



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・主席研究員	野村 眞	主幹・主任研究員	東 宏幸
サブリーダー	中村 哲	主幹・主任研究員	清水 淳一
主席研究員	高木 正人	主幹	美澄 祐志
研究管理チームリーダー	作山 邦夫	主幹	倉中 聡
国際標準化チームリーダー・副主席研究員	青木 好範		
副主席研究員	出口 哲也		
副主席研究員	和泉 良人		
調査役・主任研究員	中神 保秀		

CCS の現状と今後の導入に向けた課題

1. はじめに

一昨年（2015年）12月にCOP21で合意されたパリ協定では、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求すること」、「今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成するために、最新の科学に従って早期の削減を行うこと」などが盛り込まれた。これらの目標を達成するためには、様々な対策手段を用いて取り組むことが極めて重要である。特に、人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡、つまりゼロエミッションを達成するためには、従来技術の枠を超えた革新的な技術の開発が必要である。

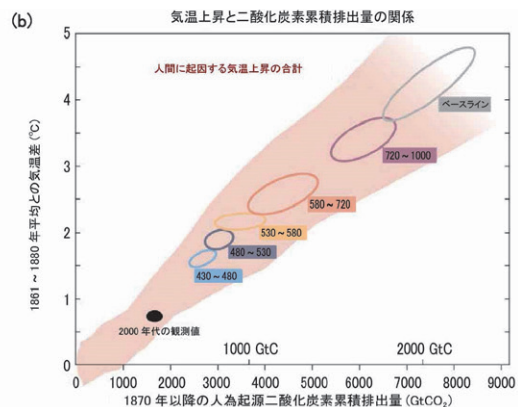
このような中、温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）を削減する重要な対策の一つとして、二酸化炭素回収・貯蔵（CCS）が大きく期待されている。一方、CCSには、今後の導入に向けた様々な課題もある。

本稿では、CCSを巡る内外の動向を概観するとともに、CCSの今後の導入に向けて取り組むべき課題等について述べる。

2. ゼロエミッションとCCS

2014年に取りまとめられた気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次報告書 統合報告書の政策決定者向け要約に掲載されている「CO₂の累積排出量

と世界平均地上気温との関係」を図1に示す。IPCC報告書では、この図の説明として、「2100年までの範囲では二酸化炭素累積排出量と予測される世界平均気温の変化量の間に、強固で、整合的で、ほぼ比例の関係があることを示している。」と記載されている。つまり、CO₂の累積総排出量と世界平均地上気温は、ほぼ比例関係にあると言える。したがって、世界の平均気温を一定にさせるためには、CO₂の「累積」排出量を一定にすること、つまり年間のCO₂排出量をゼロにすることが必要である。CO₂の年間排出量をゼロにするのは極めて難しい課題だが、温度の安定化のためには、いつかは達成させなければならない課題である。



出典：気候変動に関する政府間パネル 第5次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約 図SPM.5(b)

