Prompt Report

「二酸化炭素炭層固定化技術開発」における
圧入予備実験について*名 子 雅 夫¹ 藤 岡 昌 司²Multi Well Pilot Test for JCOP
- Japan CO₂ Geosequestration in Coal Seams Project -by Masao NAKO^a and Masaji FUJIOKA^ba. General Environmental Technos Co., Ltd., 1-3-5, Azuchimachi, Chuo-ku, Osaka, 541-0052
(Corresponding author: E-mail nako_masao@kanso.co.jp)b. Japan Coal Energy Center, 9F Meiji Yasuda Seimei Mita Building, 3-14-10 Mita, Minato-ku,
Tokyo 108-0073

The Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) has undertaken 5-Year project on CO₂ sequestration in coal seams since 2002. This project consists of fundamental research into CH₄-CO₂-coal interaction, CO₂ monitoring technologies, cost reduction of CO₂ capture from flue gases, and the economics of sequestration. Another component of the project is a field pilot test. After preliminary screening of potential sites, the Ishikari coalfield in Hokkaido, Japan, was selected as the pilot test site. In 2003, a well was drilled in the South Oh-Yubari district within the Ishikari coalfield, and named IW-1. This was the first well drilled in Japan from the surface to a coal seam for purposes of CO₂ sequestration and was designed for CO₂ injection. In 2004, second well (called PW-1) was drilled at the surface location 195m away from IW-1 for the production purpose. The two wells were together intended to constitute a multi-well pilot test site. A multi well CO₂ injection/CH₄ production test was conducted using both IW-1 and PW-1. This paper introduces the overall coal seam CO₂ sequestration project and presents the results of the multi well injection/production test.

KEY WORDS: CO₂ Geosequestration in Coal Seams, CBM, Pilot Test

1. は じ め に

二酸化炭素炭層固定化技術開発については、経済産業省の「二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業」の一環として、平成14年8月から事業を開始した。

本技術開発は地球温暖化問題の解決に向けて二酸化炭素（以下CO₂という）の大気中への放出を抑制するため、火力発電所等の大規模発生源から回収したCO₂を石炭層（以下炭層という）に圧入して安定的に固定化するとともに、炭層中でCO₂と置換した未利用のメタンガス（以下CH₄という）をクリーンエネルギーとして回収する技術を開発し、その全体システムの実用化・事業化を検討するものである。

2. 二酸化炭素炭層固定化技術開発の現状

本技術開発は、基礎研究と予備実験に分かれており、それぞれの研究テーマに応じ大学および研究機関が分担して実施している。

また、それらを統括する形で経済性検討を進めており、その実

施体制は Table 1 のとおりである。

平成14年度、15年度については、基礎研究に重点を置き、秋田大学等の研究室においてCO₂の炭層への吸着に関する各種実験を実施し、CO₂の炭層内挙動を対象としたシミュレーションモデルの検討を行った。

平成16年度は、北海道夕張市においてCO₂圧入予備実験を開始したので、本編ではその結果を報告する。

Table 1 Organization of Japan CO₂ Geosequestration in Coal Seams.

基礎研究	CO ₂ とCH ₄ の置換メカニズムの解明	北海道大学
	CO ₂ の挙動に関するシミュレーション開発	秋田大学
	炭層へのCO ₂ 最適固定化条件の検討 (CO ₂ の吸着特性に関する実験)	京都大学
	炭層へのCO ₂ 最適固定化条件の検討 (石炭の膨潤・収縮に関する実験)	RITE
	炭層のCO ₂ 固定ポテンシャルの検討	早稲田大学
予備実験	CO ₂ 回収技術の効率向上検討	関西電力㈱、三菱重工業㈱
	モニタリング技術の開発	KANSO 他
	CO ₂ 圧入予備実験	JCOAL
経済性検討	経済性、社会受容性等の検討	KANSO 他

RITE: (財)地球環境産業技術研究機構 KANSO: (株)環境総合テクノス
JCOAL: (財)石炭エネルギーセンター

*2005年3月8日受付 8月9日受理 平成16年度資源・素材学会春季大会において一部講演

1. 普通会员 (株)環境総合テクノス CO₂炭層固定化プロジェクト室長

2. (財)石炭エネルギーセンター

[著者連絡先] FAX: 06-6263-7324 (CO₂炭層固定化プロジェクト室・名子)

Email: nako_masao@kanso.co.jp

キーワード: 炭層固定化, CO₂圧入予備実験, CO₂注入実績

Fig.1 Injection Well Profile.

Fig.2 Observation Well Profile.

Fig.3. Schematic of The CO₂ Injection Pilot Study.

