

地層処分事業の進め方

三枝博光*1

地層処分の対象とする放射性廃棄物は、原子力発電事業に伴って発生する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、低レベル放射性廃棄物の中の半減期の長い核種を一定量以上含む廃棄物である。これらの放射性廃棄物は、地下 300m より深い安定な岩盤に地層処分を行うこととなっている。本報では、地層処分の安全確保の考え方や地層処分事業の進め方について、高レベル放射性廃棄物を中心に概説する。

Keywords: 地層処分, 高レベル放射性廃棄物, 多重バリアシステム, 処分地選定調査

In Japan, geological disposal is the final disposal method of high-level radioactive waste and some types of TRU waste, most of which are generated by reprocessing of spent nuclear fuel from commercial power reactors. These will be disposed of in a stable geological environment at greater than 300meters below ground surface. Here, strategy for ensuring safety and approach of implementation of the geological disposal are outlined.

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

1 地層処分対象となる放射性廃棄物

わが国では、放射性廃棄物のうち、原子力発電で使われた燃料（使用済燃料）を再処理した後に残る放射能レベルの高い廃液（高レベル放射性廃液）やこれをガラス固化したものを高レベル放射性廃棄物といい、これ以外の放射性廃棄物は、総じて低レベル放射性廃棄物と呼ばれている[1]。高レベル放射性廃液を取り扱いやすく安定した形態にするため、ガラス原料とともに高温で融かし、ステンレス製容器に入れて固めたものが「ガラス固化体」である。

原子燃料サイクルの過程では、再処理工場や MOX 燃料工場の操業中や解体時に、高レベル放射性廃棄物と比較して放射能が低く発熱が小さい様々な放射性廃棄物が発生する。これは低レベル放射性廃棄物であるが、その一部には、半減期の長い核種を一定量以上含むものがある。

これらのガラス固化体および半減期の長い核種を一定量以上含む一部の低レベル放射性廃棄物は、2000年に制定され、2007年に改正された「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）の中で、地層処分対象となる放射性廃棄物として規定されている。

なお、本報では、ガラス固化体を「高レベル放射性廃棄物」、地層処分の対象となる低レベル放射性廃棄物を「地層処分低レベル放射性廃棄物」と称する。

2 地層処分に係る安全性確保

本章では、地層処分の概念を示すとともに、地層処分に係る安全性確保の考え方について、廃棄体や人工バリアの設置後、坑道を埋め戻して処分場を閉鎖した後の「閉鎖後の長期的な安全性」と、閉鎖前の「建設・操業時と輸送時の安全性」に大別して説明する。

2.1 地層処分の概念

地層処分は、長期的に危険性が残存する高レベル放射性

廃棄物および地層処分低レベル放射性廃棄物に対して、将来にわたり人間の生活環境に有意な影響を与えることなく、かつ人間の管理を必要としない現時点で最も有望な対策として選択されたものである[2][3][4]。地層処分では、これらの廃棄物を人間の生活環境から物理的に「隔離」とするとともに、長期にわたって廃棄物からの放射性物質の放出や分散を防止あるいは抑制し、処分場周辺に「閉じ込め」しておくために、地下深部の安定な岩盤に埋設することが重要である。また、安定した地下深部の岩盤という天然バリアに加えて、工学的対策である人工バリアを組み合わせることによって多重バリアシステム (Fig.1) を構成し、廃棄体を埋設する。この多重システムは、国際的に共通した安全確保の考え方である。

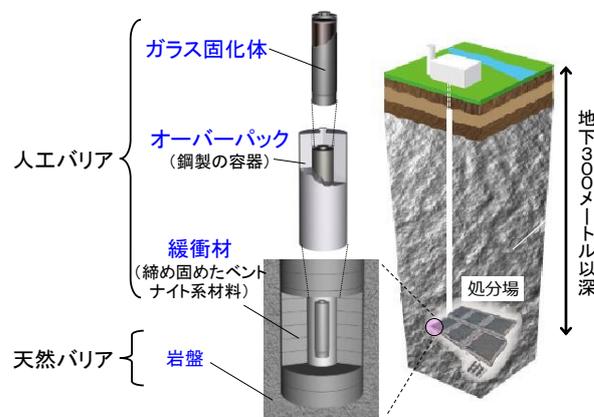


Fig. 1 高レベル放射性廃棄物処分にかかわる多重バリアシステム

高レベル放射性廃棄物の人工バリアは、ガラス固化体をオーバーバックに封入した後、地下深部の安定で好ましい条件を有する地質環境に設置され、その周囲に緩衝材を敷設することによって構築することを想定している。

