

地層処分に関する地域の科学的な特性の
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)

平成29年4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

目 次

第1章 はじめに.....	- 1 -
第2章 地層処分の基本的考え方.....	- 4 -
2.1 地層処分の概念.....	- 4 -
2.2 空間・時間スケールについて.....	- 5 -
2.3 安全性に関する総合的な評価について.....	- 7 -
2.4 段階的な処分地選定と調査スケールについて.....	- 8 -
第3章 地域の科学的な特性の提示に関する要件・基準の検討.....	- 11 -
3.1 検討の前提.....	- 11 -
3.2 提示に関する要件・基準の検討に係る基本的な考え方.....	- 12 -
3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討.....	- 14 -
3.3.1 「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準.....	- 14 -
3.3.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 38 -
3.3.3 検討結果のまとめ.....	- 42 -
3.4 地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性の確保に関する検討.....	- 44 -
3.4.1 地下施設の建設・操業に関する検討.....	- 47 -
3.4.2 地上施設の建設・操業に関する検討.....	- 52 -
3.4.3 検討結果のまとめ.....	- 58 -
3.5 輸送時の安全性に関する検討.....	- 59 -
3.5.1 輸送時の安全性に関する検討項目の抽出・整理.....	- 60 -
3.5.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 60 -
3.5.3 検討の結果のまとめ.....	- 65 -
3.6 事業の実現可能性に関する検討.....	- 67 -
3.6.1 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 67 -
3.6.2 検討結果のまとめ.....	- 68 -
3.7 沿岸部に関連する事項.....	- 69 -
3.7.1 沿岸部の特性.....	- 69 -
3.7.2 沿岸部の特性を踏まえた技術的対応可能性.....	- 70 -
第4章 地域の科学的な特性の提示にあたっての考え方.....	- 71 -
4.1 基本的考え方.....	- 71 -
4.2 「好ましくない特性があると推定される地域」の考え方.....	- 72 -
4.3 「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」と、そのうち「輸送面でも好ましい地域」及び「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」の考え方.....	- 72 -
4.4 今後に向けて.....	- 73 -
第5章 おわりに.....	- 75 -

第1章 はじめに

わが国における高レベル放射性廃棄物の地層処分については、昭和 51 年以降、核燃料サイクル開発機構（現：日本原子力研究開発機構）を中心とした関係研究機関における研究開発が進められ、平成 11 年に「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」（以下、「第 2 次取りまとめ」という）として当時の技術・知見がまとめられた。平成 12 年に原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会において、わが国においても地層処分が技術的に実現可能であるという評価がなされるとともに、技術的信頼性の向上に向け、研究開発を継続し、最新の科学的知見を反映していく必要性が示された。

平成 12 年に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）が制定され、処分の実施主体として原子力発電環境整備機構（以下、「NUMO」という）が設立された。NUMO は、平成 14 年より全国の市町村を対象に最終処分場の立地に向けた文献調査の実施について公募を開始したが、現在に至るまで文献調査を実施するに至っていない。

このような状況を踏まえ、平成 25 年から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（以下、「廃棄物WG」という）を中心に、処分地選定に向けた取組の改善に関する検討が行われた。廃棄物WGでの議論の成果なども踏まえ、平成 27 年 5 月には、国が科学的により適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）を提示するとともに、NUMO の行う理解活動の状況を踏まえ、自治体に対して申し入れを行う等の内容を盛り込んで、最終処分法に基づく基本方針が改定（閣議決定）された。

加えて、地層処分の技術的信頼性についても、第 2 次取りまとめから 10 年以上が経過したことを踏まえ、最新の科学的知見を反映した現段階での評価や今後の研究課題を早急に示すことが必要との認識から、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（以下、「技術WG」という）にて検討が重ねられ、その結果が平成 26 年 5 月に「最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性及び地質環境の長期安定性について—」（以下、「中間とりまとめ」という）として公表された。

技術WGでは、中間とりまとめを踏まえつつ、「科学的により適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）の具体的要件・基準について地球科学的観点¹からの適性及び社会科学的観点²からの適性を考慮し、総合資源エネルギー調査会にて、専門家の更なる検討を進める。」との国の方針のもと³、この具体的要件・基準について、地球科学的・

¹主に、地質環境特性及びその長期安定性に関する議論など。

²社会科学的観点については廃棄物WGにて検討することとなり、平成 28 年 10 月には「科学的有望地の提示に係る社会科学的観点の扱いについて」がとりまとめられた。

³第 2 回最終処分関係閣僚会議（平成 26 年 9 月）

技術的な観点からの議論を平成26年12月から平成27年12月までに計8回行った。この間、透明性を高める観点から、平成27年12月の「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」（以下、「中間整理」という）等の形で常時情報を公開するとともに、議論の内容についての専門家への意見募集⁴や、廃棄物WG及び原子力委員会への報告⁵を行いつつ議論を進めた。

平成28年1月から4月にかけて関係学会に所属する会員及び関係機関等に情報提供及び意見照会等を実施し、学術的知見及び利用する文献・データの妥当性等について専門家の意見を収集した。さらに、平成28年5月に、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）による国際ピア・レビューを受けた⁶。これらのプロセスの中で示された意見や助言等については、技術WGにおいてその取扱い等について審議した。また、中間整理において示された問題意識を踏まえて、「沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会」が開催され、その検討成果⁷は平成28年8月9日の技術WGに報告された。同日の技術WGの議論を踏まえ、平成28年8月9日から一ヶ月間のパブリックコメントを実施した。

こうした一連の動きと並行し、平成28年5月から原子力委員会放射性廃棄物専門部会で外部評価が行われた結果、平成28年9月30日に「最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書」がとりまとめられた。この中では、「国民の不信感・不安感を更に払拭するためには、その提示が国民にどのように受け止められるのかという視点は極めて重要」、「科学的有望地の要件・基準については注意深く設定するとともに、提示の際の説明や表現等について、正確かつ適切に情報が伝わるよう、慎重な検討を行うことが必要」との指摘がなされた。

その後、この原子力委員会の指摘及びパブリックコメントで提出された意見等を踏まえ、平成28年10月18日に開催された廃棄物WGにおいて、技術WGでは、国民に正確かつ適切に伝えるという観点から一律機械的になりすぎているものがないか等、更に必要な検討を行うこととされた。

こうした過程を経て、平成28年11月から、技術WGを再度開催し、処分地選定調査の前段階として国民理解を深めるという観点からマップの提示を行っていくという趣旨を明確にするとともに、具体的要件・基準の精査や、意図することを分かりやすく表現する方法等の検討を行った。

本とりまとめは、これらの経緯を踏まえ、技術WGにおける議論をとりまとめたものである。

なお、「科学的有望地」という用語は、前述の背景・経緯から技術WGでも当初から

⁴要件・基準の検討手順、要件・基準の検討結果及び現時点で利用可能と整理している文献・データ等について、意見募集要領を経済産業省ホームページ等に掲載し実施（平成27年6月～7月）。詳細は、第15回技術WGで説明。

⁵第40回原子力委員会定例会議にて報告（平成27年11月）。

⁶最終報告書は、OECD/NEAのHPにて平成28年8月4日公表。

⁷沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会とりまとめ（平成28年8月）参照（委員等については添付資料-3参照）。

継続して用いてきた表現であるが、平成 28 年 10 月 18 日の廃棄物WGにおいては、この用語を含めて「我が国の地下深部の科学的特性等について全国マップの形で国民に分かりやすく情報を提供し、地層処分についての国民の関心や理解を深めていくという本来の趣旨が伝わるよう、マップ全体について表現を適切に見直す」ことが重要とされた。この経緯を踏まえて、本とりまとめにおいては、原則として、従来「科学的有望地の提示」と記述してきたところは「地域の科学的な特性の提示」と置き換えることとする。ただし、検討経緯を正確に記録するために「科学的有望地」の用語をそのまま用いる場合もある。

第2章 地層処分の基本的考え方

本とりまとめの検討の前提となる地層処分の基本的考え方について以下のとおり示す。

2.1 地層処分の概念

高レベル放射性廃棄物の最終処分においては、数万年以上の長期間にわたり人間とその生活環境に放射性廃棄物の影響が及ばないようにすることが求められる。そのため、地層処分では地下深部に放射性廃棄物を埋設することで、放射性物質が、生活環境から隔離（物理的隔離機能）され、さらに長期にわたってその放出や分散が抑制され処分場周辺に閉じ込められるようにする（閉じ込め機能）。この間に、放射性廃棄物に含まれる放射能の大部分が減衰するため、人間とその生活環境が放射性廃棄物に由来する放射線の影響から防護される。

これらの目的を達成するためには、地質環境が、適切に設計された人工バリアであるガラス固化体、鋼製オーバーパック⁸及び緩衝材等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することが必要である（好ましい地質環境特性）。また、適切に設計された人工バリアが期待される性能を長期にわたって発揮するためには、天然バリアとしての好ましい地質環境（熱環境、力学場、水理場、化学場）を有しているか評価することも必要であり、長期にわたる地質環境の変動が許容できる変動範囲内にとどまることが求められる（地質環境の長期安定性）。

具体的には、人工バリアと天然バリアにより長期にわたり放射性廃棄物が隔離され閉じ込められることは、さまざまなシナリオに基づいた予測解析的な手法により総合的に評価し確認する必要がある。例えば、オーバーパックが破損し、ガラスの溶解速度と放射性物質に固有の溶解度に制限されてガラス固化体から溶け出した放射性物質が、緩衝材を通過後、岩盤中の地下水の流れに沿って移動し、最終的に地表に至ることを想定した地下水シナリオなどによる評価を行うことが想定される。

⁸第2次取りまとめでは、オーバーパックの材料としては炭素鋼に加えて、チタンや銅などの代替材料も検討されている。

参照：放射能減衰と多重バリアとの関係

高レベル放射性廃棄物は使用済燃料からウラン、プルトニウム等の有用物を分離した廃液をガラス固化したものであり、原子炉内における核分裂反応に伴って生じる様々な放射性物質を含んでいる。放射性物質には半減期の短いものから非常に長いものまで含まれる。製造直後のガラス固化体の放射能は、約4万テラベクレルと非常に高く、その大きな割合を占めるストロンチウム90やセシウム137は比較的半減期が短いため、埋設後数百年程度の間はそれら核種の崩壊に伴う放射能や発熱が著しいが、それらの値は急激に低減し、放射エネルギーは千年後には埋設時の千分の一以下となる。この間、廃棄物の周囲では、地下水の熱対流や放射線分解等が起こりやすい条件が想定されることから、少なくともこの間、ガラス固化体が地下水に接触して放射性物質が溶け出すことのないようにする必要がある。また、このとき放射エネルギーが支配的な核種は半減期約433年(注1)のアメリシウム241である(注2)が、ガラス固化体には、ジルコニウム93(半減期約161万年(注1))やネプツニウム237(半減期約214万年(注1))などの半減期が非常に長い放射性物質が含まれるため、核燃料のもととなったウラン鉱石の放射エネルギーまで減衰するには数万年程度かかる。

第2次取りまとめでは、代表的な地質環境等の条件を仮定した上で、地下水シナリオを用いて評価を行っているが、この地下水シナリオでは、評価上、放射能や発熱量が大きい初期段階(約千年)後にオーバーパックが機能を失った後にガラス固化体から地下水に溶出した放射性物質が緩衝材と吸着・脱着を繰り返しながら地下水と共に移行し、さらに岩盤を経て最終的に地表の生活圏に到達することを仮定している。この評価においては、大部分の放射性物質が溶解せずに固体としてその場に閉じ込められた状態となること、また、一部溶解した放射性物質についても、緩衝材と吸着・脱着を繰り返しながら拡散し、地下水と共に移行する速度が十分に遅いため、最終的に地表の生活圏に到達するのが十分遅くなり、ほとんどの放射エネルギーは地下深部に留まるうちに減衰してしまうことが結果として得られている。なお、オーバーパックの腐食については、わが国の平均的な地質環境下においては、千年後の腐食量を大きく見積もっても元々のオーバーパックの厚さ約20 cmのうち4 cm程度にとどまり、その後も長期にわたって頑健性が確保されると評価されている(JNC,1999)。

注1) <http://wwwndc.jaea.go.jp/CN14/index.html>

注2) JNC,1999の図4.3-2

2.2 空間・時間スケールについて

地質環境の変動を地質学的な調査や評価方法により確認をするにあたって、前提となる空間スケールを定義した上で、満たす必要のある要件及びその時間スケールについての考え方を示す。

地下深部の好ましい地質環境特性やその長期安定性を確認する対象となる範囲として、放射性廃棄物を埋設した空間（処分場）とその近傍の岩盤を含む空間を、「処分場スケール」と定義する。処分場スケールの外側にあつて、処分場スケールを取り巻く地質環境特性である熱環境、力学場、水理場、化学場に対して、影響を与える要因を抽出する範囲を「広域スケール」と定義する（図 2.2.1）。

「広域スケール」では、より長期で広域の空間の枠内で運動しているプレートの一部として変動している地質環境が、どのような幅で変遷する可能性があるかを考える。また、厚い岩盤による物理的隔離機能を損なう天然現象としては、長期にわたり徐々に進行する侵食や急激に起こる火山活動等が考えられ、これらの将来の悪影響を十分な信頼性を持って回避することが求められる。

一方、「処分場スケール」では、人工バリアと、地質環境である天然バリアの各構成要素それぞれの閉じ込め機能が時間とともにどのように変遷する可能性があるかを考える。廃棄物埋設後、数百年程度の期間は、主に初期の放射能の大部分を占めるストロンチウム 90 やセシウム 137 の崩壊に伴うガラス固化体の発熱が著しいため、地下水の熱対流や放射線分解等が起こりやすい条件が想定される。オーバーパックは、このような放射性物質の移行が起こらないよう、初期段階においてガラス固化体と地下水との接触を防止することにより、放射性物質の地下水への浸出を抑制する。また、オーバーパックが徐々に腐食され、その機能を失ったとしても、ガラス固化体は水に溶けにくいいため、放射性物質の浸出は抑制される。ただし、非常にゆっくりではあるが、ガラスが溶解する可能性があり、第 2 次取りまとめの保守的な見積もりによれば 7 万年程度経過するとガラス固化体の全量が溶解すると考えられている。このように、処分場スケールの地質環境は、人工バリアの機能が所定の期間維持されるのに適した設置環境としての特性を有すること、天然バリアが放射性物質の溶解、移行を抑制するのに適した特性を有すること、さらには、それらの特性が数万年以上の長期間の時間スケールにおいて変遷する中で許容できる変動範囲内にとどまることが求められる。

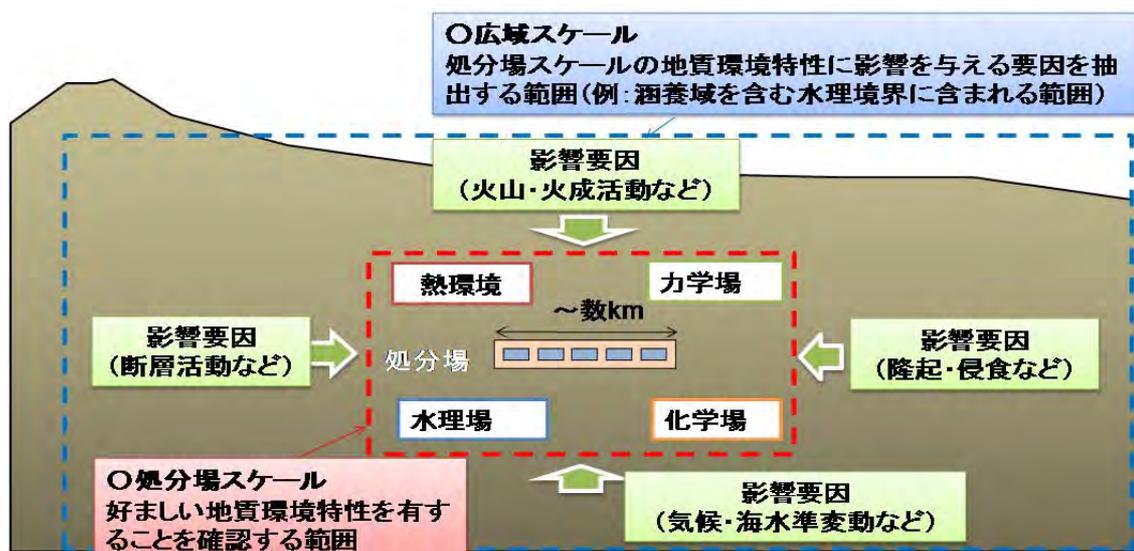
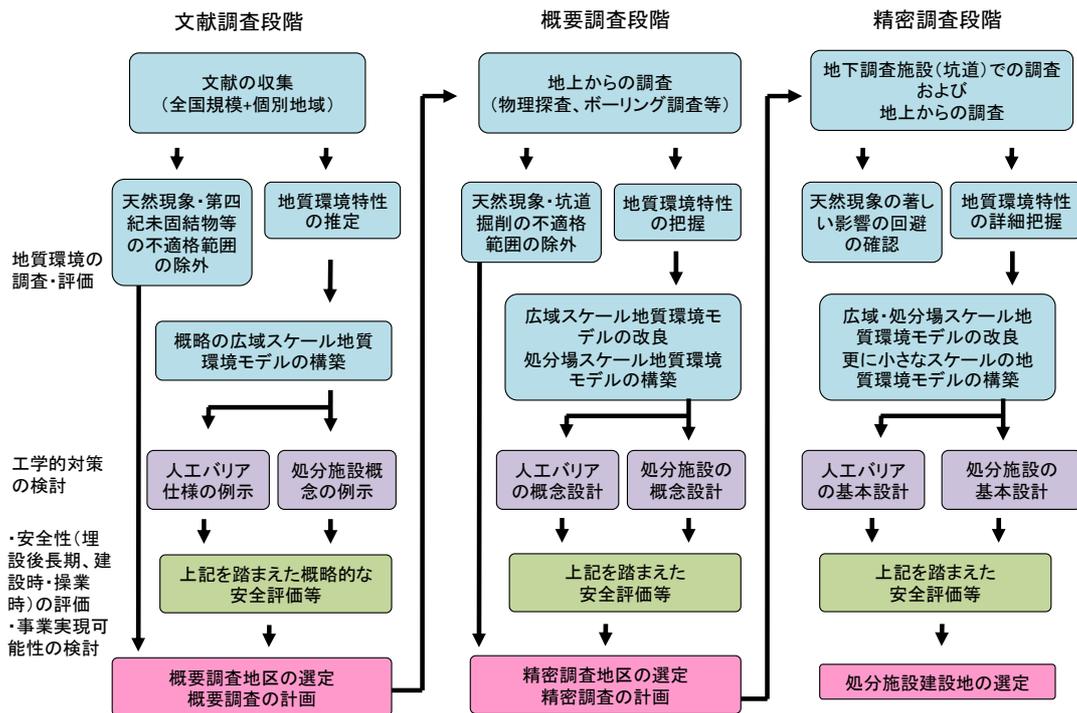


図 2.2.1 空間スケールの概念図

2.3 安全性に関する総合的な評価について

NUMOは、図 2.3.1 に示すような形で地質環境の調査・評価を行うとともに、人工バリアや処分施設の設計を踏まえた総合的な安全性の評価（安全評価）を行うこととしている。

個別地点を対象に、多重バリアからなる地層処分システムの安全性を定量的に示すためには、選定された個別地点を対象とした広域スケールにおける火山・火成活動や断層活動といった天然現象に関連する将来の変動予測を行い、処分場スケールの地質環境特性（熱環境・力学場・水理場及び化学場）の変動幅を評価した上で、人工バリアや処分施設の設計を行いその結果に基づく安全評価を行う必要がある。



※ いずれの段階でも、適性が確認されない場合や、関係都道府県知事及び市町村長が反対の意見を示している状況においては、次の段階には進まない。

図 2.3.1 サイト選定段階における実施事項

2.4 段階的な処分地選定と調査スケールについて

最終処分法では、NUMOが三段階の処分地選定調査を実施することとしている。

文献調査においては、概要調査地区として選定しようとする地区及びその周辺の地域について、文献その他の資料により、過去の地震等の履歴、活断層・火山の状態、地層の状態及び鉱物資源の賦存状況等が調査される。また、実施主体の取組として、事業の実現可能性の観点からの検討も同様になされることとなる。

概要調査においては、概要調査地区内の処分を行おうとする地層及びその周辺の地層について、物理探査やボーリング調査等により、岩石の性質と状態、活断層の位置や性状、過去の地震等の履歴及び破碎帯や地下水の概要等が調査される。

精密調査においては、地下調査施設を建設することにより、岩石・岩盤の力学的特性、地層の化学的性質及び水理特性や地下水質、同位体組成等の詳細が調査される。

図 2.4.1 に、段階的な調査の対象範囲としての調査スケールと空間スケールの関係を、図 2.4.2 に、処分地選定に係る段階的調査の進め方と調査スケールのイメージを示す。文献調査、概要調査、精密調査と段階が進むごとに、調査対象となる範囲を段階的に絞り込み、それに従い処分システムの置かれる地質環境に関する情報は、文献や地表付近で得られる情報に加え地下深部までのデータが付加されていくことから、詳細度と信頼度が増していく。これに伴い、処分場の設計や安全評価などから成る総合的

評価は精緻化され、それらの信頼度も向上していく。

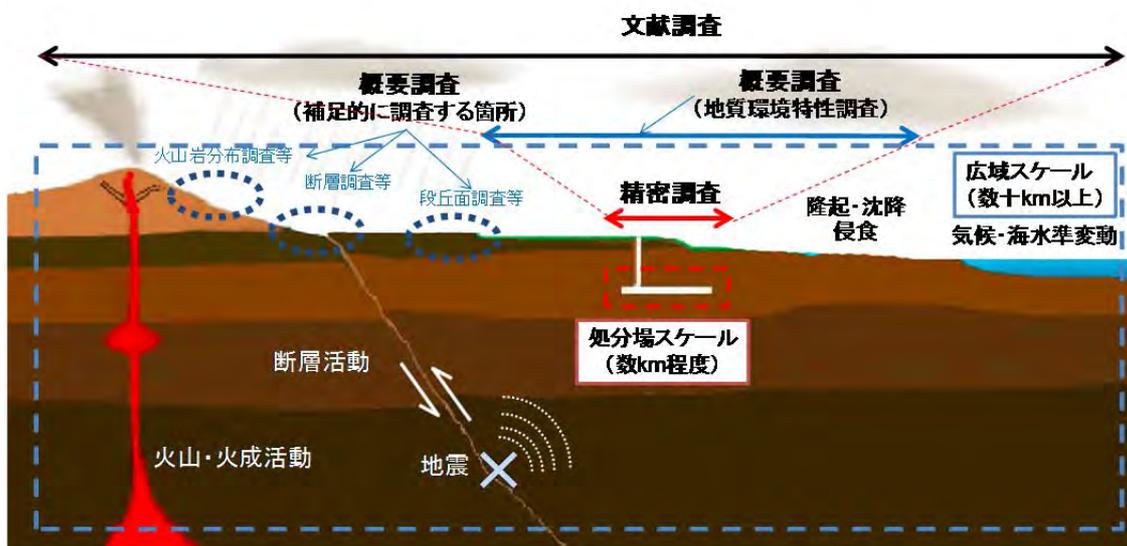
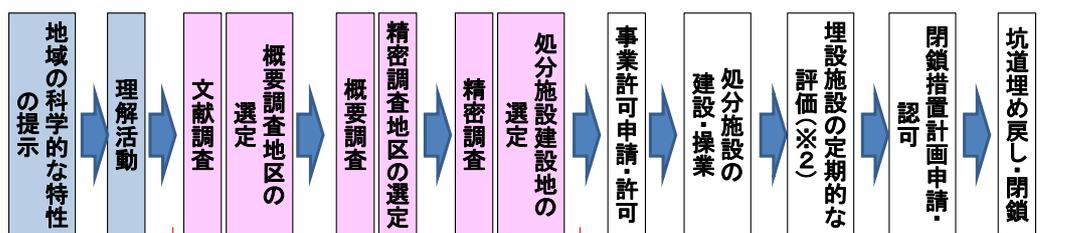


図 2.4.1 調査スケールと空間スケールのイメージ



法令に基づく処分地選定調査(※1)

