

排出量取引を利用した 二酸化炭素回収・貯留技術の促進について

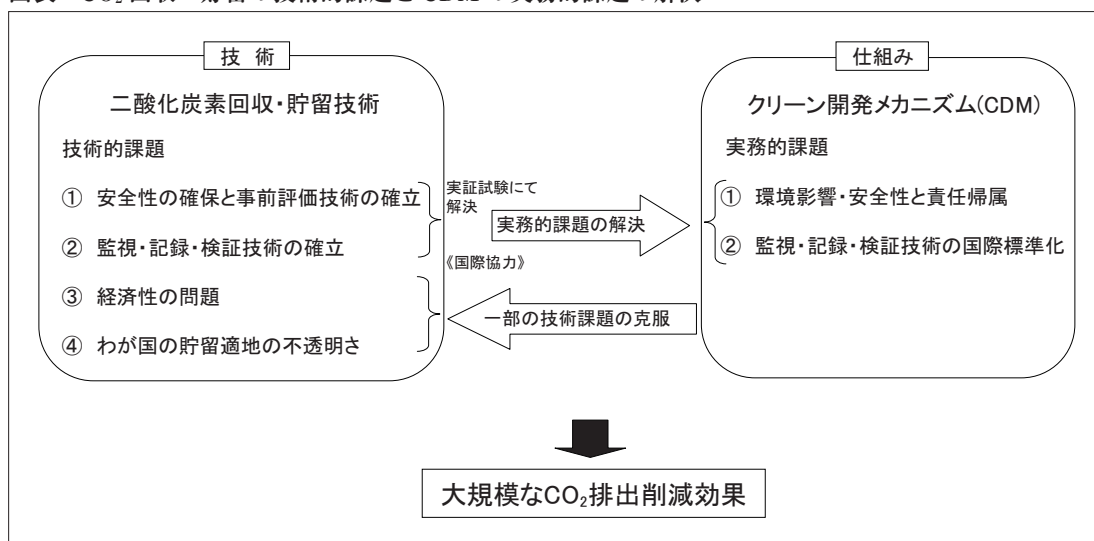
日本は既に世界でトップクラスの省エネ等が進み、さらなる CO₂ の排出削減には相当な努力が必要である。そのため、日本が CO₂ 排出を削減するには、日本の技術を海外展開して海外での削減に寄与することが必要である。そうした状況の中、クリーン開発メカニズム等（CDM）の排出量取引を利用した排出削減が重要な削減手段として検討されている。

CDM とは、先進国が開発途上国において CO₂ 排出削減に寄与した場合に、その削減分をクレジットとして自国の排出削減に加算できるという京都議定書で定められた仕組みである。しかし、これまでの CDM を利用した削減プロジェクトは規模が小さく、高い削減目標を達成するには十分ではなかった。

二酸化炭素回収・貯留技術は、燃焼あるいは化石燃料の採掘時に随伴して発生する CO₂ を大気中に拡散させないよう CO₂ を分離・回収し、地中深くに末永く貯留する技術であり、CO₂ 削減ポテンシャルが大きいとされ、既に日本をはじめ諸外国で実証実験が行われている。各国の環境にあった安全性確保や監視技術の高度化、コスト高、貯留適地の確保などの課題があるが、メキシコのカンクンでの第 16 回気候変動枠組条約国会議（COP16）において、二酸化炭素回収・貯留は CDM に適格であると国際的に認定された。

我が国では大規模な貯留適地が不透明であるのに対して、海外は貯留ポテンシャルに富んだ地点が多いと推定されている。よって今後我が国は、国際貢献と国益の両面から、二酸化炭素回収・貯留の実証試験を推進するとともに、将来、CDM に基づいたプロジェクトの円滑な展開を視野に国際標準化を図ることに加え、我が国と貯留先候補国との良好な信頼関係を築いておくことが肝要である。

図表 CO₂ 回収・貯留の技術的課題と CDM の実務的課題の解決



科学技術動向研究センターにて作成

排出量取引を利用した 二酸化炭素回収・貯留技術の促進について

有村 俊秀
客員研究官

前田 征児
客員研究官

和田 潤
環境・エネルギーユニット

浦島 邦子
環境・エネルギーユニット

1 はじめに

地球温暖化対策のために、二酸化炭素(CO₂)の排出削減が世界的な課題になっている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次報告書¹⁾によると、産業革命以降の世界の気温上昇を2度程度に抑えるためには、世界の温室効果ガスの排出量を2050年時点で2000年の実績から50～85%削減することが必要とのシナリオが示されている。我が国においては、地球温暖化対策基本法案で、1990年比で2020年までに25%、2050年までに80%削減するという高い目標が掲げられている。我が国は過去2度のオイルショックを契機に徹底したエネルギーの効率改善に努めてきた結果、世界に冠たる省エネルギー国家を築いてきた成果として、ほかの先進国に比較してCO₂の排出原単位が低い。しかし裏返していえば、エネルギーの効率向上という従来手法の延長では、さらなるCO₂の削減余地は少ないことを意味する。従って、日本が今後のCO₂排出を削減するには、従来の技術革新だけでは不足であり、排出量取引といったような仕組みも利用しなければならない。そのため、国内のみならず、日本の技術を海外展開して、海外で

の削減に寄与することが必要である。

海外での削減が日本の削減につながる仕組みとして利用されてきたのが、クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism: CDM)という排出量取引の制度である。CDMとは、京都議定書で定められた、先進国が開発途上国での温室効果ガス排出削減プロジェクトを実施して削減に寄与した場合に、その削減分を自国の削減クレジットとして排出権に加えることができるという仕組みである。一般に、発展途上国では生産や電力供給などで効率化が進んでいないことが多いので、我が国で定常的に行われている技術を発展途上国に技術移転するだけでも、大幅なCO₂排出削減に貢献できる。これは日本国内ではあまり期待できないCO₂削減効果を、日本の技術によって海外で削減でき、削減した分は日本のものとしてカウントできることから、削減余地の少ない我が国にとっては、きわめて有用な制度である。

このような背景のもと、CDMの制度は、日本企業も利用してきた。しかし、これまでのCDMによる削減量は、当初期待されていたほ

ど多くなかったことが分かってきている。その理由は、これまで実施されてきた多くのプロジェクトが小規模であり、多数のプロジェクトを実施しても、全体としての削減量が大きくならなかったことにあった。よって、このようなCO₂を削減する「仕組み」に技術を融合させて、より効率よく海外でのCO₂を削減する手段が必要となってきた。そこで、この「仕組み」と「技術」の両方を可能とするのが、このCDMを利用した二酸化炭素回収・貯留技術(以下、「CO₂回収・貯留技術」とする)の実施である。

CO₂回収・貯留技術は、燃焼排ガス中、あるいは化石燃料の採掘時に化石燃料に随伴して発生したCO₂を大気中に拡散させないように分離・回収し、地中深くに末永く貯留する技術である。本技術を利用すれば、例えば1年に100万トンというような大量のCO₂を貯留することも可能である。これは、これまでの平均的なCDMプロジェクトに比べ、10倍程度大規模な排出削減量である。

CO₂回収・貯留の実施においては、貯留地の確保という課題がつきまとう。この点において、我が国に大量のCO₂の貯留に適した地

層がどれくらい存在するかは不透明である。そこでインド・中国・インドネシア・ブラジル等の貯留ポテンシャルが高いとされている国で、我が国のCO₂回収・貯留技術をCDMと組み合わせて実施できれば、この懸念が払拭される。

また、CO₂回収・貯留技術を実用化しようとしている企業からも、CDMの適用は切望されている。CO₂回収・貯留は、大気に放出していたCO₂を分離回収・貯留する過程で、新たに大掛かりな設備やエネルギーの追加投入が必要であり、ひいてはそれが供給エネルギーや工業製品の大幅なコストアップを招くという問題がある。つまり、CO₂回収・貯留は技術開発だけで