オーバーバックは、約 20cm の厚さを持つ金属製の容器が考えられている。ガラス固化体を溶接封入したオーバーバックは、ガラス固化体の放射能や発熱量がある程度減衰するまでの（少なくとも 1,000 年間）、地下水とガラス固化体との接触を防止し、物理的に閉じ込めるものである。

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。緩衝材は、オーバーバックを物理的に保護すると

Basic concept and procedure of the geological disposal project by Hiromitsu SAEGUSA (hsaegusa@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 2016 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。

ともに、オーバーパックの閉じ込め機能が失われた後も地下水の流れを抑制し、放射性物質を収着することで、放射性物質の移行を抑制することが期待されている。

これらに加えて、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とともに、ガラス自体が溶けにくいという特性を有しており、地下水がガラス固化体と接触しても、放射性物質の地下水への浸出を抑制することが特徴である。なお、ガラス固化体が溶けきるまでの期間は約7万年以上と見積もられている[5]。

一方、地層処分低レベル放射性廃棄物の人工バリアは、高レベル放射性廃棄物と比べて放射能が低く発熱が小さいことから、廃棄体を高レベル放射性廃棄物のオーバーパックのような容器に収納せず、ハル・エンドピースを例にとると、取り扱いを容易にするために、廃棄体（廃棄物を封入したキャニスタ）をまとめて廃棄体パッケージにすることを想定している（Fig. 2）。また、廃棄体を収納したパッケージ内の隙間は充填材で埋める。さらに、半減期が長く人工バリアや天然バリアへの収着性が低い核種を多く含む廃棄体については、閉じ込め性を高めるためにパッケージの外側を緩衝材で囲むことを考えている。

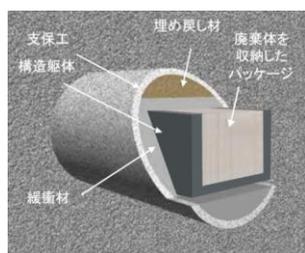


Fig. 2 地層処分低レベル放射性廃棄物の人工バリアの例[6]

廃棄体や人工バリアを設置する地下深部は、岩盤が稠密であるため透水性が小さいことや、地形の影響を受けにくいために動水勾配が小さいことから、地表付近に比べて地下水の流れは極めて緩慢である。また、地下水と岩石の反応や微生物の活動等により酸素を消費しているため酸素がほとんどない還元環境であることから、腐食や溶解といった物質の変化が起りにくいという特徴を有している。数100年以上前の鉄斧が概ね完全な形を残して出土された事例は、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。さらに、地下深部は、人間の活動や、台風や洪水、地すべりといった自然災害等の地上で遭遇するさまざまな自然現象の影響を受けにくいという特徴を有する。

2.2 閉鎖後の長期的な安全性確保

2.2.1 自然現象の著しい影響が及ぶ範囲の回避

処分場の閉鎖後、長期にわたる処分場の安全性が確保されるために、隔離機能および閉じ込め機能が長期にわたり安定に維持されることが期待され[7]、自然現象がこれらの機能に及ぼす著しい影響を回避する必要がある。

隔離機能に著しい影響を及ぼす要因としては、火山・火成活動や隆起・侵食が挙げられ、閉じ込め機能に対する要因としては、これらに加えて、断層活動がある[8][9]。

鉱物資源の存在は自然現象ではないものの、地質環境に関連し、将来偶発的な人間侵入を誘発し、隔離機能を喪失

させる可能性のある要因として考慮する必要がある[8]。

(1) 火山・火成活動など

マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、放射性廃棄物と人間が直接接するリスクがあることから、これらによって物理的隔離機能が喪失されることを回避する必要がある。

