

## 革新的環境技術の動向と課題

### 1. はじめに

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

RITEでは、現在、化学研究グループはCO<sub>2</sub>回収に関する技術の開発に、CO<sub>2</sub>貯留研究グループはCO<sub>2</sub>貯留に関する技術の開発に、バイオ研究グループはバイオリファイナリー技術に、システム研究グループは温暖化対策のシナリオ策定研究に、それぞれ取り組んでいる。本稿ではRITEの各研究グループにおける個別の研究活動紹介に先んじて、RITEの中心的研究課題であるCCSとバイオマス利用技術の動向と課題について概観するとともに、RITEの研究開発の概要と今後の課題について述べる。

### 2. CCSに関する最近の動向

#### 2.1 CCSの必要性と今後の展望

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

特に、鉄鋼生産、セメント製造、石油化学製品製造などの産業分野においては、生産に伴ってCO<sub>2</sub>が発生することから、再生可能エネルギー、原子力発電などの手段でCO<sub>2</sub>を削減することができない。つまり、CCSは、これらの産業部門における大幅なCO<sub>2</sub>排出量削減を可能にする現時点で唯一の技術である。

また、CCSの単位あたりのCO<sub>2</sub>削減費用は、太陽電池、風力発電などの他のCO<sub>2</sub>削減手段よりも安価である(図2)。したがって、IEAによれば、CCSなしで2DSを達成するためには、必要とされる電力分野の追加投資額は40%増加し、今後40年間で総額2兆ドルに達することとなり、CO<sub>2</sub>削減オプションとしてのCCSを放棄すれば、2DSの実現コストは大幅に増加すると指摘している。

一方、一部のCO<sub>2</sub>回収技術はすでに商用化され、その大半はさまざまな部門で利用することができることから、CCSは実現可能性の高い技術である。

このように、CCSは今後も長期的に極めて重要な役割を果たすことが期待されている。そのためには、各国政府は、効率かつ低炭素の技術への転換を奨励する上で決定的な役割を果たさなければならないことが指摘されている。

2050年におけるCO<sub>2</sub>削減寄与度

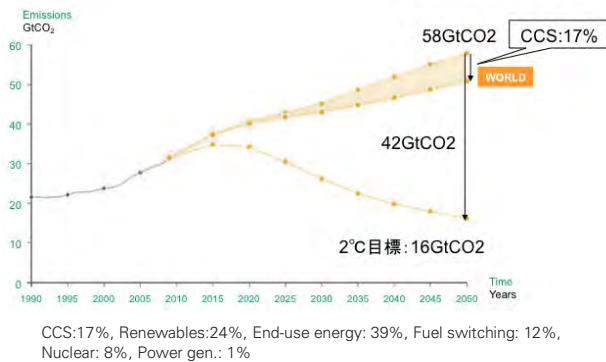


図1 温暖化対策における各技術の貢献 (出典: IEA「エネルギー技術展望 2012」)

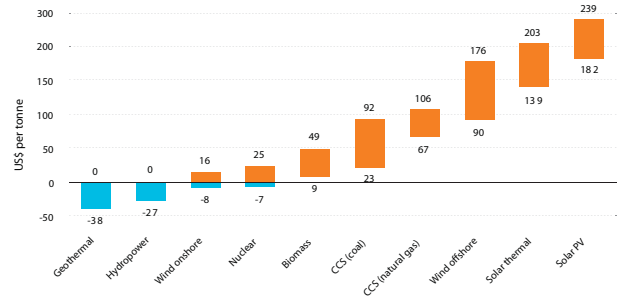


図2 技術別 CO<sub>2</sub>削減の回避原価 (出典: GCCSI「世界の CCS の動向 2012」)

Where is CO<sub>2</sub> storage needed?

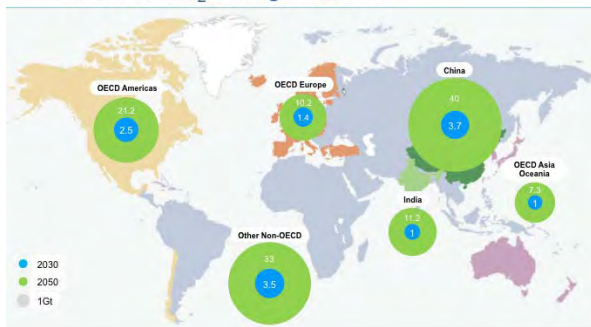


図3 地域別 CO<sub>2</sub>貯蔵容量 (出典: IEA「エネルギー技術展望 2012」)

