

(資料 5-1)

【環境(CCS)】 CO<sub>2</sub> 地中圧入

仮訳

## MRCSP フィールド実証試験ファクトシート

米国中西部地域炭素貯留パートナーシップ

(MRCSP: Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership)

NETL Cooperative Agreement DE-FC26-05NT42589

DOE/NETL Project Manager: Traci Rodosta,

[Traci.Rodosta@NETL.DOE.GOV](mailto:Traci.Rodosta@NETL.DOE.GOV)

2009年11月

Cincinnati Arch 地質調査、East Bend 石炭火力発電所	
主任調査員:	Dave Ball, Battelle (614-424-4901; balld@battelle.org)
テストサイト:	Duke Energy East Bend 石炭火力発電所, Rabbit Hash, Kentucky
CO <sub>2</sub> 排出源・排出量:	約 1,000 メートルトン 商業的排出源
フィールドテスト共同 実施事業者(主要なス ポンサー)	Duke Energy
	Kentucky Geological Survey 社、 Indiana Geological Survey 社、 およ び Ohio Geological Survey 社

## フィールドテストサイトとオペレーションの概要

米国中西部地域炭素貯留パートナーシップ(MRCSP)は、CO<sub>2</sub> 地下貯蔵テストの一環として 1,000 メトリックトンの CO<sub>2</sub> の圧入を、米国ケンタッキー州、Boone 郡の Rabbit Hash 市の近くにある Duke Energy East Bend Generating Station(図 1 参照) にて実施した。650MW の石炭火力発電所である Duke Energy East Bend の発電所施設は、Ohio River Valley から離れた丘陵地となるオハイオ川の湾曲部に沿った 1,800 エーカーの氾濫原に位置している。この石炭火力発電所は、様々な発電施設ビル、石炭ステーキングエリアやその他の施設を備えた産業用途のものである。フィールドテストサイトは、稼働中のこの発電所に位置しており、フィールド作業のための設備へのアクセスとプロジェクトの完了に役立つサポートを提供している。この地域は適度に開発が進んでおり、フィールドでの作

業を実施するために広大な土地が利用可能である。このテストサイトは、この地域における CO<sub>2</sub> 貯留の重要な特性を持つと考えられている、Cincinnati Arch(シンシナティ弧)に極めてピッタリの環境を呈している。

Cincinnati Arch は、堆積岩がアパラチア山脈とイリノイ盆地の間に弧を形成する局地的な地質構造である。ほとんどの MRCSP 地域と同様に、このサイトでは先カンブリア時代の基盤岩の上に堆積岩の厚い層が積み重なっている。ここで目標としている貯留層は、MRCSP 地域において歴史的に産業廃棄物や有害な液状廃棄物の圧入処理に利用されている広大な砂岩の Mt. Simon Sandstone 層である。この層は、Arches Province と呼ばれる地域一帯 で高い空隙率と透過性を持つことが見込まれており、CO<sub>2</sub> の貯留に適すると考えられている。近隣の坑井(の取得データ)により、この累層は、テストサイト地表下、約 3,200~3,500 フィートの深度間隔で 300 フィートの厚さを持つ(図 2 参照)。先カンブリア時代の砂岩層は、おそらく Mt. Simon 砂岩層下にあるだろう。それらの岩石は密集度が高いため、おそらく貯留層として利用が不可能かもしれないが、この地帯の明確な特徴は把握されていない。

このテストサイトにおける目的は、地下深くにある局地的な含塩水層への CO<sub>2</sub> 圧入である。このサイトは MRCSP 地域の大部分の地質を代表するものである。従って、このテストサイトは、現在または将来の MRCSP 地域における石炭火力発電所のモデルとなる。



図 1: 左: CO<sub>2</sub> が暫定的にサイトで貯留タンクに保管される。本テストに使用された CO<sub>2</sub> は、食品産業で通常使用されるものと同じ組成を持つ。CO<sub>2</sub> は標準的な配送用トラックによって液状で輸送される。右: 圧入目標(Mt. Simon Sandstone 層)は、地下半マイルを上回る深さにある。圧入井は中央に示される。