※1適性が確認されない場合や、関係都道府県知事及び市町村長が反対の意見を示している状況においては、次の段階には進まない。

※2事業許可後も地質環境に関する情報を入手し得られた最新の知見を反映

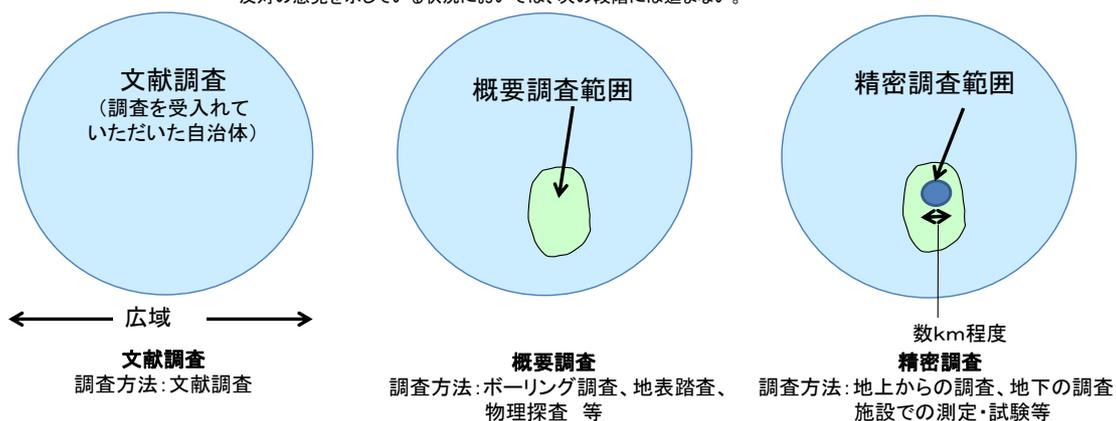


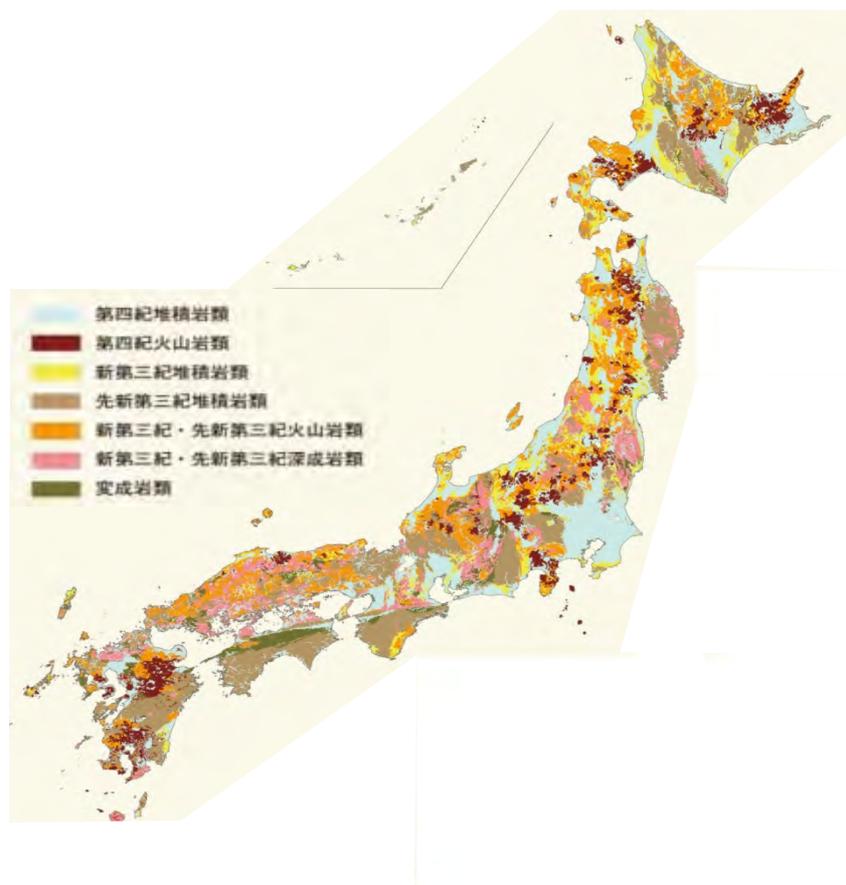
図 2.4.2 具体的な処分地選定に係る段階的調査の進め方と調査スケールのイメージ

参照：日本の地層の特徴

日本には、さまざまな形成年代や履歴を持つ岩種が分布しており、数 100 万年前に形成されたような比較的新しい地層から 5 億年程度まで遡る古い地層（田切ほか，2011）まで存在する。

わが国ではこれまで岩種を特定することなく幅広い地質環境を対象に地層処分の研究開発が行われてきた。その結果、わが国に広く分布する結晶質岩及び堆積岩のいずれにおいても地層処分の実現可能性があるとの結論が得られている（JNC，1999）。

地層処分にあって地質環境に求めることは、火山活動や断層活動などの天然現象の著しい影響を受けない安定した環境であることや、地下水の流れが緩慢で、酸素がほとんどなく、また、坑道が掘削可能な強度をもっているといった好ましい条件を備えていることである。最終処分施設建設地が実際にこれらの要件を満たしているか否かについては、処分地選定調査を通じて確認していくこととなる。



日本列島の地質図（日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編，2011）

第3章 地域の科学的な特性の提示に関する要件・基準の検討

3.1 検討の前提

日本全国の地域の科学的な特性をマップとして提示するための要件・基準の検討にあたり、議論の前提として、廃棄物WGでは、その提示の意義・目的について以下のように整理した。

- ・ 安全性の確保の観点から相対的に適性が低いと考えられる地域を予め調査対象から除外することによって、安全を第一に処分地選定を進めることに資する。また、そうした政府の方針について、具体的な取組で示すことで、国民・地域の理解を得ていく。
- ・ より適性が高いと考えられる地域のみならず、広く全国の国民・地域に最終処分問題を認識・理解してもらう契機・材料を提供する。また、より適性が高いと考えられる地域に対し、その後の重点的な理解活動に繋げる。

また、廃棄物WG及び技術WGにおいて共有すべき留意事項として、1) 安全性の確保を重視する（安全性の重視）、2) 最終処分事業のプロセスの中で初期段階に用いるものであり、今後、処分地選定調査を実施していくものという全体像を国民に分かりやすく示せるようにする（全体像の提示）、3) 検討プロセスは全て公開にするとともに、検討に用いるデータ等は、全て一般に入手可能なものを用い、科学技術の進展等に応じて将来的な変更があり得るものであるとの前提で、将来的な検証可能性を確保する（透明性の確保）の三点を提示した。

技術WGでは、上記を議論の前提とした上で、法令に基づく処分地選定調査との関係（図 3.1.1）について議論し、以下のとおり整理を行った。

- ・ 現時点での科学的知見に基づき、法令に基づく処分地選定調査（文献調査、概要調査、精密調査）に入る前段階における評価として、将来的に現地調査等を行った場合に安全な地層処分が成立すると確認できる可能性の程度を示すこととする。
- ・ そのため、そうした可能性が高いと考えられる地域に含まれることは、直ちに個別地点の最終処分施設建設地としての適性を保証するものではなく、その適性は、法令に基づく処分地選定調査において、段階的に確認されるものである。

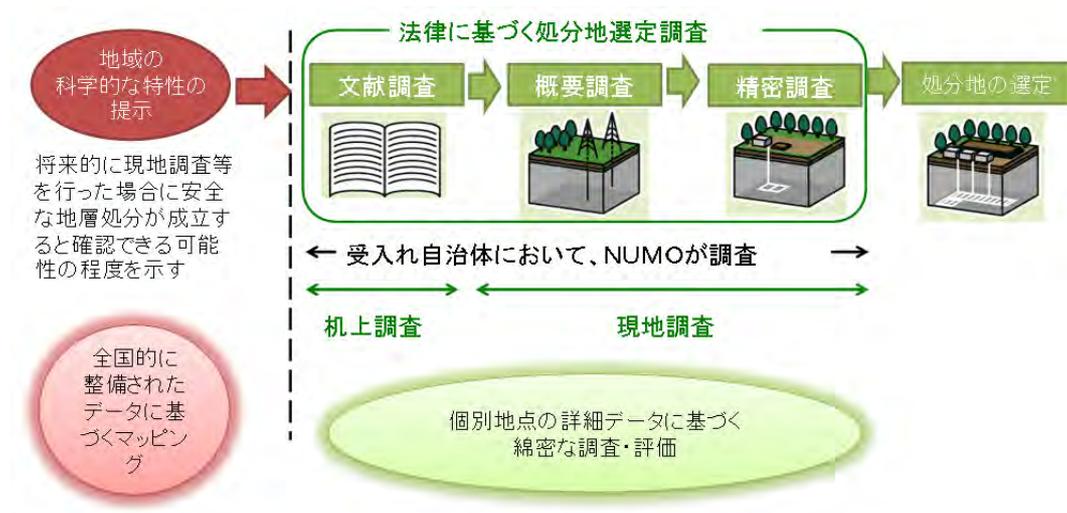


図 3.1.1 提示と処分地選定調査との関係

なお、地層処分の処分地選定の考え方は、一定の安全上の基準がクリアされた場所において、天然バリアと人工バリアを組み合わせた工学的対応をおこなうことで、安全性確保上必要とされる水準の閉じ込め機能・物理的隔離機能が成立する場所を選ぶものであって、"最適地"というものが存在することを前提とするものではない。また、安全評価は、広域的なデータのみでは判断できず、段階的な処分地選定調査において様々なデータを取得し、総合的な評価により判断していくこととなる。

3.2 提示に関する要件・基準の検討に係る基本的な考え方

前節を踏まえ、提示に関する要件・基準については、地層処分の安全性確保に重点を置くこととし、以下の①～④に分けて検討を行うこととした。

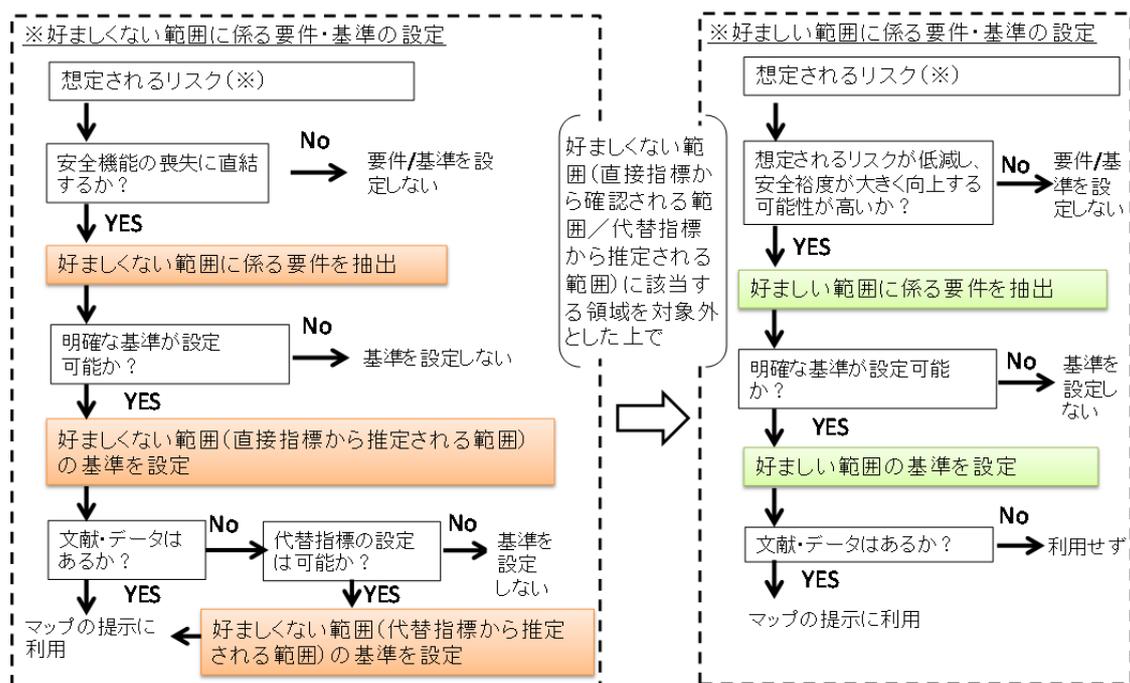
- ①地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討
- ②地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性の確保に関する検討
- ③放射性廃棄物の輸送時の安全性の確保に関する検討
- ④事業の実現可能性の観点からの検討

なお、①地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討については、第2章で述べたとおり数万年以上の極めて長期間の時間スケールを扱う。一方で、②建設・作業時の安全性、③輸送時の安全性及び④事業の実現可能性については、数10年程度といった時間スケールを対象とするものである。具体的な検討においては、まず①～④について、各項目における「好ましくない範囲」に係る要件・基準の設定可能性について検討を行った。具体的には、地質環境の長期安定性等の観点から、地層処分の安全性を損なう可能性がある（その意味で好ましくない）特性を有すると推定される基準が設定可能であり、かつその基準に基づくマップの提示に利用可能な文献・データが存在する場

合には、「好ましくない範囲（直接指標により確認される範囲）」と定義した。一方、検討を進めていく中で、いくつかの項目については、基準に基づくマップの提示に利用可能な文献・データが存在しない場合があった。この場合には、代替指標の設定が可能であれば、「好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）」と定義した。

同様に、①～④の各項目について、安全裕度を大きく向上させるような環境が明らかになった場合を「好ましい範囲」と定義した。具体的な要件・基準の検討手順を図 3.2.1 に示す。

また、今回の検討にあたって用いる文献・データについては、わが国全体における地域の科学的な特性を示し国民理解を促すとの目的に照らし、1) 品質が確保され（信頼性の観点）⁹、2) 全国規模で体系的に整備されるなどにより地域間のデータが客観的に比較可能とし（地域間の公平性確保の観点）、3) 現時点で一般的に入手可能である（透明性・検証可能性の観点）ことが適当であると整理した。



※「想定されるリスク」とは、「地層処分に対して悪影響を及ぼす可能性」を示す。

図 3.2.1 「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」、「好ましい範囲」の要件・基準の検討手順

⁹品質が確保された文献・データとは、例えば国立の研究機関や学会などの発行者の信頼性が確保されているものや査読等を受けた文献などを想定。

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

中間とりまとめにおいては、地層処分の機能に著しい影響を与えるわが国における天然現象の発生要因と考えられるプレート運動について、第2次取りまとめ及びそれ以降の最新の知見に基づけば、プレート運動に関連する断層運動や地殻変動は少なくとも数10万年から100万年程度は同じ傾向で継続していることから、現時点では、将来10万年程度であれば現在の運動の傾向が継続する可能性は高いと考えられる（梅田ほか、2013）ことを示した。

その上で、中間とりまとめにおいては、わが国におけるそれらの事象の偏在性や、各事象により著しい影響を受ける範囲を明示するとともに、文献調査段階及び概要調査段階のそれぞれにおいて、それらの事象を回避するための基本的な考え方を具体的に示し、そのことから、段階的な処分地選定調査により、好ましい地質環境に著しい影響を与える事象を回避することで、10万年程度の期間、後述するおのおのの好ましい地質環境とその地質環境の長期安定性を確保できる場所が選定できるものと考えられるとした。

上記の検討結果に基づき、地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討を行った。

3.3.1 「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準

好ましくない範囲の要件・基準を設定するにあたり、物理的隔離機能を喪失させる事象として、「マグマの処分場への貫入と地表への噴出」と「著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近」を抽出した。閉じ込め機能を喪失させる事象については、将来、好ましい地質環境特性を変動させる可能性のある地質的な事象を、影響の大小に関係なく抽出し変動範囲を推定した上で、変動範囲が設計での対応可能な範囲を超えて閉じ込め機能の喪失に至る条件となる場合に、著しい影響を与える事象として特定した。さらにこのように特定した事象を火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食の天然現象に大きく分類した。なお、気候・海水準変動は、侵食の要因として評価している。この結果を踏まえ、検討事項を、表3.3.1.1の中で①～⑤のように再整理した。

なお、地層処分を行うにあたり、地震、津波、地下水の影響については、パブリックコメントやこれまでの対話活動を通じて国民の関心が高い事項であると考えられたため、これらの影響についても⑥～⑧として考察することとした。

更に、物理的隔離機能の喪失に著しい影響を与える事象のひとつとして、偶発的な人間侵入も考えられることから、鉱物資源探査に伴う人間侵入のリスクについても⑨とし

て検討することとした¹⁰。

なお、地層処分場に影響を与える事項については、国際機関により体系的に FEP (F:feature 特質, E:event 事象, P:process 過程) リストとして整理されている。国際機関のリスト (NEA, 2014) では、外部事象 (external factors) の地質的事項 (geological factors)、気候的事項 (climate factors)、将来の人間活動 (future human actions) 等のリストが整理されており、今回検討の対象とした事項は、このような国際的なリストと比較しても整合的である。

表 3.3.1.1 物理的隔離機能の喪失、閉じ込め機能の喪失にかかわる天然現象

		火山・火成活動等	断層活動	隆起・侵食	気候・海水準変動
物理的隔離機能の喪失		①マグマの処分場への貫入と地表への噴出	—	②著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近	侵食の要因として評価
閉じ込め機能の喪失	熱環境	③地熱活動 (非火山性を含む)	—	—	
	力学場	—	⑤処分深度に達する断層のずれ	—	
	水理場	—	⑤断層のずれに伴う透水性の増加	—	
	化学場	④火山性熱水や深部流体の移動・流入	⑤断層のずれに伴う透水性の増加 (条件による)	—	

①火山・火成活動 (マグマの処分場への貫入と地表への噴出)

マグマの貫入・噴出は、地層処分システムの物理的な隔離の機能を広範囲にわたり喪失させる恐れがあるため、その影響範囲を回避する必要がある。現象の考え方、検討すべき対象及び好ましくない範囲については、以下のように整理される。

- 日本では、西南日本の日本海側を除き、火山発生のメカニズムとして、陸のプレートの下に沈み込んだ海のプレートからの水の働きによって上部マントルの一部が融けて上昇していき、マグマが形成される。このような過程で形成されたマグマは、一旦地殻内のマグマだまりに蓄えられるなどした後、地表に噴出し、これが島弧の火山になる。

¹⁰ これまでも、地質環境の長期安定性ととも、サイト選定の初期段階で考慮すべき「サイト選定の可否にかかわる地質環境の要件」のひとつとして認識されている (JNC,1999b)。

- 東北地方では、火山活動は火山フロントから背弧域に限定して繰り返し生じており、火山が分布する領域と、分布しない領域（空白域）が存在している。北海道に関しても、火山フロントが形成されている。一方、西南日本のうち山陰から九州地方北部に関しては、火山フロントが明確ではない。
- 一部の火山¹¹を除いて、マグマが地表に噴出した火口の位置は、その火山を代表する位置を中心として概ね半径 15 km の円の範囲に分布する（図 3.3.1.1）ことから、個別の火山によるリスクはそれぞれ異なるものの、第四紀¹²火山から半径 15 km 以内を好ましくない範囲の基準とすることが適当と考えられる。
- なお、カルデラや単成火山群等の第四紀火山のマグマ活動の範囲は、上記の範囲を超える可能性もあること、さらに、三宅島火山の 2000 年噴火では、岩脈マグマが火山中心から 30 km 以上移動した事例があることから、実際に確保すべき火山中心からの距離については、個別地点における現地調査の結果に基づいて評価する。
- カルデラ火山については、カルデラ内は、過去の噴火活動等により地下数 km までの範囲で様々な擾乱を受けている可能性が高いことから、半径が 15 km を超える場合についてもカルデラ内は好ましくない範囲と考える。
- また、火山には誕生から活動停止までのライフサイクルがあることが知られており、マグマだまりの熱的寿命は、数十万年程度と考えられている（東宮，1991）。活動休止期を挟み数十万年以上の長期に活動している火山については、活動期ごとに異なる熱源により活動している可能性がある。したがって、こうした火山がどういう状況となっているか把握するためには、個別地点における現地調査の際にマグマの状況を注意深く調査することが必要となる。
- なお、現在火山のない場所に、将来、新たな火山が発生する可能性も考慮する必要がある。そのため、第四紀火山が存在しない地域にあっても、現地調査の結果に基づいて評価した結果、将来新たな火山・火成活動が生じる可能性の高い地域は回避すべきである。そのため、現在、上部マントル内にマグマが発生・上昇する温度・圧力条件が存在しない地域においても、将来、その条件が発生する可能性があるか否かについて、マントル物質の対流モデル等を加えて新たな評価モデルを構築することが望ましい¹³。

¹¹陥没カルデラを形成する第四紀火山や単成火山群等の火山。

¹²第四紀とは、約 260 万年前から現在までの地質時代。なお、第四紀火山には、「概ね過去 1 万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」（火山噴火予知連絡会）と定義される活火山が 110 存在している。

¹³地殻熱流量、地震波トモグラフィ、MT 法電磁探査、ヘリウム同位体比などの観測データなどを用いる方法も考えられる。

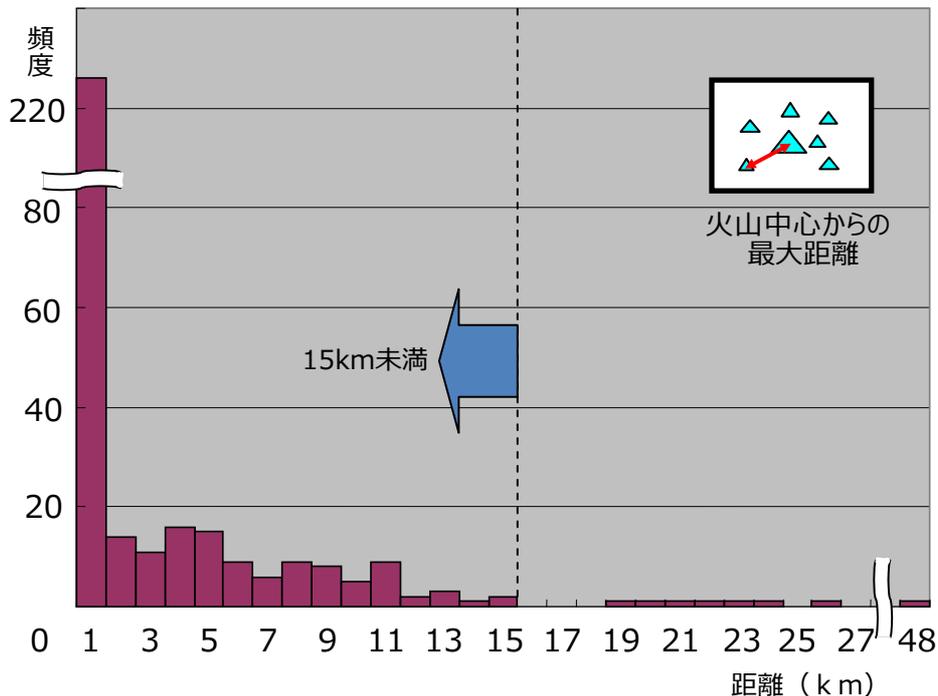


図 3.3.1.1 第四紀火山の中心と個別の火山体間の最大距離と頻度¹⁴
 (第四紀火山カタログ委員会編 (1999) を基に作成した NUMO (2004) に加筆)

全国規模で利用可能な文献・データとして、「日本の火山 第3版」(産業技術総合研究所, 2013)がある。「日本の火山 第3版」では、全国の第四紀火山の分布や各種情報が示されており、かつカルデラ縁(リム)も示されている。

火山には、メインとなる中心火口から繰り返し噴出物を出して形成された複成火山と、1回の噴火活動のみで形成された単成火山が存在する。複成火山は、中心火口から繰り返し噴出物を放出することで山が成長するため、火山中心が最も高くなるのが一般的であり、一律的に最高標高を火山中心とみなすことは合理的である。こうした火山は、日本で最近活動した火山に多い。一方、単成火山群は、それぞれの火山ごとにマグマの通路が異なるため、1つの火口をもって火山群全体の中心と見なすことはできず、また火山ごとに噴火する場所の標高も違うので、その火山群の中で最も高い地点を火山群の火山中心とみなすことができない。さらに、古い時代の火山については、侵食などにより地形が変化し、主火口の位置が不明であったり地形的に低くなったりすることも多い。そのため、一部の火山の中心については、マップ上の扱いを検討する必要がある。

「日本の火山 第3版」では、火山の中心の位置は示されておらず、火山を代表する

¹⁴第四紀火山の中心および個別火山体の分布(第四紀火山カタログ委員会,1999)に基づくと、97.7%の火山(収録されている全ての348火山のうち、火山の位置が記載されていない、あるいは明らかな誤りがあると思われる4つの火山を除く344火山)で、火山中心から半径15kmの範囲内に個別火山体が収まっている。また、多くの火山で個別火山体が数kmに収まっている一方、遠くに個別火山体を生じる火山も数は少ないものの存在する。

位置（最高標高点等）が示されている。このほかの利用可能な文献・データとして、「日本の第四紀火山カタログ」（第四紀火山カタログ委員会，1999）があり、本文献においては、多くの火山について主火道の位置等の情報をもとに火山中心の位置を評価・特定しているが、約 200 万年前までの火山しか掲載されていないことに留意が必要である¹⁵。

また、最後の火山から数十万年以上の時間が経過している火山とそうでない火山とでは、一般的には将来のマグマ活動のリスクが大きく異なると考えられる。

これらの内容については、マップの提示の際にその相違を適切に反映することが重要である。

以上を踏まえ、本項目に係わる要件・基準を以下のように設定することが適当である。

◆要件

マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと

◆好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）の基準

第四紀火山の中心から 15 km 以内

第四紀の火山活動範囲が 15 km を超えるカルデラの範囲

※一部の火山については火山中心の精査が必要であることに留意が必要

上述のように個別の火山におけるマグマ活動の範囲は、上記の範囲を超える可能性もあることから、処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある。

- 火山の有無、火山活動の痕跡の有無、影響範囲、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス噴出の分布範囲について、調査・評価することにより、影響が想定される範囲
- 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱・物質対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲

②隆起・侵食（著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近）

隆起・侵食により、処分場が地表に著しく接近する場合について、地層処分システムの物理的隔離の機能を広範囲にわたり喪失させる恐れがあるため、隆起や海水準変

¹⁵①日本の第四紀火山カタログに位置が示されている火山（約 200 万年前までの火山）については、その情報を使うこととする。

②日本の第四紀火山カタログには掲載されていないものの、日本の火山（第 3 版）に掲載されている火山（主に約 200 万年前～260 万年前の火山）については、i）最高標高点等を火山の中心と推定することが妥当と考えられる火山（複成火山、単成火山のうち溶岩ドーム）は、その情報を使うこととする。ii）それ以外の火山は暫定的に岩体の東西南北の広がり（分布）の中心点を作図によって求めることで、マップ作成における火山中心を機械的に置くことが考えられる。

動¹⁶等の影響も考慮し、侵食作用（マスマーブメントも含む）が著しいと考えられる範囲を回避する必要がある。現象の考え方及び検討すべき対象については、以下のよう整理される。

