

1.1.5. CCS に対する社会的合意形成のための論理の構造化と知識ベースの整備

1.1.5.1. はじめに

CCS についての信頼醸成 (Confidence Building) のためには、関連する諸分野における専門的知識を知識ベースとして構造化するとともに、異分野間での知識共有と問題解決のための協働を効率的に進めることのできる知識マネジメントシステム (KMS) の構築が重要である。

ここでは、社会のニーズあるいは技術のシーズについての動向を調査・予測し、得られた知識を構造化し (ナレッジマネジメントシステム (KMS) の構築)、これに基づき具体的な研究開発目標を設定するための基礎資料を整備する。

本件は、近年特に我が国で CCS に対する懸念材料となっている CO₂ の地中貯留による誘発地震の発生可能性とその影響に関わる知見を構造化して知識ベースとして整理し、実例に基づいた論拠の構造化を行うことを目的として実施するものである。

地震国であり地殻が圧縮場にある日本列島とその近海において二酸化炭素地中貯留を行った場合、岩盤の亀裂に圧入された流体によって亀裂面の摩擦力が低下し、蓄積された歪みが開放されて地震が誘発される可能性が懸念される。ここでは、CO₂ 地中貯留、ダム、地熱発電や EOR 及び液体廃棄物処分等における誘発地震についての調査から得られる知見を整理し、これに基づき、誘発地震の生ずる可能性あるいは圧入地点付近で生じた地震が誘発されたものであるか否かを判断するための基準及び実際の例 (中越地震等) への適用と関連する論拠の構造化を行う。

1.1.5.2. 誘発地震の生起可能性の判断基準に関する調査

地熱発電に関する米国でのプロトコルや米国科学アカデミーによる調査・検討等に基づき、誘発地震の生ずる可能性あるいは圧入地点付近で生じた地震が誘発されたものであるか否かを判断するための基準について調査を行った結果を以下にまとめる。

1.1.5.2.1. 誘発地震の生起可能性

深井戸への流体注入によって引き起こされる地震活動の多くは、既存の断層帯で発生するとされている[52]。一般に断層の強度は、岩盤の降伏強度よりも小さい。断層面に沿う摩擦力、拘束圧および鉛直応力は、断層活動が生じるかどうかを決定する役割を果たしており、一般的に、断層周辺に作用するすべての応力が断層活動を抑制している。しかし、深井戸への流体注入は、しばしば断層周辺に作用する応力状態を変化させ、地震を誘発するとされる[52]。

地下深部の断層中の流体は、上載荷重に相当する圧力で加圧されている。しかし、流体はせん断強度が小さいため、断層に沿う摩擦抵抗の減少と、地震イベントを発生する断層ブロックのすべりを発生させる。差圧を一定に保った深井戸からの流体注入は、鉛直応力や流体注入層準に作用する拘束圧を減少させ、断層周辺における力学状態を破壊方向に変化させる。そして、既存の断層におけるクーロンの破壊基準に接する応力状態になったときに破壊が生じ、地震が発生する[52]。

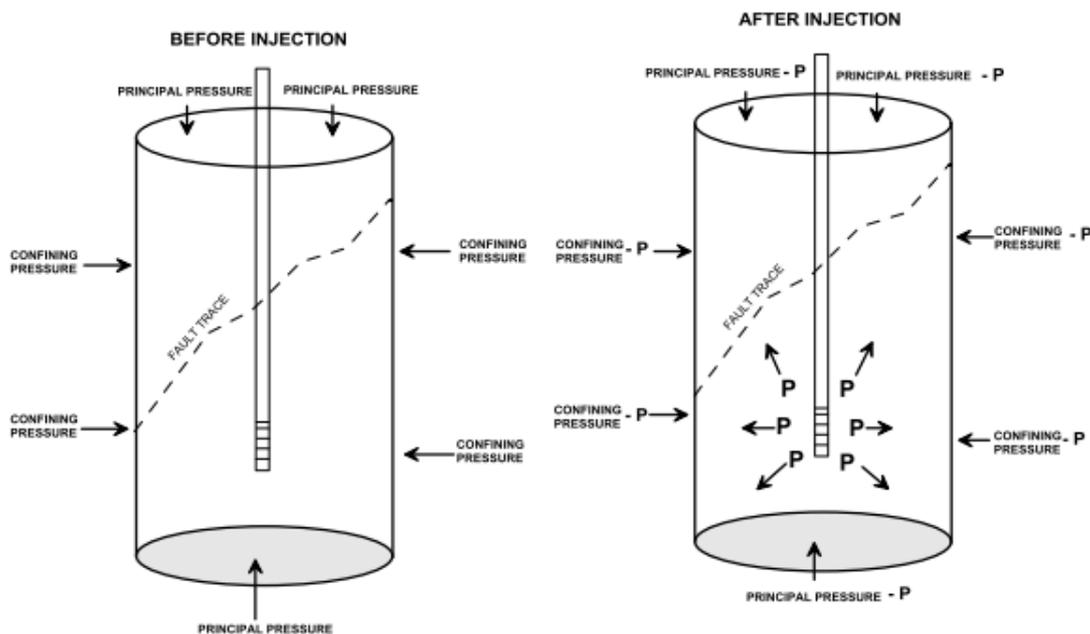


図 1-22 流体注入圧による有効拘束圧と鉛直応力の減少の概念
(出典) Sminchak and Gupta (2000) [52]

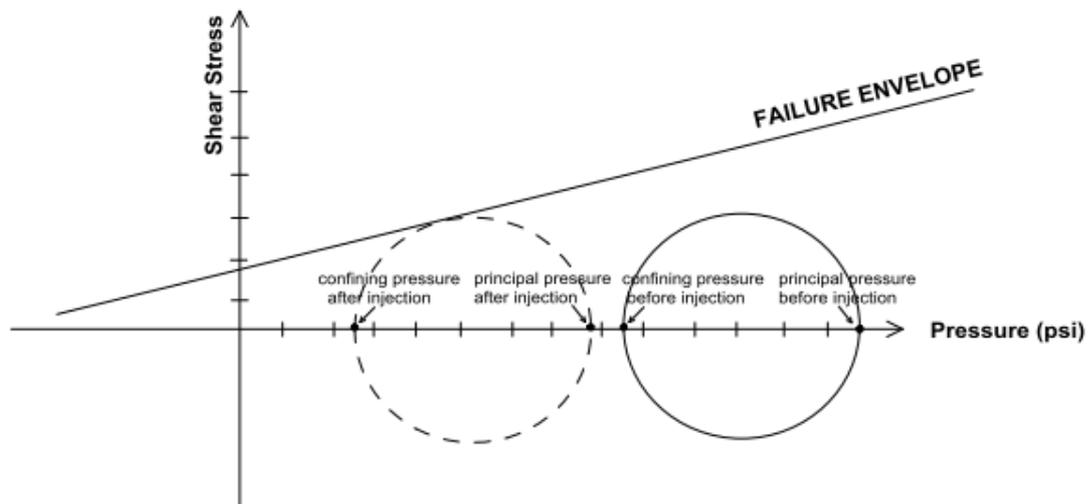


図 1-23 モール・クーロンの破壊基準による地震発生の判断の概念

(出典) Sminchak and Gupta (2000) [52]

流体注入により、拘束圧と鉛直応力が減少し、クーロンの破壊基準に接した時点で破壊（地震の発生）が生じる。

一般的に深井戸への流体注入の開始は、地震発生数を増加させる。流体注入によって誘発される地震の多くは、規模の小さいものであるが、しばしば規模の大きな地震の前震となることがある。流体注入によって誘発される地震は、当該地域における過去の地震活動の傾向に比べて小さい場合と大きい場合がある。例えば、流体注入開始後に多くの地震が発生するが、これらの地震イベントは当該地域における自然地震の規模に比べて小さい。

流体注入によって発生する誘発地震の震源は、注入井を中心とする影響半径内に分布する。一般的に、流体注入の影響範囲は、注入井から数 km から数十 km とされる。1962～1967年のデンバー地震の震源は、注入井の周囲数 km に分布しており、その分布は当該地域の断層の卓越方向とほぼ一致している。また、誘発地震の震源深度は、注入井の孔底下数 km の範囲であるが、流体の注入深度の影響を受けているとされる[52]。

流体注入による誘発地震の発生回数は、流体の注入圧力や注入量と調和的な関係を示すことが知られている。デンバー地震における地震発生回数とそれらの地震を誘発した深井戸における流体の注入量のデータによれば、深井戸からの流体注入を行った 1962～1963年と 1965年に、地震の発生回数が増加している。流体注入により誘発される地震は、地中を伝播する圧力波により誘発される可能性があるため、流体注入時期と誘発地震の発生時期の間には、数日程度の遅れが生じる場合がある。また、注入井における急激な圧力変化が、誘発地震を発生させる可能性がある[52]。

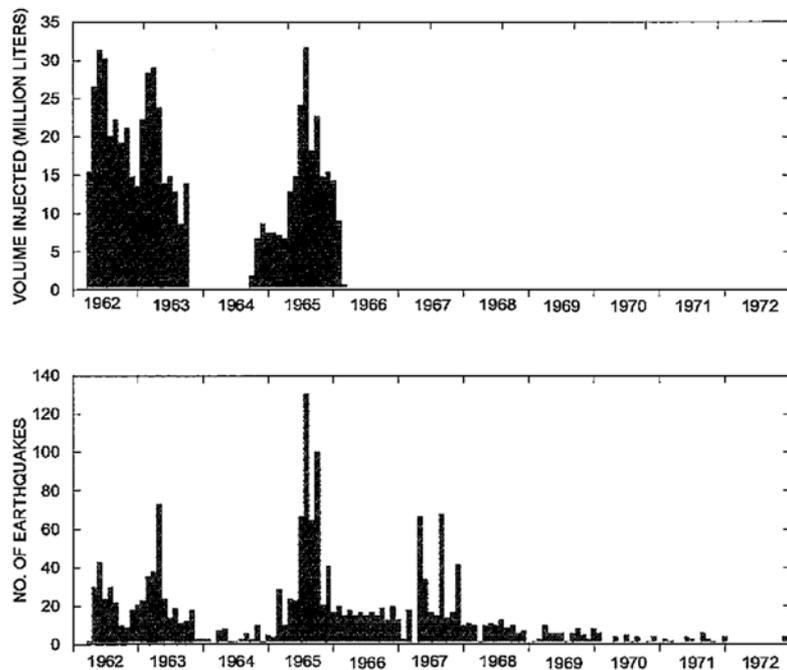


図 1-24 デンバー地震における流体注入量と地震の発生回数の関係

(出典) Hsieh and Bredehoeft (1981) [53]

流体注入時期および流体注入量に調和して地震の発生回数が増加している。

誘発地震と深井戸への流体注入の関連性は、断層に沿う破壊を発生させる臨界流体圧の検討によって示される。断層でのすべり（地震）を発生させ得る状態が流体注入層準で生じるか否かは、モール・クーロンの破壊基準を利用して検討される。しかし、この方法による検討は、断層強度や応力状態の見積に対して仮定を含んでいるため、単純ではないとされる[52]。例えば、Davis and Pennington (1989) [54]によれば、テキサス州での複数地点における事例では、地震活動を誘発するのに対して十分な注入圧で流体注入が行われているにもかかわらず、地震活動が発生していないことを報告している。