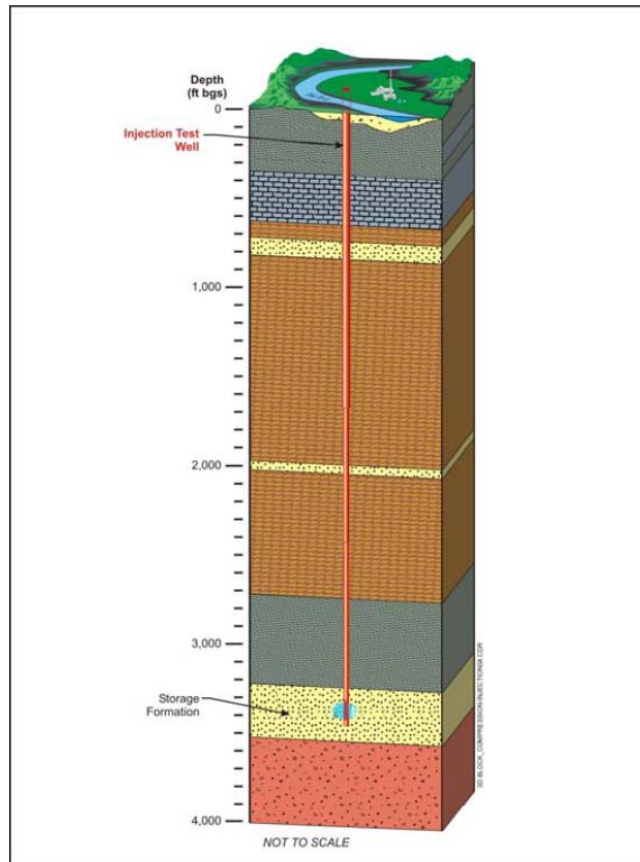


図 2: East Bend サイトにおける CO<sub>2</sub> 貯蔵テストの概念図

Eau Claire シェール(頁岩)は、Mt. Simon Sandstone 層の上の封じ込め層となっている。この低透過性のシェールは約 500 フィートの厚さで、その地域一帯に広がっている。この地域での微量の石油・ガス生産は、より浅い岩盤層に限定されている。このテストサイトから 2 マイル以内において、Mt. Simon Sandstone 層に透過する坑井は存在しない。その地域で目標とする貯留層は、経済的価値の無い高濃度(重質)の塩水(総溶解固形分: Total Dissolved Solid = TDS>100,000mg/L)で満ちている。最も深い地下飲料水源は、地下 250 フィート未満の基盤岩層地帯にあるが、地下水のほとんどは Ohio River Valley の沖積層 (alluvium)から得られる。調査対象エリアには広範囲な断層は存在しない。岩盤は 40 フィート/マイル未満の傾斜で東方へと緩やかに沈んでいる。

East Bend サイトの全体計画は、サイトの地質の比較的詳細な特性評価と、以下の諸活動等の限定的な圧入テストおよびモニタリングの実施である。

1) 貯留層とキャップロック(帽岩)の事前地質調査

本調査では、利用可能な坑井をまとめ、地質的な断面図を作成し、目標とする貯留層を

図示し、プロジェクトに影響を与えると考えられる地質貯留に関する課題を把握する。Indiana Geologic Survey 社および Kentucky Geologic Surveys 社は、対象地域における地質データが豊富であるため、そのタスクのほとんどが完了している。

## 2) 2次元地震探査

2次元地震探査は、トラックに搭載した地震発生器を導入して East Bend 発電所周辺で振動を起こし、地下地質の地球物理学的画像を作成するため 2006 年 11 月に実施した(図 3 参照)。

