

企画調査グループ



グループリーダー
都筑 秀明

【コアメンバー】

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

CCSの実現に向けたRITEの取り組みの現状と展望

1. はじめに

地球温暖化を防止する為にCO₂排出量の大幅な削減が求められている。2012年に国際エネルギー機関（IEA）が発表した「エネルギー技術展望2012」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16Gt/年とする必要があり、自然体ケースのCO₂排出量58Gt/年に対して42Gt/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: Carbon dioxide Capture and Storage）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概観するとともに、CCSの実現に向けたRITEの取り組みの現状と今後の展望について述べる。

2. CCSに関する最近の動向

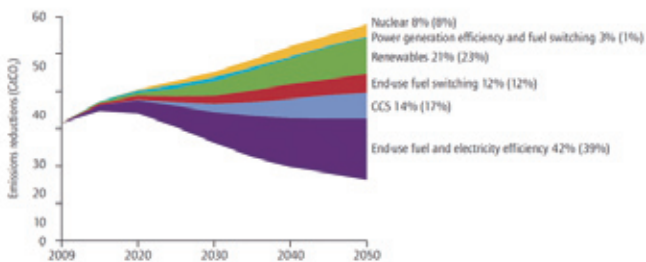
2.1 CCSの必要性と展望

IEAが2012年1月に発表した「エネルギー技術展望（ETP）2012」¹⁾によれば、2℃上昇抑制シナリオ（2DS）では、CCSのCO₂削減寄与度は、2050年時点では、累積で14%、2050年時点で17%としている（図1）。このように、CCSは、CO₂削減のために重要な手段の一つとして位置づけられている。

CCSによるCO₂削減を図るためには、石炭火力、ガス火力など電力分野のみならず、鉄鋼、セメント、化学プロセスなどの産業部門においても、その導入が必要である。これらの産業分野においては、生産に伴ってCO₂が発生することから、再生可能エネルギーなどの手段でCO₂を削減することができないため、大幅なCO₂排出量を削減するためには、CCSの導入を図るしかない。2DSにおい

て、CCSによるCO₂の削減量のうち、産業分野における削減量が、2013年から2050年時点で全体の約45%を占めている（図2）。

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

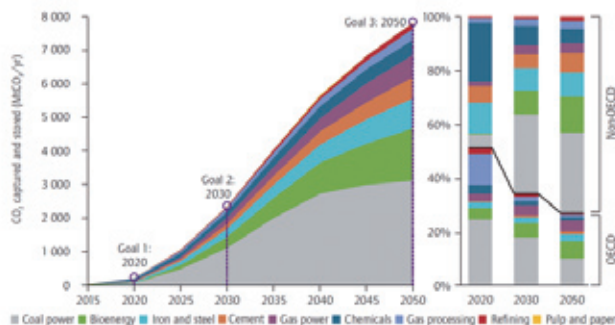


Note: numbers in brackets are shares in 2050. For example, 14% is the share of CCS in cumulative emission reductions through 2050, and 17% is the share of CCS in emission reductions in 2050, compared with the 40%. Source: IEA, 2012c.

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」²⁾

図1 温暖化対策における各技術の貢献

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



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

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」²⁾

図2 電力、産業別のCCS設置によるCO₂削減量

2.2 CCSのプロジェクト動向

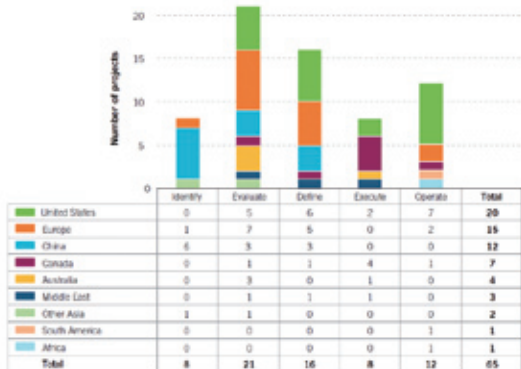
グローバルCCSインスティテュート (GCCSI) が発表した「The Global Status of CCS: 2013 (世界のCCSの動向2013)」³⁾ には、各国のCCSプロジェクトの最新動向がまとめられている。ここでは、進行度に合わせて、Identify、Evaluate、Define、Execute、Operate、Closureの6つにプロジェクトを分類して表示している。最初のIdentifyはサイトのスクリーニング段階、Evaluateはサイト評価とプレFS段階、Defineは絞り込まれた候補地における詳細なサイト調査とFSの実施段階、Executeはプロジェクトの建設段階、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