1.1.5.2.2. 因果関係の認定に関するチェックリスト

ここでは、前節で述べた誘発地震の生起可能性に関する知見を踏まえ、米国で作成・提案されている地下深部への流体注入と地震発生との間の因果関係の認定に関するチェックリストについてまとめる。

チェックリストは政府、規制機関、サイト運営組織を含むステークホルダーが、地表表層に液体を注入することによって地震が発生する可能性を評価したり、誘発地震の発生を決定づけるための議論を助けるツールとして有効である。二つのチェックリストがあるが、一つは、誘発地震の発生とそれによる懸念事項に関するものである。これは、20年近く前に Davis and Frohlich (1993)[55]によって作成され、「CO₂ 地中貯留が誘発地震を生じさせるかどうか」に関する“yes”あるいは“no”で答える質問が 10 個と、「既存の CO₂ 地中貯留プ

プロジェクトが地震を誘発させたか否か」に関する質問が 7 個ある。二つ目のリストは、過去の地震に関する情報、過去の地震と現在との関係、過去の地震位置と空間的な関係、液体注入の実施状況に関するものである。表は 7 つの質問を列挙したものであり、“yes”という質問は地震を誘発する CO2 地中貯留、“no”という質問は地震を誘発しない CO2 地中貯留である。

表 1-38 CCS と誘発地震間の因果関係を調査するための 7 つの質問

Question		Earthquakes Clearly NOT Induced	Earthquakes Clearly Induced	I Denver, Colorado	II Painesville, Ohio
<i>Background Seismicity</i>					
1	Are these events the first known earthquakes of this character in the region?	NO	YES	YES	NO
<i>Temporal Correlation</i>					
2	Is there a clear correlation between injection and seismicity?	NO	YES	YES	NO
<i>Spatial Correlation</i>					
3a	Are epicenters near wells (within 5 km)?	NO	YES	YES	YES?
3b	Do some earthquakes occur at or near injection depths?	NO	YES	YES	YES?
3c	If not, are there known geologic structures that may channel flow to sites of earthquakes?	NO	YES	NO?	NO?
<i>Injection Practices</i>					
4a	Are changes in fluid pressure at well bottoms sufficient to encourage seismicity?	NO	YES	YES	YES
4b	Are changes in fluid pressure at hypocentral locations sufficient to encourage seismicity?	NO	YES	YES?	NO?
TOTAL “YES” ANSWERS		0	7	6	3

(出典) Davis and Frohlich (1993)[55]

表では二つの注入井戸が評価されている。一つは、前出のコロラド州デンバーの井戸でロッキー山脈アリゾナに位置し、1969 年代半ばに液体注入による誘発地震の影響がみられた。オハイオ州のペーンズビルも農業生産から出された液体廃棄物が注入された **Calcio well** として知られる井戸で、地震を誘発させるものとして調査され、いくつかの不明瞭な点が残ったが、調査を担当した科学者は、観察された地震は過去に地震のあった場所と近いと、液体注入と地震に明確な因果関係はないとしている。

後節では、このチェックリストを我が国の中越地震に適用して検討を加える。

1.1.5.3. 実際の例についての評価事例の調査及び関連する論拠の構造化

前節で述べた判断基準を我が国の中越地震等の実際の例に適用することによって、この地震が当時長岡で行われていた二酸化炭素圧入実証試験によるものではないことについての評価が行われた事例についての調査を行う。また、討論モデルを用いて、その結論を指示する論拠の構造化を行った結果を以下にまとめる。

1.1.5.3.1. 概要

図 1-25 は、前出の誘発地震及び地震影響に関する Safety and Security Pyramid である。この図は、CCS の実施による地震の発生と CO₂ の漏洩に対して取るべき対策を段階的に示したものである。

図 1-25 に示すように、誘発地震に対する対策は地震誘発及び地震による CO₂ 漏洩のメカニズムを科学的に理解することが第一段階として挙げられる。次に、この科学的理解に基づき、自然あるいは誘発された被害地震（人的被害を伴う地震）の可能性の低い適切なサイトを選定することが第二段階の対策である。

第三段階では、CO₂ 注入による周辺岩盤の過度な圧力上昇が広範囲で生じないように、適切な注入計画と予察的解析を実施することとなる。

以上のように策定された実施計画に基づき、適切に管理された安全な操業を実施することが第四段階の対策となる。特に注入圧及び微小振動のモニタリングを実施することにより、操業時の安全性を確保することが第五段階の対策として挙げられている。

第六段階では、誘発地震あるいは地震による漏洩が万が一発生した場合に被害を最小限にとどめるための修復措置を実施し、第七段階では、規制機関による厳格な監視が実施される。

第八段階では、被害が生じた場合の賠償責任の所在を明らかにし適切な賠償を検討することとなる。

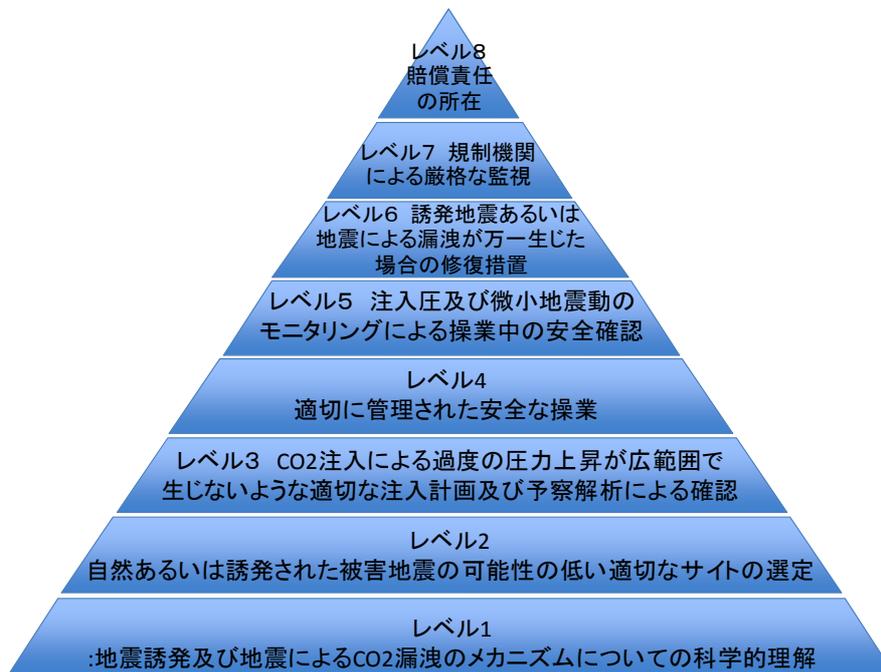


図 1-25 誘発地震及び地震影響に対する Safety and Security Pyramid

1.1.5.3.2. 誘発地震に関する討論モデル

例として、GCCSI における多分野の専門家間での知識共有プロジェクト[56]の一環として作成された、CO₂ 圧入実証試験が実施された長岡市を中心とした中越地方において発生した中越地震は、CO₂ 圧入によって誘発されたものではないという主張に関する討論モデルを紹介する。この討論モデルは、上述した Safety and Security Pyramid のレベル 1～レベル 3 と密接に関係するものである。

図 1-26 に示すように、この討論モデルは、「中越地震は長岡実証試験上での CO₂ 注入によって誘発されたものではない」という主張（青色のボックス）を起点とし、それを支持する論証（水色のボックス）として、「中越地震と同様の地震は当該地域でこれまでにも生じている」、「CO₂ の注入と地震との間に明瞭な因果関係はない」、「CO₂ 注入地点と中越地震の震源の間には位置的な関連性がない」、「CO₂ の注入による圧力上昇は地震を誘発し得るような大きなものではない」という 4 つが挙げられている。

これらの論証の下位には、図 1-27～図 1-34 に示すような再論証や根拠、反証が示されている。



図 1-26 CCS によって地震が誘発される可能性に関する討論モデル

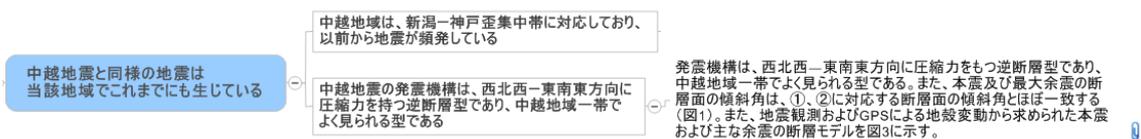


図 1-27 論証「中越地震と同様の地震は当該地域でこれまでも生じている」の根拠と裏付け

図 1-27 の裏付けを表 1-39 に示す。

表 1-39 図 1-27 の裏付け

【根拠】中越地震の発震機構は、西北西－東南東方向に圧縮力を持つ逆断層型であり、中越地域一帯でよく見られる型である

【裏付け】発震機構は、西北西－東南東方向に圧縮力をもつ逆断層型であり、中越地域一帯でよく見られる型である。また、本震及び最大余震の断層面の傾斜角は、①、②に対応する断層面の傾斜角とほぼ一致する(図1)。また、地震観測およびGPSによる地殻変動から求められた本震および主な余震の断層モデルを図3に示す。



図 1-1 本震および余震(M3.0以上)の震央分布
期間:2004年10月23日15時~11月11日09時(気象庁資料)

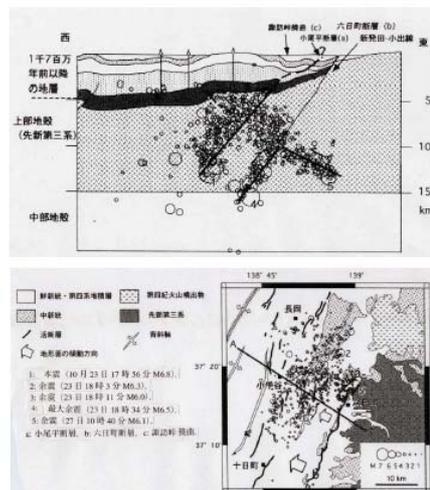


図 1-2 本震および余震の震源(丸印)分布(東西断面)と地殻構造概念図
太い実線は推定震源断層。△印はボーリング位置の断面への投影
大きな丸印の番号(1~5)は、下図の本震および主な余震の番号に対応(地震研究所)

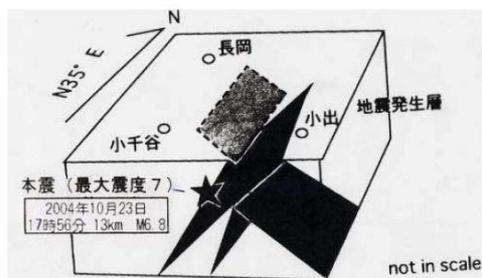


図 3 本震および主な余震の断層の空間配置概念図
空間配置の大まかな概念を示したもの
星印は中心の震源位置を示す(地震研究所資料)

(出典) 溝上恵 (2004) [57]

