sub>2</sub>輸送手段のうち、まずパイプライン輸送についての標準 (IS) を開発することがドイツから提案され、承認されました。具体的にはDNV（ノルウェー）のDNV-RP-J201をシードドキュメントとし、セクション別に分けて編集リーダーを決定し、2014年2月の第2回WG2に向けて詳細検討を行っています。2016年の標準化を目指して日本からも検討に参加して作業を進めています。



第1回WG1の様子



第1回WG2の様子

#### ・WG3 (貯留)

2013年9月に第1回WG3がトロント（カナダ）で開催されました。そこでは、陸域および海域貯留に関する標準を開発するため、北米で利用されている既存国内標準CSA-Z741をシードドキュメントとして、各章毎にTP（Technical Panel）を作り、編集作業を進めることで、参加各国が合意しました。今後、2017年の標準化を目指して、検討を進めていきます。日本もコンビーナを務め、海域貯留及び地震国でのCCS実現に向けて積極的に議論をリードしていきます。

#### ・WG4 (Q&V 定量化と検証)

2013年9月に第1回WG3が北京（中国）で開催されました。そこでは、標準（IS）開発に先立ってTRを開発することが提案されました。現在提出されたNWIPの提案内容について各国で検討されてい

て3月までに投票が実施されます。国内においても関係者で議論し、賛否の投票を行います。

#### ・WG5 (クロスカッティングイシュー 横断的課題)

2013年9月に第1回WG3が北京（中国）で開催されました。そこでは、CCSに係るポキャブラリについての標準を開発することで、参加各国が合意しました。2016年の標準化を目指して検討を進めていきます。その作業と平行してシステムインテグレーションの議論も始まっていきます。

#### ・WG6 (CO2-EOR)

2013年9月に第3回TC総会において、米国とノルウェーの共同提案により、新たにCO2-EORに関するWG6が設立されました。

2013年12月にCO2-EORに関するNWIPが提出され、現在各国で投票に向けて検討が進められています。このWGの検討内容はCCSの全体に関係しますが、他のWGにおける議論との重複を避ける必要があります。今後提案内容について国内の関係者で議論し、賛否の投票を行なうとともに今後の国内の検討体制を整える必要があります。

我が国がこれまで培ったCCS全般に関する技術、知見が適切に国際標準に反映されるように、積極的に取り組んで参ります。



システム研究グループ

◆原著論文

1. A. Hayashi, K. Akimoto, T. Tomoda, M. Kii, Global evaluation of the effects of agriculture and water management adaptations on the water-stressed population, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol.18, Issue 5, pp.591-618, 2013
2. M. Kii, K. Akimoto, A. Hayashi, Risk of hunger under climate change, social disparity, and agroproductivity scenarios, *Environmental Modeling and Assessment*, Vol.18, Issue 3, pp.299-317, 2013
3. T. Homma, K. Akimoto, Analysis of Japan's energy and environment strategy after the Fukushima nuclear plant accident, *Energy Policy*, Vol.62, pp.1216-1225, 2013
4. M. Sugiyama, O. Akashi, K. Wada, A. Kanudia, J. Li, J. Weyant, Energy-efficiency potentials for global climate change mitigation, *Climatic Change*, in press
5. G. Luderer, V. Krey, K. Calvin, J. Merrick, S. Mima, R. Pietzcker, J. V. Vliet, K. Wada, The role of renewable energy in climate stabilization: results from the EMF27 scenarios, *Climatic Change*, in press
6. N. Bauer, V. Bosetti, K. Calvin, M. Hamdi-Cherif, A. Kitous, D. L. McCollum, A. Mejean, S. Rao, H. Turton, L. Paroussos, S. Ashima, K. Wada, CO<sub>2</sub> emission mitigation and fossil fuel markets: Dynamic and international aspects of climate policies, *Technological Forecasting & Social Change*, in press
7. K. Riahi, E. Kriegler, N. Johnson, C. Bertram, M. den Elzen, J. Eom, M. Schaeffer, J. Edmonds, M. Isaac, V. Krey, T. Longdon, G. Luderer, A. Mejean, D. L. McCollum, S. Mima, H. Turton, D. P. van Vuuren, K. Wada, V. Bosetti, P. Capros, P. Criqui, M. Kainuma, Looked into Copenhagen Pledges - Implications of short-term emissions targets for the cost and feasibility of long-term climate goals, *Technological Forecasting & Social Change*, in press
8. E. Kriegler, K. Riahi, N. Bauer, J. Schwanitz, N. Petermann, V. Bosetti, A. Marcucci, S. Otto, L. Paroussos, S. Rao, T. Arroyo-Curras, S. Ashina, J. Bollen, J. Eom, M. Hamdi-Cherif, A. Kitous, A. Mejean, F. Sano, M. Schaeffer, K. Wada, P. Capros, D. van Vuuren, O. Edenhofer, Making or breaking climate targets: The AMPERE study on staged accession scenarios for climate policy, *Technological Forecasting & Social Change*, in press
9. F. Sano, K. Wada, K. Akimoto, J. Oda, Assessments of GHG emission reduction scenarios of different levels and different short-term pledges through macro and sectoral decomposition analyses, *Technological Forecasting & Social Change*, in press
10. F. Sano, K. Akimoto, K. Wada, Impacts of different diffusion scenarios for mitigation technology options and of model representations regarding renewables intermittency on evaluations of CO<sub>2</sub> emission reductions, *Climatic Change*, in press
11. E. Kriegler, N. Petermann, V. Krey, J. Schwanitz, G. Luderer, S. Ashina, V. Bosetti, J. Eom, A. Kitous, A. Méjean, L. Paroussos, F. Sano, H. Turton, C. Wilson, D. van Vuuren, Diagnosing integrated assessment model of climate policy, *Technological Forecasting & Social Change*, in press

12. K. Akimoto, T. Homma, F. Sano, M. Nagashima, K. Tokushige, T. Tomoda, Assessment of the emission reduction target of halving CO<sub>2</sub> emissions by 2050: macro-factors analysis and model analysis under newly developed socio-economic scenarios, *Energy Strategy Reviews*, in press

13. J. Oda, K. Akimoto, T. Tomoda, Long-term global availability of steel scrap, *Resources Conservation & Recycling*, Vol.81, pp.81-91, 2013

14. M. Kii, K. Akimoto, K. Doi, A land-use transport model to assess the impact of urban policies on carbon dioxide reduction and sustainability, *Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies*, Vol.10, pp.1112-1128, 2013

