

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2011.3.NO.97

目次

センターの活動状況	①
地層処分のモニタリングに関する調査研究	③

センターの活動状況

I 運営状況

第4回理事会開催

平成23年3月4日開催の第4回理事会において、平成23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3回評議員会開催

平成23年3月11日開催の第3回評議員会において、平成23年度事業計画及び収支予算、理事の選任等について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。

今回の選任により、次の方が交代されました（平成23年3月11日付）。

（敬称略）

区分	退任者	新任者	新任者所属・役職
理事（非常勤）	岡崎 俊雄	鈴木 篤之	独立行政法人日本原子力研究開発機構 理事長

Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

平成22年度 第3回原環センター講演会の開催

茨城大学理学部地球環境科学コース 天野一男教授を講師に迎え、第3回原環センター講演会「第四紀下限の変更と社会への影響」を開催しました。2009年6月に第四紀の下限として2.588Ma（百万年）という従来の1.75Ma（百万年）に比べてかなり古い年代値に改訂された根拠となる考え方やこの改訂が原子炉施設、ダム、トンネル、橋梁、土木工事、活断層、火山など土木等産業界に与える影響について紹介していただきました。

- 1.開催日時：平成23年2月4日（金） 15:00～17:00
- 2.会場 ：当センター 第1、2会議室



講演後の質疑応答

地層処分のモニタリングに関する調査研究

はじめに

高レベル放射性廃棄物等の地層処分におけるモニタリングには、地層処分施設の操業及び閉鎖後期間の安全、特に最終目標である閉鎖後長期の安全性の信頼を強化するための情報を提供することが期待されている。本報告では、国際原子力機関（IAEA）での国際的な議論や国内の議論を概括した後、原環センターで実施してきた地層処分のサイト調査段階から閉鎖段階、閉鎖後管理段階に至る間のモニタリングのあり方等の調査検討、モニタリング項目の体系的整理と技術的選択肢を提供可能なツールの整備、有望な技術である地中無線送信技術の基礎試験などを紹介する。

なお、本調査研究は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業「処分システム工学要素技術高度化開発」の一部として実施したものである。

1. 地層処分におけるモニタリングに関する国内外の議論

(1) 国際的な議論

国際的には、IAEAにおいて、種々の安全基準文書を、安全原則、安全要件、安全指針の階層構造で策定してきた（図1）。



図1 IAEAの安全基準文書の階層構造

このうち、モニタリングに係わる主要な文書として以下のものがあげられる。

- 安全原則 SF-1、「基本安全原則」、2006。
- 安全要件 WS-R-4、「放射性廃棄物の地層処分」、2006。（DS354、「放射性廃棄物の処分」に統合中）
- 安全指針 DS357、「放射性廃棄物処分施設のモニタリングとサーベイランス」（策定中）

上位文書であるSF-1はIAEAの安全基準及び安全関連プログラムのための基礎を提供する基本安全目

的、安全原則及び概念について述べており、関連する要件は安全要件で、これらの要件に適合するための手引きは関連する安全指針で述べている。

以下に、安全要件と安全指針におけるモニタリングの記述の概要を紹介する。

① 安全要件（WS-R-4）におけるモニタリングの記述

地層処分と閉鎖後のモニタリング

- ・閉鎖後の安全性は人工バリアと天然バリアによって提供される受動的安全によって確保。
- ・閉鎖後の安全性はモニタリングや制度的管理には依存しない。
- ・しかしながら、地層処分施設の社会的受容性への貢献等の目的で、将来世代が閉鎖後のモニタリングを実施することを否定するものではない。

モニタリング計画に係る要件

- ・モニタリング計画は、地層処分施設の操業前に定め、建設、操業中に実施。
- ・施設操業中の作業者と公衆の構成員の安全性及び環境防護に必要な条件を確認。
- ・施設の閉鎖後の安全性を損なうことになる条件がないことを確認。
- ・評価のための基礎情報の提供。
- ・諸条件は閉鎖後の安全と矛盾しないという確認。
- ・モニタリング計画は、施設の閉鎖後の安全の全体水準を低下させないように計画され実施。
- ・閉鎖後の安全を保証する目的のモニタリング計画は、考えうるモニタリング戦略を示すために地層処分施設の建設前に立案されるが柔軟性は維持され、必要な場合、施設の開発及び操業の間に修正され更新。

