

CCSの実証および調査事業のあり方に向けた有識者検討会
報告書

平成30年8月

1. はじめに

国際エネルギー機関（IEA）の報告書「Energy Technology Perspectives 2017」によれば、2060年までの累積CO₂削減量の14%をCCS(Carbon Dioxide Capture and Storage; 二酸化炭素回収・貯留)が担うことが期待されている。

我が国においては、エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）等に沿って、2020年頃のCCS技術の実用化に向けて、苫小牧での大規模実証試験や研究開発、CO₂の貯留適地の調査に取り組んできた。特に苫小牧での実証事業は、世界から注目されるプロジェクトとして、2018年6月末時点で約18万トンのCO₂圧入を達成する等、地元関係者と連携しながら順調に進捗してきた。一方、我が国におけるCCSの実用化にあたっては、CCSコストの低減、十分なポテンシャルを有する貯留適地および輸送手段の確保、国民のCCSに対する理解といった課題が、引き続き存在しているものと考えられる。また、国内のみならず、EOR(Enhanced Oil Recovery; 原油増進回収法)を含むCCS事業における日本企業の海外展開を促進するための環境の整備についても検討する必要があると考えられる。

上記の問題意識の下、「CCSの実証および調査事業のあり方に向けた有識者検討会」を開催し、検討結果を今後のCCSの実証および調査事業に活用すべく、有識者による議論を行った。

2. CCSを取り巻く状況

(1) CCSの位置づけ

- IEA Energy Technology Perspectives 2017によると、2060年までの世界全体の累積CO₂削減量の14%、2060年時におけるCO₂削減量の16%をCCSが担うことが期待されている。
- 現在までに稼働中の大規模CCUS(Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage; 二酸化炭素回収・有効利用・貯留)¹事業の大半はCO₂EOR²であり、帯水層への大規模CO₂圧入は4件のみにとどまっている。エリア別には、これまで北米で多くのプロジェクトが先行していたが、昨今は中東、東アジアでのプロジェクト数も増加傾向にあり、今後、後続のCCS関係プロジェクトの形成が期待される。特に、近年は国際イニシアティブの立ち上げ等、CCUSの国際協調に向けた取組が活性化しており、我が国は、多国間協力を積極的に進めつつ、二国間協力における民間企業の海外展開を支援している。

¹ CCUSは、分離・貯留したCO₂を利用しようというもの。例えば米国では、CO₂を古い油田に注入することで、油田に残った原油を圧力で押し出しつつ、CO₂を地中に貯留するというCCUSが行われており、全体ではCO₂削減が実現できるほか、石油の増産にもつながるもの。

² JOGMECによれば、CO₂圧入攻法に代表される増進回収技術（EOR=Enhanced Oil Recovery）は、より大きな効果と高い回収率が期待されるものであり、近年進めている実験や研究では油層（貯留岩層）内に炭酸ガス等を圧入することで、地下の石油の性状を変化させて原油回収率が大幅に改善されることが確認されている。