◆解説／総説文

1. 秋元圭吾, 「エネルギー・環境の選択肢」の問題点, *日本エネルギー学会誌*, Vol.92, No.1, pp.2-8, 2013年1月号

2. 秋元圭吾, 和田謙一, 佐野史典, 総合評価モデルの話題, *日本エネルギー学会誌*, Vol.92 No.3, pp.224-231, 2013年3月号

◆口頭発表 (国内学会)

1. 林礼美, 秋元圭吾, 本間隆嗣, 佐野史典, 農地土壌の炭素蓄積に関する整理, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

2. 秋元圭吾, RITEモデルによるエネルギー・環境会議選択肢の分析と代替案の提案, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

3. 小田潤一郎, 秋元圭吾, 佐野史典, 和田謙一, 友田利正, 鉄鋼エネルギー国際効率比較とCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

4. 佐野史典, 秋元圭吾, 和田謙一, CO<sub>2</sub>排出削減対策としての電化技術の評価, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

5. 本間隆嗣, 秋元圭吾, 佐野史典, 将来の電力供給とCO<sub>2</sub>排出削減の経済影響分析, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

6. 長島美由紀, 本間隆嗣, 秋元圭吾, 温暖化対応策の実施・国際展開に伴う資金移転の考察, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

7. 徳重功子, 秋元圭吾, 小田潤一郎, 本間隆嗣, 林礼美, 佐野史典, 和田謙一, 長島美由紀, 友田利正, 温暖化対策と持続可能な発展に関する指標の総合的な評価, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

8. 和田謙一, 秋元圭吾, 佐野史典, 大島寛司, エネルギー・経済モデルにおける原子力発電の想定と評価の違い, 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2013年1月30日

9. 小田潤一郎, 秋元圭吾, 和田謙一, 佐野史典, 友田利正, 省エネバリアに関する現地ヒヤリング (タイ、インド) と考察, 第32回エネルギー・資源学会研究発表会, 2013年6月7日

10. 林礼美, 秋元圭吾, 佐野史典, 世界の家畜飼料とバイオ燃料副産物に関する考察, 環境科学会2013年会, 2013年9月4日

11. 秋元圭吾, 気候変動緩和に関する最近の研究・分析動向, 化学工学会 秋季大会, 2013年9月16日



## システム研究グループ

## ◆口頭発表（国際学会）

1. T. Homma, K. Akimoto, Economic impacts of power supply and CO<sub>2</sub> emission reductions of Japan after the Fukushima nuclear power accident, 16th Annual Conference on Global Economic Analysis, China, Jun. 12-14, 2013
2. J. Oda, K. Akimoto, F. Sano, T. Tomoda, Numerical evaluation of energy and material efficiency in iron and steel sector, 36th IAEE Annual International Conference, Korea, Jun. 16-20, 2013
3. A. Hayashi, K. Akimoto, T. Homma, K. Wada, Evaluation of water resource in Asia under climate change and socio-economic development scenarios, The 9th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies, Japan, Jul. 7, 2013
4. T. Homma, M. Nagashima, K. Akimoto, F. Sano, K. Wada, T. Tomoda, A study on sharing the burden of financing options for climate change, 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES 2013), University of Dubrovnik, Croatia, Sep. 24, 2013
5. K. Wada, K. Akimoto, F. Sano, The impact of behavioral and institutional factors in energy investment decision, The 6th Annual Meeting of the IAMC, NIES, Japan, Oct. 29, 2013
6. K. Akimoto, Assessment of relationships among climate change, food access and energy access with Integrated Assessment Model, The 6th Annual Meeting of the IAMC, NIES, Japan, Oct. 29, 2013

## ◆出版物等その他発表

1. 秋元圭吾, エネルギーミックス計画の企業経営への影響について, 東京商工会議所 企業経営委員会, 2013年2月7日
2. 長島美由紀, 第4章 タイにおける日本自動車メーカーの技術移転とエコカー生産奨励政策, 第9章 温暖化技術交渉をいかに乗り切るか, 「狙われる日本の環境技術」, エネルギーフォーラム社, 2013年2月
3. 秋元圭吾, 第3章 緩和目標と国・地域間における公平な緩和努力, 第5章 緩和コスト, 第8章 エネルギー効率向上のポテンシャルと障壁, 第10.3節 福島第一原発事故以降のエネルギー・環境戦略の動向、分析, 「実現可能な気候変動対策－政策・経済・技術・エネルギーのバランス－」, 丸善出版, 2013年3月
4. 秋元圭吾, 第一章 気候変動の現状と展望－気候変動とは何か：気候変動の実体と背景要因, 拓殖大 環境プロジェクト報告書, 2013年3月
5. 秋元圭吾, エネルギー・環境政策の見通しと検討のポイント, 日本商工会議所 環境専門委員会, 2013年6月5日
6. 秋元圭吾, ALPSの成果の影響評価とコミュニティへの応用, シナリオイニシアティブWS, 2013年6月10日
7. 本間隆嗣, 秋元圭吾, 電気料金値上げによる関西地域の製造業への産業影響, 国際環境経済研究所のWebにて, 2013年6月19日
8. 秋元圭吾, CO<sub>2</sub>長期削減目標の再検討、キャンングローバル戦略研究所 地球温暖化シンポジウム, 2013年7月10日
9. 本間隆嗣, 秋元圭吾, 電気料金値上げによる関西地域の製造業への産業影響, 商工会議所ニュース, 2013年7月11日
10. 秋元圭吾, エネルギー・環境政策の見通しと検討のポイント, 福岡商工会議所, 2013年7月22日
11. 小田潤一郎, 鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>排出削減の検討: Energy/

