

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

1. 検討趣旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、平成 27 年 5 月 22 日に閣議決定された特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針において、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)を示す等の取組が示された。科学的有望地の具体的要件・基準については、総合資源エネルギー調査会地層処分技術ワーキンググループ(以下、「技術WG」という。)において検討が進められ、平成 27 年 12 月には、それまでの議論の成果が中間整理として公表された。中間整理では、「適性の低い地域」を除いた上で、廃棄物の輸送時の安全性の観点から、沿岸部(島嶼部や海底下を含む)を「より適性の高い地域」とするとの考え方が示されるとともに、沿岸部において期待される一般的な特性や事業を進める上での留意事項が示され、この点について「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」および「専門家を交えた具体的な検討を進めて行くこと」が重要であると指摘された。一方、並行して審議が進められている総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ワーキンググループにおいても、沿岸部にどのような一般的特性や課題があるのかを含め、丁寧な説明が必要との指摘があった。

本研究会は、こうした経緯を踏まえ、学識者、原子力発電環境整備機構および基盤研究開発機関等¹の参加を得て、沿岸海底下を含む沿岸部において地層処分を実施する場合を想定した沿岸部の特性の整理および技術的対応可能性の検討を関連する研究成果等を踏まえて行くとともに、技術的信頼性を更に向上させるために取り組むべき課題を抽出・整理し、それらを効率的かつ着実に実施するための進め方を検討するために、平成 28 年 1 月から計 3 回の議論を行った。以下では、これらの検討の成果を提示する。

(注)検討対象とする地理的範囲(図1)

本研究会において、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より 20km 程度以内²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³を検討範囲の目安とした⁴。

¹ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、国立研究開発法人海洋研究開発機構、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人電力中央研究所、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構。

² 科学的有望地の要件・基準に関する技術WGにおける中間整理(平成 27 年 12 月)。

³ これまでの標準的な検討例では、深度 1,000m の地下施設へのアクセス斜坑の延長は、斜度 10%で 10km、7%で 14km である。この程度までであれば、建設、換気、避難などについて大きな追加的対応は必要ないと考えられる。

⁴ 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(第2回)、資料 4、p.2 参照。実際の調査・評価範囲はこの範囲を超える可能性がある。

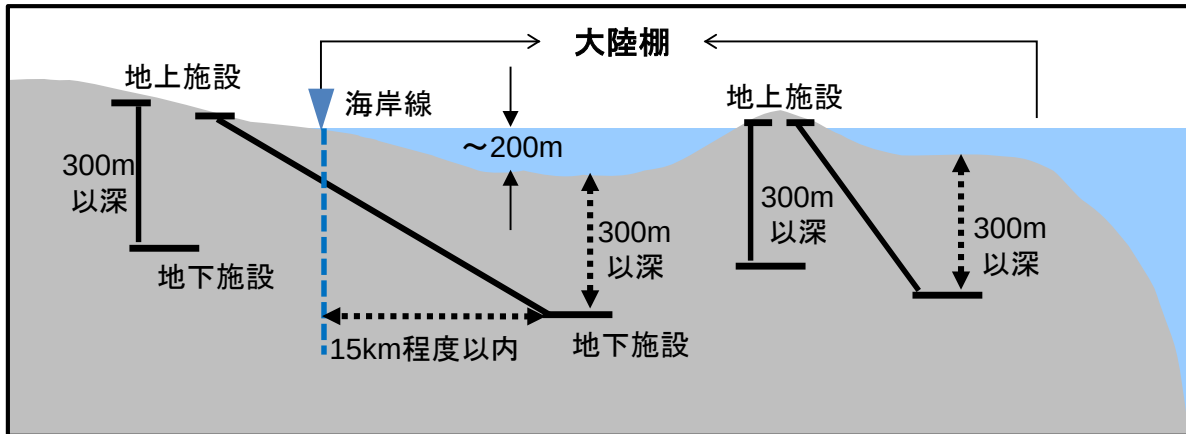


図1 沿岸部における地下施設設置のイメージ(第2回研究会資料4. を一部修正)