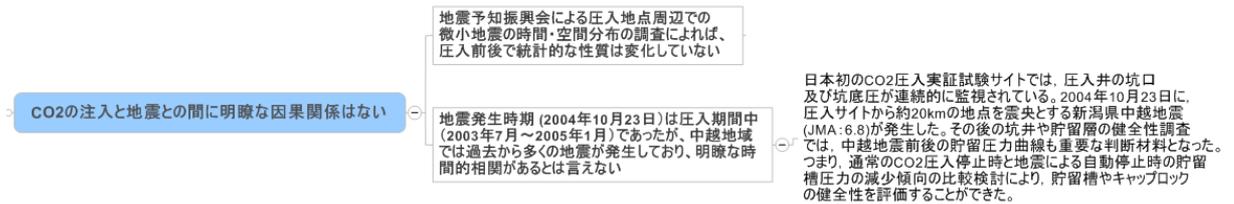


図 1-28 論証「CO2 の注入と地震との間に明瞭な因果関係はない」の根拠と裏付け

図 1-28 の裏付けを表 1-40 に示す。

表 1-40 図 1-28 の裏付け

<p>【根拠】地震発生時期（2004年10月23日）は圧入期間中（2003年7月～2005年1月）であったが、中越地域では過去から多くの地震が発生しており、明瞭な時間的相関があるとは言えない。</p>
<p>【裏付け】日本初のCO2圧入実証試験サイトでは、圧入井の坑口及び坑底圧が連続的に監視されている。2004年10月23日に、圧入サイトから約20kmの地点を震央とする新潟県中越地震(JMA:6.8)が発生した。その後の坑井や貯留層の健全性調査では、中越地震前後の貯留圧力曲線も重要な判断材料となった。つまり、通常のCO2圧入停止時と地震による自動停止時の貯留層圧力の減少傾向の比較検討により、貯留層やキャップロックの健全性を評価することができた。</p>

(出典) 薛自求 (2008) [58]

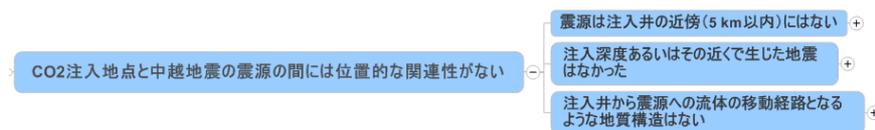


図 1-29 論証「CO2 注入地点と中越地震の震源の間には位置的な関連性がない」の再論証

図 1-30 および図 1-34 では、論証に対する反証を赤字で示している。

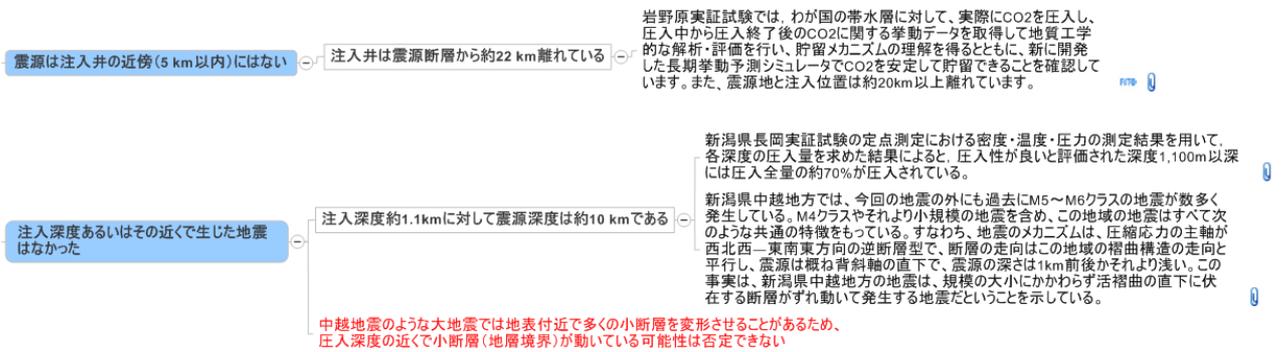


図 1-30 図 1-29 中の論証の根拠と裏付けおよび反証

図 1-30 の裏付けを表 1-41～表 1-42 に示す。

表 1-41 図 1-30 の裏付け (その 1)

【根拠】 注入井は震源断層から約 22km 離れている

【裏付け】 岩野原実証試験では、わが国の帯水層に対して、実際に CO₂ を圧入し、圧入中から圧入終了後の CO₂ に関する挙動データを取得して地質工学的な解析・評価を行い、貯留メカニズムの理解を得るとともに、新たに開発した長期挙動予測シミュレータで CO₂ を安定して貯留できることを確認しています。図 1-31 および図 1-32 に、それぞれ、実証試験地点の地質概要と新潟県中越地震の震度分布を示します。図 1-32 に示すように、震源地と注入位置は約 20km 以上離れています。

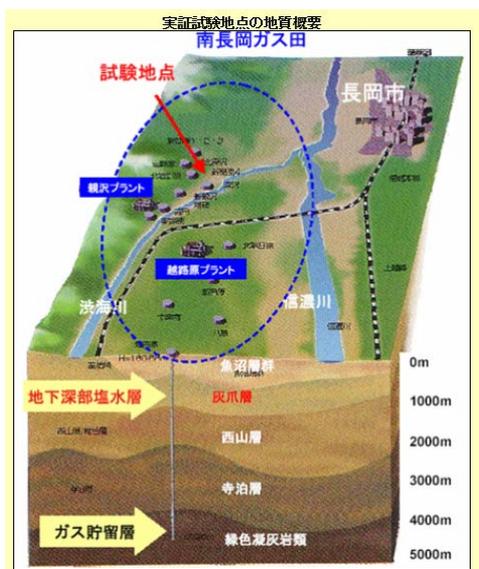


図 1-31 実証試験地点の地質概要

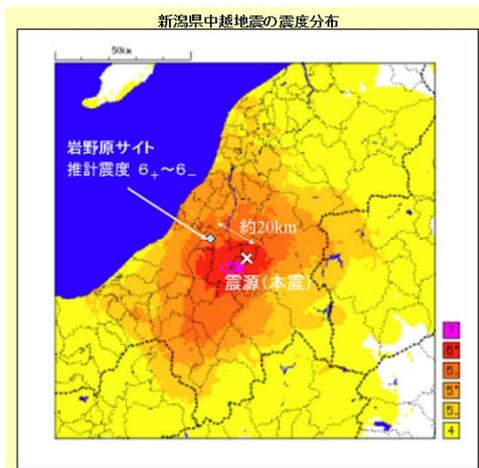


図 1-32 新潟県中越地震の震度分布

(出典) RITE[59]

表 1-42 図 1-30 の裏付け (その 2)

【根拠】 注入深度約 1.1km に対して震源深度は約 10km である

【裏付け】 新潟県長岡実証試験の定点測定における密度・温度・圧力の測定結果を用いて、各深度の圧入量を寄与率で表示したのが図 1-33 である。スピナー回転数のトレンドから、深度 1,096m~1,098m 間及び 1,100m 以深のスピナー回転数の減少率が大きいことから、これらの区間の圧入性が他の穿孔区間と比較して良いと判断できる。これは、降下・巻上げ測定から求めた各深度での圧入寄与率とほぼ同じ傾向であり、定点測定でも同様の結果を得ることができた。図 1-33 右図は、各測定ポイントの平均スピナー回転数の関係から深度別の圧入寄与率を求めたもので、降下・巻上げ測定から得られた寄与率と比較すると、両測定とも同様の傾向を示しているといえる。測定結果から、圧入性が良いと評価された深度 1,100m 以深には圧入全量の約 70%が圧入されている。

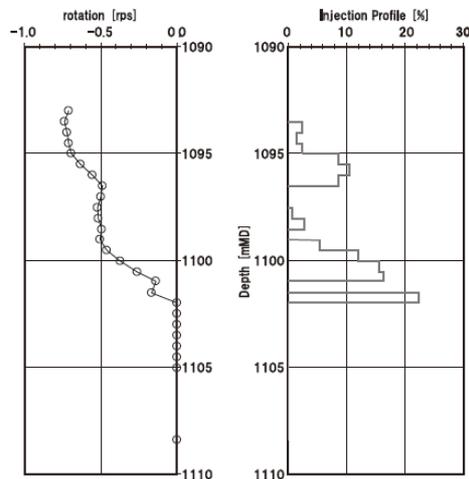


図 1-33 各深度における圧入率

(出典) 君島晋・佐藤章吾 (2008) [60]

【裏付け】 新潟県中越地方では、今回の地震の他にも過去に M5~M6 クラスの地震が数多く発生している。M4 クラスやそれより小規模の地震を含め、この地域の地震はすべて次のような共通の特徴をもっている。すなわち、地震のメカニズムは、圧縮応力の主軸が西北西—東南東方向の逆断層型で、断層の走向はこの地域の褶曲構造の走向と平行し、震源は概ね背斜軸の直下で、震源の深さは 1km 前後かそれより浅い。この事実は、新潟県中越地方の地震は、規模の大小にかかわらず活褶曲の直下に伏在する断層がずれ動いて発生する地震だということを示している。

(出典) 溝上恵 (2004) [57]

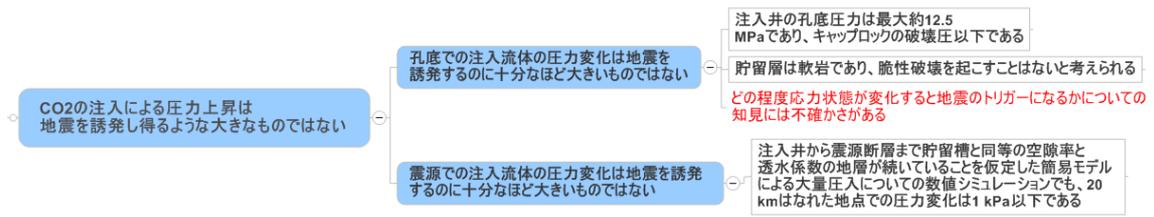


図 1-34 論証「CO₂ の注入による圧力上昇は地震を誘発し得るような大きなものではない」の再論証と根拠および反証

以上の討論モデルの全体像を図 1-35 に示す。



図 1-35 中越地震が二酸化炭素地中貯留によって生じたものではないことについての討論モデル

1.1.5.4. CCS に関する知識ベースの開発に向けて

CO₂ 地中貯留に加えて、ダム、地熱発電や EOR 及び液体廃棄物処分等の地下への大規模な流体圧入を伴う国内外の事業における誘発地震についての既往の知見(地下への流体圧入による地震誘発のメカニズム、誘発地震の事例、誘発地震の監視・制御方法、法制度、及び判断基準等)を整理することにより、前節の事例のように、CO₂ 地中貯留に伴う誘発地震に対する懸念といった特定の問題に対して、構造化された知見を用いて議論を展開することが可能となる。

このような知見やケーススタディを蓄積・構造化して知識ベースとして整理することにより、CCS の有効性を主張し、様々なステークホルダーを対象とした信頼醸成を図ることが可能となる。一方、このような知識ベースを基本とした問題解決に関するアプローチが我が国ではまだ未成熟であり、まずは国際的な議論を経てブラッシュアップすることも有効であると考えられる。

なお、ここで例とした CO₂ 地中貯留に伴う誘発地震というトピックスを対象とした知識ベースの構成は下記のようなものとなると考えられ、それぞれの大項目に個別のコンテンツが含まれるものとなろう。