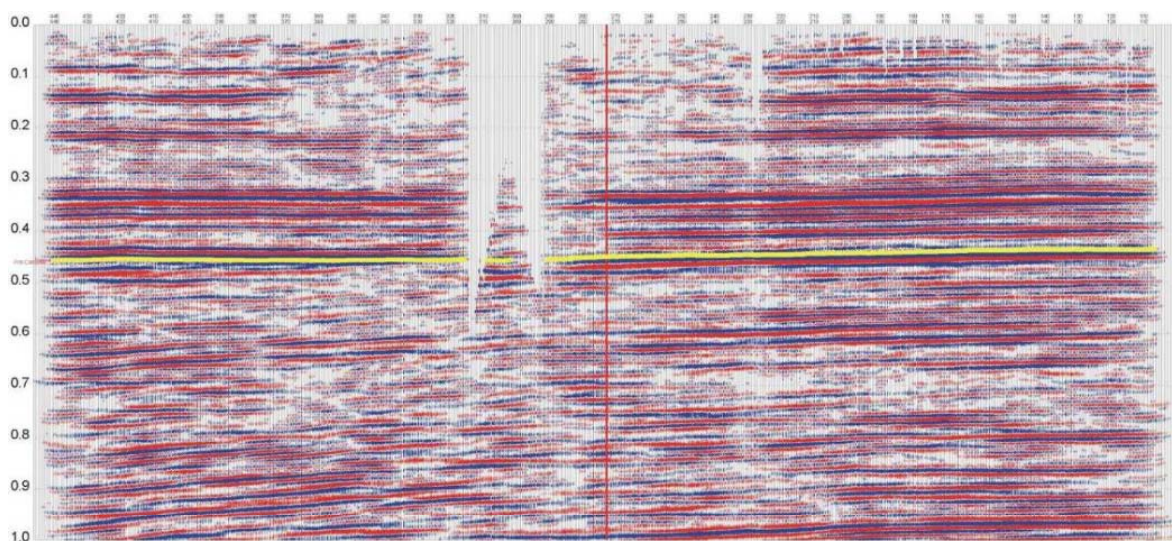


図 3: East Bend サイトからの N-S 地震測線。赤色の縦線は井戸の場所を示す。黄色の横線は先カンブリア時代の岩石の場所を示す。注: データの空白は Ohio River の切断面である。

## 3) 許認可

2009年1月に、米国環境保護庁行政区4より、5等級の最終地下圧入コントロールプログラム(Underground Injection Control: UIC)に対する許認可を、2009年6月にはKentucky Division of Oil and Gas より掘削の許認可を得た。

## 4) サイト特性評価のためのフィールド調査

プロジェクトチームは、2009年6月に坑井を試掘した。ボーリングは約 3,700 フィート(図 3)の深さまで実施した。坑井のサンプリングと特性評価は、掘削中に発見する地層の地質学的、水文地質学的、地球科学的な状態の確認に焦点を絞って実施した。研究室での分析用に貯留層、帽岩層から岩石のサンプルを収集した。ワイヤーラインツールを使用して音速、密度、空隙率および抵抗値などの地球物理学的特性を測定した。貯留層内の塩水の地質化学的特性は、貫通井からのスワビングによりサンプルを収集し研究室での分析により確定した。貯留層の水圧特性は、貯留層への短期的な塩水圧入テストによって確定し

た。ボーリング穴の近隣の高解像度画像を得るために反射法地震探査(vertical seismic profile: VSP)を使用した。

#### 5) CO<sub>2</sub> 圧入テストとモニタリング

2009年9月、約1,000メトリックトンのCO<sub>2</sub>をMt. Simon Sandstone層に圧入した。CO<sub>2</sub>は商業排出源より取得した。CO<sub>2</sub>の圧入、貯留層でのCO<sub>2</sub>の挙動の図示、圧入が計画通りに進んだことを確認するため、数種類の最新鋭のモニタリングデバイスと技術を使用した。

#### 6) CO<sub>2</sub>圧入後のモニタリングとサイト閉鎖

圧入されたCO<sub>2</sub>の最終的な結果を評価するためにCO<sub>2</sub>圧入後のモニタリングを実施している。UIC許可には飲料水の地下資源の定期的な地下水モニタリングが必要となる。以後2年間は、圧入井から400フィート離れた場所に設置された新しい地下水モニタリング井を含め、実証実験サイトの近隣の10箇所のモニタリング坑井から地下水サンプルを収集する予定である。これらの坑井は、地表下70~160フィートのさまざまな深度で検査される。

