

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

平成27年12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 技術WGでの検討における前提の整理.....	- 3 -
第3章 地層処分の基本的考え方.....	- 5 -
3.1 地層処分の概念（中間とりまとめ，2.1に一部加筆）.....	- 5 -
3.2 空間スケールについて（中間とりまとめ，2.2.1に一部加筆）.....	- 5 -
3.3 安全性に関する総合的な評価について.....	- 6 -
3.4 段階的な処分地選定と調査スケールについて.....	- 7 -
第4章 科学的有望地選定における要件・基準の検討.....	- 10 -
4.1 基本的な考え方.....	- 10 -
4.2 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討.....	- 12 -
4.2.1 「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」の要件・基準.....	- 12 -
4.2.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 24 -
4.2.3 検討の結果のまとめ.....	- 28 -
4.3 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.....	- 30 -
4.3.1 「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」の要件・基準.....	- 30 -
4.3.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 39 -
4.3.3 検討成果のまとめ.....	- 42 -
4.4 輸送時の安全性に関する検討.....	- 45 -
4.4.1 輸送時の安全性に関する検討項目の抽出・整理.....	- 46 -
4.4.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 46 -
4.4.3 検討の結果のまとめ.....	- 51 -
4.5 事業の実現可能性に関する検討.....	- 52 -
4.5.1 事業の実現可能性に係る検討項目の抽出・整理.....	- 52 -
4.5.2 「好ましい範囲」の要件・基準.....	- 53 -
4.5.3 検討結果のまとめ.....	- 54 -
第5章 「適性の低い地域、高い地域」の考え方.....	- 55 -
5.1 基本的考え方.....	- 55 -
5.2 「適性の低い地域」の考え方.....	- 55 -
5.3 「適性のある地域」及び「より適性の高い地域」の考え方.....	- 56 -
第6章 その他の検討事項.....	- 57 -
6.1 沿岸部に関連する事項.....	- 57 -
6.2 社会科学的観点からの検討について.....	- 59 -
6.3 留意事項.....	- 59 -

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向けた検討が行われた。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、国が科学的有望地の提示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、「科学的により適性の高いと考えられる地域」の具体的要件・基準について地球科学的観点からの適性及び社会科学的観点からの適性を考慮し、総合資源エネルギー調査会（総合エネ調）にて、専門家の更なる検討を進める。」との国の方針のもと¹、この科学的有望地の要件・基準について、地球科学的な観点から、技術的（工学的）対応可能性を含めた議論を平成 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、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²や、廃棄物 WG 及び原子力

¹ 第 2 回最終処分関係閣僚会議（平成 26 年 9 月）

² 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

委員会への報告³を行いつつ議論を進めた。

本中間整理は、今後、関係機関や関係学会に所属する会員等に情報提供を行い、学術的知見及び利用する文献・データの妥当性について専門家としての意見をいただくために、これまでの技術 WG における議論を中間的に整理したものである。

³ 第 40 回原子力委員会定例会議にて報告（平成 27 年 11 月）

第2章 技術 WG での検討における前提の整理

科学的有望地の要件・基準を検討するにあたり、技術 WG での検討に先立って、廃棄物 WG では、科学的有望地の意義・目的について以下のように整理された。

- ・ 安全性の確保の観点から相対的に適性の低い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。
- ・ 科学的有望地が含ま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、科学的有望地が含まれる地域に対し、その後の重点的な理解活動に繋げる。

技術 WG では、上記の議論を前提とした上で、法令に基づく処分地選定調査との関係（図 2.1）について以下の通り整理を行った。

- ・ 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、将来的に処分地選定調査を行うことによって最終処分施設建設地としての適性が確認できる可能性が高いと評価できる地域を「科学的有望地」とする（図 2.1）。
- ・ そのため、科学的有望地に含まれることは、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。

また、今回の科学的有望地の検討にあたって用いる文献・データについては、地域の相対的な適性の高低を示し国民理解を促すとの目的に照らし、文献・データの共通性を重視し、品質が確保され（信頼性の観点）、全国規模で体系的に整備された（地域間の公平性確保の観点）、現時点で一般的に入手可能な（透明性・検証可能性の観点）文献・データに基づいて判断することが適当であるとの整理が廃棄物 WG で行われ、技術 WG でもこの考え方を採用することとした。



図 2.1 科学的有望地選定と処分地選定調査との関係

技術 WG では、また、次章以降の本中間整理の全体の内容の理解を促すために、地層処分の処分地選定の考え方について、特に以下の点が重要であることを確認した。

- 地層処分の処分地選定の考え方は元来、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地層処分システムが成立する場所を選ぶものであって、“最適地”を選びそこで実施することを目指すものではない。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。

第3章 地層処分の基本的考え方

中間取りまとめにおいては、議論の前提としての地層処分の基本的考え方について以下の通り整理した。今般、科学的有望地の要件・基準を検討するにあたって、この考え方は重要であることから、本章において改めて示すこととする。

3.1 地層処分の概念（中間とりまとめ，2.1に一部加筆）

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。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、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とともに、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り発揮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）。さらには、長期間のうちに地層の構造が変化していくとしても、放射性廃棄物が長期にわたり隔離され、かつ、こうした地質環境特性の変動が、ある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）。

そのため、地層処分の場となる深部の地質環境は、天然バリアとして、放射性廃棄物を物理的に隔離し、かつ放射性物質を閉じ込め、その移行を抑制することに適した特性であることが必要である。また、人工バリアであるガラス固化体、鋼製オーバーパック⁴及び緩衝材が、合理的な設計の範囲で、それぞれの性能を発揮できる特性であることも必要である。これらの要求事項を満たす地質環境特性を好ましい地質環境特性と考える。さらには、これらの地質環境特性が長期間にわたる変遷の中で、ある一定の変動範囲内にあることが求められることから、地質環境特性の変動が長期にわたりある範囲内に限られることを、地質環境の長期安定性と考える。

3.2 空間スケールについて（中間とりまとめ，2.2.1に一部加筆）

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に関する考え方を示す。

⁴ 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

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。また、処分場スケールの外側にあつて、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、影響を与える要因となる事象が分布する領域を「広域スケール」と定義する（図 3.2.1）。

「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動いている地質環境特性が、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自然過程としては、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、将来、地下水を介して放射性物質が移行することを想定したシナリオに基づき、主に人工バリアと、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かを考える。具体的には、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と、天然バリアとして放射性物質の溶解、移行を抑制するのに適した特性を有すること、さらには、その特性が、数万年以上の長期変遷の中で、機能維持の観点から許容できる変動範囲内であることが求められる。

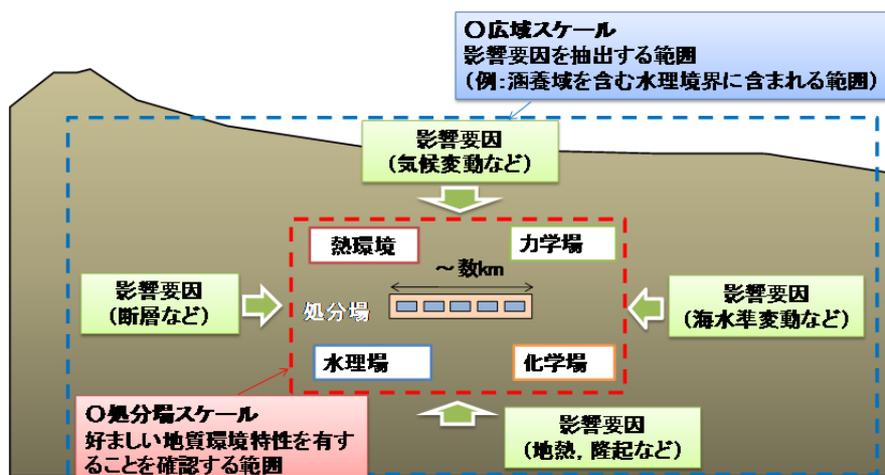


図 3.2.1 空間スケールの概念図（中間とりまとめ，図 1）

3.3 安全性に関する総合的な評価について

NUMO は、図 3.3.1 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うける多数のパラメータを設定し、人工バリアや処分施設の設計を行いその結果に基づく安全評価を行う必要がある。

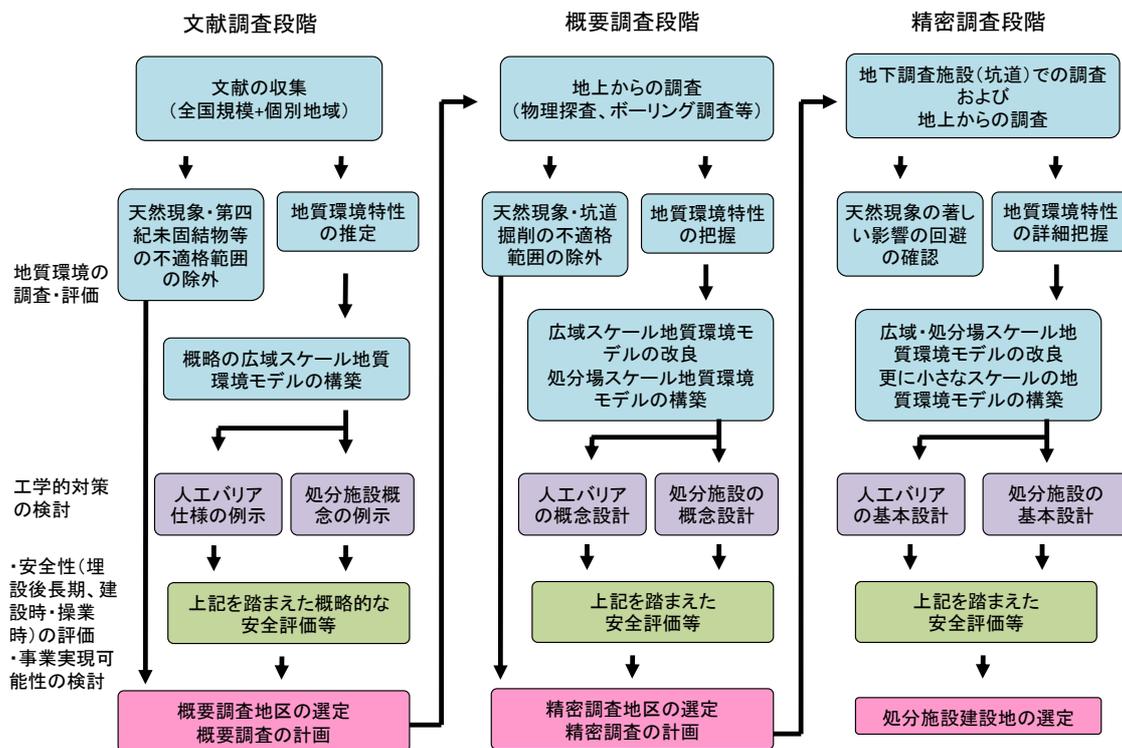


図 3.3.1 サイト選定段階における実施事項 (NUMO, 2015)