CCS is deployed globally in power sector

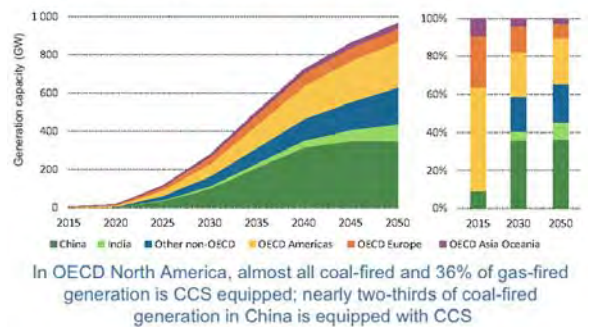


図4 2DSにおける火力発電所の CCS 装備率 (出典: IEA「エネルギー技術展望 2012」)

IEAによれば、2DSにおいて必要となるCO<sub>2</sub>の貯蔵量を地域別に見ると、2030年、2050年ともに、最も貯蔵の必要量が多いのが、中国、次いで北米となっており、2050年までに必要なCO<sub>2</sub>貯蔵量は、中国では40Gt、北米では21.2Gtとなっている(図3)。この場合、2050年時点で、北米では、ほとんど全ての石炭火力発電所に、また、ガス火力発電の36%にCCSが装備されるとともに、中国では、約3分の2の石炭火力発電所にCCSが装備されることが想定されている(図4)。2DSにおける2050年までのCCSの投資額は、世界全体で3.6兆米ドル、約300兆円の規模と想定され、導入されれば巨大な市場となる。

## 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「The Global Status of CCS: 2012(世界のCCSの動向2012)」<sup>2)</sup>には、各国のCCSプロジェクトの最新動向がまとめられている。ここでは、プロジェクトを進行度に合わせて、Identify、Evaluate、Define、Execute、Operate、Closureの6つに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はプロジェクトの実施・圧入設備の建設段階、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・建設中のものがそれぞれ8件で計16件、計画中のものも含めて全体で75件となっている(図5)。2011年に比べて、9件の新規プロジェクトが追加されたが、8件のプロジェクトが中止等により除かれている。新規プロジェクト9件のうち5件は中国のものである。地域別に見ると、米国の24件、欧州の21件に続き、3番目に多いのが中国の11件となっている。中国のプロジェクトは、ほとんどがIdentify(スクリーニング段階)であるが、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思われる。なお、これらの貯留プロジェクトのほとんどが、石油増進回収(EOR)である(図6)。

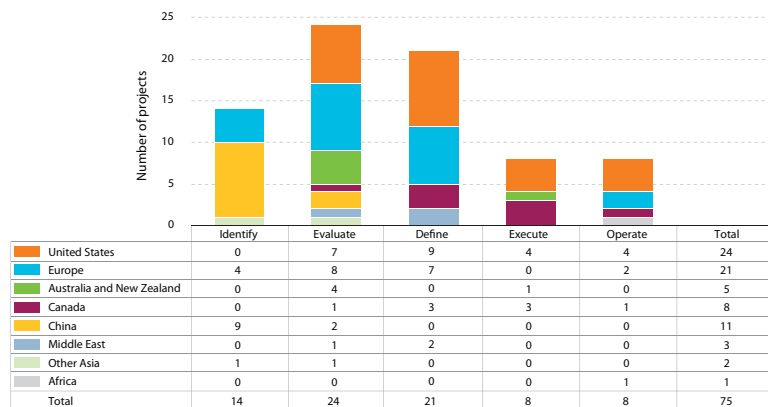


図5 CCS大規模統合プロジェクト (出典: GCCSI「世界のCCSの動向2012」)

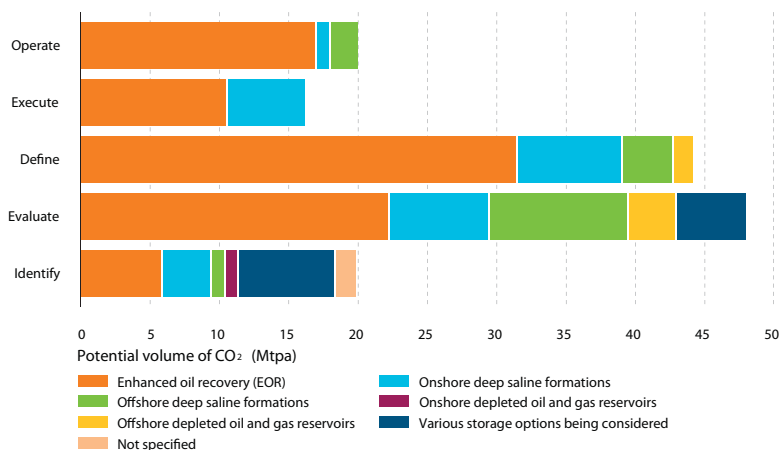


図6 貯蔵種類別 CO<sub>2</sub>年間貯蔵量 (出典: GCCSI「世界のCCSの動向2012」)