2. 沿岸部の特性

地下深部の地質環境には、①閉じ込め機能(放射性物質の溶出抑制と移行抑制のバリア機能)と②物理的隔離機能として、下記のような役割が期待される(核燃料サイクル開発機構, 1999a)。

①閉じ込め機能

- ・人工バリア設置環境: 人工バリアが十分な性能を発揮するために、周辺の地下水や岩盤の性質が人工バリアの品質維持にとって好ましく、それが長期にわたって安定していること。
- ・天然バリア: 放射性核種が地質環境中に移行した場合でも、地下水自体の動きが緩慢であることによって、また、移行経路となる岩盤の割れ目や粒子間の間隙中における鉱物などとの相互作用によって、核種の移行が遅延され、あるいは移行する過程で核種が分散、希釈されること。

②物理的隔離機能

- ・廃棄物を物理的に隔離すること。特に、人間の生活環境との間に長期にわたって十分な距離を維持すること。

上記①および②の機能に関し、以下では、沿岸部で特に考慮すべき特性を整理する。整理にあたっては、沿岸海底下等に関する研究開発等の経験を持つ原子力発電環境整備機構および基盤研究開発機関等の研究開発成果や知見等を踏まえた。

2.1 閉じ込め機能について

2.1.1 検討項目の抽出

沿岸部の地下においては、塩淡水境界⁵が存在する。また、海水準変動⁶により海岸線の位置が移動することで塩淡水境界の位置が変化するとともに、海面の高さが変わることによって地下水の動水勾配が変化する。

⁵ 塩水と淡水との密度差や濃度差によって形成される境界で、沿岸部特有の現象。

⁶ 陸に対する海面の相対的な高さが変化する現象。

閉じ込め機能としては、熱環境、力学場、水理場(地下水の動き)、化学場(地下水等の化学的組成)のそれぞれの地質環境特性を考慮する必要があるが、このうち、水理場と化学場はそれらが塩淡境界の形状等に影響を与えるとともに、海水準変動により変化することから、沿岸部において考慮すべきと考えられる。一方、熱環境と力学場は、沿岸部と沿岸部以外とで特性が大きく異なるものではないと考えられる。また、断層活動については、断層のずれに伴う透水性の増加が考えられ、水理場の長期安定性への影響要因であるが、断層の分布の特徴が沿岸部と沿岸部以外とで大きく異なることはないと考えられる。

以上から、沿岸部の地質環境において検討すべき項目として、海水準変動、塩淡境界、水理場および化学場を抽出した。

2. 1. 2 海水準変動、塩淡境界、水理場、化学場の特徴

(1) 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って主に変化すること。

海水準は、現在に比べて+5m~-120m 程度の範囲で変動する(核燃料サイクル開発機構, 1999b)。現在は、最終氷期の後の温暖な時期であり、海水準が比較的高い時代である。過去(最終氷期)には、数年から数十年で起こる急激な年平均気温の変動が知られており、地球温暖化より一桁速い気温上昇も経験しており、その際の環境変動を調査することによって人為的な温暖化による影響を保守的に見積もることができると考えられる(核燃料サイクル開発機構, 1999b)。なお、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 5 次評価報告書(例えば、IPCC, 2013)のシナリオによれば、今世紀末の世界平均の気温変化は 0.3~4.8°Cの範囲、海面水位の上昇は 0.26~0.82m の範囲となる可能性が高いとされており、この核燃料サイクル機構(1999b)の考え方を覆すものではない。

○海面低下により大陸棚の多くが陸化すること。

日本周辺の大陸棚の分布は、日本海南縁部と北海道北部周縁で広く、北海道渡島半島西岸や富山湾周辺、房総沖から紀伊半島周辺の本州南岸で狭いものの、大陸棚の幅は日本列島周辺で 20~30km 前後である(米倉ほか編, 2001)。

○海水準変動に伴い海岸線が移動することにより、塩淡境界の位置が変化すること。

海面変化や海岸線の移動の理解には海底地形を把握することが重要である。海底地形については、日本列島の沿岸海域で網羅的にデジタルデータ(例えば、一般財団法人日本水路協会作成「海底地形デジタルデータ」)が整備されている。