- 侵食のうち、線的侵食である河川による下刻¹⁷が最も厳しく、主要な検討対象とすべき形式である¹⁸。また、波浪侵食による海食崖の後退にも留意する必要がある。
- 内陸については、隆起があった場合は隆起した分だけ侵食する、隆起量の予測の不確実性が高い場合は保守的に侵食基準面まで侵食する¹⁹、等と仮定する方法が考えられる。
- 沿岸については、侵食の要因となる海水準変動を推定し、地形面と侵食基準面である海水面との比高から、侵食量の時間的な変化を積算して評価する方法等が考えられるが、不確実性が高い場合には、氷期において海水準が最大で 150m 程度²⁰低下した状態を想定し、侵食量を保守的に評価することが考えられる。沖積層の基底深度の情報も、将来の侵食量を推定する際の目安となると考えられる。

このうち、好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）は、以下のとおりである。なお、処分深度が未定であるため、最も浅い深度 300 m²¹に処分されると想定している。

- 過去十万年における最大侵食量が 300 m を超えたことが明らかな範囲
- 以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所
 - 内陸の隆起性山地（目安として今後十万年内に隆起量が 300 m を超えると考えられる地域）
 - 隆起が顕著な沿岸部で、海水面低下量と合わせて大きな侵食量が見込まれる地域（目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量（海面が最も低下した状態（最大-150 m）で海面低下分が全て侵食されると想定）が今後 10 万年内に 300 m を超えると考えられる地域）

全国規模で利用可能な文献・データの例として、約 20 km 四方のエリアを単位とし

¹⁶約 10 万年周期の気候変動による陸氷の拡大と縮小にともなう陸に対する海面の相対的な高さが変化する現象。

¹⁷河川水による川底等の侵食。

¹⁸下流域・河口付近では海水準の低下に伴う下刻による侵食量が隆起量を上回ることが多い（幡谷ほか、2016）。

¹⁹侵食作用による地表面の低下は侵食基準面（内陸河川では合流する大きな河川の河床面等、沿岸では海面）に向かって進む。また、侵食速度は侵食基準面に対する比高に依る（中間とりまとめ）。

²⁰沿岸部については、特に侵食の要因となる海水準変動を考慮する必要があり、氷期には海水準が最大で 150m 程度低下したことが示されている（Clark et al.,2009）。

²¹最終処分法では、「この法律において「最終処分」とは、地下三百メートル以上の政令で定める深さの地層において、特定放射性廃棄物及びこれによって汚染された物が飛散し、流出し、又は地下に浸透することがないように必要な措置を講じて安全かつ確実に埋設することにより、特定放射性廃棄物を最終的に処分することをいう（第二条第二項）」と定められており、高レベル放射性廃棄物を地下 300 m 以深に処分することを想定している。

て過去十数万年の平均隆起・沈降速度を示した、「日本列島と地質環境の長期安定性付図 5 最近約 10 万年間の隆起速度の分布」（日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編，2011）がある²²。このデータは最近約 10 万年間の隆起速度分布がおおよそ 20km 四方（緯度 10 分、経度 15 分毎）のメッシュを単位として示されているが、最大の範囲は 90 m 以上/10 万年という範囲のデータしか示されておらず、直接的に隆起量が 300 m を越えた可能性がある範囲を特定できない。一方で、沿岸部については、海水準低下（最大 -150 m）を考慮すると、90 m 以上/10 万年の隆起量と合わせ 240m/10 万年以上となるため、300 m/10 万年を超える隆起・侵食に相当する事象が発生する可能性が比較的高いとみなすことができると考えられる。（なお、上記のデータの作成に用いられた参考文献（吉山・柳田，1995；第四紀地殻変動研究グループ，1969 等）によると、過去 10 万年間の隆起速度分布が 90 m 以上/10 万年のメッシュの中で、300 m/10 万年を超えるデータは存在しない。）

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

- ◆要件
著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと
- ◆好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）の基準
過去 10 万年における最大侵食量が 300 m を超えたことが明らかな範囲
※ただし、基準を適用する全国規模で体系的に整備された文献・データが存在しないことから、当該範囲を判断することができない。
- ◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準
全国規模で体系的に整備された文献・データにおいて、将来 10 万年間で隆起と海水準低下による侵食量が 300 m を超える可能性が高いと考えられる地域（具体的には、海水準低下による最大 150 m の侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分（90 m 以上/10 万年）のエリア）

なお、上述した好ましくない範囲に加えて、処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある。

- 以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所

²²「海岸部では、約 12-13 万年前に形成された海成段丘、平野・丘陵部では過去十数万年間に形成された河成段丘を主な拠り所とし、山間部や沈降域についてはこれらに複数の地形・地質情報を総合して作成したもの」であり、藤原ほか，2004 を基にしている。藤原ほか，2004 では、海岸部については空中写真の判読と必要に応じた現地調査に基づいて作成した 20 km 四方程度の 5 万分の 1 海成段丘分布図等から構成される小池・町田編（2001）などに基づいているが、内陸部についてはデータがまばらな地域（平均で 20 km 四方に 2~3 点程度）もあり、それらのデータを元に地形や地殻変動などのデータと組み合わせ内挿・外挿といった手法を用いて推計した部分もある。また、一部中国・九州地方の大半と四国地方の一部などについては凡例にも記載されているが、データが無い箇所が存在するが、隆起・沈降活動がないわけではないことに留意が必要。

- 内陸の隆起性山地（目安として今後十萬年以内に隆起量が 300 m を超えると考えられる範囲）
- 隆起が顕著な沿岸部（目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量が、今後十萬年以内に 300 m を超えると考えられる範囲）
- 基準地形面の調査や堆積物の調査等の現地調査に基づいて、隆起量を評価し、さらに海水準変動を考慮して将来の侵食量を評価する。評価結果に基づき、処分場の設置深度を設定し、工学的な実現可能性も評価した上で、著しい影響が想定される範囲を回避し、精密調査を行う範囲を設定する。

③地熱活動（非火山性を含む）

地熱に廃棄物の崩壊熱、岩盤、人工バリアの熱特性などを総合的に考慮し、100°C を越えるような環境では、緩衝材の変質を招く恐れがある。人工バリアに与える熱影響は、熱源である地温と廃棄体の崩壊熱、人工バリア・岩盤の熱特性及び廃棄体の配置により決まるが、熱特性や廃棄体の配置は処分地選定調査において個別地点毎に考慮されることとなるため、ここでは第2次取りまとめにおける硬岩、軟岩におけるモデルケースにおける評価結果を基に検討を行うこととする(JNC, 1999b)。

緩衝材の主成分であるベントナイトに含まれる膨潤粘土鉱物モンモリロナイトの熱変質については温度及びカリウム濃度を主な変数として関係式が提示されている(Karland et al., 2000)。この関係式によると、地温 90°C の条件では 10 万年以上の期間、熱変質が軽微で機能低下は起こらないが、地温が 130°C を超えると 10 万年程度の期間で、170°C の条件では 1 万年程度の期間でモンモリロナイトの熱変質が 50% 程度進行することが予測される。第2次取りまとめにおいては、緩衝材の温度が 100°C 未満の場合は緩衝材性能を損なうような変質は考えにくいことが示されている(JNC, 1999c)。このような理由により、熱環境が人工バリアの安全機能に著しい影響を及ぼす範囲は回避する必要がある。現象の考え方及び検討すべき対象については、以下のように整理される。

- 高温異常域の分布は、一部の例外を除き第四紀火山の分布と整合的であるため、火山・火成活動の好ましくない範囲と同じ範囲が好ましくない特性を有すると考えられる。
- 非火山性熱水は、地下に高温岩体が存在する場合に、涵養した地下水が熱せられ熱水となったもので、熱環境への著しい影響を及ぼすことが考えられる。また、深部流体は、沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもの(風早ほか, 2014)で、温度が高い場合には熱環境への著しい影響を及ぼすことが考えられる。

このうち、好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）は、以下のように考えられる。

- 第四紀火山の影響範囲のうち、処分深度で緩衝材の温度が長期に 100°C を大きく超える地温の範囲
- 非火山性熱水または深部流体が存在し、処分深度で緩衝材の温度が長期に 100°C を大きく超える地温の範囲

全国規模の地温を示すデータの例として、「日本列島と地質環境の長期安定性 付図 4 日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布（日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編, 2011）²³」、「全国地熱ポテンシャルマップ」（産業技術総合研究所, 2009）及び「日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース」（産業技術総合研究所, 2004）²⁴があり、坑井の坑底温度もしくは最高温度と地表の基準温度の差を掘削深度もしくは最高温度深度で割って地温勾配値を算出している。全国規模の地下深度における温度分布を示したデータは存在しないが、地温勾配の値が観測点だけでなく内挿、外挿により観測点以外の場所における分布も公表されている全国地熱ポテンシャルマップ（産業技術総合研究所, 2009）の地温勾配コンター図²⁵を用いて地下の温度を推定することは可能であると考えられる。

また、緩衝材の温度は、場所の特性である地温と岩盤の熱特性に加えて、廃棄体の崩壊熱、人工バリアの熱特性、処分深度及び廃棄体の専有面積といった工学的対応により変化する。岩盤の熱特性や工学的対応は処分地選定調査において個別地点毎に考慮されることとなる。また、廃棄体の崩壊熱については、時間が経過するに従って下がっていくものではあるが、地温と合わせて評価していく必要がある。さらに、廃棄体の専有面積が小さいと、他の廃棄体の崩壊熱による暖め効果が加わってくるため、現時点で想定している地下施設の大きさに収めようとした場合の廃棄体間の暖め効果についても考慮する必要がある。

まず、第 2 次取りまとめにおける処分場の熱解析結果²⁶（JNC, 1999c）を用いて検討を行ったところ、隣接する廃棄体の崩壊熱の影響を無視できるほど距離を離れた場合、

²³矢野ほか（1999）を基に編集している。矢野ほか（1999）は、1936 点の 300 m 以深の坑井地点について、なるべく多くの坑井データを情報として生かす意味で、温度プロファイルが直線的でない場合も含めて、坑底温度もしくは最高温度と地表の基準温度の差を掘削深度もしくは最高温度深度で割って地温勾配値を算出している。

²⁴田中ほか（1999）、矢野ほか（1999）のデータを用い、1937 点の 300 m 以深の坑井地点について坑底温度もしくは最高温度と地表の基準温度の差を掘削深度もしくは最高温度深度で割って地温勾配値を算出している。坑井地点のみのデータであるため、この項の基準を適用する場合は、適切な内挿、外挿による地温勾配コンターの描画が必要となる。

²⁵10°C/1000m（1°C/100m）毎の地温勾配の分布が GIS データとして公表されている。

²⁶文献よりわが国の地下深部に分布する代表的な岩盤（硬岩系岩盤、軟岩系岩盤）の熱物性を設定し、処分深度（硬岩系岩盤：1000m、軟岩系岩盤：500m）を仮定して、廃棄体専有面積をパラメータに解析を実施し、緩衝材の最高上昇温度を求めている。

緩衝材の温度上昇幅は、岩種や定置方式によらず約 35°C であることが示されている²⁷ (図 3.3.1.2)。これを崩壊熱による影響とした場合、緩衝材の温度 100°C となる許容地温は 65°C となり、地上温度を 15°C として最大限浅い法定深度である 300 m に適用すると、地温勾配は約 17°C/100 m となる。

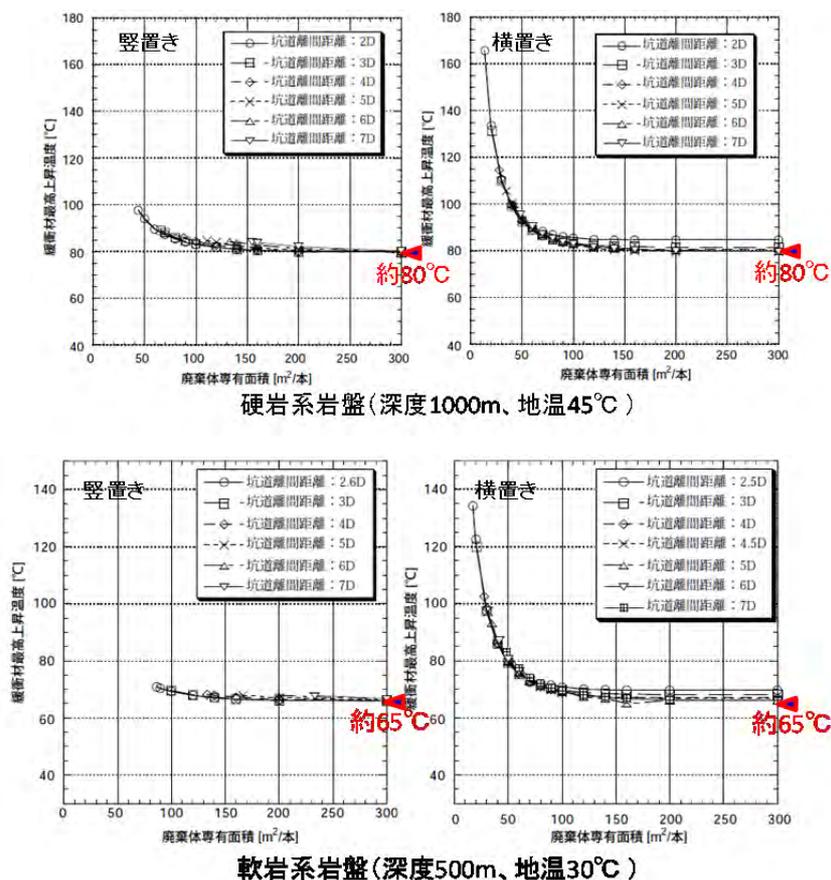


図 3.3.1.2 廃棄体の暖め合う効果を見捨てるほど距離を離れた場合の緩衝材最高上昇温度 (第 2 次取りまとめ(JNC, 1999c)に加筆)

ただし、上記の場合、現時点で想定される地下施設の大きさ (6~10km²)²⁸ に収まらないため、この大きさで見直した場合、緩衝材の温度上昇幅は、廃棄体同士の暖め効果が無視できるほど距離を離れた場合と比較して約 5°C 上昇する (図 3.3.1.3)。そのため、緩衝材の温度 100°C となる許容地温は 60°C となり、地上温度を 15°C として最大限浅い法定深度である 300 m に適用すると、地温勾配は約 15°C/100 m となる。なお、具体的な処分深度が定まっていないため、処分深度が深くなるにつれて地温勾配の要件が厳し

²⁷ 硬岩系岩盤：約 80°C (隣接する廃棄体の崩壊熱の影響を見捨てるほど距離を離れた場合の緩衝材温度) - 45°C (地温) = 約 35°C、軟岩系岩盤：約 65°C (隣接する廃棄体の崩壊熱の影響を見捨てるほど距離を離れた場合の緩衝材温度) - 30°C (地温) = 約 35°C (第 2 次取りまとめ分冊 2 (JNC, 1999c) の図 4.2.2-95~98 より算出。)

²⁸ 第 2 次取りまとめで示された高レベル放射性廃棄物の廃棄体専有面積 (31.3~86.6m²) (JNC, 1999a) から算出した地下施設の大きさ (NUMO, 2004) と低レベル放射性廃棄物の地下施設の大きさ (NUMO, 2011) を勘案して想定。

くなることに留意する必要がある²⁹。

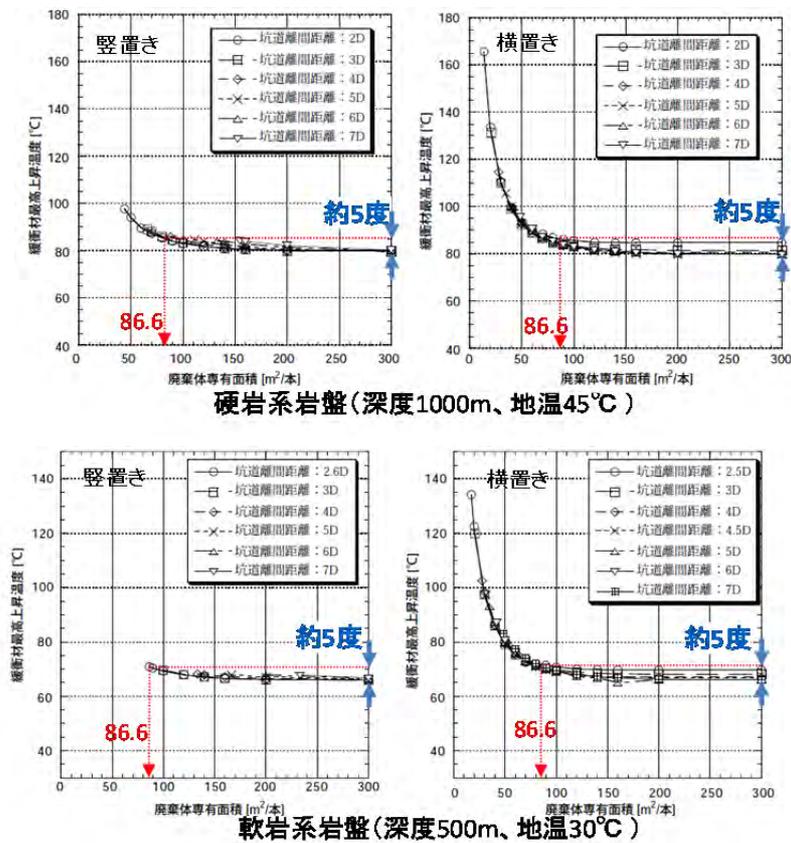


図 3.3.1.3 廃棄体専有面積 86.6m² の場合の緩衝材最高上昇温度
(第 2 次取りまとめ(JNC, 1999c)に加筆)

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

- ◆要件
処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと
- ◆好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）の基準
処分深度で緩衝材の温度が長期に 100°C を大きく超える範囲
※ただし、基準を適用する全国規模で体系的に整備された文献・データが存在しないことから、当該範囲を判断することができない。
- ◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準
処分深度において緩衝材の温度が 100°C 未満を確保できない地温勾配の範囲

²⁹例えば、処分深度 500m の場合、地温勾配は約 9°C/100m となる。([約 60°C (許容地温) - 15°C (地上温度)] ÷ [500m (設置深度) /100m])

(第2次取りまとめにおける検討を参照すると、約 15°C/100 m より大きな地温勾配の範囲)

なお、廃棄物の崩壊熱、岩盤、人工バリアの熱特性を含めた地層処分システム全体の熱影響については、処分地選定調査において評価する必要がある。加えて、上述した好ましくない範囲に加えて、処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある。

- 熱水やガス噴出の分布範囲などを調査・評価することにより、影響が想定される範囲
- 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい熱の影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲
- 処分深度において、火山性熱水、非火山性熱水または深部流体の存在・分布について確認し、システムの安全性に影響を及ぼすことが想定される場合は、その影響範囲

④火山性熱水・深部流体の移動・流入

地下水が低 pH 及び高 pH の場合は、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。また、高い炭酸化学種濃度はオーバーパックスの不動態化、局部腐食を招く可能性がある。低 pH 地下水の流入及び炭酸化学種を含む地下水の流入に関連する地質的な事象としては、火山性熱水や深部流体の移動・流入が、また、高 pH 地下水の流入に関連する地質的な事象としては、超塩基性岩と反応した地下水の移動・流入が考えられる。炭素鋼オーバーパックスが高 pH の地下水に接触すると、オーバーパックス表面が不動態化し、局部腐食や応力腐食を引き起こしやすくなるが、緩衝材による pH 緩衝作用により、地下水の pH が 12 程度までであれば、不動態化を防ぐことができることが報告されている（谷口ほか，1999；JNC，2005）。超塩基性岩と反応した地下水の pH は最高でもおおむね 11 であり、この程度の pH であれば、緩衝材の化学的緩衝機能により、オーバーパックスの耐食性及び多くの放射性物質の溶解度に著しい影響を与えることはないと考えられる。また、緩衝材であるベントナイトの変質は著しくなく、その影響範囲も限定的であると考えられることから、超塩基性岩と反応した高 pH 地下水の移動・流入は、著しい影響を与えないと考えられる事象である。

火山性熱水³⁰は、マグマに含まれる揮発成分は火山ガスの組成等から、H₂O、CO₂、SO₂、H₂S、HClを主成分とし、これらがマグマの上昇に伴う圧力の低下によって放出され、地下水に溶解し、そのpHを低下させ、化学場に影響を与える。一方、深部流体は、形成・移動メカニズム等が研究途上であり、明らかになっていない部分が多い。沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもので、pHが低く炭酸化学種が高濃度に含まれる等の特徴があり、化学場に影響を与えると考えられる。そのため、火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな場合は、処分場に著しい影響を与えるため、その範囲を回避する必要がある。ただし、処分深度において上記の範囲を把握するための全国規模の文献・データは存在せず、代替指標を用いた基準の設定可能性について検討を行った。

代替指標の検討にあたっては、低pHとは実質的な酸性領域であるpH4.8未満(野田・高橋, 1992)を用いることとする。また、炭酸化学種濃度が0.5 mol/dm³以上となる条件では炭素鋼のオーバーパックが不動態化、局部腐食を招きやすくなることが示されている(谷口ほか, 1999)ことから、これらの基準を代替指標として用いることをする。

全国規模で整備されたデータとして、「深層地下水データベース」(高橋ほか, 2011)(深部流体、深層地下水、温泉水、湧水に関する印刷物(論文、報告書、書籍など)のデータ(約18千点)をもとに水温、pHなどをデータベース化))、「全国地熱ポテンシャルマップ」(産業技術総合研究所, 2009)(熱水湧出温度、pHなどをデータベース化)で、pHや炭酸化学種濃度を示すデータ³¹が存在する。今回は、点(座標)のみの情報となるが具体的な位置情報のデータが公開されている「全国地熱ポテンシャルマップ」(産業技術総合研究所, 2009)を用いることとする。

ただし、実際は火山性熱水や深部流体の分布は広がりであることが想定されるが、その分布の仕方は亀裂等の地下構造に依存することが想定されるため、個別地点で調査する必要があり、現時点ではエリアで表現することは困難である。

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

◆要件

処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと

◆好ましくない範囲(直接指標から確認される範囲)の基準

処分深度に火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな範囲

³⁰pH4.8未満の地下水は主に第四紀火山及びその周辺地域に分布すること、pH4程度の酸性となる領域は、噴出中心から15 km程度であること(浅森ほか, 2002)、巨大カルデラ火山の地下水系への影響に関する事例研究では、地下水へのマグマ分離成分の影響が50 km遠方にまで及ぶこと(産業技術総合研究所, 2010)などが示されている。火山性熱水の影響は上部の地質構造に影響を受け、広範囲に及ぶ可能性があり、特に人工バリアの閉じ込め機能を著しく低下させるため、化学場に対して著しい影響を与えると考えられる。

³¹緯度・経度情報及びpH、炭酸化学種濃度(mg/l)等のデータが示されている。炭酸化学種濃度については、mg/lで示されるため、モル質量換算約6.1×10⁴mg/molで変換する必要がある。

※ただし、基準を適用する全国規模で体系的に整備された文献・データが存在しないことから、当該範囲を判断することはできない。

◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準

地下水の特性として、pH4.8 未満あるいは炭酸化学種濃度 0.5 mol/dm^3 (mol/L) 以上を示す範囲

※エリアで表現することが困難であることに留意が必要

なお、上述した好ましくない範囲に加えて、岩石の特性や地下水の成分により異なるガラス固化体、緩衝材、放射性物質の溶解度への化学場としての影響を、処分地選定調査において確認し、岩石-地下水反応を把握することが推奨される。

加えて、処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある。

- 熱水やガス噴出の分布範囲などを調査・評価することにより、影響が想定される範囲
- 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲
- 処分深度において、深部流体の存在・分布について確認し、システムの安全性に影響を及ぼすことが想定される場合は、その影響範囲

⑤断層活動（処分深度に達する断層のずれ、断層のずれに伴う透水性の増加）

断層活動については、地下深部から地表・地下浅部に達するような断層のずれが発生し、処分場の一部が力学的に破壊される場合及び断層のずれに伴い断層周辺の岩盤の透水性が増加し、地下水の移行経路が変化した場合について、著しい影響があると考えられる。そのため、今まで繰り返し活動し、将来も活動する可能性が高く、変位の規模が大きい断層は回避する必要がある。現象の考え方及び検討すべき対象については、以下のように整理される。

- 第2次取りまとめでは、わが国における既存の主な活断層はおおむね把握されているが、特に広い沖積平野等伏在断層の存在が考えられる地域や海域等については、ボーリングや物理探査等を用いた地下構造調査によって、既存のもの以外の活断層の有無や分布を確認する必要があるとされている。その後の知見も踏まえると、繰り返し活動し、変位の規模の大きい断層の分布については、全国規模のデータベースの情報だけでなく、より綿密な空中写真判読、地表調査、物理探査、ボーリング調査等の現地調査に基づいて、第2次取りまとめ以降に発生した地震とその後の活断層調査の知見も踏まえて確認する必要がある。

- さらに、断層活動の影響が生じる可能性が高い範囲と考えられる破砕帯の幅の目安としては、断層長さの 100 分の 1 程度³²（断層の両側合計）とすることが考えられる。また、サイトごとに個別に評価するが、将来の断層活動の範囲として、断層の伸展や分岐が発生する可能性がある領域（活断層帯）を回避する。
- さらに、変形帯や活褶曲・活撓曲についても、地層処分システム全体への影響が著しい場合は回避することを検討する。