第四紀（約260万年～現在）の間、火山活動の位置がほとんど変化していないことや、大規模なカルデラを有する火山を除くと多くの火山では過去のマグマの活動は半径15km程度の範囲に収まっていることが明らかとなっている[10]。このことから、3章に詳述する長期的に安定な地質環境を適切に選定するための処分地選定調査において、半径15kmの円の範囲を超えて火山噴出物の分布等の詳細な調査を実施し、火山の活動範囲を確認し、回避する。

さらには、熱水や低pHの地下水は、ガラス固化体の溶解速度の促進、緩衝材の変質による透水性の増大や収着能の低下、放射性物質の溶解度の増加及び天然バリアの収着能の低下をもたらす[9]。また、高い炭酸化学種濃度はオーバーパックが不動態化し、局部腐食を招く可能性がある[9]。したがって、マグマ活動に伴う著しい熱に加え、地下の高温岩体により熱せられた非火山性の熱水等の地熱活動が熱環境に著しい影響を及ぼすと想定される場所を回避する。また、低pHの火山性熱水や沈み込むスラブやマントル起源の低pHで高炭酸化学種濃度の深部流体が存在すると明確に判断される場所も回避する。

(2) 断層活動

断層活動により、処分場が破壊されるとともに、断層の透水性が高まることにより地下水の流速が増大し、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスクがあり[9]、閉じ込め機能が喪失されることを回避する必要がある。

最近の地質時代において繰り返し活動し、変位規模の大きい既知の断層である活断層は、将来数万年程度もほぼ同じ場所で同様の活動を繰り返すと考えられる。また、断層活動に伴って地層が破碎された範囲（破碎帯）は将来の断層活動によりずれを発生する可能性が考えられ、その幅は断層の長さの1/150～1/350程度[11]との知見がある。処分地選定調査においては、破碎帯を超えて物理探査やトレンチ調査等を用いた詳細な調査を実施し、隠れた活断層の分布や個々の断層の影響範囲等を確認し、回避する。

(3) 隆起・侵食

隆起・侵食により地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接するリスクがあり[9]、隆起・侵食によって物理的隔離機能が喪失されることを回避する必要がある。

隆起・侵食は過去と同じ傾向が今後も続く想定できることから、処分地選定調査において、地表地質調査による詳細な調査を実施し、過去の傾向を確認し、将来地表に著しく接近することが予想される場所を回避する。

(4) 鉱物資源

意図的でない人間侵入等により地層処分システムが有する物理的隔離機能や閉じ込め機能が喪失することを防止するために、地下に経済的に価値が高い鉱物資源が分布する地域を回避する。

2.2.2 地質環境特性とその長期変遷の評価

高レベル放射性廃棄物および地層処分低レベル放射性廃棄物を埋設する地下深部の地質環境には、適切に設計された人工バリアが期待された性能を長期にわたり発揮するのに適した特性を有するとともに、定置された放射性廃棄物の周囲の地質環境(天然バリア)が放射性物質を閉じ込め、その移行を抑制するのに適した特性を有していることが重要である。

好ましい主な地質環境特性は以下のとおりであり[7][8][9]、処分地選定調査においては、ボーリング調査等を実施し、対象サイトにおける地下深部の地質環境特性の空間的不均質性や時間的変遷を把握する。

以下には、高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリアに対する影響の観点から、好ましい地質環境特性を例示した。

①熱環境

地温が 100℃を大きく超える期間が長期にわたり継続し、緩衝材の熱変質(イライト化)による機能喪失を招かないようにするため、「地温が低い」こと

②水理場

地下水流動に伴う放射性核種の移行時間を増大させ移行率を低減させるため、動水勾配が小さいまたは岩盤の透水性が低いことにより「地下水流動が緩慢である」こと

③力学場

オーバーパックの破損を招かないようにするため、圧縮強度や弾性率が大きく、クリープ変形等が小さいことにより「岩盤の変形が小さい」こと

④化学場

ガラスの溶解、オーバーパックの局部腐食および不動態化、緩衝材の変質、緩衝材および岩盤の収着能の低下、放射性核種の溶解度の上昇を抑制するため、地下水は「高 pH あるいは低 pH ではない」、「酸化性雰囲気ではない」、「炭酸化学種濃度が高くない」こと