図1 CO₂の累積排出量と世界平均地上気温との関係

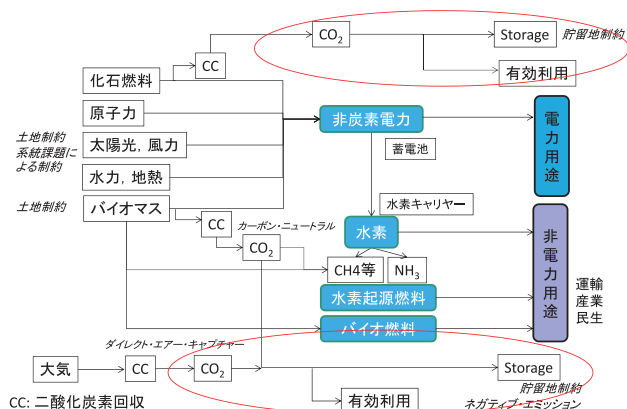


図2 ゼロエミッションに向けた対策技術の概念

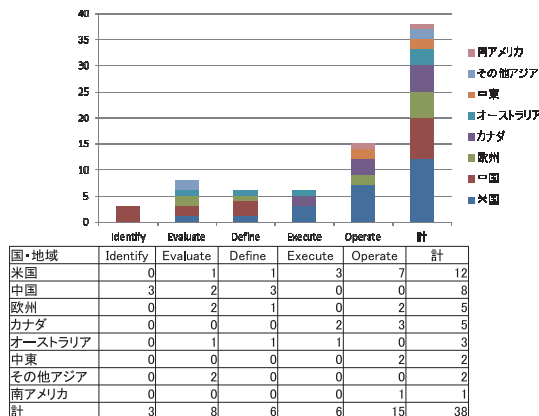
図2に「ゼロエミッションに向けた対策技術の概念」を示す。まず、エネルギー需要のうち電力用途については、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギー、更には原子力の導入が考えられる。しかし、太陽光、風力等のエネルギーは気候による出力変動が大きいという課題、原子力は、その安全性に関する国民の懸念がある。また、世界の膨大なエネルギーをこれらのエネルギーだけで賄えるかという課題もある。このため、CCSを装備した火力発電所等の導入が必要と考えられる。一方、産業用熱需要などの非電力用途においては、カーボンフリーの電力(非炭素電力)から生産した水素やカーボンニュートラルのバイオマスから生産したメタンなどが考えられる。また、鉄鋼生産、セメント生産等においては、製造のプロセスにおいてCO₂を排出することから、大量のCO₂発生量を削減するには、CCSが唯一の対策手段となっている。さらに、IPCC報告書においては、2°C目標達成のためには、大気中のCO₂を削減するネガティブエミッションが対策の一つとして掲げられている。例えば、バイオマスエネルギーとCCSを組み合わせさせて大気中のCO₂を固定化するBECCS、大気から直接CO₂を回収して固定化するダイレクトエアキャプチャーなどの技術も考えられる。これらネガティブエミッションには、CCSとの組み合わせが不可欠である。以上の通り、ゼロエミッションに向けてCCS技術は極めて重要であると言える。

3. CCSの導入の現状

3.1. 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

GCCSIの「世界のCCSの動向2016」によれば、世

界の大規模プロジェクトの開発状況は、運転中のものが15件、建設中のものが6件、全体で38件となっている。昨年に比べ、建設中のものが1件、全体のプロジェクトは7件減っている(図3参照)。



出典：The global Status of CCS 2016 VOLUME 2

図3 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

3.2. CCS導入事例における導入の仕組み

大規模CCSプロジェクトを見ると、操業中のほとんどのプロジェクトが、天然ガス採掘の業種で、かつ貯留形態がEOR(石油増進回収法)のものであることが分かる。天然ガス採掘の場合は、元々天然ガス精製の際にCO₂を分離するため、増分費用が輸送及び貯留に限定されることからCCSに比較的取り組みやすい。また、EORの場合は、回収したCO₂を販売してコストを回収できるので、事業性がある。これらの点が操業中のCCSプロジェクトが、天然ガス採掘業種、EORに集中している理由と考えられる。このように、CCSの導入には、経済的に成立する要因が必要である。以下にCCS導入事例における導入の仕組みの例を説明する。

3.2.1. バウンダリーダム発電所のCCSプロジェクト

2014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CCS大規模プロジェクトとしては世界で初めて、CO₂を分離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た。バウンダリーダム発電所は、本規制の対象となり、第3号機のリプレイスに合わせて、CCSを実施することとした。バウンダリーダム発電所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、9億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。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（図4参照）。

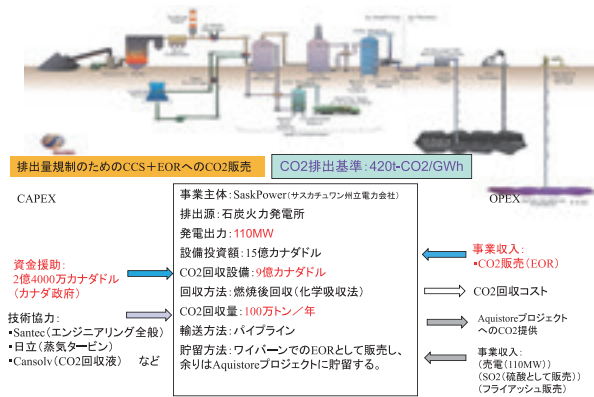


図4 バウンダリーダム発電所CCSプロジェクトの仕組み

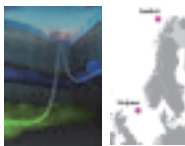
3.2.2. スライプナーCCSプロジェクト

北海にあるスライプナープロジェクトは、天然ガス採掘の際に分離されているCO₂を地下に貯留するものである。ノルウェー政府は、1991年に炭素税を導入した。GCCSIによれば、スライプナープロジェクトが操業を開始した1996年の炭素税は、210クローネ/t-CO₂だったが、年々増加して2016年現在で544クローネ/t-CO₂となっている。一方、CO₂を地下に貯留するための追加コストは、17米ドル/t-CO₂と推計され、年間の費用は約1億クローネと推計され