基本的考え方

誘発地震と影響に関する科学的知見

サイト選定と特性評価

貯留エンジニアリング

安全な操業

モニタリング

修復措置

法規制枠組

法的・財務的責任

1.1.5.5. まとめと今後の課題

専門家や政策決定者の間では、気候変動対策としての CCS の重要性の認識が高まってきてはいるものの、その円滑な導入に対する課題として、資金調達、法規制枠組みとともに常に挙げられるのが社会的合意形成である。CCS に対する社会的合意形成に関しては前節でも触れているが、ここでは、より広い範囲のターゲットを対象とした信頼醸成という目標を置いた上で、各種の認知調査などで必ず懸念事項として挙げられる CO₂ の地中貯留による誘発地震の可能性というトピックに絞り込んで各種のアプローチをケーススタディ的に検討した。

CCS に対する信頼醸成 (Confidence Building) のためには、関連する諸分野における専門的知識を知識ベースとして構造化し、異分野間での知識共有と問題解決のための協働を効率的に進めるための知識マネジメントシステム (KMS) の構築が重要となるという認識は、筆者等の提案へのレスポンスも含めて CCS コミュニティの間に急速に浸透しつつある。例えば、Global CCS Institute においては、知識共有を最重要課題のひとつとしており、そのためのプラットフォーム開発に重点を置いており、EU 等でもこれをベースとしたプロジェクト間の知識共有が行われている。また国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) でも、知識共有或いは KMS に興味を持ち、Global CCS Institute のシステムの導入を検討しているという情報もある。

また、ここで紹介したような、様々なトピックスに対する論証モデルを構築することは、単なる FAQ の作成以上に、特定のターゲットとの対話戦略を検討する上でも非常に有意義であるとともに、知識のギャップを同定し、具体的な研究開発目標を設定するためにも有効である。

環境省において CCS プロジェクトを推進するのであれば、是非、環境政策の中での CCS の位置づけからスタートするといった高次段階から始まる合意形成のための戦略を立案すべきであるし、そのためには、種々の既存情報をただ積み重ねるだけではなく、構造化した形で整理し、その時々ニーズにあった情報を引き出せるような (ネットで何万という検索結果リストが出るようなものでなく) システムを構築していくことも重要と考えられる。

1.1.6. 社会受容性に関する事例調査

1.1.6.1. 成功事例①(豪州 Otway プロジェクト)

(1)プロジェクト概要

表 1-43 Otway プロジェクトの概要

名称	CO2CRC Otway プロジェクト
プロジェクト実施者	<p>CO2CRC</p> <p>【研究者】</p> <p>Geoscience Australia(豪州地球科学機構)、CSIRO(豪州連邦科学産業研究機構)、カーティン工科大学、GNS Science、モナッシュ大学、アデレード大学、メルボルン大学、ニューサウスウェールズ大学、クイーンズランド大学、ウェスタンオーストラリア大学</p> <p>【中核産業・政府】</p> <p>ANLEC R&D、Anglo American、BG Group、BHB Billiton、BP、BrownCoal Innovation Australia、Chevron、Foundation for Science & Technology、Inpex、Schlumberger、QR、Queensland Government、Rio Tinto、Sasol、Shell、Solid Energy Coals of New Zealand、Stanwell Corporation Limited、Total、Victorian Department of Primary Industries、Government of Western Australia Department of Mines and Petroleum</p> <p>【支援者】</p> <p>Department of Resources Energy and Tourism、CANSYD Australia、Meiji University、Process Group、University of Newcastle、US Department of Energy、URS</p>
目的	<p>ビクトリア州南西部の地下 2km にある枯渇ガス田に CO₂ を圧入・貯留することを通じ、政府やコミュニティの期待と調和しながら、CO₂ 地中貯留の技術的・環境的安全を実証することを目指す。本実証プロジェクトの重要な要素は、貯留した CO₂ を包括的にモニタリングして検証することである。</p>
規模	実証プロジェクト
費用	AU\$40 百万

CO2 量	65,000t-CO2
CO2 源	ガス生産井から生産される CO2 が高濃度で含まれるガス (CO2: 80%、メタン:20%) を圧縮し、パイプラインで輸送
プロジェクト期間	2003 年 地質構造の研究 2004 年初め 個別土地所有者とのコミュニケーション開始 2005 年初め 構造的なコミュニケーション活動開始 2005 年 プロジェクト開始 2008 年 4 月 圧入開始 2011 年 Phase1 終了、Phase2 開始 2015 年まで研究を継続予定
パイプライン	2007 年 12 月～2008 年 1 月に、50mm 径・2.25km 長の地中パイプラインを敷設 パイプラインは最大温度 50℃・最大圧力 15MPa で設計
地点選定	比較的純度の高い CO2 が付近で入手が可能なこと、地質が適していること、ポテンシャルがあることから、ビクトリア州の南西部が選ばれた。
サイト選定	2003 年から CO2CRC の地質学者が地質構造を研究した。包括的なサイト選定の結果、サイトの地質が CO2 地中貯留に適していることを確認した。プロジェクトの進行を保障するために、CO2CRC は CO2 生産井と枯渇ガス田をカバーする石油掘削権を購入した。
規制	CO2CRC Otway プロジェクトは、CO2 の生産・輸送・圧入・永久貯留のための規制上の承認を得た。環境・健康・安全上の要件は既存の法制度（一次産業省の石油関連規則、Southern Rural Water の水関連規則、環境保護庁の研究開発・実証条項、環境計画法）の組み合わせにより定義されている。
現在の状況	Phase2（モニタリング研究）を実施中

(出典) P.Ashworth et al.(2010)[62].ほか

(2)コミュニケーション手法

表 1-44 Otway プロジェクトで実施されたコミュニケーションタイプと頻度

コミュニケーションタイプ	聴衆	頻度
ニュースレター (郵便受けへの配布、eメール、プロジェクトのウェブサイト)	すべてのステークホルダー	年に3回または適宜
コミュニティ・レファレンス・グループ (一般公開、開催2週間前に告知、1300家庭の郵便受けにニュースレターを配布)	特定のステークホルダーと興味を持つ一般の人々	3ヶ月に1回、現在6ヶ月に1回、または適宜
パブリック・ミーティング (開催2週間前に告知、1300家庭の郵便受けにニュースレターを配布)	すべての住民	年に3回、現在6ヶ月に1回、または適宜
チラシ、ポスター、パンフレット	コミュニティミーティング、公式・非公式会合、進捗報告、特別なイベント	適宜
パワーポイント・プレゼンテーション	公式・非公式会合、パブリック・ミーティング	適宜
マスメディア報道	地方、州、国のジャーナリスト	定期的な近況報告、特別なイベントの告知
戸別訪問	地域の土地所有者	適宜、初期のプロジェクト契約プロセスでは高頻度
手紙	すべての地域住民(1300件)	実証試験の初期告知、CRG会合の告知、必要に応じて

(出典) P.Ashworth et al.(2010)[62]

(3) コミュニケーションアプローチの分析

Ashworth et al.(2010)[62]によると、コミュニケーション活動で得られた主要な知見として以下の5点が挙げられている。

1. ベースライン理解の獲得
マーケット調査会社に委託してフォーカスグループを実施し、地域コミュニティがCCSをどのように認識しているかについてよく理解することができた。
2. 早期の率先した合意
コミュニティとの合意確保に向けて一致した努力を払うことを優先した。コミュニティの人々と専門用語なしでオープンにコミュニケーションをとり、プロジェクト代表者と一体感を得てもらうために、あらゆる努力を払った。
3. 信頼の確立
プロジェクトの決定的なステップだった。プロジェクトを通じて信頼確立を維持することも優先した。現在行っているオープンで透明なコミュニケーションは、この目標に対して決定的であった。
4. 地域コミュニティ出身の連絡役の任命
当初はキャンベラの本社からほとんどのコミュニケーションをとるつもりだったが、実情はそうではないことにすぐに気がついた。結果的に”Liaison Officer”として地域の代表者を雇い、プロジェクトの連絡窓口とした。この方策は大成功で、”Liaison Officer”は地域で大変尊敬されている。
5. 地域の土地所有者との協定の開発
土地所有者との間でのほとんどの論点は比較的重要ではないが、いざ研究者や技術者がサイトに入ると、いくつかの問題が起きた。そのようなイベントに対して不満や不必要な評判が立たぬよう、CO2CRCはアクセスやサイトの片付けに関する正式なプロセスを適切に開発した。そのような努力は地域コミュニティに高く評価された。

1.1.6.2. 成功事例②(英国 Longannet プロジェクト)

英国 Longannet プロジェクトは、既存の石炭火力発電所の一部に CO2 回収設備を追設し、パイプライン輸送し、北海の枯渇油ガス田へ圧入するというものである。

早期に公衆とのコミュニケーションに取り組み、住民からの支持を得ていたが、経済的な問題から政府からの資金支援が受けられず中止となったプロジェクトである。

(1)プロジェクト概要

表 1-45 Longannet プロジェクトの概要

名称	Longannet プロジェクト
プロジェクト実施者	Scottish Power、Shell、National Grid、Aker Clean Carbon
規模	大規模実証
費用	38.6 百万ポンド (FEED スタディ)
CO2 量	20 百万 t-CO2
CO2 源	330MW 既存石炭火力発電所からの燃焼後回収 (Aker Clean Carbon のアミン吸収液技術)
プロジェクト期間	2007 年 英国政府の実証試験公募に応募 2011 年 FEED (Front End Engineering Design) 完了 2011 年 10 月 政府が財政的な理由から建設段階に進まないことを決定、プロジェクトは中止となった。
輸送	300km のパイプライン
貯留	北海の Shell Goldeneye プラットフォームから枯渇油ガス田へ圧入
地点選定	初期スクリーニングにより、北海中央部の Goldeneye 貯留層が、貯留層の状態・圧力・貯留可能量・入手性のうえで適しているとされている。
現在の状況	中止

(出典) Zero Emission Resource Organisation[63]

(2)コミュニケーション手法

表 1-46 Longannet プロジェクトで使用されたコミュニケーション素材

素材	説明	得られた知見
ブランドロゴ	プロジェクトを一貫して同一のものとして認知できる	公衆の関与が始まる前に完成しておくべき
コミュニケーション戦略	合意すべきステークホルダーの同定、合意する時期、どんな媒体を通じて何を伝えるか、といった計画	共同の計画は、意欲、商業的な目標、文化、およびコンソーシアムメンバーによるコミュニケーションアプローチの範囲を示すべきである。定期的に更新すべき。
メッセージ	プロジェクトのパートナーや委託者との間で明確かつ一貫した情報や Q&A に同意	共同のメッセージは、意欲、商業的な目標、文化、およびコンソーシアムメンバーによるコミュニケーションアプローチの範囲を示すべきである。定期的に更新すべきであり、外部で起きたことを考慮に入れるためにいつも見直すべきである。
パンフレット	広範囲のステークホルダーに配布することを目的とした、プロジェクトの主要な側面の概要	公衆の関与が始まる前に完成しておくべき
立て看板	イベント、会合、相談等においてプロジェクトの主要なメッセージや情報を伝える	内容とデザインはコンソーシアムのメッセージや形式に一致するべき
ウェブサイト	興味を持つステークホルダーに対してプロジェクト情報を提供し、フィードバック/クエリーツールを通じてプロジェクト参加者とコミュニケーションをとる	FEED 期間中はコンソーシアムのウェブサイトは必要ないと判断した。各参加者は各組織において CCS の内容を含むウェブサイトを持っており、 FEED のコミュニケーション要件としては十分だと判断した。コミュニケーションチームは定期的にコミュニケーションツールを見直し、詳細な同意プロセスに進むにつれ、ウェブサイトはコンソーシアムのメッセージや形式に一致するように作成されるのが適当だろう。
図表	広範囲の目的やステークホルダーに対するプロジェクトの視覚的な説明	広範囲のステークホルダーにプロセスを説明するための一そろいの図表は、コンソーシアムのメッセージや形式に一致させ、できるだけ早く準備するべきである。パイプのサイズや貯留エリアの深度について、公衆の心配を引き起こさないよう、常に図表は縮尺するべきである。