- 2050年までに温室効果ガスの大幅な削減を行うためには、従来の取組の延長では実現が困難であり、CCUSを含めた革新的技術の開発・普及等のイノベーションによる解決に向けた取組が重要である。米国、カナダ、欧州諸国がUNFCCCへ提出した2050年に向けた長期戦略においても、濃淡はあるものの、各国ともゼロエミッション化、電化の重要な手段としてCCS/CCUSを位置付けている。
- これまで、将来的にCO₂削減にかかるコストについては、様々な報告がなされている。IEA Energy Technology Perspectives 2017では、2°C目標の達成条件下での2060年の世界全体の限界削減費用は240 \$/トンと評価され、IEA World Energy Outlook 2017では、気温上昇を50%の確率で2°C未満に留める「Sustainable Development Scenario」においては、2040年の世界全体の限界削減費用は125~140 \$/トンと評価されている。また、Shell社が公表しているSkyシナリオにおいては、2050年の世界の炭素価格は130 \$/トンと評価されている。国内では、公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）において、2030年における約束草案達成時の国内のCO₂限界削減費用は378 \$/トンと評価された例がある³。
- CCSのコストについては、一定の前提条件の下で、7,300円/トン（石炭火力の排出係数を用いると、約6.3円/KWhに相当）と評価された例がある（RITE, 2005）。これは、CO₂輸送手段として20kmのパイプラインを前提とした値である。他方、船舶による輸送コスト約4,000円/トン（RITE, 2007）を上記に加算すると、船舶輸送を含むCCSコストは約9.8円/KWhと試算される。石炭火力の発電コストを2030年モデルにおけるCO₂対策費を減じた値として8.9円/KWh（平成27年5月総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告）（以下、「コスト検証WG報告書」）として、CCSコストを加算すると、CCSを含む石炭火力の発電コストは15.2~18.7円/KWhと試算される。「コスト検証WG報告書」の「2030年モデル」における発電コストの試算として、太陽光（メガソーラー）は12.7~15.6円/kWh、風力発電（陸上）は13.6~21.5円/kWh、バイオマス（専焼）は29.7円/kWhとされており、一定の前提条件下においては、CCSは低炭素技術としてのコスト競争力を有することが期待される。従って、電力部門、産業部門において、CCSが大規模削減の有力な手段の1つとして想定されることから、引き続き、CCSの実用化に向けた課題へ取り組んでいくことが重要である。

³ IEAやShell社による世界の限界削減費用は、全世界で国を選ばずに安価な技術から導入したケースを想定しているのに対して、RITEの検討結果は、各国が約束草案の削減量を達成するケースの限界削減費用を示すものであり、単純な比較はできない点に留意。

(2) 我が国における CCS の現況と課題

- 我が国では、現在、エネルギー基本計画に沿って、2020年頃の CCS 技術の実用化を目指して、苫小牧における大規模 CCS 実証、低コスト化に向けた研究開発、CO₂ の貯留適地の調査を進めている。
- 苫小牧 CCS 実証事業は、実用規模の CCS トータルシステムの実証を目的とした、我が国初の大規模 CCS 実証試験であり、2012年度から2015年度に実証設備を建設し、2016年度から CO₂ 圧入を開始した。本プロジェクトでは、地域社会と緊密に連携を取りつつ、2018年5月までに約18万トンの CO₂ を圧入している。現在まで実証試験は順調に推移しており、操業技術の獲得や CCS の安全性の実証資料も得られ、CCS 技術の実用化への寄与が期待される。他方で、本プロジェクトでは、圧入した CO₂ の挙動や地下情報の観測のため、様々なモニタリング手法を組み合わせ実施しているが、今後の課題として、モニタリング設備の低コスト化、操業効率化、CO₂ 挙動の可視化等が挙げられる。
- CCS の低コスト化に向けた研究開発として、分離・回収フェーズと貯留フェーズの技術開発を進めている。特に、コストの大半を占める CO₂ の分離・回収コストの低減が重要であり、固体吸収材等の回収技術を開発している。なお、固体吸収材については、関西電力（株）舞鶴発電所にて実用化試験を計画中である。
- 我が国の CO₂ 貯留適地については、我が国の貯留適地の全国貯留層賦存量の調査にて、CO₂ 貯留可能量は1,460億トンとの評価例がある（RITE、2005）。現在進められている CO₂ 貯留適地の調査事業において、既往の地質探査情報や弾性波探査等の結果、数十億トン級が期待される地質は日本近海に数か所程度と評価され、継続的な調査が必要である。その一方で、大規模な CO₂ 排出源の多くは太平洋側の沿岸域を中心に広く分布しており、必ずしも排出源と貯留適地が近接しているとは限らず、長距離輸送手段の検討が必要となる。従って、貯留適地調査においては、貯留可能量の観点のみならず、地域の理解や経済性や土地制約も踏まえ、船舶輸送を含む長距離輸送手段を検討することが課題となる。
- ノルウェーにおいては、フルスケールの CCS 実証試験計画がある。ノルウェーでは、温室効果ガス削減目標である、2030年で▲40%（1990年比）、2050年にゼロエミッションに向けて、CCS を不可欠な技術と位置づけ、フルスケールの CCS 実証試験を計画している。本実証計画では、複数の排出源で回収した CO₂ を中間ストレージへ集め、一括して船舶で貯留地点まで輸送する計画となっている。同計画では、輸送距離が800km程度あり、パイプラインではコスト高となること、導入初期においては複数排出源との柔軟な操業が求められることから、船舶輸送を選択している。将来的には、英国をはじめとした欧州諸国から CO₂ を船舶輸送し、ノルウェーで貯留する構想もある。

