

高レベル放射性廃棄物の地層処分

—事業概要及び安全な事業推進に向けた技術的取り組み—

窪田 茂

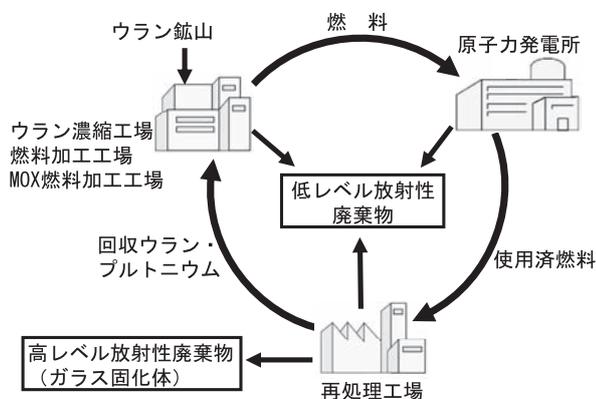
近年の地球温暖化問題への対策として、世界的に原子力発電の重要性は高まっています。また、エネルギー資源に乏しいわが国では、原子力発電で使用した燃料を再処理して再利用可能な燃料を取り出す原子燃料サイクルの確立が国の方策として進められてきました。この原子燃料サイクルにおいても一般の社会活動と同様に廃棄物が発生します。2000年に制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（特廃法）」により、原子燃料サイクルから発生する高レベル放射性廃棄物は地下300mより深い安定な地層中に処分することが決まり、併せて事業を行う主体として原子力発電環境整備機構（NUMO）が設立されました。ここでは、地層処分事業の概要と、安全な事業推進に向けた技術開発等の取り組み状況について紹介します。

キーワード：原子燃料サイクル、放射性廃棄物処分、地層処分、多重バリアシステム、事業スケジュール、概要調査、精密調査

1. 地層処分事業の概要

(1) 原子燃料サイクルと放射性廃棄物

原子力発電所で使用した燃料を再処理して、再び燃料として利用するウランやプルトニウムを取り出す際に、放射能が高い廃液が発生します。この廃液を取扱いやすく安定した形態にするため、ガラス原料と混ぜて高温で溶かしステンレス製の容器に入れて固めたものが高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）です。併せて、再処理等のプロセスから放射能が低い低レベル放射性廃棄物が発生します（図—1）。



図—1 原子燃料サイクルで発生する放射性廃棄物

(2) 地層処分による放射性廃棄物の隔離

ガラス固化体の放射能は、時間とともに減衰するも

のの長く残存するため、数万年以上の超長期にわたって人間の生活環境から隔離する必要があります。また、低レベル放射性廃棄物の一部には、半減期（放射能の量が半分になるまでの時間）が長く、ガラス固化体と同様に超長期にわたって人間の生活環境から隔離する必要があるものが含まれています（以下、「地層処分低レベル放射性廃棄物」）。このため、人間が超長期にわたって関与しなくても安全に隔離できる手段として、地層処分を行います。この方法は原子力発電を行っている諸外国でも共通的に採用されています。わが国では、2000年に制定された特廃法（2007年改正）により、高レベル放射性廃棄物及び地層処分低レベル放射性廃棄物を地下300mより深い安定な地層中に処分することが定められています。

なぜ、地層処分という方法が選ばれたかという点、地下深くの地層の特徴に由来します。地下深くの地層の特徴が放射性廃棄物の処分に適している理由として、以下のことが挙げられます。

- ①地表に比べて人間活動や自然現象の影響を受けにくいこと
 - ②地下深部には酸素がほとんど存在しないため、金属が錆びるなどの化学的な反応が起こりにくいこと
 - ③地下水の動きが極めて遅いため、仮に放射性物質が地下水に溶け出したとしてもほとんど動かないこと
- このような地下深部の特徴を活用し、地層処分における安全性は、地層（天然バリア）が本来的に備えて