carbon efficiency & Material efficiency, 第36回国際エネルギー経済学会年次大会 報告会, 2013年7月23日

12. G. Prins, M. E. Caine, K. Akimoto, et al., THE VITAL SPARK: INNOVATING CLEAN ENERGY FOR ALL, The London School of Education and Political Science, Jul. 2013
13. 本間隆嗣, エネルギー価格上昇による循環型産業への影響分析, 地球環境関西フォーラム: 第79回循環社会技術部会, 2013年8月8日
14. 秋元圭吾, 中期の温室効果ガス排出削減目標の見直しに関して, 経団連・国際環境戦略WG, 2013年8月22日
15. 秋元圭吾, エネルギー・環境政策の見通しと検討のポイント, 名古屋商工会議所, 2013年9月10日
16. 秋元圭吾, エネルギー基本計画・地球温暖化対策について, 日本商工会議所 産業経済・地域活性化・環境・エネルギー合同委員会, 2013年9月17日
17. 秋元圭吾, 温室効果ガス削減の中期目標の考え方と2050年に向けたシナリオ, 経済同友会 環境・エネルギー委員会, 2013年10月9日
18. 秋元圭吾, 環境エネルギー技術革新戦略の概要, Vital Spark セミナー, 経団連会館, 2013年10月8日
19. 秋元圭吾, 地球温暖化対策の長期技術戦略, Vital Spark セミナー, 京都大学国際交流ホール, 2013年10月10日
20. 山口光恒, 日本のFIT制度設計, Vital Spark セミナー, 京都大学国際交流ホール, 2013年10月10日
21. 秋元圭吾, 「アジア/世界エネルギーアウトック2013」へのコメント, 日本エネルギー経済研究所第413回定例研究報告会, 2013年10月21日
22. 秋元圭吾, Strengthening Cooperation between Australia and Japan on Energy and Resource Strategy, 日豪・豪日経済委員会 合同会議, 2013年10月22日
23. 秋元圭吾, 地球温暖化対策とエネルギー政策の見直しに向けた論点, 東京商工会議所 資源・エネルギー部会, 2013年10月29日
24. 小田潤一郎, Energy policies and their possible impacts on economy, environment, and security, アジア生産性機構 APO Workshop on Energy Policy in APO Economies, Pakistan, 2013年11月19日
25. 秋元圭吾, エネルギー選択によるコスト、経済性による影響, 関経連「エネルギー政策に関するシンポジウム」, 2013年11月29日
26. 小田潤一郎, 中国及び韓国の鉄鋼業界の動向: 中国及び韓国のエネルギー政策からみた需給構造の変化, 一般社団法人 日本電機工業会, 2013年12月6日
27. 秋元圭吾, 今後のエネルギー計画策定にあたって、電力総連「政策フォーラム」, 2013年12月10日



## ◆原著論文

1. K. Watanabe, H. Teramoto, N. Suzuki, M. Inui and H. Yukawa, Influence of *SigB* inactivation on *Corynebacterium glutamicum* protein secretion, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 97, pp.4917-4926, 2013
2. S. Hasegawa, M. Suda, K. Uematsu, Y. Natsuma, K. Hiraga, T. Jojima, M. Inui and H. Yukawa, Engineering of *Corynebacterium glutamicum* for high-yield L-valine production under oxygen deprivation conditions, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 79, pp.1250-1257, 2013
3. T. Kubota, Y. Tanaka, K. Hiraga, M. Inui and H. Yukawa, Characterization of shikimate dehydrogenase homologues of *Corynebacterium glutamicum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 97, pp.8139-8149, 2013
4. K. Toyoda, H. Teramoto, W. Gunji, M. Inui and H. Yukawa, Involvement of regulatory interactions among global regulators GlxR, SugR, and RamA in expression of *ramA* in *Corynebacterium glutamicum*, *Journal of Bacteriology*, Vol. 195, pp.1718-1726, 2013
5. Y. Kitade, S. Okino, W. Gunji, K. Hiraga, M. Suda, N. Suzuki, M. Inui and H. Yukawa, Identification of a gene involved in plasmid structural instability in *Corynebacterium glutamicum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 97, pp.8219-8226, 2013
6. H. Teramoto, M. Inui and H. Yukawa, OxyR acts as a transcriptional repressor of hydrogen peroxide-inducible antioxidant genes in *Corynebacterium glutamicum* R, *FEBS Journal*, Vol. 280, pp.3298-3312. 2013
7. N. Okibe, N. Suzuki, M. Inui and H. Yukawa, pCGR2 copy number depends on the *par* locus that forms a ParC-ParB-DNA partition complex in *Corynebacterium glutamicum*, *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 115, pp.495-508, 2013
8. Y. Tsuge, S. Yamamoto, M. Suda, M. Inui and H. Yukawa, Reactions upstream of glycerate-1,3-bisphosphate drive *Corynebacterium glutamicum* D-lactate productivity under oxygen deprivation, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 97, pp.6693-6703, 2013
9. S. Yamamoto, M. Suda, S. Niimi, M. Inui and H. Yukawa, Strain optimization for efficient isobutanol production using *Corynebacterium glutamicum* under oxygen deprivation, *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 110, pp.2938-2948, 2013

## ◆口頭発表 (国内学会)

1. 豊田晃一, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌における転写制御因子RamAの発現制御機構, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月25日
2. 久下貴之, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌におけるアラビノース利用遺伝子の発現制御機構, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月25日
3. 辻本敏博, 豊田晃一, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌におけるシグマ因子SigEを介したイソブタノールストレス応答, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月25日
4. 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌における亜鉛恒常性遺伝子の発現制御機構, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3

月25日

5. 田中裕也, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌における *gnd* 遺伝子の発現制御解析, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
6. 竹本訓彦, 田中裕也, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌Riboflavin transporter遺伝子の発現制御, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
7. 久保田健, 田中裕也, 平賀和三, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌が有する3種のシキミ酸デヒドロゲナーゼの機能解析, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
8. 藤倉慶太郎, 平賀和三, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌を利用した、アクリンを生成可能な脱炭酸酵素の探索と解析, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
9. 北出幸広, 沖野祥平, 郡司渉, 平賀和三, 須田雅子, 沖波奈緒子, 鈴木伸昭, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌におけるプラスミドの構造不安定性に関わる遺伝子の同定, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
10. 乾将行, 城島透, 信龍亮志, 須田雅子, 岡本憲治, 郡司貴浩, 岩田孝弘, 藤澤義和, Nancy Dowe, Daniel J. Schell, Ling Tao, John Ashworth, 湯川英明, RITEバイオプロセスによる非可食バイオマス由来混合糖からのエタノール生成, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
11. 加藤直人, 柘植陽太, 須田雅子, 城島透, Nancy Dowe, Daniel J. Schell, Ling Tao, John Ashworth, 乾将行, 湯川英明, RITEバイオプロセスによる非可食バイオマス由来混合糖からのD-乳酸生成, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
12. 長谷川智, 須田雅子, 平賀和三, 城島透, Nancy Dowe, Daniel J. Schell, Ling Tao, John Ashworth, 乾将行, 湯川英明, RITEバイオプロセスによるバリン生産; 収率の改善および非可食バイオマスからの生産の試み, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
13. 山本省吾, 須田雅子, 新美聡子, 乾将行, 湯川英明, 遺伝子組換えコリネ型細菌によるイソブタノール生産, 日本農芸化学会2013年度大会, 2013年3月26日
14. 乾将行, 代謝工学を駆使したコリネ型細菌によるバイオ燃料生産, 日本農芸化学会2013年度大会 「第二世代バイオ燃料」研究の潮流と最先端オミクス解析の活用による新展開, 2013年3月27日