は普及が難しい技術である。CDMという排出量取引の制度により対価性のある排出権が獲得できる仕組みが整って、はじめて普及の可能性が出てくる。

CO₂回収・貯留技術への、CDM適用は、長年議論されながら認められてこなかった。それは、環境影響・安全性に対する懸念が残っていたことと、監視・記録・検証技術が確立していなかったという技術的な問題点が残っていたためである。CO₂回収・貯留がCDMとして認められれば、既存プロジェクトへ投資が減るのではないかと懸念が、現在のCDMのホスト国となっている国にあったとされている。しかし、2010年12月

にメキシコのカンクンで開催されたCOP16において、CO₂回収・貯留技術がCDMで適格であることが合意され、環境整備は開始されつつある。今後、技術上と実務上の課題が解決されれば、CDMプロジェクトとしてのCO₂回収・貯留が本格的に実施できるようになると期待される。

こうしたことから、本稿では現在はまだCDMプロジェクトとしては、緒についたばかりのCO₂回収・貯留技術の現状と課題を分析し、CDMを利用したCO₂回収・貯留を実現するために、今後なすべきことを提言する。

2 CO₂回収・貯留技術の現状と課題

2-1

CO₂回収・貯留技術を推進する意義

(1) CO₂回収・貯留技術への期待

CO₂の削減に寄与できる技術を大別すると、原子力・再生可能エネルギーの普及や各種省エネルギー技術の導入などのように「化石エネルギーの使用量削減を通じて、CO₂の排出削減を図る」というアプローチのほかに、「発生したCO₂を隔離することによって大気中のCO₂濃度の上昇を防ぐ」というアプローチがある。CO₂回収・貯留技術は、燃焼排ガスの中、あるいは化石燃料の採掘時に化石燃料に伴って発生したCO₂を選択的に抽出し、地中深く帯水層に圧入し永く貯留する技術である。この種の諸技術の中でも、CO₂削減ポテンシャルが最も大きいとされ²⁾、国際的に重要な技術と位置づけら

れている。国際エネルギー機関(IEA)の技術開発ロードマップ³⁾(図表1)によれば、2050年に、新興国を中心とするエネルギー需要の爆発的な増大に打ち克って、なおCO₂の排出量を半減させることは、かなりハードルが高い。我が国が誇る省エネ技術の移転や原子力・再生可能エネルギーの導入をしても到底達成はできない。そこで、CO₂削減量の約2割をCO₂回収・貯留技術に求めている。

近年、CO₂回収・貯留技術が重要視されるようになってきた大きな要因として、次の2つが挙げられる。

第一に、地球温暖化問題がより喫緊の課題になり、即効的に大量のCO₂の削減効果が得られる技術が求められるようになった。以前のCO₂貯留は、油勢の衰えた油田に注入して油の粘度を下げた流れやすくし、石油の増産とCO₂の貯留を兼ねて行う原油増進回収(EOR)が中心であった。しかし、昨今ではCO₂の排出削減のみを主

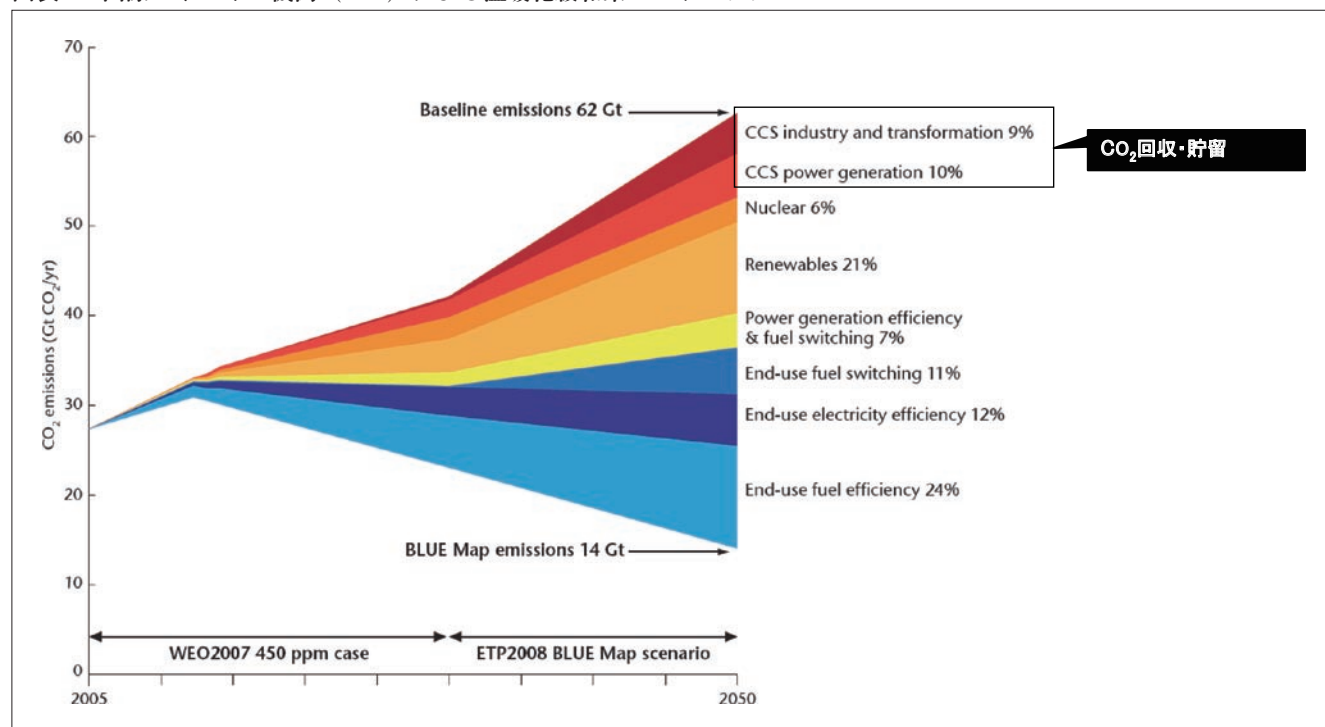
目的としたCO₂貯留に本腰を入れざるを得なくなった。

第二に、以前から削減ポテンシャルが大きいとされていた「CO₂海洋貯留技術」、すなわちCO₂をハイドレートやドライアイスに転化して海底や海底下に投入する、あるいは海水への溶解を目的として気体のまま海中に吹き込むことが、2006年のロンドン条約96年議定書改定によって、「海洋投棄」とみなされ、国際法上実施が難しくなったと考えられる⁴⁾。同条約では同時に、CO₂回収・貯留を目的とした海底地層へのCO₂ガスの投入が、禁止対象から外されることが明確に定められた⁵⁾。この結果、CO₂の大量の隔離方法は、事実上、CO₂回収・貯留技術に収斂したといえる。

(2) CO₂回収・貯留技術の有効性

CO₂回収・貯留技術は、エネルギー資源の中で最も豊富で地域偏在が少なく供給信頼性の高い「石炭」⁶⁾の利用と温暖化対策を両立さ

図表1 国際エネルギー機関（IEA）による温暖化緩和策ロードマップ



出典：参考文献³⁾

せることができる技術である。

化石燃料の中で、石炭は、資源量が豊富で産出国の分布が特定の地域に偏らず、安価に入手が可能であり、先進国・途上国を問わず最も供給安定性の高いエネルギー資源であるが、同時にCO₂排出原単位が大きく、環境負荷が大きいのが欠点である。そこで、石炭をクリーンかつ高効率に利用する各種技術を総称して「クリーンコール技術」と呼び、それらの開発が国内外で盛んに行われている。本誌では過去に、クリーンコール技術全般⁷⁾、石炭ガス化燃料電池複合発電⁸⁾、鉄鋼業における低炭素化⁹⁾についてそれぞれ詳述している。それらの記述に共通した課題は、CO₂を最終的に適切に隔離・貯留する過程にある。

また、石炭をガス化し、「水蒸気改質」と呼ばれる触媒反応を行うと、高濃度のCO₂と水素を含むガスとなる。この触媒反応を用いれば、CO₂を分離・回収でき、しかも水素を主成分とする燃料ガスの製造を兼ねて行うことができる。製品水素を「燃料電池自動車

