

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2013.3.NO.105

目 次

センターの活動状況	①
地層処分場の操業技術—技術開発と理解促進—	③

センターの活動状況

I 運営状況

第9回理事会開催

平成25年3月1日開催の第9回理事会において、平成25年度事業計画及び収支予算等について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。

第7回評議員会開催

平成25年3月14日開催の第7回評議員会において、平成25年度事業計画及び収支予算等について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。

II 成果等普及活動の実施状況

平成24年度 第3回原環センター講演会の開催

原子力発電環境整備機構と共催で、ドイツにおけるすべての放射性廃棄物の地層処分場の建設・操業等の業務実施を担うドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社（DBE社）のEnrique Biurrun博士を招き、第3回原環センター講演会「ドイツにおける放射性廃棄物処分の現状」を開催しました。ドイツにおける原子力の現状や新しいサイト選定プロセスを含めた放射性廃棄物処分の現状について興味深い講演をしていただきました。

開催日時：平成25年2月5日（火）14:00～16:00
会 場：霞山会館 霞山の間
演 題：ドイツにおける放射性廃棄物処分の現状
講 演 者：DBE社 Enrique Biurrun博士



DBE社 Enrique Biurrun博士による講演

平成24年度 第4回原環センター講演会の開催

当センターの処分材料調査研究プロジェクトの藤井直樹と技術情報調査プロジェクトの稲垣裕亮を講演者とする、平成24年度第4回原環センター講演会を開催しました。前者では、ベントナイト緩衝材とセメント系材料の相互作用を評価するために実施しているフィリッピン・ルソン島でのナチュラルアナログ調査の状況を、後者では、欧米諸国での放射性廃棄物処分事業の最新の進捗を紹介しました。

開催日時：平成25年3月25日(月) 15:15～17:00

会 場：日本交通協会 大会議室

講 演 1：セメントーベントナイト相互作用のナチュラルアナログフィリッピンでの調査－
藤井直樹（処分材料調査研究プロジェクト プロジェクト・マネジャー）

講 演 2：欧米主要国での放射性廃棄物処分事業の進捗状況
稲垣裕亮（技術情報調査プロジェクト チーフ・プロジェクト・マネジャー）



講演1 セメントーベントナイト相互作用のナチュラルアナログフィリッピンでの調査－



講演2 欧米主要国での放射性廃棄物処分事業の進捗状況

地層処分場の操業技術—技術開発と理解促進—

1. はじめに

原環センターでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分の技術的信頼性が提示された「第2次とりまとめ」^[1]に示された処分概念と人工バリアの仕様例を念頭に、地層処分場の操業に関わる遠隔操作技術として、平成12年度より緩衝材等の処分孔や処分坑道への搬送・定置技術の開発を国の基盤研究として進めて来た。そして、平成24年度にこれまでの技術開発成果を取りまとめている。ここでは、処分場の操業技術について、技術開発の状況とその成果を利用した地層処分に対する理解促進活動の状況を紹介することで、それぞれの活動の成果と両者の関係について考えてみたい。

2. 技術開発の状況

地層処分場に構築される人工バリアは、一番内側のガラス固化体、その外側の金属製のオーバーパック、その外側の粘土を固めた緩衝材からなっている。基本的な処分概念としては、人工バリアを処分孔に竖置きする方法と処分坑道に横置きする2つの方法がある。一つの人工バリアは直径が約2.3m、高さが約4m、総重量は約33～34トン（この内オーバーパックの重量が約6トン）になる。操業技術とはこのような人工バリアを地下の岩盤中に実際に構築するためのものである。オーバーパックは金属、緩衝材は粘土を固めたものであり材料の性質、性状から、その扱い方は両者で異なったものとなるが、このように大きく、重く、特に粘土を固めた緩衝材のように壊れやすいものを竖に置くか、横に置くかは用いる技術の選定や開発の上で大事な分かれ道になる。また、緩衝材には、ブロック状に固める、現場で締め固める、粒状のものを充填するなど様々な作り方がある。あるいは、オーバーパックと緩衝材を地上で一つに組み立てて地下に持ち込む（これをPEM: Pre-fabricated Engineering Module、と呼んでいる）など、操業の方法には色々な選択肢がある。つまり操業技術は扱う材料の特徴に配慮し、置き方（構築の仕方）によってその方式が異なって来る。これを図1に示す。