(出典) ScottishPower CCS Consortium(2011)[64]

(3)コミュニケーションに関する教訓

ScottishPower CCS Consortium(2011)[64]によると、コンソーシアム外部へのコミュニケーション手法について以下の教訓が示されている。

1. コンソーシアム外部とのコミュニケーションへの一般的なアプローチを定義する強力なコミュニケーション計画を構築する

プロジェクト開発者は、CCS と実証プロジェクトに対する公衆認知を増進するとともに、CCS 実証プロジェクトに興味を持ち支持してくれるスポンサーを維持することを目的として、コミュニケーション計画を構築すべきである。

実証の初期段階においては、たくさんの研究や設計作業が進んでいる間は、公衆への露出は比較的強く維持しておき、逆に政治的な関与に重点を置くことが勧められる。

2. 第三者機関は優れたコミュニケーション資源であり可能な限り深めるべきである

以下のステークホルダーは価値のある第三者機関である：

政治家（地域、国家、欧州レベル）

メディアの主要な意見形成者

労働組合や環境非政府組織のような影響力のある人々

コミュニティ議会代表者や地方会員組織等の意思決定者

3. パブリック・ミーティングにおけるコミュニケーションは、特定の聴衆の懸念や興味を取り扱うために行うべきである

パブリック・ミーティングにおいては、CCS のコンセプトに対する公衆の理解や支援を高めることと、ミーティング参加者に影響を与えるであろう CCS チェーンの各要素を強調することとを、バランスをとるべきである。プロジェクトの革新的な性質を強調しすぎると、地方の関与を「オーバーヒート」してしまう危険があるため、プロジェクト開発者はこれを避けるべきである。

コンソーシアムの経験としてわかったことは、気候変動緩和における CCS の必要性に関するメッセージは、地方のステークホルダーに対して特段の影響を与えず、地方

のステークホルダーはむしろ、CCS がもたらすであろう地方経済の機会や技術的な長所に関心を持っているということである。

1.1.6.3. 失敗事例(オランダ Barendrecht プロジェクト)

Barendrecht プロジェクトは、オランダのロッテルダム近郊にある Barendrecht 市（人口 44,000 人）における、水素製造プラント（石油精製設備）から CO₂ を回収し、陸域の枯渇ガス田に貯留するプロジェクトである。

(1)プロジェクト概要

表 1-47 Barendrecht プロジェクトの概要

名称	Barendrecht プロジェクト
プロジェクト実施者	Shell
規模	小規模実証プロジェクト
費用	費用に関するデータはない。 政府が 30 百万ユーロを補助している。
CO ₂ 量	約 10 百万 t を貯留する計画
CO ₂ 源	ガス化水素プラント由来の純粋 CO ₂ 流
プロジェクト期間	最初のフィールドでの圧入は 2011 年に開始し 3 年間実施する予定。 2 番目のフィールドでの圧入は 2015 年に開始し約 25 年間継続する予定。
パイプライン	36cm 径鋼管パイプラインが排出源から最初のガス田まで 16.5km 建設される計画。2 番目のガス田までは 3.5km 延長される。
サイト選定	サイトは、排出源への近接、地中貯留コンプレックスの適性、CO ₂ を既存坑井を通じて圧入する可能性、最初の小さいガス田を充填する可能性、圧入期間(3 年間)を通じてモニタリング可能であること、を基礎として選定された。
地点選定	地点は適した貯留サイトの存在をもとに選定されている。
規制	環境影響評価が政府のガイドラインに従い、プロジェクトがサイト労働者と地元住民の両方にとって許容可能なリスクレベルであることを結論付けた。騒音、廃棄物、交通量増加の影響もまた、無視できると理解されている。

(出典) Feenstra et al.(2010)[65]

(2)プロジェクト経過

表 1-48 Barendrecht プロジェクトの経過

2007年4月	環境大臣が国内 CCS の入札のための予算を確保
2008年2月	Shell が Barendrecht にて最初の地元説明会を開催
2008年11月	Cramer 大臣が Barendrecht プロジェクトの採択を公表
2008年2月～	メディアによる CO2 の恐怖についてのネガティブな報道が増大
2009年1月	Shell が環境影響評価書を公表
2009年2月	Barendrecht において感情的な説明会が報道される
2009年4月	環境影響評価書がわずかなコメントのみで当局により承認される
2009年5月	Cramer 大臣がプロジェクト決定を 2009年10月まで延期
2009年6月	Barendrecht 町議会が CCS プロジェクト反対を決議
2009年11月	担当大臣が追加調査の後に進める
2010年1月	議会がプロジェクト中止提案を否決するも、大臣にプロジェクト条件の修正を要請
2010年3月	「CO2 が Barendrecht の地下で爆発する」という非常にネガティブなメディア報道。選挙を前にして政治的な支持が減少。
2010年4月	政権が選挙前に「最終」判断を下さないと表明
2010年5月	議会がプロジェクト中止提案を否決
2010年11月	新政権がプロジェクト中止を決定

(出典) Ir.Christiaan Luca(2010)[66]

(3)プロジェクトの中止要因

地球環境産業技術研究機構(2012)[67]によると、プロジェクトの中止要因は以下のとおりである。

・プロジェクトの背景情報

2008年春に開催された2回の住民説明会において、中央政府の関係者から国としての見解や同プロジェクトの意義、国の関連政策などが十分に説明されなかった。

1回目の説明会には政府関係者が出席したがその役割は限定的となった。

情報センターの開設や圧入サイトへのツアーは、住民への中立的な情報提供を目的としていたが、Shell社による事業推進のための活動と受け取られた。

・初期段階での住民参加

排出源、輸送ルート、貯留サイトに提案以外の選択肢が用意されておらず、意思決定プロセスに住民参加の余地がなかった。

・地域利益

Barendrechtプロジェクトによる地元の利益は皆無であった。

Shell社は住民説明会において同社も利益を得ることはないことを説明したが住民は信じて、逆に不信感をあおる結果となった。

・推進側の対話姿勢

政府によるRCR規制の導入は実質的に地方自治体による決定権を奪うことになり、自治体側の不信感を増幅させた。

EIA報告書は地方自治体を中心とした100項目を超えるプロジェクトへの懸念と要求に十分に答えていないなど、地元自治体や住民の懸念等を十分に払拭できなかった。

(4) コミュニケーションに関する教訓

Feenstra et al.(2010)[65]によると、ステークホルダーとコミュニティとの間のコミュニケーションについて以下の教訓が示されている。

1. コミュニティと地元ステークホルダーを含む、すべてのステークホルダーは、相互の信頼関係と、プロジェクトと一緒に開発するプロセスを創造するために、プロジェクトの早期に関係をもつべきである。
2. すべてのステークホルダーとコミュニティの価値・要求・意見が定義され、それらはプロジェクト計画を議論する際に考慮されるべきである。これはまた、プロジェクト開発者による適応の余地の無い一方通行の解決策だけではないことを意味している。妥協点を捜し求めプロジェクト計画に組み込まなければならない。
3. プロジェクトの変化、過程、手続き、ステークホルダーの観点からの要求を議論するために、通常の公式または非公式な接触がすべてのステークホルダーに対して行われるべきである。
4. ステークホルダーは実際の CCS プロジェクトを議論するばかりでなく、可能な代替案やより大きな CCS の背景についても議論すべきである。議論の対象としては、なぜ CCS が必要か（気候変動）、他にどんな CCS プロジェクトが存在するか、国内または国際的にどんな政策があるか、このプロジェクトがより大きな背景にどんな貢献をするのか、がある。
5. コミュニティ（住民）に対するコミュニケーションは、コミュニティの特定のニーズにこたえるものでなければならない。これらのニーズは、コミュニケーションを開始する前に詳細に検討されなければならない。詳細検討の成果に基づき、正しいコミュニケーション素材、経路、提供者が選択される。Barendrecht プロジェクトからは、下記の要素が詳細検討されるべきだったと学ぶことができる。
 - 気候変動、CO₂ の特徴や効果、既存の CCS 政策、及び特定のプロジェクトについての既存の知識

- プロジェクトの技術的・経済的・環境的要素に関する情報のニーズ（及び詳細度）
- プロジェクトに関連する、既存の住民の（及び国民の）議論または論争
- 関連するステークホルダーやコミュニケーションとの（歴史的な）関係のイメージや位置づけ

6. メッセージの伝え手はコミュニティから信頼されなければならない。信頼されないステークホルダーからのメッセージは住民から信頼されることはないだろう。

1.1.6.4. まとめ

前項までで整理した成功事例・失敗事例から、社会受容性獲得において留意すべき点は以下のとおりである。

- コミュニケーションを開始する前に、コミュニティが CCS をどう認識しているかを理解すること
- プロジェクト計画の初期段階で、コミュニティとの信頼関係を構築すること
- コミュニケーションにおいては、特定のプロジェクトのみならず気候変動対策といった大きな背景を含めて議論すること

1.1.7. CCS 実用化促進のための制度整備に関する調査

昨今の世界的な景気低迷の影響等により、多くの CCS プロジェクトがここ数年の間に凍結又は中止されている。しかしながら、欧米は依然として主要な CO₂ 排出圏であり、CO₂ の大幅な削減が可能な CCS の導入を推進に向けた様々な法制度やインセンティブプログラムが整備されつつある。

これらに関する 2013 年初頭までの動向については、「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト／発電から CO₂ 貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー／全体システム評価（発電から CO₂ 貯留に至るトータルシステムの評価）成果報告書（平成 25 年 4 月）[68]」に、産業技術総合研究所による調査結果が記載されている（第 8 章-第 5 部）。以下では、その後の主なトピックスについて概要を報告する。なお、調査は主として Global CCS Institute の発行した、「Global Status of CCS 2013（2013 年 10 月）[69]」、及び「Global Status of CCS - February 2014（2014 年 2 月）[70]」に基づく。

