

地層処分におけるセーフティケースの構築

藤山哲雄^{*1} 鈴木覚^{*1} 出口朗^{*1}

原子力発電環境整備機構（NUMO）では、最新の科学的知見や技術開発成果を踏まえて、わが国における安全な地層処分の実現性を示すことを目的として、セーフティケースの取りまとめを行っている。本セーフティケースは、文献調査段階以降に候補サイトの特性を踏まえて継続的に更新していくための雛型となることを意図しており、実際のサイト調査の段階で行う作業を念頭に置き、事業を進めていくなかで想定される現実的な技術的制約条件などへの対応を具体的に提示することに留意している。本報告では、NUMO が作成を進めているセーフティケースの概要について報告する。

Keywords: 放射性廃棄物, 地層処分, セーフティケース

NUMO has developed a generic safety case based on the latest knowledge to show the feasibility and safety of geological disposal in Japan. The NUMO safety case has been developed to provide a basic structure for subsequent safety cases that would be applied to any selected site, emphasising practical approaches and methodology, which will be applicable for the conditions/constraints during an actual siting process. This paper will provide a brief overview of the NUMO safety case.

Keywords: radioactive waste, geological disposal, safety case

1 緒言

1.1 地層処分事業に関するこれまでの経緯

わが国では、核燃料サイクル開発機構（現 日本原子力研究開発機構）により、1976 年以来地層処分の研究開発が進められ、1999 年にその成果を取りまとめた「第 2 次取りまとめ」報告書[1]が公表された。原子力委員会はこの報告書を評価し、地層処分の実現に向けて政策提言を行った[2]。これらに基づき「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、最終処分法という）が 2000 年に成立した。この法律に基づき原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という）が設立され、わが国における地層処分事業がスタートした。NUMO は 2002 年より全国の市町村を対象に地層処分施設の設置可能性調査を受け入れる区域の公募を開始し、国や電気事業者と連携して地層処分事業に関するさまざまな理解活動や広聴・広報活動を続けてきたが、未だ文献調査を開始することができていない。

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波の襲来によって、東京電力福島第一原子力発電所で過酷事故が発生し、大量の放射性物質が環境中に放出され、多くの人々が長期間にわたり避難を余儀なくされた。このことによって、原子力事業者に対する国民の信頼が失われ、わが国において安全な地層処分が実施できるとの主張に対しても各方面から疑問が呈された。

こうした状況を受けて、政府は、2013 年に地層処分事業の進め方の基本方針について再検討するため、総合資源エネルギー調査会に放射性廃棄物ワーキンググループ（以下、放射性廃棄物 WG という）と地層処分技術ワーキンググループ（以下、地層処分技術 WG という）を設置した。これらの審議会では、「第 2 次取りまとめ」以降の地球科学などに関する新知見を考慮に入れて、わが国の地質環境特性および地質環境の長期安定性に関して審議が行われるとともに、最終処分地の選定作業の遅れの原因を分析し、地層処分の取り組みに対する今後のあり方について議論を重ねられた。この結果、以下のことが合意された[3,4]。

Development of NUMO Safety Case for geological disposal by Tetsuo FUJIYAMA (tfujiyama@numo.or.jp), Satoru SUZUKI, Akira DEGUCHI

*1 原子力発電環境整備機構

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)

〒108-0014 東京都港区芝4-1-23 三田NNビル

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会主催第32回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

- ・ 火山・火成活動や断層活動などの天然現象の影響を受けにくく、地層処分に好ましい地質環境が長期間にわたって安定的に維持される場所を我が国においても選定できる見通しがある。
- ・ 地層処分の取り組みを進めることは原子力発電の利益を享受した現世代の責任である。
- ・ 一方、その実施に当たっては可逆性・回収可能性を確保して将来世代に選択の余地を残すべきである。
- ・ 国、NUMO および関係研究機関は最終処分の技術的信頼性等に関して定期的な評価を行うべきである。
- ・ 国はより適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）を示すべきである。

政府は、こうした審議会の意見を取り入れて、2015 年 5 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」[5]（以下、最終処分基本方針という）を改定した。最終処分基本方針を受け、地層処分技術 WG では、地球科学的な観点から科学的有望地の提示に関する要件・基準に関する検討が行われている[6]。

1.2 セーフティケース作成の背景と目的

1.2.1 包括的な技術報告書の作成

今後、国による科学的有望地の提示と自治体に対する文献調査に対する協力の申し入れによって、処分地選定活動が新たな局面を迎えることが想定される。事業を文献調査段階に進めることへの信任を得るために、事業者自らが地層処分の技術的信頼性を示すことはもちろん、最新の技術開発成果を取り入れてサイトの選定に即応できる技術的な準備を整えていくことを示すことが、これまでにも増して重要と考えられる。

