

地層処分事業の考え方と進め方

山本陽一*1

わが国において地層処分とは、原子力発電に伴って生じた使用済燃料の再処理等を行った後に生じる高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物を、地下 300m より深い地層に埋設して最終処分する方法をいう。ここでは、高レベル放射性廃棄物処分に焦点を当てて、地層処分の安全確保の考え方と事業の進め方、諸外国の状況について概説する。

Keywords: 地層処分, 高レベル放射性廃棄物, 多重バリアシステム, サイト選定

In Japan, geological disposal is the final disposal method of high-level radioactive waste and some types of TRU waste, generated by reprocessing of spent nuclear fuel from commercial power reactors. These will be disposed of in a stable geological formation below 300m depth in Japan. Here, strategy for ensuring safety, implementation approach of this project, and foreign countries situation are outlined with a focus on the high-level radioactive waste disposal.

Keywords: geological disposal, high-level radioactive waste, multibarrier system, site selection

1 高レベル放射性廃棄物とは

高レベル放射性廃棄物は、原子力発電所から出る使用済燃料を再処理工場で再処理してウランとプルトニウムを取り出した後、残った核分裂生成物等を含む廃液をガラスと融かし合わせ固化したものであり、「ガラス固化体」とも呼ばれている。高レベル放射性廃棄物は、放射線量が高く、発熱量が大きいことが特徴である。製造直後のガラス固化体は、周囲の環境条件にもよるが、表面の温度が 200 度以上となり、放射線量も約 1,500Sv/h である。万が一ガラス固化体の表面に直接抱きつければ、生死に係わるような高い放射能レベルを有している。

製造済みのガラス固化体（直径約 40cm、高さ約 1.3m、重さ約 500kg）は、平成 27 年 9 月時点で国内に 2,791 本存在している。その大部分は、青森県六ヶ所村の「高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター」に中間貯蔵されており、ここで 30 年から 50 年の間冷却貯蔵される予定である。また、再処理する前の使用済燃料は、各原子力発電所や再処理工場にあるプールに一時保管されている。将来的に使用済燃料を再処理した場合にできるガラス固化体と、既にガラス固化体として製造されているものと合わせると、2 万 5 千本相当のガラス固化体が存在していることになる。

2 地層処分の選択の経緯

これまで処分方法については、国際的に議論されてきた。ロケットで宇宙へ処分する方法、深い海底に処分する方法、南極大陸の氷の下に処分する方法、安定した深い地層に処分する方法である。こうした議論の結果、「処分の確実性」と、「自国で発生したものは自国で処分する」ということから、「安定した地層の中に処分する」方法が世界共通の認識となっている。

地層処分の概念が初めて提示されたのは、今から 50 年以上前である。それ以来、OECD（経済協力開発機構）などで国際的な議論が重ねられ、地層処分は技術的に実現可能

との国際的な合意が得られている。

日本でも、国際的な議論と平行して、1976 年から地層処分に関する研究が開始され、1999 年には「国内に地層処分を行うのに必要な地質や基礎的な技術はある」との結論が得られた[1]。これを踏まえ、2000 年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」[2]（以下、「最終処分法」という）が制定され、実施主体として NUMO が設立された。地層処分についての更なる研究は、現在も国の研究開発機関や NUMO 等で続けられている。

3 地層処分の安全確保

3.1 地層処分の概念

地層処分の方法は、安定した深い地層の「モノ」を閉じ込める力を利用した「天然バリア」と、それを補う人間の技術である「人工バリア」を組み合わせたシステムである。これを「多重バリアシステム」と呼んでいる（Fig. 1）。

まずは人工バリアについて紹介する。わが国では、人工バリアはガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材で構成することが考えられている。オーバーパックは放射能の高い一定期間（少なくとも 1,000 年間）、地下水とガラス固化体の接触を確実に阻止するよう、約 20cm の厚さを持つ金属製の容器が考えられている。やがて、地下水がガラス固化体と接触しても、ガラス固化体中の放射性物質はガラスの網目構造の中に取り込まれているので、色ガラスでできたガラスコップの色素と同様、容易には地下水に溶出ししない。ガラス固化体が溶けきるまでの期間は約 7 万年と評