3.4 段階的な処分地選定と調査スケールについて

前述の通り、最終処分法では、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有無等が調査される。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地下水の流速や化学組成等の詳細が調査される（中間とりまとめ、2.3）。

図 3.4.1 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 3.4.2 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、文献や地表面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といった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。

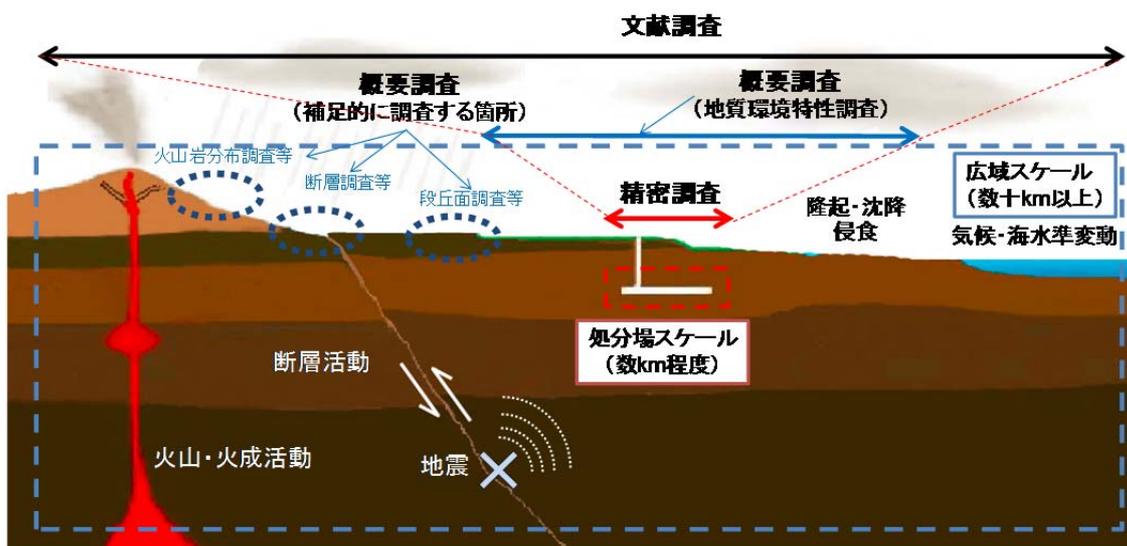


図 3.4.1 調査スケールと空間スケールのイメージ (中間とりまとめ, 図 2)

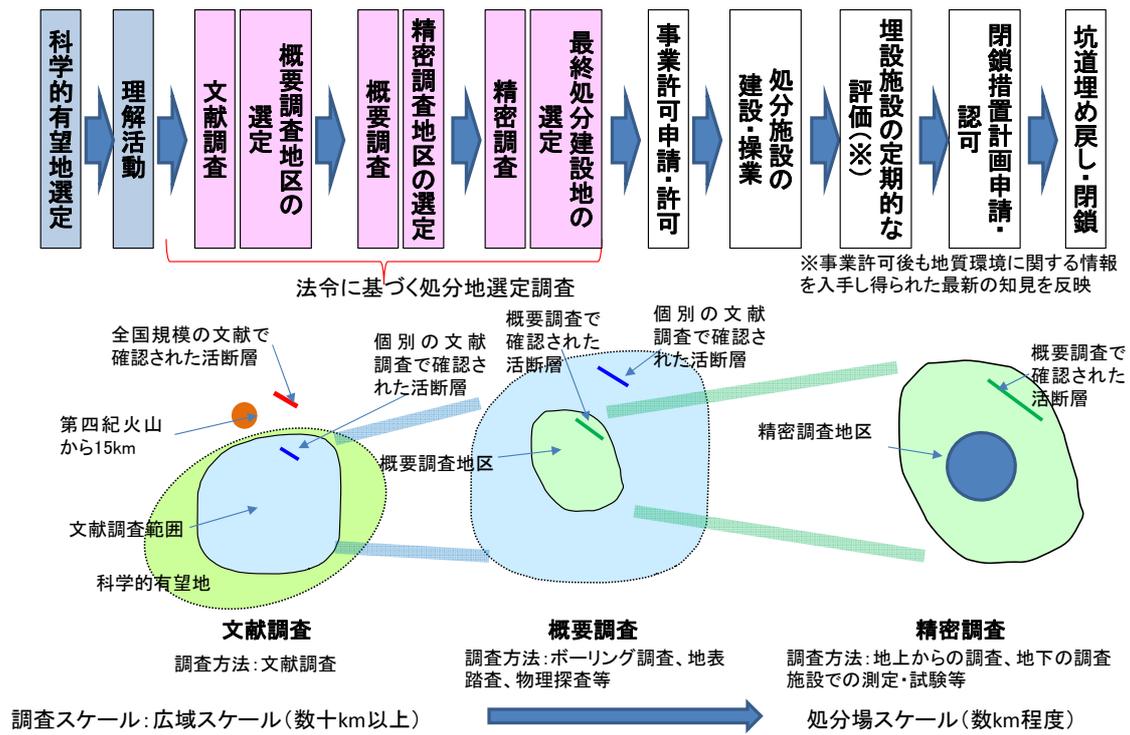


図 3.4.2 具体的な処分地選定に係わる法定調査の進め方と調査スケールのイメージ
(例として、火山・活断層を図中に記載)

第4章 科学的有望地選定における要件・基準の検討

4.1 基本的な考え方

科学的有望地選定における要件・基準について、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の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・操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

具体的な要件・基準の検討手順を図 4.1.1 に示す。まず、「回避すべき範囲」を下記の通り整理し、要件・基準の抽出を行うこととした。ただし、その基準を裏付ける文献・データが存在しない場合には、代替指標の設定可能性を確認し、それが可能な場合には、以下の定義により「回避が好ましい範囲」とすることとした。

さらに、上記に該当する範囲を除いた範囲の中で、地層処分システムや施設の建設・操業時の安全性の観点から、工学的対応も含めて安全裕度が大きく向上する場合には、その範囲を「好ましい範囲」と整理した。さらに事業の実現可能性に関する事項に関しても検討した。

それぞれの範囲に関する定義を以下のように整理した。

○回避すべき範囲

工学的対応を実施することが著しく困難で、安全機能の喪失に直結してしまう事象・特性によって地層処分に著しい影響が与えられる可能性が極めて高いため、回避が必要な範囲。

○回避が好ましい範囲

工学的対応を実施することが著しく困難で、安全機能の喪失に直結してしまう事象・特性によって地層処分に著しい影響が与えられる可能性が高いため、回避が好ましい範囲。

○好ましい範囲

積極的に考慮することで地層処分の安全裕度が大きく向上する可能性が高いと評価できる範囲。

○事業の実現性の観点から好ましい範囲

考慮することで実現可能性を大きく高めると評価できる範囲。

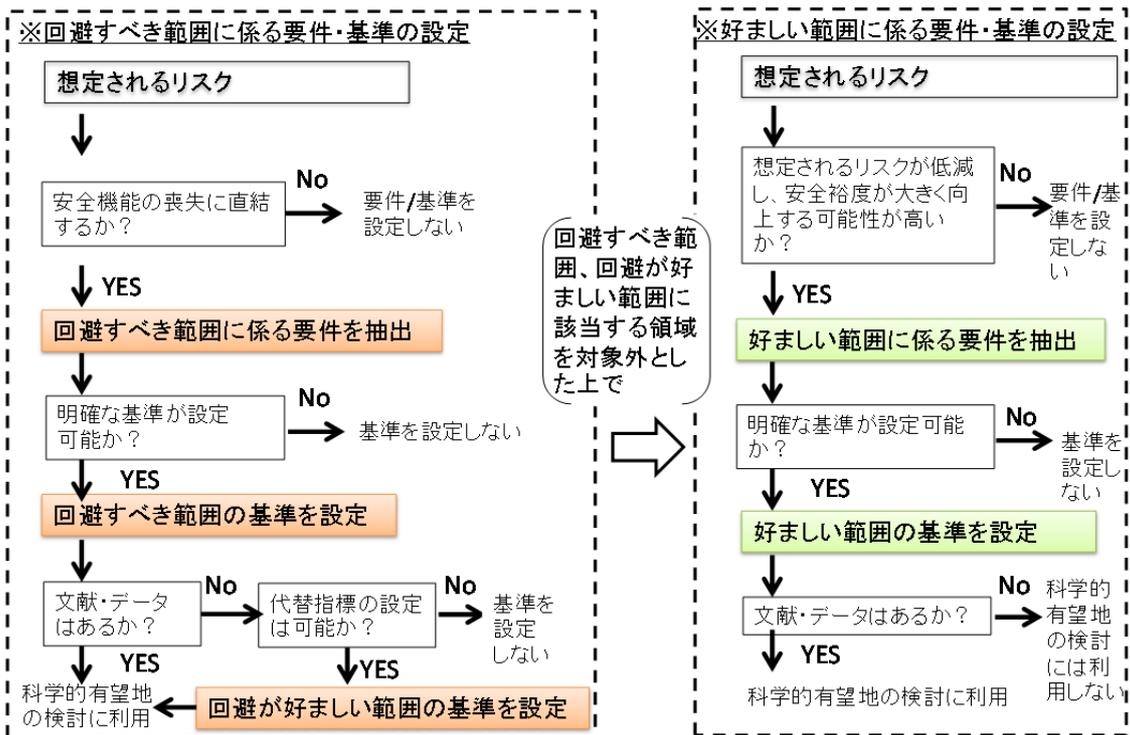


図 4.1.1 「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」、「好ましい範囲」の要件・基準の検討手順

4.2 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事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十万年から百万年のオーダーは同じ傾向で継続していることから、現時点では将来十万年程度であれば、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ことを示した。

