

CO₂回収・隔離技術 - R&D から政策課題化へ

Carbon Dioxide Capture and Sequestration – from R&D to Political Arena

赤井 誠 *

Makoto Akai

1. まえがき - 背景 -

2005年9月24日(土曜)の夜半過ぎ、モンリオールで開催されていたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第3作業部会の総会において、「二酸化炭素の回収隔離に関する特別報告書(SRCCS)」の「政策決定者のための要約」の内容が各国政府代表により承認され、さらに、引き続き開催されたIPCC総会でもSRCCSの発行が了承され、年内の発行に向けた最終的な編集に移った。

二酸化炭素の回収隔離技術(CCS)は、図1に示す様に、火力発電所などの人為的排出源から排出されるCO₂を分離回収、輸送し、地中や海洋等に長期的に貯蔵し大気から隔

離することでCO₂排出を抑制しつつ、中・長期的に化石燃料の利用を可能とする技術的オプションと位置づけられる。

CCS技術に関しては、IPCCの第三次評価報告書(2001年)の「3.8.4.4 Technical CO₂ Removal and Sequestration」において3ページの記述がなされたに過ぎず、研究者コミュニティ外の認知度は低いままであった。しかし、「気候変動に関する国際連合枠組み条約」(UNFCCC)下の様々な交渉の際の産油国を中心としたCCS技術の政策課題化への圧力や、欧米での、特に地中隔離を対象とした、利害関係者(Stakeholder)のネットワークの形成やパブリックコミュニケーション活動の活発化などを背景とし、2001年の気候変動枠組み条約第7回締約国会議(COP-7)で出されたマラケ