② 安全指針（DS-357、2010年9月13日版）におけるモニタリングの記述

- ・本指針では、セーフティケースの開発のために必要とされるデータを提供するモニタリングとサーベイランスアプローチに重点を置く。
- ・セーフティケースには、施設を立地、建設、操業及び閉鎖するために必要な情報及び処分プログラムの管理に関する決定の支援のために必要とされる情報、並びに、ステークホルダーにとって特に関心のある情報が含まれる。
- ・モニタリングは、廃棄物処分システムの構成要素の挙動の評価を助ける環境的、工学的または放射線学的パラメータの、もしくは廃棄物処分システム及びその運用が公衆及び環境に及ぼす影響の連続的または定期的な観察及び測定。
- ・サーベイランスは、受動的な安全バリアを防護及

び保護しうる健全性を検証するための、廃棄物管理施設の物理的な検査。

- ・モニタリングとサーベイランスプログラムは処分施設開発のサイト調査段階に始まり、閉鎖後段階に至るまで引き続き変化する。
- ・モニタリングによって収集されたデータ及び導き出された洞察は統合し、処分施設のライフサイクル全体を通して行われる計画決定のための情報とすべきである。

③ その他の関連文書

上記の文書のベースとなる技術文書として、地層処分施設の閉鎖後の安全と関連するモニタリングの検討を先行して行った、以下の原子力エネルギー（NE）シリーズ文書がある。

NEシリーズ文書 TECDOC-1208、「高レベル放射性廃棄物地層処分場のモニタリング」、2001。

(2) 国内の議論

国内では、原子力安全委員会、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）」、2000. において、以下の考え方が示されている。

第2章 安全確保原則

高レベル放射性廃棄物の処分の安全性を長期に亘って確保するためには、①長期的安全確保対策として地層処分にとって適切な地質環境を有する処分場が選定（サイト選定）され、人工バリア及び処分施設から構成される処分場がそこに適切に設計・施工（工学的対策）される必要がある。更に、②安全確保のための措置が適切であって、長期に亘って人間とその生活環境に対してその影響が及ぶおそれがないことをあらかじめ確認（安全評価等による安全確認）することが必要となる。

第2節 建設・操業段階等における安全確認の考え方

高レベル放射性廃棄物の処分においては、安全評価の結果が確実に担保されるように建設、操業等の各段階において「安全確認」を行うことが重要である。更に、操業段階が終了した後は処分場を完全に閉鎖するとの考え方が地層処分の概念であるため、処分場閉鎖時の「安全確認」も重要である。また、処分場においては、立地段階から事業廃止に至るまで、各段階に応じたモニタリングや巡視・点検等を実施することが必要である。

すなわち、事業許可申請時において、安全確保原則に則って処分場の設計がなされたことが、安全評価により確認される。その結果が確実に担保されるように、各段階において安全確認がなされる、という考え方が示されている。特に、処分場が完全に閉鎖される閉鎖時の安全確認について、「処分場の閉鎖に際しては、建設段階及び操業段階に得られたデータを追加し、安全評価の結果が妥当であることの確

認を行う。また、その妥当性を確認するまでの期間は、高レベル放射性廃棄物の回収の可能性を維持することが重要である。」とされている。

総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会では、「高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について」、2008. をとりまとめている。この中では、モニタリングに関して、以下のように述べている。

5.3 保安のために必要な措置について

- ・放射線モニタリングにより操業中における周辺公衆や作業従事者への放射線の影響を確認
- ・廃棄物埋設地の隔離性等に関する事前試験等による実証性を踏まえ、モニタリングの必要性や目的、適用可能な技術を検討
- ・モニタリング設備の設置等に当たって安全性に及ぼす影響についても配慮
- ・廃棄物埋設施設の閉鎖後の安全性を損なうことになる条件がないことを確認するための情報の収集・更新