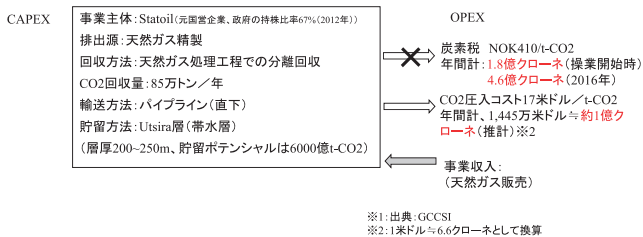
プロジェクト概要:

Statoilが、北海(沖合約250キロメートル)にあるSleipner天然ガス田において、1996年から実施している大規模CCSプロジェクト。1991年にノルウェー政府が炭素税を導入したことから、その課税負担を軽減させる目的で実施されている。

1996年(操業開始時): 210NOK (35USD) / t-CO₂
2016年: 544NOK (65USD) / t-CO₂



炭素税回避のためのCCS+天然ガス精製でCO₂はもとも分離



※1: 出典・GCCSI
※2: 1米ドルを6.6クローネとして換算

図5 スライプナーCCSプロジェクトの仕組み

ている。CO₂を貯留しない場合に年間支払うべき炭素税は、操業開始時で約1.8億クローネ、現時点では4.6億クローネとなっており、CO₂を貯留した方が安価である。このようなことを勘案して、天然ガス事業主体であるStatoil社は、炭素税回避のため、CO₂を地下に貯留する対策を選択した。CO₂は元々分離されるので、追加コストは貯留、輸送に要する費用に限定される。このように、スライプナープロジェクトは、炭素税の仕組みが導入されたこと及び元々天然ガス生産でCO₂を分離していたことから、実施されているプロジェクトと言える（図5参照）。

3.3. CCSにおける規制の現状

3.3.1. CCSにおける規制の概念

我が国においては、CO₂回収、輸送では、CCSに特化した法令はないが、実施形態によっては、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、毒物及び劇物取締法等の規制を受け、必要に応じて環境影響評価、安全規制等が実施されることとなる。

一方、貯留では、実際にCCSプロジェクトが実施されている海外においては、既存法を改正するなど、法令等による規制が行われている。CO₂を安全に貯留できる地点は有限な資源と捉えることができるため、その資源を最大限に有効利用すること必要である。また、地下空間には、様々な鉱物、資源が存在しており、これらの採掘などとの調整を法的に図る必要がある。このような観点から、国による規制が必要となる。また、CO₂を大量に地下に埋めるため、その安全性は問題ないか、環境への影響はないかは、大変重要な課題である。規制機関による安全性確保のための規制、環境影響評価に関する規制が必要である。また、CO₂の貯留量は、CO₂削減量にカウントされるため、その量を正確に把握することを担保する必要もある。さらには、CO₂の漏洩がないかのモニタリングなどの管理は長期間続く。したがって、民間企業である貯留実施者に何十年も義務を課すのは現実的ではないため、海外では、15年から20年、最大50年程度で、規制当局に管理義務を移管する制度がとられている。このことから、貯留には法的な規制体系を構築することが必要である。