このような状況を背景として、NUMO は、最新の科学的知見や技術開発成果に基づき、わが国における安全な地層処分の技術的な実現性を提示することを目的として、包括的な技術報告書（以下、包括的技術報告書という）を取りまとめることとした。具体的な目的は以下のとおりである。

- ① 地層処分という方法によって、事業期間中や閉鎖後長期の安全性がわが国において確保できるかどうかを最新の科学的知見等を踏まえてあらためて評価する。
- ② このため、以下の技術が事業を実施するうえで実用的なレベルで整っているかを確認する。

- 変動帯に位置する日本で地層処分に適した地質環境を有する場所を選び、その特徴を把握するための調査・評価技術
- 地質環境の特徴を踏まえて処分場を設計し、建設・操業・閉鎖を安全に行うための工学的技術
- 適切な地質環境に設計・建設された処分場が長期間にわたって安全を確保する機能を有しているかどうかを評価する技術
- ③ 以上を通じて今後取り組むべき技術課題を明らかにし、地層処分技術の信頼性をより高めるための技術開発計画の策定に資する。

1.2.2 セーフティケースとしての取りまとめ

地層処分の長期的な安全性に対する信頼を継続的に高め、確かなものとしていくために、事業期間を通じ、その各項目において、その時点の最新の科学的知見を取り込んだ「セーフティケース」を繰り返し取りまとめているという考え方方が国際的に構築されてきている。セーフティケースとは、処分場の安全性について、可能な限りの証拠、論拠ならびに論述等を体系化し、さまざまな側面から議論を積み上げて総合的な情報として提供することでステークホルダー（規制機関、国、地域住民、一般国民など）と共有するという概念であり、国際機関によって、その役割や基本的な構造などが示されている[7]。

セーフティケースは事業者が作成し、事業者が主張する地層処分の信頼性に対して、ステークホルダーがその適性を判断するものである。セーフティケースの概念は、安全な地層処分の実現性と技術の準備状況を示し、事業を次の段階に進めることの信任を社会から得ようとする包括的技術報告書の目的と整合している。そこで、包括的技術報告書は、国際機関が提示する指針[7]を参考しつつ、サイトを特定しない段階のセーフティケースとして取りまとめを行うこととした。以下、包括的技術報告書を「NUMO セーフティケース」と呼ぶ。

NUMO は、概要調査地区選定段階（文献調査の段階）以降、候補となるサイトの特性を踏まえたセーフティケースを整備し、精密調査地区選定段階、処分施設建設地選定段階、安全審査段階等、事業の進展に応じて更新していく。今回整備する NUMO セーフティケースは、サイトが特定された後のセーフティケースの雰型となるものであり、今後更新していくセーフティケースの枠組みと情報の基盤を提示することを意図している。

2 地層処分の安全確保の基本的考え方

2.1 地層処分の安全確保の基本

地層処分が対象とする放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体、および再処理や MOX 燃料製造に伴って生ずる半減期の長い核種を一定量以上含む低レベル放射性廃棄物の一部（以下、TRU 廃棄物という）である。

地層処分の安全確保に向けて、処分場の閉鎖前においては、操業時に放射性物質を閉じ込め、放射線を遮蔽する機能、および労働災害を防止し良好な作業環境を維持する機

能を有することが必要である。また処分場の閉鎖後においては、放射性廃棄物を人間社会と地表の環境から長期間にわたって隔離し、人間や環境に悪影響を与えないように閉じ込めておく機能を有することが必要である。このような安全機能を有する処分場を構築するために、地層処分に適した安定した地質環境を有するサイトを選定し、調査で把握した地質環境情報を踏まえて多重バリアシステムからなる処分場を設計するとともに、安全評価を行ってその安全性を確認する。また、長期にわたる事業を見据えて、これらを的確に実施するためのマネジメントが重要となる。

2.2 セーフティケース作成のアプローチ

現段階では、調査の対象となるサイトや候補となる母岩が特定されておらず、安全規制要件も今後整備される。このような条件下でセーフティケースを作成するにあたり、以下に示すアプローチを採った。

- ・ わが国の全国規模での地質環境に関する最新の文献情報をもとに、サイト選定で想定される多様な地質環境を考慮して代表的な候補母岩を設定し、断層の存在など、わが国の現実的な地質環境の特徴を反映するという点に留意しながら、地下深部の候補母岩に関する地質環境のモデルを提示する。
- ・ これら候補母岩の地質環境モデルに対して処分場を設計し、構築される地層処分システムの安全評価を行うという、一連の作業を試行することで、実践的な方法論が整備されていることを示す。
- ・ 処分場の設計では、「第 2 次取りまとめ」および「第 2 次 TRU レポート」[8] で提示された処分概念を出発点として、閉鎖前と閉鎖後長期の安全性、および建設・操業・閉鎖の工学的実現性を充足する処分場の設計の仕様を具体的に提示する。
- ・ 安全評価では、国際的な動向等を参照して安全性を判断するための評価の枠組みと基準を仮設定し、わが国の地質環境に対する処分場の閉鎖前および閉鎖後長期の安全性の見通しを提示する。
- ・ 以上の一連の試行を通じて、事業の信頼性向上に向けた今後の技術開発項目を明らかにする。

