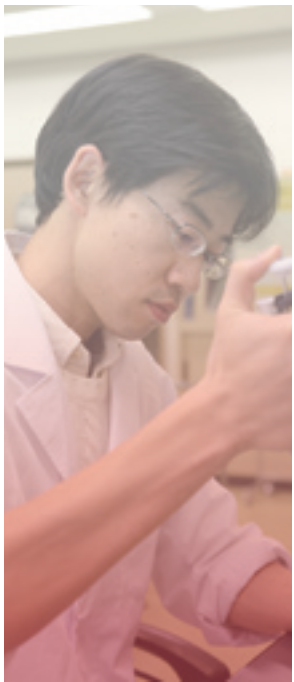


RITE Today^{2015 Vol.10} Annual Report

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 年次報告書 2015年版 第10号



RITE
Research Institute of Innovative
Technology for the Earth



RITE Today

2015 Vol.10

Contents

巻頭言



長期の温暖化対策に挑む

理事長 茅 陽一

03

特集



IPCC 第 5 次評価報告書 (AR5) 統合報告書 (SYR) について

参与 山口 光恒

04



IPCC 第 5 次評価報告書 (AR5) 第 3 作業部会 (WG3) 報告書について

システム研究グループリーダー 秋元 圭吾

研究活動概説



企画調査グループ・CCS の現状と課題

12



システム研究グループ・システム研究グループの研究活動報告

20



バイオ研究グループ・グリーン燃料・グリーン化学品の生産技術開発に向けた取り組み

28



化学研究グループ・CO₂ 分離・回収技術の高度化・実用化、およ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

36



CO₂ 貯留研究グループ・実適用を目指す CO₂ 貯留技術開発の取り組み

44

トピックス

52

2014 年 (平成 26 年) 発表論文一覧

60

登録特許及び公開特許一覧

69

特許紹介



長期の温暖化対策に挑む

公益財団法人地球環境産業技術研究機構

理事長 茅 陽一

本研究機構の基本の役割は、地球温暖化問題解決のための長期的方策の検討とその技術の開発である。我々が現在取り組んでいる問題で、中でも特に重要と思われるものを2つだけあげよう。

第一は日本と世界の脱温暖化へむけての具体的シナリオを描くことである。以前から気温上昇を工業化以前にくらべて2℃以内に抑制する目標が世界的に取り上げられているが、そのよしあしはともかくとして、その実現の方策として従来から世界の温室効果ガス排出を2050年までに半減する、という考えが唱えられてきた。事実、我が国でも安倍政権が最初の政権のときにそれを世界にクールアースの名で呼びかけたことがある。しかし、発展途上国が世界の温室効果ガス排出の6割を占めしかも更にその排出を急激に伸ばしている状況では、その実現は非常にむずかしい、と考えられる。

だが、一昨年から昨年にかけて発表されたIPCC最新報告のシナリオなどをみると、2つの面でこれを再検討すべき状況がでてきた。一つは2℃を達成する道筋は一つではなく、その選択の道筋によっては2000年比で必要な排出量が22%減とかなり低減できることである。またもう一つは気候感度（CO₂の排出倍増による温度上昇程度）について最近その数値が今まで考えられている値よりある程度低いのではないか、という学説が有力になっていることである。本機構の検討によると、現状は最良推定値が3℃とされているのだが、それが0.5℃減るだけで2050年に必要な現状に比しての排出削減は殆どゼロになる。これは温暖化政策が実現性の高いものになり得る可能性を示しており、今後の詳しい検討が早急に求められている。

第二の問題は温室効果ガス削減の直接的方策としてのCO₂の回収貯留（CCS）技術の実現化である。温暖化を最終的に一定レベル以上進行させないためには、CO₂排出を抜本的に削減せねばならず、そのためにはCCSの開発普及が必須であることがIPCCやIEAによって明確に示されている。本機構ではすでにCO₂の貯留実験や国のより大きな苫小牧実証プラントの支援などを行っているが、世界的にもCCSの大規模な導入はまさにこれからの問題であり、本機構はCO₂のより安価でよりエネルギー消費の少ない回収技術の開発、安全な貯留技術の実現に一層の努力を傾注したい、と考えている。

上記の2つは、現在本機構の抱える重要問題であるが、今後の温暖化対策研究課題は当然のことながらこれに限らずいろいろあり、本機構はそれらの課題の検討に今後一層の力を注ぐ予定である。

IPCC 第5次評価報告書 (AR5) 統合報告書 (SYR) について



参与 山口 光恒

本稿ではIPCC第5次評価報告書 (AR5) の3つの作業部会 (WG)¹⁾ 報告書をまとめた統合報告書 (Synthesis Report、以下SYR) の内容についてコメントする。SYRは本文と政策決定者のための要約 (SPM) からなるが、以下では特段の言及がない限りSPMに関するものである。

1. SYRの内容

1.1 観測された変化とその原因

1950年以降の気温上昇は前例のないもので、その主たる原因は人間活動による温室効果ガス (GHG) 排出量の増加にある (信頼度95%以上) とある。これにより人間活動による温暖化に疑問を呈する「懐疑論」にほぼとどめを刺している。この他、1880年から2012年迄の間に気温が約0.85℃上昇したこと、1901から2010年の間に海面が約19cm上昇したことなどが書かれている。また、人為的影響の最大の原因は世界の経済成長と人口増による化石燃料燃焼からのCO₂排出であり、温暖化の影響は既に広範に見られるとしている。

1.2 将来の気候変動・リスク・影響

このまま排出増が続けば気温は更に上昇し、人間や生態系に甚大な被害を与える。これを防ぐには大幅なGHG排出削減が必要で、これに適応を組み合わせることでリスクを減じることが出来る。特に重要なのはCO₂の累積排出量と2100年に向けての気温上昇はほぼ直線の関係にあるとし、19世紀後半からの気温上昇を66%以上の確率で2℃以下に抑えるために残された排出余地は1000Gtしかないという点である。WG3報告書によれば2010年のCO₂排出量が38Gtなので、このままの排出が続くと26年強でこの水準に達してしまう。

気温上昇に伴う被害のうち注目すべきは経済的損害については現時点では推定困難としている点である。また、大規模災害の例としてグリーンランド氷床崩壊は工業化からの気温上昇が1℃～4℃に達すると1,000年以上かけて起こり海面が最高7m上昇するが、1℃の場合の信頼度は低く、4℃の場合の信頼度は中庸となっている²⁾。

1.3 適応・緩和・持続可能な成長に向けてのGHG排出経路等

この点の主要部分については、次節にWG3の解説があるので詳細はそちらに譲る。ポイントは次の通りである。

緩和、適応を含めてどこまで対策を行うかについては経済的側面、不確実性、倫理的側面、衡平性等の社会的側面を踏まえた上でリスクと便益を考慮して決める。即ち、持続可能な成長との整合を図る際には対策に伴う副次的便益とトレードオフを考慮すべきということである。

1) WG1は気候変動の科学、WG2は影響・適応・脆弱性、WG3は緩和に関する評価を行う。

2) 南極大陸の氷床についても同様の可能性はあるが、現状の知見は不十分で数値的評価は困難とある。

2. 統合報告書への疑問及び今後の課題

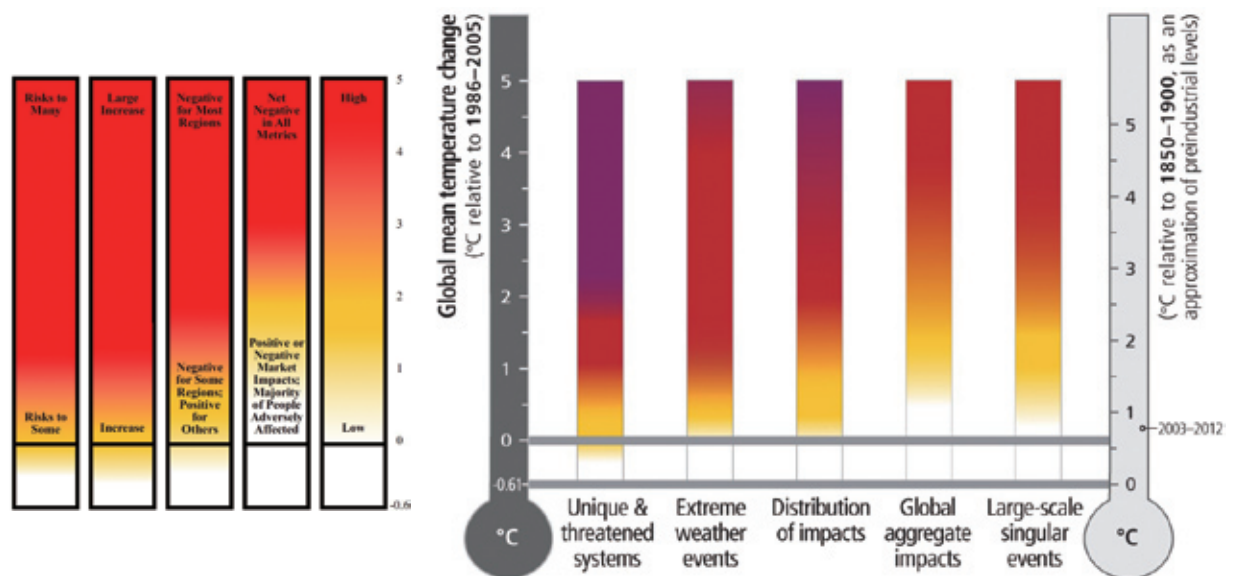
2.1 気候感度変更

AR5では気候感度が1.5～4.5℃（AR4では2～4.5℃）と下方修正され、Best Estimateについては専門家の間で合意が得られず提示されなかった。この意味は次節のWG3の解説を参照願いたい、この重要な情報がSYRの本文にはあるもののSPMには一言も触れていない。この理由は不明であるが、大きな疑問点である。

2.2 気温上昇による損害の大幅修正を巡る問題

図は気温上昇に伴うリスクを種の多様性、影響の地域的分布、大規模災害等5つのカテゴリー別に表したもので、左が2009年のSmithらの論文³⁾、右がこれを基に作成したAR5の図である。比べると明らかに右の方がリスクが増大している。両図とも自律的なものを除いて適応は考慮していないが、AR5/WG2の第19章の説明ではこの理由は上に挙げた3つのカテゴリーについて新たに適応の限界を考慮したことにある。確かにこの3つで特にリスクが高くなっている。しかしリスクの度合いは19章の執筆者（7名）の価値判断によるものであり、この点不透明な部分が残る。これを受けてSYRでは適応を考慮しても緩和策がなければ今世紀末には甚大で不可逆な悪影響を蒙るとして下図を参照しているが、これは工業化以降の気温上昇が4℃上昇の場合を指した話であり、あたかもこれ以下の気温上昇でも適応の効果を否定するような表現で誤解を招く。

3) Smith et al. (2009), "Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern"", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, <http://climatechange.pbworks.com/f/Assessing%20dangerous%20climate%20change%20reasons%20for%20concern%20PNAS%202009.pdf>



左Smithら、右第5次報告書。赤が濃くなるほどリスクが大きい。左図のカテゴリーの順番は右図に同じ。左図の0℃は1990年、右図の左の目盛りは左図にほぼ同じ、右の目盛りは工業化以降の気温上昇

気温上昇によるリスクの変化（ROC、Reasons for Concern）

2.3 対策コストそれによる損害減少（便益）の関係

詳細は省略するが、対策コストは消費の伸び率をほんの少し引き下げるだけとある。しかしこのコストは理想的な状況を前提とし、しかもそのうち非現実的な世界共通炭素税についてはこの前提が崩れた場合の試算はない。他方損害については不確定として数量的表現がない。これでは対策により回避される損害（便益）が不明であり、この点は今後の課題である。

2.4 気候変動以外の優先課題との関係

気候変動対策の究極目標は対策不足（による損害増大）と過度の対策（による経済の持続的成長－SD－への悪影響）のバランスの問題である（AR4/WG3/第1章）。この他気候変動問題とそれ以外の重要課題とのバランスでもある。SYRでもこうした認識は示されているが、気温上昇がSDに与える悪影響は定性的ではあるが示されているものの、対策によるSDへの悪影響（バイオエネルギーの大量使用や大規模植林による食糧安全保障、生態系への影響等）の記述は不十分である。今後の課題である。

コラム

IPCC第40回総会に参加して

システム研究グループ主任研究員 和田 謙一



昨年の11月、IPCC第5次評価報告書（AR5）の統合報告書（SYR）が第40回総会において採択されました。統合報告書というのは、第1作業部会報告書（自然科学的根拠）、第2作業部会報告書（影響・適応・脆弱性）第3作業部会報告書（気候変動の緩和）の内容を横断的にとりまとめたものです。SYRの採択をもって1年以上にわたって続けられた報告書の承認プロセスがようやく終わりました。

AR5作成プロセスにはRITEから2人の研究者がリードオナーとして参加し、報告書ではRITEの研究者が執筆した20本以上の論文が引用されています。また、報告書作成の最終プロセスである政策担当者向け要約（SPM）をまとめる交渉にも参加しています。

この報告書、特にSPMをまとめるにあたって大きな争点となったことのひとつは、UNFCCCの新枠組み交渉に影響を与えそうな事項、特に国の分類をどう表現するかでした。本年末にパリで開催されるCOP21では2020年以降の新たな枠組みを採択することになっており、IPCCレポートの書きぶりによっては国連交渉に大きな影響を与えるからです。

UNFCCC交渉では先進国（付属書I国）と途上国（非付属書I国）の利害が対立しやすく、しばしば行き詰まります。しかし、一口に途上国と言っても、中国やインドのように経済成長にともないCO₂排出が急増している国や、アフリカや小島嶼国のようにCO₂排出が少ないにもかかわらず気候変動影響に脆弱な国もあります。そのため、単純に途上国を一括りにしてしまうと問題の本質を捉えきれません。

IPCC報告書でも2007年にまとめられたAR4では付属書I国/非付属書I国に分類した記述がありましたが、AR5の中では単純に先進国と途上国を二分するような表現は回避されています。代わりに用いられたのが、世界銀行の分類に準拠した所得別国分類です。しかし、その分類方法が今後の交渉に不利になることを懸念した国から強い反発があったため、最も注目を集めるSPMからは削除されてしまいました。ただし、レポート本体にはその記述が残っています。

IPCCの報告書、特に本文には膨大な情報量が含まれており、前回からどういう進展があったのか一見わかりにくいかもしれませんが。しかしよく読むと最新の科学的知見が反映されているだけでなく、その時々国際情勢や社会経済状況に応じ、表現方法も改善されていることがわかります。その表現の一部をめぐる鏖闘り合いはCOP21に向けた前哨戦ともいえ、厳しい国際交渉が12月まで続くであろうことを予感させました。

IPCC 第5次評価報告書 (AR5) 第3作業部会 (WG3) 報告書について



システム研究グループリーダー
秋元 圭吾

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第3作業部会 (WG3) は、気候変動緩和 (排出抑制) に関する第5次評価報告書 (AR5)¹⁾ を2014年4月に承認し公表した。秋元は、WG3 AR5の第6章長期排出経路の評価 (英文タイトルは「Assessing Transformation Pathways」) に関する章の執筆者としてこの作業に携わった。本稿では、第6章を中心にWG3報告書の注目点について解説する。

2. 気候変動緩和策の評価の方向性

AR5では、第4次報告書 (AR4、2007年²⁾) からの主要な進展として、理論と現実とのギャップの理解を促進し、より現実を踏まえた評価へとアプローチしようとした点が挙げられる。WG3は社会経済も含めて取り扱うが、そこで扱う現実世界は大変複雑であり、一方で、長期シナリオの評価において用いられるモデルは相当単純化された仮定をおいた分析にならざるを得ない。そのギャップの理解を深めながら、より良い気候変動対策の意思決定の参考になる最新の情報を整理しようと取り組んだ。また、排出削減政策の評価においても、AR4では環境経済学の基礎理論から導かれる結論が主要であったが、AR5では実際にとられた政策の効果を検証した結果を基にした記述も多くなり、ここにおいても理論と現実とのギャップの示唆が多く示された。

長期排出経路の評価においては、収集されたシナリオがAR4よりも格段に増大した。これも手伝ってとりわけ低い排出レベルのシナリオについて、様々にとり得る排出経路が評価された。これによって、今後の排出削減の意思決定の代替的な選択肢が多く検討できる情報提供につながったと考えられる。

次節からは、いくつか具体的なポイントについて解説したい。

3. 第4次評価報告書における長期排出経路の評価

AR5での排出経路の評価を解説する前に、AR4における評価を振り返っておきたい。図1はAR4において収集、整理された排出シナリオである。全部で177のシナリオが収集されたが、最も小さな排出レベルのカテゴリーI (445-490 ppm CO₂eq) はわずか6シナリオだった。当時、排出削減シナリオのベンチマークとして、550 ppm CO₂ (等価CO₂濃度では650 ppm CO₂eq程度でカテゴリーIV) が用いられることが多かったため、これが大半を占め118シナリオだった。

一方で、AR4公表後、気候変動の国際交渉において注目されたのはカテゴリー

Iであり、産業革命以前比2℃を超えないこと、そのためには450 ppm CO₂eqに濃度を安定化すること、そして世界排出量を2050年までに少なくとも半減することが必要という目標が国際的に広く共有されるようになった。しかし、IPCCが2℃目標や450 ppm CO₂eq濃度安定化を推奨していることはなく（新しいAR5においても同じ）、あくまで政治的な目標である。IPCC AR4では、仮に平衡気候感度（濃度が倍増し安定化した後、気温上昇が平衡状態に達したときの気温上昇幅）は3.0℃が正しいとし、濃度を安定化し数百年後に達するであろう平衡気温を産業革命以前比で2℃を超えないことを目標とすれば、おおよそ450 ppm CO₂eqに安定化が必要とみられるとしたに過ぎない。そして、収集された6つのシナリオによればこのとき2050年に2000年比50～85%削減となっていた、ということである。

しかし、AR4がきっかけとなり、2℃目標が国際政治目標として広がったが、現実とギャップが大きいことから、それが却ってその後の気候変動の国際交渉を難しいものにし、隘路に入り込ませてしまった感がある。

平衡気温
(濃度が安定化したとき、時間遅れを持って最終的に到達すると推計される気温)
平衡気候感度は3.0℃が想定

約450 ppm CO₂eq安定化 2℃目標 世界排出量2050年半減目標

カテゴリー	放射強制力 (W/m ²)	CO ₂ 濃度 (ppm)	等価CO ₂ 濃度 (ppm CO ₂ eq)	産業革命以前比全球平均気温上昇 (平衡時、気候感度は最も推計値)	2050年世界排出 (2000年比)	評価シナリオ数
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	-85 ~ -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	-60 ~ -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	-30 ~ +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	+10 ~ +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	+25 ~ +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	+90 ~ +140	5
合計						177

図1 IPCC 第4次評価報告書²⁾における排出シナリオの整理

4. 第5次評価報告書における長期排出経路の評価

新たにAR5において排出シナリオのカテゴリー分けした整理が表1である。今回収集されたシナリオ数は、AR4から劇的に増大し1000を超えた。450 ppm相当（430-480 ppm）のシナリオ数は114、500 ppm相当（480-530 ppm）のシナリオ数は251となった。

4.1 オーバーシュートシナリオを含む排出削減経路

AR4では基本的に温室効果ガス濃度安定化シナリオ（ある目標濃度になるとそれを越えず一定にする）が前提であったが、AR5においては、厳しい排出削減レベルのシナリオ（450や500 ppm CO₂eqなどのシナリオ）において、オーバーシュートシナリオ（濃度や気温が一旦高くなるが、そこから低減していくシナリオ）が過半を占めるようになった。これは、近年世界のGHG排出量はむしろその排出の速度を高めてきたことと関係している。AR5では、世界のGHG排出量は1990～2000年は年率0.6%の上昇だったのに対して、2000～10年は年率2.2%の上昇だったとしている。

ところで、このように濃度安定化が前提となるシナリオばかりではなくなったため、AR4（図1）で示された平衡気温を提示する妥当性が失われた。そこで、AR5（表1）では平衡気温にかわって2100年の気温上昇を提示するよう変更されている。

AR4以降、450 ppm CO₂eqや産業革命以前比2℃といった目標が注目されたため、モデル分析者もこの目標の分析が求められるようになった。しかし、その間にも増大する排出実績を踏まえてモデル分析を行おうとすると、オーバーシュートシナリオとしなければ、これを達成し得る排出経路を導き出すことが困難になったわけである。これらのオーバーシュートシナリオにおいては、2100年頃にゼロに近い、もしくは正味で負の排出とするような排出経路が必要となる。これは技術的には可能とみられる排出経路であるものの、大規模な植林や大気からの直接CO₂吸収・貯留やバイオマスCCS（バイオマス発電等でのCO₂回収貯留）など、CDR（二酸化炭素除去）技術の大幅な利用が必要であり、その実現性については、今後より詳細な検討が必要とされた。

表1 IPCC第5次評価報告書¹⁾における排出シナリオの整理

2100年の等価 CO ₂ 濃度カテゴリー (ppm CO ₂ eq)	サブカテゴリー	RCPとの 対応関係	2050年 世界排出 (2010年比)	2100年気温 (℃、1850-1900年比)	21世紀中に当該気温 (1850-1900年比) を超える確率		
					1.5℃	2.0℃	3.0℃
<430	極めて限定的な数の分析報告しか存在しない(AR5シナリオデータベースへの登録はなし)						
450 (430-480)	—	RCP2.6	-72～-41%	1.5～1.7℃ (1.0～2.8)	49-86%	12-37%	1-3%
500 (480-530)	530 ppm CO ₂ eqを超えない		-57～-42%	1.7～1.9℃ (1.2～2.9)	80-87%	32-40%	3-4%
	2100年までの間に530 ppm CO ₂ eqを一旦超える		-55～-25%	1.8～2.0℃ (1.2～3.3)	88-96%	39-61%	4-10%
550 (530-580)	580 ppm CO ₂ eqを超えない		-47～-19%	2.0～2.2℃ (1.4～3.6)	93-95%	54-70%	8-13%
	2100年までの間に580 ppm CO ₂ eqを一旦超える		-16～+7%	2.1～2.3℃ (1.4～3.6)	95-99%	66-84%	8-19%
(580-650)	—	RCP4.5	-38～+24%	2.3～2.6℃ (1.5～4.2)	96-100%	74-93%	14-35%
(650-720)	—		-11～+17%	2.6～2.9℃ (1.8～4.5)	99-100%	88-95%	26-43%
(720-1000)	—	RCP6.0	+18～+54%	3.1～3.7℃ (2.1～5.8)	100-100%	97-100%	55-83%
>1000	—	RCP8.5	+52～+95%	4.1～4.8℃ (2.8～7.8)	100-100%	100-100%	92-98%

4.2 気候感度の不確実性と気温推計

ところでAR4以前は、平衡気候感度は1.5~4.5℃の範囲がもっともらしい（最良推定値は2.5℃）という評価であった。しかしAR4では2.0~4.5℃（最良推定値3.0℃）という評価に変更された。それを受けて、AR4における平衡気温の推計（図1）は平衡気候感度3.0℃で計算がなされた。今回のAR5（WG1）では今世紀に入ってから気温上昇速度が緩やかになってきている（ハイエタスと呼ばれている）こと等を反映し、再び1.5~4.5℃の範囲がもっともらしいと修正された（ただし最良推定値は合意できず³⁾）。一方、AR5（表1）の気温計算に用いた平衡気候感度は明記はないものの、記述を辿ればAR4の気候感度2.0~4.5℃（最良推定値3.0℃）に沿ったパラメータを用いた推計になっていること

がわかる。よって、もしAR5の気候感度判断に沿って評価したならば、AR5（表1）で提示された気温よりもより小さい気温が推計され、また目標気温を超える確率もより小さく推計されるので、留意が必要である。

なお、AR5では、AR4準拠の気候感度想定の下で、2100年に450 ppm CO₂eq程度になるシナリオは産業革命以前比2℃を超えない可能性が高い (likely、66%以上) と記載された。しかし、最良推計値 (50%確率等) で考えると (AR4と同様の考え方)、500 ppmについても概ね2℃を超えないと評価される (2℃を超える確率は32～61%)。

4.3 2050年の世界の温室効果ガス排出削減量

AR5で整理されたシナリオに付随する多様性の幅を含めて解釈すれば、2100年に2℃を超えないためには、450 ppmのカテゴリーに限定して2050年の世界排出量を2010年比で41～72%削減が必要と理解すべきではなく、せめて500 ppmまでを含め2010年比25～72%削減程度が求められると解釈するのがAR4から継続した考え方としては適切である。なお、AR4では2000年比で示されていたため、72～25%削減を2000年比に書き直せば6～65%削減となり、AR4の50～85%削減よりもずいぶん緩やかに評価されたことがわかる。更に先述したように、気候感度はAR4に準拠して分析されたものであり、これをAR5の気候感度評価に合致させれば、更に緩やかな排出削減 (2050年におおよそ現状排出レベル) でも2℃目標と整合的に評価できることとなる。

5. 排出削減コストの評価

5.1 理想的な排出削減時の排出削減コスト

排出削減コスト推計は、排出削減レベルを検討したり対策を講じたりする上で大変重要である。AR5においては、2100年までに450 ppm CO₂eqにするシナリオでは、特段対策をとらないケースと比べて2050年では2～6% (中央値3.4%)、2100年においては3～11% (中央値4.8%) の世界消費が低減するとされた。因みに、2011年のアフリカ全体のGDPが世界GDPに占める比率は2.4%であり、これと比較すれば大きな費用であることは理解できる。一方、おおよそ550 ppm CO₂eqといったレベルであれば、この削減費用は1/3～2/3になるとしている。ただし、これらの推計費用は、世界すべてで限界削減費用が均等化し世界全体で費用最小の対策を実現すると仮定した場合のものであり、また、すべての技術が理想的に利用可能と想定したときの費用推計である。

5.2 温室効果ガス排出削減技術の利用有無による削減費用の評価

AR5の大きなメッセージは、厳しい排出削減 (450や550 ppm CO₂eq) のためには、あらゆる技術を利用することが必要というものである。しかしこの想定は、現実社会においては理想的に過ぎる想定と考えられるため、AR5では、技術利用に制約が生じた場合のコストについての評価もまとめている。

特に450 ppm CO₂eqの場合、CCSおよびバイオエネルギーの利用が制約された場合に極めて大きなコスト増となることが示された。すべての技術が利用可能としたケースに比べ、CCS、バイオエネルギーが利用できない場合はそれぞれ138%、64%のコスト増と推計された。これは、450 ppmではネガティブの排出が必要となるケースが多く、CCSやバイオエネルギーの利用がなければ、ネガティブ排出を実現するオプションが大規模植林のみになり、それも上限があ

参考文献

- 1) IPCC WG3 (2014), Climate Change 2014-Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press.
- 2) IPCC WG3 (2007), Climate Change 2007-Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press.
- 3) IPCC WG1 (2013), Climate Change 2013- The Physical Science Basis, Cambridge University Press.