### 2.3 CCSの地中貯留の概念設計とコスト算出

CCSのコストに関して、RITEは、NEDOからの委託を受けて「ゼロエミッション石炭火力トータルシステムFS調査」を実施した。本FS調査ではゼロエミッション石炭火力発電のさまざまなケースについてCO<sub>2</sub>排出削減費用を算出しているが、RITEでは、このうちの地中貯留の概念設計とコスト算出を担当した。海域の地下深部塩水層の貯留候補3サイトについて、貯留層への圧入設備などの貯留システムの概算費用を試算した結果、年間150万トン-CO<sub>2</sub>、計3,000万トン-CO<sub>2</sub>を貯留することを前提として、全体費用は、220億円～310億円となった(図7)。貯留層の離岸距離や水深によって、採用設備(陸から傾斜井、着底型・浮体型プラットフォーム)の費用に差が出る結果となった。

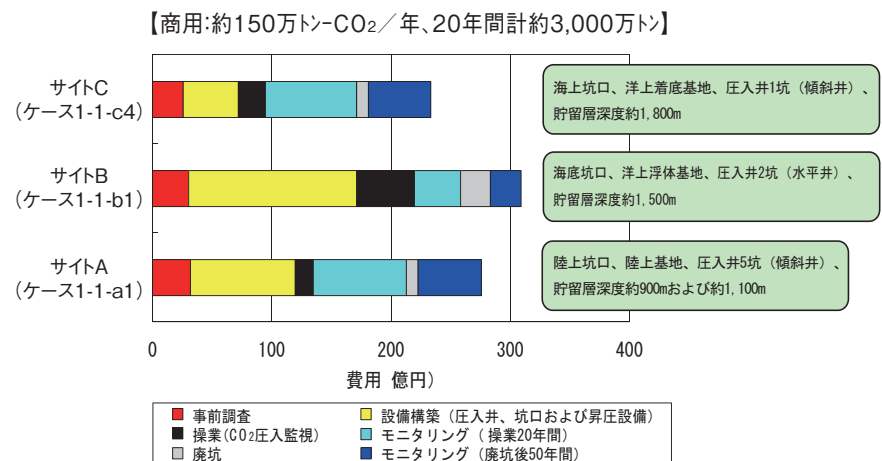


図7 貯留システムの概算費用の試算例  
(出典: RITE「ゼロエミッション石炭火力トータルシステムFS調査」)

### 2.4 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、国家間の製品融通を円滑にするとともに、一定以上の品質と安全性を確保するため、CCSの国際標準の策定作業が始まっている。国際標準化のメリットとしては、例えば、現時点で定められていない貯留量の算定手順などを国際標準化することによって、安全性を保証するとともに、CO<sub>2</sub>削減手段としてより明確に有効性を主張できるようになり、CCSの実施を促進させることができることなどが挙げられる。

CCSのISO化については、カナダから提案があり、2011年10月にISOの技術管理評議会 (TMB: Technical Management Board) において、CCSの国際標準を議論する専門委員会 (TC: Technical Committee) の設立が了承された。2012年6月に第1回のTCが開催され、TCの名称を「二酸化炭素回収・輸送・地中貯留 (Carbon dioxide capture, transportation and geological storage.)」とし、スコープ (適用範囲) は、「CCS分野における設計」、「建設」、「操業」、「環境計画と管理」、「リスク管理」、「定量化」、「モニタリングと検証」などとなることが決められた。また、TCの下に、「回収」、「輸送」、「貯留」、「定量化と検証」、

「横断的課題」に関する5つのワーキンググループ(WG)を設置するとともに、提案国であるカナダのSCCに中央事務局をおくこととなった。

ISO規格開発の手順は、予備段階から提案段階、作成段階を経て、委員会で承認、総会での承認の段階に進み、最後に発行するオープンなプロセスで決定することとしている。規格決定までの期間は、標準的には、NP(New Proposal)が提案されてから、3年となっている。(図8)。

RITEは、CCSのISO化のための日本の国内審議団体に指定され、国内審議委員会の事務局を担当している(図9)。これまで、3回の国内審議委員会と数回のWGを開催し、日本としての対応を議論した。