2.2.3 地下施設・人工バリアの設計

処分地選定調査で得られた地下深部の地質環境特性に係る情報に基づき、地下施設の深度や配置(処分パネルレイアウトや、廃棄体の定置間隔等)、人工バリアの仕様(オーバーパックの材質や厚さ、緩衝材・埋戻し材の材料や厚さ等)を検討する。

地下施設の処分パネルレイアウトについては、地下水の流速が小さく、移行時間が長い場所を選択する。また、高透水性の断層破砕帯等が分布している場合はそれから一定程度離すといった対策を講じる。廃棄体の定置間隔は、隣接する廃棄体の崩壊熱の影響を無視できるようにする、局部的に好ましくない割れ目等が分布する場合はそこを避けて廃棄体を定置するといった対策を講じる。さらに、周辺の活断層が震源になった場合を考慮した施設の耐震設計も実施する。

人工バリアについては、2.1 節で述べた機能が発揮できるような十分な安全裕度を持った設計とする。

2.2.4 安全性の評価

処分地選定調査で得られた地下深部の地質環境特性に係る情報、およびそれに基づく地下施設や人工バリアの設計

結果を踏まえた安全性の評価を実施する。

安全性の評価では、地層処分の安全性に影響を及ぼす可能性のある現象と、影響を受ける要素やその度合い等を網羅的に調査するとともに、現象の発生可能性を考慮することによって、評価で考慮すべきシナリオを構築する。また、構築したシナリオに基づき、放射性物質の移行をコンピュータシミュレーションを用いて解析し、この解析結果に基づき放射線学的影響を評価する。このシナリオの代表的なものとして地下水移行シナリオがある。これは、オーバーパックの破損や、ガラス固化体の溶解、緩衝材中の放射性物質の移動の後に、岩盤に達した放射性物質が地下水流動によって地表までの移動することを考慮するものであり、これらを考慮した解析モデルに基づき、将来の地上で生活する人の被ばく程度を慎重に評価する。

さらに、安全性の評価結果と安全基準とを比較し、安全基準を満たさない場合は、その地域は地層処分に不適と判断する。

なお、2.2.1 項で述べた処分地選定により影響が回避できると考えられるリスク等についても、不確実性への対処の一環として、念のために検討する。

2.3 建設・操業時と輸送時の安全性確保

2.3.1 地下施設

地下施設は地下 300m より深い安定した岩盤中に建設し、4 万本以上の高レベル放射性廃棄物と 19,000m³以上の地層処分低レベル放射性廃棄物を人工バリアと共に埋設できる規模とする計画である。このため、地下施設の規模は、平面的な拡がりや 6~10km²程度、坑道の総延長は 200~300km 程度を見込んでいる (Fig. 3)。

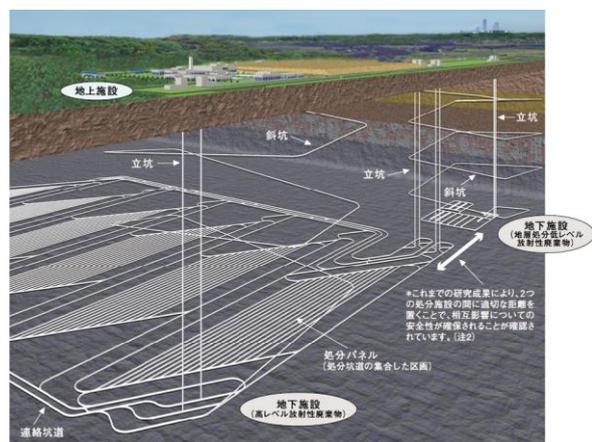


Fig. 3 処分場の地下施設のイメージ

そのため、未固結堆積物等が分布している場所は、坑道が崩壊する潜在的危険性があるため、処分地選定調査により把握し、回避する。また、地質環境特性等を考慮した安全な掘削工法や湧水対策方法を検討する。その際、地熱・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有害ガス等の地下施設の建設に支障のある事象について、その度合いが大きく、工学的な対応が困難な場所は回避する。