CCSにおける規制の概念図を図6に示す。本図では、海外における規制を参考に、貯留の規制の概念図

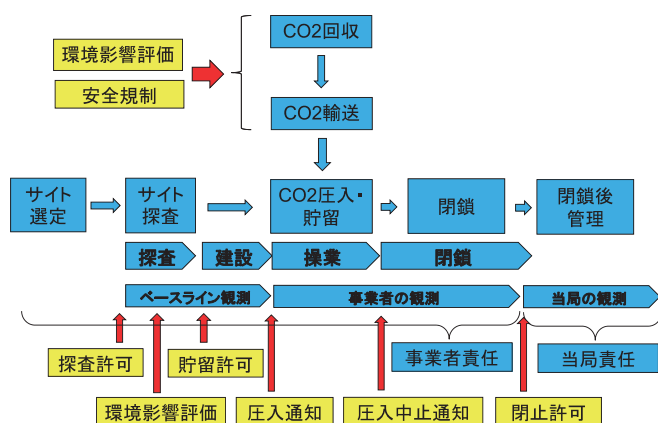


図6 CCSにおける規制の概念

を示す。まず、サイト選定を行い、十分な情報がない場合には、探査を行う。探査については、地下空間資源の有効利用、他の地下資源との調整等の観点から国による許可が行われる。探査の結果、実施が見込まれる場合には、環境影響評価を行い、貯留許可申請を行うことになる。安全性に問題はないか、環境への影響はないか、実施者に技術的、経済的能力はあるかなどの観点から審査が行われることになる。貯留許可が交付されると、施設・設備の建設段階へと移行し、完成後に圧入開始の通知を規制当局に対して行い、操業開始となる。その後、圧入が計画通りに実施され、終了した場合には、圧入中止通知を規制当局に対して行い、操業中止となる。その後、サイトを閉鎖して漏洩等がないか観測する。実施者による観測の結果、終了後15年から20年経過した後に規制当局に管理義務の移管を行う。なお、不測の事故、事象が起きた場合は是正処置等の処理方法についても、規制体系の中で規定することが必要である。

3.3.2. CO₂貯留に関する内外の規制状況

日本におけるCCSに関連する法令としては、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」（海防法）があり、その他の関連法案としては、高圧ガス保安法、鉱業法、鉱山保安法等がある。これらの法令は、環境保全、安全確保等を目的としており、地下資源の有効利用等の観点から探査許可、圧入時の安全基準等のCCSを規制する法令は整備されていない。

欧州では、関連法令としては、2009年にCCS指令が施行された。この中で、サイトの選定、探査、申請、許可、運用、閉鎖後の義務等が規定されている。CCS

の法的規制としては、サイト選定、探査許可から閉鎖後終了までの規定が整備されており、包括的な枠組みとなっている。EUCCS指令を受けて、加盟国において、法的な措置をとることとなっており、現時点で国内法への移行はほぼ終了している。

米国では、関連法令としては、安全な飲料水に関する法律（Safety Drinking Water Act : SDWA）の規制の下で、安全な飲料水源の確保の観点から、UIC(Under Injection Control)プログラムにより規制が行われている。圧入井戸の種類により規制内容を決めており、CO₂地下貯留については、クラスⅥとして基準が定められている。米国では、飲料水源の確保の観点からの規制のため、日本と同様に探査許可等の概念はないが、圧入時の安全基準等は整備されている。豪州では、関連法令としては、沖合石油法（OPA法）の改正で対応している。サイト選定、探査許可、圧入許可、圧入時の安全基準、閉鎖後管理等の規定が整備され、比較的包括的な枠組みとなっている。

3.3.3. EU CCS Directive の各国への移行状況

欧州におけるCCS Directive の各国の法令への移行状況を表1に示す。CCS Directiveは、2009年に施行され、その後、2011年までに各国の法令に移行され、2012年までに発効されることとなったが、2011年までにECにより移行として受け入れられたのはスペインのみであった。その後、順次移行が行われ、2013時点で、ECによる評価中のものも一部あるが、2013年にEUに加盟したクロアチアを含めたEU加盟国28か国において国内法への移行が終了している。

その結果、英国、オランダ、スペイン、フランス等は、国内すべての地域がCO₂貯留許可の対象となった。ベルギー、ギリシャ、イタリアでは、地震地域、地層が国境を越えて連続している地域を除く限定された地域にのみCO₂貯留を許可することとなった。ノルウェー、スウェーデンは、沖合地域に限定してCO₂貯留を許可することとなった。ドイツでは、2018年までに年間最大400万トンのみ、1プロジェクト当たりの貯留量は130万トンのみがCO₂貯留許可の対象となった。デンマーク、ポーランド等では、沖合のEOR、実証プロジェクトを除いて、一時的にCO₂貯留を不許可とし、オーストリア、フィンランド、アイルランドなどでは、永続的にCO₂貯留を不許可とした。

表1 EU CCS Directive の各国への移行状況 (CO₂貯留許可に関するもの)