1.1.7.1. 米国

米国においては、石油増進回収への CO₂ の利用（CO₂-EOR）が数十年に亘り実施されており、条件の良いプロジェクトであれば、増産される石油の販売により、CO₂ の回収・輸送・圧入に要するコストが相殺されて余りある利益が得られるという経済的メリットがあるため、回収 CO₂ を EOR に利用するプロジェクトが数多く見られる。なかでも、2014 年中に稼働開始が予定されている Boundary Dam 及び Kemper という二つのプロジェクトは、世界でも初の商用規模の石炭火力発電所を対象とした CCS プロジェクトとなる。

これらのプロジェクトの進展や主として US DOE による R&D の支援と並行して、CCS を巡る法規制枠組みに関しても様々な動きがある。

2014 年 1 月 8 日、EPA は新設の石炭および天然ガス火力発電所からの CO₂ の排出を制約する NSPS (New Source Performance Standard) 規則案を公表し、米国内のみならず国際的にも多くの注目を集めているが、規制案の根拠としている技術的内容に対して強い疑義が表明されるなど、規制が発効するかどうかは予断を許さない状況にある。

一方、UN EPA では、CO₂ の地中圧入に関するガイダンスに関しても検討を進めており、2013 年 12 月には、火力発電所や工業プラントから回収され UIC Class VI 井（CO₂ 圧入用の井戸）に圧入される CO₂ を、人間の健康や環境に著しいリスクを及ぼすものではなく規制から除外すべきと判断し、資源保全回収法（RCRA）の規定する危険廃棄物から条件付きで除外した。また、同時に、油ガス生産用（EOR を含む）の Class II 井を Class VI 井に移行させるためのガイダンスの草案を発表しコメントを求めている。これについては、新たな義務を負うことなく EOR を CCS と見なすべきと主張する産業界から異論が出ている。

1.1.7.2. 欧州

欧州委員会（EC）は「エネルギーロードマップ 2050」において、重要な CO2 対策技術としての CCS が 2030 年以降に広範に展開されることを想定していた。しかし、当初は EU 内で 12 件以上と想定していた大規模実証プロジェクトの実施目標の達成は困難に直面しており、EC はこの状況に対応するため、2013 年 3 月に諮問通達（Consultative Communication on the Future of Carbon Capture and Storage in Europe[71]）を発行し、CCS 実証プログラムの再活性化と CCS の導入促進方策に関する助言を求めた。これに対し、『Global CCS Institute や、ENGO Network on CCS（NGO のネットワーク）を始め、産業界などからも数多くの意見が寄せられた。その内容については、2013 年中に DG Energy の Web サイトで公表される予定である【DG Energy 担当者の言。但し、2014 年 3 月 20 日現在、公表されていない。】』

欧州大陸諸国では計画されていたプロジェクトのキャンセルや保留が相次ぐ中、英国は、商用規模の CCS プロジェクトの FEED への公的資金の出資を決定するなど、堅実な技術開発の支援を継続するとともに、CCS の大規模実証や導入普及を目指した様々な制度を検討・実施してきており、そのプロセスや結果は我が国にとっても大いに参考になると考えられるため、過去からの経緯を含めて詳細に見ることとする。

1.1.7.3. 英国

1.1.7.3.1. CCS 指令関連法整備

1) Electricity Act 1989

英国では、CCS 指令が求める CCS Ready（以下、「CCR」という。）への対応として、発電所の立地等に関する既存国内法である「1989 年電気法（Electricity Act 1989）」が改正された。これにより、2009 年 4 月以降に出力 30 万 kW 以上の火力発電所（石炭火力発電所の場合は出力 5 万 kW 以上）1に係る新設又は増設を計画する事業者は、発電所設置許可をエネルギー・気候変動省（Department of Energy & Climate Change：以下、「DECC」という。）に申請する際に、当該発電所が CCR であることを証明するよう義務付けられた。CCR についての明確な定義は国際的には確立してはいないものの、DECC は、下枠に示す 7 つの要件をすべて満たすことを要求している。

¹ この出力基準は同種類の発電プラントの合計で換算される。例えば、3 万 kW の石炭火力発電所を三基設置する場合は、三基すべてが CCR である必要がある。一方で、90 万 kW の発電所のうち 80 万 kW 相当分が石炭火力発電所で、10 万 kW は天然ガス火力発電所である場合は、石炭火力発電所のみを CCR とする必要がある。

CO2 回収施設の追設（レトロフィット）用地確保

回収施設の追設に必要な用地を、発電所敷地内又はその隣接地に確保していることを証明する。ただし、必要な用地面積は、発電所の出力等を考慮し、申請者が用地面積を決定する。

CO2 回収施設追設の実行可能性評価

許可申請時点で採用を予定している回収技術を明示し、その採用に技術的な障壁がないことを証明する。また、その回収施設は、当該発電所から排出される CO2 のうち何割回収可能かを示す。

CCS の経済的実行可能性評価

CO2 回収施設追設から貯留に至るまでの一連の行為に係る経済的実行可能性を評価し、CCS の実施に経済的な障壁がないことを証明する。ただし、評価手法は申請者が独自に決定することができる。

沖合貯留層の提示

英国貿易産業省(Department of Trade and Industry : 以下、「DTI」という。)による英国の沖合貯留層に係る評価報告書[72]において CO2 の貯留が「現実的」又は「実行可能」と評価された貯留層から 2 ヶ所以上の貯留候補地を提示し、それらが貯留予定量のすべてを貯留可能であることを証明する。DTI の報告書以外の調査結果を参照する場合は、その調査結果が DTI の調査と同等の確実性を持つことを証明する。

CO2 輸送の技術的実行可能性評価

発電所から海岸までの輸送経路の詳細を示し、その経路上に存在する環境上又は安全上の懸念を特定する。ここで示された経路が自然保護区域等に影響を与えることが予想される場合は、影響の低減策を示す。

有害物質取扱い許可の取得

CCS を実施するために発電所に持ち込まれることが見込まれる有害物質(Hazardous substances)の取扱い許可を取得する。

報告義務

当該発電所の操業から3ヶ月以内、及び以後 CCS を導入するまで2年ごとに、CCR 要件を維持していることを報告する。

2) Energy Act 2008

英国政府は、EU CCS 指令によって各加盟国が義務付けられている CCS 許認可制度の整備への対応として、石油生産に係る許認可制度を定める「2008年エネルギー法 (Energy Act 2008)」を改正した。続いて同政府は、許認可制度の詳細を示した規則となる「Storage of Carbon Dioxide (Licensing etc.) Regulations 2010」を定め、2010年10月から運用を開始している。こうした法整備により英国は、EU 加盟国の中で最初に CCS 指令への対応が完了している。

英国の CCS の許認可制度は4つのステージ (stage) により構成されており、これまでの石油生産等の経験から貯留サイトに係る知見を有する既存の事業者と、地層探査等により貯留サイトの選定作業が必要な新規事業者とで必要となる許可が異なる (下枠)。

ステージ 1 (初期探査)

事前調査により貯留サイトの選定が必要となる新規事業者は、「石油法 (Petroleum Act 1998)」の探査ライセンスを DECC より取得する。このライセンスを取得した事業者は、弾性波探査、重力探査、磁気探査、コアサンプル採取、及び 350m 以浅の浅部掘削調査を行うことが可能となる。

ステージ 2 (深部掘削調査及び圧入試験)

ステージ 1 での調査に加えて、圧入等の実証試験を行う事業者は、「貯留ライセンス (Storage licence)」を DECC に申請する。さらに事業者は、試験の対象サイトをクラウンエステート²よりリースするよう求められる。

ステージ 3 (CO₂ 貯留)

貯留サイトが決定し CO₂ 貯留を開始する事業者は、「貯留許可 (Storage permit)」を DECC へ申請する。既に石油生産等に従事し、貯留サイトの知見を有する事業者は、事前調査活動 (ステージ 1 及び 2) を経ることなく、貯留ライセンスの申請が可能となっている。

ステージ 4 (サイトの閉鎖及び貯留許可の終了)

² 英国領を管理する議会の管轄下にある組織。

CO2 貯留を終了し施設を閉鎖した事業者は、政府に長期責任が移行するまでの閉鎖後期間（postclosure phase）にわたって、モニタリング等を実施する。なお、エネルギー法では閉鎖後期間の年数は明示されていないものの、目安として CCS 指令と同様の 20 年を例示している。

3) Electricity Market Reform

英国は、2050年までにCO₂排出量を1990年比で80%削減する目標を設定している[73]。しかしながら、同国には10年以内に廃炉となる発電所が多数ある一方で、電力需要と電力価格は増加すると見込まれている。こうした課題は既存の電力市場の仕組みでは対処できないとの合意が同国政府内で形成され、2011年に政府は、電力市場の改革を行うべく「Electricity Market Reform」を発表した[74]。この施策は、炭素価格を安定させ低炭素化技術への投資促進を目的とした6つの戦略によって構成されており、2012年から2014年にかけて、これら戦略を実施するための法整備が進められることとなっている。以下に本施策を構成する戦略のうち、CCSに関係するものについての概要を整理する。

①Carbon Price Floor

英国を含むEU圏では、EU ETS指令に基づき排出権取引(ETS)が行われており、英国内の発電所から排出されるCO₂についても、EUの炭素市場において取引されている。しかしながら、発電事業は、投資判断を下してから実際に発電を開始し排出権取引による利益が発生するまでのリード時間が長く、投資家にとっての不確定要素が大きい。英国政府は、現在のEU ETS制度ではこの不確定要素への対応が不十分との認識から、炭素価格を長期的に安定させ投資を促進すべく、2013年4月1日以降に市場で取引される炭素価格に最低価格を設ける「Carbon Price Floor(以下、「CPF」という。)」制度を導入するよう決定した[74]。

制度開始時のCPFは15.70ポンド/トンに設定され、2020年に30ポンド/トン、2030年に70ポンド/トンまで引き上げられることとなっている(図1-36)。なお、英国政府は、2013年度にCPFに要する政府の補助額³は、4.94ポンド/トンになると予測している。