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

我が国においては、苫小牧地点においてCCS大規模実証試験が実施されている。

2015年度までに、CO₂の分離・回収設備と圧入設備を建設するとともに、2坑の圧入井を掘削し、2016年度以降、年間10万トン以上のCO₂を、2坑の圧入井にて2層の貯留層へ圧入する計画となっている。また、CO₂の圧入開始以降、貯留層内でのCO₂の挙動を観測し、貯留されたCO₂の漏えいや自然地震による影響がないことを、圧入前に取得したデータをベースにモニタリングする計画となっている。

FIGURE 2.4 LSIPs by project lifecycle and region/country



出典：GCCSI「世界のCCSの動向2013」³⁾

図3 プロジェクト種別及び地域/国別大規模統合プロジェクト

2.3 CCS導入への課題

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

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

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

表1 これまでに分かったこと

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

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」²⁾

表2 今後7年間で特に重要な7つの行動

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

出典：IEA「Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition」²⁾

2.4 CCSに関する規制の海外動向

2013年9月、オバマ大統領の「Climate Action Plan」に基づき、米国環境省、EPAが「新排出性能基準 (EPS) 規制案」を提案した。今後、新規に火力発電所を設置する際には、石炭火力については、CO₂の排出量を500kg/MWh (1年平均) 又は480kg/MWh (7年平均) 以下に、ガス火力については出力規模に応じて450又は500kg/MWh以下にすることを求めている。図4にあるように、この値は、石炭火力発電においては、最新のIGCCやIGFCの技術を活用しても達成することができないものであり、石炭火力発電を設置するためには、CCS設備を設置せざるを得ないものである。一方、ガス火力発電については、複合サイクル発電などの高効率の発電所ではクリアできる値となっている。カナダでは、2015年に新規石炭火力発電等に対して、420kg/MWhの新排出性能基準 (EPS) 導入を決定し、英国でも新排出性能基準 (EPS) の導入が国会で承認された。

また、火力発電所の設置申請において、CCS設置のFS調査等を義務付ける

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

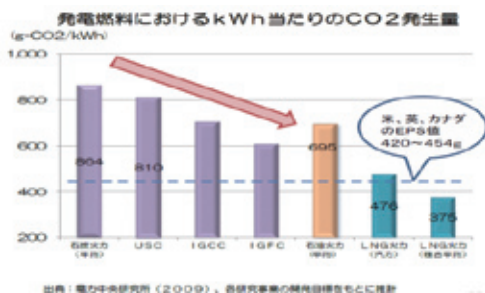


図4 発電電力量当たりのCO₂発生量 (出典：経済産業省)

表3 海外のCO₂に関する主な規制概要

国名	CO ₂ に関する主な規制概要
米国	<ul style="list-style-type: none"> ○EPAによる新稼働性能基準(EPS)規制案: <ul style="list-style-type: none"> ・新規石炭火力: 500 kg/MWh(1年平均)、486kg/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EPA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
カナダ	<ul style="list-style-type: none"> ○EPS規制: 新規石炭火力等: 420kg/MWh
英国	<ul style="list-style-type: none"> ○EPS規制案: 新規石炭火力: 450kg/MWh ○CCS-Ready規制: 300MW(スコットランドは50MW)以上の新設火力
EU	<ul style="list-style-type: none"> ○EU CCS指令(CCS-Ready規制): 300MW以上の新設火力 (国内法移行済の国: ス페인、デンマーク、オランダ、イタリア、フランス、リトアニア、マルタ、スロベニア、ポルトガル、ルーマニア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、ドイツ、エストニア、ギリシャ、ラトビア、ルクセンブルク、フィンランド、英国)

RITE調べ

なお、我が国においては、2013年4月25日、経済産業省と環境省との間で、「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ」が公表された。この中で、2050年までにCO₂等を80%削減するという目標との関係が記載されている。そこに、CCSに関連する事項として、2020年頃のCCSの商用化を目指したCCS等の技術開発の加速化を図ること、CCS導入の前提となる貯留適地調査等についても早期に結果が得られるよう取り組むこと、商用化を前提に、2030年までに石炭火力にCCSを導入することを検討すること、貯留適地の調査や、CCS-Readyにおいて求める内容の整理を行った上で、出来るだけ早期にCCS-Readyの導入を検討すること等が記載されている。