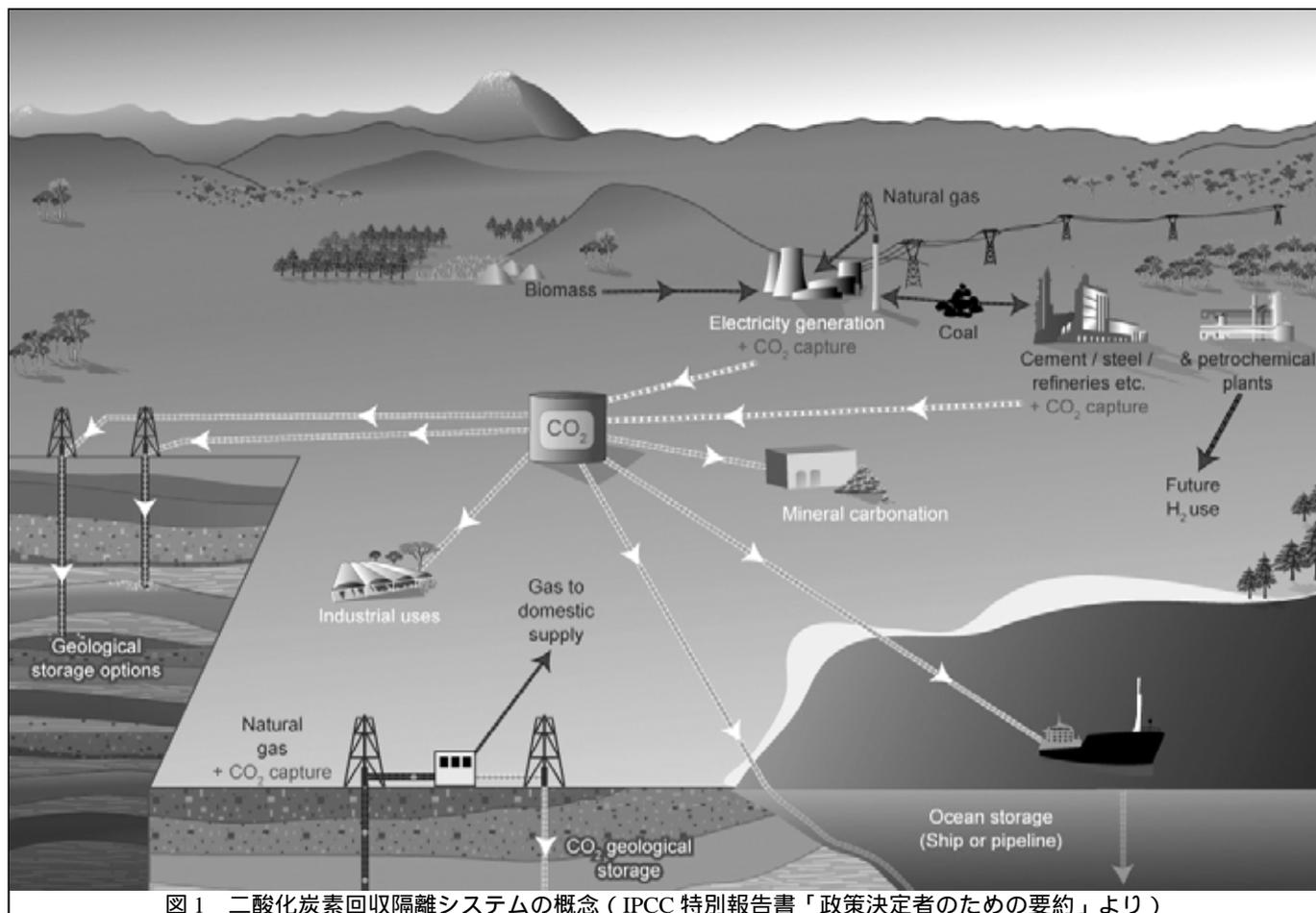


図1 二酸化炭素回収隔離システムの概念 (IPCC 特別報告書「政策決定者のための要約」より)

*独立行政法人 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
分散システムグループ長
〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1
e-mail: m.akai@aist.go.jp

シュ合意では、有効な地球温暖化対策のひとつとして CCS 技術が言及され、IPCC に対して CO₂ の回収・地中隔離に関する「技術報告書」の作成が要請された。

2002年4月の第19回IPCC総会では、この勧告に対し、地中隔離のみならず海洋隔離をも視野に入れた広範な隔離技術を扱う「特別報告書」を作成することを目指し、具体的方向性を議論するためのワークショップを開催することが決定された。2002年11月に開催されたワークショップの結果作成された提案書の内容は2003年2月の第20回IPCC総会で承認され、2005年完成を目標にSRCCSの作成作業が開始された。また、この総会では、温室効果ガスの排出量の算定ルールを定めた国別温室効果ガスインベントリガイドライン（IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）を、CCS技術もスコープに入れて改訂し2006年に発行することも決議された。

この「特別報告書」は、IPCCでも初めての特定の「技術」を対象とした評価報告書であり、その内容は、上記のガイドラインや2007年完成予定の第四次評価報告書などIPCCにおける幾つかの活動分野、ひいてはUNFCCCにおける交渉活動などにも影響を及ぼすものとみなされている。

CCSシステムを構成する個々の技術の詳細については、本特集においてそれぞれの分野の専門家の方々（一部はSRCCSの執筆者）が記述されることになっているので、本稿では、CCS技術に関する最新動向という意味も含めて、IPCCにおける検討内容を中心に解説することにする。

2. IPCC 特別報告書と概要

特別報告書の内容に入る前に、IPCCの報告書の作成に係る幾つかの一般的原則を記しておく。まず、最も重要な点は、IPCCの報告書は「科学的知見を基にした政策立案者への助言を目的とし、特定の政策の提案は行わない（Policy relevant, not policy prescriptive）」という点である。また、執筆は統括執筆者（CLA: Coordinating Lead Author）、代表執筆者（LA: Lead Author）、執筆協力者（Contributing Author）が行うが、その際、「新たな知見を創り上げるのではなく、査読を受けた公表論文の調査に基づき、異なった見解を取り込みつつ評価を行う（Scientific assessment: not generate knowledge but assess literature; Dealing with different views）」ものとされている。このように作成された草稿は査読者（Expert Reviewer）や各国政府によりチェックを受け、査読編集者（Review Editor）の協力の下に改訂作業が行われる。報告書は、報告書本文（Underlying Report）、技術要約（TS: Technical Summary）、及び政策決定者向け要約（SPM: Summary for Policymakers）の3種類から成るが、本特別報告書の場合にも、報告書本文はA4草稿で約600ページに及ぶものであり、実際に各国の政策決定者（および一般の読者）に活用されることが多いのはSPM（草稿で20ページ程度）である。このため、冒頭に述べたように、SPMに対し