EU CCS Directive の移行状況 (CO ₂ 貯留許可に関するもの)	該当国
全領土においてCCSを許可地域とした国	クロアチア、キプロス、フランス、リトアニア、マルタ、ルーマニア、スロバキア、スペイン、オランダ、英国
貯留に制限を加えた国	
特定地域許可地域として除外した国	ベルギー、ギリシア、イタリア
開発地域の容積を制限した国	ポルトガル (容積)、ブルガリア (表面積)、ハンガリー (表面積)
CO ₂ 貯留量を制限した国	ドイツ (2018年までに年間最大400万トン、1プロジェクト当たり130万トン)
沖合のみに貯留を制限した国	ノルウェー、スウェーデン
貯留を研究用途 (10万トン未満) に禁止した国	
一時的に不許可とした国	チェコ (2020年まで) デンマーク (沖合EORを除き2020年まで) ポーランド (実証プロジェクトを除き2024年まで)
永続的に不許可とした国	オーストリア、ブリュッセル首都圏地域及びベルギー沖合、エストニア、フィンランド、アイルランド、ラトビア、ルクセンブルク、スロベニア

出典：Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013

EUにおけるCO₂最大排出国であるドイツでは、州議会の反対があったため、妥協の結果2018年までに年間最大400万トンのみを貯留許可する制度となった。また、EUで5番目に排出量が多いポーランドでは、長い議論の結果、実証プロジェクトを除いて一時的に貯留を不許可することとなった。これらの背景として、ドイツやポーランドでは、CCSに反対する環境NGOの運動があったことが報告されている。これらの事例では、EUによって法律制定の期限が定められたことから、返ってCCSの推進にとって好ましくない妥協の結果となってしまったと考えられる。今後わが国で枠組みを構築する上で、考慮すべき事項であると考えられる。

3.3.4. CCSのISO化

国際標準化機構 (ISO) では、専門委員会 (TC265) を設立し、CCSの規格原案の作成作業が行われている。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。

各WGの活動状況及び進捗状況を表2及び図7に示す。各WGにおいては、技術報告書 (TR)、国際規格 (IS) の策定作業を行っている。

WG1では、回収技術の技術報告書が最終合意され、

2016年5月に出版した。本技術報告書は、日本が主導して議論を進めてきたが、TC265として初の出版物として発行された。また、発電分野燃焼後回収技術に関する国際規格の開発に着手し、現在委員会原案 (CD) が承認され、国際規格原案 (DIS) の策定に向けて開発を進めている。

WG2では、パイプライン輸送に関する国際規格が2016年の11月に出版された。TC265として初の国際規格である。

WG3では、陸域、海域の貯留を対象にした国際規格を開発中である。現在、国際規格原案 (DIS) が承認され、最終国際規格案

(FDIS) に向けて開発を進めている。

WG4では、定量化と検証分野の情報を集めた技術報告書が承認され、出版準備中である。これを踏まえた定量化と検証に関する国際規格の開発に着手した。

WG5では、CCSのポキャブラリに関する国際規格を開発中である。クロスカッティング用語に関する国際規格案 (DIS) が承認された。ライフサイクルマネジメントに関する技術報告書が承認され、出版に向けて最終準備が行われている。

WG6では、CO₂-EORに関する国際規格の委員会原案 (CD) が否決され、内容を修正中である。

以上の通り、2016年に至り、技術報告書、国際規格がそれぞれ出版され、関連の国際規格、技術報告書の開発が進むなど、CCSのISO化が着実に進んでいる。

4. CCS導入のために着実に進めるべき対応の方向

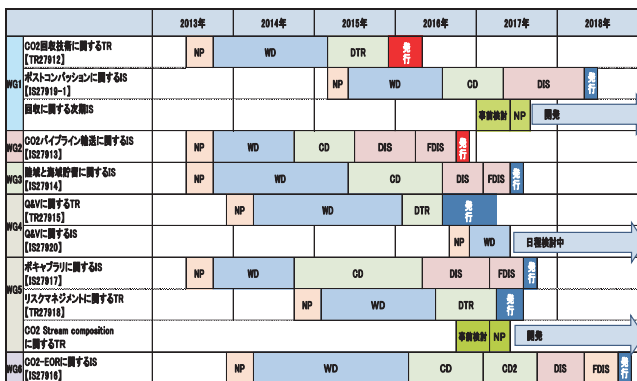
4.1. CCSの課題と今後取り組むべきこと

外部不経済の地球環境温暖化問題に対応する方策であるCCSは、市場原理だけでは導入が困難である。したがって、CCS導入のためには、補助金、税制インセンティブ、規制等の仕組みを構築することが不可欠である。CCSを今後本格的に導入していくためには、コスト削減、実施の不確実性の低減等が必要である。具体的には、①CCSコスト削減のための技術開発の継続的な実施、②CO₂貯留賦存量の把握とデータベ