2.5 CCSのISO化

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

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



図5 CCSのISO化に関する審議体制

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

ISOの各WGの検討状況、今後のスケジュールは、表4、図6の通りである。

表4 ISOの各WGの検討状況

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

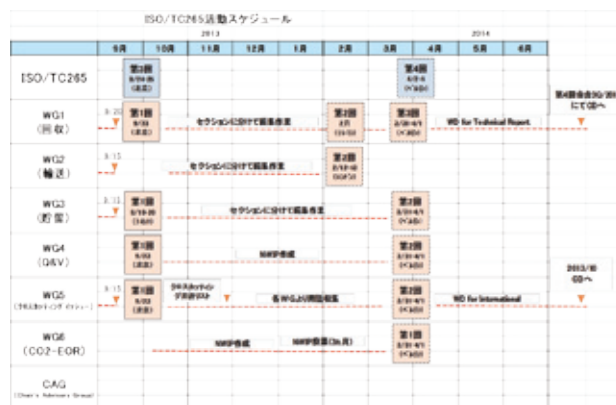


図6 ISO/TC265活動スケジュール

3. ゼロエミッション事業の結果

RITEでは、「NEDO革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト」（ゼロエミッション事業）のうち、「CO₂の貯留システムの概念設計と貯留ポテンシャル評価」についての検討を、応用地質株式会社とともに、2008年度から2012年度にかけて実施した。貯留層評価手法の構築、貯留エンジニアリングの調査、および全国レベルでの貯留層評価を行い、これらを基に、本事業で検討を行う貯留地点としてA、B、Cの3地点を定めた。想定貯留地点での貯留設備の概念設計を行い、実証規模（24万トンCO₂/年）および商用規模（1,154万トンCO₂/年）の貯留設備の概算費用を算出した。さらに大規模貯留サイトとして、貯留地点Dを選定し、1,000万トンCO₂/年を貯留するための設備の概念設計と費用の算出を行った。大規模貯留は小スケールの貯留層を多数開発するよりコスト的にも有利となることが分かった。また、調査結果を基に貯留層経済性評価ツールを作成した。

本事業で選定した各地点の概要を表5に示す。A地点からD地点に行くに従って、沖合になっており、水深も深くなっている。貯留可能量については、C、Dの沖合の貯留可能量が大きく、D地点では、49億トンとなっている。貯留システムは、A地点は陸上からの傾斜井、B地点は着底プラットフォーム、C地点、D地点は、浮体プラットフォームとなっている。154万t-CO₂/年貯留の概算費用は、260億円から380億円となっており、沖合地点に行くほど高くなった。D地点においては、大規模貯留に関する費用の概算を行ったところ、年間1,000万トン規模の貯留システムを一気に構築した場合は894億円、順次構築した場合には1,121億円となった。一方、年間154万トンの場合の設備費は316億円なので、小規模貯留を複数開発する場合、1,000万トンとすると約6倍の1,800億円程度となる。したがって、大規模貯留は、小スケールの貯留層を多数開発するよりコスト的にも有利となることが分かった。

また、本事業では、貯留層の経済性評価ツールを作成した（図7）。将来の本格的なCCS実施に際して、CO₂貯留層を選定するためには、その地点での貯留可能量や貯留の安全性とともに、経済性についても評価する必要がある。貯留層のスクリーニング段階において、輸送までを含めた経済性を評価することは容易ではないため、この貯留層選定作業を支援するための「貯留層経済性評価ツール」を作成した。今後、これらのデータベースツールを活用して、CCSに関するデータを提供することができればと考えている。

表5 ゼロエミッション事業におけるCO₂地中貯留サイトの選定

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

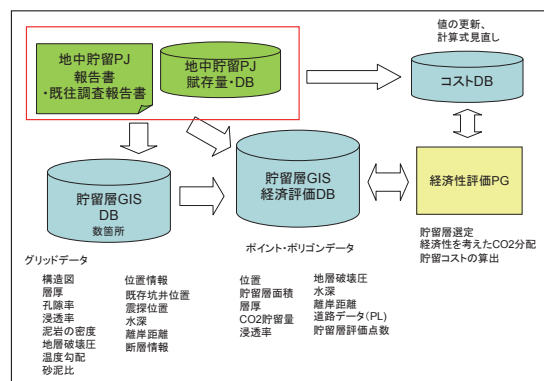


図7 貯留層経済評価ツールの作成

さらに、本事業では、CCS貯留の今後の課題と将来に向けた提言をまとめた（表6、表7）。これらの中で、特に、貯留層開発の優先順位付けを行い、それに従いさらなる探査を行うとともに、貯留層に関する情報をデータベース化して、関係者がアクセス可能にすること、これと並行して、CO₂地中貯留における貯留層の探査をより効率的に行うための、技術やツール開発を行うことが、重要と考えられる。

表6 CCS貯留の今後の課題

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

表7 CCS貯留の将来に向けた提言

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

4. 次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS)