5.4 安全レビューについて

建設段階で得られる新たなデータや施設周辺の地下水情報等の地質環境データ等を始めとする各種モニタリングデータ等に加えて、・・・最新の知見に基づき行う必要がある・・・。

5.5 閉鎖措置について

基本設計ないし基本的設計方針どおりの安全性が確保されることを確認するための方法についても示すべきである。例えば、埋め戻し完了後における地質環境が基本設計ないし基本的設計方針において想定した状況に移行しつつあることを確認するための地下水モニタリングの方法などが挙げられる。

5.7 閉鎖後の制度的管理について

具体的な制度的管理として、(中略) モニタリング (中略) の利用が挙げられている。

2. 調査研究の状況

2.1 地層処分のサイト調査段階から閉鎖段階、閉鎖後管理段階に至る間のモニタリングのあり方等の調査検討

(1) モニタリング項目の整理

1.で述べた国内外の議論を踏まえて、原環センターでは、処分場閉鎖までのモニタリングを図2のように整理した。すなわち、

- ・ベースライン（サイト調査と密接に関係）
- ・環境データベース（サイト調査と密接に関係）
- ・規制等遵守（放射線学的、非放射線学的、防護措置）
- ・性能確認（安全評価結果に影響を及ぼすようなFEPs、条件等に関連するパラメータ）

の4種類のモニタリング項目である。ただし、留意すべきこととして、図2にも示しているように、これ

らの項目には重複するモニタリングパラメータがあることである。また、項目の区分そのものも、IAEAの文書を参考にして決めているので、我が国でどのように区分するかは、これからの議論である。現時点で重要なことは、全体として、モニタリング候補パラメータの抜け落ちがないことである。例えば、原子力施設周辺で自治体を実施しているモニタリングは、必ずしも法令に基づくものではないが、処分場においても、地域住民の関心の高いパラメータとなることが想定されることから、これらのパラメータが上記の項目のいずれに属するか議論はさておき、候補パラメータとして取り上げておくこととしている。

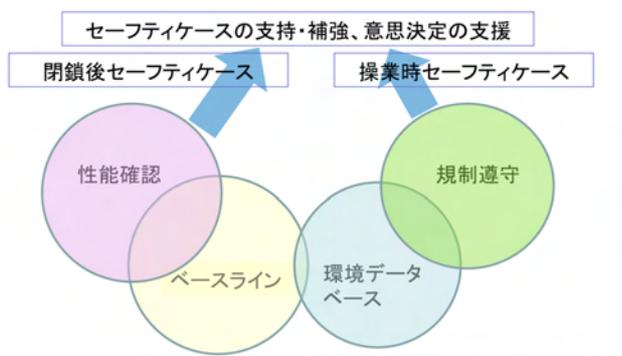


図2 モニタリング項目の整理

① ベースライン

ベースラインは、処分場のサイト条件の初期値を定義するものであり、処分の行為による擾乱のない状態をいう。現実的には、全く擾乱を与えずに(サイト調査を行わずに)サイト条件を知ることは出来ないのであるが、地下特性調査施設の建設や処分場の建設・操業による攪乱が蓄積し始める前に、処分場開発計画の中でできるだけ早い時期に把握すべきとされている。ベースラインモニタリングはその後の処分場の閉鎖まで、継続して行われ、例えば、建設及び操業段階で岩盤や地下水系統に起こる変化を評価し、更には閉鎖後の期間に処分場の存在が自然のプロセスや環境に与える影響を評価するために用いられる、としている(IAEA TECDOC-1208)。処分場サイトが確定しているフィンランド、スウェーデンでは既に把握が終わっており、例えばフィンランドの実施主体であるPosiva社では、地下特性調査施設ONKALOの建設開始前に、サイトであるオルキオトのベースライン条件に関する報告書(Posiva Report 2003-2)を作成しており、更に、ONKALOの建設・操業(我が国の精密調査段階の後半に相当)において継続して行うモニタリングの計画を作成し(Posiva Report 2003-6)実施している。