- CCS の実証および調査事業のあり方について、現況と課題をまとめると次表のとおりとなる。

我が国におけるCCSの現況と課題：まとめ

- 苫小牧実証により、国内においてCCSを実施する技術可能性は輸送手段を除いて示されつつある。
- 依然、社会実装へ向けて、貯留適地の確保、トータルコストの削減、ステークホルダーとの連携が不可欠。

	現状	今後の課題	あるべき導入環境
貯留適地の確保	・既往地質情報、弾性波探査等から、数十億トン規模が期待(数か所)	・貯留適地の条件整理、弾性波探査、調査井の掘削、貯留層の総合評価など	・良好な圧入性とポテンシャルを有する貯留地点の確保
トータルコストの削減	回収 ・アミン吸収液による分離回収。 ・固体吸収材等の低コストな回収技術の実証を計画中	・アミン吸収液の実績の蓄積 ・固体吸収材等の低コストな回収技術の実証	・多様な排出源からの回収手法の低コスト化
	輸送 ・長距離輸送の実績なし。	・船舶を含む長距離輸送の検討	・長距離輸送手段の確立
	貯留 ・多様な技術を組合せて実施中。(弾性波探査、微小振動観測など)	・安全かつ最適なモニタリング手法の検証	・安全かつ最適なモニタリング手法の検証
ステークホルダーとの連携	・苫小牧実証、および適地調査について、地域社会と密接に連携。	・CCS関係事業者との連携 ・地域社会とのコミュニケーション ・実プロジェクトを通じたCCS関係人材の育成	・地域社会・国民理解の獲得 ・高い技術を持つ人材の確保

3. 主な論点に関する議論の整理

本検討会においては、主に(1)貯留適地調査の進め方、(2)CO₂の輸送方法の検討、(3)ステークホルダーの理解の獲得と人材育成、(4)国際協調、の4つの論点について議論を行った。委員の指摘を中心にその議論を整理すると以下のとおり。

(1) 貯留適地調査の進め方

- CCSの実用化にあたり、貯留に適した安定的な地質構造の特定や貯留地点としての整備に要する時間と経費を考慮すれば、可能な限り大規模な貯留適地を確保し、そこへ輸送するビジネスモデルが想定される。このような将来のビジョンを持ちながら適地調査を行う必要がある。
- 貯留地点については、海底下の貯留を想定した場合、沿岸部とするか、陸域から遠方の地点とするか、の両方が考えられるが、前者はプロジェクトを早期に立ち上げられること、後者は他産業との干渉が回避されること等、それぞれのメリットがあり、いずれも引き続き検討を行う必要がある。
- 適地調査の実施主体としては、社会受容性の観点から国が前面に立ち、ステークホルダーと良好な関係を築きながら実施する必要がある。
- これまで得られた情報（地質構造、排出源との距離等）を精査し、適地調査を進める必要がある。