ると、対策が極めて限定されることに依っている。これら技術の影響が大きいので目立たないものの、原子力、太陽光・風力の技術が制約された場合の影響は、450 ppmのケースでそれぞれ7%、6%のコスト増とされた。これも絶対的には小さな費用では決してなく、これらの技術も重要である。

6. 今後の気候変動政策への展開

WG3のAR5（少なくとも報告書本体）は総じて最新の科学的知見がまとめられ、理想論ばかりに走らず、現実を踏まえた評価も多く加えられた。明らかにAR4からの進展が見られ、比較的バランスが良い報告書となったと考えられる。現実社会の複雑な制約や様々な不確実性を的確に踏まえることが、結局、現実にも最も効果的な対応策を作ることにつながると考えられる。例えば、世界排出量を2050年までに半減、また日本の排出量を2050年に80%削減するという政治目標を、IPCCの最新知見に基づいて捉え直し、場合によっては修正するという点も最新の科学の政策への反映という点で重要と考えられる。

気候変動問題は未だ不確実性が大きいことの認識も重要である。IPCC AR5は、取り得る排出削減経路、対策は様々あり得ることを提示した。排出削減目標を単一的に考えるのではなく、ある程度柔軟性を持って適応策等も含めて適切な対応戦略を考えることが、より賢い気候変動リスク対応となるはずである。

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・専門役	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	鳥居 広康
主幹	斎藤 一郎
主幹	葛原 宏治
主幹	東 宏幸
主幹	清水 淳一
主幹	倉中 聡

CCSの現状と課題

1. はじめに

地球温暖化を防止する為にCO₂排出量の大幅な削減が求められている。2014年6月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（ETP）2014」¹⁾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CO₂排出量を2009年比で約半分の15Gt/年とする必要があり、自然体ケースのCO₂排出量55Gt/年に対して40Gt/年のCO₂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CO₂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、CO₂の回収・貯留（CCS）などの革新的なCO₂削減技術である。CCSは比較的成本の安いCO₂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述べる。

2. CCSに関する最近の動向

2.1 CCSの必要性と展望

前述のETP2014によれば、2℃上昇抑制シナリオ（2DS）における、CCSのCO₂削減寄与度は、2050年までの累積で14%、2050年時点では17%としている（図1）。このように、CCSは、CO₂削減のための重要な手段の一つとして位置づけられている。

本年3月、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書の第3作業部会（WG3）報告書「気候変動の緩和」²⁾が策定された。本報告書によれば、産業革命前に比べて気温上昇を2℃未満に抑えられる可能性が高いことに整合する温室効果ガスの大気濃度が約450ppmCO₂換算に達するシナリオには、再生可能エネルギー、原子

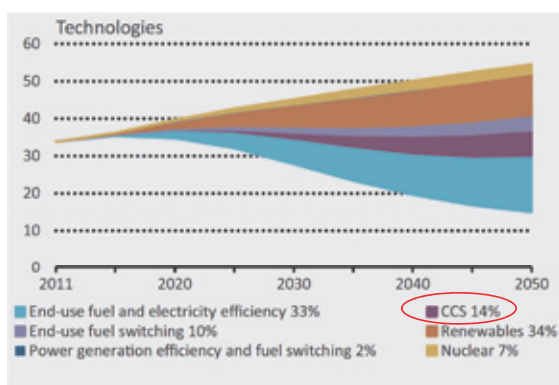


図1 温暖化対策における各技術の貢献
(出典：IEA「Energy Technology Perspectives 2014」¹⁾)

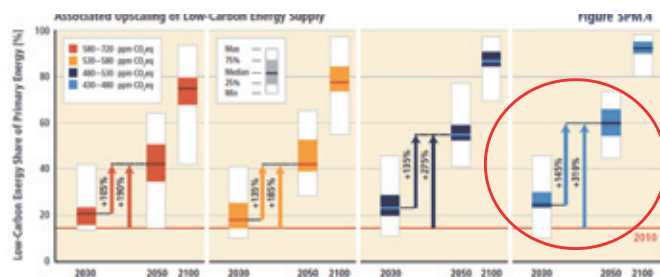


図2 低炭素エネルギーの一次エネルギー供給に占める割合（出典：IPCC「Summary for Policymakers (SPM) the Working Group III report Fifth Assessment Report (AR5)」²⁾）

2100 Concentration (ppm CO ₂ eq)	Increase in total discounted mitigation costs in scenarios with limited availability of technologies (% increase in total discounted mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions)				Increase in medium- and long-term costs due to delayed additional mitigation (% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation)			
	No CCS	Nuclear phase out	Limited Solar/Wind	Limited Bioenergy	<55 GtCO ₂ eq	>55 GtCO ₂ eq	<55 GtCO ₂ eq	>55 GtCO ₂ eq
450 (430–480)	138 (29–297) [N: 4]	7 (4–18) [N: 8]	6 (2–28) [N: 8]	64 (44–78) [N: 8]	28 (14–50) [N: 34]	15 (5–58) [N: 29]	44 (2–78) [N: 29]	37 (16–82)
500 (480–530)								
550 (530–580)	29 (18–78) [N: 11]	13 (2–22) [N: 10]	8 (5–15) [N: 10]	18 (4–46) [N: 12]	3 (–5–16) [N: 14]	4 (–4–11) [N: 10]	15 (3–32) [N: 10]	16 (5–24)
580–650								

図3 温暖化緩和策のコスト（出典：IPCC「Summary for Policymakers (SPM) the Working Group III report Fifth Assessment Report (AR5)」²⁾）

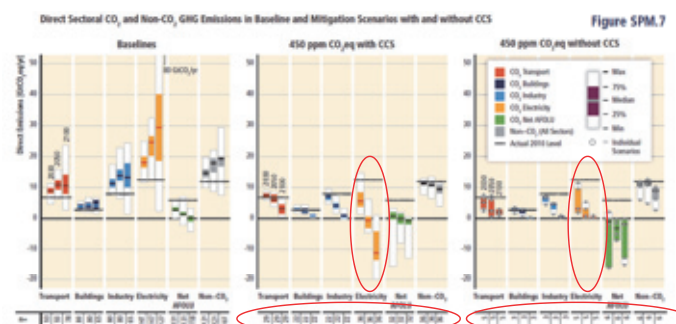


図4 部門別温室効果ガス排出量（出典：IPCC「Summary for Policymakers (SPM) the Working Group III report Fifth Assessment Report (AR5)」²⁾）

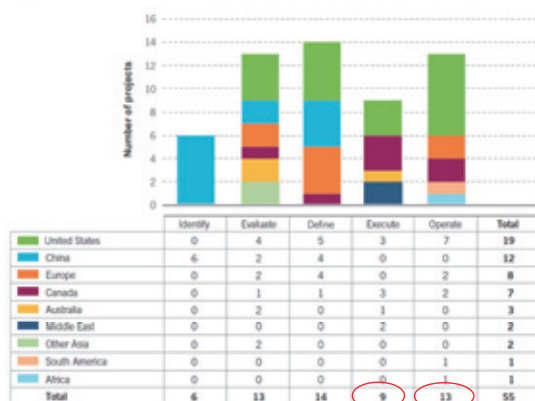
力エネルギー及びCCS付き化石エネルギー等からのエネルギー供給の割合を、2050年までに2010年の3倍から4倍近くに増加させているという特徴がある（図2）。また、CCSが利用できない場合には、緩和コストの大幅上昇（18から297%増加すると試算）が指摘されている（図3）。さらに、ほとんどのモデルが、CCS無しでは、2100年までに450ppmCO₂濃度に到達できないと指摘している。また、450ppmCO₂濃度に到達するシナリオ全てにおいて、CCS無しの火力発電は2100年までにはほとんど完全に消滅している（図4）。

以上のほかに、「バイオエネルギーとCCSの組み合わせ（BECCS）は、多くの低安定化シナリオにおいて重要な役割を果たす」こと、「産業分野においては、CCSはGHG削減に大きく貢献しうる」ことが、指摘されている。このように、IPCC第3作業部会の第5次評価報告書では、CCSは地球温暖化対策の鍵となる技術であると位置づけられている。

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「世界のCCSの動向2014（The Global Status of CCS: 2014）」³⁾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。GCCSIによると、開発中の大規模プロジェクトは、運転中のものが13件、建設中のものが9件、計画中のものも含めて全体で55件となっており、全体で昨年より10件減少した（図5）。なお、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。

Figure 3.8 Large-scale CCS projects by lifecycle stage and region/country



【各段階の定義】

Identify : サイトのスクリーニング段階
 Evaluate : サイト評価とプレFS段階
 Define : 候補地の詳細なサイト調査とFSの実施段階
 Execute : プロジェクトの建設段階
 Operate : 運転段階
 Closure : 圧入が終了し、廃坑となる段階

【大規模実証プロジェクトの定義】

石炭火力発電所でCO₂回収量等が80万t-CO₂以上のもの
 石炭火力発電所以外でCO₂回収量等が40万t-CO₂以上のもの

図5 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
 （出典：GCCSI「世界のCCSの動向2014」³⁾）

図6に、大規模CCSプロジェクトを業種別、貯留形態別に分類したものを示す。これを見ると、操業中のほとんどのプロジェクトが、天然ガス処理の業種で、かつ貯留形態がEORであることが分かる。天然ガス処理の場合は、CCSの有無にかかわらずCO₂を分離するため、増分費用は輸送及び貯留に限定されること、EORの場合は、回収したCO₂を販売するなど事業性があることから、このような結果となっていると考えられる。

Figure 3 操業(Operate)-建設(Execute)-調査(Define)段階にある業種別および貯留形態別の大規模 CCS プロジェクトの、実際の操業時期および予想操業時期

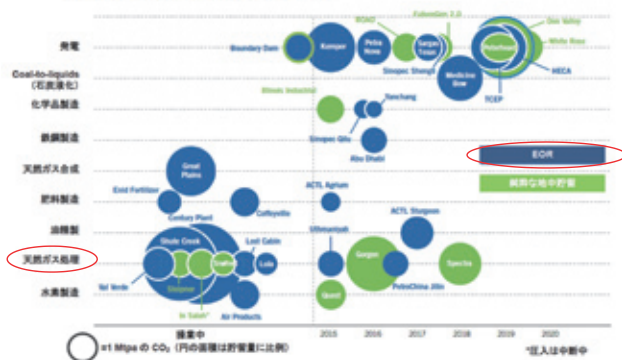
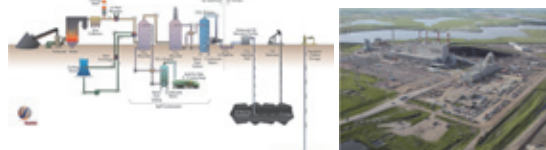


図6 業種別・貯留形態別CCSプロジェクト
 （出典：GCCSI「世界のCCSの動向2014」³⁾）



排出量規制のためのCCS+EORへのCO₂販売

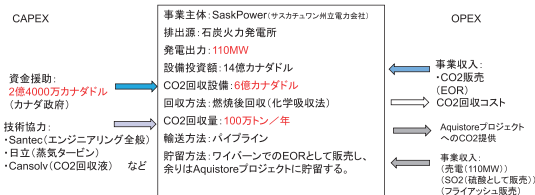


図7 バウンダリーダム発電所（カナダ）における CCSプロジェクトの概要

本年10月に、バウンダリーダム発電所において、発電分野における大規模プロジェクトとしては世界で初めてのCO₂を回収・貯留するプロジェクトが運転

を開始した。カナダでは、2015年7月に石炭火力発電所を対象に、CO₂排出規制が施行される予定であるが、バウンダリーダム発電所は、本規制の対象となるため、同発電所の第3号機のリプレイスに合わせてCCSを設置することとした。同発電所3号機の発電出力は11万kW、CO₂回収量は年間100万tである。追加投資となるCO₂回収設備の費用の6億カナダドルに対して、カナダ政府から2億4000万カナダドルの補助金が出ている。補助率は40%である。また、回収したCO₂のほとんどは、近隣の油田のEOR用に販売され、一部は帯水層への貯留実証プロジェクトに利用される。このように、バウンダリーダム発電所のCCSプロジェクトは、CO₂排出規制、政府からの補助金、EORへのCO₂の販売等の仕組みの下で、実施されているプロジェクトと言える。

2.3 CCS導入への課題（貯留地点特性評価の必要性）

2.2で述べたとおり、大規模CCSプロジェクトに関しては、ほとんどのプロジェクトにおいて、排出規制、炭素税、環境規制など、CCSを実施する仕組みが構築されて、実施に至っている。外部不経済である地球温暖化問題への対応に特化したCCSは、市場原理だけでは導入が困難である。このため、補助金、税制等のインセンティブ、排出量取引、規制等の仕組みを構築する必要がある。さらに、CCSの導入促進のためには、貯留地点の探査、特性評価等の貯留可能量の調査、法制度の整備、国民の理解の増進等も必要である。

本稿では、特に、CCSの展開を加速するために極めて重要な貯留地点に関する初期段階の特性評価について述べる。

貯留地点の特性評価の重要性については、2013年7月に取りまとめられたIEAのCCS技術ロードマップ⁴⁾でも指摘されているが、2014年11月に発表されたGCCSIの「世界のCCSの動向2014」においても、「未調査地域を最終投資判断に対応できる水準まで評価を行うためには、10年以上の時間が必要」なこと、「プロジェクト開発の早期段階では、貯留地の確保は最も確実性に乏しい要素でもあり、莫大なリソースの割当てが必要」なこと、「2020年以降のCCS展開の規模を考慮すると、適切な貯留容量を特定するという課題は大変大きなもので、その重要性は強調しすぎることはない」こと、「利用可能な貯留地サイトを巡る不確実さによって広域的なCCS展開が遅れるリスクを軽減するために、有効なCO₂貯留容量の調査および評価を促す政策等が求められる」ことなどが指摘されている（表1）。

表1 貯留地点の特性評価に関する提言（出典：GCCSI「世界のCCSの動向2014」³⁾）

政策決定者への提言（抄）
未調査地域を最終投資判断に対応できる水準まで完全に評価するには、相当の時間（10年以上）が必要。
プロジェクト開発の早期の段階において、貯留地の確保は最も確実性に乏しい要素でもあり、莫大なリソースの割当てが必要。
特定の貯留層の特性が、CO ₂ 回収プラントと輸送システムの設計に重大な影響を及ぼす可能性がある。
2020年以降に要求されるCCS展開の規模を考慮すると、適切な貯留容量を特定するという課題はさらに大きなものとなる。
プロジェクトを通じて複数の貯留候補地を調査し、探査のリスクを軽減する必要がある場合もある。
2020年以降の広域的なCCS展開に備えた、2010年代における貯留関連の作業の重要性は、いくら強調しても強調すぎることはない。
利用可能な貯留地サイトを巡る不確実さによって広域的なCCS展開が遅れるリスクを軽減するために、有効なCO ₂ 貯留容量の調査および評価を促す政策と資金提供プログラムが緊急に求められている。

次に、地点の特性評価に関する海外の動向について述べる。英国では、英国地質調査所 (the British Geological Survey (BGS)) 及びクラウン・エステート (The Crown Estate) が、CO₂貯留地点のデータベースを構築している。データベースには、一般的な特性、空隙量、静的容量、圧入性などの地点の特性データが、また、リスク評価として、シール性、断層、水平移動などに対する評価、さらに、経済性評価なども含まれている。米国では、CO₂回収・貯留ポテンシャルを示すGISベースのデータベース、ツールが構築されている。データとしては、CO₂の固定発生源、地中貯留のポテンシャル、インフラなどが含まれている。以上のように、米国、英国では、CCSの導入促進のために不可欠である貯留地点の探査、特性評価等の貯留可能量の調査とそのデータベース化が進められている。今後、我が国においても、CCSを本格導入するためには、このような取り組みが極めて重要である。

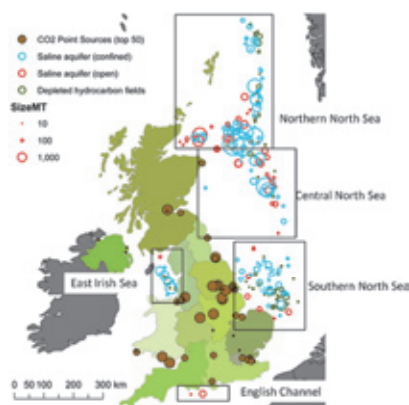


図8 貯留地点特性評価データベース (英国の例)
(出典: The British Geological Survey (BGS) The Crown Estate)



図9 貯留地点特性評価データベース (米国の例)
(出典: The National Carbon Sequestration Database and Geographic Information System (NATCARB))

2.4 CCSに関する規制の海外動向

2013年9月、米国環境省 (EPA) が、「新排出性能基準 (NSPS) 規制案」を提案した。この案が制定されれば、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、CCS設備を設置せざるを得なくなる。これは、個別発電所へのCO₂排出規制である。一方、2014年6月、米国環境省 (EPA) が、「Clean Power Plan」(既存火力発電所等のCO₂排出規制) を提案した。これは、州毎のCO₂総排出量規制になる。米国では、個別規制と州毎の総量規制によって、CO₂削減を図る戦略である。これにより、2030年までに発電部門において2005年比で30%のCO₂削減を図ることとしている。

このほか、カナダでは、2015年に新規石炭火力発電等に対して、排出性能基準 (EPS) 導入を決定している。英国でも新排出性能基準 (EPS) が導入された。

次に、火力発電所の設置申請でCCS設置のFS調査等を義務付けるCCS-Readyの規制については、欧州においてEU指令が2009年4月に発行されており、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。また、2014年10月、欧州においては、EU-ETS (欧州排出量取引制度) の活用等を通じて、温室効果ガス排出量を2030年までに40%を削減することやCCS等への援

助資金枠の拡大等の対策を採ることなどを決定した。

このように、海外においては、CCSの導入に向けた仕組みが着実に構築されつつある。

表2 海外におけるCO₂に関する主な規制等の概要

国名	CO ₂ に関する主な規制等の概要	国名	CO ₂ に関する主な規制等の概要
米国	【個別発電所へのCO₂排出規制】 ○EPAによる新排出性能基準(NSPS)規制案: ・新規石炭火力: 500kg/MWh(1年平均)、480kg/MWh(7年平均) ・新規ガス火力: 450 or 500kg/MWh(出力規模に応じて適用) ○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) ・ベースロード電源: 500kg/MWh 【州毎のCO₂全体排出規制】 ○EPAによる既存火力発電所等のCO ₂ 排出規制案 ・Clean Air Act 111条に基づき、EPAが各州毎のCO ₂ 排出削減目標(電力量当たりのCO ₂ 発生量の1年平均)を提示。各州は、削減目標を達成するため、BSER(Best System of Emission Reduction)を通じた施策を実施する計画を策定し、EPAに提出。これをEPAが承認。 ・2030年までに発電部門で2005年比で30%のCO ₂ 削減を図る。	EU	○EUCCS指令(CCS-Ready規制): 300MW以上の新設火力 (国内法移行済の国: スペイン、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、キプロス、ハンガリー、アイルランド) ○EC Conclusions(2014年10月決定) ・域内の温室効果ガスの排出量を2030年までに1990年比40%削減、「EU-ETS(欧州排出権取引制度)の対象セクターで2005年比43%削減、EU-ETSの対象外のセクターで2005年比30%削減」 ・「再生可能エネルギーのシェアを少なくとも27%まで増加」、「エネルギー効率を27%改善」 ・CCS、再生可能エネルギーを含む既存のNER300の対象施設を見直し、適用範囲を産業分野に拡大し、初期の基金を排出権4億分に増加する」
カナダ	○EPS規制: 新設石炭火力等: 420kg/MWh		
英国	○EPS規制: 新設火力: 450kg/MWh(石炭火力はCCSが必須) ○CCS-Ready規制: 300MW(スコットランドは50MW)以上の新設火力		

2.5 CCSのISO化

国際標準化機構 (ISO) では、CCSに関する専門委員会 (TC265) が設立され、CCSの規格原案の作成作業が行われている。2011年10月のTC265設立以降、これまで総会が5回開催された。TCの下に、「回収」、「輸送」、「貯留」、「定量化と検証」、「横断的課題」、「EOR」に関する6つのワーキンググループ (WG) が設置されている。これに対して我が国では、ISO/TC265国内審議委員会が設置され、そこで対応を検討・決定する体制となっている。なお、本年10月、第3回のWG1会合が東京で開催された。

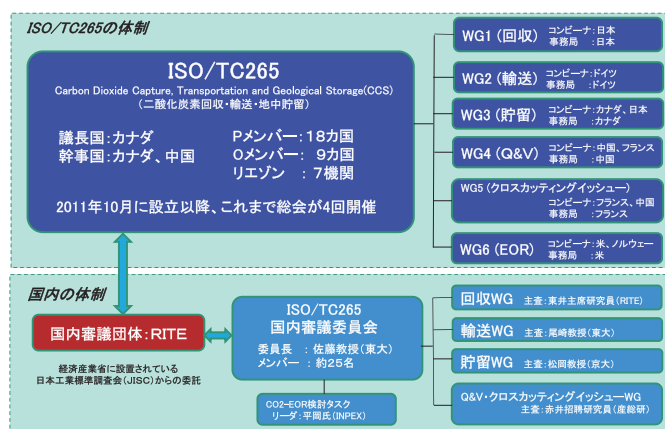


図10 CCSのISO化に関する審議体制

次に、各WGの活動状況について述べる。

WG1では、現在、回収技術について、技術報告書 (TR) の策定作業を行っている。TRの発行の目標は2015年である。また、発電分野、後燃焼回収技術について、2018年を目途に国際規格 (IS) の発行を行うことを目標としている。WG2では、パイプライン輸送について、国際規格 (IS) の策定作業を行っている。発行の目標は、2016年である。

WG3では、陸域、海域の貯留について、国際規格 (IS) の策定作業を行っている。発行の目標は、2017年である。WG4では、技術報告書 (TR) を開発中で、発行目標は2015年である。WG5では、ボキャブラリについて、国際規格 (IS) の策定作業を行っている。発行の目標は、2017年である。WG6では、国際規格 (IS) を策定中である。発行の目標は2018年である。

各WGの活動状況を表3に、各WGの当面のスケジュールを図11に示す。早ければ、2015年に技術報告書 (TR) が、2016年に最初の国際規格 (IS) が発行される予定である。

表3 ISOの各WGの検討状況

WG	標準化の内容	出版日	備考
WG1 (回収)	● 日本提案ベースに回収技術を集めたTRIは、出版へ向けて投票予定。ISO/TR 27912 ● IS (発電分野・燃焼後回収技術) のNWIP投票予定。	TR:2015 IS:2018	ISO/TR 27912は今年中に出版予定。
WG2 (輸送)	● パイプライン輸送に関するISを開発中で、DIS投票準備中。ISO 27913	IS:2016	DIS化の準備。また船輸送は今後の検討課題。
WG3(貯留)	● 陸域、海域の貯留を対象にIS開発中でWD作成中。ISO 27914	IS:2017	7月CD投票予定。
WG4 (Q & V)	● 定量化と検証分野の情報を集めたTRを開発中 ISO/TR 27915	TR:2015	ドラフトの作成中。6月DTR投票予定。12月には出版予定。
WG5 (プロセスデザイン)	● CCSのボキャブラリに関するISを開発中で、2回目のCD投票予定。ISO 27917 ● Lifecycle risk managementに関するTR開発開始 ● Stakeholders engagementをPWI登録	IS:2017 TR:2016	ISO 27917は開発期間4年へ変更。
WG6 (CO ₂ -EOR)	● TPを立ち上げ、WDの開発開始。ISO 27916	IS:2018	ドラフトの作成中。10月にはCD投票予定。

	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
WG1	NP	WD	DTR	発行		
WG2	NP	WD	CD	DIS	FDIS	発行
WG3	NP	WD	CD	DIS	FDIS	発行
WG4	NP	WD	DTR	発行		
WG5	NP	WD	CD	DIS	FDIS	発行
WG6	NP	WD	CD	DIS	FDIS	発行

図11 ISO/TC265活動スケジュール

3. 次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS)

CO₂貯留が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CO₂貯留・利用システム (SUCCESS: Storage & Utilization of CO₂ for Coexistence of Economical & Safe System) は、より安全で経済的な次世代のCCS技術であり、「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CO₂貯留・利用システムである (図12)。

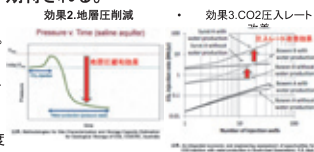
次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS)

(Storage & Utilization of CO₂ for Coexistence of Economical & Safe System)

● 従来のCCSとの違い

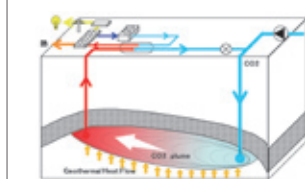
帯水層内の地層水等を排出することで、次の効果が期待される。

- 効果1. 地熱エネルギー回収 **収入の確保**
排出する高温の地層水から熱エネルギーを回収し有効利用する。
- 効果2. 地層圧緩和 **安全性の向上**
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する。
- 効果3. CO₂圧入レート改善 **コストの削減**
地層圧の上昇が緩和されるので、井戸1本当たりのCO₂圧入速度を大きく取れる。



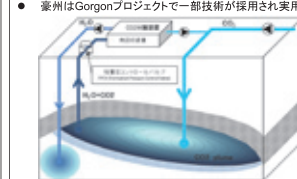
I. 地熱エネルギーの回収

- CO₂が帯水層内に満ちた後に、CO₂を循環させて地熱エネルギーを回収する次世代CCS技術。
- CO₂の持つ優れた熱抽出媒体としての特性を利用。
- 米国LBNLは実証試験を計画中。



II. 地層圧緩和 + CO₂圧入レート改善

- 帯水層内の地層水等を排出しながら、CO₂を帯水層へ圧入する次世代CCS技術。
- 地層圧をコントロールし、高いCO₂圧入レートと、安全なCCSを実現。地熱エネルギーの回収も可能。
- 豪州はGorgonプロジェクトで一部技術が採用され実用化。

図12 次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS) の概要

本システムの効果の一つ目は、地熱エネルギーの回収・有効利用を図ることであり、これによってCCS事業の収入確保を図り、経済性を向上させることが可能となる。効果の二つ目は、圧入時の帯水層の地層圧上昇を緩和する事であり、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り、更なる安全性の向上が期待される。効果の三つ目は、地層圧の上昇緩和による井戸1本当たりのCO₂圧入速度の増加であり、1本の井戸でより多くのCO₂を圧入できるので、コスト削減につながる。

RITEでは、2014年度は、SUCCESSのうち、地熱エネルギー利用を除いたシステムを「複数坑井システム」と名付けて、①複数坑井システム導入サイトの調査および文献調査、② シミュレーションによる我が国の地層を対象にした複数坑井システムの有効性検討を行っている。①においては、世界で初めて複数坑井システムを採用しようとしている西オーストラリア州のGorgonプロジェクトを調査するほか、複数坑井効果に関する文献調査を行っている。②においては、我が国の地域を対象にして簡略化した地質モデルおよび詳細地質モデルを用いた数値シミュレーションによる複数坑井システムの有効性を検討している。

4. まとめ

今後、CO₂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。IPCC第5次評価報告書WG3報告書、IEA ETP2014によれば、CCSは地球温暖化対策の鍵となる技術であり、CO₂削減に大きく貢献する技術と位置づけられている。一方、外部不経済である地球温暖化問題への対応に特化したCCSは、市場原理だけでは導入が困難である。このため、補助金、税制等のインセンティブ、排出量取引、規制等の仕組みを構築する必要がある。特に、CCSの展開を加速するためには、貯留地点に関する初期段階の特性評価が極めて重要である。海外においては、CCS-Readyや新排出性能基準（EPS）などの規制が実施されるなど、CCSの導入に向けた仕組みが着実に構築されつつある。また、米国、英国では、貯留地点に関する特性評価に関するデータベースなども構築されつつある。さらに、CCSのISO化も着実に進展している。

CO₂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。RITEとしては、今後とも次世代CO₂貯留・利用システム（SUCCESS）に関するFS調査を実施していく予定である。

参考文献

- 1)IEA, "Energy Technology Perspectives 2014" (2014)
- 2)IPCC, "Summary for Policymakers (SPM), the Working Group III report, Fifth Assessment Report (AR5)"
- 3)GCCSI, "The Global Status of CCS: 2014" (2014)
- 4)IEA, "Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition" (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
主任研究員	小田潤一郎
研究員	林 礼美
研究員	徳重 功子
研究員	有野 洋輔
研究員	ショアイ・テラニ・ピアンカ

システム研究グループの研究活動報告

当グループは、システム的な思考、システム的な分析を通して、地球温暖化やエネルギー対応に関する有用なる情報提供を国内外に行っている。本稿では、H26年にシステム研究グループが取り組んだ研究から4つのテーマを紹介する。

1. 気候変動の不確実性下における

ジオエンジニアリングのオプション価値に関する分析

1.1 はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第1作業部会の第5次評価報告書は、気候システムへの人間影響は明白であるとしているが、GHG濃度の上昇がどの程度の気温上昇をもたらすのか（気候感度）には大きな不確実性が存在する。

近年、温暖化緩和策（排出削減策）と適応策に加え、太陽放射管理（SRM: Solar Radiation Management）も注目を集めている。SRMはジオエンジニアリングの1手法であり、太陽光を人工的に反射して全球平均気温を低下させる方法（代表的技術は成層圏への硫酸エアロゾル注入）である。SRMは、海洋酸性化の防止に貢献できないが、費用対効果と即効性に優れる対策であると評価されることが多い。ただし、硫酸エアロゾル注入には副作用（酸性雨、オゾン層破壊等）や倫理・政治上の懸念もあるため、SRM実施を所与とする戦略の妥当性には議論の余地がある。そこで、気候変動の不確実性下において、SRM実施を所与とせず、気温上昇が予想よりも大きいと判明したときのみ一定規模で実施されると想定し、SRM戦略をオプションとして保有しておくことの価値を定量的に分析・評価する研究を実施した。その概要について簡単に紹介する。

1.2 評価モデルと分析の設定

不確実（学習前）及び確実（学習後）の2段階の意思決定プロセスを想定し、世界エネルギーモデル（DNE21）にSRMオプションを追加した。簡単のため気候感度の真の値は2050年以降に判明すると想定した。表1に示す通り、IPCC第4次評価報告書の気候感度の確率密度関数を基に確率関数を作成し、低位から高位の気候感度に離散確率を与えた。SRMはシナリオ3が生起したときのみ実施するものとし、実施時期は2050年以降に限るとした。さらに倫理・政治・環境リスク面の懸念を考慮し、無制限なSRM実施を抑制するため、硫酸エアロゾル注入量に上限制約（時点あたり0.5℃相当の冷却）を課した。SRM費用想定は、既往研究のうち高位値のUS\$10/kg-Sとした。比較のため、3通りの気温制約（2100年時点、産業革命以前比+2℃、+2.5℃、+3℃）を想定した。

表1 SRMオプションを追加した場合の不確実性3分岐シナリオ

	気候感度 (T2x)	実現確率	SRM
シナリオ1	2℃ (低位)	10%	×
シナリオ2	3℃ (中位)	71%	×
シナリオ3	4℃ (高位)	19%	○

SRMオプションを有する場合（表1）と有しない場合の所与の気温制約下の総システムコスト（1990-2100年）を最小化する排出パスを導出し、中位の気候感度の場合の総コストの比較によりオプション価値を推計した。

1.3 SRM保有のエネルギー起源CO₂排出パスへの影響とオプション価値

+2.0℃目標（2100年時点、産業革命以前比）ケースについては、気候感度4℃といった高い気候感度の可能性が含まれているため、解が得られなかった。

+2.5℃目標ケースの結果を図1に示す。気候感度の不確実性が2050年以降に解消すると仮定しているため、その時点から排出パスが3分岐する。気候感度が大きい程、排出削減は厳しいものとなる。SRMオプションを有しない場合（青線）は、シナリオ3（気候感度T2x=4℃）のように厳しい排出削減シナリオが含まれる

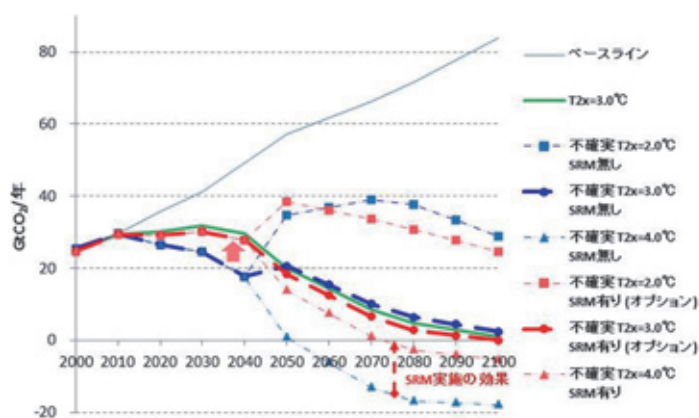


図1 SRMオプション保有が不確実性下のCO₂排出パスに及ぼす影響 (+2.5℃目標)

ると、短中期（2000-2040年）に厳しい排出削減パスを提示する傾向がある。一方で、SRMオプションを有して、2050年以降にシナリオ3（T2x=4℃）が生起した場合にSRMを実施する場合（赤線）、2050年以降だけでなく、不確実性下（2000-2040年）の短中期の必要削減量にもゆとりが生まれる。このとき、中位の気候感度の排出パス（太い青線と赤線）に注目すると、SRMを保有するならば、気候感度が中位と確定的な場合（緑線）に求められる排出削減と同程度での排出削減が望ましいこととなる。

SRMのオプション価値を、中位の気候感度（不確実 $T2x=3^{\circ}\text{C}$ ）の排出パス（図1の太い青線と赤線）の全期間の総エネルギーシステムコストの差額として定義すると、 $+2.5^{\circ}\text{C}$ 目標時のオプション価値は約45.6兆円（1ドル100円換算）、 $+3^{\circ}\text{C}$ 目標時のそれは約20.1兆円と推計される。なお、 $+2.4^{\circ}\text{C}$ 目標時のオプション価値は約327.3兆円と推計され、気温目標の厳しさに比例してオプション価値は逡増する。

1.4 結論

既往研究では、厳しい排出削減シナリオが含まれると、その実現確率が小さいとしても短中期に厳しい排出削減パスを提示する傾向がある¹⁾。しかし、即効性があり比較的費用対効果が高いと見られるSRMのようなオプションを有することで、短中期の緩和策による経済リスクが低下し、長期の研究開発投資や適応策をふまえた総合的なリスク管理戦略に柔軟性が生まれる可能性が示唆される。気候感度について安全サイドを前提に緩和戦略を立案する必要性が小さくなり、気候感度中位値を前提としたような戦略が正当化され得る。

参考文献

1)Akimoto, K.; Decision analyses for energy strategies on global warming issues with an energy systems model of optimization type, Doctoral thesis, (1999).