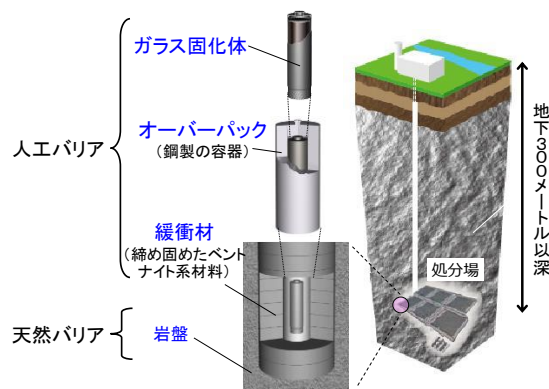


Fig. 1 Multibarrier system of the Japanese geological disposal concept

Basic concept and procedure of the geological disposal project by Yoichi YAMAMOTO (yamamoto@numo.or.jp)

*1 原子力発電環境整備機構 技術部

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)

〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NN ビル 2 階

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会 2015 年度バックエンド週末基礎講座における講演内容に加筆したものである。

価されている。ガラス固化体から溶け出した放射性物質は緩衝材中を移動していく。緩衝材はベントナイトを主成分とする材料が考えられている。ベントナイトは水に触れると膨らむ性質があり、水を非常に通しにくいので、周りの地下水が内部に浸入するのを防いだり、放射性物質が地中に出ていくことを遅らせる働きをする。また、ベントナイトは放射性物質を収着する性質があるので、地下水に溶け出した放射性物質の移動をさらに遅らせる機能を有している。このように放射性物質が人工バリア内に長く留まっている間に、その放射能は半減期に応じて減衰していくことになる。

次に、天然バリアについて紹介する。一般に岩盤は深いほど緻密になるので、地下深部の地層の透水性は低い。また、地下深部では地表の高低による水圧差などの影響も小さくなるため、地下水の流れが遅くなることが知られている。場所によっては、100m 移動するのに数万年かかるケースもある。こうしたことも、地下の深部が放射性廃棄物を処分するのに適している理由の1つである。さらに、地下では酸素がほとんど存在せず地下水は還元性を示す。還元性であることは、金属の腐食や物質の溶解等の化学反応が極めて遅いことを意味する。太古の化石や考古学的遺跡などが発掘されることがある。これは、地下が還元環境にありそれが長期に継続してきた証拠である。このように、地下深部の地層は「モノ」を閉じ込める機能を有している。

天然バリアと人工バリアから成る多重バリアにより、人間が管理し続けることなく、長期にわたって人間の生活環境に影響を及ぼさないよう放射性物質を隔離することができる。

3.2 火山や地震が多い日本で地層処分はできるのか

日本では火山や地震・断層が多いため、これらが将来、処分施設を破壊するのではないかと懸念がある。しかしながら、火山や活断層については、これらを避けた安定な場所を選ぶことにより対処できると考えている。

Fig. 2 は、日本の火山の分布図である。上が過去 100 万年から 50 万年前までに活動した日本の火山の分布、下は 50 万年前から現在までに活動した火山の分布である。これらを見比べると火山の分布がほとんど変化していない。また、全く火山が存在しない空白域があることがわかる。したがって、日本は確かに火山が多いが、将来数万年程度の期間、火山の直接的な影響は回避可能と考えられている[3]。

Fig. 3 は、活断層の分布図である[4]。学会等で、全国を対象とした文献調査がされており、活断層は密集している地域とそうでない地域があることが確認されている。また、地下の断面を CT スキャンのように調べることができる物理探査や、実際に地表を掘って断層の活動性を調べるトレンチ調査などにより、活断層の有無などを詳細に調べることができる。このように様々な調査を組み合わせる慎重に調べることによって、活断層による直接的な影響は回避可能と考えられている[3]。