(FCV)」等に供給すれば、輸送部門の低炭素化が図られる。また、CO₂の分離・回収も、燃焼排ガスから分離・回収する過程と比べるとCO₂分圧が高いことから、より効率的であるといえる。

CO₂回収・貯留技術は、経済活動(Economy)、環境(Environmental Protection)およびエネルギー安全保障(Energy Security)の“3E”を同時に達成する技術であることから、先進国・新興国にかかわらず重要な戦略技術と捉えられている。

2-2

我が国におけるこれまでの取り組み

2008年3月、経済産業省は、世界全体の温室効果ガスを現状に比して2050年までに50%削減することを目標に「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」¹⁰⁾を発表した。その中で、CO₂回収・貯留技術は「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術」21テーマの1つに挙げ

られている。

さらに、2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」においては、CO₂回収・貯留技術は、「環境・エネルギー大国戦略」の中で、前倒し・重点化する革新的技術開発の1つに位置づけられた¹¹⁾。

我が国では、1990年に設立された(財)地球環境産業技術研究開発機構(RITE)が、CO₂回収・貯留技術の要素技術から調査などを一貫して行っている。中でも2000年度から2004年度まで新潟県長岡市の岩野原地点で行われた、1万tのCO₂を貯留する実証試験は、国内では最大級であった。地中のCO₂の監視(モニタリング)は現在も続けられ、二度の大地震(新潟県中越地震、日本海中越沖地震)でも、貯留されたCO₂は健全状態を維持していることが確認されている¹²⁾。

このような国のCO₂回収・貯留技術開発推進に呼応する形で、2008年5月、電力・石油および石油開発・エンジニアリング等の、CO₂回収・貯留技術各分野の専門技術を有する大手民間会社が出資し、日本CCS調査株式会社を設立

2-4

CO₂ 回収・貯留技術の
商用化に向けた技術課題

CO₂ 回収・貯留技術は、燃焼ガスの中から CO₂ を抽出する分離回収技術、貯留場所まで CO₂ を輸送する輸送技術、井戸を掘削する土木技術、貯留に適した場所を探索する探査技術など、多くの要素技術から構成される。また、化学工業・鉱山・土木など広範な産業分野にまたがり、さらに CO₂ の発生源である発電や製鉄などの産業分野にも深く関連する総合技術といえる。CO₂ 回収・貯留技術を構成する要素技術の一部には、実用化済みあるいは類似実績のある技術もあるが、CO₂ 回収・貯留技術の商用化を図るためには下記のような4つの大きな課題が残されている。

(1) 安全性の確保と事前評価技術の確立

CO₂ 回収・貯留を行う際のリスクとして、地中の CO₂ が大量漏洩して、地表に到達した場合に酸素欠乏や中毒などの健康被害を引き起こしたり、地表に到達しなくとも地下水の水質や水位に影響を及ぼしたりすることが想定される。

CO₂ は、7.4MPa 以上、31℃ 以上で、超臨界状態という液体か気体か区別のつかない状態の流体となる。CO₂ は、ちょうどこの超臨界状態にまで昇圧され、地下の帯水層へ圧入される。帯水層は、CO₂ を透過させない2層の遮蔽層(キャップロック)に挟まれた、砂岩など岩石と地下水が混合した地層である。CO₂ は、高圧による膨張力で周囲へ拡散しようとするが、拡散を阻止するような抵抗を受けて、少しずつ CO₂ の充填領域が拡大してゆくにすぎない。二次的な貯留メカニズムとして作用するものは、具体的には、キャップロッ

した。これは、世界初の民間の CO₂ 回収・貯留技術の統合会社である。今後の実証試験候補地である苫小牧沖や北九州の海底下帯水層の詳細調査や、磐城沖天然ガス採掘跡への CO₂ 回収・貯留のフイージビリティスタディ (FS) を行っている。

そのほか、電源開発(株)等の企業グループが、豪州で日豪共同の CO₂ 回収・貯留技術の実証試験を行っている¹³⁾。そのほか、各種研究機関や民間企業などによって、CO₂ 回収のための要素技術の開発が行われている。

経済産業省は、2009年8月、CO₂ 回収・貯留の大規模実証試験の安全な実施にあたるガイドラインとして、「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」¹⁴⁾を公表した。その中で、関連する適用法規や安全実施にあたっての圧入前後のモニタリング等に係る考え方を整理している。

2-3

海外における動向

世界最大規模の CO₂ 回収・貯留プロジェクトとしては、1995年に始まったノルウェーの Sleipner プロジェクトが有名である。これは燃焼由来の CO₂ ではなく、掘り上げた天然ガスを精製して分離回収した CO₂ を貯留するプロジェクトである。ノルウェーと英国のちょうど中間点に位置する北海中央の海上プラットフォームから、直下の地層に CO₂ を圧入している。年間 100 万 t のペースで、これまでに累計 1100 万 t を貯留し、貯留した CO₂ は数 km の範囲に拡散していることが確認されている¹⁵⁾。

2009年4月、EU は CO₂ 回収・貯留に関する法的枠組みを定めた「CCS 指令」を発布した。同時に、300MW 以上の新設火力発電所に

対し、CO₂ 回収設備が設置可能なスペースを確保しておくことを義務化する指令も出した。2009年11月にイギリスがそれに基づいた国内法を制定した¹⁶⁾。一方 EU では、欧州エネルギー(経済)回復計画(The European Energy Recovery Programme, EERP)による6つの CO₂ 回収・貯留プロジェクトが進行している。

自国に豊富な石炭資源を持つ米国では、2010年8月、エネルギー省から官民合同による FutureGen2 と称するプロジェクトによる実証試験の実施決定が発表された¹⁷⁾。これは、イリノイ州の発電所にある 200MW の微粉炭ボイラに、CO₂ の分離・回収設備とパイプラインを新設し、年間 100 万 t の CO₂ を地中に貯留するプロジェクトである。それとは別に、複数の CO₂ 回収・貯留実証試験プロジェクトの準備も進められている。オバマ大統領は、CO₂ 回収・貯留プロジェクトを円滑に導入するための省庁横断のタスクフォースを設置し、2010年8月には CCS 商業実証プロジェクトに着手するために必要な措置をまとめた答申が行われた。また環境保護庁は、周辺の飲料水保全に関する規制を含めて、監視・記録・検証に関して規制を明確にし、CO₂ 回収・貯留技術の普及に向けた法的整備を進めている。

中国でも、複数の地点で自国技術による CO₂ 回収・貯留技術開発が行われているほか、昨今では諸外国との共同プロジェクトが盛んで、EU、英国、米国、IEA などが次々に中国との共同開発や資金協力を始めている¹⁸⁾。逆に、中国で開発された低コストの CO₂ 分離回収技術を米国に導入しようという動きもある。韓国でも、将来の海外ビジネスを視野に、2016年の実証試験、2020年の商用化を目指して関係省庁が連携して開発を支援している¹⁹⁾。

クに行く手を阻まれる「構造トラップ」、地下水に溶解するときに生ずる密度増加による「溶解トラップ」、鉱物と化学反応して安定した炭酸化合物となる「鉱物トラップ」などがある。

この緩慢な拡散現象を、既知の特性データをもとに、短期的には圧入期間に対して、長期的には1000年オーダーで予測することを、CO₂回収・貯留における予測評価シミュレーションという。しかし、予測評価シミュレーションが正しいかどうかは、実際にCO₂を圧入してから少なくとも数年間その挙動を監視(モニタリング)し比較してみなければ、推測できない。

環境影響評価や安全確保の評価に際して、想定しうる限りのリスクアセスメントを事前に行うことは当然であるが、実証試験では想定外事象も起こりうる。社会から信頼を得るためには、航空・原子力などの技術が新規に導入されたときと同様に、地道に無事故実績を積み重ねること以外に方法はない。またその過程で経験される小さなトラブルをもとに対策技術を蓄積し、大事故を回避しようとする取り組みが必要である。具体的には、地質の異なるいくつかの地点で段階的にスケールアップを図りながら実用規模の実証試験を行うことが必要である。