国の基盤研究では、日本の現状に鑑み、多様な処分概念に対応することを念頭に、幅広い技術選択肢を整備することを目的として技術開発行ってきた。その中から、本稿では、ブロック状の緩衝材を処分孔に積み重ねる竖置き方式と、オーバーパックと緩衝材を1つのモジュール:PEMに組み立てて処分坑道に搬送・定置する横置き方式の2つについて技術開発

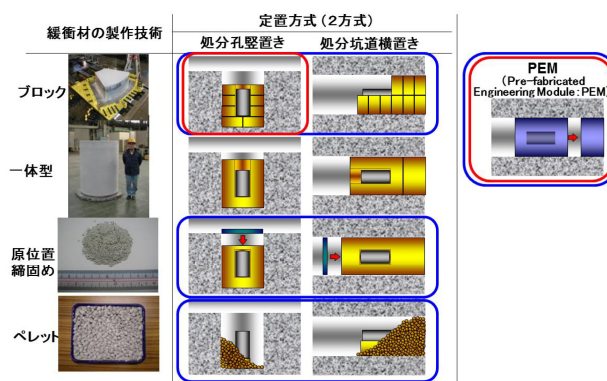


図1 多様な定置方法

の成果を紹介する。図2は平成12年度から平成24年度までの、処分孔竖置き技術開発の展開を年表のように一望したものである。図3は処分坑道横置きに関する同様の図である。これらの技術開発の最大の特徴は、実物の材料、実規模の緩衝材、実規模の処分孔、というように実規模、実物を基本として実証的に技術の適用性を確認したことである。同図の左側、技術開発の初期の頃は、例えば緩衝材ブロックが本当に作れるのか、そのブロックを持ち上げることができるのか、ブロックに代わる製作方法は何か、あるいは重量物を横向き（水平方向に）搬送する技術、というように個々の要素技術を確認した。その後、一貫した作業（製作、搬送、定置）ができるように要素技術を束ねてひとつのシステムとして機能するかどうかを確認した。「技術メニューの整備」と表記しているのは、技術開発成果のまとめのことである。竖置き、横置きと云った多様な処分概念に対して、技術がどこまで適用できるのかを、幅広い技術オプションとしてまとめた一種のデータベースのことである。今後、地層処分の実施主体は、事業を具体化する中で、ある処分場の条件の下で操業技術を選択し、最適化していくことが求められる。その時、基本となる技術の知見がメニューと云う形で整備されているという意味で、国の基盤研究の成果としてまとめたものである^[2]。なお本技術開発は全て地上で試験を行っている。従って、搬送・定置に関するデータは全て模擬の処分孔、あるいは模擬の処分坑道を対象にしたものである。

なぜ、緩衝材の搬送と定置に注力しているかというと、金属製のオーバーパックに対して、緩衝材は粘土であることから脆く、水を吸収して膨らむので、搬送中に水と接して形状が変化するというようなことを考えると、扱いに工夫を要するからである。