Fig.4 CO₂ Gasification Facility.

3. CO₂ 圧入予備実験の概要

CO₂ 圧入予備実験に用いる圧入井については、平成 15 年 9 月に掘削を開始した。掘削孔径は 3 段とし、第 1 段は 12-1/4 インチで地表から深さ 60m まで掘削し、第 2 段は 8-1/2 インチで深さ 667m まで掘削した。

第 1 段および第 2 段の対象地層は塊状泥岩でノンコアリングによる掘削とした。

第 3 段は 6-1/4 インチで深さ 667m から 933m の間をオールコアリングにより掘削した。圧入井のプロファイルを図 1 に示す。

対象地層は泥岩と砂岩の互層に石炭層を挟んでおり炭層は上層、本層、下層の三層が確認できた。

孔井は垂直で坑壁の崩壊防止のため、オールケーシング仕上げとし、ケーシングの外部と掘削裸坑間にセメンチングを実施した。また、ケーシング仕上げされた孔井と炭層部（下層）の導通を得るため、炭層部区間にパーフォレーションを実施した。

一方、観測井は平成 16 年 7 月に圧入井の西南西約 195m の位置にて掘削を開始した。

観測井の掘削に際しては、対象炭層（下層）との接触面積を大きく取ってガス産出効率を向上させるため、掘削深度 420m から孔跡屈曲する傾斜井とした。

孔井はノンコア掘削であるが、カッティングスの採取と物理検層により、岩相や層序を調査すると共に下層の深度を把握できた。

掘削孔径は圧入井と同様 3 段とし、第 1 段 12-1/4 インチで 107m、第 2 段 8-1/2 インチで 856m、第 3 段 6-1/4 インチで 980m まで掘削した。なお、第 2 段まではケーシングを挿入し、セメンチングを実施した。観測井のプロファイルを図 2 に示す。

また、856m 以深については、アンダーリーマーにより拡孔し、4-1/2 インチのケーシングおよびストレーナーを挿入した。観測井は対象炭層（下層）において、圧入井との着炭距離を狭めるため、傾斜掘りを採用し、66.6m まで近付けることができた。完成した孔井の概念図は図 3 のとおりである。

4. CO₂ の貯槽と気化設備の概要

4・1 CO₂ 貯槽

本装置は、耐震強度を有するコンクリート基礎上に貯槽を設置するものであり、貯槽（内槽）外周に殻を有する二重殻構造で、その間に断熱材（パーライト）を充填した真空層により温度を保持している。

また、気化設備への払出量を確保するため、貯槽外部系統の蒸発器で液化 CO₂ を気化させて、貯槽ガス部を強制加圧する構造としている。

Fig.5 The Daily Change of Injection Pressure, Bottom Pressure and Injection Volume at IW-1.

- ・型式：横置円筒型，二重殻真空断熱
- ・設計圧力：2.45MPa
- ・設計温度：-196℃～40℃
- ・貯槽容量：15,000ℓ×1基
- ・寸法：外槽 外径 2,200mm×長さ 6,816mm

4・2 CO₂ 気化設備

本装置は，CO₂ 貯槽から液化炭酸ガスの供給を受け，CO₂ 昇圧ポンプ，蒸発器，付属配管・弁類および，圧力検出器等の計測機器から主要部を構成し，圧入井にCO₂ を注入する装置である。Fig.4 に設備概要を示す。

なお，定格使用条件での装置性能は，最高使用圧力；18.0MPa 最大流量；1,000kg／h である。

4・2・1 安全面の配慮事項

- (1) ポンプ吐出圧力が設定圧力 (13.5MPa) 以上となった場合，自動的に運転を停止するトリップ機能を設けた。また，蒸発器の水位低下などの場合に速やかに認知できる様，警報機能を設けた。
- (2) 圧力が異なる主要系統にバネ式安全弁を設け，設定圧力以上にならない様にした。
- (3) 定容積ポンプの異常昇圧を防止するため，本体内部に逃し機能を有する装置とした。
- (4) 超臨界圧CO₂ 条件下での使用に耐える様，配管はステンレス材とし，パッキンは金属製とした。

4・2・2 品質面の配慮事項

- (1) CO₂ 注入圧力を任意に設定・調整できる様，インバータ・モータによる回転数制御を採用した。
- (2) CO₂ 注入量を調整できる様，定容積ポンプによるストローク調整機能を採用した。
- (3) CO₂ 注入のガス温度を調整できる様，蒸発器水槽に電気ヒータによる水温調整機能ならびに，再循環加温系統を設けた。
- (4) CO₂ 注入圧力を微調整できる様，蒸発器出口に手動式減圧弁を設けた。

4・2・3 運用面の配慮事項

- (1) 冬期の雪害を避けると共にCO₂ 圧入予備実験場の変更に

Fig.6 The Transition of Production Gas Volume.