その上で、中間取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、十万年程度の期間、後述するおのおの好ましい地質環境が大きく変化する可能性が低い地域を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。

4.2.1 「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」の要件・基準

中間とりまとめを踏まえ、物理的隔離機能や閉じ込め機能に著しい影響を与える天然事象として検討すべきものを、表 4.2.1.1①～⑤のように再整理した。

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、鉱物資源探索に伴う人間侵入のリスクについても検討することとした。

表 4.2.1.1 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事象
(中間とりまとめ, 表 2 を一部加筆)

		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。現象の考え方及び回避の対象については、以下のように整理される(中間とりまとめ, 5.3.1)。

- 東北地方では、火山活動は火山フロントの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。
- 一部の火山を除いて、個々の第四紀火山の位置(その火山を代表する位置)を中心として、その個別火山体が半径 15 km の円の範囲に分布することから、これらを調査段階の初期において回避すべき範囲と考える。
- なお、巨大カルデラ等の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現地調査の結果に基づいて評価する。
- また、第四紀火山が存在しない地域にあっても、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、将来の火山・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。さらに、将来において発生する可能性を、マントル物質の熱対流モデル等により評価する必要がある。

このうち、文献調査までに回避すべき範囲は、以下の通りである（中間とりまとめ、5.3.1）。

- 最近の地質時代において活動した火山がある場所から、15 km 程度の範囲
- 火山の有無、影響範囲、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水やガス噴出の分布範囲について調査し、影響が想定される範囲

全国規模で利用可能な文献・データの例として、「日本の火山 第3版（産業技術総合研究所，2013）」がある。このデータは、全国の第四紀⁵火山の位置情報等が示されており、かつ巨大カルデラを含むカルデラの範囲も示されている。中間とりまとめでは、巨大カルデラは現地調査の対象としていたが、このデータにおいて巨大カルデラの範囲が確認できることから「回避すべき範囲」とすることが適当と考えられる。

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
- ◆回避すべき範囲の基準
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 を超える巨大カルデラの範囲

なお、処分地選定調査においては、以下の点について調査する必要がある。

- 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、隆起や海水準変動等の影響も考慮し、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。現象の考え方及び回避の対象については、以下のように整理される（中間とりまとめ、5.3.4）。

⁵ 第四紀とは、約 260 万年前から現在までの地質時代

- 侵食のうち、線的侵食である河川による下刻が最も厳しく、主要な検討対象とすべき形式である。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、等と仮定する方法が考えられる。
- 沿岸については、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、海面が最も低下した状態（現在より-150 m）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、文献調査までに回避すべき範囲は、以下の通りである（中間とりまとめ、5.3.4）。

- 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（目安として今後十萬年内に隆起量が 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が今後十萬年内に 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、過去十數萬年の平均隆起・沈降速度（約 20 km 四方を 1 メッシュ）に基づく、「日本列島と地質環境の長期安定性 付図 5 最近約 10 萬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。このデータは最近約 10 萬年間の隆起速度分布が示されているものであるが、最大の範囲は 90 m 以上/10 萬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、沿岸地域については、海水準低下（最大-150 m）を考慮すると、90 m 以上/10 萬年の隆起量と合わせ、300 m/10 萬年を超える隆起・侵食に相当する事象が発生する可能性が比較的高いと考えられる。

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

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

◆回避すべき範囲の基準

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

※ただし、データ制約によって、当該範囲を判断することができない。

◆回避が好ましい範囲の基準

隆起速度最大区分（90 m 以上/10 万年）のメッシュがある沿岸部

なお、処分地選定調査においては、以下の点について調査する必要がある。

- ・ 以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所
 - 内陸の隆起性山地（目安として今後十萬年内に隆起量が 300 m を超えると考えられる地域）
 - 隆起が顕著な沿岸部（目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量が、今後十萬年内に 300 m を超えると考えられる地域）
- ・ 将来の隆起・侵食量の評価結果に基づき、処分場の設置深度の設定と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

③地熱活動（非火山性を含む）

地層処分システムの閉じ込め性能への影響として、地温が長期間 100 °C を越えるような範囲では、緩衝材の変質を招く恐れがある等の理由により、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。現象の考え方及び回避の対象については、以下のように整理される（中間とりまとめ、5.3.1）。

- ・地温勾配が 10°C/100 m を超える高温異常域の分布は、火山の分布と整合的であり、第四紀火山の中心から 10 km の範囲は熱的影響が大きいと考えられる。
- ・したがって、これらを調査段階の初期において回避が必要となる対象範囲と考える。
- ・なお、巨大カルデラ等は、上記の範囲を超える可能性もあることから現地調査等に基づいて評価する。

このうち、文献調査までに回避すべき範囲は、以下のように考えられる。

- 火山の影響範囲、熱水やガス噴出等の分布範囲のうち、処分深度で地温が長期に 100°C を大きく超える範囲
- 非火山性熱水または深部流体が存在し、処分深度で地温が長期に 100°C を大きく超える範囲

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ものの、全国規模の地温勾配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）」や「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）」があり、地表温度及び処分深度を仮定した上で、地下の温度を推定することは可能である。

また、緩衝材であるベントナイトに含まれるモンモリロナイトについては、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（中間とりまとめ，3.1.1）。第 2 次取りまとめにおいても、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。

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
- ◆回避すべき範囲の基準
処分深度で地温が長期に 100°C を大きく超える範囲
※ただし、データ制約によって、当該範囲を判断することができない。
- ◆回避が好ましい範囲の基準
処分深度において 100°C 以下を確保できない地温勾配の範囲
(処分深度が 300 m の場合、28.3°C/100 m 以上の範囲。地表温 15°C と仮定した場合、上記の地温勾配の地域では、処分深度において 100°C を超える可能性が比較的高いと考えられる。)

なお、処分地選定調査においては、以下の点について調査する必要がある。

- 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

酸性の地下水の場合、ガラスや放射性物質の溶解度が増加し、放射性物質が早期に生活環境に到達するリスクがある。第2次取りまとめにおいて、pH4.8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⁶。一方、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ことから、これらの事象も処分場に著しい影響を与えると考えられ、火山性熱水または深部流体の流入の可能性が高い範囲を回避する必要がある。現象の考え方及び回避の対象については、以下のように整理される（中間とりまとめ、5.3.1, 5.3.2）。

- 熱水のpHが4程度の酸性となる領域は、火山からおおむね15 km程度の範囲に分布している。これらは、調査段階の初期において回避が必要となる対象範囲と考える。巨大カルデラ等は、上記の範囲を超える可能性もあることから現地調査等に基づいて評価する。
- 深部流体は温度にかかわらず、pHが酸性あるいは炭酸化学種濃度が高い場合には、化学場への著しい影響を回避する必要がある。

また、深部流体は形成・移動メカニズム等が研究途上であることから、文献調査までに回避する範囲は、以下の通りである（中間とりまとめ、5.3.2）。

- 処分深度に深部流体が存在し、かつ化学場への影響が想定される範囲

処分深度における火山性熱水、深部流体の存在を直接的に示す全国規模で整備されたデータが存在しないが、「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

⁶ 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

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）など、間接的に火山性熱水や深部流体が有する特徴を表したデータがある。

なお、火山性熱水について、第2次取りまとめと中間取りまとめにおいては、マグマに含まれる揮発成分は火山ガスの組成等から、 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 、 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を低下させることから、第四紀火山およびその周辺地域にpH4.8未満の酸性の地下水が分布することが示されている（中間とりまとめ，4.1.4）。また、炭酸化学種濃度が 0.5 mol/dm^3 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）。

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。

- | |
|---|
| <p>◆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</p> <p>◆回避すべき範囲の基準
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
※ただし、データ制約によって、当該範囲を判断することはできない。</p> <p>◆回避が好ましい範囲の基準
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</p> |
|---|

なお、処分地選定調査においては、以下の点について調査する必要がある。

- ・ 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）

断層活動により、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、処分場が力学的に破壊される場合及び断層のずれに伴い断層及びその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。現象の考え方及び回避の対象については、以下のように整理される（中間とりまとめ、5.3.3）。

- 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、既存の活断層の存在は、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、2000年以降に発生した地震とその後の活断層調査の知見を踏まえて確認する必要がある。
- さらに、断層活動の影響範囲は、目安となる破砕帯の幅として、保守的には断層長さの100分の1程度⁷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、断層の進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、文献調査までに回避すべき範囲は、以下の通りである（中間とりまとめ、5.3.3）。

- 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、破砕帯の幅として保守的に断層長さの100分の1程度の範囲
- 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程度の範囲を回避に関する範囲とすることとし、「断層の長さ」のとりえ方には幾つか種類があることから、短い長さ（活動セグメント⁸長さ）で影響範囲である幅が狭くなる場合を「回避すべき範囲」、長い長さ（起震断層⁹長さ）で影響範囲である幅が広がる場合を「回避が好ましい範囲」とすることが適当であると考えられる。

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）」がある。なお、活断層データベースでは、日本全国の活断層の分布が示されるとともに活動セグメントとその長さや、起震断層を確認できるようになっている（活動セグメントと起震断層の模式図は図4.2.1.1を参照）。

また、海域の活断層については、日本周辺の全海域について第四紀以降に活動したと

⁷ 既往の断層の長さや破砕帯およびプロセスゾーン幅の関係に関する知見（例えば、破砕帯幅は断層長さの1/350～1/150程度、プロセスゾーンの幅は断層長さの1/100程度）が示されている（緒方・本荘,1981;Scholz,2002;Sibson2003,金折・遠田,2007;大橋・小林,2008;長友・吉田,2009;吉田ほか,2009;Niwa et al.,2009,2011）

⁸ 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

⁹ 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 midpoint との間の距離などから、相互間隔の目安を5kmと設定した

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造図（徳山ほか，2001）」がある。

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
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
- ◆回避すべき範囲の基準
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 程度の幅を持たせた範囲
- ◆回避が好ましい範囲の基準
活断層に、破碎帯として断層長さ（起震断層長さ）の 1/100 程度の幅を持たせた範囲

なお、処分地選定調査においては、以下の点について調査する必要がある。

- ・ 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領域（活断層帯）
- ・ 変形帯や活褶曲・活撓曲について、地層処分システム全体への影響が著しい場合
- ・ 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