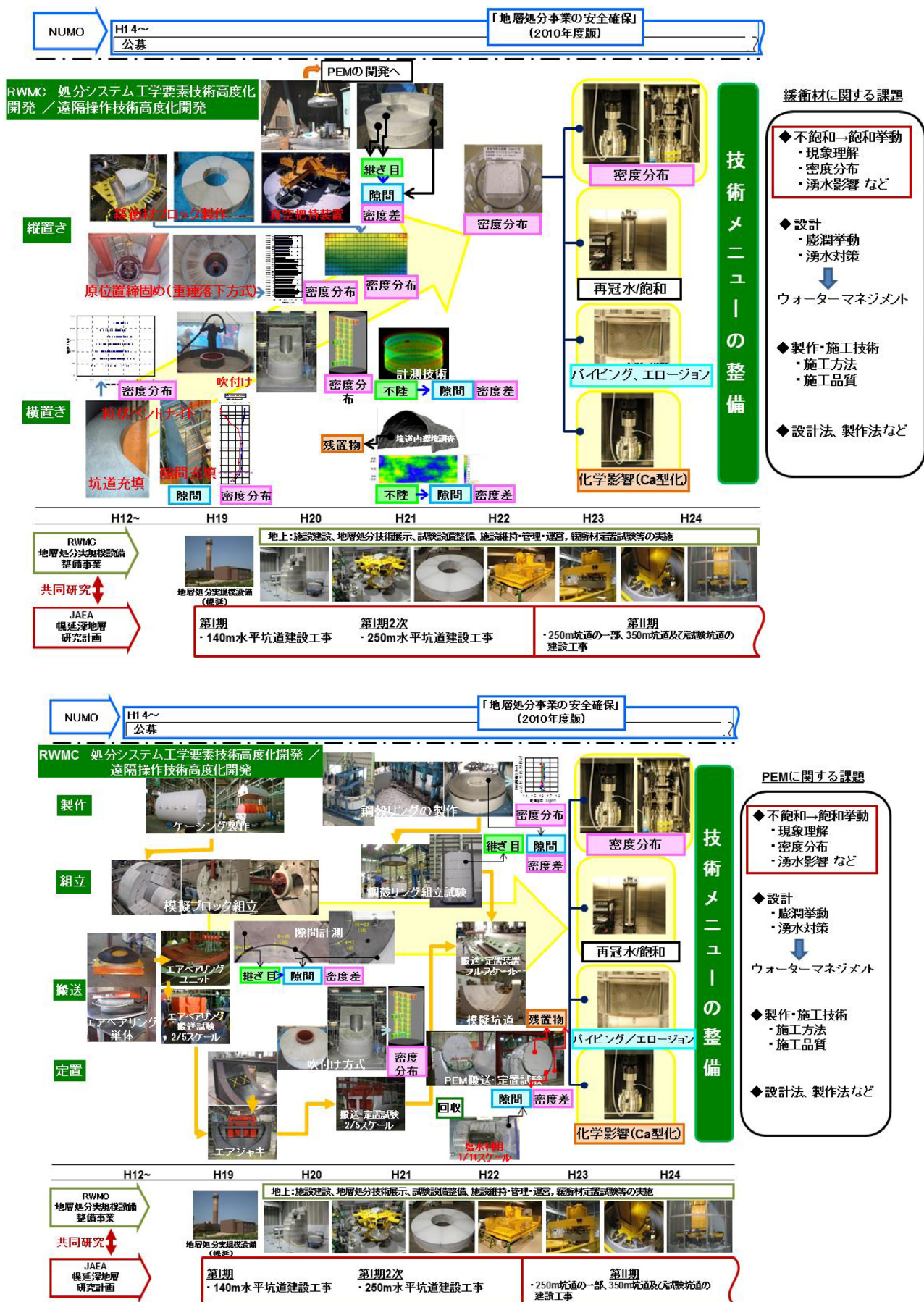


図3 PEMの製作、組立と搬送・定置技術の開発（処分坑道横置き）

そのような材料である緩衝材を最終的にはオーバーパックを包むように、その周りにきちんと置けるかどうか、操業技術ではこの点を最も留意すべきと判断して技術開発を進めて来た。図の一番右側には「課題」を示している。緩衝材は上述したように、水との関係で複雑な挙動を示す。この挙動は緩衝材が製作された状態や組み立てられ、地下に構築された状態によって様々な様子を呈することが解明されつつある。つまり、緩衝材の性能発揮は、それを地層処分場にどのような方法で構築しどのような状態に置いたかということに影響されるということである^[3]。このことから、課題には、緩衝材の製作・施工技術と並んで、水との関係、水の管理といった視点が抽出されている。