安全性の確保と事前評価に関しては、現在はまだ実証試験の開始段階である。

(2) 監視・記録・検証技術の確立

CO₂回収・貯留技術は、CO₂を地中深くに末永く貯留しようとする技術であるから、圧入中および圧入終了後の地下でのCO₂の挙動を監視し、CO₂の地上への漏洩の兆候が見られないことを監視することは非常に重要である。CO₂の監視には、地表等で行う地震探査法・重力探査法などの遠隔・非破壊計測、圧入井の周囲に多数の観

測井を掘って行う温度・圧力・地下水の電気抵抗測定あるいは弾性波トモグラフィー・電磁波トモグラフィーなどの計測手法が用いられ、各種手法による分析結果の比較が行われている。また、2次元および3次元のCO₂分布マップを作成し、その変化の追跡調査が行われている。

監視技術は、実際のCO₂貯留の現場でなければ開発あるいは検証できないため、国内外の実証試験の中で開発している段階にある。そこで、少なくとも複数の代表的な地質による特性を検証しておく必要がある。商用化に至るまでに、多様な地点での実証試験を行い監視技術を確立してゆくことが求められる。

一方、一国の温暖化ガスの総排出量を算定する上で、回収・貯留したCO₂の量を国際的に公平な方法で認証することが求められる。特に、CDMが排出量の売買に関係するため、貯留量を正確に把握することが重要になる。CO₂回収・貯留の成果としてのCO₂排出削減量を適切に認証するためには、監視(Monitoring)に加え、記録(Record)、検証(Verification)技術も必要になる。それらを総称して「MRV技術」という。

ノルウェーのSleipnerプロジェクトに関する報告によると、これまでのところCO₂の漏洩の前兆を遺漏なく把握するという目標の観点で見ると、地震探査法から作成したCO₂分布マップは、予測シミュレーションと比較的よく整合している結果となっている。しかし、地下のCO₂貯留量に関しては、CO₂分布マップから求めた値と実際に圧入した量との間に2割以上の乖離があり²⁰⁾、精度という点ではまだ課題が残っている。

(3) 経済性の問題

CO₂回収・貯留は、CO₂を大気に拡散させない代償として、新た

に大掛かりな設備やエネルギーの追加投入が必要となる技術であるため、経済性が常に問題視されてきた。

RITEの試算例によれば、新設大型石炭火力発電所(発電出力870MW)で年間100万tのCO₂を分離回収し20km離れた帯水層に貯留する場合のコストは、CO₂1トンあたり約7,300円とされている²¹⁾。これは、2010年12月現在の欧州でのCO₂排出量取引価格10～15ユーロ/t(約1,100～1,700円/t)に比べるとはるかに高い。石炭火力発電のコストは6円/kWh程度だが、CO₂回収・貯留コストを転嫁した場合には12円/kWh程度になり、倍増するとの試算がある²²⁾。

CO₂回収・貯留の価格競争力向上に向けて、RITEのロードマップでは、コストのうちの半分以上を占める分離回収工程(約4,200円/t)を1,000円台にまで引き下げることを目標としている²³⁾。

また、前述の経済性試算は、新設大型石炭火力発電プラント1基の排出CO₂のうち、2割程度を分離回収して20km先に貯留するという仮定によるもので、分離回収量も少なく輸送距離の短い好条件のもとでの試算である。実際には、さらに立地条件が劣るケースにおいても、CO₂回収・貯留のトータルコストをほかの温暖化対策諸技術に伍するような水準にまで下げる努力が求められると考えられる。

(4) 我が国の貯留適地の不透明さ

RITEによれば、我が国のCO₂貯留ポテンシャル量は、陸域・海域(海底下)合わせて約1,460億tとされている²⁴⁾。2006年の年間排出量13.4億tに対しては100年分以上のポテンシャルである。ただし、それは資源の「賦存量」に相当するような、ある仮定のもとでの物理的容量の概算値であり、資源の「可採埋蔵量」に相当するような、ある

2-5

海外展開の必要

程度経済的に貯留可能な容量とは異なる。一般的には、1箇所には大量のCO₂が貯留でき、かつ注入レート(トン/年)を大きくとれる地質条件を持つ1箇所であることが望ましい。

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)によれば、国内で確認された 構造的な帯水層として有望な地層は、陸域・海域合わせ 29 箇所、合計容量は約 15 億トンと見込まれている²⁵⁾。1 箇所平均では約 5 千万トンとなるが、詳細な調査を行って見ないと、各々の貯留可能量や許容注入レートは実際にはわからない。

一方、CO₂の大規模排出源である石炭火力発電所では、発電出力 1000MW のプラント 1 基から、年間約 500 万トンの CO₂が発生することから、上記の 1 箇所の CO₂ 平均貯留容量は、1000MW の石炭火力発電プラント 1 基の 10 年分に相当する。国内には現在、主力の発電出力 500MW ～ 1050MW の石炭火力プラントが計 40 基あり、1000MW 機と 1050MW 機だけでも 12 基ある。従って、環境省の中長期ロードマップに示された「2050 年に、火力発電所から排出された CO₂ はほぼ回収され、地中等に隔離」²⁶⁾というシナリオを実行

しようとする、有望な地点が 29 箇所あったとしても、10 年程度で満杯になってしまうことが予想される。もし仮に、このような有望な地点と同等以上の容量や許容注入レートを持つほかの適地が矢継ぎ早に見つからない場合、その後は次第に CO₂ 貯留容量の少ない地点が残ることになるが、それらは CO₂ 貯留量あたりの井戸の掘削費用が高く、経済性の面で不利である。

長岡・岩野原の実証試験の地点は、キャップロックがドーム状に褶曲していて上方・側方に CO₂ を堰き止める背斜構造となっており、CO₂ の貯留にとって最も望ましい形状であるが、我が国ではこのような地層は少ない²⁷⁾うえ、地震国ゆえに CO₂ 漏洩の懸念がある断層が多いなど、不利な条件が重なっている。

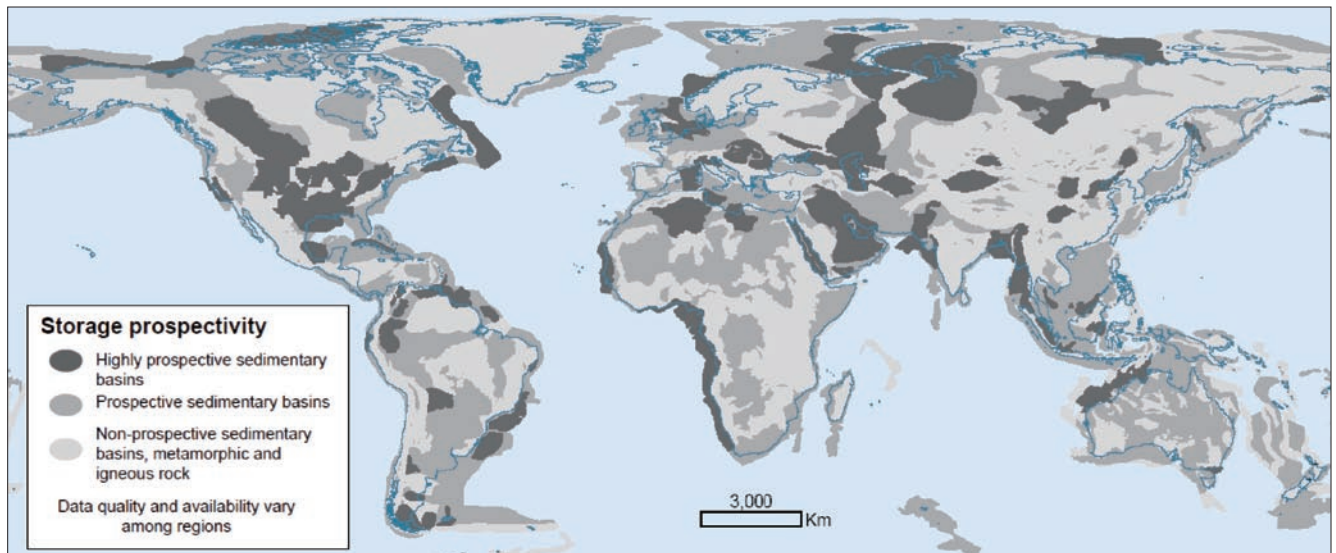
貯留容量や注入レートは、いろいろな地層での実証試験の経験を重ねないとわからない部分も多いことから、現在のところ国内では大量の CO₂ の貯留適地は不透明といわざるを得ない。