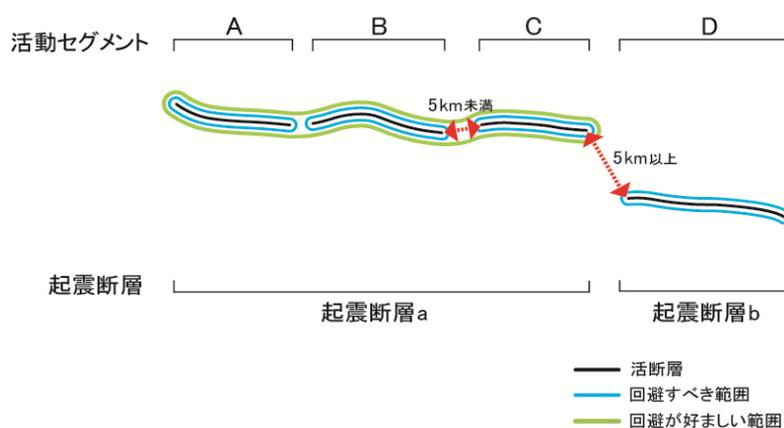


図 4. 2. 1. 1 活動セグメントと起震断層の模式図

⑥ 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、最終処分施設に対する偶発的な人間侵入の可能性をできるだけ排除する必要がある。

最終処分法上は、文献調査において「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いけないとされている。

また、原子力安全委員会（2002）では、文献調査において考慮すべき要件としての鉱物資源の取扱いについて、「経済的に重要な鉱物資源の鉱床等の存在が、文献調査で明らかでない地域は、鉱物資源の探査・掘削活動に伴う放射線の影響等を避ける観点から、これを概要調査地区に含めない。」としている。なお、ここでの鉱物資源は、鉱業法で定義されている鉱物としている。

上記を踏まえ、議論の対象とする鉱物資源を「鉱業法で定められる鉱物」とし、「回避すべき範囲」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。

直接的に上記に該当する範囲を特定するための全国規模のデータは存在しないが、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・ガス田図分布図（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）」がある¹⁰。

「日本油田・ガス田図分布図（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。ただし、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 4.2.1.2）。今回の科学的有望地の検討においては、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」には、回避が必要でない範囲が含まれる可能性があり、調査をすればそうした範囲が確認できる可能性があることに留意する必要がある。

¹⁰ 主に金属鉱物を示した、鉱床鉱徴地分布図（「国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集」（産業技術総合研究所，2015）については、有用な鉱物の濃集した場所を示しているものに加え、採掘可能な規模・品位の鉱床は見つけられていないものの鉱床の存在を示唆する鉱物の認められる場所（鉱床の徴候）が混在していることから、今回用いるデータとしては適当ではないと判断した

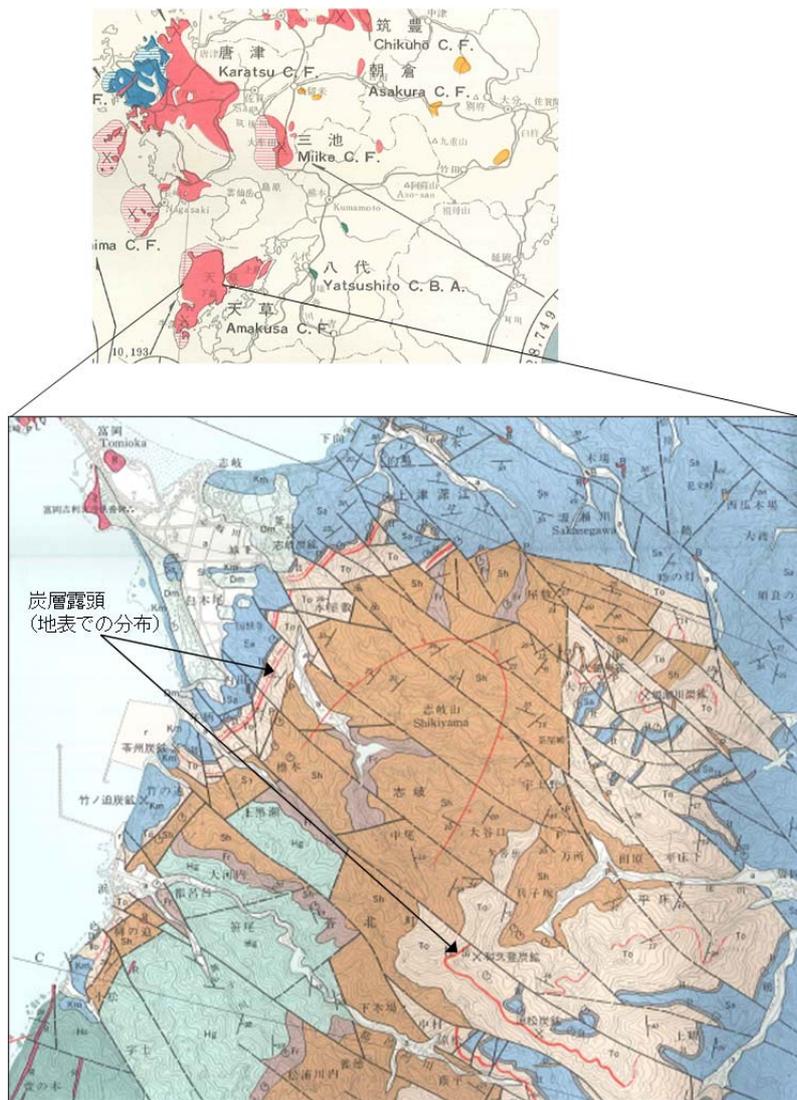


図 4.2.1.2 「日本炭田図（第2版）（産業技術総合研究所，1973）」と
個別地点（天草炭田図（5万分の1）（産業技術総合研究所，1997））における図の例

（注）「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、上記では、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。

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隔離機能や閉じ込め機能が喪失されないこと

◆回避すべき範囲の基準

現在稼動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

◆回避が好ましい範囲の基準

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。）

* 鉱物資源とは、鉱業法で定められる鉱物（金属鉱物、非金属鉱物、燃料鉱物）とする。

4.2.2 「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事象についても検討を行った。

4.2.2.1 最終処分施設に求められる地質環境特性に関する検討

地層処分を行う上で好ましい地質環境特性は表 4.2.2.1.1 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 4.2.2.1.1 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
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 4.2.2.1.1)、「好ましい範囲」の要件は「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。

一方、緩衝材の性能(透水係数、熱伝導率等)については、特に閉じ込め性能が大幅に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。

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 4.2.2.1.1)、「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。

一方、オーバーパックの厚さは、作用する外力の中で最も大きい地下水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 4.2.2.1.1)、「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。

地下深部の地下水の流速が緩慢である場合、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。

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をもって示す必要があるが、その両方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基準を設定することは難しいと考えられる。

なお、地下水流動が非常に緩慢で拡散が支配的な場合は安全性が大きく向上すると考えられる。この場合、地下水流動に対する緩衝材による工学的対応への負荷が大きく低減する可能性がある。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。

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「炭酸化学種濃度が低いこと」であることから（表 4.2.2.1.1）、「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低いこと」と設定できる。

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, 1999）。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（武田ほか, 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。

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た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。

- 科学的有望地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。特に地下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。
- 前述の通り、地下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。

4.2.2.2 天然現象の影響に関する検討

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から、地質環境特性と同様、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。そのため、全国規模の広域データのみを用いる科学的有望地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。

4.2.3 検討の結果のまとめ

4.2.3.1 「回避すべき範囲」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」を喪失する可能性のあるリスクは、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事象として、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考慮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、鉱物資源探索活動があげられる。

これらの個別のリスクについて、それぞれ、「回避すべき範囲」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（表 4.2.3.1.1）。

火山・火成活動、断層活動については、全国規模で利用可能な文献・データが存在し、「回避すべき範囲」の要件・基準を設定することが可能であったのに対し、隆起・侵食活動、地熱活動、火山性熱水・深部流体及び鉱物資源については、現時点で全国規模で利用可能な文献・データに限界があるため、代替指標の利用等により「回避が好ましい範囲」の要件・基準の設定を行った。

4.2.3.2 「好ましい範囲」の設定可能性について

地質環境特性及びその長期安定性の観点から一定の地理的範囲を「好ましい範囲」と評価する可能性を検討する際には、以下の点に留意が必要である。

まず、科学的有望地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。特に地下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。

また、地下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。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評価されるとしても、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。

更に、地質環境の長期安定性に影響を与える天然事象の影響についても、考慮する時間スケールが数万年以上と長期間にわたるものであることを踏まえつつ、十分なデータを踏まえた総合評価が必要である。

以上を踏まえ科学的有望地選定の段階においては、地質環境特性及びその長期安定性の観点から一定の地理的範囲を「好ましい」と評価することは困難であると考えられる。

表 4.2.3.1.1 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

	想定される リスク	要件	分類	基準	利用可能な文献・ データの例
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、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク	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	回避すべき	第四紀火山中心から 15 km 以内 第四紀の火山活動範囲が 15 km を超える巨大カルデラの範囲	日本の火山（第 3 版）（産総研，2013）
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触するリスク	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	回避すべき	過去十万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	（データなし）
			回避が 好ましい	隆起速度最大区分（90 m 以上/10 万年）のメッシュがある沿岸部	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	地熱活動に伴う熱が緩衝材を変質させ、放射性物質を吸着する機能等が低下することにより、放射性物質が早期に生活環境に到達するリスク	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	回避すべき	処分深度で地温が長期に 100°C を大きく超える範囲	（データなし）
			回避が 好ましい	処分深度において 100°C 以下を確保できない地温勾配の範囲 ※地上温度 15°C、深度 300m を想定し、地温勾配 28.3°C/100m	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（産総研，2004）
火山性熱水・ 深部流体	ガラスを溶かしやすくする、オーバーパックを腐食しやすくすることなどの特性を持つ地下水により、放射性物質が早期に生活環境に到達するリスク	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	回避すべき	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	（データなし）
			回避が 好ましい	地下水の特性として、pH4.8 未満あるいは炭酸化学種濃度 0.5mol/dm ³ （mol/L）以上を示す範囲	全国地熱ポテンシャルマップ（産総研，2009）
断層活動	断層活動により処分場が破壊されると共に、断層の透水性が高まり地下水が流れやすくなるなどにより、放射性物質が早期に生活環境に到達するリスク	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	回避すべき	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 程度の幅を持たせた範囲	活断層データベース（産総研ウェブサイト） 日本周辺海域の第四紀地質構造図 日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史 付図（徳山ほか，2001） 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）
			回避が 好ましい	活断層に、破碎帯として断層長さ（起震断層長さ）の 1/100 の程度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隔離機能や閉じ込め機能が喪失するリスク	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隔離機能や閉じ込め機能が喪失されないこと	回避すべき	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	（データなし）
			回避が 好ましい	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。）	日本油田・ガス田分布図 第 2 版（産総研，1976） 日本炭田図第 2 版（産総研，1973）