(2) CO₂の輸送方法の検討

- 可能な限り大規模な貯留適地を確保し、そこへ輸送するビジネスモデルを想定すれば、パイプラインによる輸送ネットワークは距離が長くなり、コストが増加することになる。このため、想定される様々なケースに柔軟に対応すべく、パイプラインおよび船舶を活用した輸送形態を検討しておく必要がある。
- 船舶輸送は、ある貯留地点にトラブルがあったときに他の貯留地へ輸送する、ある排出源（あるいは貯留層）が停止した際に他から（あるいは他へ）輸送するといった柔軟性が確保できる。また、長距離化によるコストへの影響が少ない点以外にも、高度利用されている港湾内や沿岸海域における他産業との干渉が回避できる、あるいは海岸線から遠方沖合での貯留地点を候補にできる、等の利点もある。
- CCSの実用化に当たっては船舶輸送の実証事業や技術開発についての検討が必要であり、これを行うにあたっては、次の点に留意する必要がある。
 - ・大規模化によるスケールメリットや低コスト化
 - ・船舶輸送の際のコスト削減の余地
 - ・船舶実証等の先行事例
 - ・プロジェクトの途中で追加検討が必要となれば前のステップへ戻り改めて検討を行うなど、プロジェクトの進め方に係る柔軟性の確保

・CO₂ のパイプライン輸送および船舶輸送に関わる法規制等の課題把握、課題解決のための関係省庁との連携

- 将来における CCS の事業展開を考慮して、CO₂ 分離・回収、輸送、貯留の全体プロセスの中で、様々な技術を柔軟に組み合わせることを検討する必要がある。今後、技術確立やコスト検証を続けながら、複数の技術の中からベストなものを選択していくことが重要であり、大規模な CCS 事業に向けて、確証の得られるレベルで CO₂ 分離・回収、輸送、貯留の各工程を一貫して行う実証の検討が必要である。ある特定の技術だけが確立しても、CCS が実用化するものではない。このため、輸送技術を含めたプロセス全体の観点を常に有しておきながら、実証および調査を進める必要がある。

(3) ステークホルダーの理解の獲得と人材育成

- プロジェクトを円滑に進めるにあたり、ステークホルダーの理解を獲得することは非常に重要である。ステークホルダーの理解を得て信頼関係を構築するために、安全性を十分に考慮した計画を立案するとともに、緊急時に備えた体制の整備による速やかな連絡、情報共有が重要となる。
- 人材育成という観点では、CCS 事業は、一旦プロジェクトが途絶えると再開は難しく、技術自体を継続することが困難となる。また、国が確固たるビジョンを示し、これが維持されれば、企業も事業方針を立案しやすくなる。従って、国内外で活躍する人材の育成に向けては、CCS 事業を継続しつつ、国と事業者が長期的スパンを含めた将来像を共有していくことが重要である。また、大学や企業の研究者や技術者等、多様な関係者が CCS の実証フィールドを活用して研究できる環境を更に促進することで、CCS 分野の研究者・技術者の裾野を広げていくことが重要である。

(4) 国際協調

- CCS 事業を構成する分野は、分離・回収設備としてはプラントエンジニアリング、鉄鋼、重工業、センサー等の分野、輸送設備としては海洋土木や鉄鋼、海運、造船等の分野、貯留設備としては資源、土木等の分野があるなど、産業の裾野が広い。これらの CCS 事業を構成する分離・回収、輸送、貯留技術の各分野において、日本企業は強みを有している。世界の CO₂ 削減と日本の更なる技術発展を両立させ、日本が世界における取組に貢献していくことが重要である。
- 我が国企業による海外展開の事例として、日本企業による CO₂ 回収設備の設置および CO₂EOR オペレーションが行われているペトラノヴァプロジェクトがある。本プロジェクトは、国際協力銀行（JBIC）が融資を行い、NEXI（日本貿易保険）が貿易保険を付保するスキームとなっている。一般的に、プロジェクトの採算性や不確実性が金融機関の融資判断に大きな影響を与えるが、CCUS プロジェクトのうち特に CO₂ 貯留のフェーズに関しては、現段階では一定の不確実性を見込まざるを得ないケースが多い。このような中