IAEA TECDOC-1208では、ベースライン条件を確立する上で重要な特性として以下をあげている。

- ・母岩及び周囲の地層環境における地下水流領域

(地下水の圧力分布、動水勾配、涵養及び排水域など)

- ・地下水の地球化学的特性(酸化還元、塩分濃度、主要及び微量元素の濃度、天然の放射性核種含有量など)
- ・地下水、地表水、空気、土壌及び堆積物、動物及び植物中の自然放射線バックグラウンドレベル
- ・気象及び気候的条件
- ・地表水系統の水文学、排水系統及び浸透率
- ・自然の生息地の生態学及び生態系

なお、ベースライン条件は年間の変動(季節変動など)や経年的な変動(隆起など)なども考慮して定める必要があるため、これらの変動を把握するための一定期間のモニタリングも必要である。

② 環境データベース

環境データベースは、処分場サイトで数十年間にわたって蓄積するものとされ、将来の世代が処分場の上の土地が別の用途に使用できるかどうかを評価する上で大きな参考になると考えられる、としており、そのために将来の世代がどのようなパラメータに関する情報を望むかを現世代が決めることは困難であるとしつつ、潜在的な関係するパラメータとして以下をあげている(IAEA TECDOC-1208)。

- ・気象学
- ・水文学、排水、水利用、水質
- ・生物相、堆積物及び水など多様な環境区画における放射性核種と他の汚染物質の濃度
- ・地域の生態学
- ・侵食、局部腐食、傾斜進展などの地形学的プロセス
- ・垂直、水平の地面の移動速度、地震事象などの構造的活動
- ・地熱流
- ・周辺領域の土地利用

これらのパラメータはすべて地表から測定することができるものであり、データは何年にもわたって継続してモニタリングする必要があるとしている。環境データベースに関してもフィンランド、スウェーデンではモニタリングを実施している(Posiva Workreport 2010-45など)。また、既存の原子力発電所などでも同様のモニタリングが行われている。

③ 規制遵守

規制遵守は、処分場での活動全てに係わる法令に基づく規制の順守状況を評価するためのものであり、原子力活動だけでなく、非原子力活動において適用されるであろう規制のパラメータを対象とする。閉鎖後の長期安全性の線量基準への適合性は対象としない。規制としては、現行の原子力施設に適用されている規制や、環境基準などが考えられ、更に、地下深部の処分場という観点では鉱山活動に準じた規

例えば、工学的対策の中で、高レベル放射性廃棄物のオーバーパックには現状1000年の閉じ込め機能が要求されている。このため、オーバーパックの腐食が重要なパラメータである。事業許可申請までに、処分場の地下水環境での腐食試験が行われ、設計に反映されることになると思われるが、更に事業許可後も閉鎖まで継続してモニタリングするとすれば、長期にわたるデータが取得出来ることになり、セーフティケースを支持する有力なエビデンスとなりうるものと思われるので、このようなパラメータはモニタリングの候補となりうると考えている。

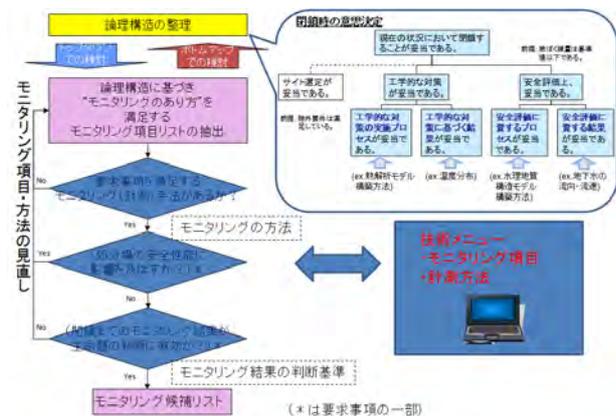


図4 モニタリング候補パラメータの抽出フロー

また、モニタリングが処分場の閉鎖後安全性に影響を及ぼさないことに関しては、図5のように、極力、実廃棄体あるいは廃棄体近傍の工学バリアシステム (EBS) においてモニタリングを行わないことを前提として検討している。この際、信号送信用ケーブルを必要としない無線送信技術の採用 (2.3章参照) は、モニタリングのオプションを広げる可能性を有している。