## ◆その他発表

1. 湯川英明, 新産業バイオリファイナリーの現状と将来像, 経済同友会 科学技術・イノベーション委員会「国主導の研究開発に関する分科会 第4回会合」, 2013年3月25日



## ◆原著論文

1. F.A. Chowdhury, H. Yamada, T. Higashii, K. Goto, M. Onoda, CO<sub>2</sub> Capture by Tertiary Amine Absorbents: A Performance Comparison Study, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol.52, Issue 24, pp.8323-8331, 2013
2. S. Duan, T. Kai, I. Taniguchi, S. Kazama, Development of Poly(amidoamine) Dendrimer/Poly(vinyl alcohol) Hybrid Membranes for CO<sub>2</sub> Separation, Desalination and Water Treatment Journal, Vol. 51, Issue 25-27, pp.5337-5342, 2013
3. T. Kai, I. Taniguchi, S. Duan, F.A. Chowdhury, T. Saito, K. Yamazaki, K. Ikeda, T. Ohara, S. Asano, S. Kazama, Molecular Gate Membrane: Poly(amidoamine) Dendrimer/polymer Hybrid Membrane Modules for CO<sub>2</sub> Capture, *Energy Procedia*, Vol.37, pp.961-968, 2013
4. S. Duan, I. Taniguchi, T. Kai, S. Kazama, Development of poly(amidoamine) dendrimer/polyvinyl alcohol hybrid membranes for CO<sub>2</sub> capture at elevated pressures, *Energy Procedia*, Vol.37, pp.924-931, 2013
5. H. Yamada, F.A. Chowdhury, K. Goto, T. Higashii, CO<sub>2</sub> solubility and species distribution in aqueous solutions of 2-(i sopropylamino)ethanol and its structural isomers, *International Journal of Greenhouse Gas Control* Vol.17, pp.99-105, 2013
6. S. Yamamoto, T. Higashii, Behavior Characterization of Heat-Stable Salt in Amine-Based Solvent for CO<sub>2</sub> Capture Process from Blast-Furnace Gas, *Chemistry Letters*, Vol.42, No. 5, pp.532-534, 2013
7. D.S. Dao, H. Yamada, K. Yogo, Large-pore mesostructured silica impregnated with blended amines for CO<sub>2</sub> capture, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol.52, pp.13810-13817, 2013
8. H. Yamada, Y. Matsuzaki, F.A. Chowdhury, T. Higashi, Computational investigation of carbon dioxide absorption in alkanolamine solutions, *Journal of Molecular Modeling*, Vol.19, pp.4147-4153, 2013
9. H. Yamada, F.A. Chowdhury, T. Higashii, Y. Matsuzaki, M. Onoda, Ab Initio study of CO<sub>2</sub> capture mechanisms in monoethanolamine aqueous solution: reaction pathways for the Direct Conversion between Carbamate and Bicarbonate, *The Journal of Physical Chemistry A*, Vol.117, Issue 38, pp.9274-9281, 2013
10. T. Watabe, K. Yogo, Isotherms and Isothermic Heats of Adsorption for CO<sub>2</sub> in Amine-Functionalized Mesoporous Silicas, *Separation and Purification Technology*, Vol.120, pp.20-23, 2013
11. J. Fujiki, K. Yogo, Polyethyleneimine-functionalized biomass-derived adsorbent beads for carbon dioxide capture at ambient conditions, *Chemistry Letters*, Vol.42, No.12 pp.1484-1486, 2013
12. S. Yamamoto, T. Higashii, Chemical Stability of Secondary-Alkanolamine-Based CO<sub>2</sub> Solvents under Stripping Condition, *Chemistry Letters*, Vol.42, No.12 pp.1559-1561, 2013
13. S. Duan, T. Kai, S. Kazama, I. Taniguchi, H. Jinnai, Effect of Phase-separated structure on CO<sub>2</sub> separation performance of poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene

glycol) network, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol.1, Issue 46, pp.14514-14523, 2013

14. F.A. Chowdhury, H. Yamada, T. Higashii, Y. Matsuzaki, S. Kazama, Synthesis and Characterization of New Absorbents for CO<sub>2</sub> Capture, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.265-272, 2013
15. S. Yamamoto, H. Machida, Y. Fujioka, T. Higashii, S. Kazama, Development of Chemical CO<sub>2</sub> Solvent for High-Pressure CO<sub>2</sub> Capture, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.505-517, 2013
16. H. Yamada, F.A. Chowdhury, Y. Matsuzaki, K. Goto, T. Higashii, S. Kazama, Effect of alcohol chain length on carbon dioxide absorption into aqueous solutions of alkanolamines, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.499-504, 2013
17. Y. Matsuzaki, H. Yamada, F.A. Chowdhury, T. Higashii, S. Kazama, M. Onoda, Ab Initio study of CO<sub>2</sub> capture mechanisms in monoethanolamine aqueous solution: reaction pathways from carbamate to bicarbonate, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.400-406, 2013
18. I. Taniguchi, T. Kai, S. Duan, S. Kazama, PAMAM Dendrimer Containing Polymeric Membrane for Preferential CO<sub>2</sub> Separation Over H<sub>2</sub> - Interplay between CO<sub>2</sub> Separation Properties and Morphology, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.1067-1075, 2013
19. K. Yogo, H. Takeyama, K. Nagata, Pore-fill-type Palladium-Porous Alumina Composite Membrane for Hydrogen Separation, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.1104-1108, 2013
20. T. Watabe, Y. Nishizaka, S. Kazama, K. Yogo, Development of Amine-Modified Solid Sorbents for Postcombustion CO<sub>2</sub> Capture, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.199-204, 2013
21. T. Tomioka, T. Sakai, H. Mano, Carbon dioxide separation technology from biogas by membrane/absorption hybrid method, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.1209-1217, 2013
22. N. Takahashi, K. Matsuzaki, T. Funai, T. Wada, H. Fukunaga, T. Takatsuka, H. Mano, Effects of membrane properties on CO<sub>2</sub> desorption from chemical absorbents using a membrane flash process, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.1060-1066, 2013
23. K. Goto, S. Kazama, A. Furukawa, M. Serizawa, S. Aramaki, K. Shoji, Effect of CO<sub>2</sub> purity on energy requirement of CO<sub>2</sub> capture processes, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.806-812, 2013
24. S. Kazama, K. Haraya, Optimization of CO<sub>2</sub> concentration captured by membrane technology - Possibility of reduction in CO<sub>2</sub> capture energy and cost -, *Energy Procedia*, Vol. 37, pp.969-975, 2013