2.3.2 地上施設

地上施設の規模は、大きさが 1~2km²程度と見込んでお

り、多くの面積を地下施設の坑道掘削の残土置き場が占める (Fig. 4)。この地上施設は、輸送されてくるガラス固化体等を受入・封入・検査する施設等から構成され、作業中は放射能の高い廃棄物を扱うことから、既存の原子力施設と共通するものである。例えば、火山活動、地震、津波等の自然災害による地上施設への影響については、既存施設で施されている対策に準じて適切に対応する。具体的には、地上施設の耐震設計や、施設設置位置の検討、および防潮堤や浸水防止用の水密扉の設置といった津波対策等の安全対策を実施する。なお、設計で対応できない火砕物密度流・溶岩流が予想される場合等については立地により影響を回避する。



Fig. 4 処分場の地上施設のイメージ

2.3.3 輸送

高レベル放射性廃棄物は中間貯蔵されている青森県六ヶ所村、および、一部の廃棄物が貯蔵されている茨城県東海村から処分場まで輸送する。この輸送は長距離に及ぶ可能性があり、これを考慮すると安全性や核セキュリティの観点等から、輸送船を用いて処分場近傍の港に輸送することが適切と考えられる。海上輸送は、わが国においてもフランスやイギリスへ再処理を委託した結果、発生したガラス固化体の日本への返還の際に実施されており十分な実績がある方法である。

港から処分場までは車両等を用いて陸上輸送を行うことになり、これについても国内外で多くの実績がある。陸上輸送を行う際には、運搬重量等の制約条件や、海上輸送にも増して核セキュリティと近隣住民の公衆被ばくについて念を入れた対策を講じる。

また、輸送時においては、テロを含む事故が発生した際の安全を確保するために、頑丈な輸送容器や輸送船、輸送車両等を使用する。廃棄物の輸送に用いられる容器は、火災、落下、水没等が発生しても健全性が確保できるものを使用する。

3 地層処分事業の進め方

地層処分事業における段階的な処分施設建設地の選定と、それに係る処分地選定調査の流れを Fig. 5 に示す。この流れ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。その際、それぞれの段階においては、最終処分法に定められた要件 (法定要件) への適合性を確認する。

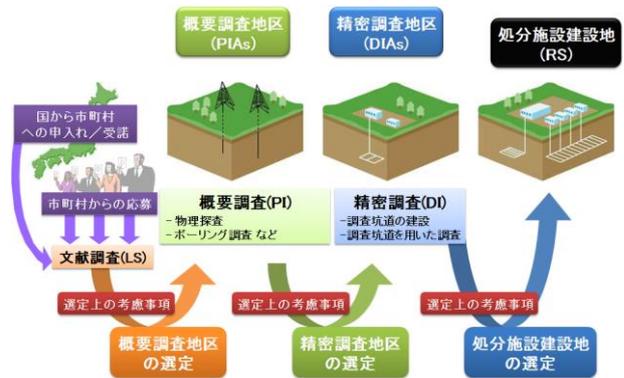


Fig. 5 段階的な処分施設建設地の選定および処分地選定調査の流れ

なお、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。

本章では、それぞれの段階における処分地選定調査の基本的考え方や、それを踏まえた調査の具体的な進め方を以下に示す。

3.1 処分地選定調査の基本的考え方

3.1.1 文献調査

文献調査では、公開された文献その他の資料による調査を、応募区域または申入れ受諾区域、およびその周辺の地域を対象として実施し、以下に示す最終処分法に定められた要件 (法定要件) への適合性を確認する。

- ・地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- ・将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。
- ・第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。
- ・その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。

文献調査の結果に基づき、応募区域または申入れ受諾区域の範囲の中から概要調査地区を選定する。

3.1.2 概要調査

概要調査では、地表踏査や物理探査、ボーリング調査等の地上からの調査を実施し、以下に示す法定要件への適合性を確認する。

- ・地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。
- ・坑道の掘削に支障のないものであること。
- ・活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。

概要調査の結果に基づき、概要調査地区の中から精密調査地区を選定する。

3.1.3 精密調査

精密調査では、地上からの詳細な調査に加えて、地下の調査施設での調査を実施し、以下に示す法定要件への適合性を確認する。

- ・地下施設が異常な圧力を受けるおそれが少ないと見込ま

れること、その他地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していると見込まれること。

- ・ 地下施設が異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれること、その他地層の化学的性質が最終処分施設の設置に適していると見込まれること。
- ・ 地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがないと見込まれること。