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」[9]に基づき、処分するガラス固化体は 40,000 本、TRU 廃棄物の量は 19,000 m³ と想定し、処分場の設計と安全評価を試行する。また、TRU 廃棄物の処分に必要な地下施設の面積は、高レベル放射性廃棄物処分のそれに比べて 30 分の 1 程度であり、両者に共有できる施設も多いことから、これらを併置処分する処分場を想定する。

3 地質環境モデルの設定

サイト選定においては、文献調査、概要調査、精密調査の三段階を通じて当該サイトの地質環境情報を取得し、処分場の設計から安全評価にいたる一連の作業を行うことによって、地質環境が本来的に有する安全機能が長期にわたり安定に維持されるサイトを選定する。その際、段階的に調査の詳細度を高めつつ、法定要件に基づき段階的に整備

する考慮事項[10]などに照らして、地質環境の安全機能を損なう可能性のある自然現象（火山・火成活動、断層活動など）による著しい影響を回避する。さらにその影響を回避したサイトにおいて、地質環境特性の時間的・空間的変遷を把握することにより、その変化の幅を考慮に入れても地層処分にとって好ましい特性が長期にわたり安定に維持される地質環境を特定する。

NUMO セーフティケースでは、わが国の地質環境に関する最新の理解に基づき、サイト選定において現実的に想定される幅広い地質環境を長期安定性、処分場の設計（建設可能性や容易性）、安全評価（地下水流动や物質移動特性）の観点から類型化し、候補母岩として想定される岩種として深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類の3岩種を取り上げた。さらに、サイト選定の各調査段階に対応させ、処分場の設計および安全評価との連携を図りつつ、これら3つの候補母岩について、①全国規模の地質環境データセットに基づく広域（数十km）スケールの現実的な地質構造／水理地質構造モデルの構築、②広域スケールの地下水流动解析結果に基づく処分場（数km）スケールの領域の設定、③地下深部において体系的に取得された地質環境データに基づく処分場へパネル（数百m）スケールの現実的な地質構造／水理地質構造モデルの構築を実施した。例として深成岩類に対する地質環境モデルを図1に示す。

4 処分場の設計

処分場の設計では、サイト調査にて段階的に詳細化される地質環境の特徴を考慮し、その時点の最新の科学技術的知見を反映して、処分場の設計を柔軟に行う準備を整えておくことが重要である。NUMO セーフティケースでは、閉

鎖前および閉鎖後長期の安全性、工学的成立性、回収可能性、経済的合理性などの要求事項（設計因子）を満たすための設計要件を設定し、これを基軸とした体系的な設計の方法論を構築するとともに、設定した候補母岩の地質環境モデルに対して、処分場の設計を試行した。

図2に人工バリアの概念を示す。高レベル放射性廃棄物の人工バリアは、ガラス固化体、オーバーパックと緩衝材により構成される。また、TRU廃棄物は、廃棄体の特徴に応じて4つのグループに分類され、人工バリアは廃棄体を収納する廃棄体パッケージと緩衝材により構成されるが、グループによっては緩衝材を設置しない場合もある。高レベル放射性廃棄物については、「第2次取りまとめ」以降に得られている炭素鋼の腐食試験、放射線影響評価、緩衝材の塩水条件における膨潤性などの最新のデータに基づいて、人工バリアの仕様が安全性に余裕をもって設定されていること、および、塩濃度などが異なるさまざまな地下水の環境にも適用可能であることを確認した。また、TRU廃棄物処分場についても、操業中の閉じ込めを確保するため、廃棄体パッケージ容器の仕様をあらたに設定するとともに、閉鎖後長期の安全性向上の観点から、緩衝材を設置する廃棄体グループを見直した。これらの人工バリアを地下施設で施工する際の実用性を向上させる技術開発が「第2次取りまとめ」以降進展しており、例えば、高レベル放射性廃棄物処分場では、従来の堅置き・ブロック方式に加え、横置き・PEM方式について操業方法を示した。横置き・PEM方式は、地上施設にてオーバーパックと緩衝材を鋼製容器内に一体化してから地下に搬送する方式であり、堅置き・ブロック方式に比べて、人工バリア構築の品質管理が容易であるとともに、処分坑道内における定置作業の効率化や坑道面積の縮小化が図れること、および坑道内の湧水や滴