4.3 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 50 年以上にわたることが想定されており、地下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、当該地域の関心は十分に大きなものとなることが想定される。

このため、建設・操業時の安全性の確保についても、科学的有望地の要件・基準の検討の段階から考慮することが重要である。

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、「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」及び「好ましい範囲」の要件・基準について検討を行った。

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。

4.3.1 「回避すべき範囲」、「回避が好ましい範囲」の要件・基準

4.3.1.1 地下施設の建設に関する検討

高レベル放射性廃棄物の地層処分のための地下施設に関して、埋設後長期の物理的隔離機能を担保するため、地下 300 m 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¹¹。

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 4.3.1.1.1 に示す標準的なケースで、約 3 km×約 2 km 程度の平面的な広がりが必要となる (NUMO, 2009)。また、地層処分相当の低レベル放射性廃棄物については、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 0.5 km×約 0.3 km (NUMO, 2009)) 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 300 m 程度の離間距離を置く必要があるとされている (NUMO, 2011)。

これらの結果として、地下施設は、平面的広がりとして 10 km² 程度を有する規模の地下構造物となる。類似事例として、地下トンネルの掘削があげられ、作業従事者の安全を確保するための基準が定められている。そのため、地下施設の建設作業従事者の安

¹¹ 最終処分法第二条第二項 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

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、トンネル設計・施工基準（土木学会，2006）を参考とし、具体的には表 4.3.1.1.1 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項目について以下の検討を行った。

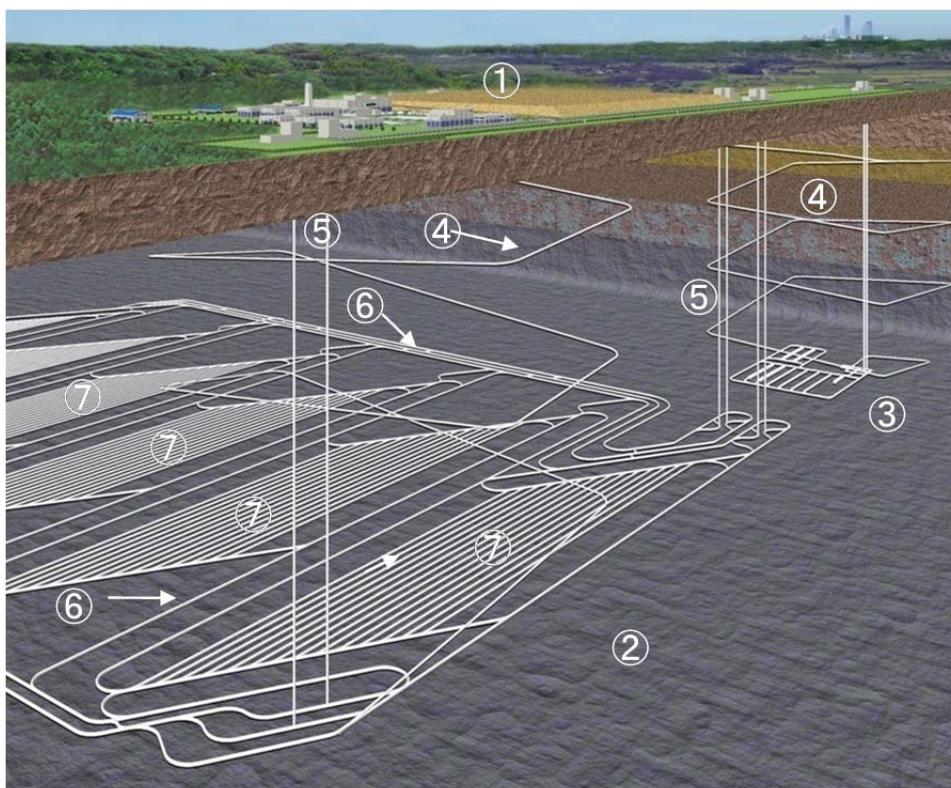


図 4.3.1.1.1 現在想定している標準的な地下施設レイアウトの例（NUMO，2009）

(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処分場の地下施設、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）)

表 4.3.1.1.1 地下施設の建設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	著しく困難
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	程度による (十分な実例あり)
	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	程度による (十分な実例あり)
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	程度による (十分な実例あり)
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	程度による (十分な実例あり)
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	程度による (十分な実例あり)
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	程度による (十分な実例あり)
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	程度による (十分な実例あり)

①未固結堆積物¹²

未固結堆積物とは、沖積層や一部洪積層を形成する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、軽石等からなる火山噴出物等の呼称である（土木学会，2006）。

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に存在する場合は、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。

具体的には、深度 300 m 以深に未固結堆積物が存在することを直接的に示す全国データが存在しない一方、地盤強度が地層の年代と関連付けられ（土木学会岩盤力学委員会、

¹² 土木学会で使用している「未固結地山」は最終処分法施行規則第 5 条における「未固結堆積物」と同義と考えられる

1984)¹³、「沖積世」および「洪積世」の地盤の一軸圧縮強さは最大でも 1 MPa 未満と考えられ、施設を支持する地盤として十分な強度を持たない可能性が高いと考えられることから、「回避が好ましい範囲」として、「深度 300 m までの範囲に強度が小さいと考えられる地層が分布する範囲」とすることが適当と考えられる。

全国規模で利用可能な文献・データの例として、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）」がある。

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
 - 処分場の地層が未固結堆積物でないこと
- ◆回避すべき範囲の基準
 - 処分深度に第四紀未固結堆積物層が分布する範囲
 - ※ただし、データ制約によって、当該範囲を判断することができない。
- ◆回避が好ましい範囲の基準
 - 深度 300 m までに中期更新世（約 78 万年前）以降の地層が分布する範囲

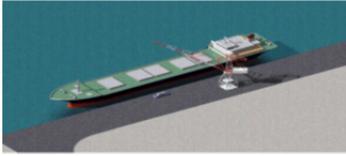
②その他事象（地熱・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有害ガス）

表 4.3.1.1.1 に整理したように安全確保上の懸念事象が存在し、工学的対応が必要となる。しかし、工学的対応の可否は程度によるが、実績が十分あることを踏まえ、「回避すべき範囲」は設定しないことが適当である。

4.3.1.2 地上施設の建設・操業に関する検討

現在想定されている高レベル放射性廃棄物処分等の地層処分のための主要な地上施設を図 4.3.1.2.1、図 4.3.1.2.2 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、表 4.3.1.2.1～4.3.1.2.4 に示す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 項目について以下の検討を行った。

¹³ 文献中の「沖積世」および「洪積世」の地盤の一軸圧縮強さは最大でも 1 MPa 未満と考えられ、施設を支持する地盤として十分な強度を持たない可能性が高いと考えられる。ただし「洪積世」を新しい時代区分と対比すると前期更新世の一部が含まれていない。そこで、ここでは「洪積世」は中期および後期更新世が最も近いものとして扱うこととする



⑦

サイト内：廃棄体の受入・検査・封入施設(①②※)、緩衝材製作施設(③)、換気施設(④)、排水処理施設(⑤)、掘削土の仮置き場(⑥)
 サイト外：港湾(⑦)、輸送道路(⑧)
 (※)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



図 4.3.1.2.1 地上施設及び港湾施設
 (NUMO, 2009)

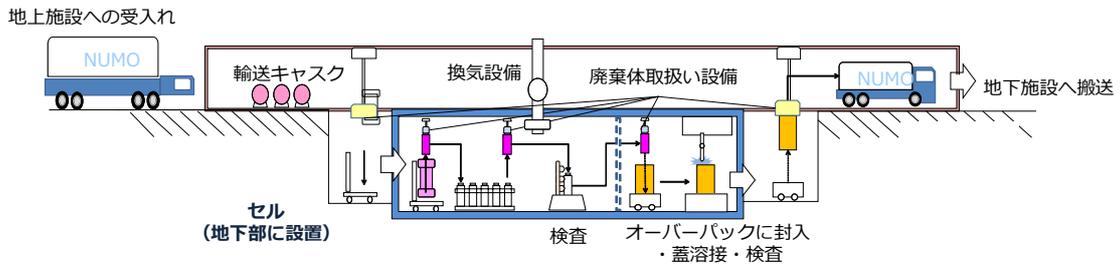


図 4.3.1.2.2 廃棄体の受入・検査・封入施設の概念図

表 4.3.1.2.1 廃棄物管理施設に対する規則等の概要 —施設を支持する地盤—

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）
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	<p>「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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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

※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。

表 4.3.1.2.2 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」とは、地震により発生するおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の相対的な程度（耐震重要度）
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	「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（基準地震動）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 4.3.1.2.3 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
<p>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>	<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 4.3.1.2.4 廃棄物管理施設に対する規則等の概要

ー外部からの衝撃による損傷の防止ー

規則の概要	解釈の概要
<p>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</p>	<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
<p>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</p>	<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という ・「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の評価基準について」等を参考にし、防護設計の要否について確認 ・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のうち、自然現象の一部の火山に関わる事象では、配置も含む設計による対応が困難となる可能性があると考えられる。表 4.3.1.2.4 に関連する「原子力発電所の火山影響評価ガイド（原子力規制委員会，2013c）」を参照すると、影響を及ぼしうるとして抽出し個別評価を行う火山について、運用期間中に設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流等）が影響を及ぼす可能性が十分小さいとは言えない場合、立地不適とし回避が要求されている。この要求は、全国規模での検討においても地上施設の立地上、重要な考慮事項と考えられる。

基本的には、影響評価を判断するためには現地調査の上、詳細な情報が必要であるため、現時点で「回避すべき範囲」は設定が難しいと考えられる。代わりに、「回避が好ましい範囲」が設定可能かどうかを検討した。