いる物質を閉じ込める機能に加えて、人工的な障壁（人工バリア）を組み合わせた多重バリアシステムにより確保され、放射性廃棄物を超長期にわたって人間の生活環境から隔離できるのです。

高レベル放射性廃棄物の地層処分における多重バリアシステムの構成を図-2に示します。ガラス固化体は、将来的に地下水と接触しても、放射性物質を地下水に溶けにくくする役割を担います。ガラス固化体は、オーバーパックという厚い金属製の容器に封入されます。腐食反応が極めて緩慢な環境条件下においてオーバーパックは、ガラス固化体が地下水と接触する時期を著しく遅らせる役割を担います。また、オーバーパックと岩盤の間には、ベントナイトと呼ばれる粘土質の緩衝材が充填されます。この材料は、水を極めて通しにくい性質を持っており、地下水と放射性物質の移動を遅らせる役割を担っています。これら3つのバリアが、人工バリアと呼ばれるものです。



図-2 多重バリアシステムの例¹⁾

(3) 地層処分場の施設構成

地層処分場は、総延長が200 kmを超えるトンネル群と地上施設より構成されます (図-3)。これは、ガ

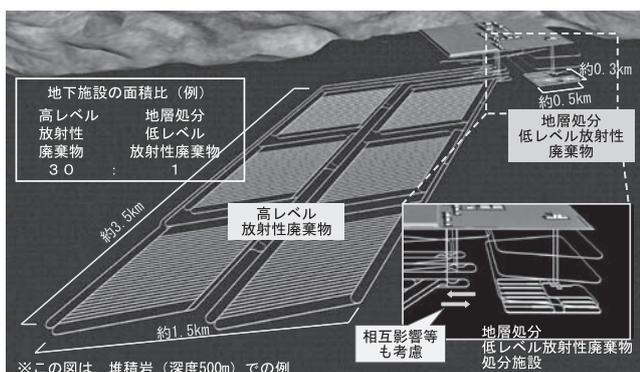


図-3 地層処分場のイメージ

ラス固化体を4万本処分できる施設規模です。また、地層処分低レベル放射性廃棄物についても、地上施設の共有、地質環境情報の共有といった効率性の観点から、高レベル放射性廃棄物処分場から適切な離隔を確保して併置することを基本として検討を進めています。

地層処分場の特徴として、高レベル放射性廃棄物の場合は、初期の発熱が大きいので人工バリアが温度上昇によりその期待される性能に有意な影響がないように、ガラス固化体を1本ずつ分散して処分します。このため、地下坑道は、断面は小さいものの延長が長く、処分場の平面的規模が大きくなります。この際、図-4に示すように、ガラス固化体を水平坑道内に定置する方法、水平坑道から処分孔という縦穴を掘削してそこに定置する方法を選択肢として考えています。一方、地層処分低レベル放射性廃棄物の場合は、発熱が小さいので収納効率を考慮し、比較的大きな断面の地下坑道内に集積して処分します。このため、処分場の平面的規模は、高レベル放射性廃棄物の場合と比べて小さくなります。

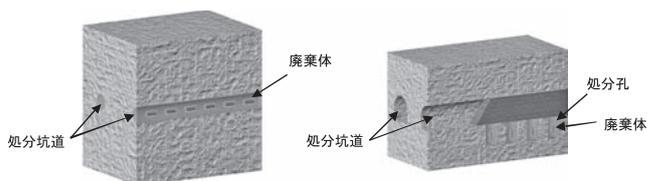


図-4 処分方法のオプション¹⁾

地上施設のイメージを図-5に示します。ガラス固化体の受入・封入・検査施設、緩衝材の製作・検査施設を始め、地下施設の建設・操業・閉鎖に必要な施設等から構成されます。地下施設の建設に伴い、多量の掘削ズリが発生しますので、それらの仮置場も必要になります。