表2 CCSのISO化 (各WGの状況)

WG	標準化の内容	出版目標	備考
WG1 (回収)	●日本提案ベースに回収技術を集めたTRは、出版済み。(2016/5/15) ISO/TR 27912 ●IS (発電分野・燃焼後回収技術) のDIS開発中。ISO/CD27919-1 ●次期テーマの検討開始。	TR:2016 (済) IS:2018	ISO/TR 27912 は TC265からの最初の出版物。
WG2 (輸送)	●パイプライン輸送に関するISは出版済み。(2016/11/1)出版済み。ISO 27913	IS:2016 (済)	ISO 27913はTC265からの最初の標準。
WG3 (貯留)	●陸域、海域の貯留を対象にIS開発中で、DIS投票実施し承認。現在FDISに向けて作業中。ISO/DIS 27914	IS:2017	2017年5月FDIS投票開始予定。
WG4 (Q&V)	●定量化と検証分野の情報を集めたTRは、ISO事務局と出版準備中。ISO/TR 27915 ●IS化開始。ISO/ AWI27920	TR:2017 IS:2019	IS開発開始。
WG5 (クロスカッティング)	●CCSのポキャプタリに関するISを開発中で、FDISの準備中。ISO 27917 ●Lifecycle risk managementに関するTR出版準備中。ISO/TR 27918 ●CO ₂ stream compositionに関する新テーマ。	IS:2017 TR:2017	分野別の用語のシリーズ開発はキャンセル。
WG6 (CO ₂ -EOR)	●ISを開発中で、2回目のCD投票に向けて準備中。ISO CD27916	IS:2018	

(参考) 国際標準策定手続きの概要



NP:新規項目提案, WD:作業原案, CD:委員会原案, DIS:国際規格原案, FDIS:最終国際規格原案

図7 標準化のスケジュール

ス化、③日本の地層を想定した経済的で安全なCCS技術の開発、④CCS導入のための仕組み、法制度等の整備、⑤CCSの理解増進に取り組んでいくことが必要である。

4.2. CCS導入に向けて明確にすべきこと

今後、CCSの本格導入に向けては、法制度の整備が必要である。しかしながら、EU CCS Directiveのドイツ、ポーランドの移行手続きを見ると、拙速に進めることは避けなければならないと考える。したがって、法制度を整備する前に、関係事業者、国民の理解を十二分に獲得することが不可欠である。この際、理解を得るためには、少なくとも、①CCS導入のため

のインセンティブ、規制等の仕組みの概要、②CCS導入に伴い、関係事業者、引いては国民が負うべき金銭的負担の見込み (CCSのコスト)、③CCSの導入により可能となるCO₂削減量の見込み (CO₂賦存量) を明確にすることが必要である。今後、上記の点を調査、検討して、その結果を提示することが、CCSを進める上で不可欠である。特に、CO₂賦存量の把握は期間と資金が必要であるため、早期の調査開始が望まれる。

5. まとめ

世界の平均気温を一定にさせるためには、CO₂の「累積」排出量を一定にすること、つまり年間のCO₂排出量をゼロにすることが必要である。ゼロエミッションに向けては、ネガティブエミッションが対策の一つとして考えられるが、このためには、CCSとの組み合わせが不可欠である。ゼロエミッションに向けてCCS技術は極めて重要である。

CCSの導入には、経済的に成立する要因が必要である。バウンダリーガム発電所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、また、スライプナープロジェクトは、炭素税等の仕組みの下で実施されている。

海外ではCCS導入のための法整備が進んでおり、今後日本でもCCS導入に必要な法制度を進めていく必要があるが、拙速に進めることは避けなければならない。法制度を整備する前に、関係事業者、国民の理解を十二分に獲得することが不可欠である。少なくとも、①CCS導入のためのインセンティブ、規制等の仕組みの概要、②CCS導入に伴い、事業者、引いては国民が負うべき金銭的負担の見込み (CCSのコスト)、③CCSの導入により可能となるCO₂削減量の見込み (CO₂賦存量) を明確にすることが必要である。