

陸域 CO₂ 固定技術の開発～その 1 休廃止鉱山 CCUS～

地圏総合コンサルタント ○山本英樹, 橋本綾佳, 高橋拓也

応用地質 小野藍生

大成建設 松井秀岳

建設技術研究所 高野徹

1. はじめに

休廃止鉱山の主に廃坑道 CCUS 活用を目的とした、CO₂ 固定能力を有する坑道充填材の開発、及び坑道内への充填施工と計画に関わる検討を行う。年間 100 億円とも試算される坑廃水処理費用の低減、中和殿物の有効利用といった坑廃水処理事業者の抱える課題を、社会的要請であるネガティブエミッションとしての CO₂ 固定技術により解決し、脱炭素社会への貢献を図る。これらにより休廃止鉱山鉱害防止事業内における地質関連市場の創出も期待できる。

2. 社会的背景

(1) 国内 CCS 事業

世界的な化石エネルギー依存脱却が進む中、国内では火力発電所は即停止せず、段階的閉鎖とする方針である。その間の CO₂ 対策として、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage, 二酸化炭素回収・貯留) を有効手段としており、エネルギー供給構造高度化法においても、CCS 付き火力発電の法律上の定義はゼロエミッションとされる。具体的には、CO₂ を地下 1000m 超まで圧入、超臨界により気体から半液体化し地層に貯留する (図-1)。2016 年～2019 年に実施した、苫小牧実証試験では、約 3 年間/30 万 t_{CO2} 圧入を目標として成功。その後、経産省では、中間目標の 2030 年まで 600～1200 万 t_{CO2}/年、最終目標の 2050 年には 1 億 t_{CO2}/年以上の CCS サイト設置目標を掲げており、目標達成のための先進的 CCS 事業として、国内 9 サイトが選定されている。

昨年には、CCS 事業法も成立し、国内における同事業の本格的な推進が見込まれている。

(2) CCS 事業の課題

選定された先進的 CCS 事業サイトは、苫小牧実証試験と同様、海域で計画されている。各サイトの貯留ポテンシャルは年/140 万 t_{CO2}～300 万 t_{CO2}と試算されており、2030 年中間目標は達成圏内と言える。一方で、2050 年目標を全て海域で達成しようとした場合、年/約 1000 万 t_{CO2}、CO₂ 圧入井は年/約 10 孔のペースで増やすと想定されているが、これには下記のような様々な課題がある。

- ・高コスト
- ・海洋汚染法や海洋基本法との整合性
- ・住民理解や合意形成
- ・活断層

一方で、既存の先進的 CCS 事業に陸域は含まれていない。これは、海域より貯留ポテンシャルが小さいと想定し、中間目標を急務とする方針に合致しなかったと思われるが、CO₂ 回収から圧入までの輸送コスト、インフラ利便性、モニタリングの容易性等、陸域での CCS のメリットも無視はできない。更には CCS 付き火力発電以外にも、製鉄所など、CO₂ 排出源の多くは陸上にある事を考慮すると、小規模でも安価な陸域での CO₂ 固定は有効であり、これを社会的要請と考え、独自技術を開発する取り組みも増えている。

3. 三笠市 CO₂ 固定 (CCUS) 実証試験²⁾

炭素固定ネガティブエミッションとして、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) 二酸化炭素回収利用) がある。かつて炭鉱で栄えた北海道三笠市では、未採掘の石炭を地下で燃焼し、発生ガスを地上プラントにて CO₂ と水素に分離する水素製造事業と、発生した CO₂ を廃坑道への圧入する CO₂ 固定事業に取り組んでいる。2022 年度には、実際の廃坑道を使った CO₂ 固定実証試験を実施した。地下 430m まで掘削し貫通した炭層へ、地上プラントで水に CO₂ を溶解したファインバブル水を坑内へ圧入し³⁾、その後フライアッシュをベースに石灰と CO₂ の化学反応により鉱物化 (炭酸カルシウム) するスラリーを製作し圧入した。この試験は、ファインバブルを利用した CCS 的な要素と、充填後に固化したスラリーが、落盤リスクを軽減する事から CCUS の

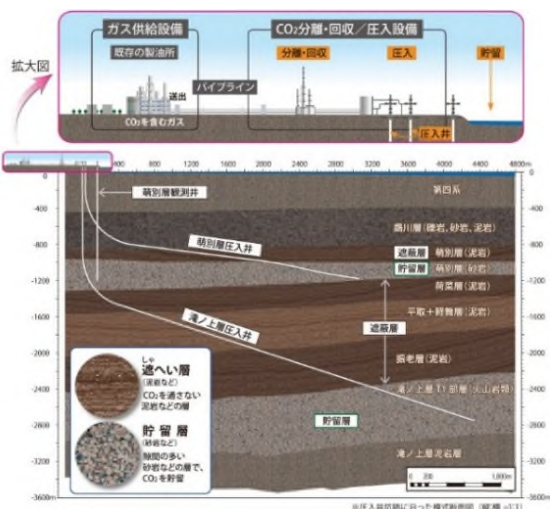


図-1 CCS 実証試験全体図¹⁾

要素も併せ持つユニークな方法であり、特に CCUS に関しては、陸域で超臨界に至らない深度の地下空間における CO₂ 固定の可能性を示した。尚、実証試験は三笠市が発注し、室蘭工大板倉教授ご指導の元、コンソーシアム（NPO 法人、応用地質、岩田地崎建設、ファルコン、地圏総合コンサルタント）が委託先として実施した。