- 対応できる様，現地への移動・搬出入が容易な移動式製造設備とした。
- (2) 高圧ガス保安法の技術基準に基づき設計・製作すると共に国の許・認可を得た。

5. 圧入予備実験結果（速報）

平成 16 年 11 月 9 日に CO₂ の注入を開始し，11 月 24 日に降雪のため注入を終了した。

CO₂ 注入に際しては，孔底における圧入圧が炭層のクリート開口圧力 (15.8MPa) 未満になるように気化設備の吐出圧力を調整して実施した。

吐出圧力の調整は気化設備の昇圧ポンプのストローク調整およびインバータによる回転数制御により行い，圧入井孔口で 7.0MPa～7.5MPa とした。

CO₂ の注入量は 1 日当たり 2 トンから 3 トン程度で総注入量は 35.7 トンとなった。注入圧と CO₂ 注入量との推移を Fig.5 に示す。

一方，観測井におけるガスの産出量は 11 月 13 日に揚水を開始した以降，徐々に産出量が増加し，11 月 30 日にピーク（推定 250m³／d）を示した後，150m³／d 程度に低下し安定した。産出ガス量の推移を Fig.6 に示す。

なお，CO₂ 圧入後に観測井で産出されたガス成分を分析した結果を Table 2 に示す。

Table 2 Analysis of Gas Component.

採取日		11月19日	11月29日
CH ₄	%	94. 9	95. 6
C ₂ H ₆	%	0. 22	0. 14
C ₃ H ₈	%	0. 24	0. 18
Ar	%	0. 006	0. 004
N ₂	%	0. 59	0. 12
O ₂	%	0. 17	0. 48
CO ₂	%	2. 89	2. 5
その他	%	0. 984	0. 976
合計	%	100. 00	100. 00

(提供:産業技術総合研究所)

6. 課 題

観測井でのガス生産量は徐々に増加する傾向を示しており、CO₂ 圧入によって、平均的に 150m³/d の生産実績が得られた。

一方、数値シミュレーションにより、CO₂ 圧入なしのデータを入力し、ガス生産量を想定すると 50m³/d 以下でガス量が推移することが分った。

この差が CO₂ 圧入によるガスの増産効果と見込まれるが、今後、現場実験のデータを積み上げ、産出量に基づくシミュレーションのヒストリーマッチングを行い試験結果の解析を進めて行くことにしている。

本技術開発において、CO₂ の固定を確認する為の地中での CO₂ 挙動のモニタリングは大きな課題であるが、実用化には CO₂ 注

入性やガス生産性の大幅な増加を達成する必要がある、そのため
の孔井仕上げ技術の開発が重要となる。夕張で実施中の技術開発
プロジェクトは、我が国で最初のコールベッドメタン（炭層メタ
ンガス）開発試験であり、且つ、最初の CO₂ 炭層固定化試験で
もあり、圧入のみならず生産を抑制する要因を検討していかなけ
ればならない。

7. ま と め

CO₂ 炭層固定化技術開発の成果は、国内石炭資源（非採掘炭）
の有効利用と我国の中長期的温暖化対策に資するとともに、膨大
な石炭資源を有する発展途上国への技術移転に貢献でき、我国の
産業競争力強化につながるものである。

現在、カナダや EU 等の諸外国においても、CO₂ 地中（炭層）
隔離プロジェクトが進められている。カナダの ARC では、発電
設備の排煙を処理せずに炭層に注入する技術の実用化に関する現
場実験を行っており¹⁾、ポーランドの RECPOL では、炭層にお
ける CO₂ の永久的な貯留に関する技術的、経済的な実現可能性
を検討するために、基礎研究・現場実験を行っている²⁾。

本技術開発の要素技術は海外と共通であるが、我が国固有の炭
層特性（多い断層、褶曲した地層、新しい地質年代等）を考慮し
た独自の技術開発が必要である。

CO₂ 隔離は、CO₂ 削減への量的寄与が顕著であり、かつ CO₂
分離・回収等の各種技術との統合が可能である。

References

- 1) John Robinson, Matthew J. Mavor and William D. Gunter: Proc. 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, (Vancouver, B.C., Canada, 2004), pp.125-126.
- 2) Frank van Bergen, H.J.M. Pagnier and Pawel Kizystolik: Proc. 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, (Vancouver, B.C., Canada, 2004), pp.124-125.