前述したように、我が国では大規模な貯留適地の確保が不透明であり、それが原因で将来的に貯留コストがますます増大することも予想される。それに対して、海外には、貯留ポテンシャルに富んだ地点が多いと推定されている(図表 2)²⁸⁾。RITE によれば、世界の CO₂ の地下貯留のポテンシャルを 26 兆トン(炭素換算で 7.1 兆トン)²⁹⁾と推定している。

我が国の CO₂ 回収・貯留技術の展開を考えると、国内で発生した CO₂ を海外の地層に貯留する海外展開の必要性が浮かび上がる。国境を越える廃棄物の移動を規制する「バーゼル条約」によれば、CO₂ は現在のところ対象物質となっていない。従って、国内で発生した CO₂ の海外移動は、国際関係上は問題がないと思われる。しかし、CO₂ を海外に持ち出す際に新たな CO₂ が発生し、またコストがかさむことは明白である。

CO₂ が発生する国に関わらず、等しく地球温暖化に影響することを勘案すると、国内で発生した

図表 2 世界の CO₂ 貯留ポテンシャルの推定



出典：参考文献²⁸⁾

CO₂を海外の地層に貯留するよりも、海外で発生したCO₂を我が国の技術をもって現地で回収・貯留する方が合理的な方策と考えられる。この際、京都議定書に規定されたCDMの排出量取引の制度に基づき、我が国の技術によって海外のCO₂排出の削減に寄与し、排

出枠を獲得することが、CO₂の回収・貯留費用を捻出する方法のひとつである。前述の経済性の問題に対してもこの方策は有利であると考えられる。

このように、CDMプロジェクトとしてCO₂回収・貯留を行うことは、我が国にとっては、前述の「経

済性」「貯留適地の不透明さ」の問題の克服が期待できる。以下に、CDMの制度としての現状と、CDMプロジェクトによってCO₂回収・貯留事業が実施できるようにするための課題について、順を追って述べる。

3 クリーン開発メカニズムの現状

3-1

クリーン開発メカニズム (CDM) とは

クリーン開発メカニズム(CDM)とは、京都議定書のもと、付属書I国(日本などの削減義務国)が、削減義務のない非付属書I国での(持続可能な開発の概念にかなう)排出削減プロジェクトに対して投資を行い、温室効果ガス排出の削減を行うという仕組みである。投資主体は、削減量に応じて、排出枠クレジットを獲得することができる。図表3に、その概要を示す。

3-2

クリーン開発メカニズムの方法論の審査

温室効果ガス削減プロジェクトがCDMにおけるプロジェクトとして認定されるためには、その実効的な方法論が開発される必要がある。例えば、プロジェクトによる削減量を決める際に、プロジェクトが実施されなかった場合の排出量を定めるベースラインを設定し、それとプロジェクト実施後の差を排出削減量と考えている。このベースラインをどう設定するかなどは、プロジェクトの種類によって異なってくる。このように、プ

ロジェクトの種類ごとに方法論が確立される。

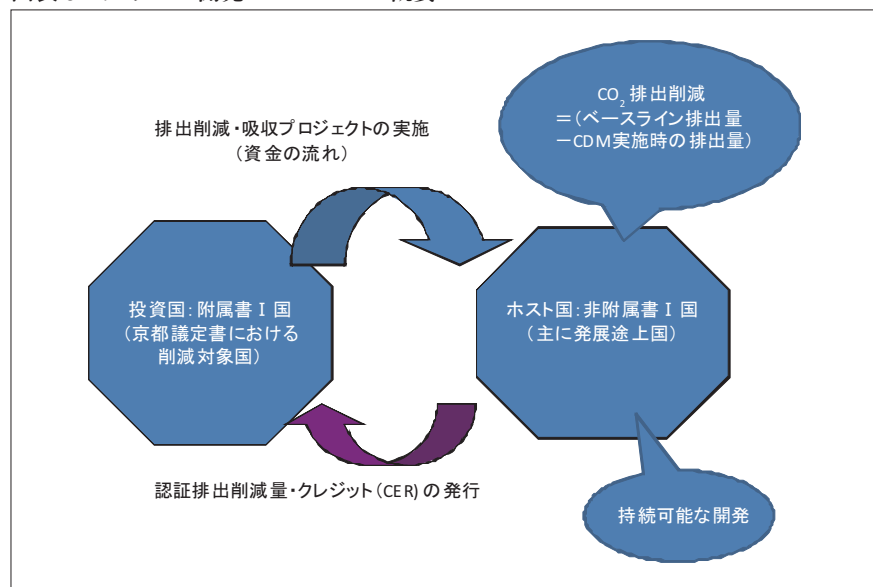
各方法論が開発された後、方法論はCDM理事会で認められる必要がある。そして、指定運営組織による検証を受けて認証されたのち、CDM理事会の認めたCDMプロジェクトとして登録が行えるようになる。投資主は、各方法論に則りプロジェクトを実施し、削減クレジットを獲得することができる。しかもプロジェクトが開始され、建設だけでなく一定期間の稼働後に指定運営組織による検証を受け、削減したCO₂量が認証されてはじめて排出枠クレジットが発行される仕組みとなっている(図表4)。このプロセスで、前述の監視・記録・検証(MRV)技術が重要となるが、CO₂回収・貯留事業に関しては、未だ十分に確立していないのである。

3-3

登録されたプロジェクト

CDMプロジェクトの方法論としては、これまで100種類以上が開発されてきた。各方法論に基づき、風力・水力発電等の再生可能エネルギーやメタン回収等のプロジェクトが既に実施されている。2011年1月時点で登録されたプロジェクトの種類の割合(件数別)を

図表3 クリーン開発メカニズムの概要

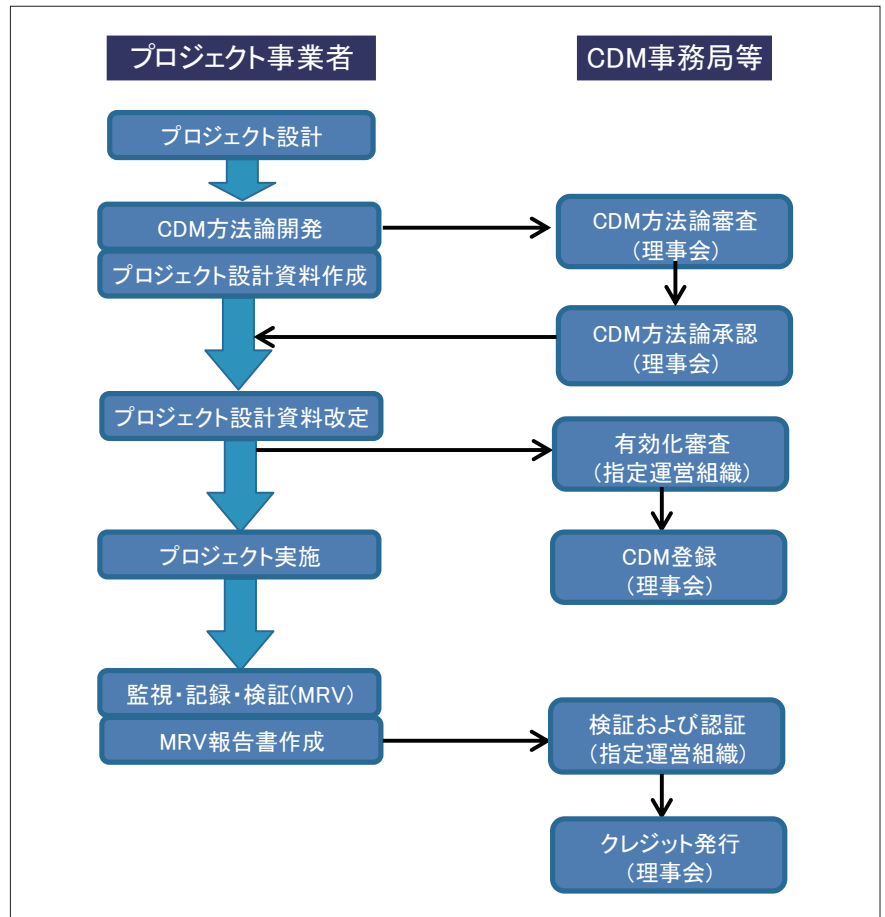


科学技術動向研究センターにて作成

図表5に示す。風力発電や水力発電など、排出削減の規模が比較的小さなプロジェクトが過半数を占めていることが分かる³⁰⁾ (なお、6件のプロジェクトは、四捨五入により0%と表記した)。