で、本事例は、我が国企業が関与する CCUS プロジェクトに対して、政府系金融機関の公的ファイナンスツールを活用することにより、CCUS プロジェクトの推進に有効となり得ることを示している。

- CEM(クリーンエネルギー大臣会合) や CSLF(炭素隔離リーダーシップフォーラム) 等の国際イニシアティブにおいても、多国間開発銀行や多国間金融コミュニティを巻き込む動きが顕著となっている。このように、CCUS プロジェクトの案件形成に向けて、金融機関とのコミュニケーションを深めることが重要となっている。
- 国際的には CCS の制度整備が進んでいない国が太宗であることから、プロジェクトの経済性も考慮しつつ、日本企業が CCS の海外プロジェクトへ参入するための事業環境を整える必要がある。このような観点から、CCS 技術の国際標準化を進めている ISO/TC265 の議論や、制度整備が進んでいない国における制度構築等に、我が国が知見や経験を活かし、引き続き貢献していくことが重要である。

4. CCS の実証および調査事業の方向性

今後は「3. 主な論点に関する議論の整理」を踏まえ、以下の方向性で CCS の実証および調査事業を進めていく。

- ① CCS の実施にあたっては、CO₂ の貯留適地の確保が大前提である。国内外の貯留適地に関する最新の研究動向に留意しつつ、事業実施に係るトータルコスト(適地としての開発から実際の貯留に要する費用)や貯留ポテンシャルと人的および経済的なリソースを考慮して事業を進める。
- ② 大規模な CO₂ 排出源の多くは太平洋側の沿岸域を中心に位置しており、これまでの適地調査の結果を踏まえると、必ずしも排出源と貯留適地が近接しているとは限らない。このため、CO₂ の長距離輸送の全体像を適切に設計する上で、船舶による輸送手段も活用することにより、運用上の柔軟性や経済性の確保にもつながり得る。しかしながら、CO₂ の船舶輸送については、これまでも政府等において技術面、運用面、制度面の課題等についての一般的な検討は行われてきたものの、我が国における長距離輸送を念頭に置いた形での実証事業の実施に係る具体的な検討は行われてきていない。今後は、CCS 全体のプロセスを頭に置きつつ、関係者の更なる理解を得るためにも、船舶輸送を含めた実証(CO₂ の分離・回収、輸送および圧入)の実施について検討する。
- ③ CO₂ 貯留適地の調査や実証事業の実施においては、地域社会や国民の理解を得て進めていく。その際、海外におけるプロジェクトの進め方も参考にしながら、事業のマイルストーンを定め、適切なステップを踏みながら進めていく。あわせて、関係省庁と連携し、地球温暖化対策における CCS の重要性や CCS 事業による環境への影響等について、社会に適切な理解が浸透するよう取り組む。

- ④ 実証事業の先にある CCS の実用化や有する技術の継承、発展を見据えて、人材育成や事業者への適切な情報提供が必要なことは論をまたない。このため、国は、例えば CCS を取り巻く現状、CCS の実用化に関する検討状況、実証の意義、実証の要素や予算などについての情報を提供することで、民間事業者をはじめとした CCS 関係者の関与を得つつ、手続きの透明性をもって実証および調査を進めていく。
- ⑤ CCS 導入に向けては、各国とも試行段階にある。他方で、近年には、CCUS の国際イニシアティブが設立される等、国際的に協調する体制が構築されつつある。そのような中、我が国は国内における CCS の導入を目指した実証試験の検討を進めると共に、あわせて世界全体の地球温暖化対策に寄与すべく、我が国と諸外国が有する技術や必要とする技術をそれぞれ見極めながら、国際協調の姿勢で取り組んでいく。