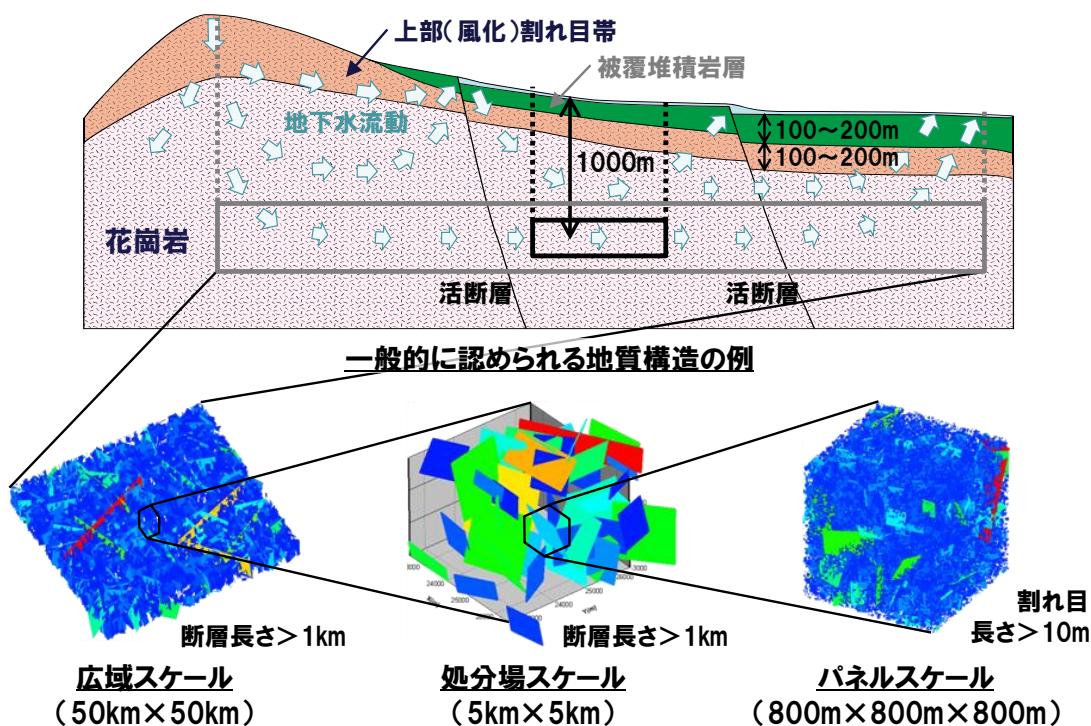


図1 地質環境モデル（深成岩類の例）

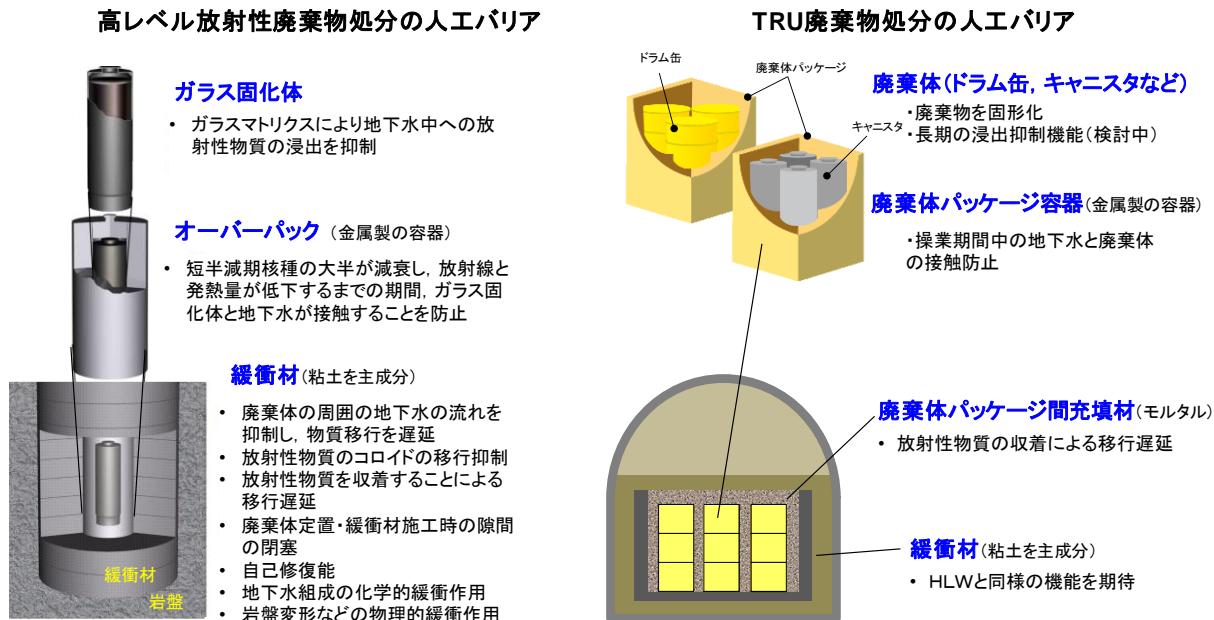


図2 人工バリアの概念 (高レベル放射性廃棄物処分とTRU廃棄物処分)