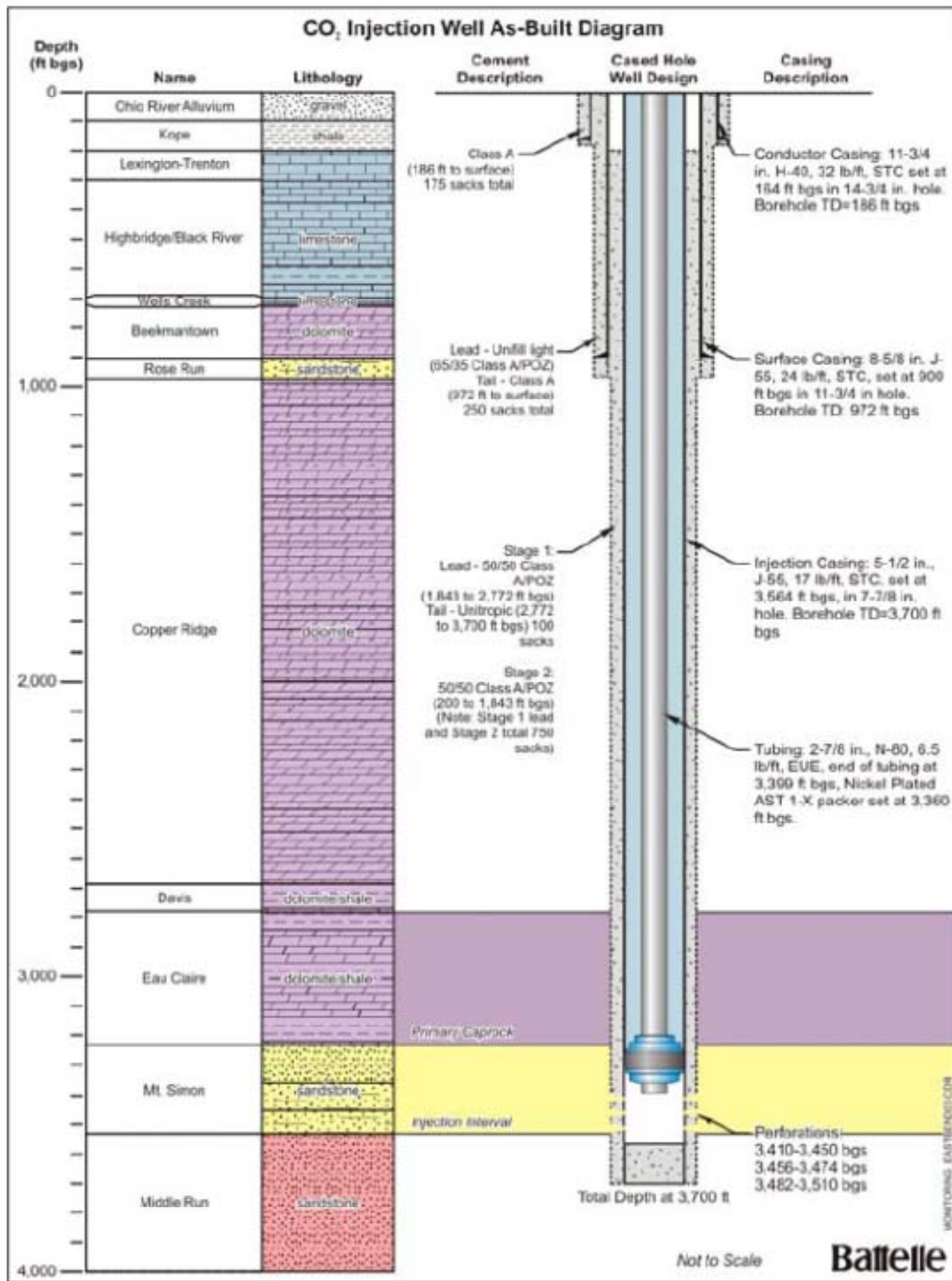


図 4: 地質柱状図と圧入井の構造図

## 研究の目的

この研究の主要な目的は、MRCSP 地域(および米国)における大規模な CO<sub>2</sub> の貯留とする、Mt. Simon sandstone 層における CO<sub>2</sub> 貯留の実証である。Mt. Simon sandstone 層は米国中西部を通して広がっているため、この実証テストの情報の多くは MRCSP の他の地域やそれ以外の地域にとって有益なものとなるだろう。この主要な目的に加えて、この実証テストは Mt. Simon sandstone 地域の特徴(つまり透過率、空隙率、地質化学、鉱物特性)をより深く理解することを目標としている。