「原子力発電所の火山影響評価ガイド（原子力規制委員会，2013c）」では、まず完新世（約 1 万年前以降）の火山活動を、詳細な影響評価の候補としている。

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

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

◆回避すべき範囲の基準

（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）

◆回避が好ましい範囲の基準

完新世（約 1 万年以降）の火砕流堆積物・火山岩・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、埋設後長期安全性の観点での「回避すべき範囲」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。

②その他事象（施設を支持する地盤、地震、津波）

施設を支持する地盤については、「安全上重要な施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない」とされており（原子力規制委員会，2013b）、これは、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すること、すな

わち「将来活動する可能性のある断層等¹⁴の露頭」を避けることを求めている（表4.3.1.2.1）。このように個別具体的な対象を回避するためには、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科学的有望地選定の段階では、本項目に関する要件・基準を設定することは適切でないと考えられる。

また、地震・津波については、現地調査に入る前段階として直接的に回避が要求されている事象・特性はないため、本項目に関する要件・基準を設定しないことが適当であると考えられる。

4.3.2 「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、地下施設、地上施設ともに施設の安全裕度が大きく向上するかを検討した。

4.3.2.1 地下施設の建設に関する検討

地下施設の建設に関しては、トンネル設計・施工基準（土木学会，2006）を参考とし、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項目について以下の検討を行った。

①未固結堆積物

一般に、トンネル工事において施工の容易さ等を図る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。通常、地山強度比が2以上の地層は、坑道壁面での局所安全率が1以上となるため、坑道の安定性が保たれる。しかし、実際には、地山強度比2未満でも、坑道部分の岩盤が受け持っていた力が坑道周辺の岩盤へ分散することなどによりすぐには崩壊には至らない。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」であれば坑道の自立が可能と想定され、「好ましい範囲」と考えられる¹⁵。

ただし、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

周辺岩盤の地熱が著しく高い場合は、作業従事者の健康を阻害する可能性になるばか

¹⁴ 後期更新世（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

¹⁵ 仮に岩盤の単位体積重量を20 kN/m³、深度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

りでなく、掘削時に高温の環境や湧水が発生した時は作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。また、坑道の安定性確保のためのコンクリート支保工も温度が高いことにより劣化が促進される可能性がある。

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°C）以下に維持できる範囲として、「処分深度で 45°C 以下¹⁶を確保できる地温勾配¹⁷の範囲」は「好ましい範囲」と考えられる。

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ものの、全国規模の地温勾配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）」や「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）」がある。

③その他の事象（膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有毒ガス）

工学的対策の実績が十分にあることも踏まえ、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ることから、「好ましい範囲」を設定することは困難である。

4.3.2.2 地上施設の建設・操業に関する検討

地上施設の建設・操業に関しては、4.3.1.2 と同様に表 4.3.1.2.1～4.3.1.2.4 に示す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 項目について以下の検討を行った。

①施設を支持する地盤

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（表層地盤を掘削などを行い、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。

上記を踏まえ、施設を支持する地盤としては、類似施設において、地震時の接地圧が 1 MPa 以下であることから、4.3.1.1 の未固結堆積物の検討結果と同様、一軸圧縮強さが数 1 MPa 程度以上となる中期更新世より古い地層が、十分な固さを有する地盤の目安に

¹⁶ 労働安全衛生規則 第 611 条で定められる温度（37°C）を維持。工学的対策（換気設備）だけで対応する場合、45°C 程度であれば上記温度を保つことが可能

¹⁷ 地上温度を 15°C、深度 300 m を想定し、地温勾配 10°C/100 m 以下

なるものと考えられる。

このため、地盤の固さに加え十分な支持能力をもつ固い地層までの深度を考慮した「中期更新世（約 78 万年前）以降の地盤の層厚が既往構造物の工学的対応実績より小さい範囲¹⁸」は「好ましい範囲」と考えられる。

全国規模で利用可能な文献・データの例として、4.3.1.1 の未固結堆積物における評価で用いた「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）」がある。また、既往構造物において基礎掘削で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。

②津波

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、海岸堤防などの工学的対策を取ることが考えられる。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、「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，2013d）では、評価地点における基準津波の水位に対して耐津波設計¹⁹を行っている。基準津波の設定²⁰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。

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「好ましい範囲」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

¹⁸ 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、せん断波速度の全国大のデータは存在しない

¹⁹ 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

²⁰ 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

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その他事象（地震・外部からの衝撃による損傷の防止）

地震への対応に関する類似施設の規則の要求は、「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」ことである（表 4.3.1.2.2）。

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 2014 年版（地震調査研究推進本部，2014）」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，2013e）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。

地震・津波以外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 4.3.1.2.4）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。

4.3.3 検討成果のまとめ

4.3.3.1 「回避すべき範囲」の設定可能性について

①地下施設について

地下施設の安全性については、立坑や処分坑道等の建設の際に作業従事者の安全を確保することが重要である。類似事例としてトンネル工事の施工実績が既に多数存在し、この安全性確保については土木学会が一般的な考え方を示しているため、これを参考として検討を行った。具体的に考慮すべきリスク要因は、未固結堆積物、膨張性地山、山はね、高い地熱・温泉、有害ガス、高圧・多量な湧水、泥火山である。これらは、工学的対策の実績が十分にあることも踏まえ、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、あらかじめ「回避すべき範囲」を設定することは適当ではないと考えられる。

ただし、未固結堆積物が地下深部に存在する場合は、坑道掘削時に切羽が自立せず崩落する可能性が高く、安全性が著しく損なわれることから、できるだけ避けることが望ましい。そのため、「回避が好ましい範囲」の要件・基準の設定を行った（表 4.3.3.2.1）。

②地上施設について

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作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。類似施設としては既に高レベル放射性廃棄物を貯蔵している施設が存在することから、その規制基準を参考に、施設を支持する地盤、地震、津波、外部からの衝撃による損傷の防止を検討することとした。

これらは、基本的に個別地点毎に現地調査による詳細な情報をもとに判断していくことが適当であり、あらかじめ「回避すべき範囲」を全国一律で設定することは適当ではないと考えられる。

他方、作業期間中に対応不可能な火山事象（火砕物密度流等）が影響を及ぼす可能性が小さいとは言えない地域はできるだけ避けることが望ましい。そのため、「回避が好ましい範囲」の要件・基準の設定を行った（表 4.3.3.2.1）。

4.3.3.2 「好ましい範囲」の設定可能性について

地下施設に関しては地下の作業環境の観点から地温について、地上施設に関しては施設の安全性の観点から施設を支持する地盤について、全国規模で利用可能な文献・データが存在し、一定の基準を設けることが可能であると考えられる（表 4.3.3.2.1）。他方、これら以外のその他の事項については、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。

地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性の確保の観点から考慮すべき事項は多数存在する中で、具体的な基準の設定が可能な事項は極めて限定されており（地下施設・地上施設で一つずつ）、それらのみに基づいてある一定の地理的範囲を「好ましい」と評価することは適当ではないと考えられる。

表 4.3.3.2.1 地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性確保に関する
要件・基準

	想定される リスク	要件	分類	基準	利用可能な文献・ データの例
①地下施設					
未固結堆積物	固結していないため掘削と同時に坑道が崩落する可能性	処分場の地層が未固結堆積物でないこと	回避すべき	処分深度に第四紀未固結堆積物層が分布する範囲	(データなし)
			回避が好ましい	深度 300m までに中期更新世(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)
		固結した岩盤であることにより、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	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	(データなし)
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。また、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	地温が高温でないことにより、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	処分深度で 45℃以下を確保できる地温勾配の範囲 ※地上温度 15℃、深度 300m を想定し、地温勾配 10℃/100m 以下	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(産総研, 2004)
②地上施設 ²¹					
地上施設を支持する地盤 ²²	施設の十分な支持性能を発揮できず、施設の安全性が損なわれるリスク	施設を支持する地盤への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	中期更新世(約 78 万年前)以降の地盤の層厚が既往構造物の工学的対応実績より小さい場所 ※既往構造物において基礎掘削 25m	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)
津波 ²³	津波の影響により、施設の安全性が損なわれるリスク	津波への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	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	(一定地域のデータしか存在しない)
火山の影響 ²⁴	地震・津波以外の自然事象や人為的な事象の影響により、施設の安全性が損なわれるリスク	作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	回避が好ましい	完新世(約 1 万年前以降)の火砕堆積物・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(産総研ウェブサイト)

²¹ 地震については、類似施設の規制基準において、直接的に回避が要求されている事象・特性はなし。好ましい範囲において、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

²² 「回避すべき範囲」については、類似施設の規制基準において「将来活動する可能性のある断層等の露頭」は回避が要求されているものの、現地調査で判明する個別具体的な対象そのものが指定されているため、今回要件・基準等は設定しないことが適当と判断

²³ 津波については、類似施設の規制基準において、直接的に回避が要求されている事象・特性はなし

²⁴ 「回避すべき範囲」、「好ましい範囲」については、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

4.4 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、技術基準等が原子炉等規制法（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²⁵。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、地層処分低レベル放射性廃棄物が約 3,600 本（ガラス固化体の形状・重量として試算）と見積もられる。

上記に加え、放射性廃棄物等の輸送については、数十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、科学的有望地選定の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や国内での規制基準等を使用した。

²⁵ 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 t）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（（地層処分低レベル放射性廃棄物を含み、1 回の輸送で 4 台の車両によりガラス固化体 16 本相当の廃棄体を輸送とした場合））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をとるバランスを考えた場合に、現在の仕様（ガラス固化体 28 本、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十分にあり得る

4.4.1 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。

4.4.2 「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」及び輸送時間、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）。

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」、輸送が複数日にわたり宿泊等で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 4.4.2.1）。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²⁶から専用道路の敷設が好ましい。4.4.1に基づき、検討を行った結果、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²⁷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の検討結果を、表 4.4.2.1、4.4.2.2 に示す。これらの結果から、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。

- ・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。
- ・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、国内におけるガラス固化体の

²⁶ 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）したがって、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。

²⁷ 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）

陸上輸送実績は 10km 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²⁸（地下施設が沿岸海底下に設置される場合を含む）が考えられる。

²⁸ 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。

表 4.4.2.1 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 (△) 宿泊等で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 (△)		路盤、橋梁の補強あるいは輸送キャスクの小型化が必要 (△)
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(鉄道輸送か車両輸送)が必要 (△)