精密結果に基づき、精密調査地区の中から処分施設建設地を選定する。

3.2 処分地選定調査の具体的な進め方

2.2.1 項で述べた自然現象の著しい影響が及ぶ範囲の回避の考え方は、3.1 節で述べた文献調査および概要調査における一部の法定要件を具体化したものと考えられる。また、2.2.2 項で述べた地質環境特性とその長期変遷の評価に係わる考え方は、概ね概要調査および精密調査における法定要件を包含しているものである。

以下では、自然現象の著しい影響が及ぶ範囲の回避、および地質環境特性とその長期変遷の評価に係る調査の具体的な進め方を述べる。段階的な調査における調査対象や調査スケールのイメージを Fig.6 に示す。また、段階的な地質環境特性とその長期変遷の評価のイメージを Fig.7 に示す。

3.2.1 自然現象の著しい影響が及ぶ範囲の回避

① 文献調査

- ・ 自然現象の活動範囲を特定するとともに、将来の自然現象の発生可能性を評価し、概要調査地区としての適格性が明らかに劣る地域を除外する。
- ・ 第四紀の未固結堆積物の分布および鉱物資源の存在に係る評価も行い、概要調査地区としての適格性が明らかに劣る地域を除外する。

② 概要調査

- ・ 現地調査によって取得される新規データの統合的評価に基づき、文献調査における自然現象の著しい影響、第四紀の未固結堆積物の分布および鉱物資源の存在に係る評価結果の妥当性を確認する。

③ 精密調査

- ・ 概要調査の段階までに将来の自然現象の著しい影響の発生可能性を含めて裕度を持って回避していることが前提であるものの、本段階の調査において自然現象の痕跡や徴候に遭遇した場合、自然現象の著しい影響が及ぶ可能性を確認する。

3.2.2 地質環境特性とその長期変遷の評価

① 文献調査

- ・ 広域スケールの地質環境モデルを構築するとともに地質環境特性の長期変遷を概念的に評価する。
- ・ 地下施設の概略的な設計や閉鎖後長期の安全性の評価結果に対する影響度の大きな不確実性を低減させるために優先的に取り組むべき課題を特定し、概要調査の計画立案に反映する。

② 地上からの調査

- ・ 新たに取得する地質環境の時間的変遷に係る情報に基づき文献調査の段階で構築した広域スケールの地質環境モデルを更新する。
- ・ 地質環境モデルに対する影響度の大きな不確実性を低減させるために優先的に取得すべき地質環境情報を特定し、次の地下深部の特性の直接的な調査の計画立案に反映する。

③ 地下の調査施設での調査

- ・ 新たに取得する地質環境情報に基づき、概要調査において構築した時間的変遷を考慮した処分場スケールの地質環境モデルの妥当性を確認し、そのうえで同モデルを詳細化する。
- ・ 閉鎖後長期の安全性について評価するとともに、候補母岩の地層処分への適性を確認する。

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」(1957年6月10日、昭和32年法律第166号)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、坑道の埋戻しを経て、事業の廃止に至る。この間、詳しい設計や工事の方法、閉鎖措置計画等の認可を受ける等、各段階で原子力規制委員