ISOの規格開発手順及び期間

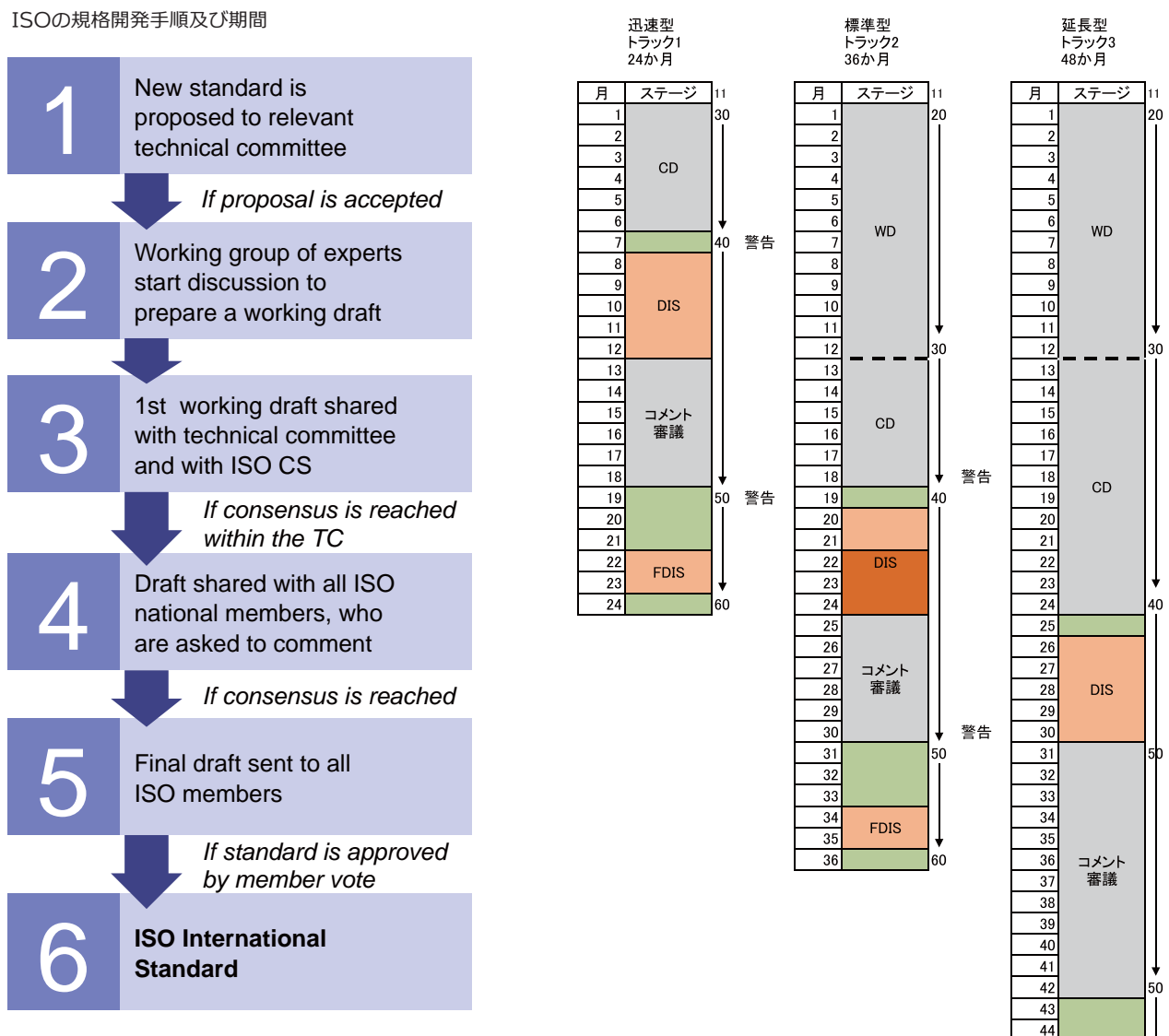


図8 ISOの規格開発手順(出典:日本規格協会)