また、海水準変動により変化する塩淡境界の分布・形状はその場の水理地質条件(地質が有する透水性)が影響する。その基礎情報となる地質については、国立研究開発法人産業技術総合研究所により 100 万分の 1 および 20 万分の 1 などの海底地質図または表層堆積図が全国的に整備されている。陸域と海域の間に地質図の空白域があるが、海陸シームレス地質図として連続的に把握した事例がある(例えば、産業技術総合研究所, 2010)。

(2) 塩淡境界

○陸域からの地下水の動水勾配が大きいと、淡水地下水は海中へ湧き出すとともに、層状に堆

積した沿岸部では、一般に下層の塩淡境界の方が海側へせり出すこと(Reilly and Goodman, 1985)。

○水平の堆積岩からなる沿岸部では塩化物イオン濃度の高い地下水がくさび状に何層にも入り込んでいること(Luszczynski and Swarzenski, 1966)。

○塩淡境界より深いところでは、地下水の流動が遅く、化石海水⁷が残留していることが想定されること。

(3) 水理場

○動水勾配は地形に依存する(低地は山地の 1/8 程度⁸)ことから、沿岸部では概して地形の起伏が小さいため動水勾配が小さい(地下水流動が緩慢)と想定されること。なお、海底下の場合水面勾配がないため、動水勾配は極めて小さい。

○化石海水が残留する領域は、長期にわたって地下水の流動性が低く、拡散支配の場合(物質の移動が遅い)と考えられること⁹。

(4) 化学場

○沿岸部において、塩水が淡水の領域に侵入あるいは潜り込むように分布する塩淡境界周辺の塩水系地下水の起源は主に海水であること。

○海水を起源とする地下水は、 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} に富むこと。このため、人工バリアへの影響を考慮する必要がある。

○塩淡境界において、淡水と海水の間では塩分濃度が連続的に遷移する領域が発達していること。

○化石海水を含む海水を起源とする地下水の組成は、淡水系地下水と海水の混合量比に依存すると想定されること。

2.2 物理的隔離機能

2.2.1 検討項目の抽出

物理的隔離機能に影響を与える可能性がある自然現象としては、隆起・侵食(沈降・堆積)や火山活動等が考えられる。沿岸部では、海水準変動により海面の高さが変わることによって侵食や堆積が進む。他方、火山の分布の特徴は沿岸部と沿岸部以外とで大きく異なることはないと考えられる。特に 10 万年程度の時間スケールでの侵食の評価には、隆起・沈降運動と海水準変動を考慮する必要があることから、沿岸部について検討すべき項目として、隆起・侵食(沈降・堆積)を抽出した。

2.2.2 隆起・侵食(沈降・堆積)の特徴

(1) 侵食に係る主な特徴

○河川による下刻(線的侵食)と波浪による海食(面的侵食)が進み、線的侵食は、深度方向へ

⁷ 地層に閉じ込められた古い時代の海水。

⁸ 第2次取りまとめ(核燃料サイクル開発機構, 1999a)によれば、地形分類で整理した動水勾配(井戸の地下水位データから算出)は、山地が 0.061、低地が 0.008 である。

⁹ 千葉県茂原地域や北海道幌延地域では、化石海水の特徴を有する地下水が存在している(核燃料サイクル開発機構, 1999a; 太田ほか, 2007)。

の侵食として重要であること。

○線の侵食は、侵食基準面である海面に向かって進むことから、10 万年程度の時間スケールの線の侵食量の見積りには、隆起・沈降(後述)に加えて、海水準変動、特に海面低下の影響を考慮する必要があること。

○海水準変動による海面低下に伴って、現在の沿岸部海域の海底が陸化して線の侵食が生じること。なお、海底地形や沖積層基底面分布に基づいて、現在の海岸線付近において最大下刻量を把握することが可能である(例えば、幡谷ほか, 2016)。

(2) 隆起に係る主な特徴

○沿岸部では隆起に伴い海成段丘が形成されること。

○海成段丘の分布と形成年代から、最近約 10 万年間の平均隆起速度を算出可能であること。小池・町田編(2001)や地質環境の長期安定性研究委員会編(2011)により、沿岸部陸域の過去 10 万年間の平均的隆起速度が全国的に把握されている。これらの資料によれば、沿岸部でもそれ以外でも隆起速度分布は同様の傾向であり、沿岸部陸域でも、0.3mm/年以下の地域が比較的多く見られる。ただし、地域性があることにも留意が必要である。

