

# 新しい CO<sub>2</sub>回収に関するタスクフォース報告書

2011年12月



The executive summary of “Novel CO<sub>2</sub> Capture Task Force Report” has been translated from English into Japanese for convenience. The Global CCS Institute does not warrant the accuracy, authenticity or completeness of any content translated in the Japanese version of the Report.

「新しいCO<sub>2</sub>回収に関するタスクフォース報告書」は、利用者の便宜のために“Novel CO<sub>2</sub> Capture Task Force Report”のエグゼクティブサマリーを英語から日本語に翻訳したものです。グローバル CCS インスティテュートは日本語版のいかなる内容についてもその正確性、信頼性又は完全性について保証しません。



# エグゼクティブサマリー

政府の CO<sub>2</sub> 排出量目標達成のため、低炭素技術のポートフォリオを充実させることが求められている。豪州の電気エネルギーの大部分は石炭を利用して発電されており、天然ガスの利用も増加している。豪州では、こうした化石燃料から発生する CO<sub>2</sub> の地層貯留が広範に研究されている。本研究は、地層貯留に代わる方法による CO<sub>2</sub> 回収貯留を調査すべく、スポンサーである BCIA 社<sup>1</sup>、ANLECR&D<sup>2</sup>、グローバル CCS インスティテュート<sup>3</sup>によって開始された。タスクフォースが検討した新しい CO<sub>2</sub> 回収技術は、以下に定義を示す「生物隔離 (bio-sequestration)」及び「鉱物隔離 (mineral sequestration)」の各分野に分類される。

「生物隔離」とは、生物学的プロセスによる大気中 CO<sub>2</sub> の回収貯留のことである。このプロセスは、(森林再生又は森林伐採の減少による) 光合成の増加、農業における土壌の炭素固定の増進、又は工業プロセスから排出される CO<sub>2</sub> を藻類による生物隔離で吸収することで実現可能となる。

「鉱物隔離」又は鉱物固定は、自然に存在する一般的な岩石中の金属酸化物と CO<sub>2</sub> との反応によるものである。このプロセスは自然の風化現象に似たものであり、最終的に地質学的時間スケールにおいて安定した天然の炭酸塩生成物が生成される。

本タスクフォースの調査は、2011年1月から2011年8月まで行なわれた。最初の活動として、企業、大学及び CSIRO の独立専門家をワークショップに招集し、調査のための行動計画が策定された。ワークショップでは、行動計画の重要な構成要素として、答えを得るべき一連の「仮説」を示した。これらの「仮説」と、タスクフォースが調査に基づき決定した回答は次のとおりである。

仮説 1: 「様々な新しい CO<sub>2</sub> 回収技術について、その実行可能性を評価し、順位づけするに足る科学論文及び技術文献は十分に存在する。」

回答: 条件付きの「イエス」

仮説 2: 「新しい CCS プロジェクトは、2020 年までに商業規模で利益をもたらすものになる。」

回答: 「ノー」

仮説 3: 「実施可能な新しい CCS が永続性を持ち持続可能であることについて、2015 年までに科学的な合意に達する。」

回答: おおむね「ノー」

仮説 4: 「2020 年までに、CO<sub>2</sub> 回収貯留の新技术が開発され、GHG 削減目標に大きく貢献するのに必要な貯留容量が確保されることにより、石炭が豪州における排出量 150kg/MWh のベースロード電力の最低コストオプションとなる。」

回答: 「ノー」

仮説 5: 「新しい CCS が、効果的な協議及び教育活動による情報提供を通じて社会的同意を得ることで、2015 年までに地域社会及び規制当局に受け入れられる。」

回答: 「ノー」

仮説 6: 「HC 埋蔵システム SPE 2007 のような CO<sub>2</sub> 隔離『可能量』(CO<sub>2</sub> sequestration 'reserves') を定量化する国際的に認められた手法が、2015 年までに開発される。」

回答: 「ノー」

仮説 7: 「望ましさの度合いに応じて格付けした豪州の鉱化原料マップを作成できる。」

回答: 条件付きで「イエス」

<sup>1</sup> Brown Coal Innovation Australia Limited、メルボルン

<sup>2</sup> オーストラリア国立低排出石炭利用技術研究開発機構 (Australian Low Emission Coal Research and Development)、キャンベラ

<sup>3</sup> Global Carbon Capture and Storage Institute Limited、キャンベラ

上述した各仮説に対する回答の詳細な説明を、本報告書の主要項目として記載した。仮説に対する回答を得るために、課題の様々な側面をタスクフォースは検討した。具体的には、入手可能な公開文献の包括的な調査、民間企業の技術提唱者との協議、個別分野の科学専門家と共同での問題点の調査、ベンチャー資本提供者や銀行との協議、オプション評価その他の財務分析手法を用いたタスクフォースによる財務分析などである。本報告書ではこれらの側面のすべてを各章で詳述している。