以下に、処分坑道横置きと処分坑道横置きの両技術について、技術開発の成果を紹介する。操業技術の適用性や到達度が現状どこまで提示されているのか、また同時にそれを知ることが地層処分を理解する上でどのような意味を持つのか、本稿を読んで頂いた方一人ひとりが考え、判断する際の参考になれば幸いである。

3. 処分坑道横置き方式の技術開発

処分坑道横置きは、総重量約34トンになるPEMというモジュールを搬送、定置するものであり、開発対象は「製作」「組み立て」「搬送」「定置」の4つの技術である。

3.1 製作

鋼殻リングと呼ぶ鋼製のリング内で緩衝材をランマーという機械を使って所定の密度に押し固めた。その様子を図4に示す。押し固めた後、表面をならして完了。オーバーパックを挿入する部分にはスパーサーを設けて中央にそのための空間を確保した。



図4 鋼殻リング内での緩衝材の製作

3.2 組立

製作した鋼殻リングを必要な数だけ縦に積み重ねてモジュールを組み立てる。鋼殻リングだけを積み

上げる工程ではまだガラス固化体を内包するオーバーパックがないので、人が直接この作業をすることが可能である。オーバーパック（模擬）は上部の開口部から挿入した。この時点では人は近づけないが、ガイドを設置して重力を利用する比較的単純な作業でオーバーパックを挿入できた。オーバーパックと緩衝材の隙間にはペレットと呼ぶベントナイトの小さい粒を充填した。そして最後の鋼殻リングを載せてPEMの組み立てを完了した。その様子を図5に示す。



図5 鋼殻リングを利用したPEMの組立

3.3 搬送と定置

重量約34トンのPEMの坑道での水平方向の移動（搬送）にはエアクッションを採用した。エアクッションを5個ずつ2列に配置したユニットにPEMを載せ、圧縮空気を供給して浮上させ牽引することで曲率を持つ坑道表面を水平方向に移動させた。所定の位置で停止した後、圧縮空気の供給を止めると、エアクッションが収縮してPEMは坑道内面に向かって下降する。坑道表面にPEMが着地する台座を別途設けておくと、エアクッションユニットの回収が容易となる。この台座は、エアクッションが移動する際のガイドとしても利用できる。PEM定置後には台座の高さ分だけ空間が残るが、比較的大きな空間（隙間）を確保すると、粒状のベントナイト（ペレット）による隙間の充填性が向上することを別途確認している^[4]ことから、この台座方式は有効であると判断した。この状況を図6に示す。一方、台座を用いない定置方法、つまりPEMを直接処分坑道内面に着地させる場合には、PEMの側面にエアジャッキユニットを配し、所定の位置でエアジャッキを膨らませてPEMを持ち上げ、エアクッションユニットをまず回収。その後エアジャッキの空気を抜いて、PEMを着地。収縮したエアジャッキを最後に回収、という方法の成立性も確認した。ただしこの場合、PEMと処分坑道の接地周辺の狭隘な隙間をベントナイトペレットで充填することが困難となる。

以上がPEMを採用して、それを処分坑道に横置き

する技術の開発状況である。なお、試験に当ってはコンクリート製の模擬坑道を準備した。エアクションの適用においては滑走面の凹凸への配慮が必要であることも確認している。



図6 台座を利用したPEMの定置

4. 処分孔縦置き方式の技術開発

処分孔縦置きはブロック状の緩衝材を処分孔に積み上げて行く方式である。一軸圧縮プレスを用いて緩衝材ブロックを所定の形状と密度に圧縮成形し、このブロックを真空を利用して吸い上げて（掃除機で物が吸い上がるのと同じ原理。本技術開発では「真空把持」と呼んでいる。）、処分孔内に積み上げる技術を開発した。この技術開発は平成12年度から始まり、図2に示すように、まず成形技術と真空把持技術の要素技術の成立性を確認した。