表 4.4.2.2 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。したがって、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。したがって、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) (○)

4.4.3 検討の結果のまとめ

4.4.3.1 「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）に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）、核セキュリティの観点（短い輸送時間等））から、港湾からの距離が十分に短いこと（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、これまでのガラス固化体の陸上輸送実績が 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。

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事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。このため、「回避すべき範囲」の設定は行わないことが適当であると考えられる。

4.5 事業の実現可能性に関する検討

処分地選定の調査地点としての適性は、安全性の確保の観点以外にも、処分地選定調査から建設・操業までを含めた処分事業の実現可能性の観点からの評価が可能であり、実際、処分地選定に関する諸外国の事例でも、事業の実現可能性に影響を与える様々な要素が考慮されている。それらは、大別すれば、①処分事業（選定調査を含む）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、②処分事業以外の目的や価値との関係で考慮すべきもの、に整理される。

技術WGでは、①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のうち、技術的対応可能性と密接に関連するものについて検討を行った。

4.5.1 事業の実現可能性に係る検討項目の抽出・整理

事業の実現可能性に関しては、最終処分施設の処分地選定の調査・評価の実施を検討項目とした。これは以下の理由による。

- わが国は、諸外国と比較すると、一般的に天然現象の発生頻度が高く地質構造が複雑であり将来の予測が比較的難しいことが多い場合があると考えられることから、これらを考慮した総合的な安全性評価のための情報を整備するためには、柔軟かつ機動性のある調査が可能となるようにすることが重要である。
- 特に深度 300 m より深い領域の地質環境に関する既存の情報は限られており、文献調査段階までの間に総合的な安全性評価を行う上で必要となる地質環境の精度の良い推定は難しいことから、概要調査以降の調査では、このような観点に十分な配慮が必要である。
- 上記の理由により、概要調査で地質環境に関する幅広い情報を広範囲で収集することなど、文献調査範囲から抽出した概要調査地区に加え、天然現象の痕跡や地下水流動状況など補足的に調査を行う範囲を相当広域で考えておく必要がある。また、精密調査においても必要に応じて同様に、調査上の自由度をできるだけ高めておくことが重要と考えられる。なお、これらの調査のために必要な技術等は、日本原子力研究開発機構の深地層の研究施設計画などの知見や経験を踏まえ整備されてきている。
- 一方、わが国は一般的に土地利用が進んでいるため、土地利用上の制約の有無などが、上述の概要調査や精密調査を実施するにあたってどの程度影響を与えるか考慮しておくことが適当と考えられる。

4.5.2 「好ましい範囲」の要件・基準

4.5.1 を踏まえ、事業の実現可能性については、調査・評価の容易性に注目して、検討を行った。具体的な検討項目と結果は以下に示す通りである。

①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、公有地であれば許認可を得るなど²⁹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、土地の借用や取得において制約が少ないこと（具体的には、関係法令等で土地利用が制限されていない、地権者が少なく契約が困難でない）が好ましいと考えられる。

②地質環境評価の容易性

- ・ 地層処分システムの長期的な安全性を確保するためには、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。
- ・ 総合的な安全評価を行うにあたって不確実性が低減できる、調査範囲が広範囲に広がらないような特徴を備えている地域（具体的には、地質構造が単純である、地下水流動の把握が比較的容易である）は好ましい地域と考えられる。例えば、地質が比較的レベルに近い成層構造を成している地域や、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が地質環境の評価が比較的容易な地域が考えられる。

上記を踏まえ、以下については、「好ましい範囲」と考えることが適当である。

- ・ 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等）
- ・ 地下水流動の把握が比較的容易な地域

²⁹ 海域の場合は、公有地であることから港則法、海上交通安全法などの定めによる許可の申請・届出を行わなければならない。また、調査地点が河川、河川敷、国立公園内などに及ぶ場合は別に諸手続が必要。

4.5.3 検討結果のまとめ

4.5.3.1 「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、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。そうした地域としては、「関係法令等で土地利用が制限されていないこと」、「地権者が少なく、契約が困難でないこと」といった地域が該当すると考えられる。

ただし、具体的な処分地選定調査において、実施主体がこのような点を考慮し、調査や評価が容易な地域を見出す努力をすることは重要であるが、そうした地域は広範に存在するため、科学的有望地の検討の段階で一定の基準を定め、それに基づく地理的範囲を示すことは困難であると考えられる。

なお、内陸部の場合は、輸送時の安全性の確保の観点からのみならず、複数自治体を通過することを想定すると、実現可能性の観点からも一般的に困難性が高まるのではないかと議論もあった。こうした点は、科学的有望地の要件・基準への反映という観点においては、技術 WG の審議の範囲ではないが、今後の立地活動を進める際の実施主体自らの考慮事項としては重要であると考えられる。

第5章 「適性の低い地域、高い地域」の考え方

科学的有望地は、処分地選定調査に入る前段階において、当該調査を実施する範囲としての適性を評価するものとして整理した（第2章参照）。第4章で抽出された回避すべき範囲、回避が好ましい範囲および、好ましい範囲の要件・基準に照らして、処分地選定調査を実施する範囲としての「適性の低い地域、高い地域」を以下の通り整理した（図5.1）。

5.1 基本的考え方

最初に、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を行い、続いて、②地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性、③輸送時の安全性、④事業の実現可能性について検討を行ったが、前段（①）の検討と後段（②～④）の検討は、時間スケールも空間スケールも異なることは明確に認識される必要がある。

さらに、処分の安全性を確保するためには、好ましい地質環境特性及びその長期安定性の確保が最も重要である。このため、①の観点からの検討の結果「適性の低い地域」と評価される地域は、その他②～④の観点からの検討に基づき「適性の高い地域」と評価されるべきではない。

5.2 「適性の低い地域」の考え方

まず、地質環境特性及びその長期安定性の確保に関して、抽出された回避すべき範囲の要件・基準のいずれかに該当する場合は、地質環境の長期安定性が損なわれるリスクが大きい。

回避が好ましい範囲の要件・基準のいずれかに該当する範囲は、上記と同様の意味で適性が低いとは言い切れないが、現在利用可能な文献・データに基づけばその可能性が一定程度見込まれる。なお、この地域は、今後様々な調査研究等が行われデータが充実していくことで適性がより明確になっていく可能性があり、将来的に処分地選定調査を進めていく価値が否定されるものではない。

同様に、地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性確保に関しても、回避が好ましい範囲の要件・基準のいずれかに該当する範囲は処分地選定調査を実施するにあたり、適性の低い可能性が高い。

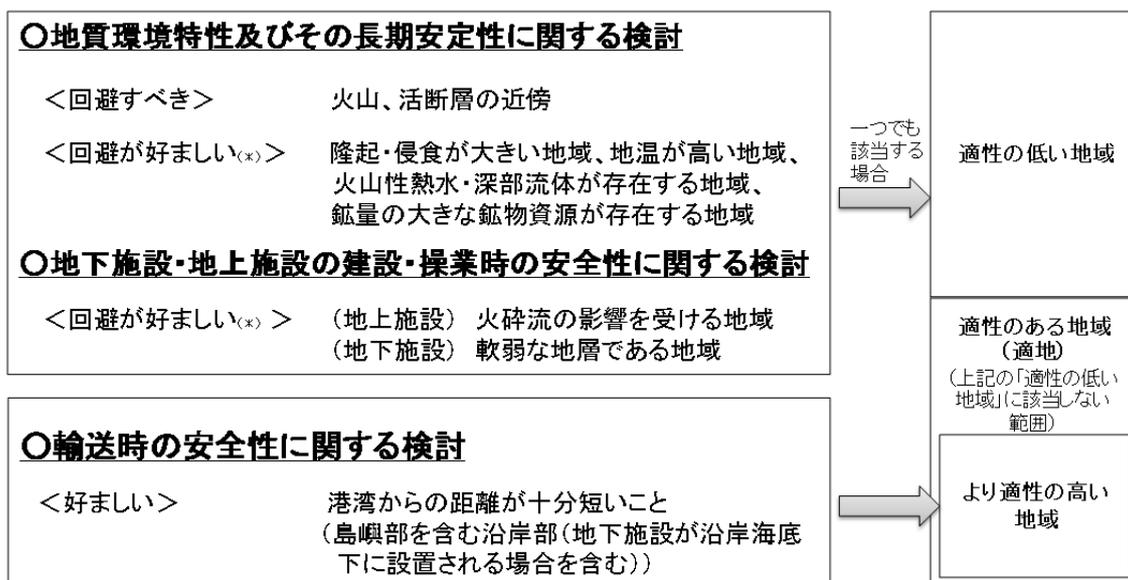
上記に該当する範囲は「適性の低い地域」と整理する。

5.3 「適性のある地域」及び「より適性の高い地域」の考え方

5.2 で整理した「適性の低い地域」に該当しない範囲については、処分地選定調査を実施する範囲として「適性の低い地域」ではないという意味で「適性のある地域（適地）」と整理する。この地域は、地層処分にとって好ましい地質環境が存在し、長期にわたってそれが維持されることを現時点で保証するものではないが、処分地選定調査によってそのことが確認できることが期待できる地域であり、処分地選定調査を進めていく価値がある地域である。

好ましい範囲の設定可能性については、地質環境特性及びその長期安定性の確保の観点からは一定の範囲を「好ましい」と評価することは困難であると考えられる（4.2.3.2 参照）。また、地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性の確保の観点についても、ある一定の地理的範囲を「好ましい」と評価することは適当ではないと考えられる（4.3.3.2）。

他方、「適性のある地域（適地）」に分類される地域のうち、輸送時の安全性の確保の観点から好ましい範囲に当てはまる範囲は、地質環境特性及びその長期安定性の確保及び建設・操業時の安全性の確保のいずれの観点からも特段の大きなリスクが現時点では確認されておらず、かつ、輸送時の安全性の観点からはリスクが相対的に小さいことが期待されるという意味で、「より適性の高い地域」として整理することが適当であると考えられる。（ただし、今後、社会科学的観点からの検討を加える必要がある。）



(*)「回避が好ましい」の要件・基準のいずれかに該当する範囲は、今後様々な調査研究等が行われデータが充実していくことで適性がより明確になっていく可能性があり、将来的に処分地選定調査を進めていく価値が否定されるものではない。