(3) 平野における沈降・堆積の特徴

○日本の主要な平野は地形的に低地であり、その地下には新第三紀以降の厚い地層が分布しているところが多いこと(小池・町田編, 2001)。このような地域は新第三紀以降長期的には沈降地域とみなせるが、海成段丘の発達が見られるなど、第四紀の後期に隆起に転じた地域もある。

2.3 沿岸部の特性のまとめ

以上のとおり、閉じ込め機能と物理的隔離機能に関し、沿岸部で特に考慮すべき特性を整理した。これを受け、海域を含めた沿岸部において、閉じ込め機能や物理的隔離機能を確保できる場所を見出せる可能性を確認するため、3. ではこれらの特性に付する技術的対応可能性について整理する。

3. 沿岸部の特性を踏まえた技術的対応可能性について

地層処分事業における技術的要素は、地質環境の調査・評価技術、工学的対策技術、安全評価技術に大別することができる。それぞれに係る技術的対応可能性の検討項目を、2. で示した特性を考慮して整理した(図2)。なお、沿岸海底下を念頭に、建設・操業時の安全性に関する工学的対応可能性についても検討項目に加えることとした。また、沿岸部における安全確保の観点で重要な地質環境特性およびその長期安定性に係る地質環境調査・評価、工学的対策、安全評価についての具体的な流れや関連性を整理した(図3)。

加えて、沿岸部における地層処分等の海外事例(例えば、Posiva, 2012a, 2012b, 2012c; SKB, 2008, 2011, 2013, 2015)(図4)や、活断層や火山・熱水活動等の国内の主な調査事例(例えば、

杉山ほか, 2013; 日本原燃ほか, 2015; 海上保安庁, 2016)、国内の沿岸部における地下利用の事例も収集・整理した。

以上を踏まえ、以下では、沿岸部の特性を踏まえた技術的対応可能性について、地質環境の調査・評価技術、工学的対策技術、安全評価技術のそれぞれに係る情報を収集し整理した。

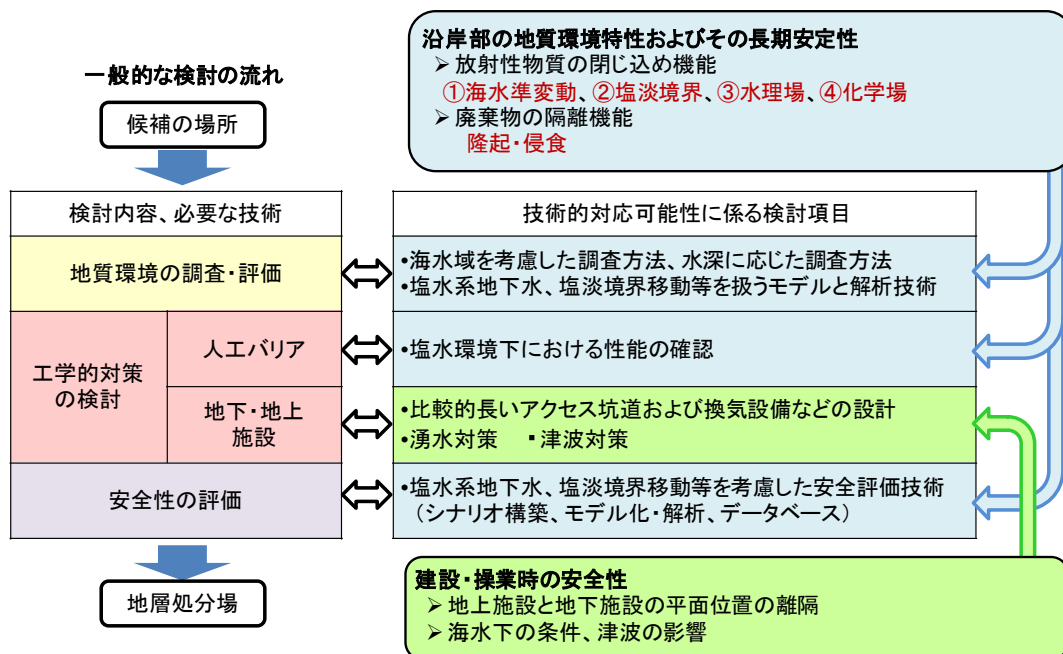


図2 沿岸部における技術的対応可能性検討項目の考え方(第2回研究会資料4. を一部修正)