## ◆解説／総説文

1. 東井隆行, RITEにおける二酸化炭素分離回収技術開発と国際標準化への取り組み, 機関紙「環境管理」, 2013年4月号
2. K. Goto, K. Yogo, T. Higashii, A review of efficiency penalty in a coal-fired power plant with post-combustion CO<sub>2</sub> capture, *Applied Energy*, Vol.111, pp.710-720, 2013

## ◆口頭発表 (国内学会)

1. 小玉聡, 後藤和也, 関口秀俊, 発電所からの常圧および高圧排ガスに対するCO<sub>2</sub>分離回収プロセスの評価, 化学工学会第78年会, 2013年3月19日





## 化学研究グループ

2. 段淑紅, 甲斐照彦, 斉藤崇, 山崎浩太, 池田健一, デンドリマー/PVAハイブリッド膜の開発とCO<sub>2</sub>分離特性, 日本膜学会第35年会, 2013年5月20日
3. 斉藤崇, 糸山晃仁, 加藤和裕, 余語克則, 谷口育雄, 池田健一, 甲斐照彦, 有機/無機複合膜の界面構造解析とガス透過特性, 日本膜学会第35年会, 2013年5月20日
4. 後藤和也, 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)の実用化に向けた化学吸収法の研究開発, 分離技術会年会2013, 2013年5月24日
5. 山本信, 山田秀尚, 東井隆行, 新規高圧用CO<sub>2</sub>化学吸収液の開発状況, 分離技術会年会2013, 2013年5月24日
6. 山田秀尚, 後藤和也, 山本信, 東井隆行, CO<sub>2</sub>分離回収材の反応 (1) 1級アルカノールアミン, 分離技術会年会2013, 2013年5月25日
7. 山崎浩太, 段淑紅, 斉藤崇, 甲斐照彦, 池田健一, デンドリマー/ポリビニルアルコール架橋膜の二酸化炭素分離特性, 第62回高分子学会年次大会, 2013年5月30日
8. 東井隆行, 「二酸化炭素の回収・貯留・有効利用に関する最新の技術開発動向と法制化・規制の流れ」のうち、「炭酸ガス回収技術の最新動向」, (公財)新化学技術推進協会環境技術部会, 2013年8月2日
9. 余語克則, 二酸化炭素分離回収技術開発の動向, 第22回吸着シンポジウム, 2013年9月5日
10. 山崎浩太, 段淑紅, 斉藤崇, 甲斐照彦, 池田健一, デンドリマー含有気体分離架橋膜の二酸化炭素分離性能における架橋剤の影響, 第62回高分子学討論会, 2013年9月12日
11. 打谷一晃, 西坂洋輔, 渡部毅, 余語克則, 各種アミン修飾メソ多孔体の合成と二酸化炭素吸着性能評価, 化学工学会 第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
12. 中澤大地, 武山博道, 余語克則, 細孔内充填型パラジウム-多孔質アルミナ複合体の調製と水素分離膜への適用, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
13. 渡部毅, 余語克則, ポリアミン含浸担持メソポーラスシリカのCO<sub>2</sub>吸着特性, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
14. 山田秀尚, Firoz. A.Chowdhury, 後藤和也, 東井隆行, 松崎洋市, CO<sub>2</sub>分離回収材の反応 (2) 2級アルカノールアミン, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
15. 山田秀尚, 町田洋, 山本信, 東井隆行, 藤岡祐一, CO<sub>2</sub>分離回収材の反応 (3) 3級ジアミン, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
16. 後藤和也, 山田秀尚, 東井隆行, アミン系吸収液のCO<sub>2</sub>吸収速度パラメータの決定, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-18日
17. 山本信, 東井隆行, 高圧再生型CO<sub>2</sub>化学吸収液の開発-高圧条件化でのCO<sub>2</sub>吸収熱量評価, 化学工学会第45回秋季大会, 2013年9月16日-19日
18. 山田秀尚, 後藤和也, 東井隆行, 松崎洋市, CO<sub>2</sub>分離回収材の反応 (4) 核磁気共鳴分光分析, 第7回分子科学討論会, 2013年9月24日-27日
19. 打谷一晃, 西坂洋輔, 余語克則, 各種アミン修飾メソ多孔体の合成と二酸化炭素吸着性能評価, 第27回日本吸着学会, 2013年11月21日-22日
20. 藤木淳平, 余語克則, バイオマス系吸着材のCO<sub>2</sub>吸着特性, 第27回日本吸着学会, 2013年11月22日
21. 山田秀尚, Duc. S. Dao, 藤木淳平, 余語克則, CO<sub>2</sub>分離回収材

の反応 (5) アミン含浸メソポーラスシリカ, 第27回日本吸着学会, 2013年11月21日-22日

22. 甲斐照彦, 未来を拓くガス分離膜 2.CO<sub>2</sub>分離膜, ニューメンブレックテクノロジーシンポジウム2013, 2013年11月26日

23. 中澤大地, 武山博道, 永田健祐, 余語克則, 保護層を有する細孔内充填パラジウム膜の合成と水素製造における水素分離膜としての性能, 第33回水素エネルギー協会大会, 2013年12月12日

## ◆口頭発表 (国際学会)

1. S. Duan, T. Kai, T. Saito, K. Yamazaki, K. Ikeda, Effect of cross-linking on the mechanical and thermal properties of poly(amidoamine) dendrimer/poly(vinyl alcohol) hybrid membranes for CO<sub>2</sub> separation, AMS8(the 8th Conference of Aseanian Membrane Society), Jul. 17, 2013

2. S. Nakao, Development of CO<sub>2</sub> capture technology in RITE, Japanese-Norwegian Workshop Membranes for Sustainable Energy Technology, Aug. 27-28, 2013

3. T. Kai, Molecular Gate Membrane:Poly(amidoamine) Dendrimer/polymer Hybrid Membrane Modules for CO<sub>2</sub> Capture, Japanese-Norwegian Workshop Membranes for Sustainable Energy Technology, Aug. 27-28, 2013

4. T. Saito, S. Nakao, M. Seshimo, K. Akamatsu, K. Miyajima, Effect of physically adsorbed water molecules on the H<sub>2</sub>-selective performance of a silica membrane, Japanese-Norwegian Workshop Membranes for Sustainable Energy Technology, Aug. 27-28, 2013

5. S. Nakao, CVD silica membrane and membrane reactor using silica membranes, Japanese-Norwegian Workshop Membranes for Sustainable Energy Technology, Aug. 27-28, 2013

6. K. Yamazaki, S. Duan, T. Saito, K. Ikeda, I. Taniguchi, T. Kai, Effect of cross-linking on separation properties of poly(amidoamine) dendrimer/poly(vinyl alcohol) hybrid membranes for CO<sub>2</sub> separation, Engineering with Membranes 2013, Sep. 5, 2013

