

● 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)

※本資料の1～4. については、前回までのWGでの議論を確認のために整理したものである。

※同5. 及び6. については、前回までのWGでの議論を踏まえて、今回新たに議論するための叩き台として、新たに整理したものである。

平成27年9月
資源エネルギー庁

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

基本的考え方

- 地層処分を実施するにあたっては、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、地下深部が本来的に有する廃棄物の「隔離機能」及び「閉じ込め機能」を利用するので、それらが長期的かつ安定的に維持されることを確認する必要がある。
- 具体的には、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）。
- このため、科学的有望地の要件・基準の検討にあたっては、まず最初に、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。

「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「隔離機能」及び「閉じ込め機能」を損ねてしまうようなリスクは、回避することが必要である。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る。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、一定の地理的範囲（地域）を「回避すべき範囲」と評価するための具体的な要件・基準の設定可能性及び具体的な範囲を確定する（マッピング）ために必要な文献・データの有無について検討を行った。その結果は別表に整理した通りである。
- なお、火山・火成活動、断層活動については、利用できる全国規模で体系的に整備された文献・データが存在し、「回避すべき」ものとして要件・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・深部流体については、現時点で利用可能な文献・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」ものとして要件・基準の設定を行った。

（※鉱物資源については、本日の議論を踏まえて追記する。）

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

「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(地域)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整備された利用可能な公開データは極めて限られる。特に地下環境特性の評価には、広域だけではなく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、個別要素毎には判断できず、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評価が高いパフォーマンス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。
- 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、科学的有望地の検討の段階においては、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り、かつ適当ではないと考える。

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（別表）

表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	使用可能な文献・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、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（約258万年前以降）火山中心から15km以内 第四紀の火山活動範囲が15kmを超える巨大カルデラの範囲	日本の火山（第3版）（産総研地質調査総合センター，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を超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（90m以上/10万年）のメッシュがある沿岸部	最近約10万年間の隆起速度の分布 日本列島と地質環境の長期安定性 付図5 地質リーフレット4（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、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	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℃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℃以下を確保できない地温勾配の範囲 ※地上温度15℃、深度300mを想定し、地温勾配28.3℃/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（産総研地質調査総合センター，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、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	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	深層地下水データベース（高橋ほか，2011） 全国地熱ポテンシャルマップ（産総研地質調査総合センター，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、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	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、活動セグメント長さの1/100の幅を持たせた範囲	活断層データベース（産総研地質調査総合センターウェブサイト） 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）
			回避が好ましい	活断層に、起震断層長さの1/100の幅を持たせた範囲	

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

基本的考え方

- 地層処分施設の建設・作業は、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、十分に長期間の建設・作業が想定されている。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、建設作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・作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。

「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、基本的にはサイト毎で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判断した。
- ただし、未固結堆積物が地下深部に存在する場合は、空洞掘削時に壁面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、具体的な要件・基準の設定可能性及び具体的な範囲を確定する(マッピング)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、「回避が好ましい」ものとして要件・基準の設定を行った。その結果は別表に整理した通りである。

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

「回避すべき範囲」の設定可能性について

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、考慮すべきリスク要因として、施設を支持する地盤、地震、津波、地震・津波以外の影響（火山の影響など）を検討することとした。
- これらは、基本的には類似施設での対応と同様、サイト毎の現地調査による詳細な情報をもとに個別具体的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判断した。
- 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、具体的な要件・基準の設定可能性及び具体的な範囲確定（マッピング）に必要な文献・データの有無について検討を行った結果、「回避が好ましい」ものとして要件・基準の設定を行った。具体的にはその結果は別表に整理した通りである。

「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の地温について、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、それぞれ一定の基準を設けることが可能であった。その結果は別表に整理した通りである。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可能ではないと判断した。

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(別表)

表2 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
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)
		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	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(越谷・丸井, 2012)
			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(産総研地質調査総合センター, 2004)
②地上施設					
地上施設を支持する地盤 (注1)	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(越谷・丸井, 2012)
津波(注2)	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(注3)	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(産総研地質調査総合センターウェブサイト)

(注1) 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

(注2) 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

(注3) 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

(注4) 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

3. 輸送時の安全性の確保に関する検討

基本的考え方

- 地層処分を行う放射性廃棄物は、貯蔵施設から最終処分場の地上施設まで輸送し、その後順次埋設していくことが想定されており、数十年以上にわたる期間、毎年相当量の放射性廃棄物の輸送が相当の頻度で行われることとなる。その期間を通じて、放射性物質輸送の安全性に係る規制基準を順守し、その安全性を継続して確保する必要があることは、地上・地下施設の建設・操業の場合と同様である。
- 輸送時は、放射性廃棄物が人間の生活環境に最も近づく局面でもあり、輸送ルート上の地域の住民を中心に、安全性の確保に関する関心が大きなものとなることも念頭においておくことが重要である。また、狭小な国土に対して人口が多く、急峻な地形が多いといった理由から、わが国における放射性廃棄物の大規模な輸送には、諸外国と比して安全性確保上の制約が大きいと考えられる。
- このため、輸送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。