水などの環境に対する適用性が高いといった特徴があることを確認した。

また、活断層については処分場には含めないこととしているが、処分場内に含まれる規模の小さな断層や岩盤の割れ目への対処方法についてはこれまで明確ではなかった。そこで NUMO セーフティケースでは、断層・割れ目の規模や特性に応じた設計上の対応方針を明確にした。すなわち、施設のレイアウトを決定する地質環境特性 (Layout Determining Features: LDF) の一つとして、異常出水など掘削に支障を生じる可能性がある主要な断層破碎帯 (目安としてトレース長 1~10 km) を定義し、また湧水により処分孔の掘削や緩衝材定置に支障が生じる可能性がある小規模な未固結性断層破碎帯 (目安としてトレース長 1 km 未満) や割れ目については、人工バリアの定置の可否を判断する際に考慮すべき地質環境特性 (Emplacement Determining Features: EDF) の一つとして定義した。

深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類を対象として、地質構造や地質環境特性への対応を考慮した実際的な地下施設のレイアウト設計を行った。処分場スケールの地質環境モデルを対象として、処分区画の設置位置の設計では、地下水移行時間や断層破碎帯位置などの LDF を考慮して処分区画をレイアウトした。また、処分場の規模を決定するプロセスでは EDF を考慮して緩衝材のパイピングによる流出や、湧水対策の合理性の観点から許容可能な湧水量を算出し、定置の可否の判断方法を示すとともに、パネルスケールの地質環境モデルに基づいて処分孔や処分坑道の湧水量を見積もり、予備的に準備する処分区画の規模や位置を設定する過程を示した。このような考え方に基づき、深成岩類について、地下施設の配置を検討した例を図3に示す。

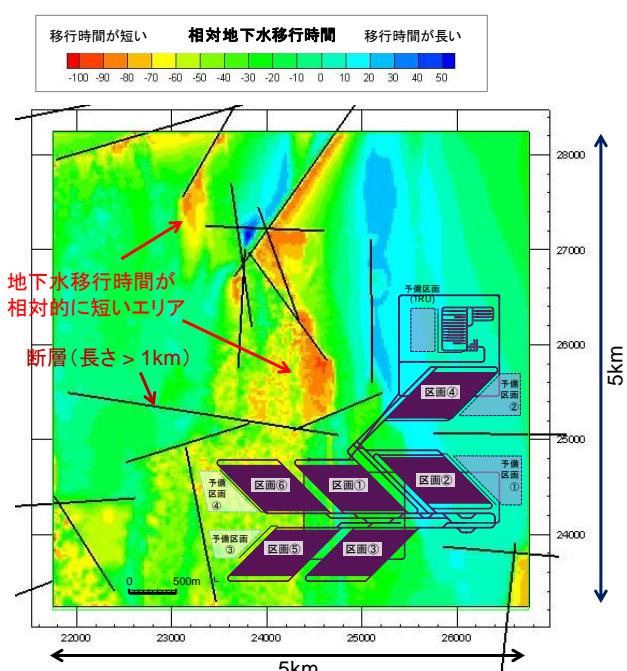


図3 地下施設のレイアウト例 (深成岩類・堅置き方式)

5 閉鎖前の安全性の評価

処分施設の建設開始から操業を経て、閉鎖を行うまでの期間について、既存の原子力施設と同様に、輸送容器あるいは地上施設などに放射性廃棄物の「閉じ込め」と「放射線遮蔽」の機能を持たせることで放射線から公衆および作業者を防護するとともに、一般労働安全の確保、および環境保全に努める。

閉鎖前の安全確保は、放射線防護については原子炉等規制法を、一般的な労働安全については労働安全衛生法を順守して確保する。安全確保の対策は、基本的には既存の原子力関連施設で実施されている放射線防護対策や、一般道

路トンネル、鉱山あるいは地下発電所などの大規模地下構造物の工事などで実施されている労働安全対策および環境保全策を基本として実施する。

5.1 平常時の安全性の確保

地上施設において放射性廃棄物を取り扱う施設は、ガラス固化体受入・検査・封入施設およびTRU廃棄物の廃棄体受入・検査・封入施設である。これらの施設は、放射線遮蔽と閉じ込めの安全機能を有するように設計した。

放射線遮蔽は、施設の壁の厚さを適切に設計するとともに、施設から敷地境界までの距離を十分設けることで達成が可能である。廃棄体を取り扱う施設からの放射線影響を評価したところ、周辺公衆への影響に影響を与えないように処分場を設計し、設置することが可能である見通しが得られた。一方、作業者に対しては、放射性廃棄物の取り扱いは原則として遠隔操作によることとし、作業者が立ち入る可能性があるエリアと滞在時間などに基づいて、壁の厚さを決定した。