7. K. Goto, H. Yamada, T. Higashii, Prediction of Reaction Rate constant of Carbon Dioxide Absorption into Aqueous Amine Solution, 2013 AIChE Annual Meeting, Nov. 7, 2013

8. J. Fujiki, K. Yogo, Synthesis and characteristics of amine functionalized biopolymers for CO<sub>2</sub> capture, 2013 AIChE Annual Meeting, Nov. 6, 2013

9. T. Saito, T. Kai, S. Duan, K. Yamazaki, I. Taniguchi, K. Ikeda, The Effect of Water Vapor on Separation Performance of PAMAM dendrimer/cross-linked PEG hybrid Membrane, IMSTEC2013, Nov. 28, 2013



◆原著論文

1. H. Ishida, L.G. Golmen, J. West, M. Kuger, P. Coombs, J.A. Berge, T. Fukuhara, M. Magi, J. Kita, Effects of CO<sub>2</sub> on benthic biota: An in situ benthic chamber experiment in Storfjorden (Norway), *Mallin Pollution Bulletin*, Vol.73, pp.443-451, 2013
2. J. Kita, T. Kikkawa, T. Asai, A. Ishimatsu, Effects of elevated pCO<sub>2</sub> on reproductive properties of the benthic copepod *Tigriopus japonicus* and gastropod *Babylonia japonica*, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 73, pp.402-408, 2013
3. 小暮哲也, 木山保, 西澤修, 薛自求, 松岡俊文, 分布式光ファイバーセンサーによる静水圧環境下におけるひずみ測定, 物理探査, 投稿中

◆解説/総説文

1. 喜田潤, 海底下二酸化炭素貯留の環境影響評価について, 月刊地球, 2013

◆口頭発表 (国内学会)

1. 内本圭亮, 海底下貯留における海域環境影響評価手法の開発, CCSテクニカルワークショップ, 2013年1月24日
2. 喜田潤, サイト選定と環境影響評価—法規制から実例まで—, CCSテクニカルワークショップ, 2013年1月24日
3. 小暮哲也, 薛自求, 光ファイバーセンシングによる坑井近傍の地層安定性モニタリング手法の開発, 石油技術協会平成25年度春季講演会, 2013年6月28日
4. 中島崇裕, 西澤修, 薛自求, 長岡サイトの貯留層におけるVp/Vsと岩相の関係, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月19日
5. 小暮哲也, 薛自求, 分布式光ファイバーによるセメント試料の温度・ひずみ測定, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月19日
6. 木山保, 西澤修, 薛自求, 閾値圧測定のための超臨界CO<sub>2</sub>を注入した泥岩の膨張変形挙動, 資源・素材学会春季大会, 2013年3月29日
7. 高岸万紀子, 橋本励, 堀川滋雄, 楠瀬勤一郎, 薛自求, CO<sub>2</sub>地中貯留サイトにおける微小振動観測—米国Cranfield油田の観察結果—(その2), 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月22日
8. 東宏幸, 薛自求, CO<sub>2</sub>地中貯留における部分飽和と弾性波の減衰, 第128回物理探査学会学術講演会, 東京, 2013年6月3日
9. 千代延俊, 中島崇裕, 薛自求, 長岡CCSサイトの3D貯留層モデルとCO<sub>2</sub>挙動シミュレーション, JPGU Meeting 2013, 2013年5月22日
10. 石田洋, 牧野高志, 石坂丞二, 古澤一思, 渡辺豊, 渡辺雄二, 喜田潤, 西部北太平洋亜熱帯海域における植物プランクトン群集組成台風による影響の可能性, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 2013年9月17日-21日
11. 木山保, 西澤修, 薛自求, 数種の泥岩の定流量排出法による超臨界CO<sub>2</sub>閾値圧測定と膨張変形挙動, 平成25年度 資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2013年9月4日
12. 薛自求, 張毅, 西澤修, 木山保, X-CTによる多孔質砂岩中の流体置換の可視化と弾性波の同時測定の試み, 平成25年度 資源・素材関係学協会合同秋季大会, 北海道, 2013年9月4日
13. 東宏幸, 薛自求, CO<sub>2</sub>地中貯留モニタリングにおける弾性波の

- 減衰の利用, 第129回物理探査学会学術講演会, 2013年10月22日
14. 高岸万紀子, 橋本励, 堀川滋雄, 楠瀬勤一郎, 薛自求, CO<sub>2</sub>地中貯留サイトにおける微小振動観測と観測システムの検知能力評価, 日本地震学会2013年度秋季大会, 2013年10月7日

◆口頭発表 (国際学会)