2. 米国による海外石炭火力発電所新設に対する公的融資制限の評価

2.1 はじめに

米国は2013年、海外の石炭火力発電所新設に対する公的融資の終了を発表した¹⁾。但し代替手段がない最貧国における最高効率の石炭火力技術と、CCS技術を導入する施設は例外としている。米国発表の融資制限の条件下では²⁾、国際復興開発銀行（IBRD）融資適格国及びIBRD・国際開発協会（IDA）の混合融資適格国（IDAブレンド国）に関していえば CO_2 排出原単位 $500\text{gCO}_2/\text{kWh}$ 以下を満たすCCS付設の石炭火力のみが支援対象となる。

同融資制限の目的は、他の燃料と比べて CO_2 を相対的に多く排出する石炭火力発電の新設を制限し低炭素の発電技術への投資を促進することであるが、先進国及び国際開発金融機関（MDBs）が石炭火力に対する融資を制限することが実効性を伴ったGHG排出削減に貢献するのかが検討する余地がある。たとえ先進国及びMDBsによる石炭火力の融資制限があったとしても途上国の中には自己資金で建設あるいは他の金融機関から融資を得て、安価な低・中効率の石炭火力発電を導入する可能性があり、そうなれば同融資制限による削減効果は限定的もしくは逆効果にもなり兼ねない（このような状況を融資制限による潜在的な抜け道（loophole）と呼ぶ）。

2.2 目的と手法

石炭火力発電所の新設に関する制約について、4つのシナリオを想定し、GHG排出量と平均削減費用を推計した。シナリオAは全ての種類の石炭火力の新設が可能である場合を（ベースケース）、シナリオBは全ての国で高効率石炭火力（超々臨界圧発電、先進超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電、石炭ガス化燃料電池複合発電）の新設のみ可能である場合を、シナリオCは米国の公的融資条件となるCCS付設の石炭火力の新設のみを認める場合を想定した。更にloopholeを詳細に表現するため、先進国に関しては米国による国内規制及び先進国による海外公的融資の制限を考慮し、CCS付設の石炭火力のみを認めるシナリオを想定した（シナリオD）。ここで途上国に関しては自己資金で建設あるいは他の金融機関から融資を得ることが可能なこと、そして融資制限の最貧国免除条項を考慮し、低所得国・高中所得国及び低所得国は全ての種類の石炭火力を認めるとした。一般に、世界の公的融資支援の適格国であるか否かは受入国の所得に応じて判断されるため、「高所得国（HICs）」、「高中所得国（UMICs）」、「低中所得国（LMICs）」及び「低所得国（LICs）」の4つの地域グループに分類した。尚、融資制限の効果を見るために、特段の温暖化対策が無い場合の推計を示す。

2.3 分析結果

図2はloopholeに陥るシナリオを含めた2030年時点の世界のGHG排出量と平均削減費用とのシナリオ間比較を示している。新設規制が機能すれば（シナリオC）、ベースライン比で約5Gtの削減が可能となるが、平均削減費用は+\$32/tCO₂eq.となりシナリオ間で最も高い。しかし、途上国で強力な排出抑制策がとられていない場合、このような高い費用をかけてCCS付設の石炭火力を導入する

経済インセンティブが低くなるためloopholeが生じる恐れがある。シナリオCを念頭にしても結果としてloopholeに陥る場合がシナリオDである。高効率石炭火力を認めたシナリオBと比較した場合、高所得国の排出量は減少するが、高中所得国及び低中所得国の排出量は増加し、loopholeに陥る状況を表し、平均削減費用は高くなる。全ての国に対して高効率石炭火力を認めることはloopholeに陥る場合と比較して、GHG排出量及び平均削減費用の両観点から望ましいことが示唆される。

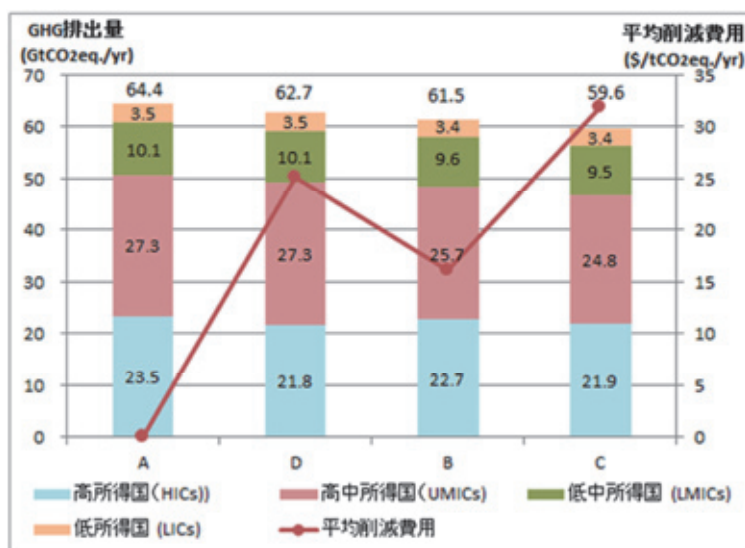


図2 世界のGHG排出量と平均削減費用のシナリオ間比較
(2030年、特段の温暖化対策が無い場合)

2.4 考察

世界全体で強力な排出抑制策がとられていない状態では（ここでは特段の温暖化対策が無い場合の結果を提示）、CCSを付設しなければならないという途上国への融資制限はloopholeを招き却って世界のCO₂排出を増大させる恐れがある。高効率石炭火力を認めることでloopholeの誘因を小さくすることが重要であり、高効率石炭火力に対する公的融資を認めるような方向に修正した方が、平均削減費用が低く、実効ある排出削減になると考えられる。

参考文献

- 1) Executive office of the president; The president's climate action plan, The White House, Washington (2013).
- 2) U.S. Department of the Treasury; Guidance for U.S. positions on multilateral development banks engaging with developing countries on coal-fired power generation (2013).

3. 日本の環境自主行動計画の総括評価

3.1 はじめに

1990年を基準とした温室効果ガス削減目標を定めた京都議定書の第1約束期間（2008年～2012年）が終了した。日本は、京都議定書の1990年比6%削減目標を超える8.4%削減を達成したとされる。この目標達成において、中心となったのは経団連を主とした自主行動計画と見られ、自主行動計画における業種毎の排出削減努力についての分析を行った。

3.2 経団連環境自主行動計画の経緯と分析

経団連は1996年7月「経団連環境アピール」を発表、1997年6月「経団連環境自主行動計画」を発表した。各業種における温暖化対策の目標に加え、経団連としても「2010年度に産業部門及びエネルギー転換部門からのCO₂排出量を1990年度レベル以下に抑制するよう努力する」目標を設定し、温暖化対策を推進してきた。政府も1997年12月、産業構造審議会等における自主行動計画のフォローアップ実施を決定し、翌1998年度より開始された。同年、「地球温暖化対策推進大綱」でも自主行動計画による排出削減への取り組みが明確化された。温暖化対策の計画策定業種は1997年度当初の経団連傘下の37業種から、2012年度には経団連傘下の61業界団体・企業を含む全114業種まで増加してきた¹⁾。自主行動計画は環境の異なる様々な業種が様々な指標の下で実施されたため、本分析では業界団体間の比較を定量評価するのに適していると考えられる経団連傘下の産業部門およびエネルギー転換部門の34業種を対象に、公表データ²⁾を用いて、複数の評価指標により、その排出削減効果、努力に関する分析を行った。

3.3 分析結果

各業種のエネルギー原単位改善（生産活動量あたりのエネルギー消費量）は総じて進展しているが、悪化している業種もあり、またエネルギー消費量が増大している業種もある。しかしながらエネルギー消費量のみならず、原単位も生産活動変化の影響を受けることが多い。図3は、各業種における年間のエネルギー原単位変化が年間生産活動指数変化によってどの程度説明されるのかについて分析し、原単位が悪化（もしくは改善）した理由が生産活動指数変化として説明でき

るのか否かについて評価を行った。横軸を1997-2010年の期間について各業種の Δ 生産活動指数と Δ エネルギー原単位の相関の説明性 (R^2 乗値)、縦軸を1990年比の2010年のエネルギー原単位指数をとって示した。図中では自主行動計画における各業種の数値目標の種別についても色分けで示している。まず、業種がA～Cの領域に分布されているように、目標の種類（エネルギー使用量、エネルギー原単位目標、 CO_2 排出量、 CO_2 原単位目標）の違いによる削減対策の度合いの差異はほとんど認めることができなかった。次に、エネルギー原単位が悪化した業種であっても、その大部分は生産活動量の悪化によって比較的高い説明性を有することが示された（日本産業車両協会など、Cの領域）。すなわち、経済活動が悪化したことに伴って原単位が悪化している可能性が高く、原単位改善を怠ったということではなく経済状況からの避けがたい面があったとも推定される。なお、Aの領域に分布する業種は生産活動の変動の影響を受けずに原単位改善に努めた可能性があることを示している。

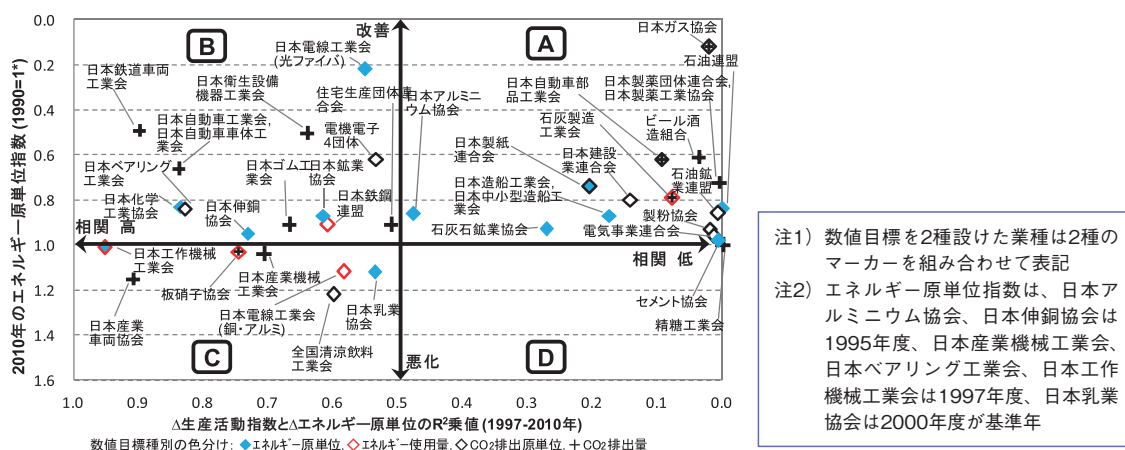


図3 産業・エネルギー転換部門参加業種におけるエネルギー原単位変化と原単位変化に対する生産活動変化の説明性 (R^2) の関係 (1997-2010年)

3.4 まとめ

京都議定書第1約束期間の排出削減目標の達成に、自主行動計画の下で産業部門は大きく貢献したと評価できた。温室効果ガス排出削減の取り組みの程度を測ろうとする場合、基準年比での温室効果ガス排出増減だけではその削減努力を一概に評価することはできない。また、エネルギー原単位の増減やその絶対値の大小だけで評価できるほど簡単でもない。排出削減は既に達成しているエネルギー効率水準、経済成長・経済活動変化の違いなど、それぞれ異なった様々な事情の中でできる限り同じような水準の努力で排出削減に取り組む必要がある。そして、それを適切に評価することが更なる取り組みを促すことにもつながるものと考えられ、本分析はそれに寄与するものと考えている。なお、これらの分析は、2014年4月に政府がとりまとめた「自主行動計画の総括的な評価に係る検討会とりまとめ」の一部として活用された。

参考文献

- 1) 経済産業省自主行動計画の総括評価に係る検討会 (2014)
- 2) 経団連：環境自主行動計画（温暖化対策編）2013年度フォローアップ概要版（2012年度実績）

4. 電気料金値上げの製造業への影響評価

4.1 はじめに

大震災以降、電力をとりまく環境が大きく変化している。原発の再稼働が進まない中、石油・ガスを中心とした化石燃料発電の依存が強まり、電気料金の値上げが進んでいる。各電力会社により既に実施された電気料金値上げは、一部の原発再稼働を前提としたものであったが遅れているため、更なる値上げが不可避な状況となってきた。また震災以降、化石燃料に関する燃料費調整制度による調整額（燃調費）も大きくなっている。さらに、固定価格買取制度（FIT）の賦課金による電気料金値上げ幅も今後大きくなることが見込まれている。このような料金値上げに対して多くの企業では事業への深刻な影響が報告されている¹⁾。

電気料金の値上げは、製造業を中心に産業への影響が大きいと考えられ、定量的な分析が重要である。生産における電力使用状況は地域や業種によって大きく異なるため、産業影響についてより現実的に把握するためには、地域や業種を詳細に分析することが重要である。そこで、製造業に関して、電気料金値上げの影響について都道府県別・産業別に分析した。

4.2 分析方法

工業統計²⁾の震災前の平成22年確報値を利用し、電気料金値上げによる製造業への影響を評価した。分析の対象は、従業者数4人以上の事業所の、都道府県別の細分類別産業（約540産業）である。本分析では、次の4ケースを想定した。ケース①では、震災以降に電力会社により実施された電気料金の値上げ（2014年12月現在）を想定した。ケース②、③では、原発ゼロ想定時の低位、高位推計による値上げをそれぞれ想定した。ケース①～③では、いずれも燃調費とFIT賦課金（現在稼働開始分のみを想定；全国一律+0.75円/kWh³⁾）を料金値上げに含めた。ケース④では、ケース①の想定を、FIT賦課金についてのみ、認定を受けた設備が全て稼働した想定（全国一律+3.12円/kWh³⁾）に変更した。各ケースの想定した料金の値上げ率は、ケース①では+15.6%～+54.5%（震災前比。幅は地域による違いを表す）、ケース②では+15.6%～+57.9%、ケース③では+15.6%～+65.2%、ケース④では+35.4%～+70.8%である。

4.3 分析結果

図4は、製造業従業員一人当たりの電気代増分額を示している。ケース①では、全国平均の製造業従業員一人当たりの年間電気代増分額（震災前比）は約15.2万円と推計された。このうち、既に実施された値上げ（燃調・FIT分は含まず）による一人当たり増分額は約5.5万円、燃調費とFIT賦課金（現稼働開始分のみ）による増分額はそれぞれ約7.3万円、約2.4万円と推計された。原発再稼働が全く見込めない場合には、一人当たり増分額は約18.3～20.1万円と増加し（ケース②、③）、深刻な影響はより一層大きくなる。また、FIT賦課金については、現在認可された設備が全て稼働した場合には一人当たり増分額が追加的に約7.7万円増加し（ケース④）、今後の更なる深刻な影響が示唆された。また、影響の地域的な差異は大きく、千葉県のように電力多消費産業が集積する都道府県では製造業への影響は非常に大きいことが示された。図5は、ケース①における産業別

の従業員一人当たりの電気代増分額を示した。化学工業や鉄鋼業などの一部の業種には、極めて深刻な影響が示された。

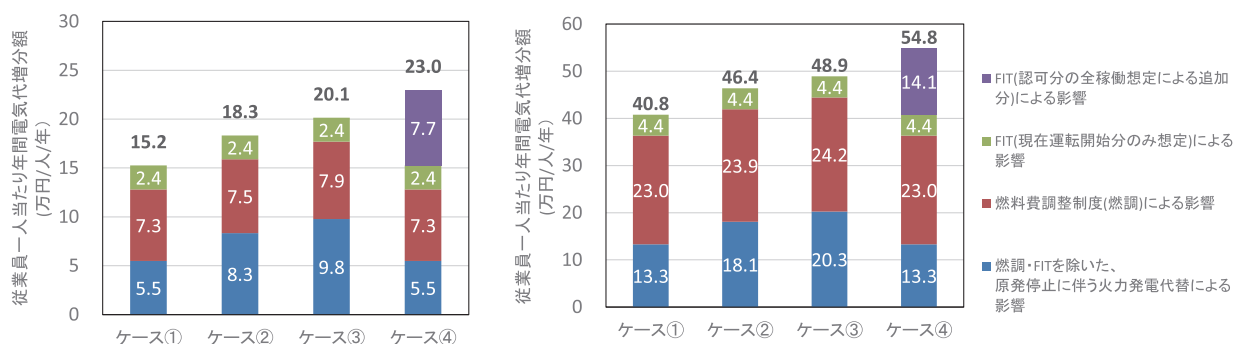


図4 値上げ要因別の、製造業平均の従業員一人当たり電気代増分額（震災前比）（左：全国平均、右：千葉県）

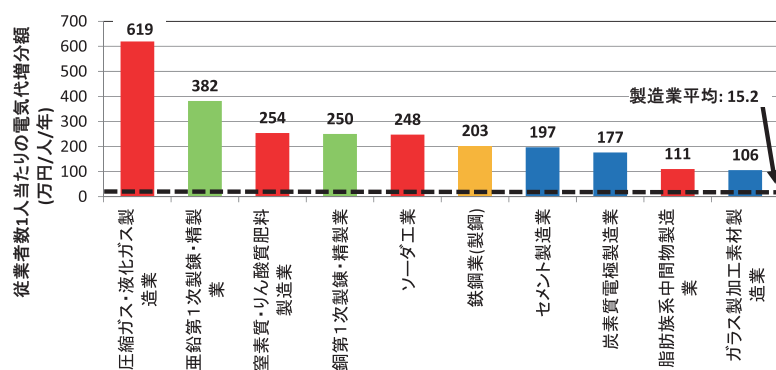


図5 産業別の従業員一人当たり電気代増分額（震災前比）：細分類区分における上位10産業（全国平均）（ケース①）
注：グラフの赤、緑、黄、青色は、産業中分類における化学工業、非鉄金属業、鉄鋼業、窯業・土石業にそれぞれ属することを示す。

4.4 まとめ

電力はほとんど全ての産業の根幹を支える必要不可欠なエネルギーであり、安定的かつ安価に供給されることが極めて重要である。本分析では、原発停止による電気料金上昇により、一部の地域では製造業への影響は大きく、また、電力多消費産業など、一部の業種には極めて深刻な影響が推計された。原発再稼働が無い場合には、より一層の深刻な影響が予想された。また、FIT賦課金については、今後FIT認可設備が全て稼働した場合においては、更なる深刻な影響が推計された。本分析の結果より、経済への悪影響が拡大する前に、料金上昇を抑制する効果的な方策を講じることの重要性が示唆された。（分析の詳細についてはRITE WEBサイト⁴⁾を参照ください。）

参考文献

- 1) 日本商工会議所, 電気料金・エネルギーコスト高騰が招いた窮状
- 2) 経済産業省, 工業統計(平成22年確報), 2012
- 3) 資源エネルギー庁, 直近の認定量が全て運転開始した場合の賦課金等について(新エネルギー小委員会第4回配布資料), 2014
- 4) RITE, 電気料金値上げによる都道府県別の製造業への影響分析, <http://www.rite.or.jp/Japanese/lab0/sysken/about-global-warming/ouyou/zenkoku-electricityprices.html>

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】

サブリーダー・副主席研究員
佐々木朱実
副主席研究員 稲富 健一
副主席研究員 Crispinus A.Omumasaba
副主席研究員 寺本 陽彦
副主席研究員 城島 透
副主席研究員 平賀 和三

主任研究員 渡辺 高延
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
主任研究員 豊田 晃一
主任研究員 加藤 直人
主任研究員 長谷川 智

研究員 信龍 亮志
研究員 竹本 訓彦
研究員 渡邊 彰
研究員 生出 伸一
研究員 小川 昌規
研究員 久保田 健
研究員 小暮 高久
研究員 猿谷 直紀
研究員 橋本 龍馬
研究員 前田 智也

グリーン燃料・グリーン化学品の 生産技術開発に向けた取り組み

1. はじめに

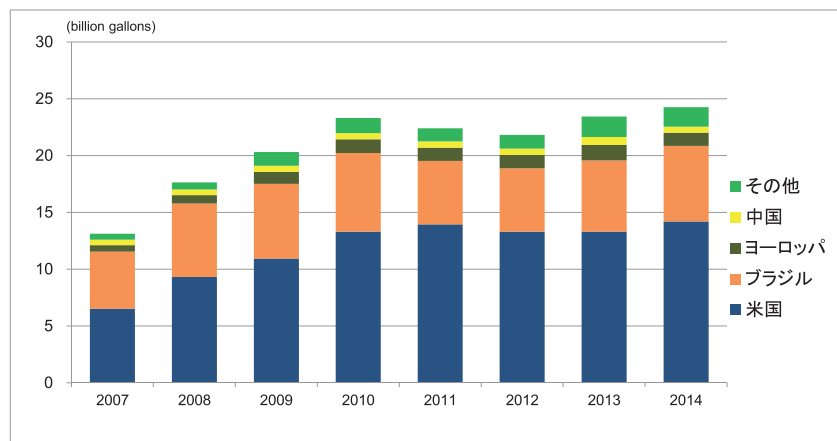
昨年の世界エネルギー分野における最大のトピックスは、昨年10月以降の原油価格の急激な低下であり、夏にはガロン\$100を超えていた原油価格は今年に入ってガロン\$50割れが続き、さらに下がるとの予想もある。当グループでは、バイオマスからバイオ燃料やグリーン化学品を製造するバイオリファイナリー技術の研究開発を進めているため、この原油価格の低下がバイオリファイナリー産業にどのような影響を与えるのかを注目している。化石燃料の価格低下でガソリンやナフサを原料とする石油化学産業の競争力が回復しているが、従来型化石資源への依存は、クリーンエネルギーやグリーン化学品の開発を妨げ、CO₂排出量を増加させることにより地球温暖化がさらに深刻になることは間違いない。

2番目のトピックスは、年産10万KLを超えるセルロース系エタノールの大規模商業プラントが欧州や米国で稼働したことである。米国では政府支援によるところが大きい。セルロースエタノールは、従来のコーンエタノールよりもCO₂排出削減効果が大きく、資源量も豊富で食料資源とも競合しないことから、グリーン燃料の切り札として大きな期待が寄せられている。2015年にはブラジルでも同様の設備の稼働が予定されている。

最後は、バイオ素材やバイオポリマー等のグリーン化学品の大幅な市場拡大である。米国の調査会社によると2017年までに現在の約倍の1300万トンを超える生産量に増加する見込みである。従来型のバイオ化学品の代表である乳酸やコハク酸、アミノ酸に加えて、バイオプラスチックであるバイオポリエチレンテレフタレート（PET）やバイオポリエチレン（PE）のさらなる市場拡大が予想されている。このように、2015年もグリーン燃料・化学品の生産拡大が期待されるが、前述したように原油価格の低下がどのような影響を与えるかが注目される。

2. 世界のバイオ燃料生産状況と次世代バイオ燃料への期待

2014年の世界バイオエタノール生産量は、F.O. Licht社などによると238億ガロン（9000万KL）を超え従来生産量を上回る予測である（図1）。Renewable Fuels Associationによると米国の昨年のバイオエタノール生産量も一昨年より増加して過去最大の142億ガロンと予測され、世界生産量の約60%を占める見込みである。



source: F.O.Licht

図1 世界燃料用エタノール生産量

2.1 米国での再生可能燃料基準（RFS）とセルロースエタノール商業生産の開始

米国では、バイオ燃料（再生可能燃料）の製造・消費拡大を行うため、2005年に制定した再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard : RFS）により米国環境保護庁（EPA）が毎年の使用義務量を決定して、バイオ燃料の普及を推進していた。しかし、ここ数年の米国でのガソリン消費の低下やブレンドウォール（RITE Today 2014参照）のため、EPAでは2014年度や2015年度の使用義務量を低減する模様である。一方、非可食バイオマスへの原料転換については、前述したように漸く昨年からセルロース系エタノールの大規模プラントが稼働を始め、今年にはさらに最大規模のプラントがアイオワ州で稼働する予定である。これらのプラントはコーンストーバー等の農業残渣を酵素加水分解して得られた混合糖を原料としてエタノール発酵を行う。一方、従来型コーンエタノールの生産も昨年末にかけて米国では過去最高になった。この理由は、原料であるトウモロコシ価格がこの数年豊作で\$4/ブッシェルと低下していることやバイオエタノール価格の高止まり、米国産バイオエタノール輸出の増大などが原因と言われている。

2.2 次世代バイオ燃料の現状

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、バイオブタノールである。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（バイオブタノールの生産方法についてはRITE Today 2014を参照）。

米国では、トウモロコシを原料とした商業レベルでのイソブタノール生産設備が昨年稼働を開始している。この設備では、既存のバイオエタノールプラントの発酵と蒸留工程を改造することによりバイオブタノールを生産している。現状では、米国バイオエタノールの収益性が高く、バイオブタノールの急拡大は難しいが、ブタノールは燃料だけではなく、C4化学品やジェット燃料等への原料としても有望なため、今後の発展が期待されている。

3. 世界のグリーン化学品生産の現状と期待

コハク酸や乳酸、バイオPETなどのバイオベース化学品（グリーン化学品）の市場が拡大しており、今年は世界化学品市場の10%を占めるという予想もある。昨年も欧州大手化学品メーカーが、バイオアクリル酸から高吸水性樹脂の生産に成功したとして話題になった。このアクリル酸の原料は、グルコースを原料とした発酵産物である3-ヒドロキシプロピオン酸である。この他、タイヤメーカーとバイオ企業によるバイオイソプレン生産や、米国バイオベンチャーによるポリアミド原料（ドデカン2酸）の商業生産プロジェクトなどが報告された。グリーン化学品の中でも特に生産が急拡大しているのはバイオプラスチック分野で、上述したバイオPETとバイオPEが市場を牽引している。国内でも今年のバイオプラスチックの市場規模は4万トンを超えると予想されている。用途は、飲料用ペットボトルやレジ袋である。一方、従来型生分解樹脂の代表であるポリ乳酸も、シェールガス採掘における目止め剤や採掘量を増やすための支持材料（ドリリングケミカル）として新たな市場の開拓が進んでいる。

4. RITEの技術開発

4.1 RITEバイオプロセスの特徴

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、国内外から高い評価を得ている。

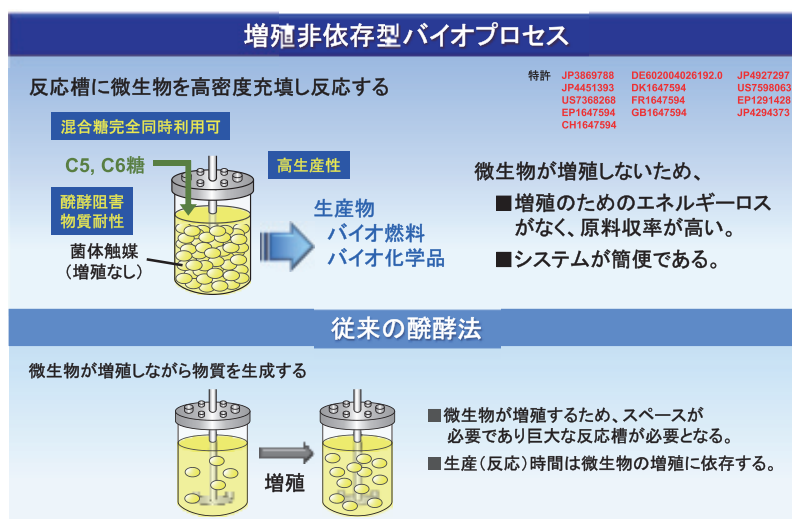


図2 RITEバイオプロセス（増殖非依存型バイオプロセス）の特徴

本プロセスの特徴は、目的物質を効率的に生産できるように代謝設計した微生物（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2）。

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。

また、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。

さらに、セルロース系バイオマスを加水分解した混合糖に存在する発酵阻害物質（フェノール類やフラン類、有機酸類など）に対しても、RITEバイオプロセスは、高い耐性を示す。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、発酵阻害物質から影響を受けにくいと考えられる（詳細はRITE Today 2013～2014 参照）。