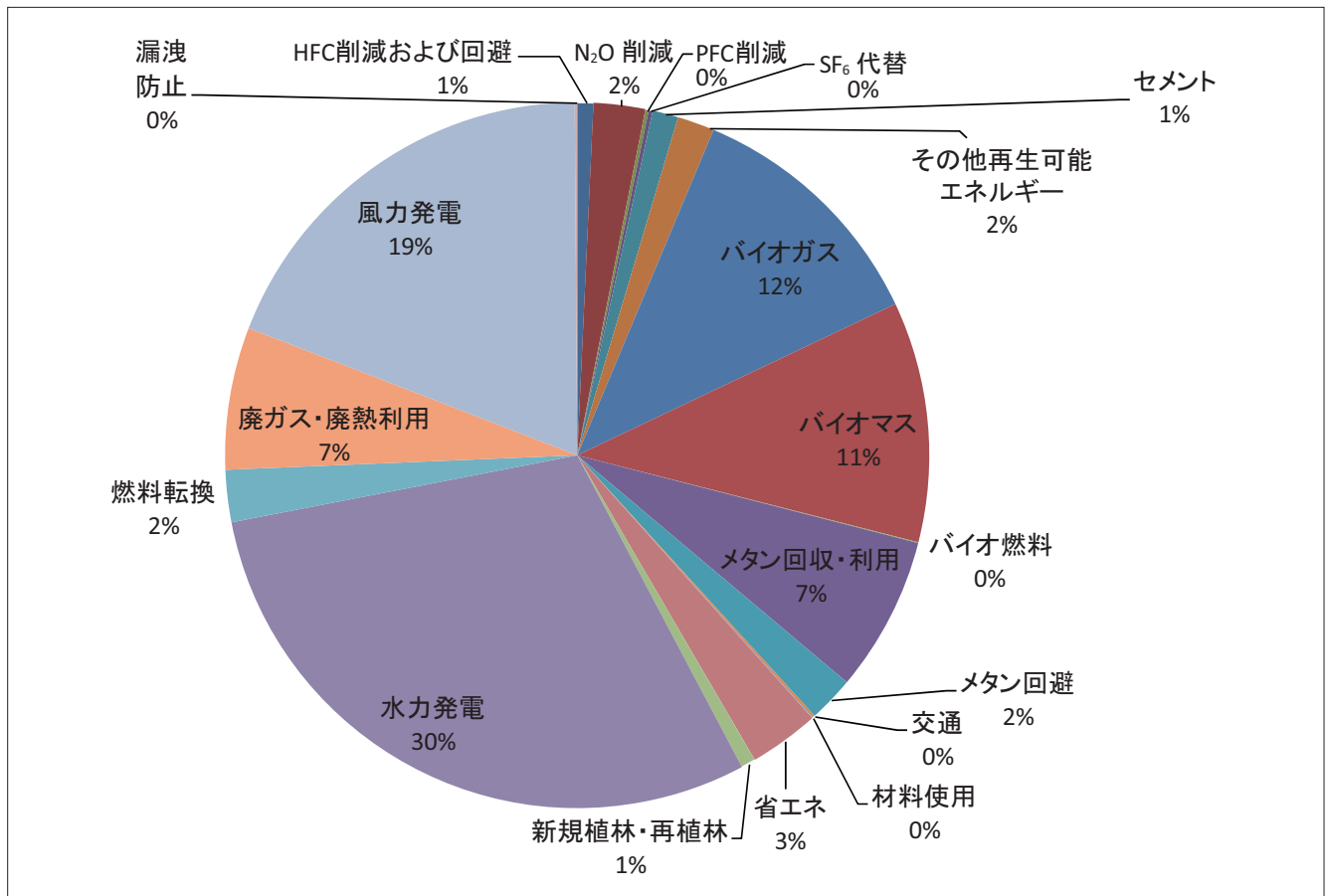
なお、2011年1月時点で、2712件のプロジェクトがすでに登録されており、2012年分までの累計で19.7億トン分のCO₂の削減クレジットが産み出されてきた。さらに、2030年までには累計で77億トン分のCO₂の削減クレジットが発行される予定である。このほかに、2011年1月時点で登録申請中のプロジェクトが200以上あり、有効化申請中のプロジェクトが3,000件以上ある³⁰⁾。

図表4 CDMの方法論認定のプロセス



科学技術動向研究センターにて作成

図表5 登録されている CDM プロジェクトの種類 (2011 年 1 月現在)



IGES データベース³⁰⁾ を基に科学技術動向研究センターにて作成

4 クリーン開発メカニズム・プロジェクトとしての CO₂ 回収・貯留の実施に向けて

4-1

CO₂ 回収・貯留の クリーン開発メカニズム・ プロジェクトとしての現状

CDM プロジェクトとしての CO₂ 回収・貯留技術に関する方法論の日本からの提案は、これまでに何度か提出されている。2005 年 9 月に、三菱 UFJ 証券(株)から、油・ガス層への貯留を対象とした方法論が提出された。2006 年 1 月には、(株)三菱総合研究所と日揮(株)が、天然ガスから分離回収した CO₂ の帯水層 / 枯渇油・ガス層への貯留を対象とした CDM 方法論を提出した。

この 2 つの提案については、CDM 理事会で審査が行われている段階で未だ認められていない。CDM 理事会は、気候変動枠組条約に基づいて設置された「科学および技術の助言に関する補助機関 (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice : SBSTA)」からガイダンスを受け、それによって判断を行うとしている。SBSTA は、CO₂ 回収・貯留技術が CDM プロジェクトとして適格と認められるために必要な課題を次節のように明示した。その後、2009 年 12 月のコペンハーゲンでの COP15 にて議論がされたが、賛成 / 反対の両意見が出て結論がまとまらず、次回への持ち越しとなった。

このように、CDM に係る CO₂ 回収・貯留技術の扱いはなかなか合意されなかった。これは、4-2 に述べる実務的な課題に加え、省エネや再生可能エネルギー等の既存プロジェクトへ投資が減るのではないかという懸念が、CDM のホスト国となっている国にあったか

らと考えられる³¹⁾。しかし、2010 年 12 月のメキシコのカンクンでの COP16 にて、ようやく CO₂ 回収・貯留技術が CDM プロジェクトとして適格であることが合意された³²⁾。これは、大きな前進であり、次節に示すような実務的な課題が解決されれば、CO₂ 回収・貯留技術の CDM としての方法論が確立する可能性が出てきたのである。

4-2

実務的な課題

カンクン合意前の段階で、CO₂ 回収・貯留を CDM プロジェクトとして実施するにあたり、SBSTA はいくつかの実務的な課題を挙げている。そのうちの大きな課題は、次の 2 点である。

(1) 環境影響・安全性と責任帰属

CDM は持続可能性を重視することもあり、SBSTA は CO₂ 回収・貯留技術の環境・安全面の課題を指摘している。具体的には、CO₂ の輸送や関連施設設置に関わる安全確保、CO₂ 回収・貯留がもたらしうる周辺環境への影響の可能性、万一 CO₂ が漏洩した場合の人体、生態系および地下水への影響である。漏洩はもちろんであるが、漏洩が原因ではないかと疑われる環境影響や人的被害があれば、その損害賠償の問題が発生する可能性がある。CO₂ 圧入の途中で予期せぬ事態が生じた場合ですら、CO₂ 回収・貯留事業との因果関係は紛議をもたらすことが考えられる。まして、圧入を終了し長期を経た後のことであればなおさらのことである。