TC265国内審議委員会（案）および国内WG組織

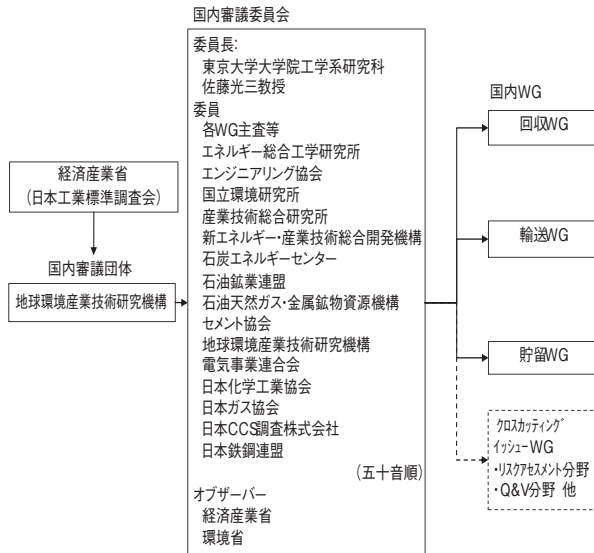


図9 国内審議委員会の概要（出典：RITE）

国際基準がビジネス戦略の重要なツールとして用いられるようになったのは、1995年にWTO・TBT協定が、1996年にWTO政府調達協定が発効してからである。これらの協定が発効して以降、国際基準を満たしていない製品は、事実上生産、輸出できなくなった。このような中で、欧米の企業の都合の良いラインで規格が決定され、国際基準に熱心でなかった日本企業の製品が、結果として規格から外れ、排除される事例が発生することとなった。成功例もある一方、国際基準への適確なフォローアップを欠いたため、市場からの撤退を余儀なくされたものもあった。CCSのISO化に際しては、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に、確実にフォローしていく必要がある。

2.5 CCSの今後の課題

CCSは、いわゆる外部不経済に相当する。CCSは、これを導入しても生産等になんら寄与しないので、市場原理では普及しない。したがって、CCSの普及促進を図るためには、外部不経済を内部化する仕組みが必須である。例えば、規制により強制的に設置を義務付けること、補助金や税制優遇、フィードインタリフなどの制度を導入すること、排出権取引市場等を創設することなどが必要である。また、導入を容易にするためには、コスト削減が不可欠であり、そのための研究開発が極めて重要である。現時点で、CO<sub>2</sub>単位トン当たりのCCSのコストは、約7,300円/t-CO<sub>2</sub>である。そのうち、分離回収に要するコストが全体の約6割に当たる4,200円/t-CO<sub>2</sub>となっている。RITEでは、この分離回収に要するコストを1,500円～2,000円にすることを目指している。

CCSを本格導入する場合には、地震国である日本に導入して安全なのか、環境に影響がないのかなどの懸念が生じる可能性がある。社会的受容性の涵養に向けて、必要となるデータの蓄積、説明手法の開発、人材の育成、丁寧な説明などを行う必要がある。

昨年2012年11月18日から22日にかけて京都国際会館においてGHGT11をRITEが事務局として開催した。多くの技術者が世界各国から参加し、熱心にCCSに関する技術論議を行なった。詳細は今号のトピックスに掲載している。

その場でも議論されたように、CCSの導入において何よりも必要なことは、政府がCCSを導入、普及することを決断、表明し、支援策を実行することである。この点は、IEA等の国際機関においても、指摘されている。外部不経済であるCCSの導入に必要な不可欠な社会的な仕組みを構築することは、政府にしかできないので、政府の決断と支援の強化が不可欠である。

### 3. バイオマス利用の動向

最近のバイオ燃料生産の動向を見ると、バイオ燃料の液体燃料全体の生産量に占める割合は、2009年時点で約0.5%と依然として小さいが、生産量は2000年に比べて約4倍となるなど急激に増加している。(図10、11)バイオ燃料の大半が、バイオエタノールである。バイオ燃料の生産能力を地域別に見ると、バイオエタノールについては、その約6割が米国、約3割がブラジルと、米国とブラジルの2国で約9割を占めている。一方、バイオディーゼルについては、約6割がヨーロッパとなっている。(図12、13)