このうち、好ましくない範囲は、以下のとおりである。

- 最近の地質時代において繰り返し活動し、変位の規模の大きい既知の断層がある場所について、破砕帯の幅として断層長さの 100 分の 1 程度（断層の両側合計）の範囲
- 既知の断層の分布、破砕帯の幅等を把握し、その影響範囲

上記を踏まえ、断層長さの 100 分の 1 程度（断層の両側合計）の範囲を好ましくない範囲とすることが適当であると考えられる。また、「断層の長さ」のとらえ方には幾つか種類があることから、活動セグメント³³長さ（活動セグメントと起震断層の模式図は図 3.3.1.4 を参照）から計算される範囲を「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」、起震断層³⁴長さ（作図により長さを求める必要あり）から計算される範囲を「好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）」とすることが適当であると考えられる。

なお、断層面は一般的に傾斜しているため、処分深度における断層位置は地表のそれとは異なる。しかしながら詳細な傾斜が分かっている断層は多くない³⁵ことから、今回の要件・基準の検討にあたっては、地表における位置を基準とした。処分地選定調査（特に概要調査段階）においては、これらについて個別に調査・評価する必要がある。

全国規模で利用可能な文献・データの例として、「活断層詳細デジタルマップ付図 200 万分の 1 日本列島活断層図」（中田・今泉，2002）、「活断層データベース」（産業技術総合研究所ウェブサイト）、海域の活断層について、日本周辺の全海域について第四紀に活動したと考えられる断層をまとめたデータとして「日本周辺海域の第四紀地質構

³²破砕帯の幅には、過去の知見から、断層長さとの関係があることが知られており、例えば緒方・本荘（1981）では、破砕帯の幅は断層長さの 1/350～1/150 程度（断層の両側合計）に概ね収まることが示されている。

³³活断層を、過去の活動時期、平均変位速度、平均活動間隔、変位の向きなどに基づいて区分した断層区間。固有地震を繰り返す活断層の最小単元（活断層データベース、用語解説）。

³⁴活断層は、条件により単独で活動したりいくつかの断層が同時に活動したりすることが知られている。松田（1990）は断層線の位置関係により、まとめてひとつの地震を発生させる可能性が高い断層のグループを定義し、これを起震断層と呼んだ。松田（1990）は、起震断層の認定に際して、世界の主要な主断層帯の幅や主断層帯を構成する地震断層線とそれに付随して動いた副断層の中心との間の距離などから、相互間隔の目安を 5 km と設定した。

³⁵活断層データベース（産業技術総合研究所ウェブサイト）では、活断層の傾斜を平均化し、地表から地下に延びる断層面を一つの平面で近似したときの傾斜を「一般傾斜」として示しているが、活断層の地下での傾斜角度は、一定ではなく変化しており、詳細については調査する必要がある。

造図」(徳山ほか, 2001)がある。まず、今回のマップの提示にあたっては、海域の断層の状況については不明な点も多いことから陸域の活断層に関する文献を用いることとする。また、陸域のマップ作成にあたっては、「活断層詳細デジタルマップ付図 200 万分の1 日本列島活断層図」(中田・今泉, 2002)と「活断層データベース」(産業技術総合研究所ウェブサイト)があるが、後者の方がデータ数が多く起震断層を確認できるようになっているうえ、前者も活用し、最新の情報を取り込んでいる点を考慮して、検討に採用することが適当であると考えられる。

ただし、「活断層データベース」において示されている起震断層は断層群の範囲が示されているが、長さが示されていない。したがって、同文献に示されている活動セグメントの長さを用いるための手法と同様の手法を用いることにより、起震断層の長さを計算することが適当と考えられる。

なお、活断層データベースは、長さ 10 km 以上の日本全国の活断層(ここでは、約 10 万年前以降に繰り返し活動した痕跡のある断層を活断層として扱っている)であり、一定以上の活動度をもつ活断層の分布が示される。そのため、実際は 10km 未満の細かい活断層が存在している可能性があるが、その点については処分地選定調査においてしっかりと調査していく必要がある旨、留意が必要である。

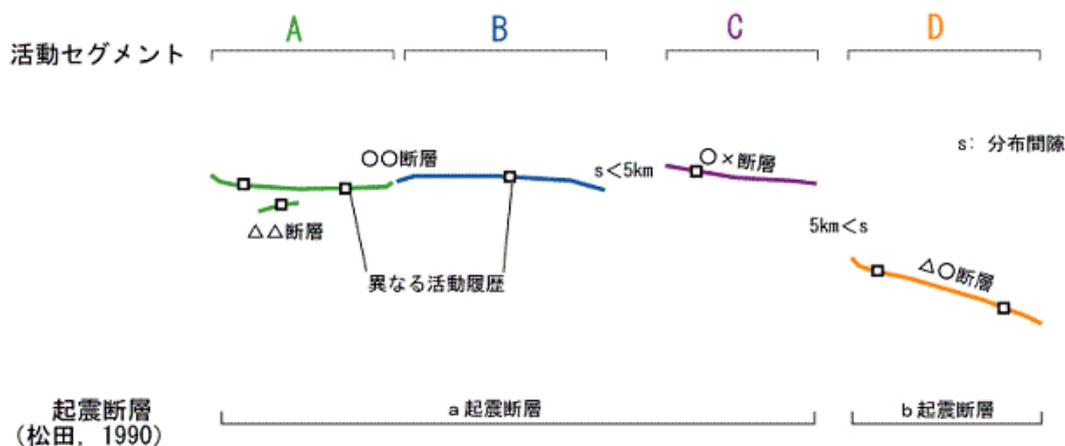


図 3.3.1.4 活動セグメントと起震断層の模式図(産業技術総合研究所ウェブサイト)

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

- ◆要件
断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等により、閉じ込め機能が喪失されないこと
- ◆好ましくない範囲(直接指標から確認される範囲)の基準
活断層に、破砕帯として断層長さ(活動セグメント長さ)の 1/100 程度(断層の両側

合計)の幅を持たせた範囲

◆好ましくない範囲(代替指標から推定される範囲)の基準

活断層に、破碎帯として断層長さ(起震断層長さ)の1/100程度(断層の両側合計)の幅を持たせた範囲

なお、上述した好ましくない範囲に加えて、処分地選定調査の中で(できれば概要調査段階で)地震波探査やボーリング調査により以下の範囲を明らかにしていく必要がある。

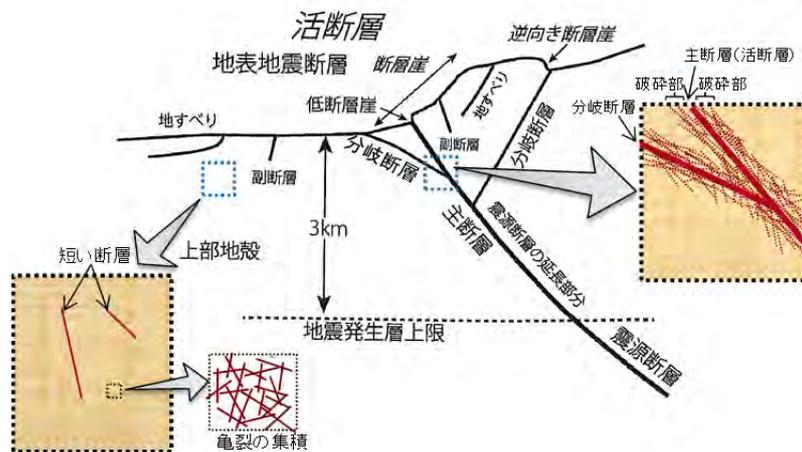
- ・ 上記以外で、断層の分布、破碎帯の幅等を把握し、その影響範囲
- ・ 断層の伸展・分岐が発生する可能性がある範囲(活断層帯)
- ・ 地層処分システム全体への影響が著しい変形帯や活褶曲・活撓曲の範囲
- ・ 変位規模が小さい断層、地表の痕跡が不明瞭である断層、地下に伏在している断層、地質断層による影響

また、過去の活動時期については、断層によりずれた、あるいはずれていない地層の年代、断層面の物質の性状、充填鉱物の年代測定等から推定して判断する。

参照：地震によるずれの影響

地中におけるある面を境にして地層や岩盤のずれが認められるとき、その面を断層という。このような断層は数億年にわたる日本列島の形成過程で数多く生じている。しかし、そのほとんどが過去の傷であり現在は動きを止めているが、これらの断層のうち、最近の地質時代において繰り返し活動し今後も活動すると考えられるものを活断層と呼ぶ。これらの活断層のいくつかは大規模で、地表から深さ 20 km ほどまで延び、大地震の震源となる。地層処分の深度においてこのような繰り返しずれを生じさせるとともに大きな変位もたらす活断層は、廃棄体を直撃しないように予め避ける必要がある。なお、地下には地表に現れていない活断層が存在する可能性があることに留意する必要がある。一方、断層長の短い断層等、繰り返し活動することが想定されない断層の活動による人工バリアの破壊については、別途評価していく必要があるが、これまでの知見によれば、たとえ動いたとしても人工バリアによる緩衝効果が期待されることから悪影響があるとは考えにくい。

また、断層活動により断層の周辺の岩盤が破断・破砕されている場合には、当該活断層周辺の透水性が高くなっている可能性がある。処分地選定調査では、断層面、破砕部、亀裂等の透水性等を評価し、安全評価を行うことにより、問題がある場所は避ける必要がある。



断層活動が及ぼす影響
(山崎 (2013) 第 2 図に加筆)

⑥地震によるゆれの影響

地震によるゆれの影響については、建設・作業時における地上施設・地下施設の耐震性と廃棄体埋設後の揺れの廃棄体への影響や地下水の変化による影響に分かれるが、ここでは、後者について説明し、前者については、3.4 地上施設・地下施設の建設・作業時の安全性の確保に関する検討において説明する。

廃棄体埋設後における処分場への地震によるゆれの影響については、①地震動は地表付近と比較して小さくなる³⁶(図 3.3.1.5)、②地震が発生したとしても、閉鎖後の処分場では岩盤(天然バリア)と人工バリアと一緒に揺れる(JNC,1999c)³⁷こととなるため、廃棄体が著しく破壊されることは考えにくい。

また、地震によって一時的に地下水の場が変化することもあるが、時間が経てば平衡状態に至る(竹内ほか, 2015; 宮川ほか, 2011)ため、長期的に著しく場が変化することは考えにくい。

このように、地震によるゆれについては、地質環境特性及びその長期安定性の確保に著しい影響を及ぼすとは言えないことから、要件・基準を設定しないこととした。

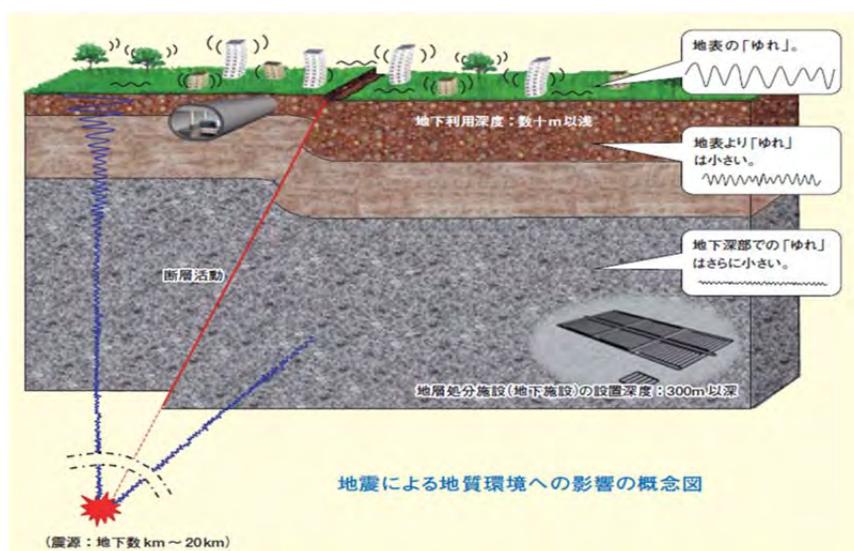


図 3.3.1.5 地震による地質環境への影響の概念図 ((NUMO, 2009a) を一部修正)

⑦津波による影響

津波については、建設・作業時における地上施設・地下施設において影響を受け、耐津波対策をとることが必要と考えられ、詳細については、3.4 地上施設・地下施設の建設・作業時の安全性の確保に関する検討において説明する。処分場閉鎖後は、坑道が完全に塞がれることとなり、地下の処分場に津波の影響が及ぶことは考えにくい。

³⁶例えば、深地層の工学技術の基盤の整備、平成 27 年 4 月 3 日更新の深地層研究計画の状況 (いずれも日本原子力研究開発機構ウェブサイト)。

³⁷第 2 次取りまとめ分冊 2 の 4.3.3.2 参照。

このように、津波については、地質環境特性及びその長期安定性の確保に著しい影響を及ぼすとは言えないことから、要件・基準を設定しないこととした。

⑧地下水

処分場における深部地下水の影響については、処分地選定調査段階で地下水の性状・挙動等を調査した上で、評価していくこととなるが、自然状態の地下深部における地下水の挙動について、一般的には以下の特徴（図 3.3.1.6）が知られている。

- ▶ 地下深部の方が地表面より地形勾配の影響を受けにくく、熱環境や化学場が地下水流動に与える影響が顕著に出ない場合であれば、地表と比較すると動水勾配（地下水を動かす駆動力）が比較的小さい傾向がある。また、地層が緻密であるため透水係数が小さい傾向がある。これらにより、地下深部は地表より流速が遅い傾向にある。
- ▶ 地下深部で、数十万年程度以上動いていない地下水が確認される場合には、長期にわたって流動性が低く、拡散支配の場（元素の移動が遅い）であると期待される。

また、処分場に対する塩水の影響については、塩水の影響がある地域については人工バリアの特性（緩衝材における透水性の低下やオーバーパックの腐食等）に影響が出る可能性があるが、海水程度の濃度の塩水であれば工学的な対応は十分に可能であることが今までの研究成果等³⁸から知られている。

なお、こうした地下深部における地下水の挙動や特性については、その年代から見て古い地下水であることが好ましいが、現地調査等で個別地点ごとに調査・評価が必要であり、全国一律の明確な基準を設定することは難しいため、基準を設定しないこととした。

³⁸例えば、谷口ほか(2010)、菊池ほか(2003)。

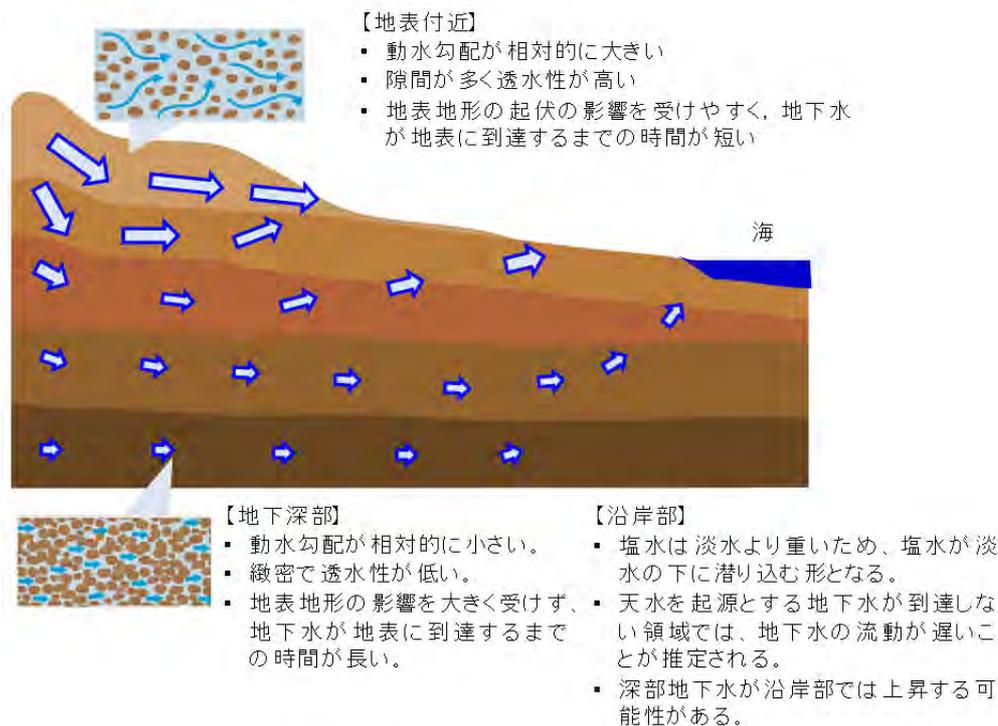


図 3.3.1.6 地表付近と地下深部における地下水の流れ（模式図）

⑨ 鉱物資源

放射性廃棄物の物理的隔離機能を損なわないためには、①～⑥、⑧で議論してきた地下深部の長期安定性とは性質が異なることとなるが、最終処分施設に対する偶発的な人間侵入の可能性についてもできるだけ低減させる必要がある³⁹。

最終処分法上は、文献調査段階において「当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その採掘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」の条件に適合していると認めるものの中から概要調査地区を選定しなければならないとされている。ただ、特に何が「経済的に価値の高い鉱物資源」であるかは時代や地域性によって異なる可能性があり、そうした不確実性も認識しつつ、現在の経済的価値が高いものは、できるだけ避けていくことが国際的にも議論されている。

人間侵入としては鉱物資源の探査や採掘といった行為が一般的に考えられる。この他にも温泉や地下水利用のための行為等⁴⁰も考えられるが、わが国においては、地下水は浅層からくみ上げている例がほとんどであり（川上ほか, 2011）、深度 300 m 程度以上の処分深度まで達するものは少ないと考えられること、地熱・温泉資源、地下水資源等に

³⁹ここでは人間侵入に対してその可能性がある場所を避けるといった対応を議論しているが、一方で、埋め戻した跡地の長期間の監視や地層処分を実施した記録の保存といった能動的な対応も検討されている（NEA, 2013）。最終処分法においては国による跡地の保護区域としての指定が規定されている。

⁴⁰地下空間としての利用として二酸化炭素の地下貯留行為（CCS）も考えられるが、将来の地下深度利用の進展を注視していく必要がある。

については、現時点では資源としてのその重要性を一律に判断することは困難であり、これらの扱いについては、将来的に検討すべきものであると考えられる。また、現在は資源とみなされていないものの、将来資源となる可能性のあるものについては、一般的な環境要件として論ずることは困難であり、処分地選定調査を行う前段階において地層処分に好ましくない特性を有するか否かを判断する際の要件・基準として示すことには適さないと考えられる⁴¹。

上記を踏まえ、議論の対象とする鉱物資源を「鉱業法⁴²で定められる鉱物」とし、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」は、「現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大きな閉山鉱山や未開発発見済み鉱床」とすることとした。

鉱業法で定められる鉱物のうち、利用できる全国規模のデータの例としては、石油、天然ガス、石炭について、「日本油田・ガス田分布図（第2版）」（産業技術総合研究所，1976）、「日本炭田図（第2版）」（産業技術総合研究所，1973）、「国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集（第2版）」（内藤，2017）がある。ただし、これらは、上記の「現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大きな閉山鉱山や未開発発見済み鉱床」を示す文献・データではないが、代替指標を設定するにあたり、「好ましくない範囲（間接指標から推定される範囲）」を設定するために用いることとした。

「日本油田・ガス田分布図（第2版）」（産業技術総合研究所，1976）、「日本炭田図（第2版）」（産業技術総合研究所，1973）は、石油、天然ガス、石炭について技術的に採掘が可能である範囲を発行年までに集められた知見に基づき網羅的にまとめたものである。具体的には、「日本油田・ガス田分布図（第2版）」（産業技術総合研究所，1976）は、生産している（もしくは過去生産していた）坑井が存在している場所と、油・ガスが産出される可能性のある地層が厚く分布する範囲（新第三紀層が厚く分布する範囲等）が示されている。これに対して、マップ作成にあたっては、「将来、採掘の蓋然性が高いもの」を用いることが適切であることに鑑みれば、実際に油・ガスの産出が確認されている範囲をマップに示すことが適当であり、特定の地層の分布範囲をマップに示すことは適当でないと考えられる。

「日本炭田図（第2版）」（産業技術総合研究所，1973）は、主要な炭田が図示されているが、埋蔵炭量が円グラフとして図示されているものとされていないものが併記されている。マップ作成にあたっては、「将来、採掘の蓋然性が高いもの」を用いることが適切であることに鑑みれば、この違いをマップに適切に反映することが望ましい。

なお、例えば「日本炭田図（第2版）」（産業技術総合研究所，1973）において一定の資源の存在の範囲が示されている地域の中でも、地域ごとのデータでは鉱物の存在が確認できない範囲も存在し得る（図 3.3.1.7）。また、これらのデータは他のデータと比較すると約 40 年以上前のものであるため、その後の採掘により埋蔵量が増加したことに

⁴¹原子力安全委員会（2002）でも同様の指摘がある。

⁴²鉱業法で定められる鉱物とは、具体的には、金、銀などの金属鉱物、石こう、石灰石などの非金属鉱物、石炭・石油などの燃料鉱物などがある。

より現在の状況とは異なる可能性があること、その後発見された油・ガス田、炭田がデータに含まれていない等の点に留意が必要である。

今回の検討においては、全国規模のデータを用いることを前提としているので、「技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲」の全域において均一にすべからず鉱物資源の存在が確認されているわけではなく、調査によって鉱物資源の不存在が確認できる地点も存在するであろうことに留意する必要がある。このように、これらの資料は、当該資源が存在する範囲を広域的に示したものであることに留意が必要である。

また、主に金属鉱物の国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集として「国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集（第2版）」（内藤, 2017）⁴³があり、採掘実績のあるものとならないものが混在してとりまとめられている。マップ作成にあたっては、「将来、採掘の蓋然性が高いもの」を用いることが適切であることに鑑みれば、実際に採掘実績のある範囲をマップに示すことが適当であると考えられる。ただし、本データは点（座標）でしか表現されておらず、現時点ではエリアで表現することは困難である。

⁴³地質図幅に記載された金属鉱物（錫・タングステン・銅・モリブデン・金・銀・硫化鉄・ウラン・クロム・ニッケル・アンチモン・鉛・亜鉛・ヒ素・水銀・マンガン・鉄・チタン）・非金属鉱物（石灰石、硫黄等）・燃料鉱物の鉱床の位置情報を採録しデータとしてとりまとめたもの。（採録の対象は、2016年までに出版された5万分の1地質図幅、7万5千分の1地質図、20万分の1地質図幅、50万分の1鉱物資源図。）

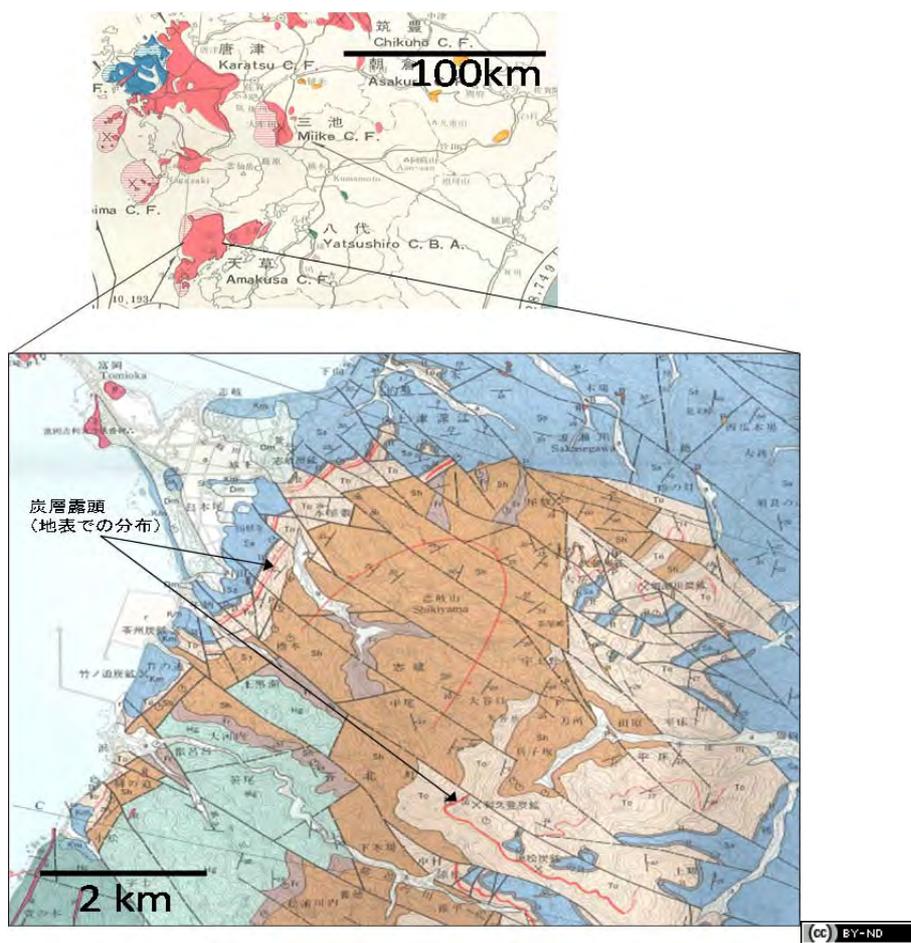


図 3.3.1.7 「日本炭田図 (第 2 版)」(産業技術総合研究所, 1973) と個別地点 (天草炭田図 (5 万分の 1)) (産業技術総合研究所, 1997)) における図の例⁴⁴

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

◆要件

現在認められている経済的価値の高い鉱物資源が存在することにより、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されないこと