現在、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、アミノ酸等の高効率生産に加えて、ブタノールやフェノール等の芳香族化合物など幅広い展開を図っている。次章では、従来の発酵生産では細胞に対する毒性が強く、発酵生産が不可能と言われていた高細胞阻害物質製造技術へのチャレンジについて紹介する。

4.2 高細胞阻害物質の生産技術開発への挑戦

高細胞阻害物質とは、微生物による発酵生産を阻害する物質であり、主に微生物細胞への毒性により、増殖停止など生産性に影響を与える物質を指す。具体的には、フェノールやブタノール等のアルコール類がよく知られている。このような物質を発酵法で生産させると増殖阻害のため低い生産性（生成速度の低下、最終生成物濃度の低下等）を示し、実用生産は困難とされてきた。しかし、我々が開発したRITEバイオプロセスは、増殖非依存型バイオプロセスであるため増殖を伴う従来型発酵法と比較して阻害物質による影響が少なく、さらにコリネ型細菌は、芳香族化合物やアルコールに対する耐性が高い（図3）。これらの特徴を生かして高細胞阻害物質の生産技術開発を行った。次章で独自に開発した2段工程法によるフェノール生産について解説する。

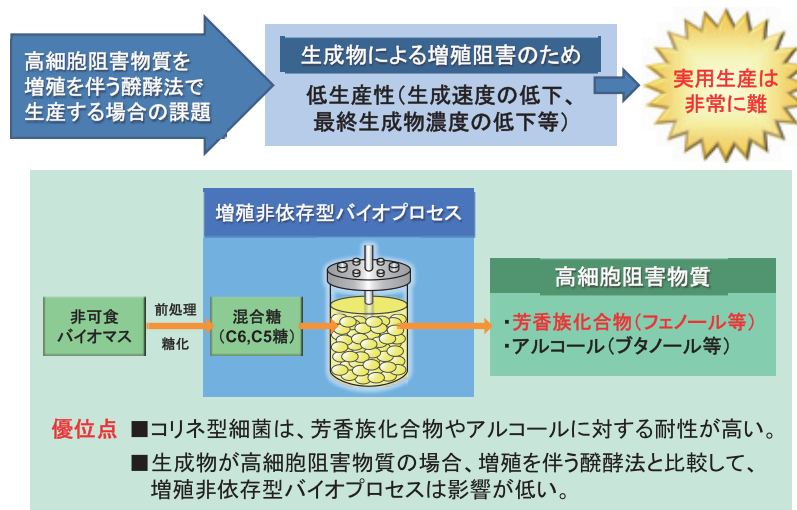


図3 高細胞阻害物質の生産技術開発への挑戦

4.3 2段工程法によるグリーンフェノール生産技術開発

フェノールは、フェノール樹脂やポリカーボネート等の原料として幅広い用途があり、そのグリーン化が期待されていたが、細胞毒性が強く、グリーン化は困難と言われてきた。しかし、我々が開発した「増殖非依存型バイオプロセス」は増殖とリンクせず物質生産が可能のため、フェノール生産においても増殖阻害の回避が期待できること、さらにコリネ型細菌は、0.2%のフェノール存在下でも良好に増殖を示し、0.24%のフェノール存在下においても増殖可能であるなど、大腸菌等の微生物と比較してフェノールに対して高い耐性を示した。我々は、この組み合わせに加えて、実用生産を達成するためには生産プロセスのさらなる改良が必要と考え、増殖非依存型バイオプロセスを利用した「2段工程法」によるフェノール生産法を考案した(図4)。

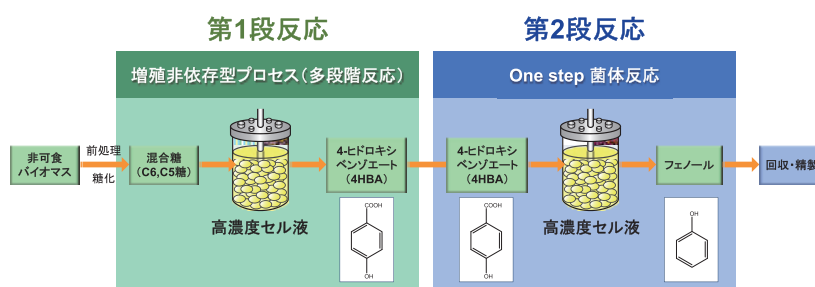


図4 2段工程法によるグリーンフェノール製造プロセス

2段工程法では、細胞毒性の少ない中間体(4-ヒドロキシベンゾエート(4-HBA))を増殖非依存型バイオプロセスで高生産し、続いてこの中間体を原料としてフェノールを生産する。4-HBAからフェノールへの変換は、4-HBA脱炭酸酵素による一段反応であり、フェノールによる該反応への阻害は低く、グルコースからのフェノール直接生産に比べて非常に高い生産性が可能になった。今回開発したグリーンフェノール生産システムは、既存の報告を大幅に上回り、最終フェノール濃度22 g/Lを達成した。今回開発した2段工程法は、これまでにな

い高濃度フェノール生産を可能とし、グリーンフェノール製造技術の実用化を実証するものである。この2段工程法の展開については5章及びトピックスで紹介する。

4.4 100%グリーンジェット燃料生産技術開発

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CO₂排出量割合（40%）を占めるのは航空機部門との予想である（IEA Energy Technology Perspective 2010）。現在、航空機からのCO₂排出量は運輸部門の約20%を占めるが、航空機は液体燃料を使用するため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CO₂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CO₂排出削減対策として、バイオマスを原料とするバイオジェット燃料に大きな期待が寄せられている。現在使用されている石油系ジェット燃料は炭素数C10～C15の分岐および環状飽和炭化水素と芳香族化合物を主成分とする混合物で、その物理的性質は規格化されている。しかし、植物油を水素化した代表的なバイオジェット燃料は、飽和炭化水素化合物のみから構成され、芳香族化合物を添加するために石油系ジェット燃料とブレンドしなければ利用できない。そこで、我々はジェット燃料の規格に適合する多様な分岐および環状飽和炭化水素化合物と芳香族化合物の全てを、バイオマス由来の混合糖から製造可能な、世界初の100%グリーンジェット燃料生産方法を提案した（図6）。

本提案では、前述した化合物の全てをバイオマス由来の混合糖から製造可能な微生物を創製し、従来の発酵生産法では製造が困難な100%グリーンジェット燃料製造技術を開発する。

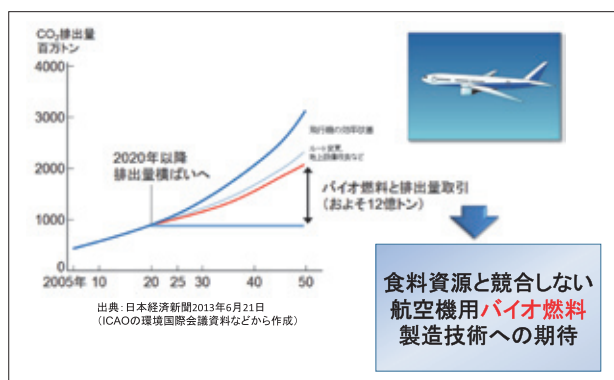


図5 航空機からのCO₂排出量の予測

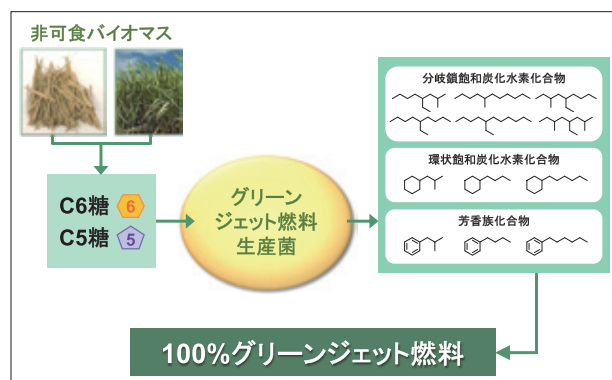


図6 100%グリーンジェット燃料生産技術開発

5. 実用化への取り組み

5.1 グリーンフェノール開発株式会社の設立

前章で述べた世界初のグリーンフェノール製造技術である2段工程法によるフェノール生産を早期実用化するため住友ベークライト社と共同で平成26年5月にグリーンフェノール開発株式会社を設立した。詳細はトピックスを参照されたい。

5.2 ブタノール

次世代バイオ燃料として期待されているブタノールについては、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を原料とした生産技術開発を継続している。混合糖からの高変換率（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、ブタノール生成における高いSTYを実現している。ブタノールはフェノールと同様に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ブタノール耐性が優れている。我々は、さらに膜を利用した効率的なブタノール回収法と組み合わせ、ブタノール濃度（～数%）を効率的に濃縮する生産システムの開発に着手している（図7）。また、昨年紹介した航空機燃料素材としての利用をめざしたプロジェクトについては、米国立再生可能エネルギー研究所（NREL）等との国際共同体制で取り組んでおり、独自に開発した突然変異導入法による高ブタノール耐性株の取得や高機能性酵素の導入による菌体改良により、糖類からの高いブタノール収率を達成した。ブタノール製造技術については、実用化菌体の開発は順調に進んでおり、今後は回収法を含めたブタノール生産システムとして、関心のある企業と共に実用化開発を進めていきたい。

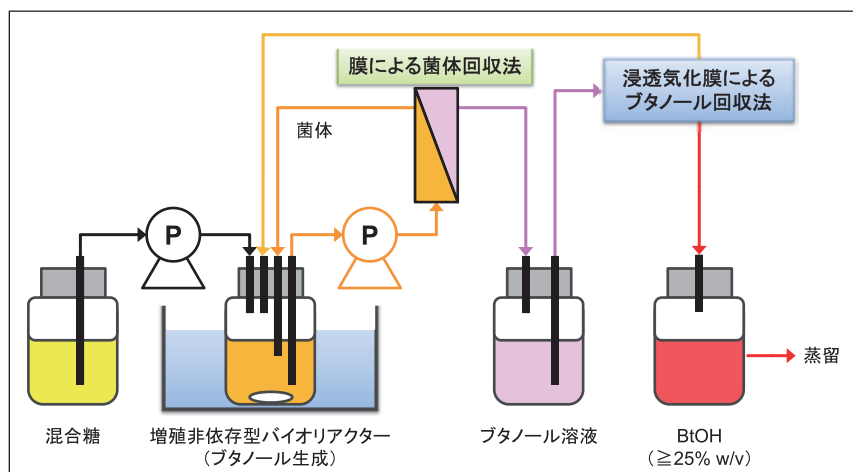


図7 連続生成反応と膜回収法を組み合わせたブタノール生産システム

5.3 シキミ酸の製造技術開発

シキミ酸は、インフルエンザ治療薬タミフル（oseltamivir）合成の中間体として、世界的に需要が高まっている。タミフルはパンデミック対策のため備蓄が必要であるが、原料のシキミ酸の不足が課題であった。シキミ酸は3つの不斉炭素原子を有する環状ヒドロキシ酸でありタミフルの他、様々な医薬品、化成品、化粧品、農薬等の原料や合成中間体として重要である。従来シキミ酸は、植物のシキミ（ハッカク）の乾燥果実より抽出、精製されていたため、低収量でコストが高かった。また、シキミ生産が中国に集中し、乱獲などの問題もあったため、安価な再生可能原料からのバイオプロセスによる生産が望まれていた。RITEでは、コリネ型細菌の芳香族アミノ酸等の生合成経路の中間体であるシキミ酸に早くから着目し（図8）、糖類の取り込み系やシキミ酸生合成経路の強化、シキミ

酸分解経路の遮断等の改良をコリネ型細菌に実施し、今まで報告されていた値と比較して大きく上回るシキミ酸生産性を達成した。本技術開発は、多数の反響を企業から頂いており、実用化開発を目指した共同研究や共同開発に繋げていきたいと考えている。

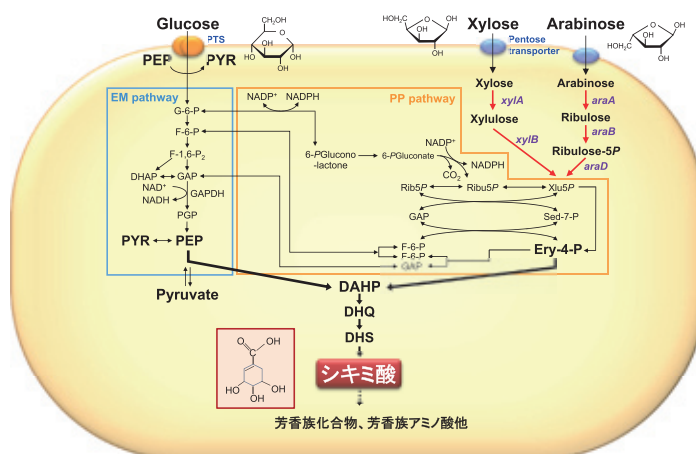


図8 コリネ型細菌における芳香族化合物生成とシキミ酸

6. 終わりに

北米で新型天然ガス（シェールガス）の生産が本格化し、世界のエネルギー市場や経済・産業構造を大きく変える「シェールガス革命」が進行している。シェールガス等を原料とする「新・石油化学工業」は、今後急速な生産規模の拡大が予測されている。これによるメタンやエチレンベースの化学品は、かなりのコスト競争力を持つと予想されるが、逆に、炭素数4以上の化学品、および芳香族化学品は価格上昇が予測されている（図9）。このような動きは、将来的にはバイオリファイナリー産業にとって追い風になると予測される。

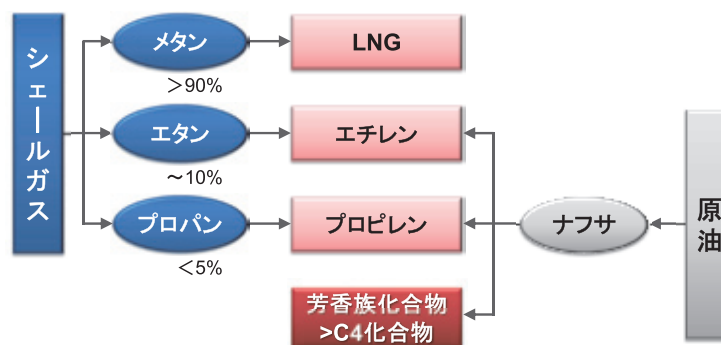


図9 シェールガス革命による化学産業への影響

今後とも、本誌面で紹介した従来の発酵法では生産が困難であった「高細胞阻害物質」であるフェノール類のような芳香族化合物や、ブタノールに代表されるグリーンジェット燃料の生産技術開発などに注力し、バイオリファイナリー産業の拡大による地球環境保全や持続可能社会の実現に貢献していきたい。

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・主席研究員
東井 隆行
主席研究員 伊藤 直次
主席研究員 佐藤 譲宣
主席研究員 西田 亮一
副主席研究員 余語 克則

主任研究員 池田 健一
主任研究員 岡島 重伸
主任研究員 甲斐 照彦
主任研究員 加藤 次裕
主任研究員 後藤 和也
主任研究員
フィロース アラム チョウドリー
主任研究員 三上 智司
主任研究員 山田 秀尚
主任研究員 山本 信

研究員 伊藤 史典
研究員 来田 康司
研究員 斉藤 崇
研究員 段 淑紅
研究員 沼口 遼平
研究員 藤木 淳平
研究員 山崎 浩太

CO₂分離・回収技術の高度化・実用化、 およ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. CO₂分離・回収技術研究開発及び水素エネルギー社会構築に向けた研究開発

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

CCSコストの約6割程度は排出源からのCO₂回収に要すると試算されており、CCSの実用化促進にはCO₂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、CO₂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、新化学吸収液の開発目標とした分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出すことに成功した。開発された化学吸収液は、民間企業で採用され、昨年秋にCO₂回収設備商用1号機が運転を開始した。

膜分離法では、H₂を含む高圧ガスからCO₂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-CO₂でCO₂を回収することを目指している。デンドリマーを用いる新規な高分子系材料がCO₂/H₂分離に優れることを見出し、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、膜材料の改良を進め、ラボレベルで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CO₂分離・回収技術をベース

に、CO₂高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材（目標とする分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO₂）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。

また、これまで、放出されるCO₂を回収・貯留するCCSのためのCO₂分離・回収技術を中心に研究開発を行ってきたが、CO₂排出そのものを削減する技術も重要であると考えており、取り組みを強化しつつある。

近年、我が国では、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水素、あるいはCCSと組み合わせた化石燃料からの水素、いわゆるCO₂フリー水素をベースとするエネルギーシステム構築の必要性が強く言われている。その構築に不可欠なのが、エネルギーキャリア（メチルシクロヘキサンやアンモニアなど輸送が容易な水素含有化合物）から効率的に水素を取り出す技術の開発である。当グループでは、メチルシクロヘキサンから水素を取り出すシリカ膜やゼオライト膜、アンモニアから水素を取り出すパラジウム膜、およびそれらを用いた膜反応器（メンブレンリアクター）の開発を進めており、着実に成果を挙げつつある。

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

2. 化学吸収法によるCO₂分離・回収技術開発

化学吸収法は、ガス中のCO₂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CO₂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CO₂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CO₂分離・回収コストを低減する高性能吸収液の開発に取り組んできた。

2004年度から2008年度においては、「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発」プロジェクト（COCSプロジェクトと呼称）を企画推進し、引き続き、製鉄所プロセスガスからのCO₂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 Step1、2008～2012年度）に取り組んだ。

これ等のプロジェクトを通じて、吸収液の分離・回収エネルギー2.0GJ/t-CO₂を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO₂回収温度を100℃以下で可能とする吸収液を見出し、開発することに成功した（図1,2）。これらの化学吸収液の開発成果については、民間企業のCO₂回収設備商用機に採用され、昨年秋に1号機が運転を開始した。

引き続き、2013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、CO₂分離・回収コストをより一層低減する画期的な高性能化学吸収液の開発に取り組んでいる。

また、これまでの吸収液開発で培った研究経験を基に、高圧CO₂含有ガス（例えば、石炭ガス化ガス）からのCO₂分離・回収において、CO₂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。

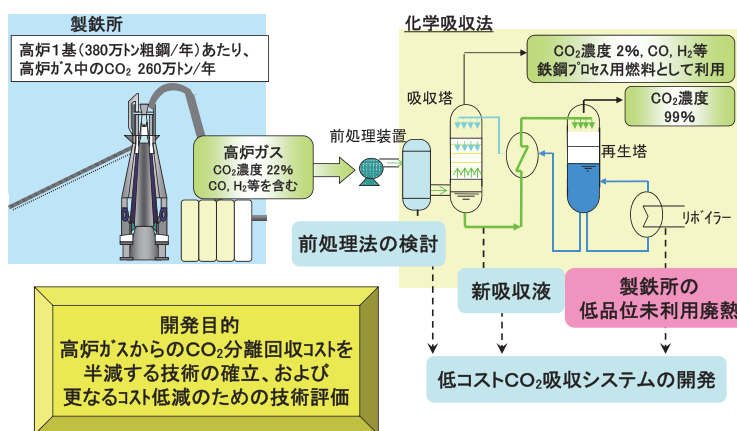


図1 化学吸収液を利用する高炉ガスからのCO₂分離回収技術概要

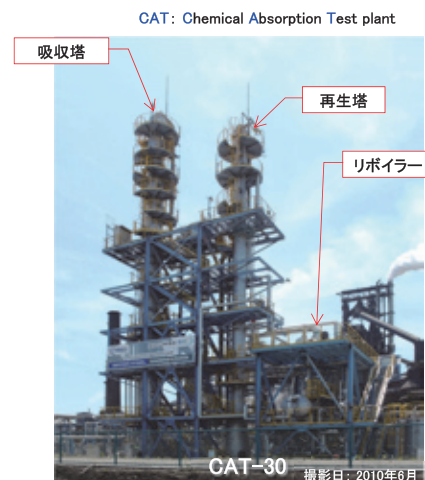


図2 COURSE50 Step1 実証試験設備の外観

本研究の目的は、処理ガスの持つ高い圧力エネルギーをCO₂の分離・回収および回収後のCO₂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（高圧再生型化学吸収液）の開発である。

現在開発中の高圧再生型化学吸収液は、高いCO₂回収量、高い反応速度、および低いCO₂吸収熱を併せ持つ高性能な化学吸収液であり、圧縮工程を含む分離・回収エネルギーとして、開発目標の1.2GJ/t-CO₂以下を達成する見通しを得ている。

3. 高圧ガスからCO₂とH₂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 CO₂ capture & storage, IGCC-CCS）。石炭をガス化した後に水性ガスシフト反応でCO₂とH₂を含む混合ガスを製造し、CO₂を回収・貯留して、H₂をクリーンな燃料として用いる（図3）。この圧力を有する混合ガスから、1,500円/t-CO₂以下のコストでCO₂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、CO₂とH₂を効率良く分離することが可能である。図4に分子

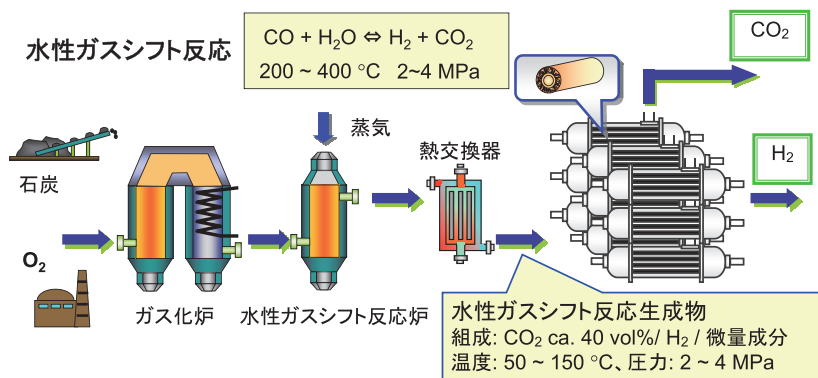


図3 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電（IGCC）からのCO₂分離回収

ゲート膜の概念を示す。ここで、膜中のCO₂が分子サイズの小さなH₂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CO₂とH₂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CO₂とH₂の分離性能を有することを見出し、このデンドリマーと架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜の開発を行っており、優れたCO₂透過速度とCO₂/H₂選択性を有する複合膜の開発に成功している。

この成果を元に、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5）。その中でRITEはクラレと共同で分離膜の開発を担当している。

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、ラボレベルで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（図6）。今後は、さらなる複合膜性能の向上、耐久性や耐圧性付与等の実用化に向けた検討を進めていく。

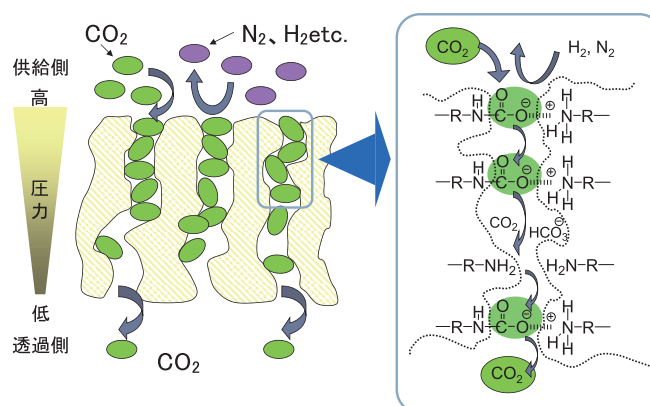


図4 分子ゲート膜の概念図

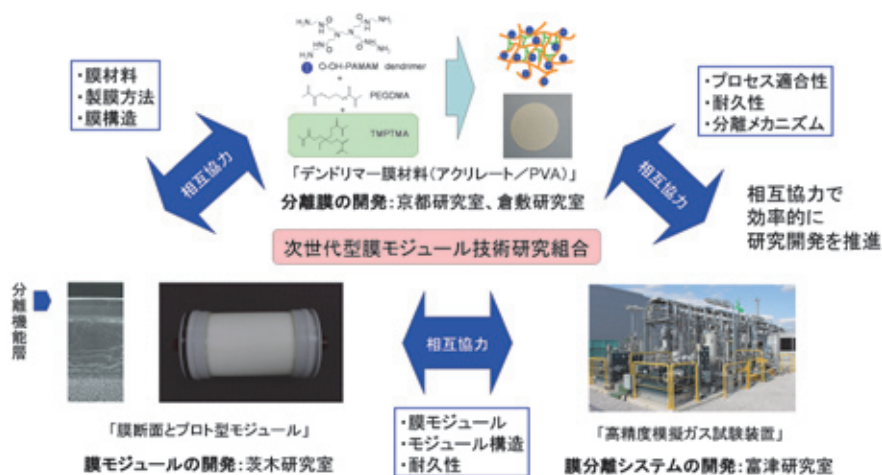


図5 技術研究組合による、分離膜、膜モジュール、膜分離システムの開発

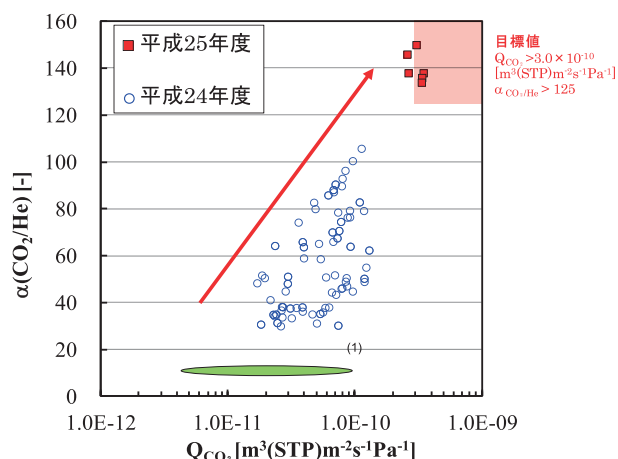


図6 分子ゲート膜の分離性能 (Q_{CO_2} : CO₂透過速度、 α : 選択性)
(1) H. Lin, B. Freeman et al., Science, 311, 639-642 (2006)

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「圧力ガスからのCO₂分離」に登録されている。また、ノルウェー科学技術大学ともCO₂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。

4. 固体吸収材の開発

これまでに蓄積した化学吸収法等のCO₂分離・回収技術をベースに、2010年度より経産省からの委託事業「二酸化炭素回収技術高度化事業」で、CO₂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CO₂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-CO₂)を見出すべく研究開発に取り組んでいる。

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CO₂吸収特性を有しながら、再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーの大幅低減が期待できる。これまでに、アミンの分子構

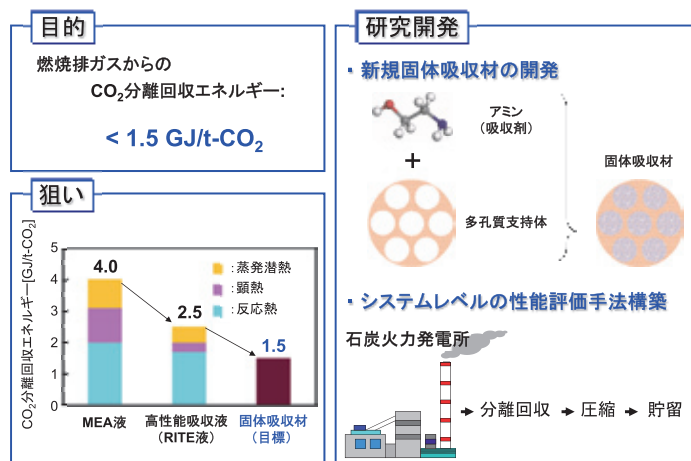


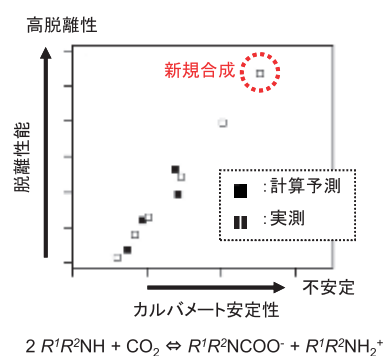
図7 二酸化炭素固体吸収材等研究開発

造とCO₂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CO₂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）。

プロセス評価技術の開発では、アミンとCO₂の反応を考慮して、CO₂分離・回収プロセスおよびCO₂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を構築し（図9）、本事業で開発する固体吸収材によるCO₂分離・回収技術を石炭火力発電に適用した場合、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。

また、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、シミュレーションによりCO₂分離・回収エネルギー<2.0GJの目途を得ている。