地下施設においては、廃棄物からの放射線は岩盤により遮蔽されるため、周辺公衆に対する影響は無視できる。一方、作業者に対しては、搬送車両に設置した遮蔽容器にオーバーパックを収納してアクセス斜坑を搬送すること、および処分坑道への定置を遠隔操作により実施することで、作業者を放射線から防護する。なお、操業時における放射性物質の閉じ込めは、高レベル放射性廃棄物はガラス固化体でありオーバーパックに封入していること、TRU廃棄物はセメント系材料等で固化し、さらに密閉性を有する容器に封入することにより確保する。

なお、構外における放射性廃棄物の輸送については、輸送規則に従って、落下や火災などの事象にも耐えられるように適切に設計・製造した輸送容器を使用するなどの対策が考えられる。

一般労働安全に関しては、良好な作業環境（温度、湿度など）を維持する。また、建設から閉鎖までの期間、繰り返し使用する連絡坑道やアクセス坑道については、良好な作業環境の維持のために二次覆工を行うなどの対策も合わせて実施する。

処分場の操業では、処分坑道の掘削と、人工バリアの施工や廃棄体定置の作業を同時並行で実施する。これらの作業に必要な大型機器や資材の搬入・搬出の作業動線と、廃棄体搬送の作業動線は、衝突事故防止の観点から、お互いに独立していることを設計要件として示した。また、換気および排水についても、放射性廃棄物はオーバーパックあるいは廃棄体パッケージ容器に密封されているものの、万一の事故に備えて、建設区画と作業区画で独立になることを設計要件として示した。これらに基づいて、処分区画の建設順序と連絡坑道およびアクセス坑道の役割の設定と配置を検討して地下施設を設計した。先の図3で示した地下施設のレイアウトは、このような作業動線や排水・換気経路を考慮している。

5.2 異常状態の評価

異常状態とは、計画した操業状態から逸脱した状態を指

す。放射線防護上の重大な事故に発展する可能性がある異常状態を特定するために、国際的な考え方である多重防護の考え方を準拠して、異常状態の発生を防止する対策、さらに異常が発生し、次の異常状態に推移することを防ぐための拡大防止策を設定した。廃棄体の落下や火災、機器故障などの異常状態を操業工程ごとに分析し、48種類の異常状態のシナリオを作成した。

さらに、重大な事故に発展する可能性がある異常状態を分析するために、落下衝撃力や火災による加熱により放射性物質が漏えいする可能性について評価した。この結果、多重防護の考え方に基づいてさまざまな安全対策を準備可能のこと、ガラス固化体やオーバーパックなどの操業中の閉じ込めの役割を与えている材料は、想定される衝撃などに対して機能を喪失する可能性が低いこと、万一に備えて緊急換気設備などを準備可能のことから、周辺公衆に有意な放射線影響が及ぶリスクは極めて小さいと考えられる。ただし、異常状態の分析と影響の評価は今後も継続的に実施し、閉鎖前の安全性を向上させる。

6 閉鎖後長期の安全性の評価

地層処分の安全性を考慮すべき期間は、数万年以上といった極めて長期間に及ぶが、その間、処分場や周辺の地質環境において、火山活動のような自然現象や、熱的、水理的、力学的、化学的な反応など、さまざまな事象の発生が想定される。そこで、事象の発生可能性や現象理解に対する不確実性などを考慮して、シナリオを作成し、数学モデルとデータを用いてその影響を予測的に評価することが国際的に認められた基本的な方法となっている。NUMOセーフティケースでは、国際的な動向を踏まえ、リスク論的のアプローチに従い、シナリオの発生可能性を考慮して安全性を評価した。

自然過程を対象とした評価シナリオは、科学的知見に基づいて設定する発生可能性に応じて基本シナリオ、変動シナリオ、稀頻度事象シナリオに区分した。また、国際的な基準の考え方などを参考に、シナリオ区分ごとに比較の基準となるめやす線量を仮設定した。評価期間については、国際的に提示されている規制の枠組みに対応できるような一連の技術を整備するため、諸外国が採用している安全評価期間を参照し、100万年を目標として安全評価の方法論を整備することとした。

評価シナリオの作成に当たっては、安全機能を指標として人工バリアおよび天然バリアの状態変化を関係づけることによって記述する方法を採用し、FEPによりこれを補完した。将来の人間活動の影響については、海外の事例などを参考に様式化による方法を適用して、人為過程を対象としたシナリオを作成した。

核種移行解析では、地質構造の特徴や、断層・割れ目の三次元分布、処分場の設計仕様（堅置き・ブロック方式と横置き・PEM方式、TRU廃棄物処分における人工バリア構成など）の特徴をより現実的に評価するため、ニアフィールド周辺に対して、三次元の物質移行を取り扱うことのできる計算コードを導入した（図4参照）。なお、被ばく線