その後、技術開発の成果は、実規模の緩衝材定置試験設備の設計、製作、そしてこの試験設備を用いた一般公開での緩衝材定置試験の実施、と云う方向に発展し、今日に至っている。そこで、緩衝材縦置き方式の技術開発の成果と現状は、次章の理解促進のところで述べることにする。

5. 理解促進—地層処分実規模設備整備事業—

平成20年度から国の広報関連事業の一つとして、「地層処分実規模設備整備事業」が始まった。本事業の特色は、高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を促進するために、実規模、実物を基本として、地層処分概念とその工学的な実現性や長期挙動までを実感・体感・理解できる設備を整備することである。この事業は原環センターと日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構という）との共同研究契約に基づいて実施している。平成22年4月28日には実規模試験施設（以下、実規模施設という）が北海道幌延町にある原子力機構幌延深地層研究センターの敷地内に、原子力機構のゆめ地創館と隣接、接続する形で完成して一般公開を開始した。実規模施設には、地層処分を紹介する各種のパネル、実物の緩衝材ブロックとオーバーパック、それらを組み合わせた縦

置き概念での人工バリアの実物カットモデル（ガラス固化体のみ模型）や、緩衝材に水を供給して吸水、膨潤挙動を可視化しながら測定する試験装置と並んで、緩衝材定置試験設備が設置され、定置試験を実施している。施設には説明員が常駐して来館者に対応している。平成25年3末日までに約21,000名の方に来て頂いた。図7に施設の外観、図8と図9に施設の内部の様子を示す。



図7 実規模施設の外観

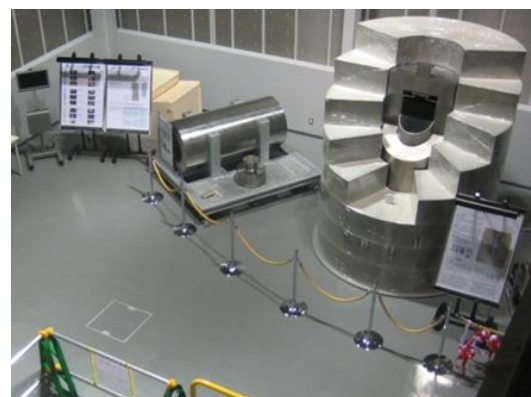


図8 展示状況・1



図9 展示状況・2

5.1 緩衝材定置試験設備

図10に緩衝材定置試験設備を示す。一つ300Kgの緩衝材ブロックを8個、あるいは9個同時に真空把持装置で吊り上げ、テレスコピックと呼ばれるアーム

が伸びて、模擬処分孔の中に自動運転で積み上げて行く機能を有している。本設備は、4.に示したように、平成12年度から開始した技術開発の中で、その基本設計を行うと共に、心臓部の装置と云える真空把持について、要素試験に次いでプロトタイプを作製して機能確認を行っている。つまり、技術開発成果に基づいた実証設備の製作と云うことができる。



図10 緩衝材定置試験設備

5.2 緩衝材定置試験の実施

平成24年9月1～2日に、緩衝材定置試験を一般公開した。実物の緩衝材ブロックは脆いことから、繰り返し利用を前提にコンクリート製の模擬緩衝材ブロック（寸法、重量は実物と同等）を用意し、模擬処分孔内に4段積み試験を、2日間で4回実施した。約700人の方に間近で緩衝材が処分孔に竖置きされる様子を見て頂いた。試験当日の様子を図11と図12に示す。また、緩衝材定置試験設備の動作状況を図13に示す。

緩衝材ブロックは1段積むのに約5分を要した。一つの処分孔には都合13段を積み必要がある。また定置した緩衝材ブロックには最大で数mmの隙間が生じる箇所があることを確認した。