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。次世代CO₂貯留・利用システムは、より安全で経済的な次世代のCCS技術であり、「Storage & Utilization of CO₂ for Coexistence of Economical & Safe System」のイニシャルを取って、SUCCESSと呼んでいる。これは、昨年のRITE Todayで報告した「高温岩体発電」をより発展させたものである。SUCCESSは、帯水層内の地層水等を排出することで、従来なかった効果（地熱有効利用、地層圧緩和、圧入レート改善）が期待できる次世代のCO₂貯留・利用システムである（図8）。

本システムの効果の一つ目として、地熱エネルギーの回収、有効利用を図ることにより、CCS事業の収入の確保を図り、経済性を向上させることが可能である。排出した高温の地層水から熱エネルギーを回収する。CO₂が帯水層内に満ちた後では、CO₂を循環させて地熱エネルギーを回収する。米国のローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）はCCSを活用した地熱利用の実証試験を計画しており、RITEは、LBNLと共同研究を計画している。次に、効果の二つ目として、圧入時の帯水層の地層圧上昇を緩和するので、地層圧の異常上昇に備えた安全対策ツールとして利用し得る可能性がある。これにより安全性の向上が期待される。効果の三つ目としては、地層圧の上昇が緩和されるので、井戸1本当たりのCO₂圧入速度を大きく取れる。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。

このような取り組みは、海外でも実施されつつある。例えば、豪州のGorgonプロジェクトでは、注入井を設置してCO₂を圧入するとともに、圧力管理井を設置して排水をさせることにより圧力を調整することとしている。その結果、圧入レートの維持、地層破壊圧への到達の回避、貯留能力の最適化が期待されている。

プロジェクト技術評価書においても、地層圧が上昇した場合の緊急時の対策として、CO₂を圧入している帯水層から水を抜くことが記載されている（図9）。

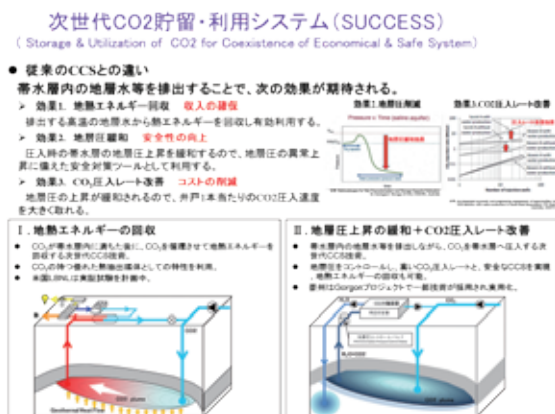


図8 次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS) の概要

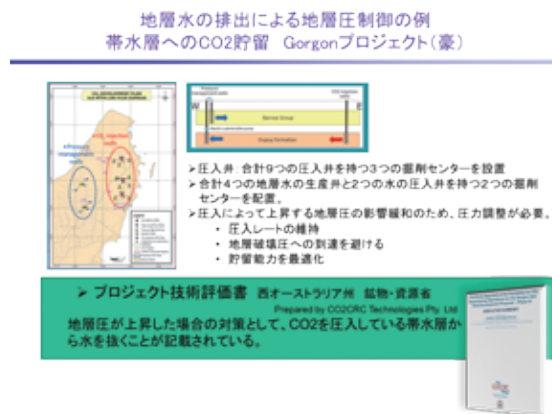


図9 地層水の排出による地層圧制御の例

5. まとめ

今後、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。一方、CCSの導入に向けては、財政支援の導入等のインセンティブ、貯留地点の探査、CCS-Ready等の規制の開発、産業分野での実証試験の実施、一般国民への理解の促進、CCS技術の研究加速などを進める必要がある。海外の一部の国においては、CCS-Readyや新排出性能基準（EPS）などの規制の導入がされつつある。また、CCSのISO化も着実に進展している。

CO₂貯留に関しては、ゼロエミッション事業の結果を踏まえると、CCSの導入促進のためには、CO₂貯留サイトの探査、CCS全体システムの最適化、大規模プロジェクトの具体的な計画作成などに取り組む必要がある。特に、貯留層開発の優先順位付けと、さらなる探査を行うとともに、貯留層に関する情報をデータベース化して、関係者がアクセス可能にすることが重要である。

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。次世代CO₂貯留・利用システム (SUCCESS) は、帯水層内の地層水等を排出することで、従来なかった効果（地熱有効利用、地層圧緩和、圧入レート改善）が期待できる次世代のCO₂貯留・利用システムであり、RITEとしては、今後FS調査を実施していく予定である。

参考文献

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