計算化学によるアミンとCO₂との反応解析



固体吸収材のCO₂吸収特性

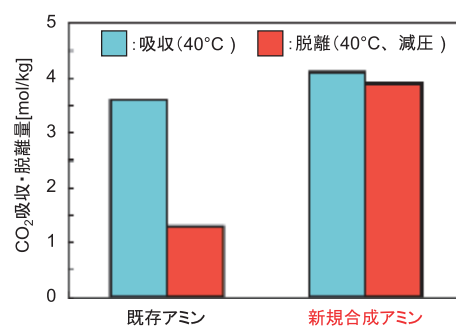


図8 計算化学を活用した高効率回収型アミンの探索

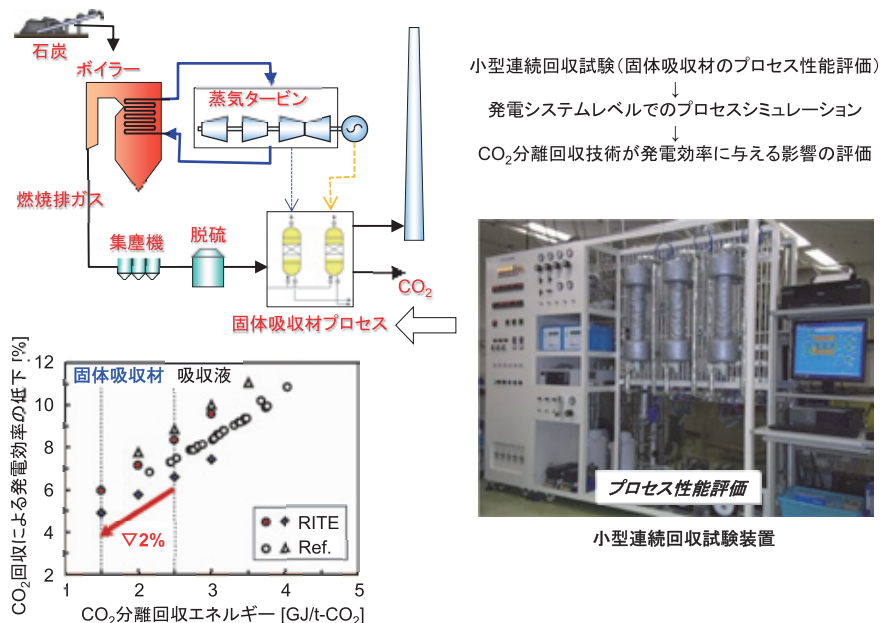


図9 CO₂回収型発電システムのプロセス設計

5. 水素エネルギー社会を支える無機膜技術開発

昨年4月に閣議決定された第4次エネルギー基本計画の中でも大きく取り上げられるなど、最近注目を集めているCO₂フリー水素をベースとするエネルギーシステム構築に不可欠なのが、エネルギーキャリア（メチルシクロヘキサンやアンモニアなど輸送が容易な水素含有化合物）から効率的に水素を取り出す技術の開発である。当グループでは、そのために必要な無機系水素分離膜および膜反応器（メンブレンリアクター）の研究開発を進めている。

2013年度に開始された文部科学省プロジェクトは2014年7月から戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）エネルギーキャリアプロジェクトとして改めてスタートしたが、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、「プロセス基盤技術」テーマを受託した。水素ステーション用の水素製造装置を出口とし、メチルシクロヘキサン用に対向拡散CVD法（図10）により作製したシリカ膜などの多孔質無機膜、アンモニア用に細孔内充填型パラジウム膜（図11）の開発を進めて着実な成果をあげており、いずれの水素分離膜も高効率でコンパクトな水素製造装置を実現するものと期待できる。また、後者は従来のパラジウム膜に対して、その課題であった耐久性の大幅な向上、低コスト化が期待できる技術である。

一方、2013年度に開始されたNEDOプロジェクト「水素利用等先導研究開発事業／エネルギーキャリアシステム調査・研究／水素分離膜を用いた脱水素」を千代田化工建設株式会社と共同で受託している。

商業施設やオフィスビルなど中小規模の需要家を対象に分散電源と組み合わせる水素製造装置を出口とし、メチルシクロヘキサン用の水素分離単管膜反応器の開発およびそれをモジュール化した水素製造装置の設計・開発を行っている。単管膜反応器を用いた脱水素反応では、反応と膜分離を別々に行う場合と比較して反応温度の低減が可能なことを確認しており（図12）、大きな省エネルギー性が期待できる。今後さらなる低温化を図るとともに、モジュール化した水素製造装置の開発を進めていく。

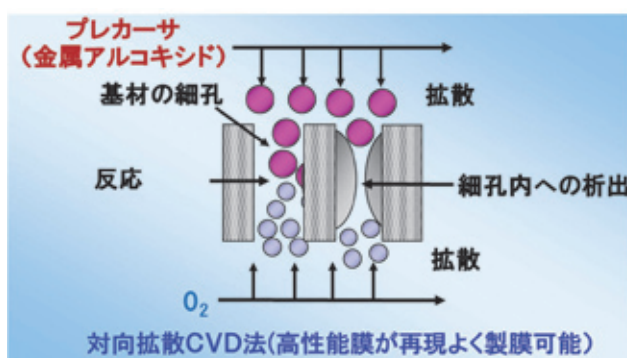


図10 対向拡散CVD法によるメチルシクロヘキサン用シリカ膜作製法

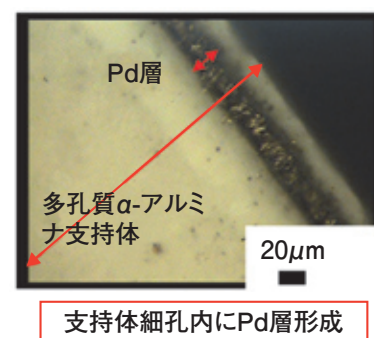


図11 アンモニア用細孔内充填型パラジウム膜

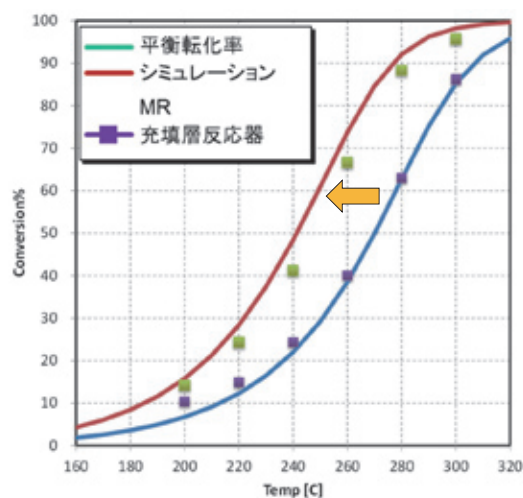


図12 単管膜反応器を用いた脱水素反応による反応温度の低減

また、製鉄所プロセスガスからのCO₂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) では、将来の水素還元製鉄技術確立に向けて高炉ガス (BFG) の有効活用を目的として、高度な水素分離性能と耐水蒸気性を兼ね備えた新しいCVDシリカ膜、およびそれを用いた膜反応器 (水性ガスシフト反応、水素分離) の研究開発を進めている。

CO₂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	高野 修
主席研究員	薛 自求	主任研究員	喜田 潤	主任研究員	内本 圭亮
主席研究員	上林 匡	主任研究員	木山 保	主任研究員	和泉 宏典
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	指宿 敦志
副主席研究員	名井 健	主任研究員	田中 良三	研究員	張 毅
主任研究員	間木 道政	主任研究員	岡林 泰広	研究員	中野 和彦
主任研究員	橋本 励	主任研究員	辻本 恵一	研究員	朴 赫
主任研究員	西澤 修	主任研究員	渡辺 雄二	研究員	伊藤 拓馬
主任研究員	中島 崇裕	主任研究員	利岡 徹馬	研究員	中村 孝道
		主任研究員	中神 保秀		

実適用を目指すCO₂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CO₂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発生源から排出されるCO₂を分離回収し地中に貯留するCCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、燃焼効率改善、燃料転換、再生可能エネルギー利用拡大といった他のCO₂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2014」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CO₂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。

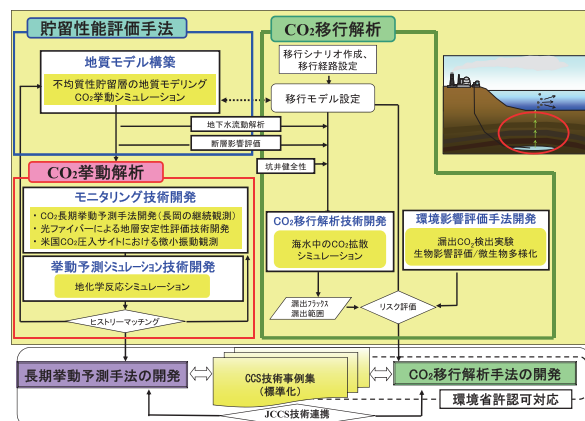
このような状況の中、我が国ではCCS大規模実証試験が立ち上げられ、日本CCS調査株式会社が北海道苫小牧市において坑井掘削等を進めている。この実証試験では、製油所の水素製造装置から発生したガスから分離・回収したCO₂を年間10万トン以上の規模で地下深部の地層（萌別層：地下1,100～1,200m、滝ノ上層：地下2,400～3,000m）へ圧入し、CO₂挙動モニタリング等を実施する計画である。

現在、RITEは、CO₂地中貯留安全性評価技術研究開発、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. CO₂地中貯留技術研究開発

地中へのCO₂圧入について、油層にCO₂を圧入して石油の増進回収を行うEOR、炭層にCO₂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、図1のように貯留層（砂岩）上部にガスや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、CO₂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CO₂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CO₂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CO₂移行解析（CO₂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。

図1 CO₂地中貯留の概念図図2 CO₂地中貯留の技術課題に対するRITEの取り組み

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、「日本の地質特性に適した地質モデルの構築手法の開発」と「地下水流動の解析手法の開発」からなる。

貯留層に圧入されたCO₂挙動解析には、不均質性を反映した精緻な地質モデル構築が不可欠である。CCS分野では漏洩防止の観点から、調査井の本数が少なく、ボーリングコアや物理検層等の地質学的データが限られる。このような制約下で得られたデータを最大限に有効活用した貯留層物性解析や地質モデル構築技術の開発が期待されている。RITEでは長岡実証試験サイトを例に、貯留層の地質特性解析を実施し、地層の堆積環境を明らかにした。また、地層の堆積環境に基づく地層フレームワークを作成し、含泥率、孔隙率、浸透率等の貯留層物性を組み込むことで地質モデルを精緻化できることが明らかになった。

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CO₂地中貯留を想定し、CO₂圧入が広域地下水流動に与える影響の評価を行っている。沿岸域の地下水流動解析のために、陸側と海側の地質データを統合して解析し、陸と海がつながる水理地質モデルを作成する必要がある。RITEでは苫小牧実証試験サイトを対象に、沿岸域の広域地下水解析に必要な水理地質モデルを構築している。地下水の流れを正確に予測するためには、文献値を利用するだけでなく、調査井等による貯留サイトの地層サンプルを採取・分析し、孔隙率や浸透率などの水理定数データを取得することや、CO₂圧入前の地下水状態を把握しておくことが重要である。

2.2 貯留層内のCO₂挙動解析

CO₂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CO₂の挙動をモニタリングし、安定的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、長岡CO₂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解析し、CO₂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、CO₂圧入に伴う微小振動の評価手法の開発、CO₂圧入時の地層の安定性モニタリング技術開発等、CO₂地中貯留に資する様々な技術開発を行っている。

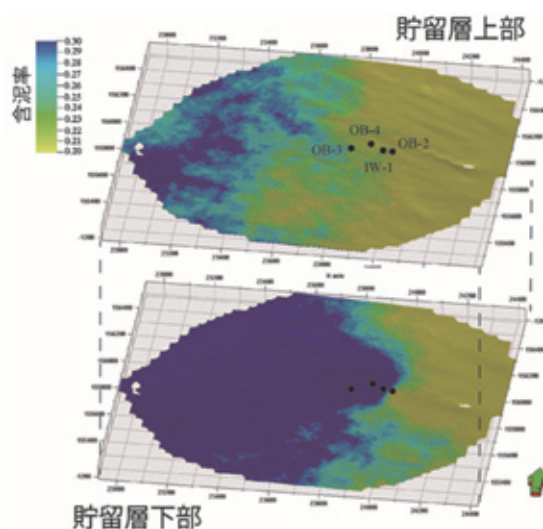


図3 貯留層最上部（上）と最下部（下）の含泥率の三次元分布

・CO₂圧入に伴う微小振動の評価手法の開発

米国ローレンスバークレー国立研究所の協力を得て、米国のCO₂圧入サイトの浅部ボーリング孔に設置した微小振動観測システムを用いて、CO₂圧入に伴う微小振動観測を継続しており、これまでに得られた観測データなどを解析し、CO₂圧入との関連性について整理を行った。また、微小振動観測に基づく「CO₂圧入管理手法」(TLS: Traffic Light System) の仕様検討を行った。

・CO₂圧入時の地層の安定性モニタリング技術開発

CO₂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、CO₂地中貯留の安全性を評価する上で重要である。RITEではCO₂圧入時の地層の安定性モニタリング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年度の現場試験結果をもとに、2014年度は深い坑井へ試作した長尺光ファイバーケーブルを設置し、実フィールド試験より実用化に向けた技術課題を検証した。

また、今後の実用化にあたっては、CO₂地中貯留サイトに適した光ファイバーケーブルを製作する必要がある。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。

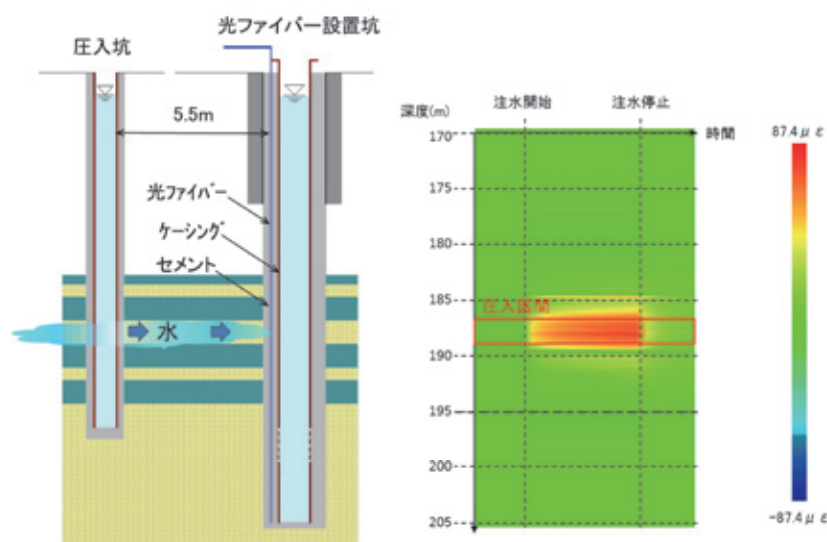


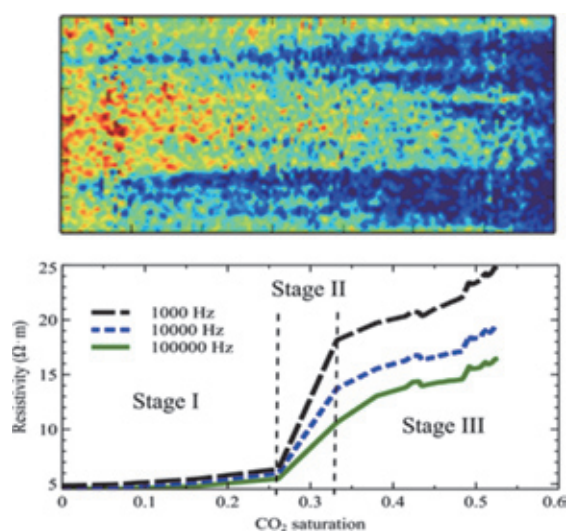
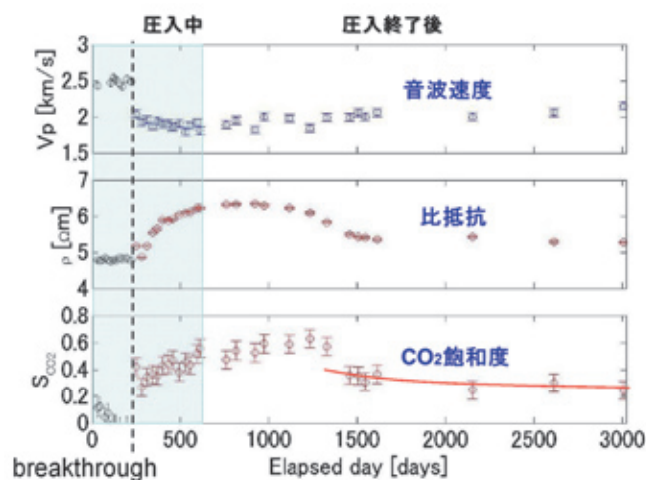
図4 光ファイバーによる注水に伴う地層変形測定

・X線CT装置を用いたCO₂挙動解析とアップスケール化

地下深部貯留層に圧入されたCO₂の長期安定性を評価するためには、不均質な貯留層におけるCO₂の挙動およびCO₂と地層水との置換メカニズムの解明が重要である。X線CT装置により、不均質性が著しい実証試験サイトのコア試料内のCO₂分布を可視化し、CO₂と地層水との置換特性やCO₂残留トラップメカニズムを解明した。可視化されたCO₂分布と弾性波や比抵抗等の岩石物性との関連性を明確にし、CO₂圧入サイトで得た物理検層や弾性波探査データの解釈に適用した。また、貯留層性能評価にその知見を生かすべくアップスケールの研究を進めた。

・長岡サイトでのCO₂挙動解析

RITEは、2003年7月から2005年1月にかけて新潟県長岡市郊外でCO₂圧入実証試験を実施し、地下1,100mの深部塩水性帯水層に10,400トンのCO₂を圧入した。RITEでは当該サイトにおいて、地中のCO₂の状態のモニタリング手法やCO₂挙動予測シミュレータの開発を行ってきた。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（ポスト・インジェクション）のCO₂挙動を詳細にかつ10年以上モニタリングされ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。

図5 コア試料内のCO₂分布状況の可視化画像図6 長岡サイトの観測井近傍のCO₂挙動観測結果

モニタリング手法の開発では、物理検層、地層水採取、および坑井間トモグラフィを繰り返し実施し、CO₂の広がりや状態（超臨界状態であるか地層水に溶けた状態であるか）の推定を行ってきた。2014年度には坑内物理検層を実施し、圧入後のCO₂はほとんど動かず、安全に貯留されていることを確認した。同時にCO₂の溶解が進行し、より安全なトラッピングへと移行していることを確認した。

CO₂挙動シミュレータの開発では、長岡サイトの詳細なモニタリングデータを使って検証を行ってきた。観測データとのヒストリーマッチングによって、初期の地質モデルの更新を行い、圧入されたCO₂の長期挙動予測に必要な地質モデルが完成されつつある。

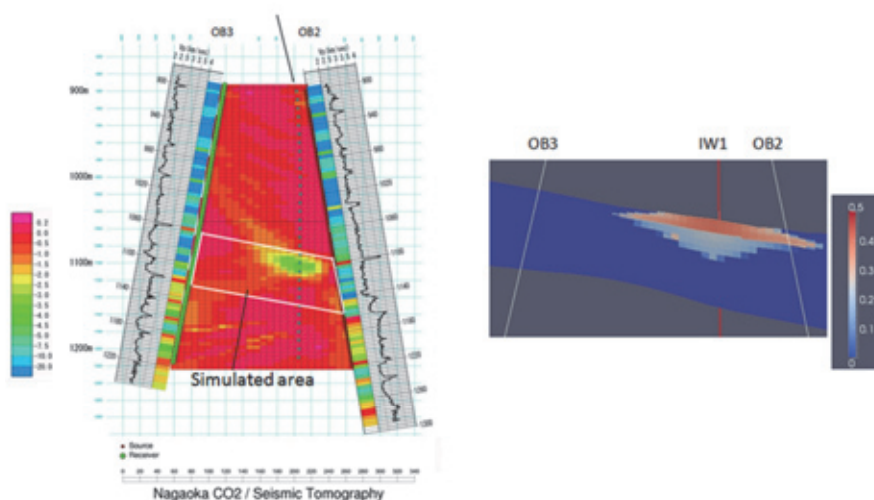


図7 圧入終了直後の坑井間トモグラフィ結果（左）とシミュレーション結果（右）の比較

2.3 貯留層外部へのCO₂移行解析

海底下地層へのCO₂貯留を実施する際には、海洋環境への安全性を確保するために、貯留層から海中にCO₂が漏出していないことを監視する必要がある。CO₂は気体あるいは海水に溶解した状態で海底から漏出すると想定される。

海水に溶解したCO₂の監視方法の1つとして、海水の炭酸系（pH、全炭酸、全アルカリ度など）を測定し、バックグラウンドデータと比較する方法がある。これまでに、公表観測データを基にケーススタディーを行い、炭酸

系と同時に溶存酸素量を測定することにより、漏出による異常値を検出できることを示した。さらに、実海域において炭酸系を測定し、炭酸系の自然変動を把握するとともに、自然変動の中から異常値を実際に検出することができるかを検討している。その結果、沿岸域において炭酸系は自然条件により短期間に大きく変動する場合もあるが、同時に溶存酸素量の変動を測定することにより炭酸系の自然変動の幅を正確にとらえることができ、漏出による異常値を高精度で検出できる可能性が示された。

また、CO₂が気体として漏出した場合、海水中の気泡は音波を強く反射・散乱するため、音響機器による監視が有効と考えられる。これには海底探査や水深測量に利用されてきたサイドスキャンソナーやマルチビーム測深器等によって気泡の検出が可能となるため、天然のガス噴出海域での観測や人工的に噴出させた気泡を用いた検出試験を通じて、検知感度の検討を行っている。この結果、比較的小さな漏出でも検出可能であることが示された。音響探査はさまざまな機器が開発されてきており、面的な広域監視から測点を絞ったスポット監視まで多様な対応が期待できる。

さらに、海中に漏出したCO₂がどの程度の濃度でどの範囲に広がるのかをシミュレーションするためのモデルを構築している。海の流れは、必ずしも流れがある海域の直上や周辺を吹く風によってのみ作られるわけではなく、遠く離れた海上を吹く風などによって作られることもある。そこで、数百kmスケールの海域のシミュレーションができる数値モデル（広域モデル）とCO₂の漏出域周辺を高い精度で計算できる数値モデル（狭域モデル）の二つを組み合わせることで、より正確なシミュレーションを目指している。これまでに、広域モデルで現実的な流れが再現できていることを確認した。また、狭域モデルに時空間的に変化できる海面風応力を与えられるようにし、側面境界に時空間的に変化できる水温や塩分を与えられるようにした。図8は250トン/年の漏出率で行った狭域モデルのシミュレーション結果である。

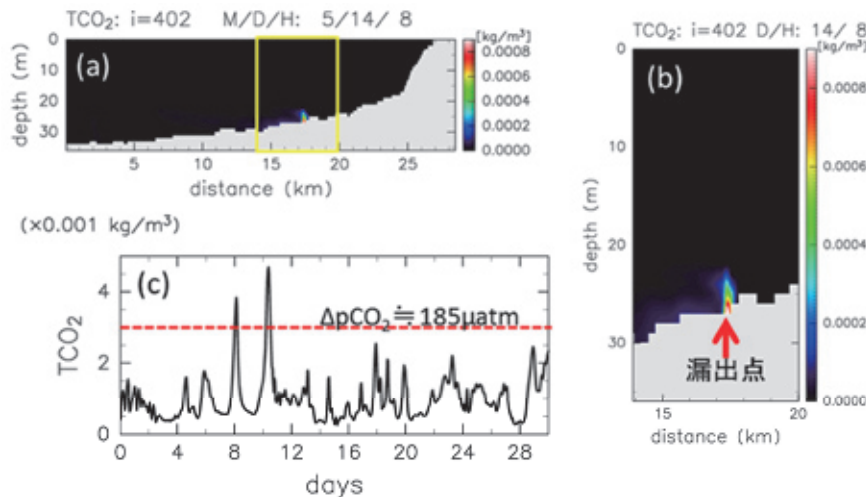


図8 狭域モデルで行ったシミュレーション結果
(a)漏出CO₂濃度の鉛直断面図、(b)漏出点付近拡大図(aの黄色枠内)、(c)漏出点における漏出CO₂の時系列

2.4 CCS実用化に向けた技術事例集の作成

1996年に北海油田のSleipnerにおいてノルウェーが世界初のCO₂帯水層貯留事業を開始した。その後、豪州、米国、欧州、日本などでも、CO₂地中貯留プロジェクトが行われており、CCS関連技術の事例が増えている。また、CCSの普及に必要な法規の整備が進められている。

RITEは、CCS事業の国内普及や海外展開を見据え、国内の事業者がCCS事業を実施する際に技術的に参考となる「CCS技術事例集」の作成を進めている。国内事例としては、長岡実証試験と苫小牧大規模実証試験を、また、海外事例としては、米国（RCSP）および欧州の事例を主な対象として収集・整理している。

2014年度には「CCS技術事例集検討WG」が設置され、CCSに関連する分野の専門家のご指導を踏まえて、

事例集の作成を進めている。現在の計画では、2015年度末までに、第1章「基本計画」から第4章「実施計画」までを完成させ、第5章「設計・建設」から第8章「閉鎖後管理」までは2020年度までに完成させる予定である。



図9 CCS技術事例集の構成

表1 CCS技術事例集の主な内容

		主な内容
第1章	基本計画	CCS事業の基本計画策定（事業の目的、選定条件など）
第2章	サイト選定	候補サイトの中から、事業サイト選定する
第3章	サイト特性評価	選定サイトの特性評価（貯留性能、遮蔽性能等、安全性）
第4章	実施計画	第5章（設計・建設）、第6章（運用・管理）、第7章（サイト閉鎖）、第8章（閉鎖後管理）の実施計画を策定する
第5章	設計・建設	サイト開発、坑井（設計、掘削、仕上）、圧入設備、監視設備など
第6章	操業・管理	CO ₂ 貯留事業の認可取得、CCS事業の開始から終了まで
第7章	サイト閉鎖	陸上設備の撤去、坑井の検査と修復、監視設備の更新
第8章	閉鎖後管理	坑内圧力、坑内CO ₂ 挙動、CO ₂ 漏洩等の監視継続

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CO₂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極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、商業的利益を生むことから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の効率化が課題となっている。

当課題の解決を目指し、2009年11月の第4回日中省エネルギー・環境総合フォーラム（北京）の場で、RITEと中国石油天然気集团公司（CNPC）外事局との間で日中CCS-EORの協力合意がなされた。

本合意に基づき、RITEとCNPCは、CCS-EORの協力を進めてきており、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を深めてきた。

この一連の協力の中、RITEのCO₂挙動モニタリング技術やCO₂を微細気泡化して油層への浸透性を高めるマイクロバブル技術は、CCS-EORの効率化に極めて効果的であることがCNPCで認識され、2013年度には当該技術の実証候補油田をいくつか抽出するにいった。

2014年9月には、これらの活動成果を総括する日中CCS-EORワークショップを北京で開催し、CNPC関係者の他、主要石油会社、発電会社、政策決定機関からも多く参加者を得た。中国からはCCS-EORの実績の紹介、日

本からはRITE技術の紹介、CCS-EORのビジネスモデルの提案などが行われ、中国のCCS-EORの成果・課題が明らかになるとともに、EOR効率化に向けてRITE技術が有効であることが確認された。

また、CNPCより具体的な油田でのCCS-EOR実証試験計画の紹介があり、RITEへ参画の要請があった。ワークショップ後、日中双方の関係者が相互に相手国を訪問し、RITE技術の詳細を確認した上、当実証試験へRITEが協力していくことが合意された。

今後は、協力内容を具体化していくとともに、プラント建設会社や商社等の協力を得て、中国におけるCCS-EORのビジネスモデルも検討していく計画である。

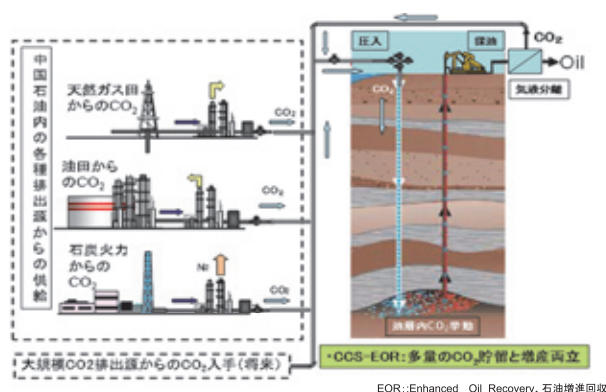


図10 CCS-EORの概念図



図11 2014年日中CCS-EORワークショップ風景

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の海外動向調査を行っている。国際機関等を通しての国際的な連携や情報共有は、CCSを普及していくうえでの課題となっている経済性の確保、普及政策や法規制の整備、社会的受容性の確立などを克服していくために必要不可欠である。ここでは、2014年度のCCSに係る主な国際動向とRITEが参加している国際機関等のうち炭素隔離リーダーシップフォーラム(CSLF)の動向を以下にまとめる。

4.1 CCSに係る海外動向

2014年はCCSコミュニティにとって記念すべき年となった。電力セクターにおいて世界で初めてとなる大規模CCSが、同年10月にカナダのBoundary Dam発電所の3号機で運開されたのである。定格出力が110MWと小規模な発電所であるが、同セクターでCCS技術の稼働実績ができたことは意義深い。これに先立つ7月には3件目の発電所のCCSとなるPetra Novaプロジェクトの建設が米国で開始された。このプロジェクトはJX日鉱日石開発と三菱重工という日本の企業が事業者と回収技術のサプライヤーとしてそれぞれ参画していることから話題となった。一方で、これまでのCCSプロジェクトとは異なるビジネスモデルである点からも注目された。回収したCO₂を石油の増進回収(EOR)に利用する点は他の多くのCCSプロジェクトと同様だが、同プロジェクトでは、回収したCO₂をEOR事業者に売却するのではなく、そのCO₂で自らEORを実施する。より堅固なビジネスモデルであると言える。

こうした北米での活発な動きに対して、欧州では相変わらず停滞感が否めない。しかし、英国では例外的に大規模プロジェクトの実現や政策環境の整備に向けた準備が着実に進められている。大規模CCSでは政府資金を得て2件の大規模プロジェクトのFEEDが進められている。この内、酸素燃焼による新設火力のCCSであるWhite Roseプロジェクトが、2014年7月にEUの資金援助スキームであるNER300から最大3億ユーロの供与を受けることになった。翌8月には政府がCCS普及に向けた今後の政策立案に向け11分野の計23課題に対する意見を公募する政策文書を公開している。また、政府は12月に入って北海におけるCO₂貯留の適地調査に対して250万ポンド

ドの拠出を発表し、企業等からの提案公募が開始された。日本における経済産業省と環境省による適地調査事業と相通ずるプロジェクトと言え、共に海域貯留である観点からも、その行方が注目される。