文献レビュー並びに専門家及び技術提唱者との協議を踏まえ、タスクフォースは検討中の技術の大半を、現時点では「概念的」又は「初期段階」であると判断した。「概念的」な技術とは、厳密な科学的データ及び解析ではなく、単に発想に依拠する技術である。「初期段階」の技術とは、小規模の科学実験データが提唱者の主張の裏づけとなっている技術である。こうした状況では、ほとんどの技術は、その優位性が発揮されはじめる商業段階どころか、いまだ「パイロット」スケールの開発段階にも達していない。これは、上述の仮説のほとんどに対する回答が否定的である理由の一つである。

藻類繁殖技術は、栄養補助食品などの高価値製品の生産のために十分に開発されている。これらの技術の一部は、大気中の CO<sub>2</sub> と大きな池を利用して、高日射地域で藻類を繁殖させている。しかし、より高濃度の CO<sub>2</sub> 利用を目的とする高生産性の藻類プロセスはいまだ開発の初期段階にある。このようなプロセスに関する文献は、この数十年間に数多く発表されており、その多くは開放系の池における外輪循環の水路 (paddlewheel raceways) で藻類スラリーを攪拌するものである。現在までに、これらのプロセスは石炭火力発電所からの CO<sub>2</sub> を回収するのに必要な規模にまで拡大していない。また、この技術に必要な土地は非常に広大であり、報告されている生産力に基づけば、CO<sub>2</sub> 100 万トンにつき数千ヘクタールもの土地が一般的には必要である。フルスケールの発電所は、年間 1,000 万トンを超える CO<sub>2</sub> を排出するため、この技術の適用には土地面積の要件が非常に重要であることは明らかである。さらに、タスクフォースは、報告されている生産力には大きなばらつきがあることを確認しており、この点も商業規模システムのスケールに関する不確実性を高めている。タスクフォースの試算によると、光合成に依拠する大規模な微細藻類が CO<sub>2</sub> を消費できるのは、1 日 24 時間のうち、太陽光が利用可能なわずかな時間に過ぎない。この方式では排ガスの貯留が不可能であるため、結果として、CO<sub>2</sub> を 20~25% しか回収できない可能性がある。したがって、土地とコストの問題を別にしても、藻類繁殖は CCS 問題の部分的な解決法としか見做すことができない。ただし、発電所の CO<sub>2</sub> を利用する藻類繁殖のニッチな適用であれば適当である可能性があり、例えば、藻油及び農業用原料といった有益な藻類製品の生産を目指す形での商業利用があり得る。

藻類による CO<sub>2</sub> の「再利用」が本当に隔離と言えるのかについて、広く議論されている。タスクフォースの見解は、メタン及び藻油といった藻類エネルギー製品は、それに相当する化石燃料を置換するものであり、他のすべての条件が同じであれば、それは置換された分、化石燃料が地下に保存されたことを意味する。このような条件下では、CO<sub>2</sub> の藻類回収は (例えば、) バイオマスの燃焼による発電と同様と考えることが可能である。

発電所の CO<sub>2</sub> を利用したマグネシウム及びカルシウムを含む岩石への炭酸塩固定は、長年にわたり研究がなされてきた。CO<sub>2</sub> 及び岩石の化学反応は非常に速度が遅く、場合によっては熱による岩石の活性化が必要である。炭酸塩固定反応を引き起こすためには、高圧及び高温条件が必要であることがいくつかの研究により明らかになっている。ニューサウスウェールズ州 (NSW) では、一部の発電所から十分に近い場所で適切な岩石を大量に入手することができる。CO<sub>2</sub> 1 トンあたりおよそ 3 トンの岩石が必要であるため、炭酸塩固定の操業規模は極めて大きくなる。例えば、NSW の Hunter Valley 発電所 1 箇所から排出される CO<sub>2</sub> を回収するためには、年間 3,000 万トンを超える岩石を採掘する必要がある。それによって微細な炭酸塩尾鉱 (fine carbonate tailings) が 4,000 万トン近く発生する。この技術による環境影響は必然的に大きくなり、それがこの技術の社会的受容に影響を及ぼすと考えられる。炭酸塩固定プロセスには原料となる大量の岩石や気体が必要であるため、その実行可能性は場所に大きく左右されるだろう。これはつまり、こうした施設は一般的に、酸化マグネシウムの供給源近くに設置する必要があることを意味する。