◆好ましくない範囲 (直接指標から確認される範囲) の基準

現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大な閉山鉱山や未開発発見済み鉱床が存在する範囲

⁴⁴ 「日本炭田図 (第 2 版)」(産業技術総合研究所, 1973) に示される範囲の中でも、より詳細に確認すると炭田に該当する層以外の部分も含まれる。例えば、個別地点における図面では、赤曲線の露頭部分は炭田の層が含まれるが、それ以外の地域はその存在は確認できない。

◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準

鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献・データにおいて、技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲（ただし、当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。）

※炭田については、鉱量が示されているか否かに留意が必要

※金属鉱物については、エリアで表現することが困難であることに留意が必要

3.3.2 「好ましい範囲」の要件・基準

「好ましい範囲」の設定可能性については、最終処分施設に求められる地質環境特性の個別要素に着目し検討するとともに、長期安定性に影響を与える天然現象についても検討を行った。

天然現象（火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食等）の影響については、考慮する時間スケールが数万年以上と長期にわたること、個別地点で取得される十分なデータを踏まえた総合評価が必要であることから、今回の検討では一定の地域を「好ましい範囲」と評価することは困難であると考えられる。そのため、以下では最終処分施設に求められる地質環境特性の個別要素に着目し検討することとした。

地層処分を行う上で好ましい地質環境特性は表 3.3.2.1 のように整理される（中間とりまとめ、表 1）。まず、これらの個別要素に着目して、「好ましい範囲」の要件・基準の設定が可能かについて検討を行った。

表 3.3.2.1 地層処分を行う上で好ましい地質環境特性
(中間とりまとめ, 表 1 を一部加筆)

	人工バリア設置環境として好ましい 主な地質環境特性	天然バリアとして好ましい 主な地質環境特性
①熱環境	地温が低いこと	—
②力学場	岩盤の変形が小さいこと	—
③水理場	—	地下水流動が緩慢であること ⁴⁵
④化学場	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと ・地下水が酸化性雰囲気でないこと ・地下水の炭酸化学種濃度が高くないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと ・地下水が酸化性雰囲気でないこと

①熱環境

閉じ込め機能からみた好ましい地質環境特性は「地温が低いこと」であることから(表 3.3.2.1)、「好ましい範囲」の要件としては「処分深度で安全性が大きく向上する程度に、地温が低いこと」と設定できる。

人工バリアのうち、緩衝材であるベントナイトについては、長期にわたり 100°C を大きく超えると鉱物学的に変化し(イライト化)、特にそれが著しい場合には、主要な機能の一部喪失につながる恐れがあるため、地温が 100°C を大きく超える期間が長期に亘り継続しないことが必要である。しかし、100°C 未満でより低い温度になることによつて緩衝材のイライト化や性能(熱伝導率や透水係数等の温度依存性等)の大幅な向上は見られない。

よつて、熱環境に関しては、閉じ込め性能が大幅に向上するような地質環境特性の明確な基準を設定することは難しいと考えられる。

②力学場

閉じ込め機能からみた好ましい地質環境特性は「岩盤の変形が小さいこと」であることから(表 3.3.2.1)、「好ましい範囲」の要件としては「処分深度で安全性が大きく向上する程度に、岩盤の変形が小さいこと」と設定できる。

これは、地下深部では地下水の水圧や緩衝材の圧密変形に伴う反力などの外力がオーバーパックに作用する。さらに、岩種、地形、断層や処分深度の条件によっては、岩盤中の断層変位やクリープ変形等が考えられる。

一方、オーバーパックの耐圧に関する厚さは、作用する外力の中で最も大きい地下水

⁴⁵基本的に、人工バリア設置環境への地下水の影響については、工学的対策で対応できるものと考えられる。また、長期にわたり天然バリアの水理場が安定であれば、人工バリア設置環境も同様に長期にわたり安定であると考えられる。

の水圧の大きさにより決定しているため、「岩盤の変形が小さいこと」においてオーバーパックの安全性が大きく向上するような地質環境特性に関する明確な基準を設定することは難しいと考えられる。

③水理場

閉じ込め機能からみた好ましい地質環境特性は「地下水流動が緩慢であること」であることから（表 3.3.2.1）、「好ましい範囲」の要件としては「処分深度で安全性が大きく向上する程度に、地下水流動が緩慢であること」と設定できる。

地下深部の地下水流動が緩慢である場合、放射性物質の移行にかかる時間が長くなり、その間に放射能が減衰することから、安全性が大きく向上すると考えられる。地下水流動が非常に緩慢で長期に地下水が滞留している場所のような拡散が支配的となる場としては、具体的には透水性が非常に小さい場所や動水勾配が非常に小さい場所が該当するものと考えられる。

このように、地下水流動が緩慢であることは、岩盤の低い透水性と小さい動水勾配や地下水の滞留時間（地下水年代等）をもって示す必要がある⁴⁶が、それらについて全国規模で整理された情報が現時点では存在しないことから、地下水流動が緩慢であることを示す明確な要件・基準を設定することは難しいと考えられる。

④化学場

閉じ込め機能からみた好ましい地質環境特性は「高 pH あるいは低 pH でないこと」、「酸化性雰囲気でないこと」及び「炭酸化学種濃度が高くないこと」であることから（表 3.3.2.1）、「好ましい範囲」の要件としては「処分深度で安全性が大きく向上する程度に、高 pH あるいは低 pH でないこと、酸化性雰囲気でないこと及び炭酸化学種濃度が高くないこと」と設定できる⁴⁷。

地下水が高 pH あるいは低 pH の場合、ガラス固化体の溶解速度が速くなり、放射性物質の固有の溶解度が高くなるため、放射性物質の浸出率が増加する（Wicks et al., 1982; Inagaki et al., 2012 等）。炭素鋼オーバーパックを対象とした知見として、高 pH の場合はオーバーパック表面が不動態化し、局部腐食や応力腐食を引き起こしやすくなるが、緩衝材による pH 緩衝作用により、地下水の pH が 12 程度までであれば、不動態化を防ぐことができる（谷口ほか, 1999 ; JNC, 2005）。また、緩衝材の機能については、地下水が低 pH の場合において透水性や収着性が低下し、高 pH の場合は変質しやすくなる（JNC, 1999a）。また、一部の放射性物質の溶解度は、低 pH の場合あるいは高 pH の場合に増加する（武田, 1999 ; Lollar, 2005）。さらに、天然バリアの収着能は、低 pH の場合において低下する（舘ほか, 2008）と示されている。そのため、pH について

⁴⁶処分地選定調査においては、熱対流などの他の要素についても考慮する必要がある。

⁴⁷処分地選定調査においては、塩化物、硫酸化学種や錯体などの他の要素についても考慮する必要がある。

は、地下水が高 pH あるいは低 pH ではないこと (= 中性付近であること) が必要であるが、安全性が大きく向上するような明確な基準を設定することは難しいと考えられる。

酸化性雰囲気でないことに関しては、酸化性雰囲気になると一部の放射性物質の溶解度が高くなる (土井ほか, 2014; 藤原ほか, 2009; 武田, 1999 など) ため、酸化還元電位が一つの目安となると考えられ、負の値をとる場合は還元性の雰囲気であると判断することができる。しかし、酸化還元反応に対しては、pH や炭酸化学種濃度による影響があり得る。また、酸化還元電位については、一般的に地下深部が還元性雰囲気であることは認められているものの、酸化還元電位として全国規模で整理された情報がない。

炭酸化学種濃度については、炭酸化学種濃度が 0.5 mol/dm^3 未満であれば人工バリアの安全機能は確保されるものの、濃度が小さいほど人工バリアの安全性が大きく向上するわけではないため、明確な基準を設定することは難しいと考えられる。

以上から、化学場については、酸化還元電位が負であることは「好ましい範囲」の基準の一つになり得ると考えられるが、この値も pH や炭酸化学種濃度による影響があり得ることに留意する必要があるため、明確な基準を設定することは難しいと考えられる。

上記のように、①～④の個別要素に着目して検討を行ったところ、要素ごとに「好ましい範囲」の要件を定性的に抽出することは可能であるが、具体的な基準の設定は現時点ではほとんどの要素に対して困難であると考えられる。

また、3.3 に述べたように、地層処分システムの安全性に関する総合的な評価は、選定された個別地点を対象とし、現地調査の結果を踏まえて、将来の変動予測を行い、当該地点の地質環境特性の変動幅も評価した上で、熱環境、力学場、水理場及び化学場といった地質環境特性に影響を受ける多くのパラメータを適切に設定し、人工バリアや処分施設の設計を行いその結果に基づき行われる。このため、「好ましい範囲」の設定にあたっては、以下の点について留意が必要であり、現時点で要件・基準の設定は困難であると考えられる。

- 地域の科学的な特性を提示する際の検討に用いることとした全国規模で利用可能な文献・データは極めて限られる。特に地質環境特性の評価には、広域及び処分場スケールの地下深部までのデータが必要となるが、そうしたデータの収集にはボーリング調査等が必要となる。
- 前述のとおり、地質環境に期待される機能が発揮されるかどうかは、個別要素ごとには判断できず、個別データを収集した上で、個別要素間の相互作用も踏まえた総合的な評価を行う必要がある。また、幾つかの要素について相対的に高い性能が期待されるとしても、その他の要素次第では、システムとしての地層処分の成立可能性が低く、総合的な適性は低いと評価されることは十分にあり得る。

3.3.3 検討結果のまとめ

（「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」
「好ましい範囲」の設定可能性について）

地質環境の長期安定性に影響を与え、求められる「物理的隔離機能」及び「閉じ込め機能」を喪失するリスクは、回避する必要がある。そのようなリスクの要因として考慮すべき天然現象として、具体的には、火山・火成活動、隆起・侵食、地熱活動、火山性熱水・深部流体、断層活動があげられる。加えて、偶発的な人間侵入リスクを低減することも必要であり、現時点で予め考慮すべきものとして、鉱物資源探査活動があげられる。

これらの個別のリスクについて、それぞれ、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準の設定可能性及び具体的な範囲を確定するために必要な文献・データの有無について検討を行った。結果を表3.3.3.1に示す。

他方、「好ましい範囲」については、個別要素ごとには判断できるものはあるものの、個別要素間の相互作用も踏まえた総合的な評価を行う必要があるので、設定することは難しい。

今後、処分地選定調査のうち特に概要調査以降に個別地点毎に調査を行うことにより判断していくこととなる。

表 3.3.3.1 地質環境特性及びその長期安定性確保に関する要件・基準

	要件	分類	基準	マップの提示に用いることが適切と考えられる文献・データ
火山・ 火成活動	マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと	直接指標	第四紀火山の中心から 15 km 以内 第四紀の火山活動範囲が 15 km を超えるカルデラの範囲 ※火山中心の精査が必要なものについて留意が必要	日本の火山（第3版）（産業技術総合研究所, 2013） 日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会, 1999）
隆起・侵食	著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと	直接指標	過去 10 万年における最大侵食量が 300m を越えたことが明らかな範囲	（利用可能な文献がないため、代替指標で設定）
		代替指標	全国規模で体系的に整備された文献・データにおいて、将来 10 万年間で隆起と海水準低下による侵食量が 300m を超える可能性が高いと考えられる地域（具体的には、海水準低下による最大 150m の侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分（90 m 以上/10 万年）のエリア）	日本列島と地質環境の長期安定性 付図5 最近約 10 万年間の隆起速度の分布（日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編, 2011）
地熱活動	処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと	直接指標	処分深度で緩衝材の温度が長期に 100°C を大きく超える範囲	（利用可能な文献がないため、代替指標で設定）
		代替指標	処分深度において緩衝材の温度が 100°C 未満を確保できない地温勾配の範囲 ※第2次取りまとめにおける検討を参照すると、約 15°C/100m より大きな地温勾配の範囲	全国地熱ポテンシャルマップ（産業技術総合研究所, 2009）
火山性熱水・ 深部流体	処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと	直接指標	処分深度に火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな範囲	（利用可能な文献がないため、代替指標で設定）
		代替指標	地下水の特性として、pH4.8 未満あるいは炭酸化学種濃度 0.5 mol/dm ³ (mol/L) 以上を示す範囲 ※エリアで表現することが困難であることに留意が必要	全国地熱ポテンシャルマップ（産業技術総合研究所, 2009）
断層活動	断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等により閉じ込め機能が喪失されないこと	直接指標	活断層に、破碎帯として断層長さ（活動セグメント長さ）の 1/100 程度（断層の両側合計）の幅を持たせた範囲	活断層データベース（産業技術総合研究所ウェブサイト）
		代替指標	活断層に、破碎帯として断層長さ（起震断層長さ）の 1/100 程度（断層の両側合計）の幅を持たせた範囲	
鉱物資源	現在認められている経済的価値の高い鉱物資源が存在することにより、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されないこと	直接指標	現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大きな閉山鉱山や未開発発見済み鉱床が存在する範囲	（利用可能な文献がないため、代替指標で設定）
		代替指標	鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献データにおいて、技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲（ただし、当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。） ※炭田については、鉱量が示されているか否かに留意が必要 ※金属鉱物については、エリアで表現することが困難であることに留意が必要	日本油田・ガス田分布図第2版（産業技術総合研究所, 1976） 日本炭田図第2版（産業技術総合研究所, 1973） 国内の鉱床・鉱微地に関する位置データ集（第2版）（内藤, 2017）

（注意）記載した文献・データの原因の縮尺等については下記のとおり。

日本の火山（第3版）、日本油田・ガス田分布図第2版、日本炭田図第2版については、200 万分の 1。最近約 10 万年間の隆起速度の分布はリーフレット内の図であり、約 800 万分の 1（ただしメッシュは座標データ）。日本の第四紀火山カタログ、国内の鉱床・鉱微地に関するデータ集、全国地熱ポテンシャルマップは座標データ。活断層データベースは拡大縮小可能な WEB 上の画面であるが「表示される断層の位置についてはあくまで概略位置」としている。

3.4 地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性の確保に関する検討

地層処分施設の建設・操業は、閉鎖までの間を含めれば数10年程度（50年以上）にわたることが想定されており、地質環境に求められる長期安定性の時間スケールとは大きく異なるものの、十分に長期間に及ぶことが想定されている。その期間を通じて施設の安全性が継続して確保される必要があることは言うまでもない。また、実際に立地する場合には、埋設後の安全性のみならず、建設・操業時の安全性についても、十分に確保する必要がある。

このため、建設・操業時の安全性の確保についても、今回の要件・基準の検討の段階から考慮することが重要である。ただし、あくまで地質環境に求められる長期安定性とは考慮すべきリスクが異なる点に留意が必要である。

地下施設、地上施設ともに類似施設における施工実績や関連施設に関する規制基準等が存在することから、それらを参照しつつ、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」及び「好ましい範囲」の要件・基準について検討を行った。

高レベル放射性廃棄物の地層処分のための地下施設は、埋設後長期の物理的隔離機能を担保するため、地下300mより深い安定した岩盤に地下施設を設置することが求められている。高レベル放射性廃棄物は発熱量が高く、発熱による緩衝材への影響を防ぐため、4万本の廃棄体を1体ずつ間隔をあけて定置することが想定されている。その結果、図3.4.1に示す標準的なケースで、約3km×約2km程度の平面的な広がりが必要となる（NUMO, 2009b）⁴⁸。

地下施設は、平面的広がりとして上記の広さを有する地下構造物となる。類似事例として、地下トンネルの掘削があげられる。そこで、地下施設の建設作業従事者の安全性確保の観点から工学的対応が困難となる可能性のある事象について、トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説（土木学会，2016）（以下、「トンネル標準示方書」という）に示された、問題となる現象が発生し工事に多大な影響を及ぼす可能性がある特殊地山や「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）等を参照し、具体的には未固結堆積物、地熱・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有害ガスの7項目に加え、地震に対する影響についても検討を行った。

⁴⁸地層処分対象のTRU廃棄物は、発熱量が小さいため、廃棄体を集約して処分することが可能（標準的なケースで、約0.5km×約0.5kmであるものの、高レベル放射性廃棄物と併置処分する場合は、相互の影響を回避するため両施設間に300m程度の離間距離を置く必要があるとされている（NUMO, 2011）。

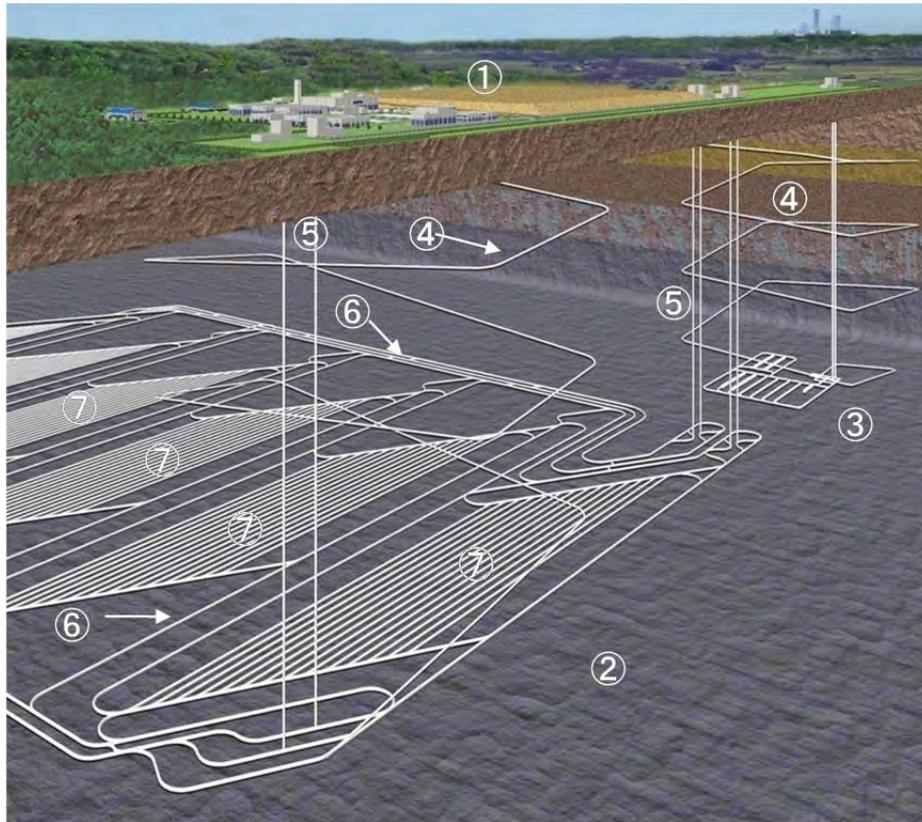
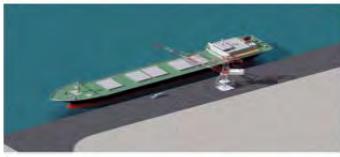


図 3.4.1 NUMOが想定している標準的な地下施設レイアウトの例 (NUMO, 2009b)

※比較的平坦な地形の内陸部に設置した場合を示している。図中の番号が示す施設は次のとおり。

(①地上施設、②高レベル放射性廃棄物処分場の地下施設、③地層処分低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物の一部) の地下施設、④斜坑、⑤立坑、⑥連絡坑道、⑦処分パネル (処分坑道の集合した区画))

また、現在想定されている主要な地上施設を図 3.4.2、図 3.4.3 に示す。地上施設は、ガラス固化体をオーバーパックに封入するなど放射性廃棄物を直接扱う工程を含み、事故等による公衆被ばくリスクを十分小さくするために操業中の安全性を確保できる施設であることが求められる。既に高レベル放射性廃棄物を貯蔵している類似施設が存在していることから、地上施設の建設・操業における回避対象として、廃棄物管理施設に関わる原子力規制委員会の規則等 (原子力規制委員会, 2013a, 2013b) に規定されている内容を参照し、施設を支持する地盤、地震による損傷の防止、津波による損傷の防止、外部からの衝撃による損傷の防止の 4 項目について検討を行った。



⑦



図 3.4.2 地上施設及び港湾施設 (NUMO, 2009b)

※比較的平坦な地形に設置した場合を示している。図中の番号が示す施設は次のとおり。

(サイト内：廃棄体の受入・検査・封入施設 (①高レベル放射性廃棄物、②地層処分低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物の一部)、③緩衝材製作施設、④換気施設、⑤排水処理施設、⑥掘削土の仮置き場、
サイト外：港湾⑦、輸送道路⑧)

地上施設への受入れ

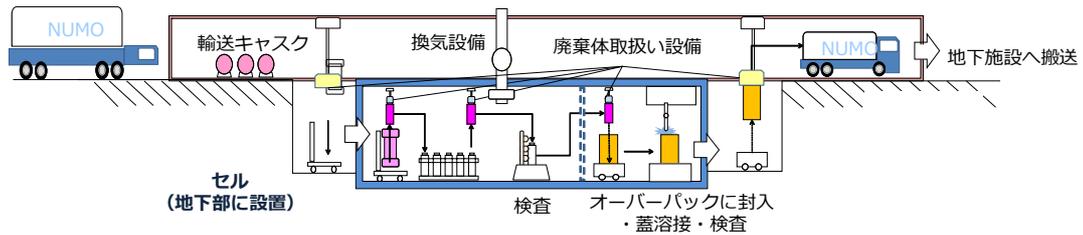


図 3.4.3 廃棄体の受入・検査・封入施設の概念図

上記を踏まえ、地下施設及び地上施設の建設・作業時の安全性確保についての検討事項について、表に整理すると表 3.4.1 のとおり。

表 3.4.1 地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性に関する検討事項

懸念事象	地下施設	地上施設
未固結堆積物	本WGにおいて検討	—
地熱・温泉		
膨張性地山		
山はね		
泥火山		
湧水		
有害ガス		
地震	—	本WGにおいて検討
施設を支持する地盤		
津波		
外部からの衝撃		

なお、地上施設と地下施設は、設計によっては一定程度距離が離れて設置される可能性がある。

3.4.1 地下施設の建設・作業に関する検討

地下施設の作業時の安全性に係る重要な要素としては、空洞安定性、地温、湧水などがあり、これらは建設時における安全性に関する対応により、作業時の対応を包含することとなる。また、作業時（数10年程度）における地下施設の劣化は顕著ではなく、必要があれば適宜対応を行うことが可能であると考えられる⁴⁹。

具体的に、トンネル標準示方書（土木学会，2016）に示された、問題となる現象が発生し工事に多大な影響を及ぼす可能性がある特殊地山や「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）等を参照し、表3.4.1.1で示される未固結堆積物、地熱・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有害ガスの7項目に加え地震について、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」が設定できるかについて、検討を行った。

⁴⁹作業時の安全性は、地上施設において、放射性廃棄物を受け入れ後、輸送容器から取り出しオーバーパック等に封入する間の工程の放射線に関する安全性が最も重要である。地下施設では、放射性廃棄物はオーバーパック等に封入した形で扱われることとなるため、地上施設の検討により包含できると考えられる。

加えて、上記の項目について安全裕度が大きく向上するかという観点から「好ましい範囲」が設定できるかについて、検討を行った。

表 3.4.1.1 地下施設の建設・操業に関する検討対象として抽出した事象

安全確保上の懸念事象	想定される事故の内容	工学的対応策の例	工学的対応の可否
未固結堆積物	坑道崩落。	グラウト等による全域を対象とした地山改良	施工例（土木学会（2016）解説表 7.4.1。29例）はあるが浅部が大半である。
地熱・温泉	地温が著しく高い場合、コンクリート支保の性能低下による坑道崩落。	必要に応じ支保再設置	安房トンネルの例 ⁵⁰ などあり。
	地温が著しく高い場合、湧水が水蒸気で噴出、また作業環境の悪化による健康被害。	換気設備等の増強	
膨張性地山	膨張量が大きい場合、坑道内空の狭小化による廃棄体運搬が困難。坑道崩壊。	支保再設置 グラウト等による地山改良	鍋立山トンネルなど（土木学会（2016）解説表 7.5.1。他に16例）の例あり。
山はね	山はね量が激しい場合、坑壁から岩片が飛散。坑道崩落。	掘削前のモニタリング管理等	清水トンネルなど（土木学会（2016）解説表 7.6.1。他に6例）の例あり。
泥火山	異常間隙水圧、ガス噴出量が大きい場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発。地温が高い場合、作業従事者のやけど。	グラウト等による地山改良 換気設備等の増強	施工例がある膨張性地山の原因として泥火山を指摘している例あり ⁵¹ 。
湧水	地下水が多く、断層などの水みちが多い場合、突発大量出水。	グラウト等による出水抑制	青函トンネルの例 ⁵² などあり。
有害ガス	ガス噴出量が大きい場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発。	換気設備等の増強	可燃性ガスへの対応の例 ⁵³ などあり。

⁵⁰松下（1992）

⁵¹田中・石原（2009）

⁵²竹林ほか（2005）

⁵³阿曾ほか（2006）

①未固結堆積物

一般的な未固結堆積物に関して、トンネル標準示方書（土木学会，2016）には「未固結地山」⁵⁴について、「未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、転石等からなる火山噴出物等」と定義している。

地層処分のための地下施設は深度 300 m より深い岩盤に建設されるため、このような未固結堆積物が地下深部まで存在する場合は、坑道掘削時に切羽が自立せずに崩落する可能性が高く作業従事者の安全が著しく損なわれることから、回避する必要がある。また、「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）や第 2 次取りまとめ分冊 1（JNC，1999b）では、「第四紀堆積層のうち、未固結なものは、地下施設の設置対象から除外する必要がある」とされており、最終処分法施行規則第 6 条でも「概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であることの記録がないこと」とされている。

これらを踏まえて、「第四紀堆積層のうち未固結堆積物層が分布する範囲」を「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」として検討する。ただし、深度 300 m 以深における上記の第四紀の未固結堆積物の分布の全国規模のデータに関するデータが存在しないため、代替指標を用いた検討を行うこととする。