CCSの法規制においては、米国での2つの動きに注目が集まった。一つは発電所のCO₂排出規制であり、もう一つはCO₂貯留用の坑井、いわゆるClass VIとして初めてとなる許可発行である。共に環境保護局（EPA）が当局となる規制である。排出規制については、新設の石炭火力は実質的にCCSの導入が義務付けられることになるEPA案が最終的にどのような規制として導入されるかが注目されたが、その最終化および導入が2015年1月から同年夏に延期されることになった。これは、EPAが2014年6月に発表し議論の絶えない既設火力の排出規制に相当するクリーン発電計画案との同時施行がより合理的との判断による。Class VIの許可は酸素燃焼の石炭火力のCCSプロジェクトであるFutureGen 2.0とバイオエタノール工場をCO₂排出源とする産業CCSプロジェクトにおける計6本の坑井に対して出された。いずれも帯水層貯留用の坑井である。FutureGenの実施は予断を許さないが、これから蓄積される知見やデータは、帯水層貯留を志向する日本にとっても大いに参考になると考えられる。

国際協力の分野では、2014年11月に米中首脳間での合意が注目を集めた。この合意は基本的に気候変動対策を対象としたものであったが、その中で技術革新の果たす役割が重要であるとしたうえで、先進石炭技術開発、大規模貯留プロジェクト、淡水の増進回収（EWR）での協力が合意された。大規模貯留プロジェクトでの協力は第3国も参加して実施するとされており、後述のCSLFでの大規模プロジェクトにおける国際協力に関連する米中の動きと合致する。EWRはCO₂圧入と並行して淡水を生産するものであり、米中間でそのパイロット試験を実施するとしている。大規模CCSの実施で世界をリードする米国とCCSプロジェクト計画を多数有する中国との協力の進展は今後も注目される。

4.2 CSLFの動向

CSLFは、CO₂の回収とその地中貯留等の研究開発、実証、商業化のための国際協力を推進する国際的な組織であり2003年に設立された。現在、日本を含む22か国と欧州委員会が参加している。その活動は政策グループと技術グループによって行われており、RITEは2009年から技術グループのメンバーとして活動している。

2014年度は、2013年秋にCSLFが開催した閣僚級会合の結果を受けて、CSLFが今後取り組むべき活動テーマの選定とその具体化に向け、政策グループにおいて活発な議論が展開された。その結果、政策グループの下で3つの新規の活動が実施されることになった。中でも、米国と中国が主導する大規模CCSプロジェクトにおける国際協力に係る活動は、これまでに実施例が限定的な帯水層貯留の実プロジェクトにおける国際協力を実施するという野心的な取り組みである。協力を行うプロジェクトの決定を2015年秋の次回閣僚級会合の開催に合わせて行うことを目指している。第2世代および第3世代の回収技術に係る活動では、技術グループとも協力して、既存の資金援助スキームのまとめや様々な当該技術の整理、既存の大規模試験施設の活用法の検討、開発や実用化の加速に向けた政策提言を行う。この活動にはRITEの化学研究グループの研究者も参加することになっている。“コミュニケーション”と名付けられたタスクフォースでは、CCSの普及に向けたCSLFとしてのメッセージを策定し、その統一されたメッセージを各種イベントで発信していく。メッセージ発信の機会として、2015年末にパリで開催される国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の第21回締約国会議（COP21）が重要視されている。この他、これまで実施されていた大規模CCSプロジェクトへの金融セクターからのファイナンスに係る活動の継続が決定された。これまでと同様にラウンドテーブルを中心に実施されていくことになる。

技術グループは、上述の通り、第2・第3世代の回収技術の活動へ貢献することになっているが、2014年に入ってから他にもいくつかの新しいタスクフォースを立ち上げている。中でも、海域でのCO₂貯留に係るタスクフォースには、RITEのCO₂貯留研究グループの研究者が積極的に参加しており、2015年半ばに報告書が策定される計画となっている。その報告書では、海域でのCO₂貯留プロジェクトおよびEORプロジェクトの現状、貯留ポテンシャル、輸送、リスク分析、坑井管理、モニタリング・検証・評価、法規制がまとめられる見込みである。

企画調査グループ

茅理事長の瑞宝重光章受章をお祝いする会を催しました



茅理事長は、平成26年春の叙勲において、瑞宝重光章を授与されました。東京大学教授としての長年に亘る教育研究功勞に加え、元総合資源エネルギー調査会会長等の要職における行政功勞が評価され、受章に至ったものです。

大学での経歴に加え、茅理事長は、IPCC日本顧問、IPCC国内連絡会座長として、日本における地球温暖化問題研究における第一人者であるとともに、IPCCにおける、世界中の研究者達が引用する「茅恒等式」を考案され、IPCC報告書に大きな影響を与えるなど、先駆者として世界の温暖化対策を牽引されました。また、政府の審議会で会長等の要職を務められ、我が国の根幹に関わる重要なエネルギー・環境対策の策定に貢献されました。京都議定書の目標達成にあたっては、強力なリーダーシップをもってとりまとめた結果、日本は国際公約の目標を達成する見込みとなりました。こうした行政功績により日本の国益にも貢献されました。

6月20日構内にて職員約140名が参加し、今回の受章のお祝い会を催しました。会場は茅理事長がお好きなスイス・オーストリアの風景写真や花が飾られるなどの装飾が施され、山口参与によるバイオリン演奏や、職員有志による「エーデルワイス」などの合唱が演奏されました。また、茅理事長の思い出の写真が紹介されたり、ビデオレターとして国際応用システム分析研究所副所長Nebojsa Nakicenovic氏からお祝いメッセージが流されるなど、会場はお祝いのムードで盛り上がりました。



地球温暖化対策を考えよう

～気候変動の緩和対策についてIPCC第5次評価報告書の最新知見から学ぼう～

2014年9月8日、東京イイノホールにおいて、経済産業省主催、RITE共催によるIPCCシンポジウム（主題「地球温暖化対策を考えよう」、副題「気候変動の緩和対策についてIPCC第5次評価報告書の最新知見から学ぼう」）を開催しました。本シンポジウムは、4月に気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書第3作業部会報告書（気候変動の緩和）が公表されたことを受け、気候変動の緩和対策についてその最新知見から学ぶと同時に、報告書を執筆した研究者、対策を実施する産業界等を招いて議論を行い、理解を深めることを目的として企画されました。シンポジウム前半の講演では、IPCC第3作業部会共同議長であるオットマー・エデンホファー博士（ポツダム気候影響研究所）による基調講演をはじめとして、同報告書の執筆に参加した国内外の研究者3名（ケイワン・リアヒ博士（国際応用システム分析研究所）、杉山大志上席研究員（電力中央研究所）、秋元圭吾システム研究グループリーダーから、報告書のポイントについて紹介いただきました。後半のパネルディスカッションでは、東京大学の山口光恒特任教授のコーディネー

トのもと、前半の講演者に加えて経済団体連合会/トヨタ自動車の長谷川雅世氏もパネリストとして参加いただき、緩和対策について会場からの質問も交えながら活発な議論・討論が行われました。産官学から一般市民まで幅広い分野から集まった参加者からも良好な反応を得ており、大変有意義なシンポジウムとなりました。



企画調査グループ

第12回温室効果ガス制御技術国際会議 (GHGT-12) 参加報告

2014年10月5日～9日に米国テキサス州オースティンで、第12回温室効果ガス制御技術国際会議 (International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies、以下、GHGT) が、テキサス大学オースティン校およびIEA Greenhouse Gas R&D Programme (国際エネルギー機関 (IEA) の実施協定の一つであり、事務局は英国、以下、IEAGHG) との共催で開催されました。この会議は温室効果ガスの削減技術の中でも特に、CO₂回収・貯留 (CCS) を中心テーマとした世界最大級の国際会議で、2年毎に、欧州、北米、アジア・オセアニアの3地区の持ち回りで開催しています。前回のGHGT-11 (2012年) は、RITEとIEAGHGとの共催で、京都で実施しました。

今回のGHGT-12には、35カ国から約1,160名の参加者があり、技術セッションは14テーマ、77セッションで活発な議論が行われました。分野別では、貯

留に関するセッションが24 (その他の貯留オプションを含む)、回収に関するセッションが22あり、これらの数は全セッションの約6割を占めています。RITEからは、貯留および回収の各技術セッションで合わせて5件の口頭発表を行い、ポスターセッションでは10件の発表を行いました。またCCSの国際標準化を進めている国際標準化機構 (ISO) 第265専門委員会 (ISO/TC265) に関するパネルディスカッションには、回収ワーキンググループコンビーナである化学研究グループ東井主席研究員がパネリストとして参加しました。

閉会式では次回GHGT-13 (2016年11月スイスローザンヌにて開催予定) の紹介がなされ、5日間にわたる会議が終了しました。

革新的環境技術シンポジウム2014

～クリーンで経済的な低炭素社会を目指して～

2014年12月17日、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 2014を開催しました。

本シンポジウムは、当機構の研究成果を年一度ご報告する形で毎年開催しているものです。今年度は、当機構の研究成果報告に加え、招待講演としてCOP20にご参加直後の経済産業省 産業技術環境局 審議官の三又裕生様をお迎えし、「地球温暖化問題を巡る状況」と題してご講演頂きました。COP20のポイントや約束草案提出に向けた日本の方針について最新情報をわかりやすく解説頂き、大変有意義な講演となりました。当機構からは、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) のリードオナーを務める山口参与より、第5次報告書の解説と「2度目標」に対する正しい理解、また来年のCOP21へ向けた「2度目標」の扱い方などを講演しました。各グループからは、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、これまで推進してきた研究・開発について、最新の成果と今後の展望を報告しました。経済産業省など政府関係者のほか、産業界・学界等から394名の方々が参加され、活発な質疑やご意見をいただくことができました。

今回で2回目となったポスターセッションも大変盛況で、当機構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。



企画調査グループ

『実験とゲームで学ぼう！地球温暖化』

～CarbonKids (カーボンキッズ) を中心にした環境教育の取り組み～

次代を担う子ども達が地球温暖化について考える場を持つことは大変重要です。特に、CCSを始めとするCO₂削減技術を広く理解してもらうためには、技術をわかりやすく説明していくことが必要となります。RITEでは、主に小中学生・高校生を対象にした環境教育を継続的に行っていますが、今年度においては、オーストラリアで開発された青少年向け環境教育プログラム「CarbonKids (カーボンキッズ)」日本版の企画制作・実践に取り組んでいます。このCarbonKidsを中心にしたRITEの環境教育の取り組みについてご紹介します。

今年度、特に力を入れた取り組みとして挙げられるのが、子ども達が楽しく学べるような環境をテーマにしたゲームを採り入れたことと、CO₂やCCS技術に関連した科学実験を充実化させたことです。

まず一つ目のゲームですが、欧米では古くから親しまれている「蛇とはしご (Snakes and Ladders)」というスゴロク形式のボードゲームと、「カーボンカードチャレンジ (Carbon Cards Challenge)」というトランプのようなカードゲームを採り入れました。「蛇とはしご」は環境に良いこと・悪いことを考えながら遊べるもので、「カーボンカードチャレンジ」では、それぞれのカードに地球環境問題やCCSに関するキーワードの説明が書かれていて、ゲームで遊ぶうちに自然とキーワードを目にすることができます。これらのゲームは、小中学生や高校生対象の見学スケジュールに組み込んだり、けいはんな地区で行われた

イベントの際にスペースを設けて実践しましたが、楽しく遊びながら学べるということで、年齢を問わず大好評でした。

科学実験については、RITEの主要な研究分野であるCCS技術をより深く理解してもらえるよう、チョコレートを使ってCCSの地層をわかりやすく理解する実験を夏休みの小学生向けのイベントで採り入れたところ、子ども達からはCO₂が貯留される仕組みがよくわかったという感想が多数聞かれました。さらに、CO₂の生成や液化・貯留といった、テーマを掘り下げた科学実験も増やしました。科学実験教育の専門家や現場の教員の方々のご意見を伺いながら、小中学生から高校生まで、それぞれの就学レベルに合わせた科学実験を今後も採り入れて行きたいと思っています。

今後は、内容を充実化させたプログラム『実験とゲームで学ぼう！地球温暖化』を、施設見学だけでなく出張授業などでも積極的に行っていく予定です。子ども達を始め一般の方々に、地球温暖化防止策の一つであるCCSを正しく理解してもらえるように、取り組んで参りたいと考えています。



実験を楽しむ子ども達

ゲームで遊ぶ子ども達

システム研究グループ

ALPS国際シンポジウム開催について

2014年2月4日、東京国際フォーラム（東京）にて、RITE主催、経済産業省共催による、平成25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5件（国際応用システム分析研究所：Nebojsa Nakicenovic氏、ハーバード大学：Robert N. Stavins氏、コロンビア大学：Scott Barrett氏、エコフィス：Niklas Höhne氏、未来資源研究所（RFF）：Raymond J. Kopp氏）、国内からの講演者の発表2件（国立環境研究所：江守正多氏、RITE理事長：茅陽一）にて、最新の研究成果をご紹介いただきました。また、グループリーダー秋元圭吾からALPSプロジェクトの研究成果を報告しました。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。

240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26年度ALPS国際シンポジウムを2015年2月27日に開催予定です（RITE主催、METI共催）。国内外からの著名な研究者に講演を頂き、COP21に向けて気候変動問題のための実効性ある枠組みと評価に関して最新の動向、見通しを紹介いただく予定です。



COP20 サイドイベント開催について

2014年12月9日、COP20（リマ（ペルー））にて、RITE、RFF（米国）主催による、サイドイベント（主題：次期排出削減枠組み策定における削減努力の国際衡平性指標）を開催致しました。

RITEはRFFとの共同研究において、次期排出削減枠組み策定にあたり、各国が自主的に決定する約束草案（NDCs）に対する評価（事前評価）と目標の対象期間終了後の評価（事後評価）に関する分析手法を検討

しており、削減目標の計画・実行・評価・改善（Plan-Do-Check-Act: PDCA）サイクルを活用しながら、単一の指標では無く、原則等に従って複数の指標を評価することが望ましいことを発表しました。

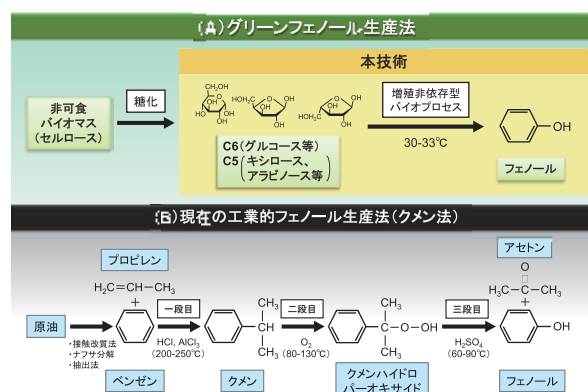
発表後、革新的技術開発に対する努力及び消費ベースのCO₂排出量をどのように評価するか等の質問をいただき、出席者と有意義なディスカッションを行いました。



バイオ研究グループ

グリーンフェノール開発株式会社の設立

世界初のグリーンフェノール製造技術である2段工程法（本文参照）によるフェノール生産を実現するため、平成22年2月にRITEと住友ベークライトが共同で設立したグリーンフェノール・高機能フェノール樹脂製造技術研究組合を組織変更して平成26年5月にグリーンフェノール開発株式会社（GPD社）を設立しました。この会社は旧技術組合の事業を引き継いでおり、グリーンフェノール生産技術開発を継続して進めています。GPD社のグリーンフェノール製造技術は、原料としてセルロース由来の安価な混合糖が確保できれば、現行フェノールと同等もしくはそれ以下の製造コストで生産が可能であり、CO₂排出量等の環境負荷も少ないため、高い市場競争力を有すると期待されています。現在、千葉県木更津市のかずさアカデミアパーク内にパイロットプラント（500L）を建設し、早期の実用化を目指しています。



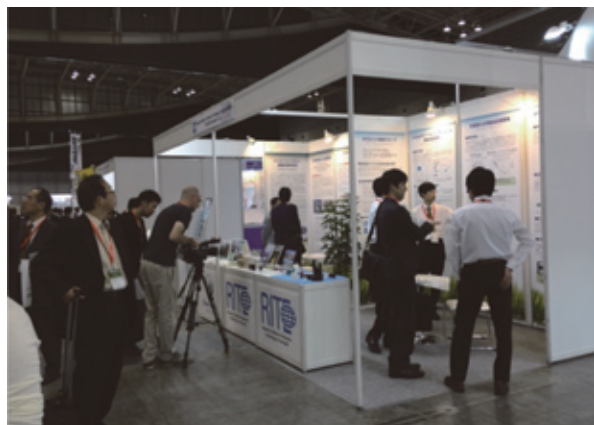
グリーンフェノール製造法と従来製造法との比較

BioJapan2014 World Business Forum出展に多数の来場者

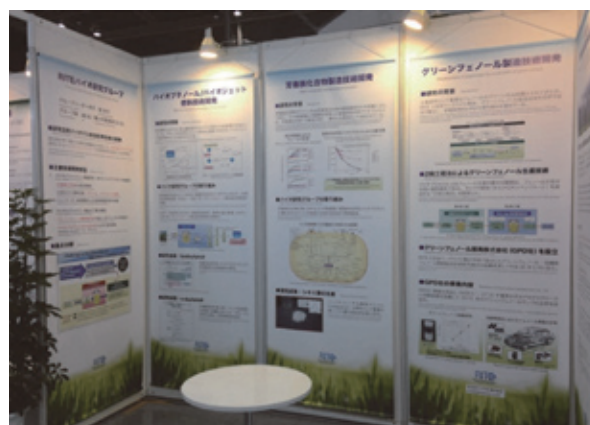
2014年10月15日～17日、パシフィコ横浜において、BioJapan2014 World Business Forumが開催されました。RITEは主催者団体としてバイオジャパン組織委員会に参加し、Green Earth Institute株式会社（GEI社）と共同で展示ブースでの出展を行いました。GEI社はRITEのコア技術である「増殖非依存型バイオプロセス」の事業会社です（RITE Today 2012 トピックス参照）。展示ブースでは、増殖非依存型バイオプロセスによるバイオ燃料生産（ブタノールなど）に加え、新ターゲットである高細胞阻害物質の生産技術開発を中心にパネル等で紹介しました。高

細胞阻害物質とは、微生物細胞への阻害効果が大きいため発酵生産が不可能とされていた物質ですが、高機能化学品が多く、フェノールや高級アルコールがその代表です。また、今年5月にRITEと住友ベークライト株式会社により設立されたグリーンフェノール開発株式会社の紹介やグリーンフェノール開発状況、グリーンフェノールサンプル成形品等の展示を行いました。

展示ブースには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ました。



RITE/GEI展示ブース



RITE 展示パネル

バイオ研究グループ

生物・有機合成ハイブリッド微生物による100%グリーンジェット燃料生産技術の開発を開始

RITEバイオグループが平成27年度から新たに取り組む研究テーマ「生物・有機合成ハイブリッド微生物による100%グリーンジェット燃料生産技術の開発」において、研究推進委員長を務められる、奈良先端技術大学院大学 先端科学技術研究推進センター特任教授の新名惇彦先生にお話を伺いました。

研究テーマについて

本テーマは、全く新しいコンセプトであるバイオ生産技術の確立により、石油由来のジェット燃料を混合せずに100%のグリーンジェット燃料を生産しようという研究で、素晴らしい提案だと思います。すなわち、これまで有機合成でしか使われてこなかった反応を微生物細胞内に導入することにより、これまで発酵法では生成が困難であった化合物でも高収率で作れるようにしようとするものです。

RITEでは、これまでに培われた研究により、コリネ型細菌を使用した物質生産技術の基礎を確立しており、ケトンやアルデヒドなどは、既に低コストで高効率に生産できる技術を持っています。これらの中間生成物を出発物質として、天然に存在しない完全な人工的生合成経路によって微生物細胞内でジェット燃料を合成させることがこの研究での一番のハードルで、これができれば画期的なブレイクスルー技術となります。この人工的生合成経路は幾つか考えられていますが、複数の経路を同時並行して研究すると予算も研究員も多くかかってしまうので、どのように絞り込んで進めていくかが研究マネジメントとしてポイントとなります。

ジェット燃料は、分岐鎖や環状飽和炭化水素だけでなく、芳香族化合物も必要となりますが、それらを両方とも生産可能にしようという点がRITE提案の素晴らしいところです。将来的には分岐鎖飽和炭化水素化合物、環状飽和炭化水素化合物そして芳香族化合物といった様々な種類のバイオジェット燃料の配合割合を現状のジェット燃料の配合に合わせてコントロールしながら同時に作れるようにしようとするものです。これができるようになれば、現行のジェット機にそのまま100%使ってもらえるグリーンジェット燃料となります。100%ジェット燃料の生産はそう簡単ではありませんが、RITEのバイオ研究グループは素晴らしい研究者が揃っているので、大変期待しています。

現時点では世界のジェット燃料の10~15%をセルロース系バイオマスを原料としてRITEバイオプロセ



スで生産した燃料に置き換えることが目標ですが、将来的には全て置き換えることも視野に入れています。その経済効果は膨大で夢は大きく膨らみます。

研究の魅力について

難しいと感じていても、それを成功させればこんな成果がある、それが「研究」の魅力です。プロジェクトでは研究開始後1年経つと、成果が上がっているのか？とよく聞かれることがありますが、1億円を使って1年かければここまでできると分かっているようなものは「研究」とは言えません。時間と人手をかければこうなりますと分かっているようなものは「作業」です。研究というものは、ある日突然ジャンプするものです。今回のRITEの提案はまさに「研究」の要素があると感じています。

今後の国家プロジェクトの設計について

研究を遂行していくうえで、研究の全てをRITEが行う必要はありません。解決困難な課題が出てきた場合は、その分野が得意な企業や団体と組んで研究を進めればよいと考えています。地球温暖化問題は世界の問題であり、研究の連携先も日本国内に限らず海外の研究機関も視野に入れるべきと考えています。また、今後の国家プロジェクト化を進めていくためにも情報発信は重要です。情報発信していくことで、自分たちでは気付かなかった新たな共同研究者や研究機関が現れるかもしれません。

今後の抱負について

研究者は、未来の地球の方向性を意識しながら研究を行うべきだと思います。現在の世界を取り巻く状況をよく理解したうえで、次の研究テーマを発掘していくことが必要です。この視点からも今回の研究テーマは将来の方向性を見据えた研究内容となっており、是非とも成功させたいです。

CO₂貯留研究グループ

CCSテクニカルワークショップ

～CO₂貯留の環境影響評価に向けた取り組み～

2015年1月30日に第一ホテル東京において経済産業省との共催により「CO₂貯留の環境影響評価に向けた取り組み」をテーマにワークショップを開催し、政府関係者、企業、大学、研究機関等から186名の参加を頂きました。

二酸化炭素の排出削減策の実行可能なオプションとしてCCSは注目されており、世界では10件を超える大規模プロジェクトが実施されるようになってきました。CCSのさらなる普及と商用化を見据えると、CCS実施の安全性を担保し、社会的信頼を得られるようにすることが重要です。このためCCSの安全性・信頼性を構築する技術開発への注目が高まっています。

このワークショップでは、佐藤徹教授（東京大学大学院）の司会進行のもと、国内外4名の専門家の講演を通して、参加者と、CO₂貯留の安全性に関する取り組みについて議論を行いました。

初めに、喜田潤主任研究員が「CO₂移行解析技術開発」について紹介しました。Lee Spangler教授（Director, Energy Research Institute, Montana State University, USA）は、「ZERTプロジェクト：陸域の人為的CO₂漏出実験によるモニタリング手法および検出限界と生態系影響」について講演されました。Jeremy Blackford 氏（Project Leader, QICS project, Plymouth Marine Laboratory, UK）は、

「QICSプロジェクトー成果とCCS開発におけるその意味」について詳述されました。最後に、内本圭亮主任研究員が、「漏出シナリオに基づく海中CO₂拡散シミュレーション技術開発」について紹介しました。

ワークショップのまとめとして、佐藤教授から「CCSはCO₂削減の切り札であり、本日の講演はCCSを実施するための環境影響評価に向けた取り組みが分かりやすく紹介されていました。日本のCCS技術は環境にやさしいという付加価値を付けることに繋がり、海外にも十分通用できるといえます。」との総括がなされました。



世界初の実海域における海底下CO₂漏出実験

～CCS技術の信頼構築への一歩～

二酸化炭素（CO₂）の海底下地層中貯留の安全性を検証するために、英国のQICS（Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological Carbon Storage）プロジェクトコンソーシアム¹⁾と共同で、世界で初めてとなる実海域での海底下からの二酸化炭素（CO₂）漏出実験を実施し、海洋環境への影響とその回復過程に関する評価に成功しました。この革新的な研究成果が、Nature Climate Changeに掲載されました²⁾。本研究は、実海域におけるCO₂漏出の検出手法やモニタリング手法開発、さらに海洋生物の反応に関する知見として、CO₂回収貯留（CCS）技術の信頼構築に大きく貢献することが期待されます。

CCS技術に対しては、貯留したCO₂が漏出して環

境に影響を及ぼすのではないのかという懸念があります。そこで、実海域における小規模CO₂漏出実験を行い、漏出イベントの検出・モニタリング手法の有効性を検証するとともに、海底および海水中の物理、化学、生物学的環境への影響を詳細に調査しました。

本研究は、化学センサーと気泡音響調査技術の組み合わせが、漏出の検出や漏出がないことを保証する最善のモニタリング技術であることを示しました。また、実施した規模の漏出による環境への影響はわずかであり、漏出を止めると化学的・生物学的な影響は急速に回復することが明らかになりました。これらの知見は気候変動緩和対策の1つとしてCCSを適切に普及させるために必要な知識基盤の向上、特に、法律で義務付けられた環境モニタリングの実際の

な実施要件を検討する際に役立ちます。

実験結果から、小規模漏出は有害なものではないことが示されましたが、さらに大量の CO_2 が漏出する場合はおそらく影響が大きくなると我々は考えています。海域の海水流動も貯留サイトの選定に重要で、より強く海水が混合すれば CO_2 がより速やかに拡散するため、影響はより小さくかつより速やかに回復するだろうと考えられます。

- 1) <http://www.bgs.ac.uk/qics/>
- 2) 発表論文一覧 P.67 原著論文7参照



化学研究グループ

革新的 CO_2 膜分離技術シンポジウム

～温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向～

2015年2月2日、第一ホテル東京において、次世代型膜モジュール技術研究組合※主催、経済産業省共催により、革新的 CO_2 膜分離技術シンポジウム「温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向」が開催されました。政府関係者、企業、大学、研究機関から194名の参加を頂きました。

このシンポジウムは、 CO_2 分離膜技術の最近の研究開発動向や海外での開発状況全般について報告し、 CO_2 分離回収に関心を持つ方々に最新の情報を広く伝えることで、官民挙げた CO_2 削減に関する研究開発活動の理解を得ることを目的としています。

4回目となる今回のシンポジウムでは、基調講演として、米国サザンカンパニーのWuプロジェクトマネージャーより「米国NCCCにおけるCCS実証試験」を、ノルウェー科学技術大学（NTNU）のHägg教授より「ヨーロッパおよびノルウェーにおける CO_2 分離回収技術」について講演頂きました。また、膜技術基調講演として、山口大学喜多教授より「膜分離技術の現状と将来展望」と題して、膜分離技術、特に各種 CO_2 回収プロセスへの膜技術の最新動向について解説頂くと共に、将来展望として新規材料膜の開発と応用展開について紹介頂きました。

技術研究組合からは、藤田部員より膜技術の海外調査報告を行い、また中尾専務理事から、当組合が開発している次世代型膜モジュール技術の進捗について報告致しました。

※次世代型膜モジュール技術研究組合（平成23年2月17日設立）：RITE、(株)クラレ、日東電工(株)、新日鉄住金エンジニアリング(株)から構成される。



役員

企画調査グループ

◆解説／総説文

1. 山地憲治, 将来エネルギーとしての水素の可能性, エネルギー・資源, Vol.35, pp.19-24, 2014
2. 山地憲治, リスクの選択と学術, 学術の動向, Vol.19, pp.28-30, 2014
3. 青木好範, CCSの国際標準化の動向, OHM, Vol.101, pp.28-30, 2014
4. 大倉良一, 研究グループ紹介「公益財団法人地球環境産業技術研究機構」, 日本エネルギー学会誌, Vol.93, pp.650-653, 2014
5. 茅陽一, 非炭素電源の費用便益分析, エネルギー・資源, Vol.36, pp.61-65, 2015
6. 山地憲治, スマートコミュニティ実現の条件, 省エネルギー, Vol.67, pp.22-26, 2015

◆出版物等その他発表

1. 茅陽一 (共著), 第1部総合的視点からみた地球温暖化, 温暖化とエネルギー, エネルギーフォーラム新書, pp.11-91, 2014
2. 山地憲治 (共著), 第2部わが国のエネルギー環境政策, 温暖化とエネルギー, エネルギーフォーラム新書, pp.93-184, 2014
3. 山地憲治 (分担執筆), エネルギー・環境戦略の課題, 徹底討議 日本のエネルギー・環境戦略, 上智大学出版, pp.57-87, 2014
4. Kenji Yamaji (Commissioners), The Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Disaster, Investigating the Myth and Reality, Routledge, 2014
5. 山地憲治 (分担執筆), 日本のエネルギー戦略のあるべき姿, 岐路に立つ日本のエネルギー戦略, 東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携研究センター, pp.8-26, 2014
6. 山地憲治 (分担執筆), 高レベル廃棄物処分における学術の役割, 高レベル放射性廃棄物の最終処分について, 公益財団法人日本学術協力財団発行, pp.107-114, 2014
7. 都筑秀明, 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 都筑秀明グループリーダーに聞く 排出CO₂大幅削減の革命児として期待されるCCS, 環境ソリューション企業総覧, 日刊工業新聞社, pp.24-29, 2014

システム研究グループ

◆原著論文

1. K. Akimoto, T. Homma, F. Sano, M. Nagashima, K. Tokushige, T. Tomoda, Assessment of the emission reduction target of halving CO₂ emissions by 2050: Macro-factors analysis and model analysis under newly developed socio-economic scenarios, Energy Strategy Reviews, Vol.2, Issue 3-4, pp.246-256, February 2014
2. 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 Eastern Asia for Transport Studies, Vol.10, pp.1112-1128, 2013
3. M. Kii, K. Akimoto, K. Doi, Measuring the impact of urban policies on transportation energy saving using a land use-transport model, IATSS Research, Vol. 37, Issue 2, pp.98-109, March 2014
4. M. Sugiyama, O. Akashi, K. Wada, A. Kanudia, J. Li, J. Weyant, Energy-efficiency potentials for global climate change mitigation, Climatic Change, Vol.123, Nos.3-4, pp.397-411, April 2014
5. 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, Vol.123, Nos.3-4, pp.427-441, April 2014
6. 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 CO₂ emission reductions, Climatic Change, Vol.123, Nos.3-4, pp.665-676, April 2014
7. S. H. Kim, K. Wada, A. Kurosawa, M. Roberts, Nuclear energy response in the EMF27 study, Climatic Change, Vol.123, Nos.3-4, pp.443-460, April 2014
8. A. Hayashi, K. Akimoto, T. Homma, K. Wada, T. Tomoda, Change in the annual water withdrawal-to-be-availability ratio and its major causes: An evaluation for Asian river basins under socioeconomic development and climate change scenarios, Energy and Environment Research, Vol.4, No.2, pp.34-46, 2014
9. K. Akimoto, F. Sano, A. Hayashi, T. Homma, J. Oda, M. Nagashima, K. Tokushige, T. Tomoda, Trade-offs and synergies of sustainable development and climate stabilization in Asian regions, Edited Volume of Environment Policy in Asia, National University of Singapore (NUS), Chapter 10, pp.203-225, July 2014
10. 林礼美、秋元圭吾、友田利正、世界の水ストレス度変化と要因の分析, エネルギー・資源, Vol.35, No.4, pp.40-49, 2014年7月号
11. 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, CO₂ emission mitigation and fossil fuel markets: Dynamic and international aspects of climate policies, Technological Forecasting & Social Change, in press
12. 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. Cricqui, M.