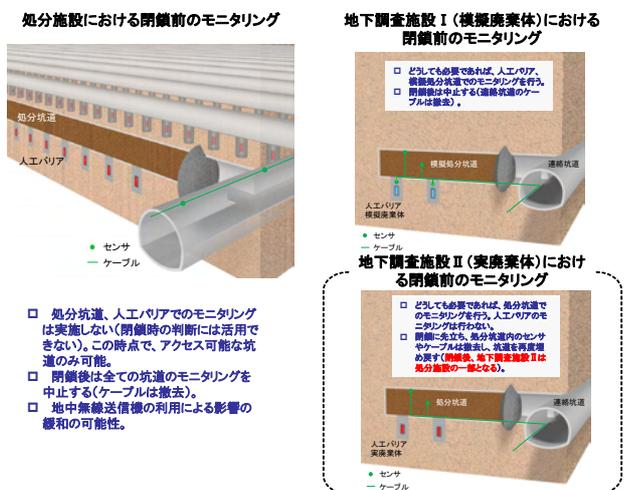


図5 地層処分場のモニタリング例

原環センターでは、このような検討を効率的、効果的に実施するため、Euratom (欧州原子力共同体) のモニタリングに関する共同研究 (MoDeRn) に参画し、各国の専門家と一緒に議論を進めている。MoDeRnは、地層処分事業の各段階 (サイト調査から始まり、建設、操業、閉鎖及び閉鎖後) において、ステークホルダーの関与を踏まえたモニタリングに関する検討及びモニタリングの実施に向け参照すべきフレームワークの提供を目的として、2009年より4年間の計画で進められているものである。(詳しくは原環センタートピックスNo.95参照)

これらの技術情報については、順次、技術メニュー (2.2章参照) として整備していく予定である。

2.2 モニタリング技術メニューの整備

地層処分モニタリングに関わる技術情報を体系的に整理し、今後の計画策定に柔軟に対応できるようにするため、地層処分モニタリング技術メニューを整備している (図6、表1)。

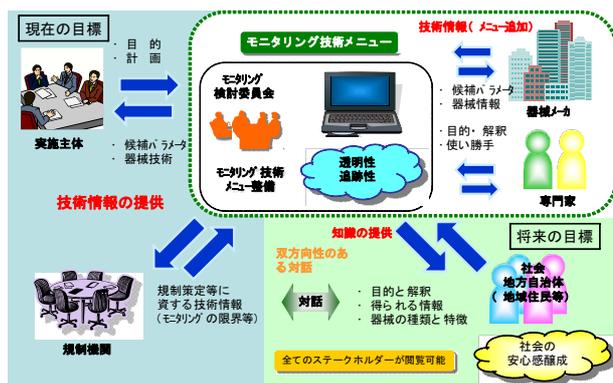


図6 モニタリング技術メニューの整備の目標

表1 時期と場所によるマトリックス表示機能 (白色部がモニタリング対象時期・場所)

大分類	計画順序・部位			計画時期						
	中分類	小分類	初期調査	調査調査	構設調査	処分場の建設	処分場の閉鎖	閉鎖後の監視	管理終了	
地上環境 (建物 (応答域外) 等)	地上環境 (応答域内)	大気環境								
		水環境 (応答域内)								
地下環境 (応答域内)	地上環境 (応答域外)	気象環境								
		気象環境 (応答域内)								
地下環境 (応答域内)	地上環境 (応答域内)	天然バリア								
		人工バリア								
地下環境 (応答域内)	地下環境 (応答域内)	天然バリア								
		人工バリア								
地下環境 (応答域内)	地下環境 (応答域外)	天然バリア								
		人工バリア								
地上環境 (応答域外)	地上環境 (応答域内)	天然バリア								
		人工バリア								
地上環境 (応答域内)	地上環境 (応答域外)	天然バリア								
		人工バリア								
地上環境 (応答域内)	地上環境 (応答域内)	天然バリア								
		人工バリア								
地上環境 (応答域外)	地上環境 (応答域外)	天然バリア								
		人工バリア								