岩石からは鉄、クロム、酸化ニッケルなどの貴重な副産物が得られる可能性があり、これがこのプロセスの経済的実行可能性の一助となる。しかし、文献に示されているこの技術の資本コスト及び操業コストは概して大きい。タスクフォースによる財務分析では、従来のプロセスが妥当な利益率で経済性を得るためには、CO<sub>2</sub> 価格を高く (総費用で CO<sub>2</sub> 1 トン当たり 175 ドル程度) 設

定する必要がある。ただし、炭酸塩固定に関する科学的・化学的な工学研究は未だに「初期段階」で、ベンチスケールである。効率の向上及びコスト低減を目的とした、いくつかの新しい取組が進められている。タスクフォースは、効率の向上を伴う規模拡大の必要性が、炭酸塩固定技術の大きな課題となると考えている。しかし、こうした取組は、この技術が今後、実行可能性及び持続可能性を獲得するために不可欠であることは明らかである。

この他にも、高効率で低コストとなり得る、新しい化学技術や生産工程に基づく新しい炭酸塩固定プロセスがいくつかある。このような炭酸塩固定プロセスは、必要な CO<sub>2</sub> 量を何世紀にもわたって真に恒久的に隔離するに足る規模と原材料資源を備えた数少ない技術であるため、今後更に評価される必要がある。

管理型林業は、現在大気中の CO<sub>2</sub> を隔離するために利用されている成熟した技術である。実際、豪州では一般市民が自主的に、比較的低い CO<sub>2</sub> 価格で、自身の交通手段によって生じた CO<sub>2</sub> 排出を相殺する CO<sub>2</sub> クレジットを購入することができ、また、豪州の大企業は、林業による商業的な CO<sub>2</sub> 隔離を利用している。通常程度の商業的利益を前提にすれば、土地費用が妥当であり、森林の生産性がそこそこであれば、国際的な炭素取引制度で予想される価格に近い CO<sub>2</sub> 価格であっても、この取引は投資家にとって財政的に比較的魅力のあるものになることをタスクフォースは発見した。しかしながら、豪州においてそうした土地を入手することは困難であり、また国内炭素取引制度案には農業と林業はまだ含まれていない。したがって、タスクフォースは、石炭火力発電所の CO<sub>2</sub> 隔離全体に林業が寄与する可能性は、現時点では比較的低いと判断した。さらに、森林による CO<sub>2</sub> 吸収は直線的に増加せず、隔離がピークを迎えるのは植林からおおよそ 10~20 年後である。

土壌中への炭素隔離は、現時点で政治的に非常に注目されているトピックである。また、この技術は科学的に不確実性があるトピックでもある。土壌中の炭素増加による農業生産性の向上については、古くからの事例証拠がある。農作業を通じた土壌中の炭素増加を目的とした豪州の炭素農業イニシアティブ (Carbon Farming Initiative) のようなプロジェクトは、農業の生産性向上に確実に寄与するだろう。

大気中の炭素を隔離する目的での、土壌中への炭素固定は、上述のものよりも議論の分かれる技術である。土壌中の炭素は必ずしも恒久的ではなく、豪州の土壌は過去二世紀にわたって多くの炭素を失った。文献によると、炭素の性質によっては、土壌から大気へと比較的速やかに移動し、隔離を無効化してしまう。一方で、バイオマスから生産した高密度の炭素チャコール (バイオ炭) は土壌中に何世紀にもわたってとどまり、「内生的」土壌炭素含有量<sup>4</sup>を増加させ得る。これが特にあてはまるのは、褐炭などの化石燃料の派生物を利用した土壌炭素の増加策であるが、そこで問題になるのは恒久性である。こうした褐炭派生物を土壌中に置くような技術は、農業の生産性を向上させ得るものの、大気中の CO<sub>2</sub> を長期間大量に隔離できるかについては、不確実である。タスクフォースは、この分野について質の高い科学的な研究が更に必要と考えている。

土壌炭素に関する分野には、一般的に二つの側面で不確実性がある。第一に、土壌と大気の間での炭素の移動は空間的・時間的に変化するが、これに関する科学的理解は未だ乏しい。つまり、土壌炭素のダイナミクスは場所によっても時間によっても異なり、特に季節的要因や干ばつといった気候事象によって大きく変化する。第二に、この現象が十分に解明されていない理由の一つは、土壌炭素測定技術が高コスト・低効率であることに関係している。タスクフォースは、リモートセンシングを利用した土壌炭素フラックス測定技術の開発は、土壌炭素のダイナミクスをより深く理解するにあたっての国家的優先課題だと考えている。

タスクフォースは、新しい技術に関する多くの提言を行っている。次章にこれらの提言を示す。

<sup>4</sup> 「内生的」とは、植物の根及び土壌中に生息する生物種的作用によって土壌自体が生成した土壌中炭素を意味する。