## モデリングと MMV(Measurement, Monitoring and Verification)の概要

初期モデリングには、仮定した水文パラメータと圧入システム仕様(3,200~3,500 フィートの深さにある 300 フィートの砂岩貯留層、30 日間の圧入量 1,000~3,000 トン等)に基づく簡易 STOMP(Subsurface Transport Over Multiple Phases)CO<sub>2</sub> 挙動シミュレーションが含まれている。この予備モデリングの目的は、モニタリングと信頼性に関する課題についてガイダンスを提供することである。初期モデリングでは、圧入口(数百フィート)からの CO<sub>2</sub> の移動はほとんど見られなかった。そのため、再調査のエリアはホストサイトの特性の範囲内であった(図 5 参照)。CO<sub>2</sub> 圧入前のモデリングをサポートするために、テスト井のデータを使用した。現在、このモデルはフィールドテスト用に較正されている。

CO<sub>2</sub> 貯留のモニタリング技術は、提案された圧入システム仕様と地理的背景(テーブル 1 参照)に基づいて選択された。圧入場所の間隔がかなり広いので、モニタリングには圧入された CO<sub>2</sub> の上方への移動があればその追跡が含まれた。その結果、VSP とワイヤーライン方式がこのサイトには最も有望であるとした。システム圧力、温度、地下水および塩水の地質化学モニタリングも同様に適用された。

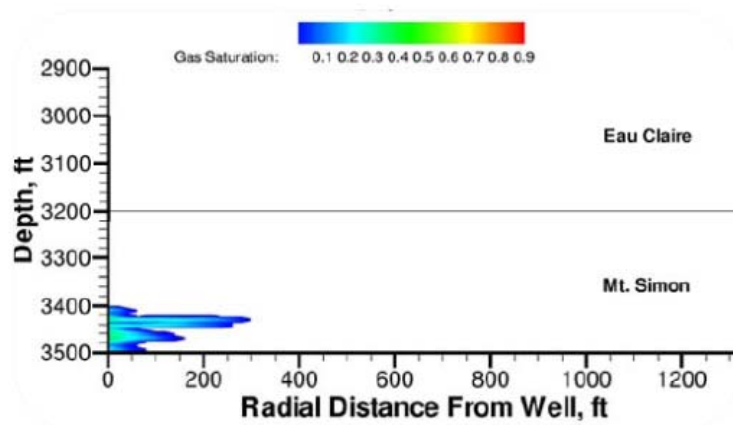


図 5: 100 メトリックトン/日の CO<sub>2</sub> 圧入 30 日間後の CO<sub>2</sub> ガス飽和度を示す予備貯留モデリング

表 1: フィールドテストサイトで使用した測定技術

計測技術	計測パラメータ	アプリケーション例
水組成	CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 主要イオン 微量元素(痕跡元素) 塩度	溶解および鉱物の捕捉定量化 CO <sub>2</sub> -水-岩相互作用の定量化 浅い地下水帯水層への漏れ検出
地面下圧力	地層圧力 アニユラー圧力 地下水帯水層圧力	断裂傾斜下の地層圧力制御 坑井および圧入チュービング要件 貯留地層からの漏れ
坑井のログ	塩水濃度 音速 CO <sub>2</sub> 飽和度	貯留地層内および上部のCO <sub>2</sub> 移動トラッキング 浅い帯水層へのブライン移動トラッキング 3D地震探査に関する地震性速度のキャリブレーション
反射法地震探査 (VSP: Vertical seismic profiling)	P波とS波の速度 反射層 地震振幅減衰	貯留地層の詳細なCO <sub>2</sub> 分布を検出 断層および断裂を通じた漏れの検出

出典: IPCC CO<sub>2</sub>貯留スペシャルレポート(IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage)

翻訳: NEDO (担当 総務企画部 松田 典子)



## これまでの成果：

East Bend プロジェクトは、サイトを閉鎖し、抗井を閉鎖する段階にある。主な業務には調査場所の準備、予備地質調査、地震探査、圧入と MMV などが含まれている。