4. 非鉄金属休廃止鉱山 CCUS 活用の検討

(1) ニーズと市場

このような陸域 CO₂ 固定技術の社会的意義を踏まえて、当社では非鉄金属系休廃止鉱山 CCUS 活用を検討開始した。非鉄金属鉱山では、採掘に伴い発生した鉱滓と、雨水等の酸性水による化学反応で、排出基準を超過する有害物質を含む大量の坑廃水が発生する。地上への湧水や地下水への混入リスクを常態的に抱えており、グリーンレメディエーション研究会によると、その対策費用は官民合わせて、年間約 100 億円規模と試算される。国内約 740 箇所を対象とする坑廃水処理事業の内、この 50 年で約 670 箇所へ対策を講じたが、直近 20 年では 6 箇所減に止まっており、残り約 70 箇所が未解決とされている。更には経産省による「特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する 基本方針（第 6 次）」では、CN、脱炭素、SDGs への取組も求められており、これらの課題解決を図る技術革新は社会的ニーズと言える。

(2) 坑道内充填試験の事例

過去、平成 20 年～26 年に経産省では、モデル鉱山地表近くの坑内空洞の一部に、中和殿物セメントの混合剤を充填剤として充填し、廃坑道内への雨水の浸透を減らし処理水を低減するとともに、坑廃水の処理過程で発生する中和殿物を、充填材として再資源化する事を目的とした研究を実施した。経産省「坑廃水水質改善技術開発事業評価用資料」によると、研究成果の活用先として国内 20 鉱山への適用性を示している。

(3) 非鉄金属鉱山廃坑道 CCUS 活用の検討

非鉄金属鉱山は、石炭鉱山より比較的浅い位置に廃坑道が存在する。ここに CO₂ 固定材料を充填する事で、超臨界や 1000m 級のボーリングを必要とせず、CO₂ 固定が可能となる。材料には上述の経産省事業と同様に、中和殿物の活用を検討している（図-2）。また、事業では事前調査（ボーリング、物理探査、試験分析等）、解析（坑道モデル化、水収支、モデリング、移流分散等）、材料評価、モニタリング、施工技術が重要となる。こうした複合技術の結集を前提とした、独自技術の開発と導入により、坑廃水処理事業における新たなニーズ創出を図るべく、一昨年から各機関と協議を開始した。現在、北海道大学富山真吾（客員教授）をアドバイザーとして招聘し、大成建設（材料開発、施工）、応用地質（坑道図、地質図モデル化）、建設技術研究所（水理モデル、移流分散解析）とスキームを構築し、本格的に開発を開始した（図-3）。

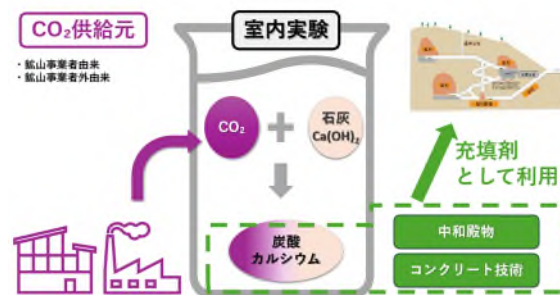


図-2 CO₂固定型充填材の開発

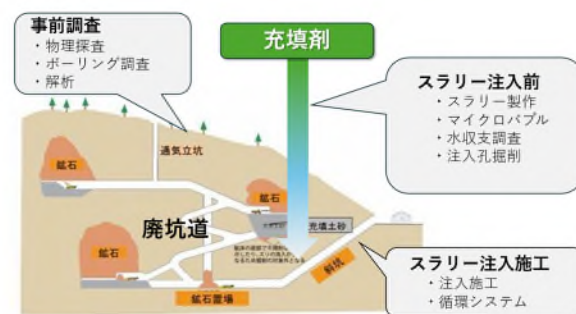


図-3 調査・解析・施工技術の開発

今年 3 月には、富山氏の推薦によりグリーンレメディエーション研究会にてプレゼンを行い、経産省、JOGMEC、日本鉱業協会、鉱山事業者からの大きな反響があった。

5. まとめ

本研究では、休廃止鉱山における廃坑道を活用した CO₂ 固定技術の開発に向けて、その社会的背景、技術的課題、および実証試験事例を踏まえた検討を行った。北海道三笠市における CCUS 実証では、地表近傍の廃坑道にファインバブル水および炭酸カルシウムスラリーを圧入する手法により、低深度域での CO₂ 固定の可能性が示され、陸域における CCUS 技術の新たな展開が期待される結果となった。また、非鉄金属鉱山への応用においては、坑廃水処理の高度化や処理副生成物の有効利用といった多面的効果が見込まれ、ネガティブエミッション技術としての社会的意義も大きい。今後は、地質・解析・材料・施工・モニタリング等の複合的技術の結集及び実証を通じて、実装可能な陸域 CO₂ 固定技術の確立を目指す。

《引用・参考文献》

- 1) 日本 CCS 調査株式会社：CCS 実証試験全体図
<https://www.japanccs.com/business/demonstration/whole.php>
- 2) 三笠市：「石炭地下ガス化×脱炭素」への挑戦
<https://www.city.mikasa.hokkaido.jp/hotnews/detail/00014328.html#indexccs>
- 3) 小野藍生、他（全地連「技術フォーラム 2023」横浜）：未利用エネルギー活用事業における二酸化炭素固定方法の検討