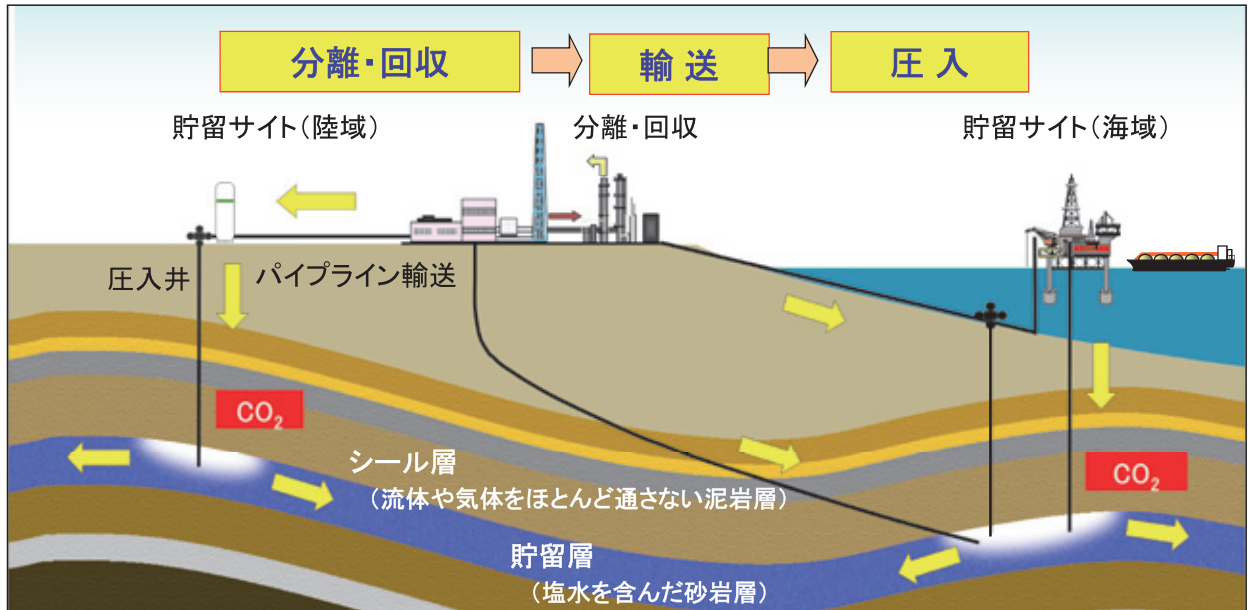
1. R. Tanaka, CCS RD&D and Strategy in Japan, The 5th Symposium on CCS in Gungih Area, Central Java, Indonesia, Mar. 16, 2013
2. Y. Zhang, O. Nishizawa, T. Kiyama, S. Chiyonobu, Z. Xue, An experimental study of the supercritical CO<sub>2</sub>/Brine behavior in a porous rock during Drainage and Imbibition : revealed by X-ray CT and Ultrasonic waves, *Geophysical Journal International*, Apr. 16, 2013
3. T. Nakajima, O. Nishizawa, Z. Xue, A relationship between Vp/Vs and rock properties in the reservoir at Nagaoka CCS site, AGOS 10th Annual meeting, Jun. 24, 2013
4. M. Hayashi, A. Shimamoto, C. Katsuyama, Y. Suwa, I. Yoshinaga, Y. Watanabe, J. Kita, Effects of elevated pCO<sub>2</sub> on the aerobic ammonia oxidation activity of micro-organisms in marine sediment, 3rd International Conference on Nitrification, Sep. 3, 2013
5. Y. Kawata, Z. Xue, S. Mito, Reactive transport modelling of mineral trapping of CO<sub>2</sub>, revised by water sampling data at Nagaoka CO<sub>2</sub> storage site, *Goldschmidt 2013*, Aug. 27, 2013
6. Z. Xue, T. Nakajima, Microseismic monitoring at the CCS and CO<sub>2</sub>-EOR fields -Lessons from the Nagaoka pilot CO<sub>2</sub> injection site-, 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, Aug. 20, 2013
7. W. Sekiguchi, I. Takahashi, M. Otake, Time-lapse P-wave velocity variation indicating transition from patchy to uniform saturation while CO<sub>2</sub> monitoring, The 19th Formation Evaluation Symposium of Japan, Sep. 27, 2013
8. T. Nakajima, Well Integrity at Nagaoka site using time-lapse logging data, CO<sub>2</sub>CARE, Nov. 4, 2013



	発明名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
登 録 特 許	カーボンナノチューブを用いた導電性材料の製造方法、および導電性材料を利用した電気二重層キャパシタ	R I T E 日立造船株式会社 利昌工業株式会社	日本	5178509 (2013年1月18日)
	油脂からの脂肪酸アルキルエステル及び/又はグリセリンの製造方法	R I T E 株式会社日本触媒	日本	5186083 (2013年1月25日)
	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	R I T E	日本	5186126 (2013年1月25日)
	CO <sub>2</sub> 分離剤、及びCO <sub>2</sub> の選択的分離方法	R I T E	日本	5186410 (2013年1月25日)
	二次電池用正極材料、その製造方法、および二次電池	R I T E 三井造船株式会社	韓国	10-1237686 (2013年2月20日)
	イソプロパノール生産能を有するコリネ型細菌の形質転換体	R I T E	中国	ZL200980114644.0 (2013年4月10日)
	ブタノール生産能を有する形質転換体	R I T E	日本	5243748 (2013年4月12日)
	ピュアシリカゼオライトの製造方法	R I T E	日本	5244367 (2013年4月12日)
	ガス分離複合膜	R I T E	日本	5241751 (2013年4月12日)
	ガス中の二酸化炭素を効率的に回収する方法	R I T E	米国	8419831 (2013年4月16日)
	イソプロパノール生産能を有する形質転換体	R I T E	米国	8426172 (2013年4月23日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるブタノールの製造方法	R I T E	日本	5252940 (2013年4月26日)
	複合体の製造方法	R I T E	日本	5253369 (2013年4月26日)
	蒸着法による成膜装置	R I T E 住友電気工業株式会社	日本	5260843 (2013年5月2日)
	単結晶SiCの成長方法	R I T E 株式会社エクトロン	日本	5263900 (2013年5月10日)
	コリネ型細菌形質転換体による高効率な有機化合物の製造方法	R I T E	日本	5296166 (2013年6月21日)
	高分子膜およびその製造方法	R I T E	日本	5314291 (2013年7月12日)
	高分子膜及びその利用	R I T E	日本	5329207 (2013年8月2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	中国	ZL200980123139.2 (2013年8月7日)
	イソプロパノール生産能を有する形質転換体	R I T E	日本	5395667 (2013年10月25日)
	イソプロパノール生産能を有するコリネ型細菌の形質転換体	R I T E	日本	5395063 (2013年10月25日)
	プロモーター機能を有するDNA断片	R I T E	ヨーロッパ	2434015 (2013年11月20日)
	不飽和ポリエステル樹脂およびモールド成型体	R I T E パナソニック株式会社	日本	5414153 (2013年11月24日)
プロモーター機能を有するDNA断片	R I T E	米国	8604180 (2013年12月10日)	

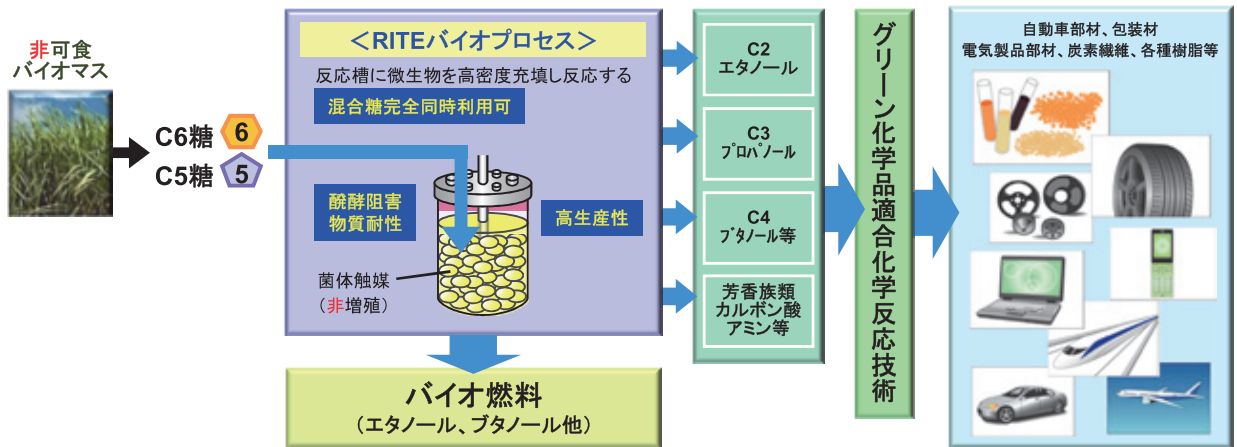
	発明名称	出願人	国情報	公開・公表番号 (公開・公表日)
公 開 ・ 公 表 特 許	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるバリンの製造方法	R I T E	WO (国際公開)	WO2013/027709 (2013年2月28日)
	高圧用二酸化炭素吸収剤並びに高圧二酸化炭素吸収及び回収方法	R I T E	日本	WO2011/071150 (2013年4月22日)
	ガス分離複合膜	R I T E	日本	WO2011/102326 (2013年6月17日)
	排ガス中の二酸化炭素を効率的に吸収及び回収する水溶液、及びそれを用いた二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵住金株式会社	WO (国際公開)	WO2013/118819 (2013年8月15日)