わが国では地震自体を避けることは不可能である。しか

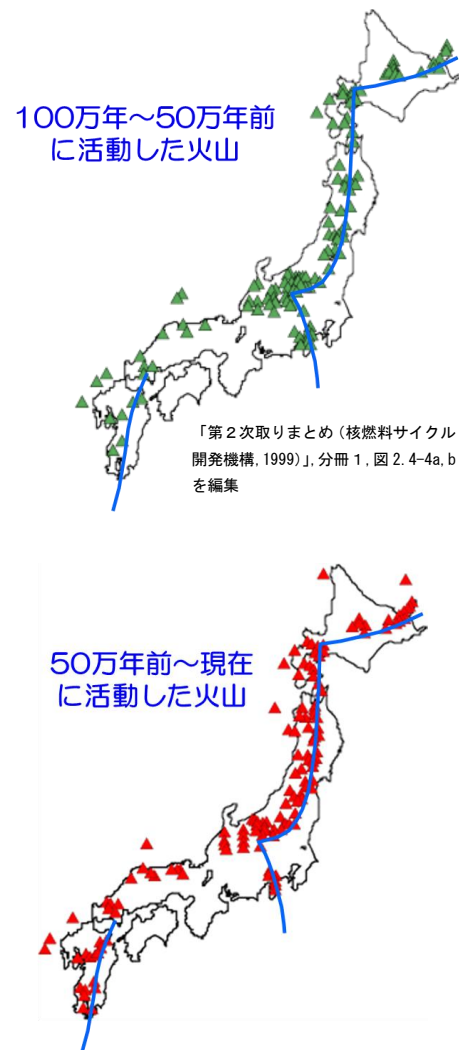


Fig. 2 Distribution of volcanoes in Japan



Fig. 3 Distribution of active faults in Japan[4]

しながら、地震による地下深部の揺れは地表に比べて小さい。Fig. 4 は東北地方太平洋沖地震(2011)で観測された地表と地下の最大加速度を比較している[5]。平均的な傾向として、地下の最大加速度は地表の 1/3～1/5 程度である。

また、オーバーパックと地層との間は緩衝材で隙間なくしっかりと充填されており、地震時に人工バリア（ガラス固化体含む）は地層と一体になって揺れる。このため、人工バリアが地震動によって破損する可能性は極めて小さいと考えられる[6]。

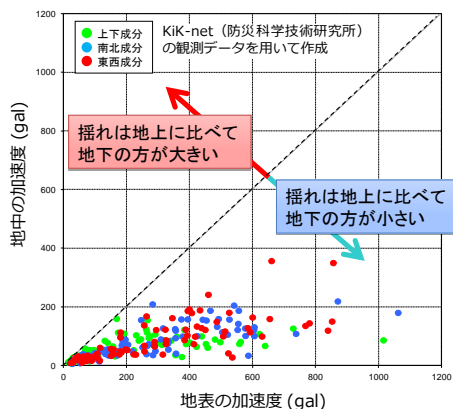
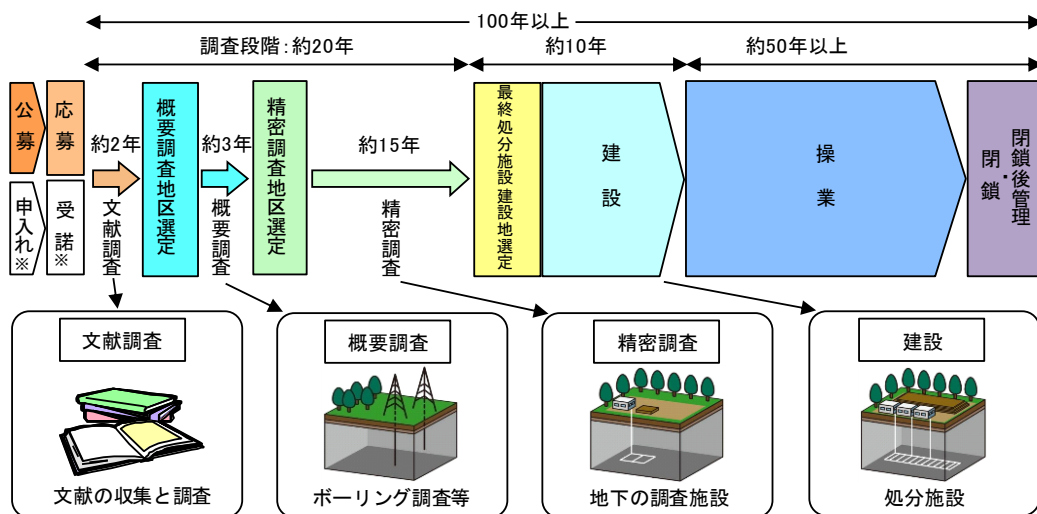


Fig. 4 Comparison of maximum acceleration observed surface and underground during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake[5]