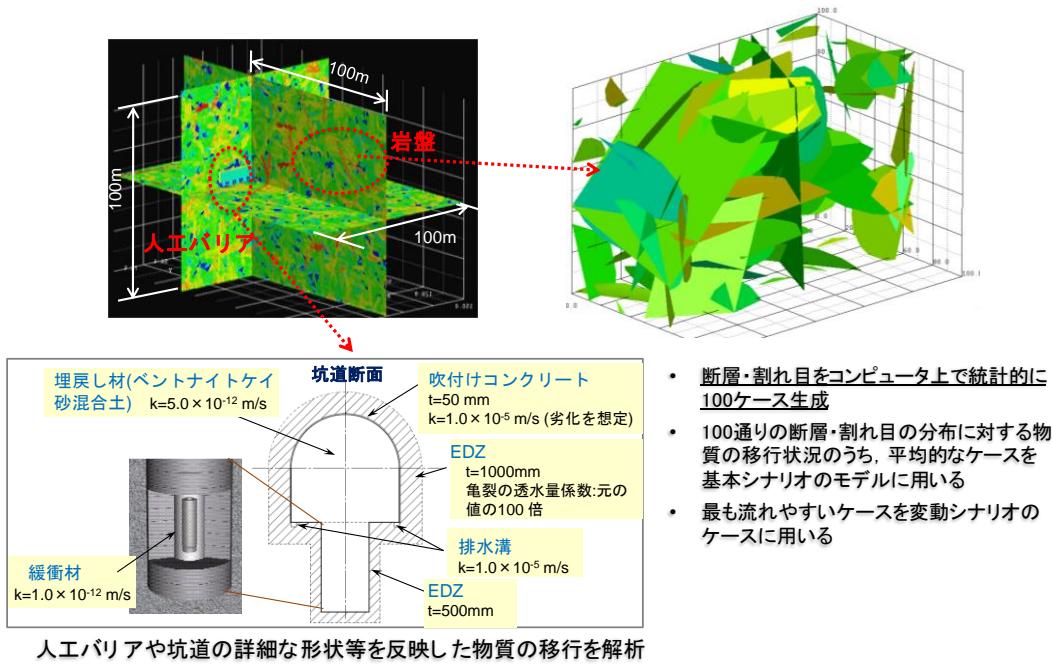


図4 核種移行解析に反映したニアフィールドのモデル（人工バリアと断層・割れ目分布）

量の計算には、三次元的な物質移行の結果を一次元核種移行解析で取り扱えるようにしたマルチチャンネルモデルを適用した。これらの手法の開発により、母岩や処分場の設計オプションを取り入れて安全評価を実施できるようになった。

核種移行解析に用いる収着や拡散などの核種移行データの設定に必要となる、地下水の化学組成は、候補母岩ごとに設定した一般化した地下水モデルに基づいて設定した。核種移行データは、JAEAと共同で開発した方法を適用し、最新のデータベースなどを参照して設定した。

各シナリオ区分に属するシナリオに対して、候補母岩と対応する設計仕様ごとに核種移行解析を実施し、生活圏の評価を実施して被ばく線量を計算した結果、いずれもめやす線量を下回ることを確認した。このことから、サイト選定で想定される母岩に対して構築された地層処分システムにより安全性を確保できる見通しを示すことができたと考えられる。

7 今後の技術課題

NUMO セーフティケースの取りまとめを通じて、地層処分の信頼性の向上に必要な技術開発項目を抽出した。主なものを以下に示す。

7.1 地質環境分野

地質環境分野については、NUMO セーフティケースにおいて、概要調査までの基本的な調査・評価に関する技術・知見・経験が整備されていることを確認した。また、サイトが特定された後に、的確に地質環境を調査・評価できる準備を整えることを目標に、次のような課題を抽出した。

- 多様なサイト条件に対応するため、相対的に情報・知見・経験が少ない特異な自然現象や地質環境条件に関

- 断層・割れ目をコンピュータ上で統計的に100ケース生成
- 100通りの断層・割れ目の分布に対する物質の移行状況のうち、平均的なケースを基本シナリオのモデルに用いる
- 最も流れやすいケースを変動シナリオのケースに用いる

する調査・評価技術の信頼性向上。例えば、

- 巨大カルデラのマグマの活動範囲、火山性熱水や深部流体の分布や影響範囲などに関する評価事例の蓄積
- 先新第三紀堆積岩（とくに付加体）における地下深部の情報取得
- 沿岸海底下に対する調査・評価技術の適用性確認など

7.2 工学分野

工学分野については、所要の安全機能を確保した処分場を構築するための実用的な設計技術、およびレファレンスとなる人工バリアの仕様・材料が準備されていることを示した。また、処分場の安全性および経済合理性を高めるとともに、技術の実用化を図ることを目標に、次のような課題を抽出した。

- 信頼性の高い処分場の構築、あるいは合理化に向けた、多様な技術オプションの準備。例えば、
 - オーバーパックや緩衝材の代替材料の開発
- 開発のリードタイムを考慮した、工学技術の段階的な信頼性の検証。例えば、
 - 人工バリア製作や施工・操業技術に関する段階的な実証試験と品質管理手法の検討（室内試験・モックアップ試験の実施、実証試験装置の開発）