未固結堆積物は坑道の安定性に影響するので地盤の力学特性に関連すると考えられるが、これらの関係を表す全国規模のデータは存在しない。既存文献においては、「既往事例に示す更新世前期以前の粘性土は高強度で、地表面沈下を制御できている事例が多いのに対し、本報告の対象地盤である更新世中期以降になると、年代が新しいため、地山物性に明らかに差が見られ、地表面沈下など変位の制御が難しい地山条件となる」（依田ほか，2009）とし、更新世中期以降の地層を未固結地山として捉えている。そのため、更新世中期以降（約 78 万年前以降）の地層は、未固結な状態の地層であると推定することが可能であると考えられる。

時代別の堆積層の分布を示す全国規模のデータとしては、地層年代と地層層厚の分布について整理した「日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版）」（越谷・丸井，2012）⁵⁵が存在する。

以上を踏まえ、本項目に係る要件・基準を以下のように設定することが適当である。

⁵⁴未固結堆積物と同義。

⁵⁵日本列島における約 1km メッシュあたりの地層境界面と層厚の三次元モデルのデジタルデータが収録されている。データのうち更新世中期以降に該当する 1km メッシュデータ数は 5,696 個である。

◆要件

処分場の地層が未固結堆積物でないこと

◆好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）の基準

処分深度に第四紀堆積層のうち未固結堆積物層が分布する範囲

※ただし、基準を適用する全国規模で体系的に整備された文献・データが存在しないことから、当該範囲を判断することができない。

◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準

深度 300 m 以深まで更新世中期以降（約 78 万年前以降）の地層が分布する範囲

次に、「好ましい範囲」の設定について、検討した。

定性的には、中古生層（粘板岩、砂岩等）、深成岩（花崗岩等）などの硬岩が、トンネルの施工が容易と考えられる（日本鉄建公団，1996）。定量的には、一般に、トンネル工事において施工の容易さ等の目安として地山強度比（岩石の一軸圧縮強さと、ある深度に対応する土被り圧の比）が用いられる。地山強度比が小さくても支保工の効果などにより、空洞安定性は確保できるが、地山強度比が 2 以上であれば、支保工が無くとも岩盤だけで坑道壁面での局所安全率が 1 以上となり、比較的高い空洞安定性が確保できる。このため、「処分深度において地山強度比が 2 以上の地層が分布している範囲」であれば対策が比較的容易になり安全裕度が大きく向上するため好ましいと考えられる⁵⁶。

ただし、上記が分かる全国規模で利用可能な文献・データは現時点では存在しないこと、実際の建設にあたっては他の影響も含めた検討を行う必要があることから、処分地選定調査において個別地点毎に判断することが適当と考えられる。

②地熱・温泉

トンネル標準示方書（土木学会，2016）では、地熱・温泉は基本的には「対策を検討する」方針であり、回避は必ずしも求められておらず、施工例も多くある（表 3.4.1.1）。従って、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」は設定しないことが適当である。

一方、作業従事者の健康を阻害せずに安全裕度が大きく向上するという観点から、大規模な冷房設備の導入を行わない坑道換気によって法令（労働安全衛生規則）で定められる温度（37℃）以下に維持できる範囲として、「処分深度で 45℃以下⁵⁷を確保できる範囲」は「好ましい範囲」と考えられる。なお、現時点において処分深度が確定していないこと、処分深度における温度を直接判断できるデータがないため、仮に代替指標と

⁵⁶仮に岩盤の単位体積重量を 20 kN/m³、深度を 300 m～1,000 m とした場合、必要な一軸圧縮強さは 12～40 MPa となる。

⁵⁷労働安全衛生規則 第 611 条で定められる温度（37℃）を維持。工学的対策（換気設備）だけで対応する場合、45℃程度であれば上記温度を保つことが可能。また、地下における作業において空調設備等を用いる場合には、作業環境温度を更に下げることが可能である。

して地温勾配を用いるにしても処分深度によって「好ましい範囲」として設定しうる地温勾配の値が変化することから、「好ましい範囲」の設定は困難であると考えられる。

③泥火山

泥火山は施工例がある膨張性地山の原因として指摘している例があり（表 3.4.1.1）、「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）において、「著しい影響を及ぼすと判断される場合は避ける必要がある」とされている。しかしながら、明確な基準の設定が難しく、個別地点毎に判断することが適当と考えられる。安全裕度が大きく向上するかという観点からの「好ましい範囲」の設定可能性についても同様である。

④その他事象（膨張性地山、山はね、湧水、有害ガス）

トンネル標準示方書（土木学会，2016）では、地熱・温泉、膨張性地山、山はね、湧水及び有害ガスの地山が特殊地山とされているものの、基本的には「対策を検討する」方針であり、回避は必ずしも求められておらず、施工例も多くある（表 3.4.1.1）。

従って、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」は設定しないことが適当である。また、安全裕度が大きく向上するかという観点からの「好ましい範囲」の設定可能性については、基本的には個別地点毎に工学的対応を行うことが適当であり、全国一律の明確な基準を設定することは難しいと考えられたことから、基準を設定することは困難である。

⑤地震

地震によるゆれの影響については、建設・操業時（数 10 年スケール）における地上施設・地下施設の耐震性と廃棄体埋設後の揺れの廃棄体への影響や地下水の変化による影響に分かれるが、ここでは、建設・操業時（数 10 年スケール）における地下施設の耐震性について示す。

地下の地震のゆれは、地表に比べて小さくなることが知られているが、地下施設において耐震対策が必要となる。具体的には、個別地点で起こりうる最大の地震動を想定し、構造や機能の健全性が確保されるよう、適切な工学的対策を行うこととなる。このため、全国一律の明確な基準を設定することは難しいと考えられたことから、基準を設定することは困難である。

3.4.2 地上施設の建設・操業に関する検討

既に高レベル放射性廃棄物を貯蔵している類似施設が存在していることから、地上施設の建設・操業における検討対象として、廃棄物管理施設に関わる原子力規制委員会の規則等（原子力規制委員会，2013a，2013b）に規定されている内容を参照して検討を行った。廃棄物管理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（原子力規制委員会，2013a）のうち、施設設置場所に関するものとして、施設を支持する地盤（第5条）、地震による損傷の防止（第6条）、津波による損傷の防止（第7条）及び外部からの衝撃による損傷の防止（第8条）がある（表3.4.2.1～3.4.2.4参照）。これらについて検討した。

表 3.4.2.1 廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー施設を支持する地盤ー

規則の概要	解釈の概要
1. 地震力が作用した場合においても十分に支持することができる地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震重要度分類に応じた地震力に対して、接地圧に対する十分な支持性能を有する設計であること ・安全上重要な施設は、基準地震動（※）による地震力に対する支持性能の確保（弱面上のずれ等の発生の検討含む） <p>※基準地震動：「その供用中に当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震動。実用炉設置許可基準の方針を準用。</p>
2. 安全上重要な施設に対して、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤	<p>「変形」とは地震発生に伴う下記</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み ・建物・構築物間の不等沈下 ・液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状
3. 安全上重要な施設に対して、変位が生ずるおそれがない地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれ ・安全上重要な施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭がないことを確認した地盤に設置

表 3.4.2.2 廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー地震ー

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は地震力に十分に耐えることができること	「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされること。
2. 地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定	「地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」を（耐震重要度）といい、その考え方を考慮する。
3. 安全上重要な施設は、大きな影響を及ぼすおそれがある地震力に対して安全機能が損なわれない	「大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震力は、実用炉設置許可基準の方針を準用。
4. 安全上重要な施設は、地震の発生によって生ずる斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれない	基準地震動による地震力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認。崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去及び敷地内土木工作物による斜面の保持等の措置。

表 3.4.2.3 廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー津波ー

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は、その供用中に当該廃棄物管理施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全性が損なわれない	<p>「大きな影響を及ぼすおそれがある津波」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全上重要な施設：実用炉設置許可基準を準用して策定 ・それ以外：過去の記録、現地調査の結果、行政機関等が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見等を踏まえ、影響が最も大きいもの <p>「安全性が損なわれない」ための設計の方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全性を確保する上で必要な施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く）は、津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置 ・津波による遡上波が到達する高さにある場合には、遡上波によって廃棄物管理施設の閉じ込め機能等の安全機能を損なわない（※） <p>※遡上波による安全機能への影響を評価し、施設の一部の機能が損なわれることがあっても、施設全体としては、閉じ込め等の機能が確保される。</p>

表 3.4.2.4 廃棄物管理施設に対する規則等の概要

－外部からの衝撃による損傷の防止－

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く）が発生した場合においても安全性を損なわない	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定される自然現象 洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等
2. 施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く）に対して安全性を損なわない	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人為によるもの（故意によるものを除く） 飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう ・ 「航空機落下」については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について⁵⁸」等を参考にし、防護設計がとられていることを確認 ・ 近隣工場における事故については、事故の種類と施設までの距離との関連においてその影響を評価した上で、必要な場合、廃棄物管理施設の安全性を確保する上で必要な施設が適切に保護されていることを確認

①施設を支持する地盤

施設を支持する地盤に関する要求の1つに「安全上重要な施設は、将来活動する可能性のある断層等⁵⁹の露頭がないことを確認した地盤に設置」(表 3.4.2.1)がある。これは、回避の対象と考えられるが、地上施設設置位置での現地調査による詳細情報が必要不可欠であり、そうした詳細情報が利用できない地域の科学的な特性を提示する段階では、本項目に関する「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準を設定することは適切でないと考えられる。

また、「好ましい範囲」については、地震時を含め施設を支持可能な固さの地盤が地表近くに存在する場合、安全裕度が大きく向上すると考えられる。

施設を支持するための基礎の形態は、大きく直接基礎（表層地盤の掘削などを行い、硬い地盤上に直接建物を構築）と杭基礎（硬い地盤まで杭を設置して施設を支持する）の2種類があるが、原子力関連施設の構造は、地震時の建物のすべりも考慮要素であり、それを防止する上で半地下の直接基礎構造の例が多い。既往構造物において基礎掘削で

⁵⁸原子炉施設周辺における計器飛行方式で飛行する民間航空機の飛行場の有無、原子炉施設上空における航空路の有無、原子炉施設周辺における自衛隊機又は在日米軍機（以下、「米軍機」という。）の基地の有無、原子炉施設及びその周辺上空における自衛隊機又は米軍機の訓練・試験空域（以下、「訓練空域」という。）の有無、原子炉施設上空における自衛隊機又は米軍機の基地－訓練空域間往復経路の有無等を考慮。

⁵⁹更新世後期以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できないもの。震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む。

対応している深さは「大深度地下使用技術指針・同解説」（国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室，2001）において深度 25 m 程度という値が示されている。

支持可能な地盤の固さとしては、類似施設の地震時の接地圧が 1 MPa 以下であることからこれ以上の岩盤強度が必要であるものの、このような力学特性について数 10 m 深さの値を整理したものは存在しない⁶⁰ため、「好ましい範囲」の設定は困難であると考えられる。

②津波

津波については、基本的に設計や評価を踏まえた安全機能の確認が要求されており、敷地ごとに影響を及ぼす可能性のある津波の波源を特定して設定するなど、現地調査を踏まえた個別具体的な検討により設定されるため、全国一律に回避が要求されている事象・特性は特に定められていない。従って、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準を設定しないことが適切と考えられる。

一方、「好ましい範囲」については、津波の到来に対応するためには、基本的に標高の高いところに重要な地上施設を設置するか、防潮堤などの工学的対策を行うことが考えられる。想定される津波の高さが一般的な海岸堤防等の規模であれば、安全裕度が大きく向上すると考えられる。

津波の検討にあたっては、「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（中央防災会議）」等で示されている実際に発生した地震時における地域毎の津波の浸水高・遡上高を示したデータや、「日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書」（日本海における大規模地震に関する調査検討会，2014）等で示されている市町村ごとの海岸線における最大津波高さのデータがある。ただし、このデータは東日本大震災前に収集されたものであり自治体ごとに見直し作業が進んでいること、局所的な地形の影響により海岸部に到達する津波の規模も大きく変動することに留意が必要である。また、「海岸堤防・護岸構造収覧」（柴田ほか，1983）では、30 箇所程度の堤防の規模に関する情報が公開されており、それらの堤防の工事基準面からの天端高について集計すると、平均は 6 m 程度である。また、既存の原子力関連施設では、海岸堤防と同様の機能を有する防潮堤として 15 m 程度の高さのものを構築している実績がある。

基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド（原子力規制委員会，2013c）では、評価地点における基準津波の水位に対する耐津波設計⁶¹を示している。基準津波の設定

⁶⁰近年は地盤の硬さを表す指標としてせん断波速度（Vs）も用いられることが多い。ただし、深度方向も含めたせん断波速度の全国大のデータは存在しない。

⁶¹基本方針として、(1) 敷地への流入防止、(2) 漏水による安全機能への影響防止、(3) 津波防護の多重化、(4) 水位低下による安全機能への影響防止の 4 点を掲げ、防護方針を策定。

にあたっては、広域的なデータのみならず個別地点における地震や地形などの詳細なデータが必要となる⁶²。

これらを踏まえ、「平均的な海岸堤防等により、津波の到来を回避できると考えられる範囲」は好ましいと考えられる。ただし、廃棄体の受入・検査・封入施設への津波の到来を確実に防止するためには、個別地点での津波の到達履歴なども調査した上で適切な標高の場所に設置することが望ましい。また、工学的対策についても個別地点の詳細情報に基づく海岸堤防等の三次元的な配置を考える必要があることから、処分地選定調査において個別地点毎に判断することが適当と考えられる。

③地震

地震については、基本的に設計や評価を踏まえた安全機能の確認が要求されており、敷地毎に影響を及ぼす可能性のある地震力の震源を特定して地震動を設定するなど、現地調査を踏まえた個別具体的な検討により設定されるため、全国一律に回避が要求されている事象・特性は特に定められていない。従って、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の要件・基準を設定しないことが適当と考えられる。

一方、「好ましい範囲」については、地震動の大きさについては、全国規模の文献・データの例として「確率論的地震動予測地図－全国地震動予測地図 2016年版」（地震調査研究推進本部，2016）があるが、施設に影響を及ぼす地震力は、敷地ごとに震源を特定して地震動を設定するなど、現地調査を踏まえた個別地点毎の検討により設定される（原子力規制委員会，2013d）ため、現時点ではこのような地震力を正確に想定できない。また、安全機能が損なわれないための耐震性の確保は、構造物の変形能力、機器・配管系の耐荷重性能等、多岐にわたるため、一律に耐震性確保が比較的容易となる範囲を設定することが難しい。

④外部からの衝撃による損傷の防止

外部からの衝撃による損傷の防止⁶³には、自然現象に加えて「航空機落下」等の人為的な事象も含まれている。これらのうち、回避を要求していると考えられるのは火山の影響である。火山の影響については、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（原子力規制委員会，2013e）（以下、「火山影響評価ガイド」という）が参照できる。ここでは、設計対応不可能で立地により影響を回避すべき火山事象として火砕物密度流等などが設定されているため「好ましくない範囲」を検討した。

火山影響評価ガイドでは、立地評価として、周辺の完新世（約1万年前以降）に活動

⁶²最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定。

⁶³想定される自然現象として「洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等」としており（表 3.4.2.4）、土石流など他の自然現象も含まれると考えられる。個別地点の処分地選定調査において考慮する必要がある。

があるなど将来の活動が否定できない火山を抽出して、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口、地殻変動の影響の可能性が十分小さくない場合、立地不適としている。

このように個別評価が必要なことから「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」とはできないものの、それにあたる可能性が比較的高いと言う意味で、完新世の設計対応不可能な火山事象の痕跡が認められる場所を「好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）」として検討した。全国規模で利用可能な文献・データの例として「20 万分の1 日本シームレス地質図」（産業技術総合研究所ウェブサイト）があり、上記事象に対応するものとして完新世の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲を特定することができたため、本項目に係る要件・基準を以下のように設定した。

◆要件

操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより施設の安全性が損なわれないこと

◆好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）の基準

（現地調査による詳細な情報を基に個別具体的に判断するため、設定しないことが適当と判断）

◆好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）の基準

完新世（約1 万年前以降）の火砕流堆積物⁶⁴・火山岩⁶⁵・火山岩屑の分布範囲

* 火山影響評価ガイドでは完新世に活動はないものの第四紀（約260 万年前以降）の火山については将来の活動性を評価することを求めていることに留意が必要である。また、設計対応が不可能な事象のうち「新しい火口の開口」による操業期間中の影響が発生する可能性が高い範囲は、地質環境特性及びその長期安定性の確保の観点での「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」の要件・基準の候補である「第四紀火山から15 km の範囲」に含まれると考えられる。

一方、想定される自然現象（地震及び津波を除く）の外部事象に関する類似施設の規制の要求は「施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く）が発生した場合においても安全性を損なわない」ことである（表3.4.2.4）が、これらの影響は現地調査等を踏まえて個別地点毎に評価されるものであることから、「好ましい範囲」を設定することは困難と考えられる。

⁶⁴火山岩類（非アルカリ火砕流）

⁶⁵非アルカリ珪長質岩類、非アルカリ苦鉄質火山岩類、苦鉄質火山岩類（アルカリ）

3.4.3 検討結果のまとめ

3.4.3.1 「好ましくない範囲」の設定可能性について

地下施設及び地上施設の建設・操業時の安全性確保については、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」は設定ができなかったが、「好ましくない範囲（代替指標から推定される範囲）」について検討を行った。要件・基準と利用可能な文献・データの例を表 3.4.3.1.1 に示す。

表 3.4.3.1.1 地下・地上施設の建設・操業時の安全性確保に関する要件・基準

	要件	分類	基準	マップの提示に用いることが適切と考えられる文献・データ（※）
(地下施設) 未固結堆積物	処分場の地層が未固結堆積物でないこと	直接指標から確認	処分深度に第四紀堆積層のうち未固結堆積物層が分布する範囲	(利用可能な文献がないため、代替指標で設定)
		代替指標から推定	深度 300m 以深まで更新世中期以降（約 78 万年前以降）の地層が分布する範囲	日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版）（越谷・丸井，2012）
(地上施設) 火山の影響	操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより施設の安全性が損なわれないこと	代替指標から推定	完新世（約 1 万年前以降）の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲	20 万分の 1 日本シームレス地質図（産業技術総合研究所ウェブサイト）

（注）記載した文献・データの原因の縮尺等は下記のとおり。

日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版）は A 4 縦のレポート内の図であり、約 1000 万分の 1。これとは別に作図の基となった数値データあり。日本シームレス地質図は、数値データだが基とした図面の縮尺は 20 万分の 1。

3.4.3.2 「好ましい範囲」の設定可能性について

地下施設、地上施設ともに、安全性を大きく向上させるような基準を具体的に設定することは困難であると考えられる。

3.5 輸送時の安全性に関する検討

地層処分の対象となる放射性廃棄物は、貯蔵場所（日本原燃（株）：青森県六ヶ所村、日本原子力研究開発機構：茨城県東海村）から最終処分施設までの輸送が必要である。輸送物（輸送容器）については、「放射性物質安全輸送規則（Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material）」（IAEA, 2012）に基づき、技術基準等が核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子力規制委員会）や船舶安全法（国土交通省）等により規定されている。具体的には、これらの規則を踏まえ、衝突事故や火災等に対しても放射線の遮蔽と放射性物質の閉じ込め機能を有するものを輸送容器としており、現在使用されている輸送容器（キャスク）は一基あたりの総重量が約 115 トン（ガラス固化体等 28 本分の重量を含む）もの重量物である⁶⁶。さらに年間の輸送量は、高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体が約 1,000 本、地層処分対象の TRU 廃棄物が約 3,600 本相当（ガラス固化体の形状・重量として試算）と見積もられる⁶⁷。

上記に加え、放射性廃棄物等の輸送については、数 10 年以上にわたる期間において、毎年相当量の放射性廃棄物の輸送が発生し、その期間を通じて放射性廃棄物の輸送の安全性に関わる規制基準を順守し、安全性を継続して確保することが必要である。輸送時には、地下施設・地上施設の立地地点以外の地域に対しても、公衆被ばくや核セキュリティの観点から広く影響を与え得ることから、諸外国においても放射性廃棄物の輸送について、処分地選定の初期段階から要件として考慮に入れている場合が多い（原子力環境整備促進・資金管理センター, 2015）。また、日本は狭小な国土に対して人口が多く、急峻な地形が多く平野部が少ないため、放射性廃棄物の大規模輸送は諸外国と比べても現実的に大きな困難を伴う可能性が高い。

上記を踏まえ、地域の科学的な特性を提示する段階から考慮することが重要と判断し、検討を行った。

具体的な基準の検討に際しては、国際機関（IAEA）が示している指針類（IAEA, 2012）や国内での規制基準等を使用した。

なお、地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準に関する検討においては、あくまで 3.3 までで議論した地質環境特性及びその長期安定性確保が最重要であり、その上で

⁶⁶一般的には、公衆被ばくの観点から輸送回数が少ない方が望ましいため、一度に大量輸送ができることが望ましい。キャスクの大きさを小さくすることも可能であるが、キャスクには一定の遮蔽厚が必要となるため、キャスク重量はガラス固化体の数に比例して減ることはない。

道路の荷重制限（特殊車両許可を得て 44 トン）を越える場合は、道路を補強する必要がある。仮にこの重量までキャスクを小さくする場合はひとつのキャスクに 4 本のガラス固化体を収納。年間 290 回程度（（地層処分対象の TRU 廃棄物を含み、1 回の輸送で 4 台の車両によりガラス固化体 16 本相当の廃棄物を輸送とした場合））の頻度で運搬することとなり公衆被ばくのリスク（事故発生リスクを包含する）が増加する。

公衆被ばくのリスクを減らすため、輸送回数を減らそうとするとキャスクを大きくする必要がある。その場合、車両の重量が大きくなればなるほど、道路の補強、クレーンの増強等が必要となることから、輸送回数とその他工学的に必要な対応とのバランスを考えた場合に、NUMO としては現在の仕様（ガラス固化体 28 本、積載物と車両の総重量 150 t 程度）が適当と考えている。一方で、今後工学的対応の進捗や重量制限等による制度変更によっては、他のサイズの可能性もあり得る。

⁶⁷高レベル放射性廃棄物と地層処分対象の TRU 廃棄物の処分施設を併設する場合を想定している。

付加的な要素として輸送時の安全性について検討したものであることに留意が必要である。

3.5.1 輸送時の安全性に関する検討項目の抽出・整理

放射性廃棄物の輸送については、国内外において、既存の原子力発電所などからの輸送が既に行われており、法体系も整備されている。従って、本検討ではそれらを参考としつつ、安全性の確保に影響を与える検討項目として、セーフティ（公衆被ばく）、核セキュリティの観点から検討を行った。

輸送方法については、国内外の実績として陸上輸送（鉄道、車両）、海上輸送（船舶）の3つの方法について検討を行った。

3.5.2 「好ましい範囲」の要件・基準

①長距離輸送

日本は南北で距離が1,000 kmを超えることから、まず長距離輸送（陸上（鉄道、車両）、海上（船舶））を前提に、比較、検討を行った。

公衆被ばくの観点からは、米国運輸省が様々な輸送経路、輸送方法を組み合わせた比較検討をしており、輸送方法と公衆被ばくの関係は以下のように整理される（U.S.Department of Transportation, 1998）。

- 事故発生確率を考慮すると、事故時の被ばくリスクは、通常輸送時の被ばくリスクより小さい。
- 通常輸送時の被ばくリスクでは、最も影響を与える「輸送時間」を考慮するとともに、「人口密度」や「輸送距離」も考慮する必要がある。
- 一度に運べる輸送量は輸送回数に影響し、結果として全リスクに影響を与える。
- 車両輸送は、鉄道、船舶より輸送回数が多くなり、通常輸送時・事故時の被ばくリスクが高まる。

上記を踏まえ、輸送時間が同程度だとすると人口密度の観点から「人口密集地を通過しない輸送方法」、輸送時間、事故発生率等の観点から「一度に確実に大量に運搬できる輸送方法」が好ましいと考えられる。

また、核セキュリティの観点から、ガラス固化体の輸送時の防護区分として、不法移転に対して慣行による慎重な管理、妨害破壊行為に対して遅延（情報漏洩防止等の保護：いつ、どこを通過するか等の情報を管理、対象への接近を困難化）、検知（対象物の点検及び報告）、対応（連絡体制の確立）、管理（運搬責任者の配置及び緊急時対応計

画等の作成)及び立入制限措置(輸送中の停止時情報)などの区分Ⅲと呼ばれる対策が必要とされている(原子力規制委員会, 2013f; 原子力委員会 原子力防護専門部会, 2007; IAEA, 2015)。

上記を踏まえ、情報漏洩防止等の保護対策の観点から「予め経路が反映していない輸送方法」、陸上輸送が複数日にわたり宿泊等のため途中で停止する場合は「立入制限措置がしやすい輸送方法」が好ましいと考えられる。

長距離輸送の観点から3方法(陸上(鉄道、車両)、海上(船舶))についてセーフティ(公衆被ばく)、核セキュリティの観点を中心に比較検討を行った(表3.5.2.1)。その結果、以下の観点から海上(船舶)輸送が最も好ましいと考えられる。

- 3方法の中で、人がいない海上を通るため、最も公衆被ばくリスクが低い
- 3方法の中で、あらかじめ輸送経路が判明する可能性が低いことと、停止時の立ち入り制限措置の施設が不要(船舶で代替可能)であることから最も核セキュリティ上のリスクが低い
- 交通インフラ上の制約は特に存在せず、1回で大量輸送が可能であり、海外からの返還ガラス固化体の輸送実績もある