図 5.1 抽出された要件・基準と「適性の低い地域、高い地域」との関係

第6章 その他の検討事項

6.1 沿岸部に関連する事項

5.2 で示した「適性のある地域」の中の港湾からの距離が十分短い地域（島嶼部を含む沿岸部）は、輸送時の安全性の確保の観点から、「より適性の高い地域」と整理したが、それ以外の観点、すなわち、地質環境特性及びその長期安定性の確保、地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性の確保及び事業の実現可能性の確保のそれぞれの観点から、沿岸部に期待される一般的特性や事業を進める上での留意すべき事項を確認した。

ここで、沿岸部の区分に関連する用語については、図の通り整理した（図 6.1.1）³⁰。

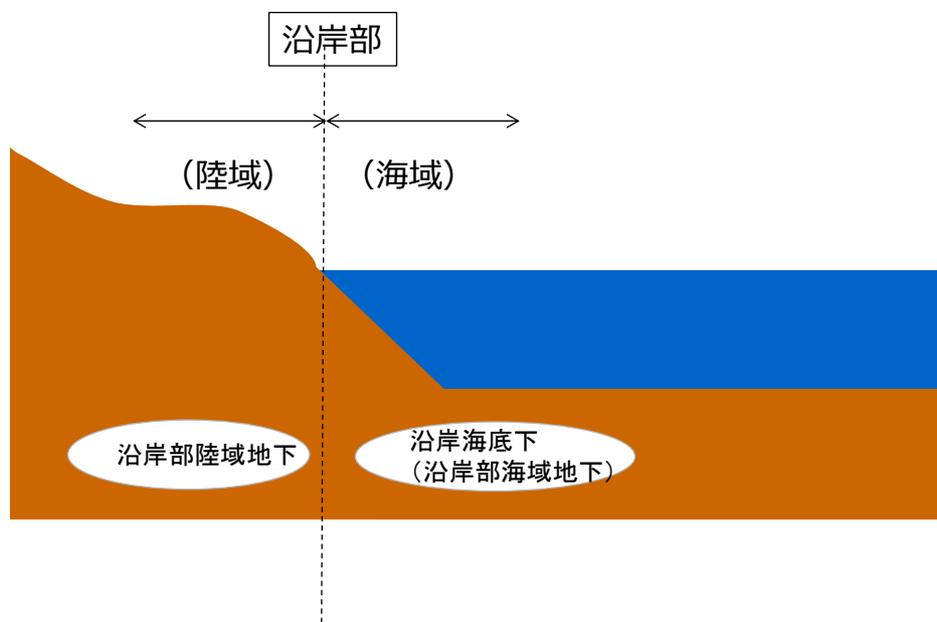


図 6.1.1 沿岸部における用語の整理

①地質環境特性及びその長期安定性の観点

沿岸部のなだらかな地形部分（平野等）では、隆起速度が比較的小さいことが期待できる。また「水理場」のうち動水勾配については、地形の影響を受けることから、動水勾配が比較的小さいことが、一般的に期待できる³¹。

一方、個別地点においては、海水準変動に伴う侵食や地下水流動等への影響を、実施主体が処分地選定調査において十分確認していく必要がある。

³⁰ 「廃棄物その他のものの投棄による海洋汚染の防止に関する条約」（ロンドン条約）により海中への投棄及び海底下への廃棄は原則禁止されている。ただし、陸上から利用可能な海底下の貯蔵所は含まない。

³¹ 実在する動水勾配の緩慢な地域として、地形による影響をほとんど受けないほどの地下深部や海底下などが挙げられる。

②地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性の確保の観点

建設・操業時の安全性の確保については、あらかじめ「適性の低い地域」を除いては、基本的には工学的に対応することが可能である。ただし、それらの要件・基準に含まれていない津波については、特に沿岸部陸域で標高の極めて低い範囲は、地上施設に与える影響を、処分地選定調査において個別地点毎に考慮する必要がある³²。

また、特に沿岸部での地下施設の建設にあたっては、塩水流入の可能性も上記と合わせて考慮する必要がある。

③事業の実現可能性の観点

沿岸部のなだらかな地形部分（平野等）において、地質環境が比較的単純で評価しやすい等、安全評価に必要な調査が容易となる好ましい場所を見いだすことが十分期待できる。しかし、沿岸部陸域は一般的に土地利用が進んでいる場合が多いため、調査に要する土地利用の確保可能性は、実施主体として処分地選定調査に向けて考慮していくことが重要である。一方で、沿岸海底下処分の場合、土地利用に関する制約が小さいこと³³が大きな利点となり得る。

加えて、輸送に関しては、港湾の利用・建設の可能性や、地形的な制約や土地利用上の制約等を踏まえた処分場までの経路の確保の可能性について、実施主体として処分地選定調査に向けて考慮していくことが重要である。

沿岸部の一般的特性については、今までも調査研究が進められてきた。関連する研究成果を体系的に整理するとともに、技術的信頼性を更に向上すべく、取り組むべき課題を抽出・整理することが重要である。具体的には①～③の留意事項を踏まえ、沿岸海底下における地質環境の調査技術（沿岸部における陸域から海域に連続したデータの整備・拡充等を含む）、塩水環境下における施設の工学技術・安全評価の課題について、実施主体や関連研究機関等が適切な役割分担と連携のもと、具体的にどのような課題を、どのような技術を用い、いつまでに整備することを目指すのか、専門家を交えた具体的な検討を進めて行くことが重要である。

³² 「海岸堤防・護岸構造収覧」では、30個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6m程度である、と示されている（P44参照）

³³ 海域の場合は、公有地であることから港則法、海上交通安全法などの定めによる許可の申請・届出を行わなければならない（P57参照）

6.2 社会科学的観点からの検討について

技術 WG においては、地球科学的な観点から、技術的（工学的）対応可能性も踏まえて検討を進めてきた。その成果はこの中間整理のとおりであるが、社会科学的な観点からの検討については、今後の廃棄物 WG において、何を対象とすべきかを含めて検討が行われることとされている。事業の実現可能性の観点から技術 WG で検討された以下のような点は、その検討の対象になり得ると考える。

①関係法令等による土地利用の制限

②地権者の数（土地利用の容易性）

土地利用が制限されていない場所や地権者の数が少ない場所では、安全性の確認を行う上で必要な調査や評価が容易と考えられることから、そうした地域は予め適性が高いと考える（もしくは、そうでない地域を適性が低いと考える）べきか。

③自治体境界の扱い（輸送ルートなど）

港湾から処分場までの陸上輸送で複数の自治体を跨ぐような輸送ルートの場合、行政上の手続きの煩雑さや、通過する自治体の理解が得られないなどにより事業が実現しないという問題が生じる可能性があるが、例えば利用可能な港湾が存在するような自治体を適性が高いと考える（もしくは、そうでない地域を適性が低いと考える）べきか。

6.3 留意事項

今般の科学的有望地の要件・基準の検討にあたっては、利用するデータについては、全国規模で体系的に整備され一般的に利用可能なもののみを用いることとしたが、そうした条件を満たすデータのみで評価することには、一定の限界がある。また、そもそも、評価に必要なデータを全国的に整備していくことは容易ではなく、文献調査対象地域を絞った上で重点的に調査を進めていくことが合理的と考えられている。この点は、今回の科学的有望地の検討とその後の処分地選定調査の関係性を理解する上で重要な点であり、広く国民の理解を得ていくことが重要である。

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.

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―.

第3章の参考文献

NUMO（原子力発電環境整備機構）（2015）：（1）包括的技術報告書作成の背景・目的。NUMO 技術開発成果報告会 2015.

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）：第1章で既出.

第4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.

土木学会（2006）：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説.

土木学会岩盤力学委員会（1984）：軟岩―調査・設計・施工の基本と事例―.

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.

原子力安全委員会（2002）：高レベル放射性廃棄物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）：原子力発電所の火山影響評価ガイド.

原子力規制委員会（2013d）：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（2013e）：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（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.

IAEA (2012) : Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition, Specific Safety Requirements No. SSR-6.

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, 49, 438-449.

IAEA(2015) : Security of Nuclear Material in Transport IAEA Nuclear Security Series No.26-G

地震調査研究推進本部 (2014) : 確率論的地震動予測地図ー全国地震動予測地図 2014 年版.

JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999) : (第1章で既出)

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ー平成17年取りまとめー 分冊2 工学技術の開発. JNC TN1400 2005-015.

金折裕司, 遠田晋次 (2007) : 中国地方西部に認められるプレート内山ロー出雲地震帯の成因と地震活動. 自然災害科学, 25, 507-523.

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.

長友晃夫, 吉田英一 (2009) : 断層と割れ目系及びその充填鉱物を用いた阿寺断層の地質的履歴解析. 地質学雑誌, 115, 512-527.

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.

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.

Niwa, M., Mizuochi, Y., Tanase, A. (2009) : Reconstructing the evolution of fault zone architecture: field-based study of the core region of the Atera Fault, central Japan. Island Arc, 18, 577-598.

Niwa, M., Kurosawa, H., Ishimaru, T. (2011) : Spatial distribution and characteristics of fracture zones near a long-lived active fault: a field-based study for understanding changes in underground environment caused by long-term fault activities. Eng. Geol., 119, 31-50.

- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2009）：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,
22, pp.67-87.
- 大橋聖和, 小林健太（2008）：中部地方北部, 牛首断層中央部における断層幾何学と過去
の運動像. 地質学雑誌, 114, 16-30.
- 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（2015）：鈾床鈾微地分布図（「国内の鈾床・鈾微地に関する位置デ
ータ集」）.
- 産業技術総合研究所ホームページ：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ホームページ：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）：第1章で既出.
- Scholz, C.H. (2002) : The Mechanics of Earthquakes and Faulting, 2nd Edition. Cambridge Univ.
Press.
- 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.
- Sibson, R.H. (2003) : Thickness of the seismic slip zone. Bull. Seismol. Soc. Am., 93, 1169-1178.
- 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.

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.

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.

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, 13, 27-53.

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.

吉田英一, 大嶋章浩, 吉村久美子, 長友晃夫, 西本昌司(2009): 断層周辺に発達する割れ目形態とその特徴—阿寺断層における‘ダメージゾーン’解析の試み. 応用地質, 50, 16-28.

添付資料

(添付資料-1) 地層処分技術 WG 委員名簿

委員長

◇柘山 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 東京海洋大学大学改革準備室教授 (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 首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授 (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 1 2 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