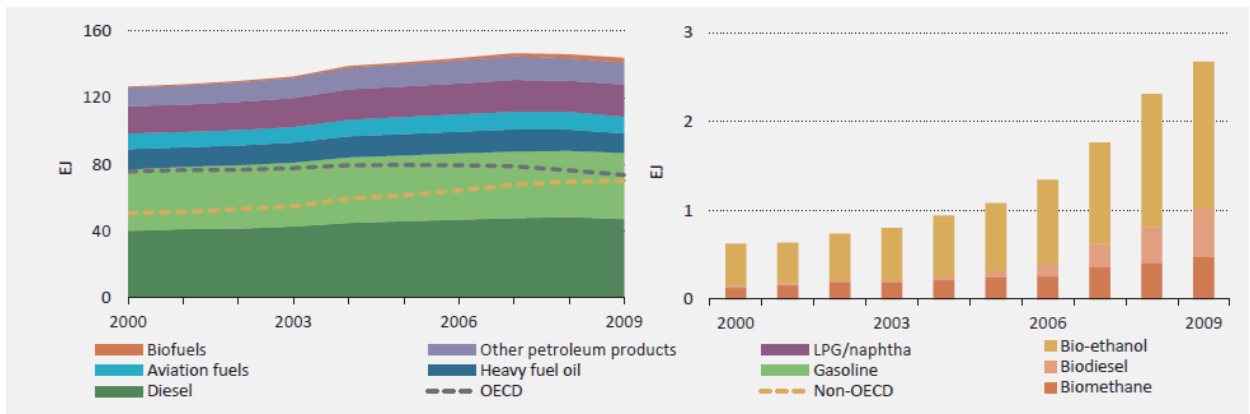


図 10 世界の燃料種別液体燃料生産量 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

図 11 世界のバイオ燃料生産量 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

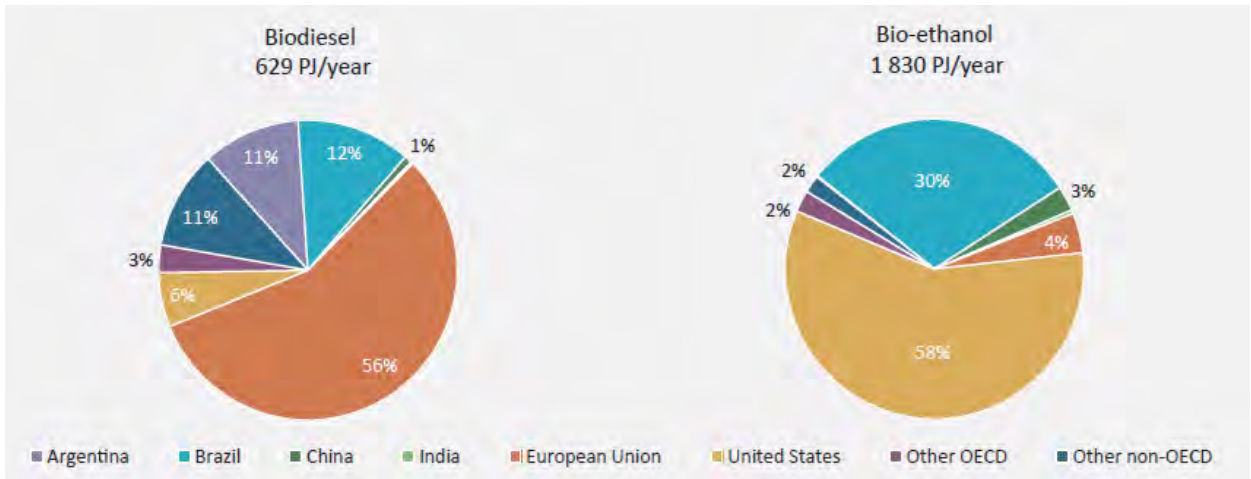


図 12 世界のバイオディーゼルの生産能力 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

図 13 世界のバイオエタノール生産能力 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

IEAによれば、2DSにおいて、2050年度時点で液体バイオ燃料の生産は、世界の全液体燃料生産の約18%を占めることとされている(図14)。液体バイオ燃料のうち、約70%がバイオ燃料から液体燃料への変換(BTL)、約30%がセルロース資源を使用した先進的エタノールプラントによるものとされている。また、エタノールと同様の方法により生産されるバイオブタノールは、その疎水性から既存設備の変更を伴わずに利用できるため、バイオエタノールの代替燃料として有望であることが指摘されている。

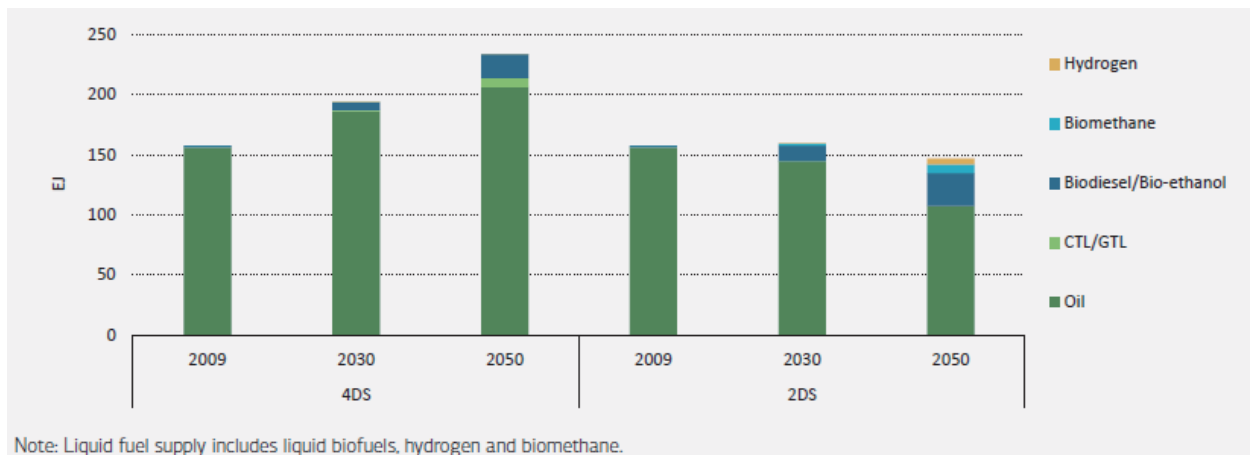


図 14 4DS、2DS における世界の液体燃料生産の推移 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