図11 緩衝材定置試験の様子・1



図12 緩衝材定置試験の様子・2

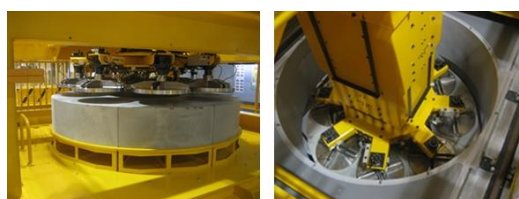


図13 真空把持装置とテレスコピックの動作状況

5.3 来館された方々の感想など

実規模施設では来館者の感想などをアンケートすると共に、説明員が直接話しをして記録を取っている。一般公開を開始した当初より、このような見学できる施設があることはよいことだ、という意見を多くの方から頂いている。地層処分概念について、ガラス固化体のまま埋めると思っていたが、実際の埋め方が分かった。地層処分について、もっとよく知った上で議論なくとはいけないという意見も多かった。一方、ここ半年位の感想では、実物の大きさに驚いた、人工バリアはこれぐらい大きくしなければいけないということが分かったという意見が増えて来ている。放射性廃棄物の処分はいずれしなくてはならない問題なので、いろいろな人に考えてもらわなくてはならない。無害な廃棄物にしてから原子力を使えばよかった。やっかいな廃棄物ができるので原子力発電所は使わないほうがいい。という意見もある。原子力発電よりも地層処分の研究をもっとするべきだ。原子力発電所の稼働と、地層処分の研究の順序が逆だったのではないかと、という意見は印象が強かった。様々な感想、意見を直接伺ってこれからの本事業のあり方や進め方について役立てていきたい。また、緩衝材定置試験の様子を見て頂く機会を増やして行きたいとも考えている。

なお、地層処分実規模設備整備事業の内容や試験

の様子は、動画を含めて以下の原環センターホームページで紹介している。

<http://www.rwmc.or.jp/institution/>

6. まとめ

地層処分場の操業技術について、緩衝材の製作、搬送、定置技術に着目した技術開発の状況、及びその技術開発成果を利用した理解促進活動の状況を紹介した。

多様な処分概念に対応する幅広い技術選択肢を整備する技術開発は、要素技術の確認から始まり、それらを組み合わせたシステムとしての成立性を評価、提示した。実規模、実物の供試体を製作し実証的な試験により各技術の適用性を評価、確認したことが最大の特徴である。

一方、操業技術で大切なことは、作り方そのものよりも、製作、構築した人工バリアの品質や性能が確保されていることである。このような視点から人工バリアの施工品質と健全性評価に調査、検討の範囲を拡大した。このテーマは、地層処分における工学技術と安全評価の両立という点から重要な技術開発課題の一つとなる。

技術開発の成果は、技術メニューと呼ぶデータベースにまとめた。そこには、短いながらも平成12年度に始まる13年間の開発の歴史があり思想がある。技術の成立性や到達度を把握、理解すると同時にそれらを伝え、考えてもらうのには開発成果の適切な可視化が不可欠である。

地層処分の実現に向けて様々な形で理解を深めてもらうことが求められている。理解促進活動への技術開発成果の活用は、両者が融合した部分で地層処分を知ってもらい、考えてもらうことである。従って、実規模、実物が提供する情報の意味は大きく、その活用にはより工夫を要する。

以上の点に留意して今後も地層処分の工学的手法に係る技術開発に取り組んで行きたい。

(処分工学調査研究プロジェクト 朝野英一)

- [1] わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート/JNC TN1400 99-020、分冊1 わが国の地質環境/JNCTN1400 99-021、分冊2 地層処分の工学技術/JNC TN1400 99-022、分冊3 地層処分システムの安全評価/JNC TN1400 99-023、核燃料サイクル開発機構、平成11年11月20日
- [2] 地層処分技術調査等事業 処分システム工学要素技術高度化開発 遠隔操作技術高度化開発報告書 平成25年3月、原環センター
- [3] 地層処分技術調査等事業 処分システム工学要素技術高度化開発 人工バリア品質評価技術の開発（緩衝材）報告書 平成24年3月、原環センター
- [4] 地層処分技術調査等委託費 処分システム工学要素技術高度化開発 遠隔操作技術高度化開発報告書 平成20年3月、原環センター

編集発行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号（パシフィックマークス月島8階）

TEL 03-3534-4511（代表） FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>