³ 2013年度のEU ETS市場におけるCO₂の取引額と、同年度に英国政府が設定する最低価格の差分。

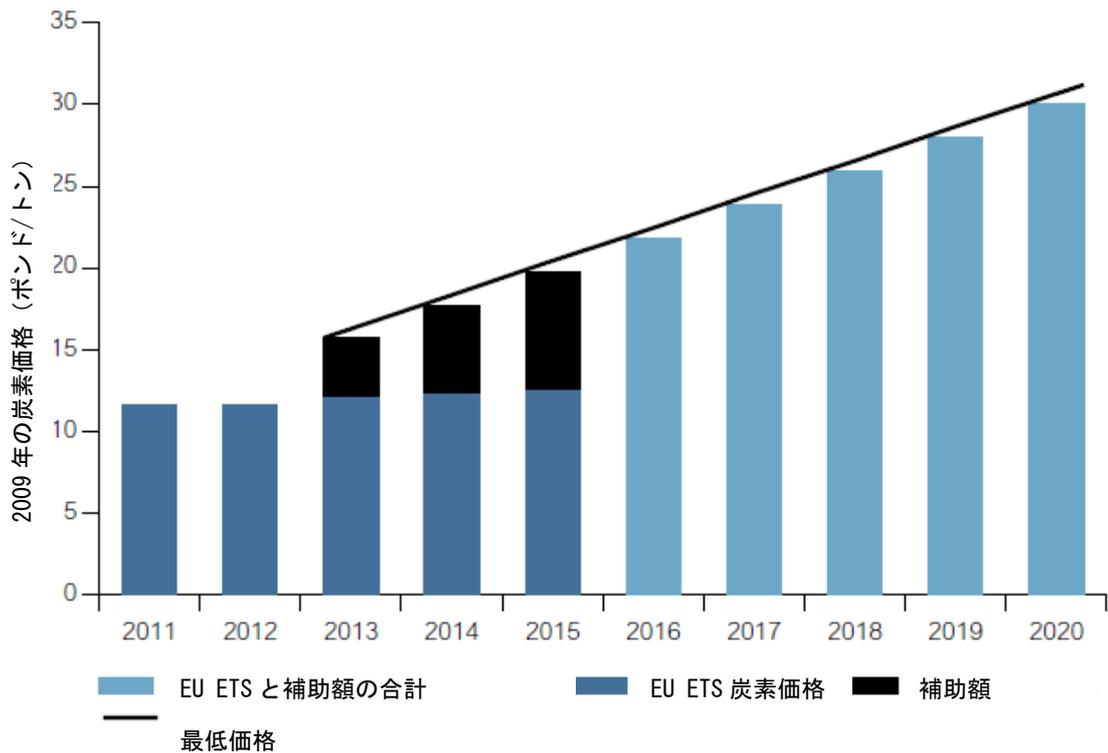


図 1-36 炭素の最低価格 (CPF) の推移

(出典) DECC (2011) [74]

② Feed-in Tariffs with Contracts for Difference

英国政府は、CPF 単独では先述の CO2 削減目標を達成するに足る投資を促進することは難しいとの考えから、固定価格買い取り制度と差金決済取引制度を組み合わせた「Feed-in Tariffs with Contracts for Difference (以下、「FiT CfD」という。))」を CPF と併用で実施することとしている[74]。FiT CfD を実施することにより、事業者が一定の利益を確保することが可能となると同時に、消費者は過剰な支出を抑制することが可能となる。

FiT CfD では、電力事業者と消費者の間で電力価格 (tariffs) が締結されることとなる。この契約における電力価格は、行使価格 (strike price) と呼ばれ、この価格を超える支払いを行った消費者は、行使価格との差額分について事業者から払い戻しを受けることが可能となる。一方で、実際の電力価格が行使価格よりも低い場合、事業者はその差額分を政府から受け取ることが可能となる (図 1-37)。

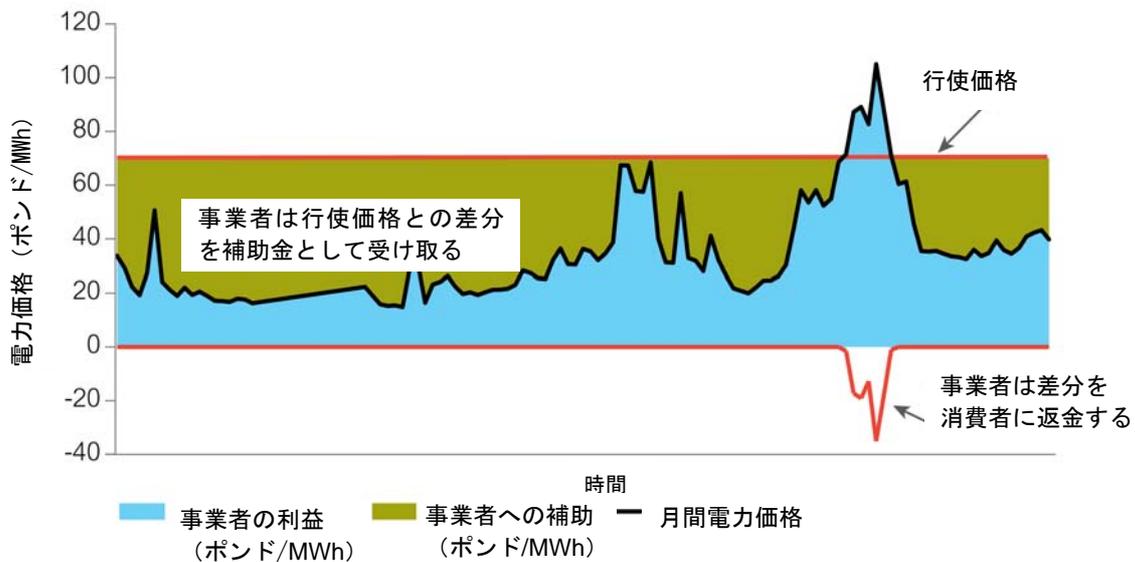


図 1-37 FiT CfD の仕組み

(出典) DECC (2011) [74]

この制度では、行使価格と実際の電力価格との差額が事業者の利益及び政府の負担額を決定することから、発電種毎の特徴を勘案しつつ行使価格を決定する必要がある。すなわち、発電事業は、石炭火力発電に代表される一定の出力で発電を続けるもの (Baseload) と、風力発電に代表される人為的な発電量の操作が困難なもの (Intermittent) に大きく分類されるが、これらの違いを理解したうえで更に、価格の基準とすべく電力市場 (現物や先物市場等) と期間 (週や月等) 及び指標の精査が必要となる。

例えば、「Baseload 発電」は長期的な出力予測が可能な一方で、「Intermittent 発電」はごく短期の予測にしか対応できない。また、再生可能エネルギーを主なエネルギー源とする「Intermittent 発電」と違い化石燃料に依存する「Baseload 発電」は、原油価格等に電力価格が大きく左右される可能性がある。このため英国政府は、発電種毎に異なる行使価格を適用するよう検討している。

③ Emissions Performance Standard

上記のとおり英国では、新規火力発電所に CCR を義務付けることで、今後も火力発電を維持して行く方向性を示している。これに加えて英国政府は、CCS 実証試験が行われている発電所を除く、5 万 kW 以上の発電容量を持つ化石燃料の新規火力発電所の CO2 排出量に、450g/kWh の EPS を設定することを決定した。

1.1.7.3.2. インセンティブプログラム

英国では、EEPR や NER300 等の、EU を主体とするインセンティブプログラムに加えて独自のプログラムを実施又は計画しており、以下にそれらの概要を説明する。

1) R&D and Innovation Programme 2011-2015

英国政府は 2011 年、2020 年代までの商用規模 CCS の展開に向けた研究開発を促進すべく、総額 1 億 2,500 万ポンドに及ぶ資金援助策となる「R&D and Innovation Programme 2011-2015」を発表した。このプログラムは、DECC を含む複数の政府系機関により運営され、基礎研究事業（4,000 万ポンド）、開発・応用研究事業（3,000 万ポンド）、及び実証事業（5,500 万ポンド）の 3 つの事業分野を支援対象としている。支援を受ける事業者は、各機関が実施する公募によって選定されることとなっている。

なお、このプログラムの下では現在、DECC が主導する総支援額 2,000 万ポンドの開発・応用研究事業に係る「£20 million innovation competition」に係る公募が予定されている [75]。支援対象事業者は、2012 年 8 月 31 日に決定されることとなっている。

2) CCS Commercialisation Programme

上述のインセンティブプログラムに加えて英国政府は 2012 年 4 月、CCS 事業者への新たな資金援助策となる「CCS Commercialisation Programme」を発表した。このプログラムの総予算は 10 億ポンドに設定されており、資金援助を通じて CCS に係るコストを他の CO2 削減技術と競争可能なレベルにまで引き下げ、2020 年までに商用 CCS を展開することを目的としている。支援対象のプロジェクトは、同年 4 月以降に実施される競争入札により決定されることとなっており、入札公募時に事業者の詳細要件が公表される予定となっていた。

この公募の結果、White Rose CCS Project、および Peterhead CCS Project の 2 件の FEED に対して予算配分されることとなった。前者は、既存の天然ガス火力発電所に回収プラントをレトロフィットし、年間約 100 万トンの CO2 を回収する、世界初の天然ガス火力発電/CCS プロジェクトであり、後者は、酸素燃焼 CO2 回収技術を用いた最新鋭の効率を有する石炭火力発電所を新設するもので年間回収量は約 200 万トンとなる。

1.1.7.3.3. 2013 年英国エネルギー法

2013 年 12 月 18 日、2013 年英国エネルギー法は女王の裁可を得て発効した。本法は、老化したエネルギーインフラのリプレースのために英国で行われている投資と広汎な電力市場の改革を支援することを目的とした法的枠組を提供するものである。

この法では、前述の CfD の枠組みに CCS を組み込むこと、及び CCS 無しでは新規の石炭火力発電所の建設が事実上不可能となる EPS の導入が定められている。

1.1.8. 参考文献

- [1] 総合科学技術会議. “環境エネルギー技術革新計画 (2013 年 9 月 13 日改訂版)”
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/kankyoene/keikaku.pdf>
- [2] 高木正人. CO₂ を分けるー CO₂ 分離回収の原理と技術動向ー. 生産と技術. 2012, 第 64 巻, 第 1 号, p.25-29.
- [3] IEA. “Technology Roadmap -Carbon capture and storage”. 2013
- [4] エネルギー総合工学研究所、NEDO 委託事業. “火力発電プラントからの CO₂ 回収システムに関する調査”. 1992
- [5] 飯嶋正樹・長安立人・上條孝・中谷晋輔. “当社の省エネ CO₂ 回収技術と海外石炭焚き火力発電所からの大規模 CO₂ 回収貯留実証試験”. 2011, 三菱重工技報 Vol.48 No.1., p.24-29. <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/481/481024.pdf>
- [6] IPCC. “Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage”. 2005
- [7] IEA. “Cost and performance of carbon dioxide capture from power generation”. 2011
- [8] RITE. “平成 17 年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 “二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書”. 2005
- [9] 東芝. “CO₂ 分離回収”.
http://www.toshiba.co.jp/thermal-hydro/thermal/approach/ccs/index_j.htm
- [10] CESAR. “PROJECT FINAL REPORT Final report Publishable summary - CESAR 213569”.
<http://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/CESARFinalReport31May2012.pdf>
- [11] ALSTOM.” Mountaineer Validation Facility (MVF) “.
<http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/aep-mountaineer-usa-ccs-validation-facility.pdf>
- [12] Powerspan. “ECO₂ Pilot Facility at Coal-Fired Plant”.
<http://powerspan.com/projects/firstenergy-eco2-pilot-facility/>
- [13] Yasuhiro Kato et al., Evaluation of carbon dioxide absorption by amine based absorbent. Energy Procedia. 2013, 37, p.325 -330