また、2DSにおいては、バイオ燃料生産プラントからのCO<sub>2</sub>回収・貯留は、魅力的なCO<sub>2</sub>抑制対策の一つとして位置づけられている。バイオエネルギーとCCSを組み合わせることで、植物が吸収した大気中のCO<sub>2</sub>を地下に貯留することになるため、負の排出(“negative” emissions)と言える。2DSにおいては、これらの対策により、2050年時点で1.3GtのCO<sub>2</sub>の排出が抑制することとされている(図15)。これは、全抑制量42Gt-CO<sub>2</sub>の約3%に当たる。

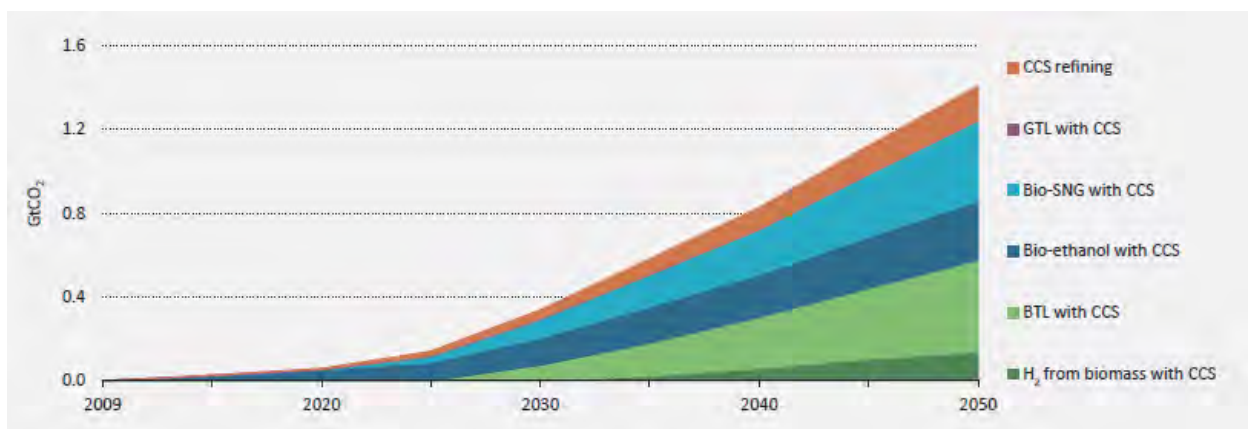


図 15 2DS における燃料転換部門における CO<sub>2</sub> 回収量 (出典：IEA「エネルギー技術展望 2012」)

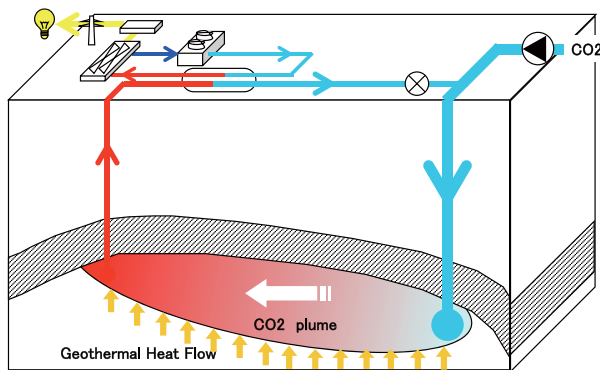


#### 4. RITEにおける今後の課題

RITEは、1990年に設立されて以来、様々な環境技術の研究開発に取り組んできたが、RITEの持つ研究ポテンシャル、社会ニーズや必要性などを踏まえ、現在、CO<sub>2</sub>回収・貯留技術の開発、バイオリファイナリー技術の開発、温暖化対策のシナリオ策定研究の3つのテーマに取り組んでいる。CO<sub>2</sub>を回収、貯留するCCS技術については、今後CO<sub>2</sub>の削減を図るための切り札として、その開発、導入への期待が高まっている。また、バイオリファイナリー技術については、持続的に再生可能な資源・エネルギーであり、その一層の利用拡大が求められている。さらに、温暖化対策シナリオ策定については、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえエネルギー・環境政策の検討が進む中、政策判断に必要な根拠資料を提供するものとして、その必要性が高まっている。