なお輸送時の自然災害等における対応については、基本的には現時点において検討するのではなく、個別地点毎に、自然災害等と遭遇しないよう輸送方法や輸送経路等を考慮する、緊急時の対策を考慮するなどの対策を実施することが必要である。

②海上輸送を前提とした場合の港湾から最終処分施設までの短距離輸送

港湾から最終処分施設までの輸送については、海上輸送で用いたキャスクのまま陸上輸送(鉄道、車両)を行うことを想定している。そのため、鉄道は既存の鉄道がない可能性が高いことから専用鉄道敷設が好ましく、車両は重量制限の観点⁶⁸から専用道路の敷設が好ましい。検討を行った結果(表3.5.2.2)、鉄道と車両においてどちらが優位であるかは一概には決められない結果となった。ただし、いずれの方法とも、公衆被ばく及び核セキュリティの観点から、輸送時間が短いことが好ましいことに加え、斜面勾配⁶⁹と鉄道・車両の登坂能力の制約により輸送できる地形は限られることや、既存のインフラに影響を与えないルートの設定を行う観点からは、海上輸送された輸送物を港湾から輸送する距離が短いことが好ましいと考えられる。

①、②の検討結果から、輸送の安全性確保の観点では以下が好ましいと考えられる。

⁶⁸国道・高速道路における車両重量は上限25トン(特殊車両通行許可取得時上限44トン)(道路法に基づく車両制限令)従って、現在想定している100トンを越えるキャスクを用いる場合、路盤や橋梁の補強なしでは輸送車両が通行することはできない。

⁶⁹鉄道の場合、線路の最急勾配が3.5%(普通鉄道構造規則)、車両の場合、設計速度20km/hの場合の道路の最大縦断勾配は9%(特例値で12%)と定められている(道路法に基づく道路構造令)。

- 長距離輸送の場合、海上輸送を用いること。
- 廃棄体輸送船が接岸可能で維持管理が容易な港湾の確保が可能なこと。
- 港湾から最終処分施設までの専用道路の勾配が緩やかであること。
- 実績や専用道路/専用線の敷設の観点から、確保可能な港湾（海岸）からの距離が短いこと。

港湾（海岸）からの距離については、これまでの輸送の実績や、実施主体が想定する輸送計画を考慮することが適当である。具体的には、国内における陸上輸送実績は10 km 程度である。また、海外返還ガラス固化体輸送実績を参考に想定した場合、検査、荷役、諸手続等の工程で約10 時間程度かかることが想定される。実施主体が想定する輸送計画では、保守的に考えて実際の輸送時間は実質2 時間以内に完了させるよう計画することが好ましいとしており、港湾（海岸）からの輸送は20 km（10 km/h×2 時間）程度より短い範囲に抑えることが好ましいと考えられる。港湾（海岸）からの距離が短い範囲としては、島嶼部を含む沿岸部⁷⁰が考えられる。

このうち、港湾（海岸）からの距離が20km 以内の地域であっても、輸送実績から約7.5%の勾配で20km 進んでも到達できない標高1500m 以上の場所は除く⁷¹こととする。

⁷⁰沿岸部に最終処分施設を設置するにあたっては、地上施設は沿岸部陸域に、その後、斜坑を通じて沿岸海底下に地下施設が設置される場合も想定されるため、別途、3.7 において検討を行った。

⁷¹標高データについては、国土数値情報（国土地理院）のメッシュ（1km 四方）のデータを用いることとする。

表 3.5.2.1 長距離輸送における輸送方法の比較

方法	輸送回数等	公衆被ばくの 観点	核セキュリティ	交通インフラ上の 制約等
鉄道	貨車 1 両でガラス固化体等 28 本収容キャスク 1 基を輸送可能。必要な貨車総数は 166 両。貨車の牽引力から 30 回以上に分けて輸送。	3 方法の中で、通常時の公衆被ばくリスクは中程度。(○)	予め経路が判明する可能性が高いため、「遅延」(情報漏洩防止等の保護)対策の観点から、好ましくない。(△) 宿泊等のため途中で停止する場合は、立入制限措置のために特別な施設が必要となる。(△)	勾配の制限から、輸送できる範囲が限定される。(△) 日本における輸送実績がない。(△) ターミナル駅から処分場等まで、専用線の敷設が車両輸送が必要。(△)
車両	1 車両で輸送できるガラス固化体等は 4 本程度。 1 回に 4 車両で輸送する場合、年間 290 回程度に分けて輸送。	3 方法の中で、通常時の公衆被ばくリスクは最も高い(△)。公道の重量制限から一台の車両ではガラス固化体等を 4 本までしか運べず、輸送回数が増加。(△)	予め経路が判明する可能性が低いため、「遅延」(情報漏洩防止等の保護)対策の観点から、好ましい。(○) 立入制限措置のために特別な施設は基本的には不要と考えられる。(○)	路盤、橋梁の補強あるいは輸送キャスクの小型化が必要。(△) 輸送距離・時間・回数の増加に伴い事故発生リスクも増加。(△)
海上 (船舶)	3,000t 級の船舶 1 台で 500 本程度のガラス固化体等を輸送可能。 1 年にガラス固化体等を 10 回程度に分けて輸送。	3 方法の中で、通常時の公衆被ばくリスクが最も低い。(◎)	予め経路が判明する可能性が低いため、「遅延」(情報漏洩防止等の保護)対策の観点から、好ましい。(○) 立入制限措置のために特別な施設は基本的には不要と考えられる。(○)	海上輸送の実績あり。また、1 回にガラス固化体等を最大 500 本程度大量輸送できる。(○) 船舶の規模から接岸できる港湾が限定されるため、適用港湾がない場合は既存港湾を改修するか新規建設する必要がある。(△) 港湾から処分場まで、陸上輸送(鉄道輸送が車両輸送)が必要。(△)

表 3.5.2.2 短距離輸送における輸送方法の比較

方法	輸送回数等	公衆被ばくの 観点	核セキュリティ	交通インフラ 上の制約等
鉄道	貨車 1 両でガラス固化体 28 本収容キャスク 1 基を輸送可能。必要な貨車総数は 166 両。貨車の牽引力から 30 回以上に分けて輸送。	車両輸送に比べて 1 回当たりのガラス固化体輸送で、大量輸送でき、輸送時間が短いことから、公衆被ばくリスクが車両輸送より小さい。(◎)	予め経路が判明する可能性が高いため、「遅延」(情報漏洩防止等の保護)対策の観点から、好ましくない。(△)	既存鉄道や道路と交差するところでは、バイパス(トンネルまたは鉄道橋)を新規建設する必要がある。従って、距離が長くなれば、バイパス箇所が増加。(△) 普通鉄道構造規則では、鉄道勾配は最大でも 3.5% である。車両輸送より輸送できる地形が限定される。(△) 鉄道の場合、キャスク重量、寸法を満たす鉄道施設を事業者自ら開発し、建設、所有、維持管理する必要がある、そのための組織体制を整える必要がある。(△)
車両	車両 1 両でガラス固化体 28 本収容キャスク 1 基を輸送可能。必要な車両は 166 両。1 回に 4 車両で輸送する場合、42 回程度に分けて輸送。	鉄道輸送より公衆被ばくリスクは高いが、専用道路であるため、一般道を使うより公衆被ばくリスクは軽減される。(○)	予め経路が判明する可能性が高いため、「遅延」(情報漏洩防止等の保護)対策の観点から、好ましくない。(△)	既存鉄道や道路と交差するところでは、バイパス(トンネルまたは鉄道橋)を新規建設する必要がある。従って、距離が長くなれば、バイパス箇所が増加。(△) 車両重量が重い場合、車両の登坂能力を考慮すると、勾配は最大で 10% 程度(実績としては 7.5%) であることから、輸送できる地形が限定される(ただし、鉄道と比較した場合は容易)。(○)

3.5.3 検討の結果のまとめ

（「好ましい範囲」の設定可能性について）

日本の国土は南北で 1,000 km を超えることから、原則として長距離輸送が必要との前提で検討を行うことが適当である。検討の結果、現行法制度における制約等を前提とした場合、陸上輸送（鉄道、車両）は海上輸送に比べて困難性が高く、海上輸送が最も好ましいと考えられる。

長距離海上輸送を前提とした上でも、最寄りの港湾から最終処分施設までは陸上輸送を行うこととなるが、その際には、現行の法制度における制約等を前提とし、かつ交通インフラ上の制約（勾配の制約や専用道路等の敷設可能性等）を勘案した場合、安全性の観点（セーフティ（公衆被ばく）及び核セキュリティの観点）から、港湾（海岸）からの距離が短いこと（島嶼部を含む沿岸部（地下施設が沿岸海底下に設置される場合を含む））を「好ましい範囲」の要件とすることが適当と考えられる。

その基準については、これまでの陸上輸送実績が 10 km 程度であることや、核セキュリティの観点から実施主体が想定する輸送計画を検討した結果、沿岸から 20 km 以内を目安とすることが適当と考えられる。

ただし、日本特有の問題として、急峻な地形が多く平野が少ないという特徴がある。輸送の観点からは、地形も影響することから、それらを考慮していくことが重要となる。

もちろん、こうした沿岸部であっても、具体的な最終処分施設を選定する過程においては、港湾の利用可能性、港湾からの道路・鉄道等の交通インフラの敷設可能性及び天然現象の回避等を実施主体として個別に調査し考慮する必要がある。また、20 km を超えるような内陸部においても、地点毎に見れば、海岸からの勾配が緩やかであること等により輸送ルートの確保が可能な地域は存在し得ること、また、大規模トンネル等による交通インフラ面での対応や輸送容器等の資機材面での対応など、工学的対応により最終処分施設を建設することが可能となり得る。逆に 20 km 以内の場所においても、急峻な地形等により交通インフラの敷設等が難しい場合も考えられる。

なお、上記のように 20 km を越えることにより輸送における安全性が確保できなくなるわけではないため、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）」の設定は行わないことが適当であると考えられる。

なお、廃棄体輸送時における自然災害に対する影響（地震・火山・津波等）については、輸送計画や輸送経路等の変更により対処することが可能であると考えられる。

①地震

海上輸送時においては、地震の影響は受けない。陸上輸送（車両、鉄道）は、発生時に通過している場所でのインフラの耐震性が、発生した地震に対して十分でない場合、インフラの損傷による輸送継続不可能などの影響を受ける場合がある。その場合、車両

輸送であれば、輸送ルートの変更などで対応が可能であると考えられる。

②火山

海上輸送の際には、海底火山による水蒸気爆発等に影響を受ける可能性がある。しかし、海底火山付近を避けた経路設定が選択可能である。また、陸上輸送の際には、陸域火山による火砕流、溶岩流、噴石等の影響を受ける可能性があるが、噴火予報・警報情報を基に輸送時期を調整することで対応が可能であると考えられる。

③津波

津波は沿岸部に向かって水深が浅くなるにつれて津波高さが大きくなる。よって、海上輸送は沿岸部を通過中の場合、影響を受ける可能性があるが、津波の影響の小さくなる水深の深いところを通過中であればほとんど影響を受けない。船舶が接岸中に津波が発生した場合、離岸し沖合まで避難するといった対策が可能である。船舶が被災を免れなくても港湾が被災する可能性については、予め防波堤などの工学的対策により影響を低減できる。陸上輸送中に津波が発生した場合、津波の影響を受ける可能性があるが、津波の届かない高台まで一時避難するなどの対策を講じることが可能であると考えられる。

3.6 事業の実現可能性に関する検討

これまで安全性確保に対して直接影響を与える要件について回避する必要があるか否かを中心に検討を行ってきたが、処分事業の円滑な実施を妨げる可能性が高い場合には結果的に事業の安全性確保が損なわれることも考えられるとの観点から、事業の実現可能性についても検討を行うこととした。具体的には、技術WGでは、安全性確保の観
点の議論とは別であるものの、安全性に密接に関連する技術的な観点からの検討として、
処分事業自体の安全性確保を前提とした円滑な実施の観点から考慮すべきものとして、
調査・評価の事前の評価の容易性や用地確保の可能性について検討を行った。

3.6.1 「好ましい範囲」の要件・基準

事業の実現可能性については、具体的な検討項目と結果は以下に示すとおりである。

①地質環境評価の容易性

- 地下 300 m 以深の地質環境に関する情報は限られるため、特に概要調査以降において、調査を行いデータを取得することにより安全評価を行っていくこととなる。その際、調査・評価が容易である方が、総合的な安全評価における不確実性を低減できる可能性が高いという考え方の下、特に地質構造や、地下水流動の観点から、その評価の容易性について検討した。
- 地質環境を適切に把握するには、比較的レベルに近い成層構造、平野部等（沿岸海底下や島嶼部等を含む）の比較的なだらかな地形など、地質構造が単純である方が一般的に好ましいと考えられる。
- 地下水流動の観点からは、総合的な評価では地下水シナリオの検討が重要である。具体的には、地下水流動の始点（涵養域）から終点（流出域）までの経路を把握した上で処分場の位置を適切に設定していく必要がある。深度 300 m より深い地下深部の地下水流動系の把握には、処分場からかなり離れた涵養域、流出域を含む広範囲のスケールの評価が必要である。よって、地下水流動場の把握が容易である方が一般的に好ましいと考えられる。具体的には上述の地質構造の単純さに加えて、動水勾配の分布が比較的単純になると考えられるなだらかな地形が例として挙げられる。
- 上記を踏まえると、地質構造が比較的単純な地域（例えば、地下水流動経路において単純な水理地質構造となっている地域、比較的レベルに近い成層、平野部⁷²等（沿岸海底下や島嶼部等を含む）等）、地下水流動の把握が比較的容易な地域などがこの「好ましい範囲」であると考えられる。

⁷²平野部は沖積層が厚く堆積していることが多い。

②概要調査段階以降の調査の容易性

- 現地調査となる概要調査、精密調査段階から、関係法令による制約が発生する（例えば、私有地の場合であれば地権者との契約を結ぶ、公有地⁷³であれば許認可を得るなど必要な手続きを経る必要がある）。仮に、土地利用上の制約により現地調査ができない場合は、十分なデータを取得することができず、安全性に関する総合的な評価も難しいため、次の調査段階に進むことが困難となる。
- 上記を踏まえると、概要調査段階以降の調査にあたっては、関係法令等で土地利用が制限されていないなど土地の借用や取得において制約が少ないことが好ましいと考えられる。

3.6.2 検討結果のまとめ

（「好ましい範囲」の設定可能性について）

地質構造が比較的単純である、地下水流動の把握が比較的容易である等の特徴を持った、将来を含めた地質環境の調査及び評価が比較的容易な地域は「好ましい」と考えられる。そうした地域としては、例えば平野部等（沿岸海底下や島嶼部等を含む）の比較的なだらかな地形の部分が該当すると考えられる。

また、特に概要調査以降の調査上の自由度を確保する観点からは、関係法令等で土地利用が制限されていないなど土地の借用や取得において制約の少ないことは「好ましい」と考えられる。

ただし、これらの特徴については今後の処分地選定調査において個別地点毎に詳細を調べる必要があるため、地域の科学的特性の提示の段階で一定の基準を定め、それに基づき具体的な地理的範囲を示すことは困難であると考えられる。

⁷³沿岸部の陸域については私有地・公有地である可能性があるが、海域については、昭和61年12月16日の田原湾干潟訴訟の最高裁判決において「海は、(中略)国の直接の公法的支配管理に服し、特定人による排他的支配の許されないものであるから、そのままの状態においては、所有権の客体たる土地に当たらない」とされている。

3.7 沿岸部に関連する事項

特に沿岸部（島嶼部や海底下を含む）については、輸送時の安全性の確保の観点から「好ましい範囲」と整理したが、それ以外の観点から沿岸部に期待される一般的な特性や建設・操業時の安全性、事業の実現可能性についての検討を行うことが適当であるとの技術WGの問題意識を踏まえ、技術WGとは別に有識者及び基盤研究開発機関等による研究会⁷⁴が開催され平成28年8月に報告書が取りまとめられた。研究会の報告書の内容について、本WGにおいても妥当であるとの評価が得られた。

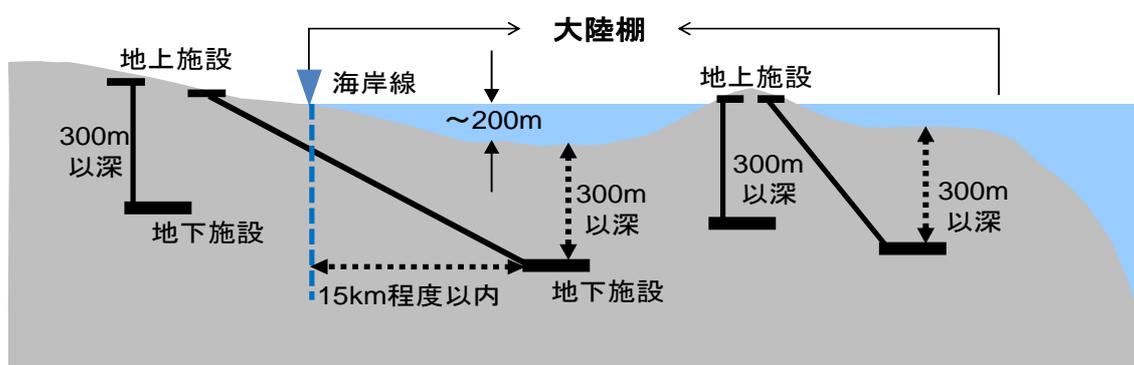


図 3.7.1 沿岸部における地層処分のイメージ⁷⁵

3.7.1 沿岸部の特性

沿岸部で地層処分を行うことを想定し（図3.7.1）、地層処分による長期的安全確保にとって重要な閉じ込め機能と物理的隔離機能に関して特に考慮すべき特性を整理した。沿岸部に期待される特性は以下のとおりである。

<沿岸部に期待される主な特性>

- 動水勾配が極めて小さい（地下水流動が緩慢である）場所や、化石海水が残留する場所など長期にわたって流動性が低く拡散支配である（物質の移動が遅い）場所を見つけられる可能性が期待できる。
- 隆起速度の小さい地域が比較的多い。

<沿岸部の考慮すべき事項>

- 海水準変動（約10万年周期の気候変動による陸氷の拡大と縮小にともなう陸に対する海面の相対的な高さが変化する現象）や塩淡水境界（密度差や濃度差によって形

⁷⁴沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（添付資料参考）

⁷⁵本研究会では、地層処分場の地下施設が設置される可能性がある地理的範囲として、沿岸部の陸域側は輸送の観点から海岸線から20km程度以内を、沿岸部の海域側は工学的対応の観点から海岸線から15km程度以内を検討範囲の目安とした（第2回沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会資料参照）。

成された塩水と淡水の境界)により変化する水理場や化学場の影響を考慮する必要がある。

- 海水準変動や海面低下に伴う河川の侵食を沿岸部特有の影響要因として考慮する必要がある。

3.7.2 沿岸部の特性を踏まえた技術的対応可能性

3.7.1 で抽出した沿岸部の特性を踏まえ、地質環境の調査・評価技術、工学的対策技術、安全評価技術、の3つの観点から技術的対応可能性の検討を行った。

①地質環境の調査・評価技術について

- 海域においても、海底地形・地質情報・活断層等の調査、資源探査・採掘、トンネル建設等に係る調査等の調査成果及び評価技術に係る成果が存在し、海域を含めて沿岸部における段階的な地質環境調査・評価を実施することは可能と考えられる。

②工学的対策技術について

- 人工バリア構成材料の性能については塩水の影響を考慮する必要があるが、工学的対策を行うことが可能であると考えられる。
- なお、地下施設を沿岸海底下に設置する場合は、アクセスのための坑道延長が長くなるなど設計上考慮すべき項目が増えるが、現有の技術で地下施設の設計・建設(湧水対策・津波対策を含む)が可能であると考えられる。

③安全評価技術について

- 化学場・水理場の影響を考慮した安全評価を行う必要があるが、気候・海水準変動等に伴う地質環境特性の変化等を考慮したシナリオ構築手法や核種移行評価モデル等が開発されている。

上記を踏まえると、地質環境の調査・評価技術、工学的対策技術、安全評価技術のいずれについても、今後データ等の拡充を行っていく必要はあるが、必要な基本的な技術は概ね整備されていると考えられる。

このため、沿岸海底下の場合も含め、段階的な処分地選定調査、工学的対策および安全評価を適切に行うことによって、安全に地層処分を行うことは技術的な実現可能性があると考えられる。

ただし、今後技術の高度化に引き続き取り組むとともにデータ等の拡充に取り組むことで更に信頼性を高めることが重要であると考えられる。

第4章 地域の科学的な特性の提示にあたっての考え方

地域の科学的な特性の提示については、処分地選定調査に入る前段階において、当該調査を実施した場合にどういった特性が確認できると推定されるかを評価するものとして検討を行ってきた。その結果、第3章で抽出された好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）及び好ましい範囲の要件・基準に照らして、「好ましくない特性があると推定される地域」、「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」、「輸送面でも好ましい地域」といった地域や、「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」に整理することとした。

4.1 基本的考え方

まず、好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲／代替指標から推定される範囲）の要件・基準の一つでも該当する地域は、「好ましくない特性があると推定される地域」と整理することとした。また、それ以外の地域は、好ましくない範囲に係る要件・基準が一つも該当しないため、好ましくない特性があると直ちには推定されない。こうした理解の下、地下深部の長期安定性等を現地調査等で確認できる可能性が相対的に高い地域であるという意味で、「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」と整理することとした。

「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」のうち、好ましい範囲の要件・基準として設定できた輸送の安全性の観点から好ましい範囲は、この地域の中でも「輸送面でも好ましい地域」と整理することとした。また、好ましくない特性が存在するかどうか不明確な範囲（3.3.1.①や3.3.1.⑨で、リスクの相違としてマップに適切に反映することが重要とされた範囲）は、将来現地調査等を行う際にリスクの存在範囲を明らかにする必要があることから、「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」が認められると整理することとした。同様に、利用可能な文献・データの制約から、地点での情報しか無い火山性熱水・深部流体や金属鉱物のある場所についても、将来現地調査等を行う際にリスクの存在範囲を明らかにする必要があることから、「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」が認められると整理することとした。

なお、上記の整理に基づくマップの提示は、三段階の処分地選定調査の前段階として国民理解を深めるという観点から用いるものであり、地下環境等を確定的に示すものではないことを明確にしていく必要がある。このような前提に立った上で、マップ提示に関して以下のとおり丁寧な説明が求められる。

- i) 短期的（数10年程度）に考慮すべきリスクと、長期的（数万年以上）に考慮すべきリスクは、違いを丁寧に説明する。

- ii) 地下環境等の安定性に関する観点、人間侵入を回避する観点、輸送の安全性に関する観点など、観点の違いにより考慮すべきリスクが異なる点は、その違いを丁寧に説明する。
- iii) リスク高さや不確実性が異なることを丁寧に説明する。

4.2 「好ましくない特性があると推定される地域」の考え方

4.1 で好ましくない範囲の要件・基準に一つでも該当する地域は、「好ましくない特性があると推定される地域」と整理したが、この地域は、実際の安全性は詳細な現地調査等を行えば明らかにはならないという前提があるものの、仮に詳細な現地調査等を行ったとしても、安全な地層処分が成立すると確認できる可能性が低いと考えることができる。

なお、好ましくない範囲の要件・基準のうち、鉱物資源に関しては、将来の掘削可能性に係るリスクという地下深部の長期安定性等とは異なるリスクに関するものである。このことを明確に表現するため、マップ上では「好ましくない特性があると推定される地域」を地下深部の長期安定性等の観点のものと将来の掘削可能性の観点のものに分けて表現することとする。

4.3 「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」と、そのうち「輸送面でも好ましい地域」及び「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」の考え方

「好ましくない特性があると推定される地域」ではない地域は、「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」と整理することとしたが、この地域では、地下深部の長期安定性等が現時点で保証されているものではなく、最終処分施設建設地としての特性を確認するためには、詳細な現地調査が必要である。すなわち、将来的に詳細な現地調査等を行った場合、安全な地層処分が成立すると確認できる可能性が相対的に高いことを意味する。

また、「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」のうち、好ましい範囲を設定することができた場合には、より好ましい特性が認められる地域であろうと考えられるが、実際に要件・基準を設定できたのは、輸送の安全性の確保に関する項目（沿岸からの距離が十分短いこと）のみであった。このことを明確に示すために、「輸送面でも好ましい地域」と整理することとした。

なお、「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」が認められる場合は、好ましくない特性があると一定の確度を持って示すだけの情報が不足しているため、詳細な現地調査等で特性を確認し、安全な地層処分が成立する範囲を確認する必要がある。その