- [14] Sandhya Eswaran, et al., Hitachi Power Systems America, Ltd. "Recent Developments of Hitachi's Advanced Solvent Technology for Post-combustion CO₂ Capture". Technical Papers.
http://www.hitachipowersystems.us/supportingdocs/forbus/hpsa/technical_papers/Recent%20Developments%20of%20Hitachi's%20Advanced%20Solvent%20Technology%20for%20Post-Combustion%20CO2%20Capture.pdf
- [15] Shiko Nakamura et al. IHI's Amine-Based CO₂ Capture Technology for Coal Fired Power Plant. Energy Procedia. 2013. 37. p.1897 - p.1903,
<http://www.jccp.or.jp/english/wp-content/uploads/jccp-environment-symposium-2010-ms-egami-of-jgc-japan.pdf>
- [16] Shin Yamamoto et al. Development of Chemical CO₂ Solvent for High-Pressure CO₂ Capture. Energy Procedia. 2013. 37. p.505 – p.517
- [17] NEDO 環境部. “環境調和型製鉄プロセス技術開発（事後評価）分科会資料 6-1 環境調和型製鉄プロセス技術開発（COURSE50）事後評価” NEDO
<http://www.nedo.go.jp/content/100520342.pdf>
- [18] 長崎伸男・武田泰司・穂山徹・熊谷健志. 新たな石炭利用技術の事業化への取り組み—酸素吹き IGCC+CCS—. 日立評論. 2010,
http://digital.hitachihyoron.com/pdf/2010/04/2010_04_04.pdf
- [19] Satish Reddy et al. Fluor's Econamine FG Plus SM Technology For CO₂ Capture at Coal-fired Power Plants. Power Plant Air Pollutant Control “Mega” Symposium. 2008. August 25-28.
- [20] L. Raynal, et al. “CO₂ Capture Cost Reduction: Use of a Multiscale Simulations Strategy for a Multiscale Issue”. MAPI. 2012-01-25
http://www.rs-mapi.com/Fichiers/january27th/S3-6_Raynal.pdf
- [21] IEA. “Cost and performance of carbon dioxide capture from power generation”. 2011.
- [22] Haibo Zhai and Edward S. Rubin. 2013, Energy Procedia, 37, p.1117 - 1124
- [23] IEA-GHG. “IEA-GHG Technical Reports, Carbon Dioxide Capture from Power Stations”. 1994.
- [24] Putu Suarsana. ”Work Progress High CO₂ Gas Reservoir in INDONESIA (PERTAMINA)”. CCOP EPPM PROGRAM - Workshop on Development of Natural Gas Resources with High CO₂ & Carbon Storage (CCS) in CCOP. 2009-03-17.

- http://www.ccop.or.th/eppm/projects/2/docs/4_Putu_Pertamina_CO2%20PROGRES%20STUDY%20IN%20INDONESIA%20MARCH%202009%20BALI.pdf
- [25] エネルギー総合工学研究所、NEDO 委託事業. “火力発電プラントからの CO2 回収システムに関する調査（Ⅱ）”. 1993.
- [26] RITE. 2013
<http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/kagaku-poster-kakushin2013.pdf>
- [27] AIST. “ニュースリリース”. 2014.
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2014/pr20140213/pr20140213.html
- [28] Young Cheol Park et al. The Status of the Development Project for the 10 MWe-Scale Dry-Sorbent Carbon Dioxide Capture System to the real Coal-Fired Power Plant in Korea. Energy Procedia, 2013, 37, p.122 - 126
- [29] NEDO (財) 石炭利用総合センター. “日本のクリーン・コール・テクノロジー”. NEDO. 2004-03. <http://www.nedo.go.jp/content/100079770.pdf>
- [30] 株式会社 IHI. “NEDO 平成 22 年度クリーンコールテクノロジー推進事業成果報告書「石炭火力発電所の酸素燃焼方式による CO2 回収についての可能性検討」”. 2011.
- [31] 一般財団法人石炭エネルギーセンターほか. “NEDO 次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究成果報告書「CO2 分離型化学燃焼石炭利用技術に関する検討」”. 2013.
- [32] 一般財団法人石炭エネルギーセンターほか. “NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト成果報告書「次世代高効率石炭ガス化技術開発（平成 19 年度～平成 23 年度）」”. 2012.
- [33] 東京ガス. http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/challenge/12a6_j.html
- [34] Global CCS Institute. “THE GLOBAL STATUS OF CCS 2013”
- [35] みずほコーポレート銀行産業調査部. 我が国の天然ガスパイプラインの未来像. 経済産業省 低炭素社会におけるガス事業のあり方に関する検討会 ガスのインフラ整備に関するワーキンググループ（第 1 回） 資料 6, 2010 年 10 月 12 日.
- [36] JFE スチール株式会社. “ニュースリリース”
<http://www.jfe-steel.co.jp/release/>
- [37] 東洋エンジニアリング株式会社.
<http://www.toyo-eng.co.jp/ja/cases/infrastructure/index.html>
- [38] Rotterdam Climate Initiative.
http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/english-2011-design/50percent-reduction/projecten/carbon-capture,-transport-and-storage?portfolio_id=70
- [39] IEA GHG. SHIP TRANSPORT OF CO2. 2004. Report Number PH4/30.

- [40] Schuttevaer.
<http://www.schuttevaer.nl/nieuws/vervoermarkt/nid13530-pioniers-richten-zich-op-co2-vervoer.html>
- [41] 千代田化工建設.
http://www.chiyoda-corp.com/csr/kankyo/low_carbon.html
- [42] 秋元圭吾. 経済性評価モデルによる地中貯留ポテンシャルの評価. 中央環境審議会地球環境部会 気候変動に関する国際戦略専門委員会 第13回会合 資料1-1, 2006年4月25日.
- [43] BP. “Seales under the Sahara” 2008-12.
http://science.uwaterloo.ca/~mauriced/earth691-duss/CO2_General%20CO2%20Sequestration%20materilas/CO2_bp%20f23_18-25_insalah.pdf
- [44] Cenovus Energy. “Weyburn Facility Profile”.
<http://www.cenovus.com/operations/docs/Weyburn-Facility-Profile.pdf>
- [45] IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG). “Putting Carbon Back in the Ground”. 2001.
- [46] 中村邦広. “海洋汚染防止と二酸化炭素の廃棄（貯留）—海洋汚染防止法改正（平成19年）等を中心に—”. 調査と情報. 2007, 第586号, p.1-9.
- [47] 大賀光太郎, 本位田篤生. 夕張における CO₂ 炭層固定化試験. 石油技術協会誌. 2008, 第73巻, 第6号, p.487-495.
- [48] 寺坂宏一. “慶応義塾大学理工学部応用化学科化学工学研究室ウェブサイト”. 2014.
<http://www.applc.keio.ac.jp/~terasaka/>
- [49] Koide, H. and Xue, Z. Carbon microbubbles sequestration: a novel technology for stable underground emplacement of greenhouse gases into wide variety of saline aquifers, fractured rocks and tight reservoirs. 2008, GHGT-9.
- [50] Myer, L.R.; Hoversten, G.M.; Gasperikova, E. Sensitivity and cost of monitoring geologic sequestration using geophysics. Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), 2003, J. Gale and Y. Kaya (eds.), 1–4 October 2002, Kyoto, Japan. Pergamon, 1, p.377–382.
- [51] NEDO. “平成22年度～平成24年度成果報告書 国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト 中国での石炭起源のCO₂のCCS-EOR適応に関する調査研究(II-2-2)”. 2013.
- [52] Sminchak, J. and Gupta, N. Evaluation of Induced Seismicity Aspects of CO₂ Injection in Deep Saline Aquifers. 2000, Report for U.S. Department of Energy

- National Energy Technology Laboratory. Project #DE-AF26-99FT0486.
- [53] Hsieh, P.A. and Bredehoeft, J.D. A Reservoir Analysis of the Denver Earthquakes: A case Study of Induced Seismicity. *Jour. Geophys. Res.* 1981, vol.86, p. 903-920.
- [54] Davis, S. D. and W. D. Pennington. Induced seismic deformation in the Cogdell oil field of west Texas, *Bull. Seism. Soc. Am.* 1989, vol.79, p.1477-1494.
- [55] Davis, S.D. and Frohlich, C. Did (or will) fluid injection cause earthquakes, criteria for a rational assessment. *Seismol. Res. Lett.* 1993, vol.64, p.207-223.
- [56] JGC, Quintessa, AIST, JANUS, Dia Consultants. Development of a Knowledge-Sharing Test Bed for CCS in Japan(Phase 2). 2012.
- [57] 溝上恵. “新潟県中越地震のメカニズムを探る—中山間地で何が起きたか—” . 2004.
- [58] 薛自求. 地中貯留における CO2 挙動モニタリングについて 小特集 二酸化炭素の地中貯留. 資源素材学会. *Journal of MMIJ.* 2008, vol.124, p.44-49.
- [59] 地球環境産業技術研究機構. “岩野原実証試験・モニタリング” . CO2 地下貯留プロジェクト.
<http://www.rite.or.jp/Japanese/project/tityu/nagaoka.html>
- [60] 君島晋・佐藤章吾. 二酸化炭素地中貯留実証試験での油層工学的諸物性の測定と評価 小特集 二酸化炭素の地中貯留. 資源素材学会. *Journal of MMIJ.* 2008, vol.124, p.61-67.
- [61] Takase H., McKinley I., West J., Kumagai T., Akai M. Advanced KMS for knowledge sharing and building confidence in CCS. *Energy Procedia.* 2011, Volume 4, p. 6202–6209.
- [62] P.Ashworth et al. “Case Study of the CO2CRC Otway Project. Global Carbon Capture and Storage Institute”. 2010.
- [63] Zero Emission Resource Organisation.
<http://www.zeroco2.no/projects/scottish-power-cockenzie-and-longannet-post-combustion-project>
- [64] ScottishPower CCS Consortium. "UK Carbon Capture and Storage Demonstration Competition". 2011.
- [65] C.F.J. Feenstra, T. Mikunda, S. Brunsting, "What happened in Barendrecht? Case study on the planned onshore carbon dioxide storage in Barendrecht, the Netherlands". 2010.
- [66] Ir. Christiaan Luca. CCS in Barendrecht, the Netherlands Learnings in Public Acceptance. 2010, EESC Conference, Brussels, 2010-11-23.

- [67] 公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE). “平成 23 年度二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業成果報告書” . 2012.
- [68] 一般財団法人エネルギー総合工学研究所, 独立行政法人産業技術総合研究所. “革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト／発電から CO2 貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー／全体システム評価（発電から CO2 貯留に至るトータルシステムの評価）成果報告書” . 2013-04.
- [69] GCCSI. “Global Status of CCS 2013”. 2013-10.
<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/116211/global-status-ccs-2013.pdf>
- [70] GCCSI. “Global Status of CCS 2014”. 2014-02.
<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/121016/global-status-ccs-february-2014.pdf>
- [71] European Commission. “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS on the Future of Carbon Capture and Storage in Europe”. 2013-03-27.
http://ec.europa.eu/energy/coal/doc/com_2013_0180_ccs_en.pdf
- [72] Department of Trade and Industry. Industrial carbon dioxide emissions and carbon dioxide storage potential in the UK. 2006, Report No. COAL R308, DTI/Pub URN 06/2027.
- [73] The Government of the United Kingdom. “2050 Pathways Analysis”. 2010-07.
<https://www.gov.uk/2050-pathways-analysis>
- [74] Department of Energy and Climate Change. “Planning our electric future: a White Paper for secure, affordable and low-carbon electricity”. 2011-07.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48129/2176-emr-white-paper.pdf
- [75] Department of Energy and Climate Change. “CCS Innovation Programme £ 20 million competition call”. 2012-03-12.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48307/4634-ccs-inn-prog-20m-competition-call-flyer.pdf