システム研究グループ

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

13. 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

14. 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

15. 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

16. 徳重功子、秋元圭吾、小田潤一郎、本間隆嗣、京都議定書第一約束期間における日本の温室効果ガス排出削減の取り組みに関する分析・評価、エネルギー・資源学会、in press

◆解説／総説文

1. 秋元圭吾、IPCC 第5次評価報告書における緩和の排出経路と各種対策・政策の評価、環境情報科学、Vol.43、No.3、pp.42-48、2014

2. 秋元圭吾、新たなエネルギー基本計画、エネルギー・資源、pp.281-285、2014年9月号

3. 秋元圭吾、工藤拓毅（エネ研）、杉山大志（電中研）、藤野純一（国環研）、黒沢厚志（エネ総工研）、第33回研究発表会特別セッション「温室効果ガス排出削減の自主行動の評価」、エネルギー・資源、pp.339-342、2014年9月号

4. 秋元圭吾、IPCC WG3第5次評価報告書の概要と今後の我が国の温暖化政策の課題、電気評論、2014年10月号

◆口頭発表（国内学会）

1. 秋元圭吾、小田潤一郎、林礼美、山地憲治、気候変動リスクマネージメント戦略の検討、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

2. 林礼美、秋元圭吾、友田利正、世界の水ストレス度変化と要因の分析、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月23日

3. 本間隆嗣、小田潤一郎、秋元圭吾、SSP ストーリーラインに基づいた将来の経済社会シナリオの策定、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

4. 長島美由紀、本間隆嗣、佐野史典、和田謙一、秋元圭吾、友田利正、石炭火力発電所建設に対する融資制限を考慮した温暖化対応策に関する資金移転の考察、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

5. 佐野史典、秋元圭吾、和田謙一、小田潤一郎、世界エネルギーシステムモデルによる水素システムの分析、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

6. 徳重功子、秋元圭吾、小田潤一郎、本間隆嗣、主要国における温室効果ガス排出量の要因分析と考察、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

7. 小田潤一郎、大島寛司、秋元圭吾、友田利正、電力価格の国際比較：費用構造、補助金、課税の実態整理、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

8. 杉山昌広、明石修、和田謙一、Amit Kanudia, Jun Li, John Weyant、気候変動緩和策における省エネルギーのポテンシャル、第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2014年1月24日

9. 秋元圭吾、温室効果ガス排出削減シナリオの国際的分析の最近の動向、日本地球惑星科学連合2014年大会（JpGU2014）、2014年5月2日

10. 秋元圭吾、徳重功子、小田潤一郎、佐野史典、本間隆嗣、和田謙一、環境自主行動計画の下での排出削減実績の定量的な分析・評価、第33回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際交流センター、2014年6月10日

11. 小田潤一郎、秋元圭吾、ヒヤリングに基づく南アジアエネルギー需給動向：パキスタン、第33回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪国際交流センター、2014年6月11日

12. 長島美由紀、本間隆嗣、佐野史典、秋元圭吾、小田潤一郎、友田利正、和田謙一、米国による海外の石炭火力発電所新設に対する公的融資制限及び新規排出規制案の評価、環境経済・政策学会 2014年大会、法政大学多摩キャンパス、2014年9月13日

13. 秋元圭吾、温室効果ガス削減方策、化学工学会秋季大会（IPCCセッション）、九州大学、2014年9月17日

◆口頭発表（国際学会）

1. K. Wada, K. Akimoto, A. Hayashi, F. Sano, T. Homma, The Water-Food-Economy-Climate nexus of ALPS scenario, CESM Societal Dimensions Working Group Meeting Boulder, Colorado, USA, February 27, 2014

2. K. Wada, K. Akimoto, T. Homma, Quantitative risk assessment of rising electricity prices in Japan, The 37th IAEE International Conference, N.Y., USA, Jun. 18, 2014

3. B. Shoai Tehrani, T. Tomoda, J.C. Bouquet, Electricity Investment and Nuclear Development: Invest Choice Modeling based on Value Creation, Dependence and Structure Modeling Conference, Ecole Centrale Paris, France, Jul. 2, 2014

4. F. Sano, K. Akimoto, K. Wada, Evaluation of contribution of renewable energy to climate change mitigation, Grand Renewable Energy 2014, Tokyo, Japan, Jul. 29, 2014

5. A. Hayashi, K. Akimoto, F. Sano, T. Tomoda, Evaluation of global energy crop production potential up to 2100 under socioeconomic development and climate change scenarios, Grand Renewable Energy 2014, Tokyo, Japan, Jul. 30, 2014

6. J. Oda, K. Akimoto, K. Oshima, Renewable energy and its observed effect on electricity price, Grand Renewable Energy 2014, Tokyo, Japan, Jul. 29, 2014

7. J. Oda, T. Homma, K. Akimoto, Future electricity demand of industrial sector in Japan, The 4th IAEE Asian Conference, Beijing, China, Sep. 19, 2014

8. B. Shoai Tehrani, K. Akimoto, F. Sano, Investment in low carbon technologies: Assessment of European mix evolution

システム研究グループ

with world model DNE21+ combined to investment preference indicator, European IAEE Conference, Rome, Italy, Oct. 31, 2014

9. Y. Arino, K. Akimoto, F. Sano, T. Homma, J. Oda, An analysis on the option values of geoengineering under uncertainties in future climate change, 7th Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium, Maryland, USA, Nov. 17, 2014

10. F. Sano, K. Akimoto, K. Wada, Evaluation of diffusion and deployment of climate mitigation technologies considering heterogeneity of technology adoption in IAM, 7th Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium, Maryland, USA, Nov. 18, 2014

11. F. Sano, K. Akimoto, K. Wada, T. Homma, DNE21+ team report of preliminary model run of SLCF/AQ MIP, 2nd Meeting of EMF30, Maryland, USA, Nov. 20, 2014

◆出版物等その他発表

1. 秋元圭吾、新しいエネルギー政策について、WEN（ウィメンズ・エネジー・ネットワーク）勉強会、2014年1月28日

2. 秋元圭吾、温暖化とエネルギー（第3部地球温暖化対策の定量的な分析）、エネルギーフォーラム新書、2014年1月30日

3. 秋元圭吾、エネルギー環境政策の動向と考え方について、富山経済同友会環境問題委員会、2014年2月6日

4. 秋元圭吾、自主行動計画の評価に関する定量分析、第2回自主行動計画の総括的な評価に係る検討会、2014年2月10日

5. K. Akimoto, Chapter 3. Model analysis for climate change mitigation strategy, Climate Change and Energy- Japanese Perspective on Climate Change Mitigation Strategy, World Scientific Publishing, in press

6. 秋元圭吾、新しいエネルギー基本計画、青森県総合エネルギー研究会勉強会、2014年2月21日

7. 秋元圭吾、日本における将来のエネルギーのあり方ー環境・経済の視点から、大阪科学技術センター、エネルギー技術対策委員会、2014年2月28日

8. 秋元圭吾、エネルギーミックスの構築に向けて一定量的な分析・評価、経団連・環境対策推進財団主催シンポジウム望ましいエネルギーミックスと温暖化対策、2014年3月26日

9. 秋元圭吾、エネルギー基本計画と今後のエネルギーミックスの策定、エネルギー・資源学会 エネルギー政策懇話会、2014年5月14日

10. 秋元圭吾、IPCC WG3第5次評価報告書のシナリオ・技術・政策の評価、日刊工業新聞グリーンフォーラム21、2014年6月17日

11. 秋元圭吾、新たなエネルギー基本計画と今後の課題、日本政策投資銀行社会的共通資本研究会、2014年7月2日

12. 秋元圭吾、IPCC WG3第5次評価報告書のシナリオ・技術・政策の評価、月曜会、2014年7月14日

13. 秋元圭吾、エネルギー基本計画と今後のエネルギーミックスの見通しについて、エネルギー総合工学研究所次世代電力ネットワーク研究会、2014年7月17日

14. 秋元圭吾、IPCC第5次評価報告書および気候変動対応の国際情勢を踏まえた戦略のあり方、キャノングローバル戦略研究所CIGS地球温暖化シンポジウム2014、2014年7月24日

15. 秋元圭吾、新たな地球温暖化対応戦略の策定に向けて、大阪能率協会OMAテクノフォーラム、2014年7月30日

16. 秋元圭吾、Quantitative analyses on emission reduction efforts under the voluntary action plan in Japan、Workshop on Voluntary Actions: Experience and Lessons、2014年8月6日

17. 秋元圭吾、地球温暖化対策と持続可能な発展シナリオエネルギー基本計画・IPCC報告書を踏まえて、大阪科学技術センター、地球環境技術推進委員会、2014年8月11日

18. 秋元圭吾、IPCC第5次評価報告書のポイントとこれからのエネルギー・環境政策、先生方のためのエネルギー・環境教育セミナー（高校教員向け）、2014年8月26日

19. 秋元圭吾、IPCC第5次評価報告書のポイントとこれからのエネルギー・環境政策、先生方のためのエネルギー・環境教育セミナー（中学校教員向け）、2014年9月6日

20. 秋元圭吾、排出経路、排出削減費用および経済影響、IPCC国際シンポジウム、2014年9月16日

21. 秋元圭吾、電力自由化の下でのエネルギーミックスと原子力の見通し、公益事業学会学術研究会、2014年9月18日

22. 秋元圭吾、エネルギー効率の国際比較ー「省エネ大国日本」もはや幻想？中国より下位？、国際環境経済研究所（IEEI）WEB、2014年9月22日

23. 秋元圭吾、ALPS Project-studies on policies and measures for climate change and sustainable development toward green growth、IIASAセミナー日本との協力の将来展開、2014年10月13日

24. 秋元圭吾、2020年以降の排出削減目標提示のあり方、経団連国際環境戦略WG・地球温暖化対策WG合同会合、2014年10月24日

25. 秋元圭吾、地球温暖化対策と国民生活・経済活動について、KAKKIN環境政策委員会、2014年10月27日

26. 秋元圭吾、地球温暖化への科学者の挑戦ー地球温暖化対応戦略のためのシステム分析研究、SSHサイエンスフェスティバル、2014年11月8日

27. 秋元圭吾、WG3気候変動緩和策長期シナリオ、エネルギー・資源学会、平成26年度第一回講習会、2014年11月14日

28. 秋元圭吾、Mid- and long-term emission reduction targets and the realizing scenarios in Japan、キャノングローバル戦略研究所日中温暖化専門家会合、2014年11月15日

29. 秋元圭吾、気候変動リスクの増大と原子力による対応、原子力国民会議第2回東京中央集会、2014年11月17日

30. 秋元圭吾、IPCC第5次評価報告書長期排出シナリオ関連の解釈について、中環審地球環境部会・産構審地球環境小委約東草案合同専門家会合、2014年11月25日

31. 秋元圭吾、Proposal of Review Methods for Comparability Efforts of Pledged Targets and their Example Assessments、COP20サイドイベント（日本ババリオ）、ペルー、2014年12月9日

32. 秋元圭吾、排出削減努力の公平性を踏まえた2020年以降の排出削減目標の評価、RITE革新的環境技術シンポジウム、東京大学伊藤謝恩ホール、2014年12月17日

バイオ研究グループ

◆原著論文

1. T. Nishimura, H. Teramoto, M. Inui and H. Yukawa, *Corynebacterium glutamicum* ArnR controls expression of nitrate reductase operon narKGHJ and nitric oxide (NO)-detoxifying enzyme gene hmp in an NO-responsive manner, *Journal of Bacteriology*, Vol. 196, pp.60-69, 2014
2. N. Takemoto, Y. Tanaka, M. Inui and H. Yukawa, The physiological role of riboflavin transporter and involvement of FMN-riboswitch in its gene expression in *Corynebacterium glutamicum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 98, pp.4159-4168, 2014
3. T. Kubota, Y. Tanaka, N. Takemoto, A. Watanabe, K. Hiraga, M. Inui and H. Yukawa, Chorismate-dependent transcriptional regulation of quinate/shikimate utilization genes by LysR-type transcriptional regulator QsuR in *Corynebacterium glutamicum*: carbon flow control at metabolic branch point, *Molecular Microbiology*, Vol. 92, pp.356-368, 2014
4. T. Kuge, H. Teramoto, H. Yukawa and M. Inui, The LacI-type transcriptional regulator AraR acts as an L-arabinose-responsive repressor of L-arabinose utilization genes in *Corynebacterium glutamicum* ATCC 31831, *Journal of Bacteriology*, Vol. 196, pp.2242-2254, 2014
5. Y. Tanaka, N. Takemoto, T. Ito, H. Teramoto, H. Yukawa and M. Inui, Genome-wide analysis of the role of global transcriptional regulator GntR1 in *Corynebacterium glutamicum*, *Journal of Bacteriology*, Vol. 196, pp.3249-3258, 2014
6. T. Jojima, T. Igari, Y. Moteki, M. Suda, H. Yukawa and M. Inui, Promiscuous activity of (S,S)-butanediol dehydrogenase is responsible for glycerol production from 1,3-dihydroxyacetone in *Corynebacterium glutamicum* under oxygen deprived conditions, *Applied Microbiology and Biotechnology*, (in press)
7. T. Jojima, R. Noburyu, M. Sasaki, T. Tajima, M. Suda, H. Yukawa and M. Inui, Metabolic engineering for improved production of ethanol by *Corynebacterium glutamicum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, (in press)
8. K. Toyoda, H. Teramoto, H. Yukawa and M. Inui, Expanding the regulatory network governed by the extracytoplasmic function sigma factor σ^H in *Corynebacterium glutamicum*, *Journal of Bacteriology*, Vol. 197, pp.483-496, 2015
9. T. Kubota, Y. Tanaka, N. Takemoto, K. Hiraga, H. Yukawa and M. Inui, Identification and analysis of its expression of a gene encoding a shikimate transporter of *Corynebacterium glutamicum*, *Microbiology*, (in press)
10. N. Takemoto, Y. Tanaka and M. Inui, Rho and RNase play a central role in FMN riboswitch regulation in *Corynebacterium glutamicum*. *Nucleic Acids Research*, Vol. 43, pp.520-529, 2015
11. H. Teramoto, H. Yukawa and M. Inui, Copper homeostasis-related genes in three separate transcriptional units regulated by CsoR in *Corynebacterium glutamicum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, (in press)
12. S. Oide, W. Gunji, Y. Moteki, S. Yamamoto, M. Suda, T. Jojima, H. Yukawa and M. Inui, Adaptive laboratory evolution conferred cross-tolerance to thermal and solvent stress to

Corynebacterium glutamicum, *Applied and Environmental Microbiology*, (in press)

◆解説／総説文

1. 乾将行, 郷義幸, グリーンフェノールと高機能フェノール樹脂生産への挑戦, Vol. 92 No.12, pp.680-684, 2014

◆口頭発表 (国内学会)

1. 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応答性転写因子AraRの制御機構の解明, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
2. 西村拓, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌AmRによる硝酸還元酵素およびフラボヘモグロビン遺伝子のNO応答制御機構, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
3. 辻本敏博, 豊田晃一, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川 英明, イソブタノールストレスが及ぼすコリネ型細菌のトリプトファン生成遺伝子の発現への影響, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
4. 豊田晃一, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌のECFシグマ因子SigHのレギュロンの同定, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
5. 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌における転写因子OxyRによるレドックス応答制御機構, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
6. 田中裕也, 伊藤輝二, 寺本陽彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌における転写因子GntR1の標的遺伝子探索と発現解析, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
7. 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FMN-riboswitchによるRNA分解を介した発現制御, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
8. 濱本渚, 田中裕也, 竹本訓彦, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌におけるRNaseJ遺伝子の発現制御解析, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
9. 久保田健, 田中裕也, 竹本訓彦, 渡邊彰, 平賀和三, 乾将行, 湯川英明, コリネ型細菌におけるキナ酸・シキミ酸代謝経路のコリスミ酸による発現制御, 日本農芸化学会2014年度大会, 2014年3月29日
10. 柘植陽太, 山本省吾, 加藤直人, 須田雅子, 湯川英明, 乾将行, コリネ型細菌を用いたD-乳酸生産における解糖系遺伝子高発現の効果, 日本生物工学会生物工学若手研究者の集い(若手会)夏のセミナー2014, 2014年7月12-13日
11. T. Tsujimoto, K. Toyoda, H. Teramoto and M. Inui, The two-component system PhoS-PhoR regulates isobutanol-responsive upregulation of sigE, 奈良先端科学技術大学院大学BIO Summer Camp 2014, 2014年8月27日
12. T. Kuge, H. Teramoto and M. Inui, A different degree of repression of gene expression by *Corynebacterium glutamicum* ATCC 31831 AraR, an L-arabinose-responsive transcriptional regulator, depends on the location of operator sequences, 奈良先端科学技術大学院大学BIO Summer Camp 2014, 2014年8月27日
13. N. Hamamoto, Y. Tanaka, N. Takemoto and M. Inui, Regulation of the expression of Ribonuclease J in *Corynebacterium glutamicum*, 奈良先端科学技術大学院大学BIO Summer Camp 2014, 2014年8月27日

バイオ研究グループ

14. 濱本渚, 田中裕也, 竹本訓彦, 乾将行, コリネ型細菌における RNaseJ 遺伝子の発現制御解析, 第37回日本分子生物学会年会, 2014年11月25日

15. 杉本悠太, 前田智也, 田中裕也, 乾将行, コリネ型細菌における RNase Z の機能解析, 第37回日本分子生物学会年会, 2014年11月25日

16. 竹本訓彦, 田中裕也, 乾将行, *Corynebacterium glutamicum* の FMN-riboswitch による RNA 分解酵素と転写終結因子 Rho を介した遺伝子発現制御, 第37回日本分子生物学会年会, 2014年11月25日

17. 田中佑樹, 原裕貴, 小川昌規, 乾将行, コリネ型細菌における損傷乗り越え合成機構の解明, 第37回日本分子生物学会年会, 2014年11月27日

◆口頭発表 (国際学会)

1. T. Tsujimoto, K. Toyoda, H. Teramoto and M. Inui, Effects of isobutanol on expression of the tryptophan operon in *Corynebacterium glutamicum*, Pacific Rim Summit on Industrial Biotechnology and Bioenergy, 2014年12月8日

◆その他発表

1. 乾将行, 28.6.4 アミノ酸, 化学便覧 応用化学編 第7版, 丸善出版, 2014

2. H. Teramoto, M. Inui and H. Yukawa, Toward realization of new biorefinery industries using *Corynebacterium glutamicum*, pp.253-262, In H. Anazawa and S. Shimizu (eds.), Microbial Production: From Genome Design to Cell Engineering, Springer, 2014

3. T. Jojima, A.A. Vertès, M. Inui and H. Yukawa, Development of growth-arrested bioprocesses with *Corynebacterium glutamicum* for cellulosic ethanol production from complex sugar mixtures, pp.121-139, In N. Qureshi, D. Hodge and A. Vertes (eds.), Biorefineries: Integrated Biochemical Process for Liquid Biofuels, Elsevier B.V. 2014

4. T. Jojima, M. Inui and H. Yukawa, Biotechnological application of *Corynebacterium glutamicum* under oxygen deprivation, *Corynebacteria: Genomics and Molecular Biology*, (in press)

5. 乾将行, バイオ素材百花繚乱6: 独創的グリーンケミカルが拓く未来素材, JBAバイオセミナーシリーズ「未来へのバイオ技術」勉強会, 2014年9月29日

化学研究グループ

◆原著論文

1. Satoshi Kodama, Kazuya Goto, Hidetoshi Sekiguchi, Process Evaluation of Carbon Dioxide Capture for Coal-fired Power Plants, Energy and Environment Research; Vol. 4, No. 2, 2014, pp.105-116
2. Shuhong Duan, Teruhiko Kai, Takashi Saito, Kota Yamazaki, Kenichi Ikeda, Effect of Cross-Linking on the Mechanical and Thermal Properties of Poly(amidoamine) Dendrimer/Poly(vinyl alcohol) Hybrid Membranes for CO₂ Separation, Membranes 2014, Vol.4, Issue 2, pp. 200-210
3. Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Kazuya Goto, Quantitative Spectroscopic Study of Equilibrium in CO₂-Loaded Aqueous 2-(Ethylamino) ethanol Solutions, Ind. Eng. Chem. Res., 2014, Vol.53, Issue 4, pp.1617-1623
4. Tsuyoshi Watabe, Katsunori Yogo, Efficient CO₂ Adsorption on Amine-impregnated Mesoporous Silica Sorbents: Interpretation of Moderate Amine Loading, Chemistry Letters, Vol.43, No.6, 2014, pp. 790-792
5. Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Takayuki Higashii, A Simple Method of Evaluating Alkanolamine Absorbents for Post-Combustion CO₂ Capture, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 47, No. 6, 2014, pp. 463-470
6. Tsuyoshi Watabe, Katsunori Yogo, Synthesis and CO₂ Adsorption Properties of Hydrophobic Porous Coordination Polymer Featuring [Zn9(MeBTZ)12]6+ Building Units, Bulletin of the Chemical Society of Japan, Vol. 87, No. 6, 2014, pp.740-745
7. Junpei Fujiki, Katsunori Yogo, Carbon Dioxide Adsorption onto Polyethyleneimine-Functionalized Porous Chitosan Beads, Energy & Fuels, 2014, Vol.28, Issue 10, pp.6467-6474
8. Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Shingo Kazama, Ikuo Taniguchi, Hiroshi Jinnai, A compatible crosslinker for enhancement of CO₂ capture of poly(amidoamine) dendrimer-containing polymeric membranes, Journal of Membrane Science, Vol. 475, 1 February 2015, pp.175-183
9. Shunsuke Tanaka, Tomoko Shimada, Kosuke Fujita, Yoshikazu Miyake, Koji Kida, Katsunori Yogo, Joeri F. M. Denayer, Miki Sugita and Takahiko Takewaki, "Seeding-free aqueous synthesis of zeolitic imidazolate framework-8 membranes: How to trigger preferential heterogeneous nucleation and membrane growth in aqueous rapid reaction solution", Journal of membrane Science, 472, 29-38 (2014)

◆解説／総説文

1. 後藤和也, 二酸化炭素回収・貯留(CCS)の実用化に向けたCO₂分離回収技術の研究開発, 分離技術会 会誌「分離技術」2014年第2号
2. 後藤和也, 発電技術とCO₂分離・回収の展望, オーム社技術総合誌「OHM」5月号「特集CCS」
3. 甲斐照彦, 段淑紅, 風間伸吾, 谷口育雄, 陣内浩司, ポリアミドアミン dendrimer を用いた二酸化炭素分離膜の開発, 高分子論文集, Vol. 71(2014), No. 5, p.202-210

◆口頭発表 (国内学会)

1. 甲斐照彦, エネルギーキャリアに応用される分離膜技術, 第2回「けいはんな環境・エネルギー研究会」, 2014年1月29日
2. 甲斐照彦, 次世代型膜モジュール技術の進捗について, 革新的CO₂膜分離技術シンポジウム, 2014年2月5日
3. 甲斐照彦, 化学プロセスへの膜分離利用技術の現状と展望, 第1回化学プロセスへの膜分離利用技術研究会, 2014年2月18日
4. 山本信, 東井隆行, 高圧再生型CO₂化学吸収液の開発—吸収放散繰り返し耐性評価, 化学工学会第79回年会, 2014年3月18日-20日
5. 山本信, 東井隆行, 中元崇, 村岡利紀, 高圧CO₂吸収プロセスの開発, 化学工学会第79回年会, 2014年3月18日-20日
6. 後藤和也, 余語克則, アミン系吸収剤を用いたCO₂分離回収技術のエネルギー評価, 化学工学会第79回年会, 2014年3月18日-20日
7. 甲斐照彦, CO₂ Separation Techniques for CCS, 化学工学会第79回年会, 2014年3月19日
8. 山本信, 山田秀尚, 高圧CO₂分離回収に向けたMDEA水溶液における非水溶媒添加効果, 日本化学会第94春季年会, 2014年3月27日-30日
9. 山田秀尚, 新規化学吸収液プロセス-CO₂削減技術の早期実現をめざして-, CO₂固体吸収材-CCS技術の省エネルギー化を目指して-, CO₂分離膜、H₂分離膜技術, 第3回JACI/GSCシンポジウム, 2014年5月23日
10. 甲斐照彦, 段淑紅, 風間伸吾, 谷口育雄, 衣笠佳恵, CO₂ Separation Properties of Various Amine Derivatives, 第63回高分子学会年次大会, 2014年5月28日-30日
11. 山田秀尚, 後藤和也, 余語克則, CO₂分離回収材の反応(6)吸収熱測定, 分離技術年会2014, 2014年5月30日-31日
12. 後藤和也, RITEにおけるCO₂分離回収技術開発～材料、素材、分析評価から実用化技術開発まで, 関西分析研究会 平成26年度第1回例会, 2014年7月2日
13. 山本信, 東井隆行, 新規高圧再生型CO₂化学吸収液の必要消費エネルギー評価, 第23回日本エネルギー学会大会, 2014年7月19日-20日
14. 山本信, CO₂化学吸収液の高圧石炭ガス化ガスへの適用, 第55回大気環境学会年会, 2014年9月17日-19日
15. 山田秀尚, 江波進一, CO₂分離回収材の反応(7) 気液界面におけるアミンの塩基性, 第65回コロイドおよび界面化学討論会, 2014年9月3日-5日
16. 中尾真一, 地球温暖化防止への膜分離技術の応用, 第3回化学プロセスへの膜分離利用技術研究会, 2014年9月5日
17. 甲斐照彦, 斉藤崇, 西田亮一, 今川健一, 水素利用等先導研究開発事業に係る技術開発 エネルギーキャリアシステム調査・研究/水素分離膜を用いた脱水素, NEDO燃料電池・水素技術開発 平成25年度成果報告シンポジウム, 2014年9月17日
18. 斉藤崇, 対向拡散CVDシリカ膜の分離性能に対するγ-アルミナ中間層の影響, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日
19. 中尾真一, 二酸化炭素回収のための分離膜の開発, 第12回九州低炭素システム研究会, 「石炭の政策の方向性と高度化利用」, 2014年10月8日
20. 中尾真一, 二酸化炭素分離回収技術の現状, 計算分子科学研究拠点第5回研究会, 2014年10月18日

化学研究グループ

21. 藤本淳平, 山田秀尚, 余語克則, アミン含浸メソポーラスシリカのCO₂分離特性における担体表面の影響, 第28回日本吸着学会研究発表会, 2014年10月23日-24日
22. 山本信, 山田秀尚, 金久保光央, 高圧再生型CO₂化学吸収液におけるCO₂吸収形態の高圧NMR解析, 第37回溶液化学シンポジウム, 2014年11月12日-14日
23. 山田秀尚, 後藤和也, 余語克則, 藤原崇之, CO₂分離回収材の反応(8)分子シミュレーション解析, 第28回分子シミュレーション討論会, 2014年11月12日-14日
24. 甲斐照彦, 段淑紅, 齊藤崇, 山崎浩太, 池田健一, 谷口育雄, 風間伸吾, PAMAMデンドリマー/PEGハイブリッド膜の開発とCO₂分離特性, 膜シンポジウム2014, 2014年11月26日-27日

◆口頭発表 (国際学会)