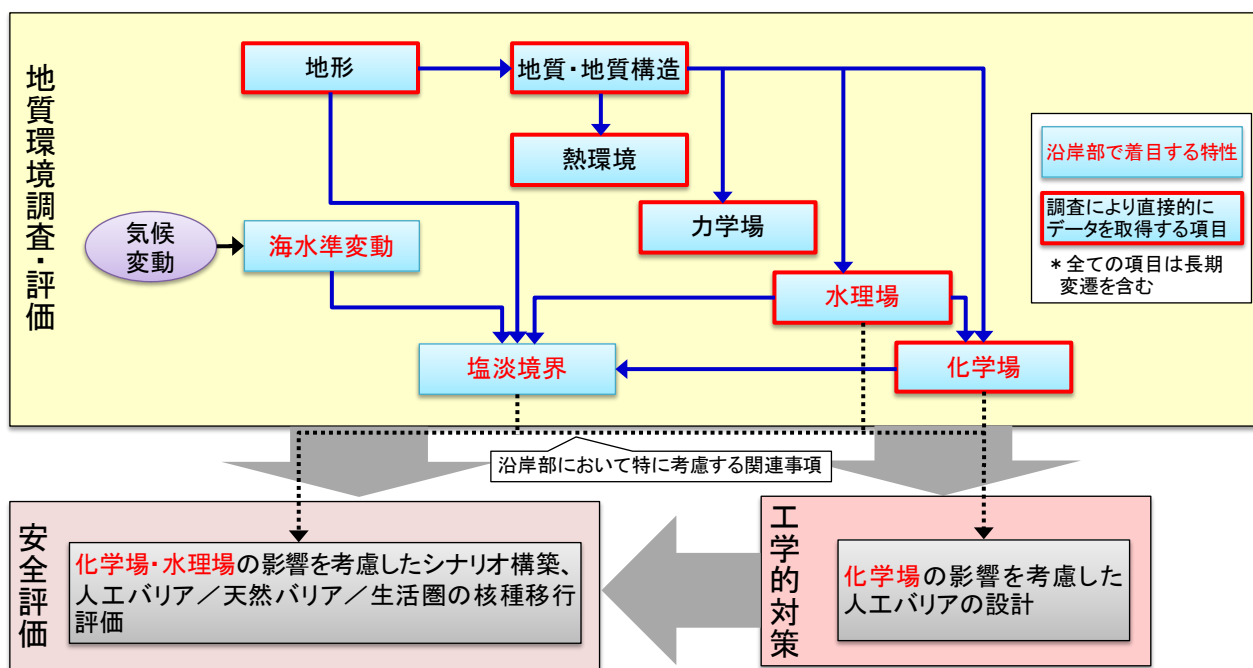


図3 沿岸部における地質環境特性およびその長期安定性に係る地質環境調査・評価／工学的対策／安全評価の流れと関連性(第2回研究会資料4. より)

と塩水系地下水が混在する沿岸部の地質環境の特徴を扱えるとともに、その長期的な時間変遷を考慮できるモデル化手法・解析技術(例えば、長谷川ほか, 2001; 登坂, 2002a, 2002b; 太田ほか, 2007; 今井ほか, 2009; 小田ほか, 2010; 前川ほか, 2010; 日本原子力研究開発機構, 2010; 産業技術総合研究所, 2012)が整備されていることが確認できた。

表1 沿岸部海域における主な調査技術の適用性の比較(第2回研究会資料4. より)

水深	地形調査	物理探査	海底堆積物調査	海底湧水調査	ボーリング調査	長期地下水モニタリング
内陸	◎	◎	◎	◎	◎	◎
0-5 m	◎	◎	◎	◎	◎*	○
5-30 m	◎	◎	◎	◎	◎*	○
30-100 m	◎	◎	◎	◎	◎*	○
100m-	◎	◎	◎	◎	◎*	○