ては、報告書を作成した作業部会（今の場合、第3作業部会）の総会において、各国政府代表により文字毎のチェックを受けた上で承認されることになる。表1にSRCCS本文の目次を示すが、以下では、SPMの内容に基づいて論じる。

表1 IPCC 特別報告書本文の目次

第1章	序論
第2章	CO ₂ の排出源
第3章	回収
第4章	CO ₂ の輸送
第5章	地中隔離
第6章	海洋隔離
第7章	鉱物の炭酸塩化及び産業利用
第8章	コスト及び経済的ポテンシャル
第9章	温室効果ガス排出インベントリ及びアカウンティングにおけるCCSの意味
付録AI	CO ₂ 及び炭素系燃料の物性
付録AII	用語、略語など

3. IPCC 特別報告書 - 政策決定者向け要約

SPMの構成は、科学・技術に基づいた報告書本文とは異なり、政策決定者の観点から見たCCSを巡る重要な論点に応える形式となっている。以下、これらのなかの主要なポイントについて記述する。

3.1 CCS 技術とは？またそれがどう気候変動の緩和に寄与するのか？

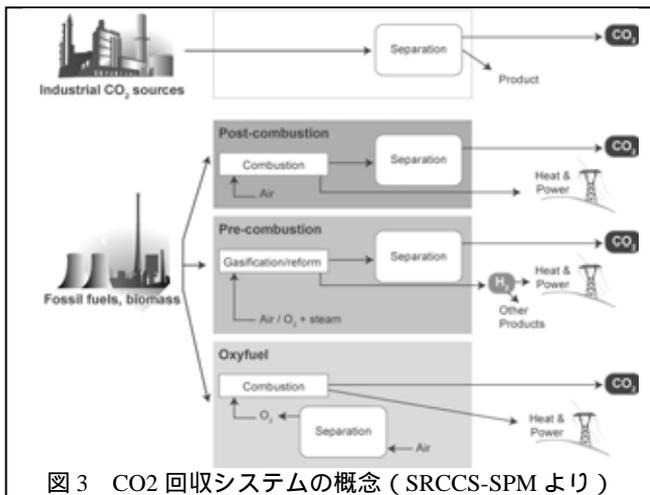
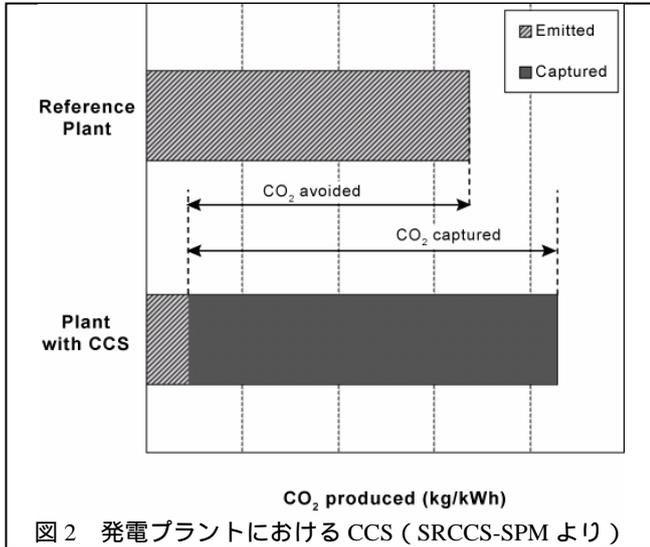
- CCS技術は、産業やエネルギー関連施設からのCO₂分離、貯蔵場所への輸送、及び大気からの長期間に亘る隔離から成るプロセスである。
- 単一の技術で安定化に必要なレベルの温室効果ガス（GHG）の排出削減は不可能で、緩和策のポートフォリオが必要である。
- CCSは、GHG排出削減を達成するためのコストを低減し、対策の柔軟性を増す可能性がある。
- CCSが広範囲に利用されるかどうかは、技術的成熟度、コスト、総ポテンシャル、発展途上国への普及と技術移転並びにそこでの技術適用能力、法規制、環境側面、及び公衆の認知に依存する。