一方、研究機関は、研究が進展すると、成果の社会への還元を図るため、企業等へ研究成果の移転を図る必要がある。つまり、いつまでも同じ研究を続けていくことはできない。したがって、研究機関が長期にわたって社会から必要とされる組織として貢献するには、常に、新しい研究テーマを掘り起こし、新たな成果を次々と生み出していくことが必要である。RITEにおいては、RITE自身が持つ研究ポテンシャルを生かして、継続的に新規研究課題の種を暖め、立ち上げていくことが極めて重要である。これは、研究機関としてのRITEが持つ宿命的課題と言える。

このため、RITEでは、新たな研究テーマを探索するため、これまで、海洋利用再生可能エネルギー、ジオエンジニアリング、地熱利用、高温岩体発電などのテーマについて調査検討を行った。その結果、RITEが当面取り組むべきテーマとして「CO<sub>2</sub>高温岩体発電」等を抽出した。



- 地下に貯留したCO<sub>2</sub>を使い発電する技術。
- 発電した電気は、所内電力や売電に廻しCCSプロジェクト費用の一助とする。
- 米国はLBNLが中心となり研究開発をリード。
- LBNLは、実験室規模の基礎検討を終え、実際に地下へCO<sub>2</sub>を入れるフィールド試験をDOEへ申請中。

図 16 CO<sub>2</sub> 高温岩体発電の概念 (出典：HMC 社の資料を基に RITE 作成)

#### 熱回収媒体としての水と CO<sub>2</sub> の比較

性質	水	CO <sub>2</sub>
化学的性質	岩石中のミネラルの良い溶媒 よく溶け、多くの沈殿発生	岩石中のミネラルをほとんど溶かさない
移動性	粘性が高く、高密度	粘性が低く、中くらいの密度
熱伝達	比熱大	比熱小
坑井循環	圧縮性が小さく、膨張性が中くらい	圧縮性・膨張性ともに大きい
流体損失	高価で望ましくない	GHGクレジット、CO <sub>2</sub> 排出削減につながる
利用のしやすさ	広範囲、乾燥地では制約あり	CO <sub>2</sub> 地中貯留がカギ
発電プラント	投資コスト高い	よりコンパクト、投資コスト小さい

図 17 水と CO<sub>2</sub> の比較 (出典：LBNL 他)

CO<sub>2</sub>高温岩体発電は、CCS貯留施設において、貯留層の一部からCO<sub>2</sub>を抜き出して、高温の岩体で暖められたCO<sub>2</sub>から熱を回収し、発電する技術である(図16)。発電した電気を所内電源や売電に回して、CCS導入のインセンティブとすることが可能である。また、貯留層からCO<sub>2</sub>を抜き出すことにより貯留槽内の圧力を制御すること可能であり、CCS貯留の安全確保技術としても注目されている。既に米国の研究所等で研究が始まっている。なお、CO<sub>2</sub>は、水に比べて比熱が小さいなどのデメリットもあるが、スケールの発生が少ない、比較的低温でも発電が可能などの様々なメリットがあり、地熱発電用の熱媒体として有望なものである(図17)。

## 5.まとめ

CCSは、産業部門による大幅なCO<sub>2</sub>排出量削減を可能にする唯一の技術であり、今後も長期的に極めて重要な役割を果たす。今後、全世界、特に中国、北米においてCCSの導入が期待されている。CCSの普及促進のためには、規制、補助金等の仕組みの確立と導入を容易にさせるためのコスト削減が不可欠であり、政府の決断と支援の強化が重要である。

CCSのISO化の動きが開始されたが、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に、フォローしていく必要がある。

RITEでは、新規テーマに関して、調査検討し、当面取り組むべきテーマとして「CO<sub>2</sub>高温岩体発電」等を抽出した。今後、本技術の研究開発を進めるためのプロジェクト化に向けて、RITEとして積極的に取り組む必要がある。

2012年11月26日から12月8日にかけて、カタール・ドーハにおいてCOP18(国連気候変動枠組み条約第18回会議)、CMP8(京都議定書第8回締約国会合)が開催された。ADP(ダーバンプラットフォーム特別作業部会)の作業計画を含むCOP決定、京都議定書改正案の採択等に関するCMP決定等の一連の決定は「ドーハ気候ゲートウェイ」として採択された。第二約束期間における排出抑制等については、発展途上国と先進国との溝は埋まらず、今後の交渉に委ねられた。日本は第二約束期間に参加しないことが付属書Bで反映された。地球温暖化対策を進めていくためには、国際的な仕組みづくりが非常に重要である。今後、国際的な合意の進展が期待される。今後のエネルギーや経済の姿を見通すことはなかなか容易ではないが、この中で間違いなく必要なことは技術開発である。ここで述べた様な革新的環境技術の開発と実用化をできる限り早急に実施することが求められている。

## 引用文献

1. IEA, "Energy Technology Perspective 2012" (2012)
2. GCCSI "The Global Status of CCS: 2012" (2012)