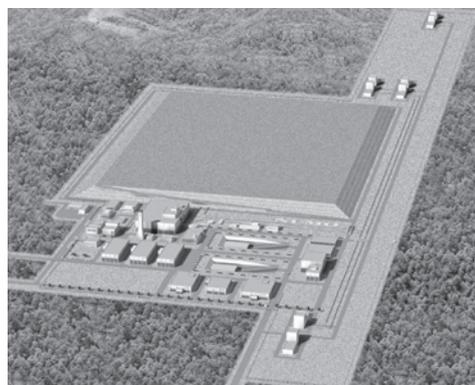


図-5 地上施設のイメージ²⁾

(4) 段階的なサイト選定と事業の全体スケジュール
地層処分による安全性は、多重バリアシステムにより確保することを述べましたが、火山活動や断層活動

などによって処分場が直接破壊されるような可能性がある場所は避けなければなりません。このため、特魔法では、処分施設建設地の選定の手順、要件等が規定されています。選定の手順は、以下の3段階を踏まえて、その都度安全性を確認し、不確実性を低減させながら進めていきます。

①文献調査段階（概要調査地区選定段階）

文献などの既存の情報を調査し、地震や火山などの自然現象による著しい影響がなく、将来にわたってそれらが起こる可能性が少なくと見込まれることを確認した上で、「概要調査地区」を選定します。

②概要調査段階（精密調査地区選定段階）

ボーリング調査や物理探査などの地表からの調査を行い、坑道の掘削に支障がないことなどを確認した上で「精密調査地区」を選定します。

③精密調査段階（最終処分施設建設地選定段階）

地下に調査施設を建設し、岩盤調査、地下水調査などの精密な調査に加えて実証試験などを行い、最終処分施設の設置に適していることを確認した上で「最終処分施設建設地」を選定します。

このように、処分施設建設地の選定を段階的に20年間程度かけて行い、建設・操業・閉鎖までの全事業期間は約100年にも及びます(図-6)。このことから、地域の方々の自主的な判断を尊重することとし、第一段階の調査を行う候補地を全国の市町村を対象に公募中です。

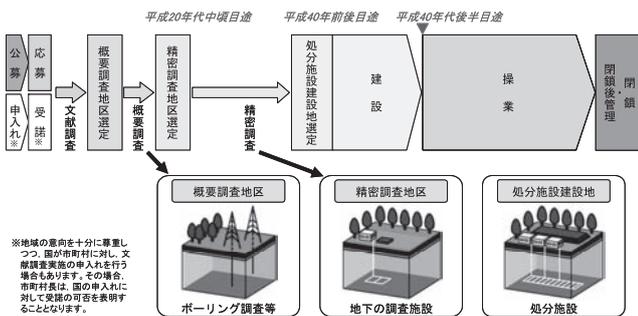


図-6 処分事業のスケジュール

2. 安全な事業推進に向けた技術的取り組み

地層処分に関する研究開発については、1970年代半ばより、国の研究開発機関において開始され、1999年には「わが国における高レベル放射性廃棄物の技術的信頼性」がまとめられ、これによって日本において地層処分は十分な信頼性をもって可能であることが示されました。これを受け、2000年に特魔法が制定され、実施主体としてNUMOが設立され、日本の地層処分

は研究の段階から事業の段階へと移行しました。

地層処分技術のさらなる安全性、信頼性の向上を目指して、NUMOと国および関連研究機関において引き続き研究開発が行われています。

国および関連研究機関では、処分事業や安全規制の基盤となる技術の確立を目指した研究開発（基盤研究開発）を進めています。基盤研究の一例として、深地層の研究施設などにおいて、現在は主に精密調査の実施にむけた研究開発が進められています(図-7)。