本技術メニューは、地層処分におけるモニタリングの考え方や技術的可能性等、検討内容を体系的に整理し、今後のモニタリング計画策定に資する技術的選択肢を提供するものである。現時点では、地層処分モニタリングに利用可能であると考えられる計

測機器に関して原環センターがこれまで調査してきた技術情報を、関係者が容易に入手できるようWEB上での検索・閲覧を可能とするとともに、関係者の意見等を踏まえ、適宜情報の更新を行っている。表示機能については、時期、場所及びパラメータのみで構成されるツリー構造及び時期と場所によるマトリックス表示機能（表1）を搭載している。今後、2.1の検討結果も順次取り込んでいく予定である。

2.3 有望な技術の基礎試験

一般産業で使用されている技術を対象にモニタリングに使用出来る技術の調査を行うとともに、有望な技術に関しては地層処分への適用のための基礎試験を実施している。一例として、モニタリング用ケーブルの配線による水みちの形成を防ぐために、伝送ケーブルが不要な地中無線送信技術に着目し、基礎試験を行っている。最近では、緩衝材での適用に向け5cmφ×13cmHに小型化した地中無線送信装置（温度センサ内蔵、他のセンサは外付け、図7）を開発しており、適用性が向上している。また、緩衝材内へ地中無線送信装置を効率的に設置するために、地中無線送信技術と狭隘部においても高密度で隙間無く施工が可能であるベントナイトの吹き付け施工



図7 小型化地中無線送信装置



図8 吹き付け施工技術を用いた緩衝材内への地中無線送信装置の設置状況

技術を組み合わせた技術開発も併せて進めている（図8）。

更に、地中無線送信技術については、フランス ANDRA（放射性廃棄物管理機関）からもその有望性が認められ、平成22年度から地中無線送信技術に係る個別協定を締結し、フランス ビュールの地下研究所を活用して共同研究を実施している。現在の研究テーマは、①小型化無線送信装置の原位置実証試験、②中距離送信試験及び③ボーリング孔対応地中無線受信装置の開発（図9）である。詳細に関しては共同研究が終了した時点で、別途報告する予定である。

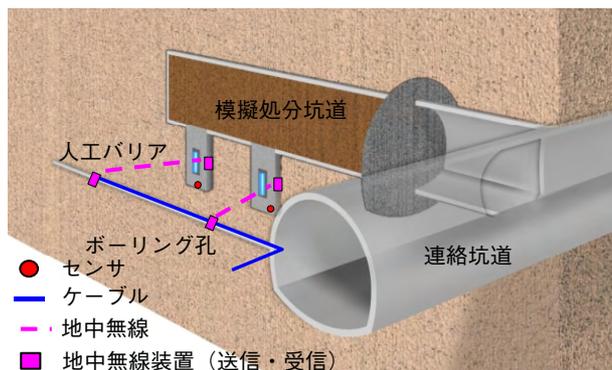


図9 ボーリング孔対応地中無線受信装置の適用イメージ

3. まとめ

現在、技術的な視点で、国際共同研究MoDeRnを活用しつつ、海外の動向も踏まえ、「地層処分のサイト調査段階から閉鎖段階、閉鎖後管理段階に至る間のモニタリングのあり方等」に関する検討を進めている。これまでに、閉鎖時の意思決定に着目し、「地層処分モニタリングのあり方（実施の考え方等）」を示した。引き続き、各段階における具体的なモニタリング候補パラメータの検討等を進めていく計画である。また、「モニタリングのあり方」の検討は適用可能な技術の検討と併せて実施していくことが重要であり、一般産業の技術動向をフォローするとともに、有望な技術に関しては、処分に適用するために必要な基礎試験を実施していく計画である。

（田辺博三、朝野英一、江藤次郎、鈴木圭）

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/>