1. Firoz Alam Chowdhury, Hidetaka Yamada, Kazuya Goto, Takayuki Higashii, Yoichi Matsuzaki, Development of New Amine Absorbents for CO₂ Capture, UTCCS2, Jan.28-30, 2014
2. Hidetaka Yamada, Kazuya Goto, Katsunori Yogo, Duc Sy Dao, Computational Study on the Chemistry of Amine-based Absorbents for CO₂ Capture, 247th ACS National Meeting & Exposition, Mar.16-20, 2014
3. Duc Sy Dao, Hidetaka Yamada, Kazuya Goto, Katsunori Yogo, Amine-impregnated mesostructured silica for high-performance CO₂ capture, 247th ACS National Meeting & Exposition, Mar.16-20, 2014
4. Teruhiko Kai, Membrane technology for hydrogen society, 7th KIFEE International Symposium, Mar.18, 2014
5. Shuhong Duan, Takashi Saito, Kota Yamazaki, Ikuo Taniguchi, Kenichi Ikeda, Shingo Kazama, Teruhiko Kai, Improvement of CO₂ Separation Performance of Thin Poly(amidoamine) dendrimer/poly(ethylene glycol) Hybrid Membranes, ICOM2014, Jul.20-25, 2014
6. Hidetaka Yamada, Density Functional Theory Study on Amine-Functionalized Ionic Liquids for CO₂ Capture, 2nd International Conference on Ionic Liquids in Separation and Purification Technology, Jun.29-Jul.2, 2014
7. Kota Yamazaki, Shuhong Duan, Takashi Saito, Ken-ichi Ikeda, Ikuo Taniguchi, Teruhiko Kai, CO₂ gas separation properties of poly(amidoamine) dendrimer/poly(vinylalcohol) hybrid membranes, The IUMRS International Conference in Asia 2014, Aug.24-30, 2014
8. Shin Yamamoto, Hidetaka Yamada, Takayuki Higashii, Development of Chemical CO₂ Solvent for High-Pressure CO₂ Capture(2): Addition Effect of Non-Aqueous Media on Amine Solutions, GHGT-12, Oct.5-9, 2014
9. Takashi Nakamoto, Toshinori Muraoka, Shin Yamamoto, Takayuki Higashii, Study on high-pressure CO₂ capture process, GHGT-12, Oct.5-9, 2014
10. Firoz Alam Chowdhury, Hidetaka Yamada, Yoichi Matsuzaki, Kazuya Goto, Takayuki Higashii, Masami Onoda, Development of Novel Synthetic Amine Absorbents for CO₂ Capture, GHGT-12, Oct.5-9, 2014
11. Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Katsunori Yogo,

Takayuki Higashii, Energy requirements of post-combustion CO₂ capture by amine absorbents, GHGT-12, Oct.5-9, 2014

12. Shuhong Duan, Takashi Saito, Kota Yamazaki, Kenichi Ikeda, Ikuo Taniguchi, Shingo Kazama, Teruhiko Kai, Development of poly(amidoamine) dendrimer/ poly(ethylene glycol) hybrid membranes for CO₂ capture at elevated pressures, GHGT-12, Oct.5-9, 2014
13. Hidetaka Yamada, Duc Sy Dao, Firoz A. Chowdhury, Junpei Fujiki, Tsuyoshi Watabe, Kazuya Goto, Katsunori Yogo, Development of amine-impregnated solid sorbents for CO₂ capture, GHGT-12, Oct.5-9, 2014
14. Hidetaka Yamada, Duc Sy Dao, Junpei Fujiki, Katsunori Yogo, CO₂ Separation and Capture Using Mesoporous Silica Sorbents Impregnated with Blended Amines, 18th Symposium on Separation Science and Technology for Energy Applications, Oct.27-30, 2014
15. Firoz Alam Chowdhury, Tsuguhiro Kato, Kazuya Goto, Yoichi Matsuzaki, Takayuki Higashii, Masami Onoda, Selection And Development Of Specific Synthetic Amine Absorbents For CO₂ Capture, ICSST14, Oct.30-Nov.1, 2014
16. Kazuya Goto, Hidetaka Yamada, Takayuki Higashii, CO₂ Absorption Into Aqueous Solutions Of Hindered Amines, ICSST14, Oct.30-Nov.1, 2014

◆出版物等その他発表

1. 余語克則, CO₂, 吸着剤・吸着プロセスの開発動向・エネルギー・環境問題解決のために-, シーエムシー出版, p.83-93, 第II編 吸着プロセスと課題 第一章 排ガス処理 1.
2. 甲斐照彦, 段淑紅, 高分子CO₂分離膜, エネルギー・化学プロセスにおける膜分離技術, S&T出版, p133-141, 第4章 二酸化炭素(CO₂)分離膜 第1節
3. 甲斐照彦, CO₂分離膜技術の動向と高度化・実用化への取り組み, CO₂分離・回収技術と応用・研究開発動向セミナー, 2014年12月10日

CO₂貯留研究グループ

◆原著論文

1. Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Tamotsu Kiyama, Shun Chiyonobu, Ziqiu Xue, Flow behaviour of supercritical CO₂ and brine in Berea sandstone during drainage and imbibition revealed by medical X-ray CT images, *Geophysical Journal International*, 197 (3), p1789-1807, 2014
2. 伊藤拓馬、中島崇裕、千代延俊、薛自求, CCS分野における含泥率の三次元地質モデル構築とその意義：長岡のCO₂実証試験サイトの例, *地質学雑誌*, 査読中
3. Keisuke Uchimoto, Tomohiro Nakamura, Jun Nishioka, Humio Mitsudera, Kazuhiro Misumi, Daisuke Tsumune, Masaaki Wakatsuchi, Simulation of high concentration of iron in dense shelf water in the Okhotsk Sea, *Progress in Oceanography*, 126, 194-210, 2014
4. Tomohiro Nakamura, Yuuki Takeuchi, Keisuke Uchimoto, Humio Mitsudera, Masaaki Wakatsuchi, Effects of temporal variation in tide-induced vertical mixing in the Kuril Straits on the thermohaline circulation originating in the Okhotsk Sea, *Progress in Oceanography*, 126, 135-145, 2014
5. Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Tamotsu Kiyama, Ziqiu Xue, Saturation-path dependency of P-wave velocity and attenuation in sandstone saturated with CO₂ and brine revealed by simultaneous measurements of waveforms and X-ray CT images, *Geophysics*, 投稿中
6. 東 宏幸, 薛自求, 松岡俊文, 弾性波の減衰を利用したCO₂地中貯留モニタリングの可能性, *物理探査学会*, vol.68 No.1 2015
7. Jerry Blackford, Henrik Stahl, Jonathan M. Bull, Benoît J.P. Bergès, Melis Cevatoglu, Anna Lichtschlag, Douglas Connelly, Rachael H. James, Jun Kita, Dave Long, Mark Naylor, Kiminori Shitashima, Dave Smith, Peter Taylor, Ian Wright, Maxine Akhurst, Baixin Chen, Tom M. Gernon, Chris Hauton, Masatoshi Hayashi, Hideshi Kaieda, Timothy G. Leighton, Toru Sato, Martin D.J. Sayer, Masahiro Suzumura, Karen Tait, Mark E. Vardy, Paul R. White, Steve Widdicombe, "Detection and impacts of leakage from sub-seafloor deep geological carbon dioxide storage", *Nature Climate Change*, DOI: 10.1038/NCLIMATE2381, 2014
8. Keisuke Uchimoto, Takuya Nakanowatari, Tomohiro Nakamura, Hiroki Uehara, Humio Mitsudera, Kay I. Ohshima, Hiroyasu Hasumi, Masaaki Wakatsuchi, Causes of the multidecadal-scale warming of the intermediate water in the Okhotsk Sea and western subarctic North Pacific, *Journal of Climate*, 投稿中
9. Jun Kita, Henrik Stahl, Masatoshi Hayashi, Tammy Green, Yuji Watanabe, Stephen Widdicombe, Benthic megafauna and CO₂ bubble dynamics observed by underwater photography during a controlled sub-seabed release of CO₂, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 投稿中
10. Yuji Watanabe, Karen Tait, Simon Gregory, Masatoshi Hayashi, Akifumi Shimamoto, Peter Taylor, Henrik Stahl, Kay Green, Ikuyo Yoshinaga, Yuichi Suwa, Jun Kita, Response of the ammonia oxidation activity of microorganisms in surface sediment to a controlled sub-seabed release of CO₂, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 投稿中
11. 中村 孝道, 二酸化炭素回収貯留 (CCS) における微生物技術活用の可能性, *生物工学会誌*, 第93巻第2号(in press), 2015

12. Saeko Mito, Ziqiu Xue, Hisao Satoh, "Experimental assessment of well integrity for CO₂ geological storage: I. Batch experimental results on geochemical interactions between a CO₂-brine mixture and a sandstone-cement-steel sample, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 投稿中
13. Joachim Tremosa, Saeko Mito, Pascal Audigane and Ziqiu Xue, "Experimental assessment of well integrity for CO₂ geological storage: II. A numerical study on geochemical interactions between a CO₂-brine mixture and a sandstone-cement-steel sample *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 投稿中
14. Sho Kimura, Hiroaki Kaneko, Takuma Ito, Hideki Minagawa, The effect of effective normal stress on particle breakage, porosity and permeability of sand: Evaluation of faults around methane hydrate reservoirs, *Tectonophysics*, 投稿中
15. Kazuhiko Nakano, Saeko MITO, Atsushi Ohbuchi, Ziqiu XUE, Observation of Cement-Sandstone Interface after Reaction with Supercritical CO₂ using SEM-EDS, μ -XRD, and μ -Raman Spectroscopy, *Analytical Sciences*, 投稿中

◆解説／総説文

1. 喜田潤, 二酸化炭素の海底地中貯留 -CO₂排出削減策としての現状-, *海洋と生物*, vol.36 no.2, p240-245, 2014
2. 薛自求, 大規模CCSの安全性・信頼性構築に向けた技術開発動向, "月刊OHM, 2014年5月号, p.24-27 「特集CCS-CO₂回収・貯留技術」
3. Don J. White, Thomas M. Daley, 編著 薛自求, 北米におけるCO₂貯留プロジェクトおよび技術開発の動向, "月刊OHM, 2014年5月号, p.12-15 「特集CCS-CO₂回収・貯留技術」
4. 田中良三, 第4節 二酸化炭素分離回収・貯留 (CCS)、2. CCSをめぐる法制、3. 世界におけるプロジェクトの動向, *海洋白書*2015

◆口頭発表 (国内学会)

1. 高岸万紀子, 橋本励, 堀川滋雄, 楠瀬勤一郎, 薛自求, 大規模CO₂地中サイトにおける微小振動観測 (その3) —なぜCranfieldサイトで微小振動が観測されていないのか?—, *日本地球惑星科学連合2014年大会*, 2014年5月2日
2. 東宏幸, 薛自求, CO₂-EORにおける弾性波速度によるモニタリングの可能性, *第130回物理探査学会学術講演会*, 2014年5月28-30日
3. 高岸万紀子, CO₂圧入に伴う微小振動評価手法の開発, *天然ガス鉱業会 第2回地下貯蔵勉強会*, 2014年5月26日

CO₂貯留研究グループ

◆口頭発表 (国際学会)

1. Hiroyuki Azuma, Ziqiu Xue, Toshifumi Matsuoka, The estimation of CO₂ saturation by seismic velocity and amplitude attenuation, AOGS 2014, 2014年7月30日-8月1日
2. Takahiro Nakajima, Ziqiu Xue, Shun Chiyonobu, Hiroyuki Azuma, Numerical simulation of CO₂ leakage for assessment of the environmental impacts at geological storage sites, AGOS 11th Annual meeting, 2014年7月31日
3. Ryoza Tanaka, CCS Regulation and Demonstration in Japan, 6th IEA International CCS Regulatory Network Meeting, Paris, 2014年5月27日
4. Ryoza Tanaka, Recent and Ongoing CCS Developments in Japan, 66th IEA WPFF meeting, Beijing, 2014年6月6日
5. Hiroyuki Azuma, Ziqiu Xue, Toshifumi Matsuoka, Utilization of seismic attenuation in the monitoring of CO₂ geological storage project, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月6日
6. 中島 崇裕, 薛 自求, 千代延俊, 東宏幸, Numerical simulation of CO₂ leakage along fault system for the assessment of the environmental impacts at CCS sites, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月6日
7. 中島 崇裕, 西澤修, 薛 自求, Characterization on reservoir complex and CO₂ plume with Vp/Vs: Case study at Nagaoka site in Japan, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日
8. Makiko Takagishi, Tsutomu Hashimoto, Shigeo Horikawa, Kinichiro Kusunose, Ziqiu Xue, Susan D Hovorka", Microseismic Monitoring at the Large-Scale CO₂ Injection Site, Cranfield, MS, U.S.A., 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月7日
9. C. Ostertag-Henning, A. Risse, B. Thomas, R. Rosenbauer, C. Rochelle, G. Purser, A. Kilpatrick, J. Rosenqvist, B. Yardley, A. Karamalidis, C. Griffith, S. Hedges, R. Dilmore, A. Goodman, J. Black, R. Haese, C. Deusner, N. Bigalke, M. Haeckel, S. Fischer, A. Liebscher, J.P. Icenhower, D. Daval, G.D. Saldi, K.G. Knauss, M. Schmidt, S. Mito, M. Sorai and L. Truch", "GaMin'11 - an international inter-laboratory comparison for geochemical CO₂ - saline fluid - mineral interaction experiments, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日
10. Yi Zhang, Osamu Nishizawa, Tamotsu Kiyama, Ziqiu Xue, Hysteretic elastic wave velocity and attenuation in partially saturated sandstone by CO₂ and brine: evidenced by an experimental study with X-ray CT, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日
11. Takuma Ito, Takahiro Nakajima, Shun Chiyonobu, Ziqiu Xue, Petrophysical properties and their relation to injected CO₂ behavior in a reservoir at the Nagaoka pilot site, Japan, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日
12. Kazuhiko Nakano, Atsushi Ohbuchi, Saeko Mito, Ziqiu Xue, "Chemical interaction of well composite samples with

supercritical CO₂ along the cement - sandstone interface", 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日

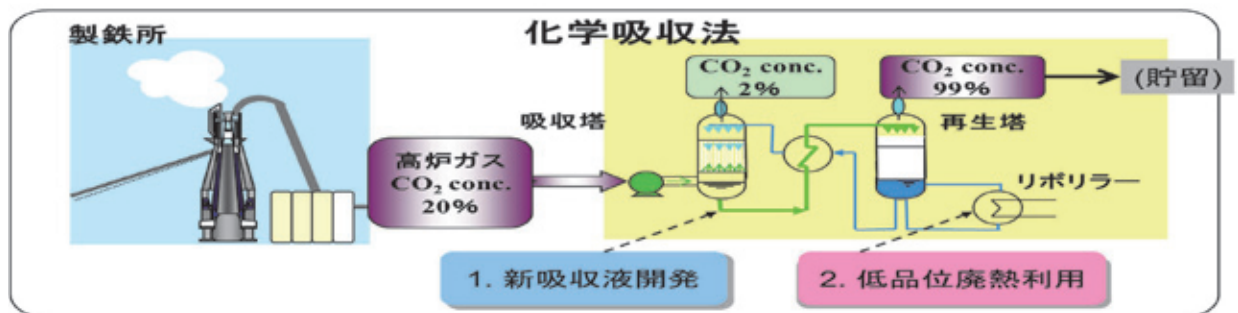
13. Ziqiu Xue, Hyuck Park, Tamotsu Kiyama, Tsutomu Hashimoto, Osamu Nishizawa and Tetsuya Kogure, "Effects of hydrostatic pressure on strain measurement with distributed optical fiber sensing system", 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日

14. Ziqiu Xue, Susumu Nishio, Naoto Hagiwara, Toshifumi Matsuoka", Microbubble carbon dioxide injection for enhanced dissolution in geological sequestration and improved oil recovery, 12th International conference of Greenhouse Gas Control Technologies, Austin, TX, USA, 2014年10月8日

15. Takahiro Nakajima, Takuma Ito, Shun Chiyonobu, Ziqiu Xue, Effects of heterogeneity on CO₂ storage in a saline reservoir: a case study from Nagaoka pilot CCS site in Japan, IEAGHG Monitoring network and modelling network combined meeting, 2014年8月6日

	発明名称	権利者	国情報	特許番号 (登録日)
登 録 特 許	ガス中の二酸化炭素を効率的に回収する方法	R I T E	日本	5452222 (2014年1月10日)
	排ガス中の二酸化炭素を効率的に吸収及び回収する水溶液	R I T E 新日鐵株式会社	日本	5449059 (2014年1月10日)
	イオン液体を用いた物理吸収法によるCO ₂ 分離回収方法	R I T E 産業技術総合研究所	日本	5467394 (2014年2月7日)
	ガス中に含まれる二酸化炭素を効果的に吸収及び回収する水溶液	R I T E 新日鐵株式会社	日本	5506486 (2014年3月28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	US	8685703 (2014年4月1日)
	二次電池用正極材料、二次電池用正極材料の製造方法、および二次電池 (CA)	R I T E 三井造船株式会社	CA	2543851 (2014年5月6日)
	ガス分離複合膜	R I T E	US	8721774 (2014年5月13日)
	水素生産能力に関する遺伝子を改良された微生物、及びその微生物を用いた水素の製造方法	R I T E シャープ	US	8728791 (2014年5月20日)
	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方法	R I T E	日本	5557426 (2014年6月20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	日本	5564423 (2014年6月20日)
	ガス分離複合膜	R I T E	日本	5563503 (2014年6月20日)
	ガス分離複合膜	R I T E	日本	5629751 (2014年10月10日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるイソブタノールの製造方法	R I T E	US	8871478 (2014年10月28日)
公 開 ・ 公 表 特 許	フッ化カルボニルの製造方法 (EP)	R I T E 産業技術総合研究所	EP	1619170 (2014年11月26日)
	二酸化炭素の濃縮方法	R I T E	日本	特開2014-14728 (2014年1月30日)
	物体の体積変化計測方法	R I T E ニューブレクス株式会社	WO	WO2014/024233 (2014年2月13日)
	物質の圧力、温度、ひずみ分布測定システム、これを用いた二酸化炭素地中貯留の監視方法、二酸化炭素注入による地層安定性への影響評価方法、および結氷監視方法	R I T E ニューブレクス株式会社	WO	WO2014/027592 (2014年2月20日)
	物質の圧力、温度、ひずみ分布測定システム、これを用いた二酸化炭素地中貯留の監視方法、二酸化炭素注入による地層安定性への影響評価方法、および結氷監視方法	R I T E ニューブレクス株式会社	日本	特開2014-38039 (2014年2月27日)
	高圧二酸化炭素含有ガス流から二酸化炭素を分離回収するための液状吸収剤及び分離回収方法	R I T E	日本	特開2014-36933 (2014年2月27日)
	CO ₂ ガス分離膜及びその製造方法	R I T E	WO	WO2014/073582 (2014年5月15日)
	コリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	WO	WO2012/090978 (2014年6月5日)
	ガス中の二酸化炭素を吸収及び回収するための液体、並びにこれを用いた二酸化炭素の回収方法	R I T E 新日鐵株式会社	WO	WO2014/129400 (2014年8月28日)
	加圧状態にある有機系二酸化炭素吸収液の二酸化炭素濃度を測定する方法	R I T E 川崎重工業株式会社	日本	特開2014-174000 (2014年9月22日)
	アニリン生産性の向上したコリネ型細菌形質転換体及びそれを用いるアニリンの製造方法	R I T E 住友ゴム工業株式会社	WO	WO2014/171205 (2014年10月23日)

二酸化炭素 分離・回収 に関する特許



液体吸収技術

(1)技術特長

- ・発電所燃焼排ガスや製鉄所高炉ガス等から、CO₂を高効率に回収
分離回収エネルギーを大幅に低減（～2.0GJ/t-CO₂）
- ・石炭ガス化ガスや天然ガス等の高圧ガスに含まれるCO₂を高圧で分離回収（高圧再生型化学吸収液）昇圧エネルギー削減で分離回収エネルギーの大幅低減

(2)関連特許

特許第5557426号、特許第5506486号、特許第5449059号、特許第5452222号、
国際公開第2011/071150号、国際公開第2014/129400号、特開2014-36933号



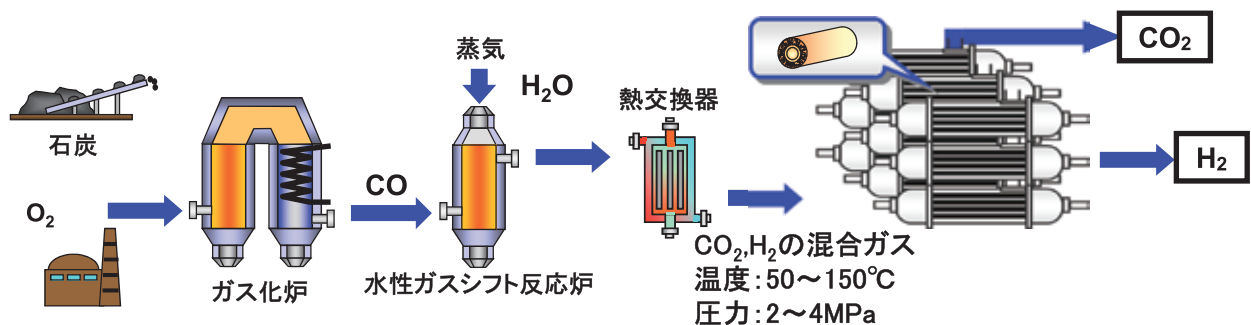
固体吸着技術

(1)技術特長

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

(2)関連特許

特許第5244367号、特許第5186410号、特開2012-139622号



膜分離技術

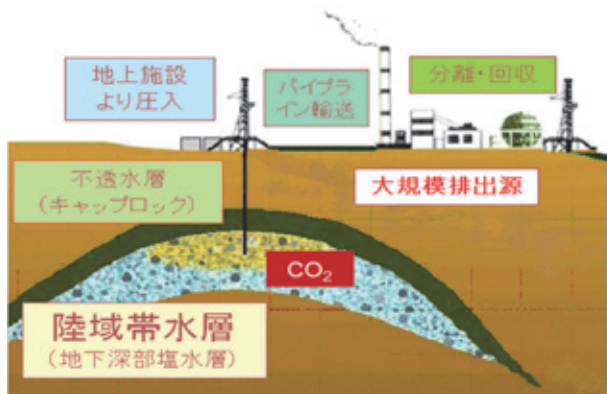
(1)技術特長

- ・IGCC（石炭ガス化複合発電）の高圧ガスからCO₂を透過回収（CO₂濃度 95%）
圧力駆動で省エネルギーを実現
- ・CO₂と窒素ガスを効率よく分離 CO₂/N₂分離比=1000

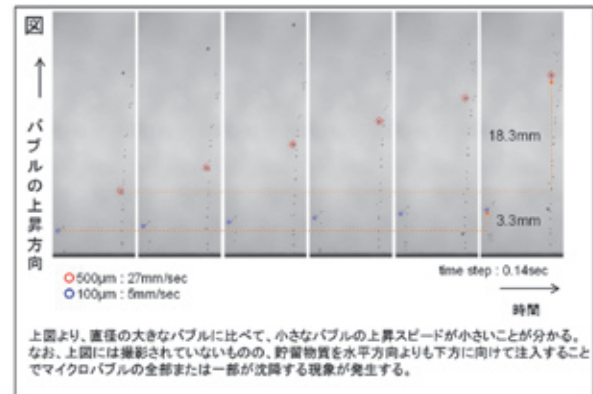
(2)関連特許

特許第4980014号、特許第5629751号、国際公開第2009/044588号、
国際公開第2014/073582号

二酸化炭素 地中貯留・地層評価 に関する特許



二酸化炭素地中貯留方法の概念図



バブル径の違いによる上昇スピードの比較

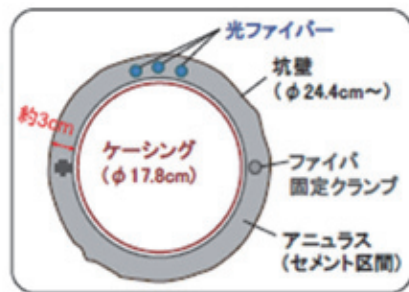
1 CO₂マイクロバブル地中貯留技術

(1) 技術特長

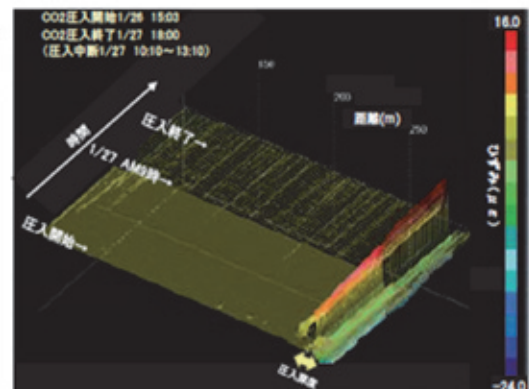
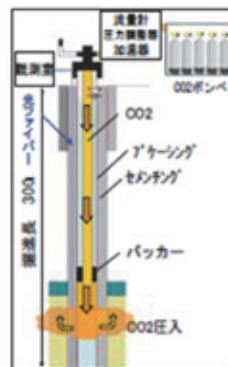
- ・ 特殊フィルターによってCO₂を微細気泡（マイクロバブル）にして地下深部貯留層へ圧入することにより、長時間安定して貯留層内部に滞留させることが可能
- ・ 浸透性が低い油層や生産性が低下した油層を対象としたCO₂-EOR（石油増進回収）にも適用可能
- ・ CO₂以外の廃ガス（フレアー）にも適用可能

(2) 関連特許

- ・ 貯留物質の貯留装置および貯留方法
国際公開第2012/133265号、特許第5399436号



光ファイバーの設置概念図

CO₂圧入時の地層変形測定評価結果

2 光ファイバーによる地層安定性評価技術

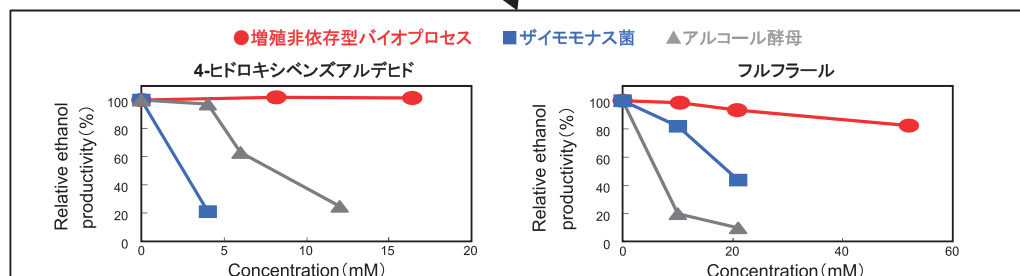
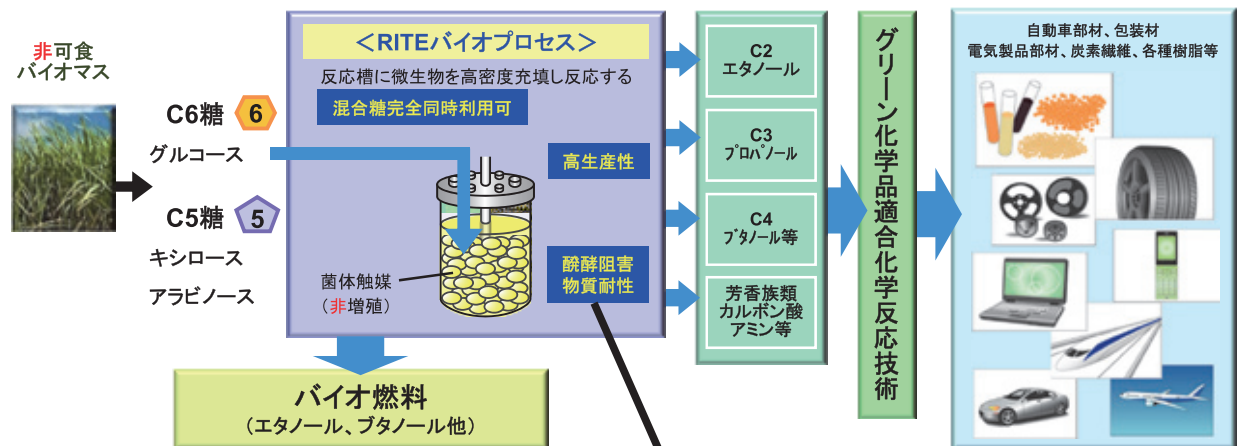
(1) 技術特長

- ・ 光ファイバー内の散乱波周波数シフトや光ファイバー特有の係数を基に、物体のひずみを計測
- ・ 従来はひずみ計を取り付けた箇所のみ計測可能であったが、光ファイバーによる計測では光ファイバー全体で計測できるため、深度方向における地層変形を連続的に把握することが可能
- ・ CO₂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に応用可能

(2) 関連特許

- ・ 物体の体積変化計測方法
特開2012-225744号、国際公開第2014/024233号
- ・ 物質の圧力、温度、ひずみ分布測定システム、これを用いた二酸化炭素地中貯留の監視方法、二酸化炭素注入による地層安定性への影響評価方法、および結氷監視方法
国際公開2014/027592号、特開2014-038039号

バイオリファインリーに関する特許



発酵阻害物質に対する耐性の比較

RITEバイオプロセス

(1) 技術特長

- 微生物の増殖を抑制した状態で目的化合物を生産させるため、増殖に必要な栄養やエネルギーが不要で、通常の化学プロセスと同等以上の高い生産性
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

(2) 関連特許

- コリネ型細菌を用いる有機化合物の製造方法（有機酸やアルコール）
特許第 3869788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
特許第4451393号、米国第7368268号、E P第1647594号（DE,GB,FR,NL,CH,DK）
- コリネ型細菌を用いる還元条件でのアミノ酸の製造方法
特許第4745753号
- 組換え型コリネ型細菌を用いるエタノールの製造方法
特許第4927297号、米国第7598063号、中国第01811146.7号、インド第209524号
インドネシア第 I D 0025354号、E P第1291428号（FR,DE,ES）
- 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
特許第5252940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
特許第5074131号
- D-キシロース利用機能が向上したコリネ型細菌形質転換体
特許5564423号、米国第8685703号、中国第ZL200980123139.2号

RITE Today^{2015 Vol.10}

Annual Report



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

URL: www.rite.or.jp

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

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