◎:適用事例が豊富, ○:適用事例が少数

*ボーリング調査のうち孔内地下水サンプリングについては適用事例が少数

これらの結果から、沿岸部海域での調査技術や内陸部の調査・評価技術等を組み合わせることによって、海域においても陸域と同様に段階的な地質環境調査を実施することが可能と考えられる。

3.2 工学的対策技術について

工学的対策技術について、沿岸部の地質環境における特性のうち、化学場が人工バリア構成材料に及ぼす影響について、関連する情報(例えば、菊池・棚井, 2005; 谷口ほか, 2010; 鈴木ほか, 2012; 日本原子力研究開発機構, 2013)の収集および整理を行い、それに基づき技術的対応可能性の検討を行った。その結果、以下の点が確認された。

- オーバーパックについては、室内試験により低酸素濃度下および塩水環境下におけるオーバーパックおよび溶接部の腐食速度のデータが蓄積されてきている。塩水が腐食速度に及ぼす影響は小さく、試験データに基づく腐食速度は、保守的に設定した第2次取りまとめ(核燃料サイクル開発機構, 1999a)における設計上の設定値より十分に小さい。
- 緩衝材については、室内試験によって塩水環境下での緩衝材の透水性や膨潤性等の各種特性が明らかになっており、塩水環境下での透水性の変化や膨潤力の低下を考慮しても、緩衝材の有効粘土密度を高めることで性能を確保できる見通しが得られている。また、種々の地下水条件に適用可能な、再冠水に至るまでの過渡的な期間における緩衝材中の化学影響を考慮した熱-水-応力-化学(THMC)連成解析モデルが開発されている。
- 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分場で多く使用されるセメント系材料においても、室内試験によって塩水環境下での変質による強度低下やひび割れの閉塞挙動が明らかになって

おり、変質への対策としては密実なセメント系材料を使用することで性能を確保できる見通しが得られている。

なお、塩水環境下において人工バリアの構成材料の特性が変化しても、沿岸部の低い動水勾配などとの組合せにより所定の機能を確保することも考えられる。

以上のことから、人工バリア構成材料に及ぼす化学場の影響を考慮した工学的対策は実施可能であると考えられる。

また、特に沿岸海底下に地下施設を設置する場合の建設・操業時の安全確保策についても検討を行った。この場合、地下施設と陸域に設置される地上施設とを斜坑やスパイラル坑等から成るアクセス坑道で連結することになり、陸域に地下施設を設置する場合と比べてアクセス坑道の総延長が長くなる可能性がある。そのため、換気設備や排水設備の能力増強が必要になるとともに、建設工程が増大化する等の影響が想定される。これらに対しては、湧水抑制対策技術や換気システム等の既存技術等の適用実績(例えば、秋田, 2011)を踏まえれば、既存技術を適用することで地下施設の設計・建設が可能であると考えられる。一方で、陸域の場合と比べて、換気や排水に係る斜坑数が増えることとなるため、地下施設建設費が増加すると考えられる。

3.3 安全評価技術

安全評価技術について、沿岸部の地質環境における特性のうち化学場・水理場の影響を考慮した検討を行った。その結果、以下の点が確認された。

- 気候・海水準変動および隆起・侵食に伴う地質環境特性の変化や地表環境の変遷を考慮したシナリオ構築手法が開発されている(例えば、原子力発電環境整備機構, 2011)。
- 核種移行評価モデルについては、シナリオ構築手法と同様に気候・海水準変動および隆起・侵食に伴う地質環境特性の変化や地表環境の変遷を考慮した、人工バリア／天然バリア／生活圏の核種移行評価モデルが開発されている(例えば、原子力発電環境整備機構, 2011)。
- 核種移行評価モデルのデータセット設定に必要な様々なデータベース(熱力学、収着、拡散、ガラスの溶解などに関する各データベース(例えば、舘・陶山, 2016)、および地表環境における沿岸堆積物－海水間分配係数データベースや海水－沿岸生物濃縮係数データベース(例えば、Takata et al., 2010; Tagami et al., 2013; Takata et al., 2016))について、室内試験によって海水を含む多様な環境条件の核種移行データが取得されており、塩水環境下における値も含めてデータベースの開発・更新が進められている。