7.3 安全評価分野

安全評価分野については、安全評価を実施するための一連の方法論は整備されていることを示した。また、安全評価のシナリオ構築・モデル・データ設定に関する信頼性の向上を継続して図ることを目標に、次のような課題を抽出した。

- 安全評価における不確実性の低減に資する知見の収集や技術整備。例えば、
 - 人工バリア・ニアフィールド母岩の長期変遷や相互作

用に関する知見や実験データの蓄積

- シナリオ構築におけるエキスパートジャッジの定量化手法の開発
- 実測データとの対比による解析技術の検証
- 線量評価に影響が大きいI-129の廃棄体固化技術の開発
- 多様な地質環境条件や設計概念などの違いを反映し、過度な保守性を排除して処分場の性能を相対比較できる安全評価技術の開発。例えば、
 - 先新第三紀堆積岩や塩水環境下での核種移行パラメータ（分配係数、拡散係数、溶解度）のデータ蓄積
 - ニアフィールドの諸現象（人工バリアの長期変遷・相互作用、ガス移行）や詳細な母岩特性（割れ目充填物の移行特性など）を考慮可能な性能評価モデルの開発
 - 三次元物質移行解析モデルの高度化（解析領域の拡張等）
 - サイトの地表環境を考慮した生活圏モデル構築技術とパラメータ整備

7.4 その他

その他、分野横断的な技術について、開発のリードタイムを考えて着実に準備を進める。例えば、

- 廃棄体受入基準の整備
- 品質保証マニュアルの整備、解析手法・試験法等の標準化
- モニタリング技術の開発
- 周辺環境保全に関する技術開発

抽出したこれらの技術課題については、基盤研究開発機関と適切に分担のうえ、計画的に技術開発を進める。

8 結言

安全な地層処分の実現性を示すことを目的として、セーフティケースの作成を行った。この検討を通じて得られた結果を以下に示す。

- 放射性廃棄物を長期にわたって隔離し閉じ込めるための、処分場を設置する地質環境に必要な条件と望ましい条件が明確になっており、これらの条件に応じた適切な地質環境を選定する技術を整備している。
- わが国で地層処分の対象となり得る代表的な三種類の候補母岩について、地下深部で得られている断層の存在状況等の地質環境特性を反映し地質環境モデルを作成する技術を有し、このモデルに応じて要求機能を満足する処分場を設計することが可能となっている。設計を試行した結果は、設計および建設・操業・閉鎖に関する技術開発成果に基づいており、実用性を有する。
- 地質環境や設計した処分場の仕様の特徴を現実的に取り扱って、閉鎖前および閉鎖後長期にわたる安全評価を行うことが可能となっている。その結果から、国際機関や諸外国の規制に示された、あるいは国内類似施設に関する安全基準等に照らして、安全を確保できる見通しが得られている。
- 処分場の設計・建設・操業に関する安全評価技術の信

頼性や、わが国の地質環境に対する適応力を高めるため、今後、取り組む必要がある技術開発項目を抽出した。また、品質保証、知識管理、人材育成に適切に取り組む必要があり、そのための基盤を整えつつある。

以上のことから、わが国の地質環境において、高レベル放射性廃棄物およびTRU廃棄物の安全な地層処分ができる見通しが一段と高まった。また、今後文献調査等を受けて入でていただいた地域において、その特性を踏まえて処分場の設置に適した場所を選び、安全な処分を実現するために、より信頼性の高い技術を整備しつつ、段階的に事業を進めていくための一連の準備ができると結論する。

参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構: 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－, JNC TN1400 99-020~99-023 (1999).
- [2] 原子力委員会: 高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について, 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会(1998).
- [3] 総合資源エネルギー調査会: 放射性廃棄物WG中間とりまとめ, 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物WG(2014).
- [4] 総合資源エネルギー調査会: 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価－地質環境特性および地質環境の長期安定性について－, 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会 原子力小委員会地層処分技術WG(2014).
- [5] 経済産業省: 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）(2015).
- [6] 総合資源エネルギー調査会: 科学的有望地の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）(案), 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会 原子力小委員会地層処分技術WG(2016).
- [7] OECD/NEA: No.78121 (R1) “The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories”, OECD/Nuclear Energy Agency(2013).
- [8] 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構: TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ, JNC TY1400 2005-013 (2005).
- [9] 経済産業省: 特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画（平成20年3月14日閣議決定）(2008).
原子力発電環境整備機構: 概要調査地区選定上の考慮事項, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の可能性を調査する区域の公募関係資料-3(2002).
- [10] 原子力発電環境整備機構: 概要調査地区選定上の考慮事項, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の可能性を調査する区域の公募関係資料-3(2002).