3.2 CCS 技術の特徴は？

- CO₂は、化石燃料・バイオマスなどの燃焼を伴うエネルギー設備、CO₂排出を伴う産業、天然ガス製造、合成燃料プラント、化石燃料からの水素製造設備などの大規模な集中発生源で回収・圧縮され、輸送され、地中、海洋などへ隔離される。本SRCCSではCO₂の工業利用についても論じているが、そのCO₂削減効果は小さい。
- CCSによる正味のCO₂排出削減効果は、CO₂の回収率、CO₂回収・輸送・隔離のために追加的に必要なエネルギー

消費による総合効率の低下，輸送時の漏洩，及び長期間に亘る隔離量などに依存する．

- CCS を設置した発電所で追加的に必要なエネルギーは，CCS 無しの場合のほぼ 10～40% となり，その殆どが回収に伴う損失である．完全隔離の場合，正味の CO₂ 削減率はおよそ 80～90% となる（図 2 参照）．



3.3 CCS 技術の現状は？

- CO₂ 回収には，燃焼後回収，燃焼前回収，Oxyfuel 燃焼方式などがある（図 3 参照）
- 大量の CO₂ を輸送する場合には，ほぼ，1000km 程度まではパイプライン方式が有利であるが，CO₂ の輸送量が年間数百万トン程度と比較的少量の場合や海洋環境を長距離に亘って輸送する場合には，船輸送が経済性を有することもある．
- CCS を構成する要素技術のレベルは様々であり（表 2 参照），回収，輸送，隔離を統合したシステムの例は殆ど無い．

表 2 CCS システムのコンポーネント技術の現状レベル (SRCCS-SPM より)

CCS の要素	CCS 技術			研究開発段階	実証段階	特定の条件下では経済的に成立	成熟市場
回収	燃焼後					X	
	燃焼前					X	
	Oxyfuel (純酸素燃焼)		X				
輸送	工業分離 (天然ガスの処理，アンモニア製造)						X
	パイプライン						X
地中隔離	船輸送				X		
	石油増進回収 (EOR)						X*
	ガス田・油田					X	
	塩水性帯水層					X	
海洋隔離	炭層メタン増進回収 (ECBM)		X				
	直接注入 (溶解希釈型)	X					
鉱物の炭酸塩化	直接注入 (深海底貯留型)	X					
	天然珪酸塩	X					
CO ₂ の工業利用	廃棄物			X			
							X

* CO₂ を EOR 用にする場合は「成熟市場」に分類しているが，隔離のみを使う場合は「特定の条件下で経済的に成立」となる．

3.4 CO₂ の発生源と隔離可能場所の地理的關係は？

- CO₂ の大規模発生源は，主要な工業地域や都市部に集中しており，その多くは地中隔離に適した地質構造を有する区域から 300km 以内にある．
- 世界全体で見れば，大規模集中発生源のうち海洋隔離が可能な場所に近いものは少ない．
- CCS は，化石燃料ベースの電力や水素製造施設からの CO₂ 排出を削減することができ，将来的には運輸部門や分散型エネルギー供給システムといった散在する発生源からの CO₂ 排出を低減できる可能性もある．

3.5 CCS のコスト，及び技術的・経済的ポテンシャルは？

- CCS を発電システムに適用した場合，2002 年の条件下では，発電コストの上昇はほぼ 0.01～0.05\$/kWh となるが，これは，燃料，技術，地域・国などによって異なる．
- 殆どの場合，CO₂ 回収（及び圧縮）に要するコストが支配的となる．

表 3 CCS による発電コストの上昇 (SRCCS-SPM より)

発電プラント	天然ガス複合サイクル (US\$/kWh)	微粉炭火力 (US\$/kWh)	IGCC (US\$/kWh)
回収無し (基準プラント)	0.03 - 0.05	0.04 - 0.05	0.04 - 0.06
回収・地中隔離	0.04 - 0.08	0.06 - 0.10	0.05 - 0.09
回収・EOR	0.04 - 0.07	0.05 - 0.08	0.04 - 0.07