また、万一漏洩が起きた場合に

は、人的被害が皆無の場合であっても、過去に CDM によって発行された CO₂ 排出枠クレジットの少なくとも一部が無効になる。この漏洩による排出枠の減少をどう取り扱うのかも問題となる。

(2) 監視・記録・検証技術の確立と国際標準化

SBSTA が挙げているもうひとつの重要な課題は、前述した MRV 技術の確立である。特に、CO₂ 回収・貯留が CDM プロジェクトとして認められるためには MRV 技術が十分確立し、国際的に受け入れられる必要がある。

信頼性が高い MRV 技術が開発されても、その検証技術・手法が国際的に受け入れられる必要がある。監視・記録・検証を CO₂ の圧入終了後いつまで継続すべきかなどの規約事項も含め、監視・記録・検証全体の国際標準化が必要だろう。

4-3

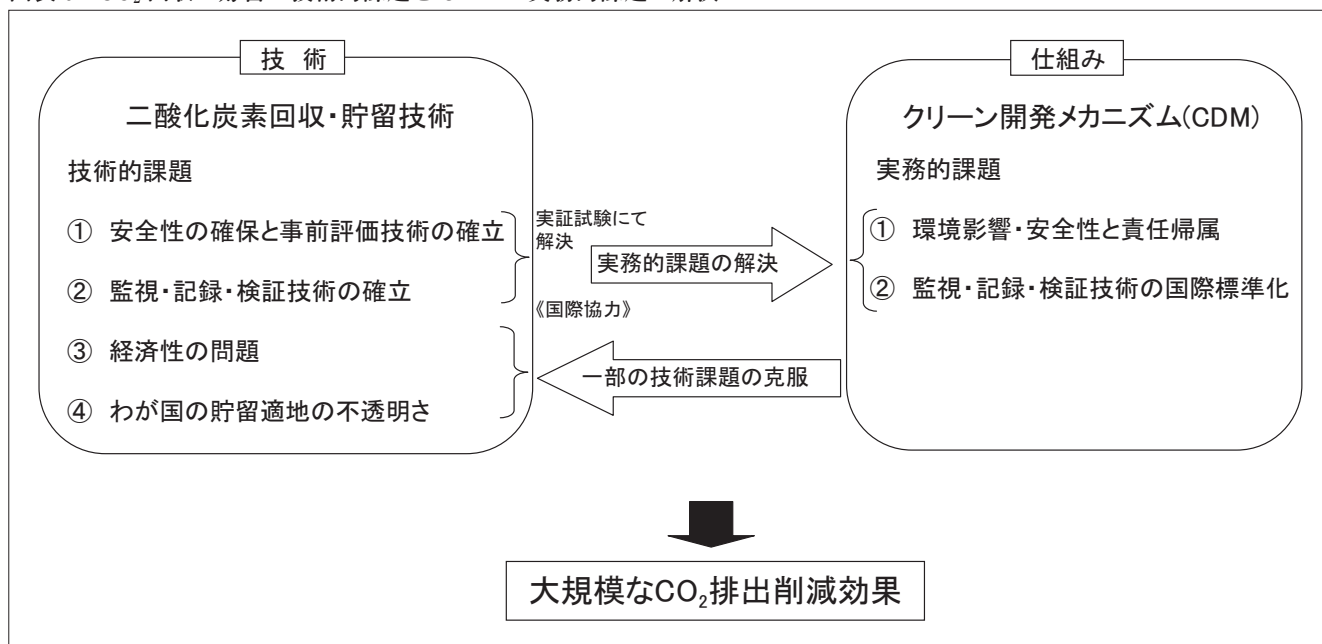
クリーン開発メカニズムとしての CO₂ 回収・貯留実施にむけた 今後の方向性

24 で述べた CO₂ 回収・貯留の技術的課題と、4-2 で述べた CDM の実務的課題は、相互に関連したものである。車輪の両輪のように、一方の解決が他方にも有効に作用し、結果として CO₂ の排出削減が進むと期待される (図表 6)。その課題の解決において、特に我が国は何をすべきかを以下に提言する。

(1) 実証試験の着実な推進

CO₂ 回収・貯留技術の安全性を社会に対して実証すること、すな

図表6 CO₂ 回収・貯留の技術的課題と CDM の実務的課題の解決



科学技術動向研究センターにて作成

わち、MRV 技術の開発などを行うことは、実証試験の現場でなければ開発・検証できない技術課題である。地道な運転の積み重ねで社会から信頼を得る以外に方法はない。我が国の貯留適地のうち、複数の代表的な地質において、貯留量、圧入レートなどの面で実用規模の実証試験を着実に推進することが必要である。

(2) 国際協調による監視・記録・検証技術や安全性評価方法の国際標準化

CDM においては、CO₂ 排出削減量の認証は国際的にデータの正確さが認められる必要がある。それには、CO₂ 回収・貯留技術の実証を行っている様々な国と国際協力をを行い、世界全体で効率的な実証調査を行っていくことが有効と考えられる。国際協調により、効率的かつ早期に全体がレベルアップすることも期待される。日本がこの国際協調を進めれば、地球温暖化対策のスピードアップにつながり、日本の世界貢献とも考えられるだろう。

同時に安全性評価手法や監視・

記録・検証手法、責任の帰属、削減効果の認証方法など、技術基準や枠組みの国際標準化を主導的に図ることが、将来我が国が海外で CO₂ 回収・貯留を行う場合に、どこの国でもスムーズに実行できるようにするための方策であろう。CDM においては、CO₂ 排出削減量の認証は、国連 CDM 理事会が認定した民間機関(指定運営組織)が行うことになっている。そこで、MRV 技術の確立のために、指定運営組織の実務経験者と、国内の技術者が共同で技術開発を行えるような場を国の支援によって設けることが有用ではないだろうか。

(3) 貯留先候補国との良好な関係の構築

将来、CDM プロジェクトとして CO₂ 回収・貯留を円滑に行うためには、将来の貯留先候補国との良好な信頼関係を築いておくことが肝要である。その1つの方策として、実証実験を行っている国々やこれから行う意思のある国々の研究者との国際交流を進めていくことが有用と考えられる。具体的には、日本の研究者・技術者を諸

外国のプロジェクトに参加させることと同時に、日本の実証プロジェクトに諸外国の研究者・技術者を参加させることである。

既に、電源開発(株)等と豪州との共同プロジェクトが行われているが、今後はこのような先進国だけでなく、CDM のホスト国となるような国との連携も望まれる。

具体的には、①インド、中国、インドネシア、ブラジル等、貯留ポテンシャルが高く、かつ今後の成長と石炭消費量の増大が見込まれる国々、②東南アジアや中東など、貯留ポテンシャルが高く、かつ現に化石燃料採掘に随伴して CO₂ を排出している国々が、将来我が国が CDM として CO₂ 回収・貯留を実施する有力な候補国と考えられる。これらの国々との人的交流によって信頼関係で結ばれていけば、将来それらの国でのプロジェクト実施する際に適地探索の段階から円滑に進むだろう。また、監視・記録・検証技術等の国際標準を協議する交渉過程などでも、有利に作用することが期待される。

5 まとめ

我が国は既に省エネ等が十分進んでいるがために、国内の大幅な温室効果ガスの排出削減が難しい。今後、温室効果ガス削減に貢献していくためには海外での削減が有望な方策である。中でも、CDMの排出量取引を利用した排出削減が重要な削減手段となる。しかし、これまでの国際的に認められているCDMプロジェクトは削減規模が小さく、高い削減目標を達成するには十分ではないと考えられる。そこで、CO₂回収・貯留技術をCDMプロジェクトとして実施し、それによりCO₂排出を削減することが望まれる。

CO₂回収・貯留技術は、各国の共通認識として、経済活動、環境およびエネルギー安全保障の3Eを同時に達成する技術であり、かつIEAにおいても一定の割合での導入シナリオが示されている技術である。また、性能向上やコスト