## 2006 年 調査場所の準備と特性評価

- ・適切な抗井のサイトサーベイ、地震探査や圧入システム等のサイト準備を完了。
- ・関係者らの同意取得完了。このために米国大手電力会社 Duke Energy 社の内部プロジェクトチームメンバー、East Bend 工場のスタッフ、および近隣住民との数回にわたるミーティングを実施。説明会は Boone 郡の事務所において同所職員らと共に開催。
- ・初期地質評価は、地域の地質環境、貯留の対象となっている岩石の情報、その他について記されたインディアナ及びケンタッキー地質調査 (Indiana and Kentucky Geological Survey 社) により完了。
- ・2次元地震探査データ取得完了。地震データは、Mt. Simon の活動は続くものの調査範囲に断層や裂け目などは発生しておらず、テストに影響を及ぼすものでないと示した。より深い地質を解明するために追加されたデータの処理も完了している。

## 2007 年～2008 年 認可と設計

- ・調査場所の特性評価データ分析
- ・予備抗井掘削工事の仕様書と掘削計画
- ・圧入実験のコンセプトデザインと、その MMV 計画の作成
- ・2008 年 5 月 1 日に地下圧入コントロールプログラム(UIC)許可申請書の作成を完了し米国環境保護庁(USEPA) 第 4 地域 UIC プログラムに提出。パブリックコメントのため、同年 11 月 25 日に許可草案が発行された。

## 2009 年 テスト抗井掘削と二酸化炭素圧入のテスト実験

- ・30日間のパブリックコメント期間の後、2009年1月にクラス5のUIC認可が完了。同年7月にはケンタッキー州の石油・ガス部門から掘削の認可を取得。
- ・抗井掘削テストが2009年7月に完了。Eau Claireから30フィート、Mt. Simonから30フィート2本など合計120フィート分のコア<sup>注1</sup>を回収。さらにワイヤライン・ログ<sup>注2</sup>を用いてあらゆる深さからサイドコアを回収。UICの認可要項であった地下水源(USDW)のベースライン(基準値)に対するモニタリングおよびCO<sub>2</sub>圧入を完了。
- ・2009年8月、塩水(ブライン)溶液<sup>注3</sup>を使用した2シリーズの圧入テスト実験を実

<sup>注1</sup> 訳者注: 地質などの調査のために取り出した円柱形のサンプル

<sup>注2</sup> 訳者注: 検層記録を取ることをLoggingと言い、ワイヤラインによる検層をワイヤライン・ログと呼ぶ  
<http://oilgas-info.iogmec.go.jp/dicsearch.pl?sort=KANA&sortidx=1&target=KEYEQ&freeword=%E6%A4%9C%E5%B1%A4>

<sup>注3</sup> 訳者注: 無機塩類溶液を用いた流体。固形分を含まず、比重の調整が比較的行いやすい。ただし、温度により流体の比重が変化する。

施し、シモン山の貯留の破損圧力の測定および岩石の限界水圧を調査した。反射法地震探査(VSP)も同月に実施。

- ・CO<sub>2</sub> 圧入テストは 2009 年 9 月に完了。流速、圧力、その他運用で必要とされるデータを 2 シリーズの 500 トンの圧入でモニタリングされた。抗井は圧力の低下を観察するために閉じられた。注入液の温度特性を知るために行われた抗井内の温度の調査も完了。

**貯留の候補地域とその地域への便益**

- ・米国のMRCSPにおいて貯留実施場所の有力候補となっているのがMt. Simonの砂岩である。今回の中西部でのテストの成果はMRCSP及び多くの周辺地域に適用される予定。
- ・実際に稼働する石炭火力発電所でのCO<sub>2</sub>の貯留実施による付加価値の増加。
- ・CCSの促進を目指す大手電力会社との協力による、エネルギー産業界における付加価値の増加。

コスト (MRCSPの第2プロジェクトのみ)	フィールドプロジェクトのキーデータ
プロジェクトの合計コスト: \$ 26,320,000 DOE 負担額: \$ 20,033,000 (76%) DOE外負担額: \$ 6,287,000 (24%)	ベースラインの完了: 2007年夏 掘削の開始: 2009年7月 圧入オペレーション開始: 2009年9月 MMVイベント: 2011年7月から9月

翻訳 : NEDO (担当 総務企画部 望月 麻衣)

出典 : 本資料は以下の記事を翻訳したものである。

**FACT SHEET FOR PARTNERSHIP FIELDVALIDATION TEST**

**Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership (MRCSP)**

<http://www.netl.doe.gov/events/09conferences/rcsp/pdfs/MRCSP%20Cincinnati%20Arch%20Geologic%20Test.pdf>