- 既存の資料に基づくと、世界中での地中隔離の技術的ポテンシャルは、66～90%の確率で、約 2,000 GtCO₂である【筆者註：この数値は第5章の執筆者の投票に基づいた専門家判断によるものとして提示された】。
- モデル計算に基づくと、海洋のCO₂隔離の技術的ポテンシャルは、大気中のCO₂濃度安定化レベルに依存し、数千 GtCO₂のオーダーとなる。
- 大気中CO₂濃度安定化シナリオ(450～750ppm)の殆どにおいて、CCSの経済的ポテンシャルは累積で220～2200 GtCO₂(2000～2100年)となり、CCSが世界中の緩和策の15～55%に貢献することを意味している。
- 地中隔離の技術的ポテンシャルがこの経済的ポテンシャルの上限をカバーできることは90～99%の確率で確かであるが、これは特定の地域を取った場合には当てはまらない。
- CCSがこのような経済的ポテンシャルを満たすためには、今後100年間に、数百から数千のCCSシステムを設置する必要がある。
- 殆どのシナリオ分析において、今後100年間、CCSの役割は重要となり、緩和策にCCSを組み込むことにより、大気中濃度安定化のためのコストは30%以上低減することが判っている。

3.6 CCSに伴う局所的な、健康、安全及び環境へのリスクは？

- CO₂のパイプライン輸送に伴うリスクは、運用中の炭化水素用パイプラインと同程度以下である。
- 適切なサイト選定、問題を検知するためのモニタリング計画、法規制、CO₂が漏洩した場合の修復措置などにより、地中隔離のリスクは現在の天然ガス貯蔵、EOR、酸性ガスの地中処分と同等となる。
- CO₂を産業規模で海洋に注入することにより、局所環境は変化する。実験では、高濃度CO₂に長時間曝された海洋生物は死亡することが確認されている。CO₂を海洋に注入した場合の長期的かつ広範な海域を対象とした生態系への慢性影響については研究が行われていない。

3.7 隔離CO₂の物理的漏洩により、気候変動緩和策としての効果が低減するか？

- 種々の観測データやモデルに基づくと、適切に選定され管理された地中隔離場所にCO₂が留まる割合は、100年後に99%以上である確率は90～99%であり、1000年後に99%以上である確率は66～90%である【筆者註：この数値は第5章の執筆者の投票に基づいた専門家判断によるものとして提示された】
- 海洋隔離したCO₂は数百年に亘って少しずつ漏洩し、隔離量は、100年後で65～100%、500年後で30～85%と算定されている(低い方の値は注入深度が1000m【筆者

註：実際は800m】の場合、高い方は3000mの場合)。

- 継続的なCO₂の漏洩が生じると、少なくとも部分的には気候変動緩和策としてのCCSの便益を相殺することになる。この漏洩の問題の評価は、意思決定のために選定される枠組み、及び地中・海洋隔離の各々における隔離場所への残存割合に依存する。

3.8 CO₂隔離を実施するための法規制問題は？

- 場合によっては地中隔離に関連、或いは直接適用される規制が存在するが、長期的なCO₂隔離のための法規制を策定している国は殆ど無い。
- 今のところ、海底下の地中、或いは海洋へのCO₂の注入が国際法の特定の規制の対象となるか否か、或いはどのような条件でそうなるかといった点について、合意の得られている公式の解釈は存在しない。

3.9 排出インベントリ及びアカウンティングにおけるCCSの意味は？

- 現在のIPCCガイドラインは、CCSに伴う排出を算定する手法を含んでいないが、2006年発行の改訂版で取り扱われることになっている。
- 現在の少数のCCSプロジェクトは全て地中隔離を対象としたもので、モニタリング、検証、及び実際の物理的漏洩率と不確実性についての報告に関する経験は限られている。

4. おわりに

筆者は、SRCCSの作成に向けた作業の当初からワークショップ参加者や執筆者の人選などにに関わり、執筆活動においては第6章のCLAを努め、SPMやTSの作成にも携わるとともに、これと関連するインベントリガイドラインのLAを努めてきている。また米国が提唱した炭素隔離に関するリーダーシップフォーラム(CSLF: Carbon Sequestration Leadership Forum)にも参画しており、これらの国際的活動を通じてCCSを巡る海外の利害関係者との直接的なコミュニケーションの機会が以前にも増して多くなっているが、まさに、CCSを政策課題として明確に位置付けようという意図を直接肌で感じている。

このような背景の下、我が国に於いてもCCSに関わる研究開発が進められているが、この技術を明確に政策的オプションとして採択するならば、明確なロードマップに基づいた集中的研究開発が必要な時期に来ているように思われる。

5. 文献

- (1) Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Summary for Policymakers, IPCC (2005)【2005年9月25日承認版(最終版では図の微修正あり), <http://www.ipcc.ch/>】