4 地層処分事業の進め方

4.1 サイト選定プロセスと全体スケジュール

地層処分事業の全体スケジュールを、Fig. 5 に示す。サイト選定プロセスは最終処分法により規定されており、最初の段階である概要調査地区の選定（文献調査）、次の精密調査地区の選定（概要調査）、さらに最終処分施設建設地の選定（精密調査）という三段階の選定過程を経て、処分施設建設地が決定される。火山、断層、地下水のほか、隆起・侵食の傾向や岩盤強度など、さまざまな地質の特徴について広範囲かつ地下深くまでの詳細な調査を行い、処分施設の建設に適した地点を選定する。各調査段階の結果は公表し、処分施設として適していない、あるいは地元自治体の同意を得られない場合は次の段階へ進むことはない。



※地域の意向を十分に尊重しつつ、国が市町村に対し、文献調査実施の申入れを行う場合もある。その場合、市町村長は、国の申入れに対して承諾の可否を表明することとなる。

Fig. 5 Schedule of the geological disposal project in Japan

最終処分施設建設地の選定後は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」[7]に基づく安全審査によって事業許可を得た後、処分施設の建設、操業、閉鎖、そして閉鎖後の管理を経て、事業の廃止に至る。各段階に必要な期間は、サイト選定で 20 年程度、処分場の建設で 10 年程度、操業で 50 年程度が見込まれ、事業全体では 100 年以上にわたる長期プロジェクトとなる。

NUMO は 2002 年に全国の市町村を対象として、地層処分施設の設置可能性を調査する区域の公募を開始したが、現在においても処分地選定の最初の段階である文献調査に着手できていない。このような状況などを踏まえ、政府は将来世代に負担を先送りしないよう現世代の責任として地層処分に向けた対策を確実に進めるとの認識のもと、2015 年 5 月に「地層処分に係る基本方針」[8]を改定した。新たな方針では、国が前面に立ち安全確保を重視して、より適性が高いと考えられる科学的有望地を提示し、理解活動を行った上で調査への協力を関係地方自治体に申し入れることなどが示された。

4.2 地層処分場

Fig. 6 は、地層処分場のイメージである。処分場は大きく分けて地上施設と地下施設の 2 つに分かれる。地上施設の敷地面積はおよそ 1~2km² の大きさである。ガラス固化体は、青森県六ヶ所村の貯蔵施設から、輸送容器に入れて船舶やトレーラーでこの地層処分場に運び込まれる。

地上には、さまざまな役割の建物を構築する。運び込まれたガラス固化体をオーバーパックに密封する施設や緩衝材を製作する施設、処分場全体を管理する施設などの建物が並ぶ。他にも、ガラス固化体輸送のための港湾施設や専用道路なども建設される。

ガラス固化体を埋設する地下施設は、300m 以深の岩盤中に建設する。地下施設では、埋設処分のためのトンネル（処分坑道）以外にも、地上施設からオーバーパックに密封したガラス固化体を搬送するためのトンネル（アクセス坑道）など数多くのトンネル群が構築される。現計画の 4

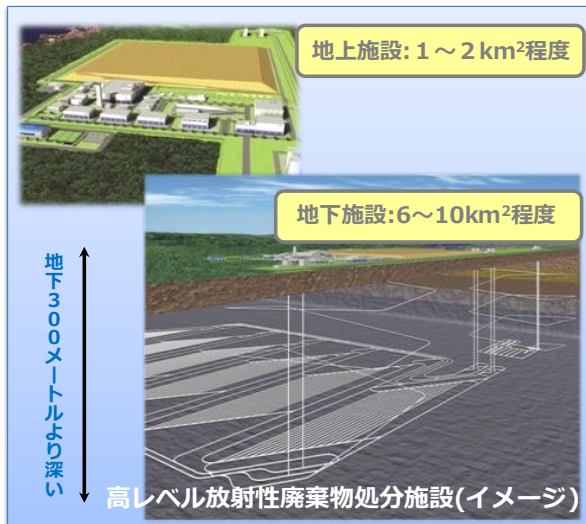


Fig. 6 Example of the repository

万本以上のガラス固化体を埋設する地下施設のトンネルの総延長は 200km 程度、広さは 6~10km²程度になる。この中でガラス固化体は、人工バリアを施しながら一定の間隔をおいて一体ずつ順次定置していく。これらはすべて、遠隔操作で実施する。地下施設はいくつかの区画に分かれていて、それぞれの区画をパネルと呼ぶ。あるパネルでは建設作業を、あるパネルではガラス固化体の定置作業を、またあるパネルでは処分トンネルの埋め戻し作業を行うといった具合に、順次異なる作業を効率的に行えるように複数のパネルに分かれている。