ためにも、「将来調査する場合に考慮する必要がある事項」と整理されたことを情報提供してることが有効である。

これらをまとめると、図 4.3.1 のとおりとなる。

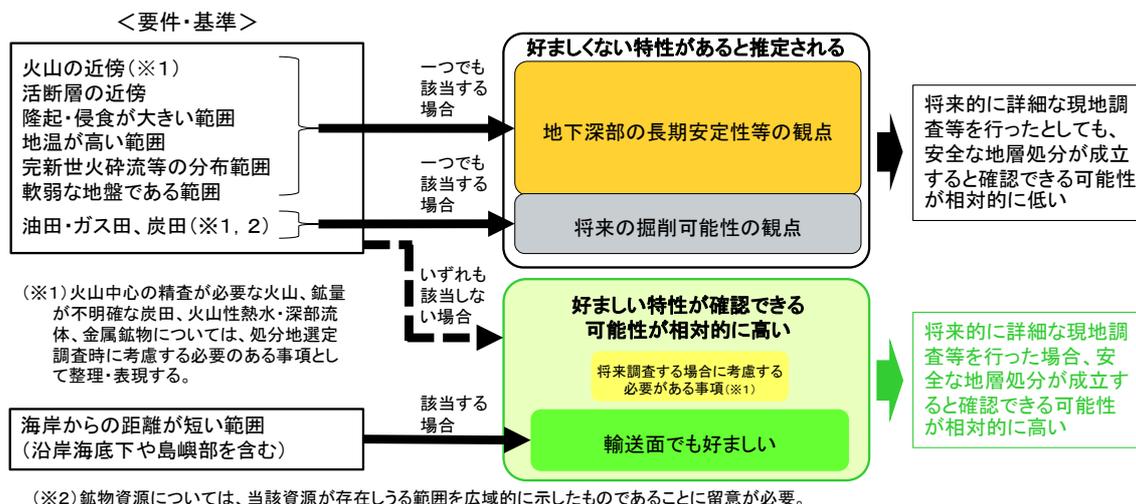


図 4.3.1 抽出された要件・基準と地域の特性区分の関係

なお、高レベル放射性廃棄物と同様半減期が長い放射性物質を含むTRU廃棄物（再処理工場やMOX燃料工場の操業及び解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物）の一部は、高レベル放射性廃棄物と同様に地層処分される必要がある。地層処分対象のTRU廃棄物は、高レベル放射性廃棄物と比べて、放射性物質の構成が異なる、高レベル放射性廃棄物に比べて放射エネルギーや発熱量が低い、人工バリアの構造・組成が異なる等の違いはあるものの、物理的隔離機能に関しては高レベル放射性廃棄物と同様の地質環境の長期安定性が求められる。一方、閉じ込め機能として特に人工バリアの機能の長期的な影響については別途検討が必要であるが、人工バリアの健全性を維持するための地質環境特性に求められる要件については、高レベル放射性廃棄物の場合と同様に考察することができる。

4.4 今後に向けて

今回抽出した基準及びマップの提示に用いることが適切と考えられる文献・データを用いて、地域の科学的な特性の提示を行う際には、以下の点に留意することが重要である。すなわち、今回抽出した利用可能な文献・データは、全国規模で整備されたものであるが、部分的にはデータが存在しない地域が存在する場合もある。また、データの精度や分布は文献毎に異なるため、これらのデータを重ね合わせる際には、こうしたデータ

の不均一性を考慮する必要がある。

なお、今回は地域毎に存在するローカルデータについては、地域間での比較可能性を欠くためにマップには用いないことが適当であるとしたが、そうしたローカルデータが将来的な地層処分に関する国民理解や地域理解にとって重要になってくることは言うまでもない。今回の地域の科学的な特性の提示が契機となって、まずは全国的な特性についての国民理解が広がっていくことが重要であるが、個別地域において対話が深まっていく中においては、ローカルデータについても情報共有等が進み、地域毎の地質環境等についてより具体的な理解が深まっていくことも重要である。

第5章 おわりに

今般、技術WGでの検討にあたっては、国内の多くの学会や関係機関、更には国際機関との間で情報交換や意見交換を実施した。その中で提示された意見や助言等は、本報告書を取りまとめる上で非常に有意義なものとなった。

本来、地層処分技術は多様な分野に関連する複合技術であり、学術的な知見を更に充実させていくためにも、今後とも幅広い学会等から適切なサポートを得ていくことが重要である。しかしながら、これまではともすると、どのような科学的知識がどのように統合されて適用されようとしているのかという、全体についての包括的な説明・議論の機会は必ずしも十分ではなかった。今般の学会等との情報交換や意見交換は、多くの分野の専門家、研究者のサポートを得つつ、地層処分に関する体系的・俯瞰的理解を図る取り組みの重要な一歩となったのではないかと考える。

今後は、地層処分の実現を裏付ける科学や技術について国民理解を深めていくために、引き続き幅広い分野の専門家、研究者のサポートを得つつ、一般の方々にも基本的な考え方が伝わるような丁寧さや分かりやすさに配慮していくことが重要である。なお、本WGの検討過程において行った学会や専門家等との意見交換の中でも、科学的有望地という言葉に影響され、地層処分候補地として限られた範囲の地点を示すといった誤解や、必要な現地調査を織り込んだ上で地域の適性を示すといった誤解を生んでしまった部分もあった。今回の検討の目指すところは、マップ全体を通じて地域の地下環境等の科学的特性がどのようなものを分かりやすく示すことである。そのことが適切に伝わり、趣旨が明確になるよう、明瞭で丁寧な情報提供を行っていくことが期待される。

参考文献

第1章の参考文献

- JNC（核燃料サイクル開発機構）（1999）：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 99-020.
- NEA（2016）：Japan's siting process for the geological disposal of high-level Radioactive waste, An international peer review, Radioactive waste management.
- 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）：最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価―地質環境特性及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（2015）：科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理.
- 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）：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）.
- 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（2016）：沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会とりまとめ.
- 原子力委員会放射性廃棄物専門部会（2016）：最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書.

第2章の参考文献

- JNC（核燃料サイクル開発機構）（1999）：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 99-020.
- 日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会（編）（2011）：日本列島と地質環境の長期安定性.地質リーフレット4.
- 日本原子力研究開発機構ウェブサイト：WWW Chart of the Nuclides 2014
<<http://www.ndc.jaea.go.jp/CN14/index.html>>.
- 田切美智雄，廣井美邦，足立達郎（2011）：日本最古の地層―日立のカンブリア系変成古生層，地質学雑誌，Vol.117，補遺 1-20.

第3章の参考文献

- 浅森浩一，石丸恒存，岩月輝希（2002）：研究報告 日本列島における火山周辺の酸性地下水分布. サイクル機構技報，No. 15，103-111.
- 阿曾正明，岩田義弘，志野和己（2006）：可燃性ガスを含むトンネルの施工―北陸新幹線

飯山トンネル新井工区工事の例, 特集 整備新幹線をめぐる最近の動向, 建設機械,
Vol.42, No.(4), 21-25.

Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B.,
Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A.M. (2009) : The Last Glacial
Maximum. Science, Vol.325, Issue 5941, 710-714.

第四紀火山カタログ委員会編 (1999) : 日本の第四紀火山カタログ v.1.0 (CD-ROM 版),
日本火山学会.

第四紀地殻変動研究グループ (1969) : 第四紀地殻変動図, 国立防災科学技術センター.
土木学会 (2016) : トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説.

土木学会原子力土木委員会地下環境部会 (2001) : 概要調査地区選定時に考慮すべき地質
環境に関する基本的考え方.

土井玲祐, 岩田孟, 北村暁 (2014) : 溶解度法による熱力学データ整備 (翻訳資料)
JAEA-Review 2014-014.

藤原健荘, 北村暁, 油井三和 (2009) : 高レベルおよび TRU 廃棄物地層処分の性能評価
のための JAEA 熱力学データベース:IV 価ジルコニウムの熱力学データの再選定.
JAEA-Review 2009-058.

藤原治, 柳田誠, 三箇智二 (2004) : 日本列島の最近約 10 万年間の隆起速度の分布. 月刊
地球, Vol.26, No.7, 442-447.

原子力安全委員会 (2002) : 高レベルおよび TRU 廃棄物地層処分の概要調査地区選定
段階において考慮すべき環境要件について.

原子力委員会 原子力防護専門部会 (2007) : ガラス固化体等の防護の在り方に関する
基本的考え方について.

原子力環境整備促進・資金管理センター (2015) : 諸外国の地層処分サイト選定の初期段
階における考慮要件等について. 第 13 回放射性廃棄物WG 資料 2.

原子力規制委員会 (2013a) : 廃棄物管理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則.

原子力規制委員会 (2013b) : 廃棄物管理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
の解釈.

原子力規制委員会 (2013c) : 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド.

原子力規制委員会 (2013d) : 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド.

原子力規制委員会 (2013e) : 原子力発電所の火山影響評価ガイド.

原子力規制委員会 (2013f) : 長半減期低発熱放射性廃棄物輸送体の防護に関する考え方
(案). 第 1 回核セキュリティに関する検討会 輸送における核セキュリティに関す
るワーキンググループ.

幡谷竜太, 柳田 誠, 鳥越祐司, 佐藤 賢 (2016) : 後期更新世以降の現海岸線付近での下
刻, 応用地質, Vol.57, No.1, pp.15-26.

- IAEA (2012) : Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition, Specific Safety Requirements No. SSR-6.
- IAEA (2015) : Security of Nuclear Material in Transport, IAEA Nuclear Security Series No.26-G.
- Inagaki, Y., Makigaki, H., Idemitsu, K., Arima, T., Mitsui, S. and Noshita, K. (2012) :Initial dissolution rate of a Japanese simulated high-level waste glass P0798 as a function of pH and temperature measured by using micro-channel flow-through test method. J. Nuclear Science and Technology, Vol.49, Issue 4, 438-449.
- 井上俊隆 (1998) : 青函トンネル-調査から開業まで, 土木学会論文集, 第 391 号/VI-8, 41-44.
- 地震調査研究推進本部 (2016) : 確率論的地震動予測地図-全国地震動予測地図 2016 年版.
- JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999a) : (第 2 章で既出)
- JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999b) : 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-分冊 1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021.
- JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999c) : 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-分冊 2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022.
- JNC (核燃料サイクル開発機構) (2005) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成 17 年取りまとめ- 分冊 2 工学技術の開発. JNC TN1400 2005-015.
- Karnland O., Sanden T., Johannesson L.E., Eriksen T. E., Jansson M., Wold S., Pedersen K. and Motamedi M. (2000): Long Term Test of Buffer Material Final Report on the Pilot Parcels, SKB TR 00-22.
- 川上博人, 青木広臣, 朽山修, 鈴木篤之 (2011) : 放射性廃棄物の余裕深度処分における埋設深度の妥当性評価の考え方について. 日本原子力学会和文論文誌, Vol.10, No.2, 76-90.
- 風早康平, 高橋正明, 安原正, 西尾嘉朗, 稲村明彦, 森川徳敏, 佐藤努, 高橋浩, 北岡豪一, 大沢信二, 尾山洋一, 大和田道子, 塚本斉, 堀口桂香, 戸崎裕貴, 切田司 (2014) : 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴. 日本水文科学会誌, Vol.44, No.1, 3-16.
- 菊池広人, 棚井憲治, 杉田裕 (2003) : 海水系地下水条件下における埋め戻し材特性に関する基礎試験, JNC TN8430 2003-008.
- 小池一之, 町田洋 (編) (2001) : 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会.
- 国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室 (2001) : 大深度地下使用技術指針・同解説.
- 越谷賢, 丸井敦尚 (2012) : 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層

- 境界面と層厚の三次元モデル(第一版). 地質調査総合センター研究資料集 no.564.
- Lollar, B.S. (2005) : Environmental Geochemistry. TREATISE ON GEOCHEMISTRY 9, Elsevier.
- 松田時彦(1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, 65, 289-319.
- 松下敏郎 (1992) : 高熱帯と高水圧低速度帯を克服して調査坑が貫通—一般国道 158 号安房トンネル, トンネルと地下, Vol.23, No.3, 191-198.
- 宮川和也, 野原壯, 山崎雅則, 常盤哲也 (2011) : 東北地方太平洋沖地震に伴う北海道北部地下水観測井における地下水位変化, 日本地震学会 2011 年秋季大会講演予稿集, 269.
- 内藤一樹 (2017) : 国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集 (第 2 版), 地質調査総合センター速報, No. 73.
- 中田高, 今泉俊文 (2002) : 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会.
- NEA (2013) : The Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations: Improving Our Understanding. NEA/RWM/R(2013)3.
- NEA (2014) : Updating the NEA International FEP List: An IGSC Technical Note Technical Note 2: Proposed Revisions to the NEA International FEP List. NEA/RWM/R(2013)8.
- 日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会 (編) (2011) : 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット 4.
- 日本原子力研究開発機構ウェブサイト : 深地層の工学技術の基盤の整備
<<https://www.jaea.go.jp/04/tono/miu/research/stage/panel/17.pdf>> .
- 日本原子力研究開発機構ウェブサイト : 深地層研究計画の状況
<<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/cyousakenkyu27.html#0403>> .
- 日本海における大規模地震に関する調査検討会 (2014) : 日本海における大規模地震に関する調査検討会 報告書.
- 日本鉄建公団 (1996) : NATM 設計施工指針.
- 野田徹郎, 高橋正明 (1992) : 地熱系に関与する起源水の地球化学的分類とその意義, 地球化学, Vol.26, No.2, 63-82.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2004) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性. NUMO-TR-04-01.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009a) : 放射性廃棄物の地層処分事業について分冊—2 概要調査地区選定上の考慮事項.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009b) : 放射性廃棄物の地層処分事業について分冊—1 処分場の概要.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2011) : 地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性. NUMO-TR-10-03.
- 緒方正虔, 本荘静光 (1981) : 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,

Vol.22, No.1 , 67-87.

産業技術総合研究所 (1973) : 日本炭田図 (第2版).

産業技術総合研究所 (1976) : 日本油田・ガス田分布図 (第2版).

産業技術総合研究所 (1997) : 天草炭田図 (5万分の1).

産業技術総合研究所 (2004) : 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース.

産業技術総合研究所 (2009) : 全国地熱ポテンシャルマップ.

産業技術総合研究所 (2010) : 平成21年度核燃料サイクル施設安全対策技術調査 (放射性廃棄物処分安全技術調査等のうち地層処分に係る地質情報データの整備) 事業報告書.

産業技術総合研究所 (2013) : 日本の火山 (第3版).

産業技術総合研究所ウェブサイト : 活断層データベース.

<https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html>.

産業技術総合研究所ウェブサイト : 20万分の1日本シームレス地質図.

<<https://gbank.gsj.jp/seamless/>>.

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) : 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価ー地質環境特性及び地質環境の長期安定性についてー.

柴田鋼三, 上田寛, 大堀晃一 (1983) : 海岸堤防・護岸構造収覧. 448, 運輸省港湾技術研究所.

高橋正明, 風早康平, 安原正也, 塚本斉, 佐藤努, 高橋浩, 森川徳敏, 大和田道子, 尾山洋一, 芝原暁彦, 稲村明彦, 鈴木秀和, 半田宙子, 仲間純子, 松尾京子, 竹内久子, 切田司, 大丸純 (2011) : 深層地下水データベース. 地質調査総合センター研究資料集 no.532.

舘幸男, 栃木善克, 陶山忠宏, 齋藤好彦, Ochs M. , 油井三和 (2008) : 地層処分安全評価のための核種の収着・拡散データベースシステムの開発, JAEA-Data/Code 2008-034.

竹林亜夫, 滝沢文教, 上野将司, 奥村興平 (2005) : 山岳トンネルにおける不良地山に関する地質工学的考察, 応用地質技術年報, No.25, 61-93.

武田聖司 (1999) : 地下水中における Am, Pu, Tc の溶解度の解析, JAERI-Research 99-047.

竹内竜史, 露口耕治, 尾上博則, 三枝博光, 別府伸治 (2015) : 地震に伴う地下水圧の変化が地下水流動特性に与える影響ー東濃地域における事例ー, 原子力バックエンド研究, Vol.22, No.2, 37-52.

田中和広・石原朋和 (2009) : 鍋立山トンネル周辺の泥火山の活動と膨張性地山の成因, 地学雑誌, Vol.118, No.3, 499-510.

- 田中明子, 矢野雄策, 笹田政克, 大久保泰邦, 梅田浩司, 中司昇, 秋田藤夫 (1999) : 杭井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル. 地質調査所月報, Vol.50, No.7, 457-487.
- 谷口直樹, 森本昌孝, 本田明 (1999) : ベントナイト中における炭素鋼の不動態化条件の検討, サイクル機構技報, No. 4, 87-91.
- 谷口直樹, 川崎学, 内藤守正 (2010) : 低酸素濃度下での模擬地下水の飽和した圧縮ベントナイト中における炭素鋼の腐食挙動, 材料と環境, Vol.59, No.11, 418-429.
- 東宮昭彦 (1991) : 島弧火山の寿命に対応するマントルダイアピールの大きさ, 火山, Vol.36, No.2, 211-221.
- 徳山英一, 本座栄一, 木村政昭, 倉本真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊藤康人, 徐垣, 日野亮太, 野原壯, 阿部寛信, 坂井眞一, 向山 建二郎 (2001) : 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史. 海洋調査技術, Vol.13, No.1, 27-53.
- 梅田浩司, 谷川晋一, 安江健一 (2013) : 地殻変動の一樣継続性と将来予測—地層処分
の安全評価の視点から—, 地学雑誌, Vol.122, No.3, 385-397.
- U.S. Department of Transportation (1998) : Identification of factors for selecting modes and routes for shipping high-level radioactive waste and spent nuclear fuel.
- Wicks, G.G., O'Rourke, P.E. and Whitkop, P.G. (1982) : The Chemical Durability of Savannah River Plant Waste Glass as a Function of Groundwater pH. DP-MS-81-104. J. American Ceramic Society.
- 山崎晴雄 (2013) : 地震と断層, そして活断層とは何か 思いこみや風評を排して冷静な対応を. 日本原子力学会誌, Vol.55, No.6, pp12-15.
- 矢野雄策, 田中明子, 高橋正明, 大久保泰邦, 笹田政克, 梅田浩司, 中司昇 (1999) : 日本列島地温勾配図. 産業技術総合研究所.
- 依田淳一, 岡村光政, 石垣和明, 朝倉俊弘 (2009) : 第四紀未固結粘性土地山における NATM トンネルの挙動分析, 土木学会論文集 F, Vol.65, No.2, 209-221.
- 吉山昭, 柳田誠 (1995) : 河成地形の比高分布から見た地殻変動, 地学雑誌, Vol.104, No.6, 809-826.

添付資料

(添付資料-1) 地層処分技術WG委員名簿

委員長

◇朽山 修 原子力安全研究協会技術顧問 (放射性廃棄物WG委員)

委員

◇宇都 浩三 産業技術総合研究所臨海副都心センター所長 (日本火山学会推薦)

◇蛭沢 勝三 東京都市大学客員教授/電力中央研究所上級研究員 (土木学会 原子力土木委員会推薦)

◇長田 昌彦 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門准教授(日本応用地質学会推薦)

◇小峯 秀雄 早稲田大学理工学術院創造理工学部教授 (土木学会推薦)

◇三枝 利有 電力中央研究所研究アドバイザー (日本原子力学会推薦)

◇谷 和夫 東京海洋大学学術研究院教授 (土木学会 原子力土木委員会推薦)

◇遠田 晋次 東北大学災害科学国際研究所教授 (日本活断層学会紹介)

◇徳永 朋祥 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授 (放射性廃棄物WG委員)

◇丸井 敦尚 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門総括研究主幹 (日本地下水学会推薦)

◇山崎 晴雄 首都大学東京名誉教授 (放射性廃棄物WG委員)

◇吉田 英一 名古屋大学博物館教授 (放射性廃棄物WG委員)

◇渡部 芳夫 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報基盤センター長 (日本地質学会推薦)

(計 13 名)

(添付資料一2) 地層処分技術WG会合経緯

○第9回(平成26年12月8日)

(議題)

1. 地層処分技術WGの進め方について

(配布資料)

資料1. 会議の公開について

資料2. 地層処分技術WGの今後の進め方について (事務局)

資料3. 科学的有望地の検討における安全性確保の観点からの要件の候補
(原子力発電環境整備機構)

参考資料. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第10回(平成27年1月14日)

(議題)

1. 科学的有望地の要件・基準について

(配布資料)

資料1. 埋設後長期の安全性確保の観点からの検討 (事務局)

資料2. 埋設後長期の安全性確保に係る科学的有望地選定要件の候補
(原子力発電環境整備機構)

参考資料. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第11回(平成27年2月17日)

(議題)

1. 科学的有望地の要件・基準について

(配布資料)

資料1. 埋設後長期の安全性確保に係る科学的有望地選定要件・基準の候補
好ましい要件・基準 (原子力発電環境整備機構)

資料2. 地下施設操業時の安全性確保に係る科学的有望地選定要件・基準の候補
(原子力発電環境整備機構)

資料3. 地上施設建設時の安全性確保に係る科学的有望地選定要件・基準の候補
(原子力発電環境整備機構)

参考資料. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第12回（平成27年3月24日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. 前回までの地層処分技術WGの議論の整理と主な論点（案）

（地層処分技術WG）

参考資料1. 地層処分技術WG第12回会合参考資料

（地層処分技術WG）

参考資料2. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第13回（平成27年4月23日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. 今後の進め方等について

（事務局）

資料2. 処分地選定の段階的調査・評価について

（原子力発電環境整備機構）

資料3. 日本原子力研究開発機構における研究開発の状況-深地層の科学的研究に関する
状況-

（日本原子力研究開発機構）

参考資料1. 地層処分技術WGのこれまでの議論の整理

（事務局）

参考資料2. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第14回（平成27年7月29日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. 輸送時の安全性確保及び事業の実現可能性に関する検討について

（事務局）

資料2. 輸送時の安全性確保及び事業の実現可能性に関する検討について

（原子力発電環境整備機構）

資料3. 高レベル放射性廃棄物輸送の概要について

（原燃輸送株式会社）

参考資料1. 全国シンポジウムで寄せられた主な質問

（事務局）

参考資料2. 地層処分技術WGのこれまでの議論の整理

（地層処分技術WG）

参考資料3. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第15回（平成27年9月17日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1-1. 専門家からの御意見の概要について（事務局）

資料1-2. 専門家意見募集に寄せられた御意見の概要及び御意見に対する考え方
（事務局）

資料2. 鉱物資源の扱いについて（事務局）

資料3. 前回の輸送時の安全性確保の議論における御指摘事項への対応
（原子力発電環境整備機構）

資料4. 科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける検討の成果の整理（案）
（事務局）

参考資料1. 地層処分技術WGのこれまでの議論の整理（意見募集後）
（事務局）

参考資料2. 地層処分技術WGのこれまでの議論の整理について専門家からの御意見
（事務局）

参考資料3. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第16回（平成27年12月11日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. 前回の地層処分技術WGからの進捗と今後の進め方（委員長）

資料2. 科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理（案）

資料3. 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（仮称）について
（案）
（事務局）

参考資料1. 地層処分技術WG中間取りまとめ

○第17回（平成28年4月22日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

(配布資料)

資料1-1.関係機関及び関係学会等への情報提供及び意見照会等の概要 (事務局)

資料1-2.主な御質問・御意見の概要と回答 (案) (事務局)

資料2.沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会とりまとめ (たたき台) 骨子 (大西主査)

資料3.経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) によるピア・レビューについて (事務局)

参考資料1.「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」に関する学会説明会概要 (事務局)

参考資料2-1.「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」に関する日本地質学会からの御意見

参考資料2-2.日本地質学会 各専門部会から寄せられた御意見に対する考え方 (案) (事務局)

参考資料3.地層処分技術WG中間取りまとめ

参考資料4.地層処分技術WG中間整理

○第18回 (平成28年8月9日)

(議題)

1. 科学的有望地の要件・基準について

(配布資料)

資料1. 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) (概要) (事務局)

資料2. 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) (本体) (事務局)

参考資料1. Japan's Siting Process for the Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste: An International Peer Review (経済協力開発機構原子力機関)

参考資料2-1.沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会とりまとめ (概要) (事務局)

参考資料2-2.沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会とりまとめ (本体) (事務局)

参考資料3.地層処分技術WG中間取りまとめ

参考資料4.地層処分技術WG中間整理

○第 19 回（平成 28 年 11 月 28 日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. これまでの検討成果に関する精査等について（事務局）

参考資料1. 地層処分技術WGとりまとめ（案）（事務局）

参考資料2. パブリックコメントの結果（事務局）

参考資料3. 最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書（原子力委員会放射線廃棄物専門部会）

参考資料4. 地層処分技術WG中間とりまとめ

参考資料5. 地層処分技術WG中間整理

○第 20 回（平成 29 年 3 月 2 日）

（議題）

1. 科学的有望地の要件・基準について

（配布資料）

資料1. これまでの検討成果に関する精査等について（事務局）

資料2. 地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（案）（事務局）

参考資料1. 地層処分技術WGとりまとめ（案）

参考資料2. 地層処分技術WG中間とりまとめ

参考資料3. 地層処分技術WG中間整理

(添付資料-3) 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会

1. 構成メンバー

①主査

大西有三 関西大学環境都市工学部都市システム工学科客員教授
(京都大学名誉教授)

②委員

大江俊昭 東海大学工学部原子力工学科教授
佐藤治夫 岡山大学大学院自然科学研究科准教授
竹内真司 日本大学文理学部地球科学科准教授
登坂博行 東京大学特任研究員
山崎晴雄 首都大学東京名誉教授
吉田英一 名古屋大学博物館教授

③関連研究機関等

- 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)
- 原子力環境整備促進・資金管理センター (RWMC)
- 原子力発電環境整備機構 (NUMO)
- 産業技術総合研究所 (AIST)
- 電力中央研究所 (CRIEPI)
- 日本原子力研究開発機構 (JAEA)
- 量子科学技術研究開発機構 (QST) (旧放射線医学総合研究所 (NIRS))
- 文部科学省

2. 開催実績

【第1回】平成28年1月26日

- 研究会の趣旨説明・議論の進め方について
- 沿岸部における地層処分についての関連情報の整理 (実施主体 (NUMO) による整理)

【第2回】平成28年3月22日

- 我が国の沿岸部の地下環境における特性の整理 (基盤研究開発機関等)
- 沿岸部の特性を踏まえた地層処分の技術的対応可能性 (NUMO)

【第3回】平成28年4月19日

- 技術的信頼性向上に向けた課題の整理
- とりまとめ (たたき台)