ダウンに大きな改良余地を残しつつも、実証段階に移行するために必要な要素技術は概ね確立している。しかし、CO₂回収・貯留は、導入した者に経済的なインセンティブがないため、それに代わるもの、例えば、CDM利用による海外からのCO₂排出権獲得というような恩恵がなければ商用化は難しい。

しかし、CO₂回収・貯留技術は、CDMプロジェクトとしては、議論されながら認められてこなかった。2010年12月のCOP16において、CO₂回収・貯留技術がCDMで適格であることが合意され環境は整いつつあるが、技術上と実務上の課題が残されている。特に、環境影響・安全性に対する懸念の払拭、並びに監視・記録・検証技術の確立が必要である。このために国際協調による技術開発を行い、技術の国際標準化を促進することで、

CDMプロジェクトとしてCO₂回収・貯留技術の実現が近づくことを期待できる。

特に我が国においては、国内の貯留適地が不透明だという問題があり、CO₂回収・貯留のCDMプロジェクトとしての実現が一層強く望まれる。国内での実証試験を通じた着実な技術開発とともに、監視・記録・検証技術の国際標準化により、我が国がスムーズに海外のCO₂回収・貯留事業を通じて安定的にクレジットを獲得できるようにすることが、世界への貢献と我が国の国益につながるものと考えられる。

また今回の提案は、現在国で検討が進められている二国間クレジットの枠組みにおいても有用な提案であることを、ここで付しておきたい。

参考文献

- 1) 環境省 「IPCC 第4次評価報告書 統合報告書概要（公式版）」、p76
<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/ar4syr.pdf>
- 2) 宮本和明 「CO₂地中貯留技術を中心とした温暖化対策技術の開発動向」、科学技術動向 2002年6月号
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 3) IEA “Technology Roadmap – Carbon Capture and Storage”, p6,
http://www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf
- 4) 環境省 「ロンドン条約およびロンドン条約96年議定書の概要」
http://www.env.go.jp/council/toshin/t063-h1506/ref_01.pdf
- 5) 中村国広 「海洋汚染防止と二酸化炭素の廃棄（貯留）－海洋汚染防止法（平成19年）等を中心に－」 国立国会図書館 調査と情報第586号
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/issue/0586.pdf>
- 6) 石炭エネルギーセンター 「石炭の埋蔵利用と分布」
<http://www.jcoal.or.jp/intern/pdf/1-3.pdf>
- 7) 大平竜也 「石炭利用・クリーン化技術の最新動向と今後の展望－クリーンコールテクノロジーに着目して－」、科学技術動向 2004年11月号
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 8) 渡辺隆夫、前田征児 「クリーンコールテクノロジーにおける高温型燃料電池の動向と展望」、科学技術動向 2006年11

月号

<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>

- 9) 小島彰 「鉄鋼業の温暖化対策とセクトラルアプローチ」、科学技術動向 2009 年 5 月号
<http://www.nistep.go.jp/achiev/results02.html>
- 10) 経済産業省 「Cool Earth- エネルギー革新技術計画」、2008/3
<http://www.meti.go.jp/press/20080305001/03cool-earth-pr.pdf>
- 11) 「新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～」 p58、首相官邸ホームページ
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 12) (財)地球環境産業技術研究開発機構ホームページ 「岩野原実証試験・モニタリング」
<http://www.rite.or.jp/Japanese/project/tityu/nagaoka.html>
- 13) Callide Oxyfuel Project ホームページ
<http://www.callideoxyfuel.com/Who/GlobalPartners/CSEnergy.aspx>
- 14) 経済産業省産業技術環境局二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 研究会「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」
<http://www.meti.go.jp/press/20090807003/20090807003-3.pdf>
- 15) R. Arts ほか “Fourteen years’ experience of monitoring CO₂ injection in the Utsira sand at Sleipner, offshore Norway”、CCS テクニカルワークショップ 2010/12/9
<http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/workshop/workshop2010-kekka/05-rob%20arts.pdf>
- 16) 下田昭郎 「欧州における CCS 関連政策と技術開発の現状」、電中研レポート V08062、
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V08062.html>
- 17) 米国エネルギー省プレス発表 (ホームページ)
<http://www.energy.gov/news/9309.htm>
- 18) C.Hart ほか “Advancing Carbon Capture and Sequestration in China: A Global Learning Laboratory”, The Woodrow Wilson International Center ホームページ
<http://www.wilsoncenter.org/topics/pubs/CES%2011%20pp.%2099-130.pdf>
- 19) Yi “Current situation of CCS R&D in Korea”, Clean Coal Day in Japan 2008
<http://www.jcoal.or.jp/publication/kokusaikaigi/pdf/CCD2008/CCD2008Symposium23.pdf>
- 20) R. Arts ほか “Fourteen years’ experience of monitoring CO₂ injection in the Utsira sand at Sleipner, offshore Norway”、CCS テクニカルワークショップスライド 2010/12/9
<http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/workshop/workshop2010-kekka/05-rob%20arts.pdf>
- 21) (財)地球環境産業技術研究開発機構 「二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ」、成果報告書 p2
<http://www.rite.or.jp/Japanese/kenki/koubo/map2008/map2008.pdf>
- 22) 経済産業省、「CCS2020 我が国における二酸化炭素の分離回収・地中貯留に関する技術研究開発の動向」、p12、2007.2.15
http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/4_nishio.pdf
- 23) (財)地球環境産業技術研究開発機構、「二酸化炭素固定化・有効利用技術戦略マップ」、p2
<http://www.rite.or.jp/Japanese/kenki/koubo/map2008/map2008.pdf>
- 24) 高木正人 「日本における地中貯留の経済評価と有用性」、p31、CCS ワークショップ 2007、
http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/choryu/ccsws/7_takagi.pdf
- 25) NEDO 海外レポート No.1020、p7、2008.4.9
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1020/1020-01.pdf>
- 26) 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会第 18 回資料、図表 9、2010.11.25
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y0611-18/mat01.pdf>
- 27) (財)地球環境産業技術研究開発機構 「RITE、20th Anniversary この 10 年の歩み」(図書)、p49
- 28) IPCC, “Carbon dioxide capture and storage”(レポート), p9
<http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf>
- 29) Akimoto et.al., Proc of GHGT7., 2004
http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-36/mat01_2-3.pdf
- 30) (財)地球環境戦略研究機関 (IGES) ホームページ
http://www.iges.or.jp/jp/cdm/report_cdm.html

- 31) IEA Cédric Philibert, Jane Ellis, and Jacek Podkanski "Carbon Capture and Storage in the CDM" 2007/12 COM/ENV/EPOC/IEA/SLT (2007) 10
http://www.iea.org/papers/2007/CCS_in_CDM.pdf
- 32) Carbon dioxide capture storage in geological formations as clean development mechanism project activities
http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_cmp_ccs.pdf

執筆者プロフィール



有村 俊秀

科学技術動向研究センター 客員研究官
上智大学経済学部 准教授
<http://pweb.sophia.ac.jp/arimura/>

上智大学経済学部准教授、同・環境と貿易研究センター・センター長。地球温暖化対策等の環境規制の経済分析を中心に研究。環境経済・政策学会理事、環境経営学会理事。中央環境審議会地球環境部会・国内排出量取引制度小委員会委員。



前田 征児

科学技術動向研究センター 客員研究官
JX日鉱日石エネルギー株式会社 担当マネージャー
<http://www.noie.jx-group.co.jp/>

工学博士。エネルギー関連の貯蔵・変換システムの研究開発に従事。専門は電気化学、材料工学。現在、エネルギー・環境分野の科学技術政策及び持続可能な制度設計に関心を持つ。JX日鉱日石エネルギー(株)研究開発企画部担当マネージャーに従事。



和田 潤

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 特別研究員
<http://www.nistep.go.jp/>

石炭の高度利用技術(クリーンコールテクノロジー)の開発に長年携わる。
2010年7月より現職。グリーンイノベーション全般に関する科学技術や政策に関する調査研究を行っている。



浦島 邦子

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。