5 諸外国の状況

諸外国における地層処分事業の進捗状況を、Fig.7 に示す。

フィンランドでは、2001 年にオルキオトを最終処分地にすることが決定され、2004 年 6 月に実施主体の Posiva がオンカロ地下特性調査施設の建設を開始し、地下特性調査が進められてきた。Posiva は 2012 年 12 月に処分場の建設許可申請を行った。その後、規制機関 STUK による安全審査を経て、2015 年 11 月にフィンランド政府は処分実施主体の Posiva に処分場の建設許可を発給した。高レベル放射性廃棄物の処分場に対する建設許可の発給は、フィンランドが世界初となる。

スウェーデンでは 2009 年 6 月に実施主体の SKB がエストハンマル自治体のフォルスマルクを処分場建設予定地として選定し、2011 年 3 月に処分場の立地・建設許可申請を行った。現在は規制機関 SSM による安全審査が進められている。

フランスでは、実施主体の ANDRA がビュールに地下研究所を建設し、地下坑道で調査・試験を実施してきている。2006 年の放射性廃棄物等管理計画法に基づき、可逆性のある地層処分場の建設地としてビュール地下研究所周辺の 250km² の区域を対象にサイト選定に向けた追加検討を行い、2009 年末に 250km² から 30km² に処分場候補サイトの絞り込みを行った。ANDRA は 2017 年に処分場の設置許可申請を行う予定である。

スイスでは 2008 年に策定された特別計画に基づき 3 段階からなるサイト選定作業を実施中である。2011 年 11 月に 3ヶ所の地質学的候補エリアを確定し、現在は 2 段階目の作業を進めている。

カナダでは 9 段階のプロセスから成るサイト選定を進めており、スクリーニングの結果 9 の自治体を対象に選定作業を実施中である。

アメリカは、ラスベガス近傍にあるユッカマウンテンに処分場を建設する計画に基づいて安全審査を行っていたが、2008 年の政権交代により計画は中止され、今後の方策を検討中である。

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—, 総論レポート, JNC TN1400 99-021 (1999).
- [2] 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 (2000 年 6 月 7 日, 平成 12 年法律第 117 号) .
- [3] 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. 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).
- [4] 地質環境の長期安定性研究委員会: 地質リーフレット 4, 日本列島と地質環境の長期安定性, 日本地質学会

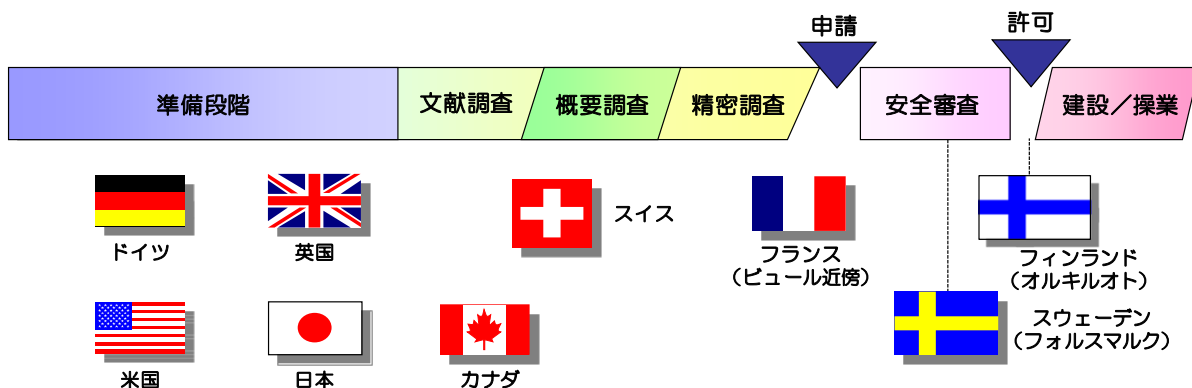


Fig. 7 Status of geological disposal programs in foreign countries

(2011).

- [5] 原子力発電環境整備機構：操業期間中における地層処分施設の地震時空洞安定性に係る検討，NUMO-TR-14-02, p.17 (2014).
- [6] 山本陽一，鈴木覚，佐藤伸，伊藤浩二：地震動が地層処分システムの人工バリアに及ぼす影響検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.71, No.4（地震工学論文集第 34 卷），pp. I_963-I_973(2015).
- [7] 核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（1957 年 6 月 10 日，昭和 32 年法律第 166 号）。
- [8] 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（2015 年 5 月 22 日閣議決定）。