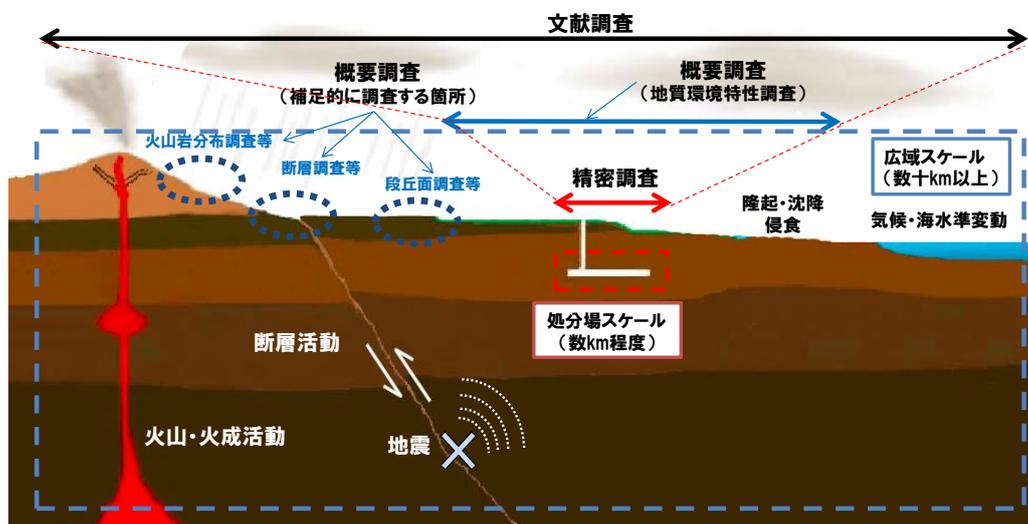


Fig. 6 段階的な調査における調査対象や調査スケールのイメージ[9]

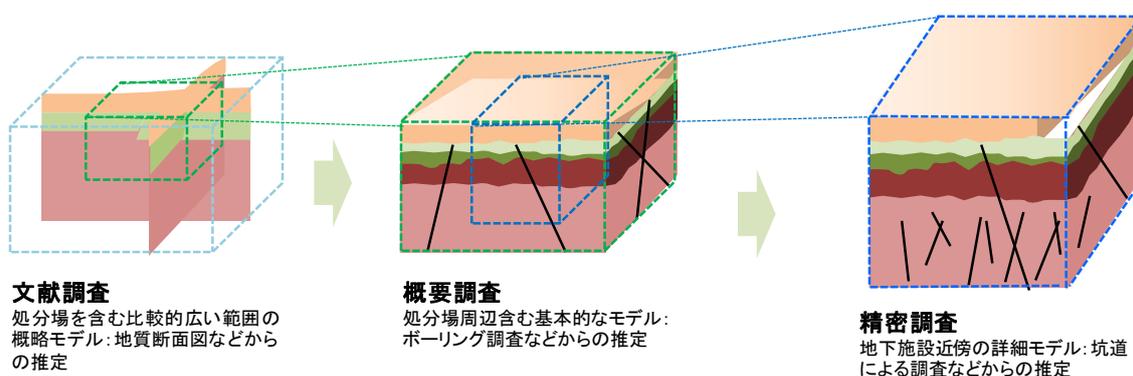


Fig. 7 地質環境特性とその長期変遷の評価に係る段階的な処分地選定調査のイメージ

会の審査・検査等を受けることになる。なお、審査や検査の具体的内容や基準は今後整備される予定である。

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」[12]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。

参考文献

- [1] 総合資源エネルギー調査会: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,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(2008).
- [2] 増田純男,佐久間秀樹,梅木博之:地層処分概念の変遷,第1回 地層処分黎明期(1950年代~1980年代中頃),日本原子力学会誌,Vol.57, No.5, pp.19-24(2015).
- [3] 増田純男,佐久間秀樹,梅木博之:地層処分概念の変遷,第2回 地層処分概念の形成と分化(1980年代中頃~2000年頃),日本原子力学会誌,Vol.57, No.6, pp.34-39(2015).
- [4] 増田純男,佐久間秀樹,梅木博之:地層処分概念の変遷,第3回 地層処分計画の実施段階(2000年頃以降),日本原子力学会誌,Vol.57, No.7, pp.48-53(2015).
- [5] 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).
- [6] NUMO(原子力発電環境整備機構):地層処分事業の安全確保(2010年度版)—確かな技術による安全な

地層処分の実現のために, NUMO-TR-11-01(2011).

- [7] IAEA: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide. IAEA Safety Standard Series, No. SSG-14(2011).
- [8] NUMO(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.放射性廃棄物の地層処分事業について,分冊-2(2009).
- [9] 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,平成26年5月.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).
- [10] NUMO(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の背景と技術的根拠—「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料. NUMO-TR-04-02(2004).
- [11] 緒方正彦,本荘静光:電力施設の耐震施設における断層活動性の評価,応用地質,22, pp.67-87(1981).
- [12] 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).