3. 輸送時の安全性の確保に関する検討

「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1,000km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。比較検討の結果、現行法制度における制約等を前提とした場合、安全性確保（セーフティ（公衆被ばく）、核セキュリティ）及び交通インフラ上の制約の観点のいずれにおいても、陸上輸送（鉄道、車両）には大きな困難性が存在し、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（沿岸部）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10km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、海岸から20km以内を目安とすることが適当と考える。
- もちろん、こうした沿岸部であっても、具体的なサイト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。
- 他方、20km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の工学的対応可能性等の変更可能性等も踏まえ、「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える。

4. 事業の実現可能性(調査・評価の容易性)に関する検討

基本的考え方

- 科学的有望地の要件・基準の検討に当たっては、安全性確保の観点に続いて事業の実現可能性の観点からも検討を行うこととされている。そのうち、地球科学的知見を踏まえた技術的対応可能性と密接に関連する事柄については、地層処分技術WGの検討の対象とすることとした。
- わが国は、一般的に天然事象の頻度が高く、かつ地質構造が複雑であり、将来予測が比較的難しいと考えられることから、これらを考慮した総合的な安全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ことが重要である。
- そのため、こうした我が国の地質環境を前提に、処分地選定調査及び評価を円滑に進めるために、科学的有望地の要件・基準の検討の段階で考慮しておくべき事項を、調査の容易性及び評価の容易性の観点から検討した。

「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、具体的なサイト選定の過程において、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点を見出す努力をすることは重要であるが、そうした地点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(地域)を示すことは困難であると判断した。
- 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の議論もあった。こうした点は、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が、科学的有望地の要件・基準に反映するかどうかは、地層処分技術WGの射程ではないと判断した。

5-1. 「適性の低い地域、高い地域」の考え方 ①

(1) 全体の考え方

- ここまで、まず最初に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(上記1.)、続いて、地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性、輸送時の安全性、事業の実現可能性について検討を行ったが(上記2～4.)、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。
- 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。そのため上記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(上記2～4.)の観点からの検討に基づき「適性が高い地域」と評価されるべきではない。

(2) 地質環境特性及びその長期安定性の確保の観点からの検討を踏まえた「地域の適性」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「回避すべき範囲に係る要件・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ことから、その範囲を「適性の低い可能性が極めて高い」という意味で「不適地」として整理する。
- 「回避が好ましい範囲に係る要件・基準」のいずれかに該当する範囲は、上記の「不適地」と同様の意味で適性が低いとは言いきれないが、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、「適性が低い可能性が高い」と地域として整理する。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、将来的に段階的調査を進めていく価値が否定されるものではない。
- 上記のいずれにも該当しない範囲については、「適性の低い地域」ではないという意味で「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可能性が高いので、処分地選定のための段階的調査を進めていく価値がある。

5-1. 「適性の低い地域、高い地域」の考え方 ②

(3) その他の観点からの検討を踏まえた全体としての「地域の適性」の考え方

- 地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性確保に関して、「回避が好ましい範囲に係る要件・基準」のいずれかに該当する範囲は、(1)において「適地」に分類される地域であっても、現時点では「適性が低い可能性が高い」地域として整理することが適当である。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によって処分施設の建設・作業に適しているとされる可能性が否定されたものではなく、将来的に段階的調査を進めていく価値が否定されるものではない。
 - 他方、「好ましい範囲」の設定可能性については、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少数(地下・地上で一つずつ)に限定されており、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判断する。
 - 以上の整理を踏まえてなお「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抽出された「好ましい範囲」の要件・基準に当てはまる範囲(地域)は、地質環境特性及びその長期安定性の確保及び建設・作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、現時点では整理される。
- (注)ただし、社会科学的観点からの検討を行う必要があり、これを最終的な「科学的有望地」として扱うことを決めたものではない。

6. 留意事項①

(1) 沿岸部に関する留意事項

本日の議論を踏まえて以下の点について留意事項を追記する。

- ①地質環境特性及びその長期安定性について
- ②建設・操業時の安全性について
- ③輸送時の安全性について
- ④事業の実現可能性について

6. 留意事項②

(2) 全体に係る留意事項

① 検討の射程について

- 地層処分技術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。その成果は上記のとおりである。
- 社会科学的な観点からの検討については、今後の放射性廃棄物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を想定している。なお、事業の実現可能性の観点から地層処分技術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。
 - ・関係法令等による土地利用の制限
 - ・地権者の数(土地利用の容易性)
 - ・自治体境界の扱い(輸送ルートなど)
- 放射性廃棄物WGにおけるそうした検討の成果と合わせて、最終的に「科学的有望地」の範囲が確定するものと理解する。

② 段階的調査の考え方について

- 使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が今回の検討の前提であるが、そうした条件を満たすデータのみで評価できることには、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。
- また、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ということを目指すものではない。また、そうした安全評価は、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。
- こうした点については、広く国民の理解を得ていくことが重要である。

③ 今後の調査研究等の充実について

- 今後様々な学術研究等の進展により関連するデータが充実していくことが期待されるが、実施主体や関連研究機関等が、地層処分事業の進展に向けて、調査研究等を進め、科学的知見や必要なデータの充実を図ることが何より重要である。今回の検討の成果は、そうした調査研究等の成果を踏まえた将来的な変更や精緻化があり得るものである。