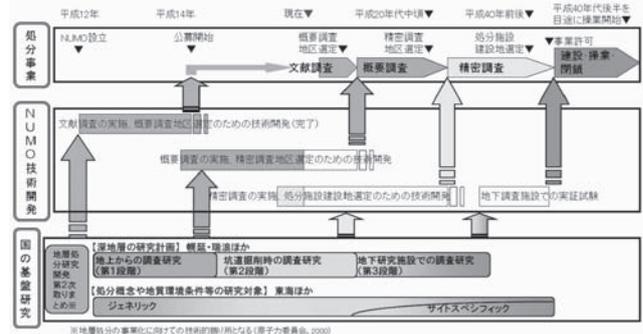


図-7 処分事業の技術開発スケジュール

NUMOでは、図-7に示したように、処分事業は長い期間をかけた3段階の調査を経て処分施設建設地を選定することとなっていることから、適切なタイミングで成果が得られるように、段階的に技術の整備を行っています。

実施主体設立後は、まず、最初のステップである概要調査地区選定に向けて技術開発を進め、この段階に必要な技術の整備を完了しています。現在は、次のステップである精密調査地区選定に向けて、基盤研究開発の成果を踏まえた概要調査技術の高度化・実用化・体系化を行うとともに、概要調査段階において行うボーリング調査技術の実証などを行っています(図-8)。

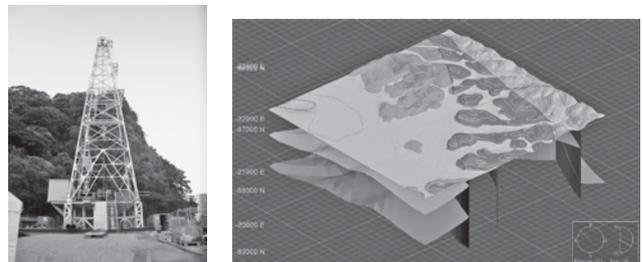


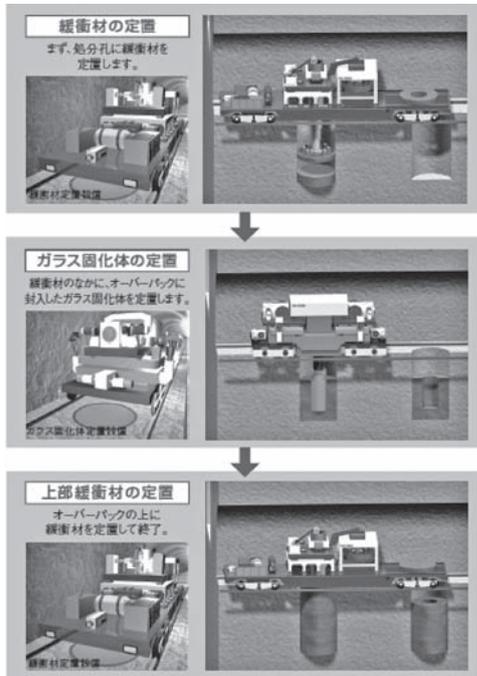
図-8 概要調査技術の実証例(左:ボーリング調査,右:地質環境モデル)

また、地層処分場の建設段階以降の将来を見据えた技術開発も着実に進めています。図-9は、ガラス固化体の定置のイメージを示したものです。先に述べましたように、処分方式(横置, 縦置)によって定置方法は異なりますが、いずれの方式でもガラス固化体、

その周囲を覆うオーバーパック，緩衝材を地下の坑道内に適切に収納する必要があります。これらの技術については，現在は基盤研究開発で要素試験などが行われています。サイト選定の最終段階では，地下調査施設の坑道を用いて，実規模・実環境下において定置技術などの実証を行う予定です。

NUMOでは，設立10年を迎える2010年度に，安全な地層処分を実現するための技術の進展状況を取りまとめた技術レポートを作成し，公表することとしています。

JCMA



図一〇 ガラス固化体の定置方法（豎置方式の例）²⁾

《参考文献》

- 1) 原子力発電環境整備機構，高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性，2004
- 2) 原子力発電環境整備機構，処分場の概要，2009

【筆者紹介】



窪田 茂（くぼた しげる）
 原子力発電環境整備機構
 技術部 処分技術・性能評価グループ
 課長