## 二酸化炭素回収・貯留に関する特許



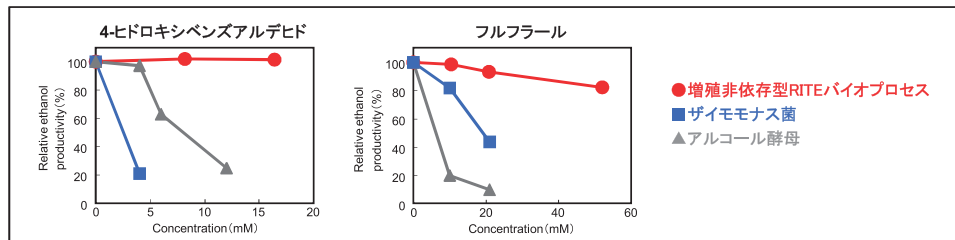
分離・回収関連技術	<p>1 化学吸収液技術</p> <p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所燃焼排ガスや製鉄所高炉ガス等から、CO<sub>2</sub>を高効率に回収  <b>分離回収エネルギーを大幅に低減</b>（～2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>）</li> <li>・石炭ガス化ガスや天然ガス等の高圧ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を高圧で分離回収（高圧再生型化学吸収液）  <b>昇圧エネルギー削減で分離回収エネルギーの大幅低減</b></li> </ul> <p>(2)関連特許（公開分）                  特開第2009-213972号、特開第2011-194388号、特許5449059号                  国際公開第2009/001804号、国際公開第2011/071150号</p>
	<p>2 固体吸着技術</p> <p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アミンを多孔質材料に担持し、<b>分離回収エネルギーを低減</b>（約3割減）                  （燃焼排ガス用固体吸収材）</li> <li>・<b>低濃度（1%未満）のCO<sub>2</sub>回収が可能</b>（閉鎖空間利用）</li> <li>・<b>除湿プロセスを簡略可能な耐水蒸気型のCO<sub>2</sub>吸着材</b></li> </ul> <p>(2)関連特許（公開分） 特許第5244367号、特許第5186410号、特開第2012-139622号</p>
	<p>3 膜分離技術</p> <p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・IGCC（石炭ガス化複合発電）の<b>高圧ガスからCO<sub>2</sub>を透過回収</b>（CO<sub>2</sub>濃度 95%）                  圧力駆動で省エネルギーを実現</li> <li>・CO<sub>2</sub>と窒素ガスを効率よく分離 <b>CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>分離比=1000</b></li> </ul> <p>(2)関連特許（公開分） 特許第4980014号、国際公開第2009/044588号、国際公開第2011/102326号</p>
圧入関連技術	<p>1 CO<sub>2</sub>マイクロバブル地中貯留技術</p> <p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>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）</b>にして地下深部貯留層へ圧入</li> <li>・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<b>CO<sub>2</sub>-EOR（石油増進回収）</b>にも適用可能</li> <li>・CO<sub>2</sub>以外の<b>廃ガス（フレアー）</b>にも適用可能</li> </ul> <p>(2)関連特許（公開分）                  ・貯留物質の貯留装置および貯留方法 国際公開第2012/133265号、特許第5399436号</p>
	<p>2 光ファイバーによる地層安定性評価技術</p> <p>(1)技術特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>光ファイバー</b>内の散乱波周波数シフトや光ファイバー特有の係数を基に、<b>物体のひずみ</b>を計測</li> <li>・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、<b>深度方向における地層変形を連続的に把握</b>することが可能</li> <li>・<b>CO<sub>2</sub>地中貯留サイト、油ガス田開発、シェールガスやメタンハイドレート開発</b>に応用可能</li> </ul> <p>(2)関連特許（公開分）                  ・物体の体積変化計測方法 特開第2012-225744号</p>

## バイオリファインリーに関する特許



### (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い生産性  
**単位容積・時間あたりの生産量：通常の発酵法と比較して数倍以上**
- 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  
**最先端バイオテクノロジーを駆使した微生物（コリネ型細菌）の創製**
- フェノール類やフラン類、有機酸類など発酵阻害物質に対し高耐性



RITE バイオプロセス

### (2) 関連特許（公開分）

- 特許第5074131号 L-アラビノース利用機能を有するコリネ型細菌形質転換体  
 C6糖（グルコース）とC5糖（アラビノース）を同時利用することができるコリネ型細菌形質転換体
  - 国際公開第2009/154122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（※1）  
 C6糖（グルコース）とC5糖（キシロース）を同時利用することができるコリネ型細菌形質転換体
  - 特許第3869788号 コリネ型細菌を用いる有機化合物の製造方法  
 改良したコリネ型細菌を用いて、RITEバイオプロセスにより有機酸やアルコールを生産する方法
  - 特許第4451393号 コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるジカルボン酸の製造方法（※2）  
 ジカルボン酸を効率的に生産するコリネ型細菌とその菌を用いたRITEバイオプロセスによる生産方法
  - 特許第4745753号 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  
 改良したコリネ型細菌を用いて、RITEバイオプロセスによりアミノ酸を生産する方法
  - 特許第4927297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（※3）  
 エタノールを効率的に生産するコリネ型細菌とその菌を用いたRITEバイオプロセスによる生産方法
  - 特許第5252940号 コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるブタノールの製造方法  
 ブタノールを効率的に生産するコリネ型細菌とその菌を用いたRITEバイオプロセスによる生産方法
- （※1）（※2）（※3）日本以外に米国、ヨーロッパ等の外国に移行

# RITE Today<sup>2014 Vol.09</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