3.4 沿岸部の特性を踏まえた技術的対応可能性のまとめ

ここま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を検討したところ、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。

上記で検討したとおり、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により、

更に信頼性を高めることが重要であると考えられる。

4. 信頼性向上に向けた課題の抽出・整理について

3. にて、海域を含めた沿岸部において地層処分を実現するために必要な基本的な技術は概ね整備されていることが示された。また、地層処分事業の具体的な実施という観点からは、特に個別地域における概要調査や精密調査を実施するにあたって、今後、技術の高度化に引き続き取り組むことで、更に信頼性を高めることが重要であることが示された。

技術の高度化にあたって、地質環境の調査・評価技術、工学的対策技術、安全評価技術それぞれの観点からは、沿岸部海域における調査・評価技術の適用性確認および事例の蓄積、塩水環境下における人工バリア構成材料やグラウト材等の各種特性に係るデータの拡充および設計・施工方法に係る検討、塩水環境下における核種移行データの拡充といった項目が考えられる。それらの具体的内容および対応の方向性について表2～4に整理した。これに加えて、地質環境調査・評価と、工学的対策や安全評価を組み合わせた包括的な調査・評価技術の体系的な整備を実施する必要がある。

表2 地質環境調査・評価技術に係る高度化の方向性

重点項目	高度化の方向性
マグマ・深部流体等の有無を確認するための調査・評価技術の高度化	海域を対象とした現地調査等により、物理探査手法の適用性を評価するとともに、調査事例を蓄積する。
隆起・侵食に係る調査・評価技術の高度化	「海成段丘などの有効な指標が発達しない沿岸部陸域」および「研究事例が少ない沿岸部海域」を対象とした隆起・侵食に係る調査・評価技術、および海水準変動により海底が陸化した際の下刻場所や下刻量を予測するための以下の調査・評価技術の適用性を確認し、調査・評価事例を蓄積する。 ✓ 内挿・外挿による隆起・侵食の評価技術 ✓ 局所的な堆積物や侵食地形を指標とした隆起・沈降の調査・評価技術 ✓ 分布が局所的な段丘、被覆層がほとんど分布しない岩石段丘などを対象とした段丘の対比・編年技術
海陸接合部付近の活断層分布を確認するための調査・評価技術の高度化	海陸接合部付近の海域における断層の分布や連続性等に係る調査事例を収集・分析することにより、海底地形計測、音波探査、ボーリング調査、年代測定等のそれぞれの調査技術の適用性を評価するとともに、調査技術の適切な組み合わせ方を検討する。
沿岸部海域におけるボーリング調査技術および長期地下水モニタリング技術の高度化	沿岸部海域における孔口が海底にあるボーリング孔の掘削およびそれを用いた調査や長期地下水モニタリングの事例の収集・分析により、調査技術の適用性を評価する。

表3 工学的対策技術に係る高度化の方向性

重点項目	高度化の方向性
オーバーパックの腐食速度に係るデータの拡充	溶接部を含め、沿岸部で想定される種々の地下水条件下(※1)で腐食試験を行うことにより、溶接部を含む腐食データを拡充するとともに、既往の腐食寿命評価や腐食代設定の適用性を確認する。
緩衝材の各種特性に係るデータの拡充	沿岸部で想定される種々の地下水条件下(※1)で室内試験を行うことにより、周辺母岩への浸入・浸食および流出現象、地下水浸潤挙動、膨潤圧、透水・せん断・圧密特性、変質挙動を把握するためのデータを拡充する。
セメント系材料の各種特性に係るデータの拡充	沿岸部で想定される種々の地下水条件下(※1)でバッチ式浸漬実験や通水実験を行うことにより、特性や変質挙動に係るデータを拡充するとともに、既往の長期的変質挙動評価モデルの適用性の確認や改良を行う。
グラウト材の各種特性に係るデータの拡充	沿岸部で想定される種々の地下水条件下(※1)に対する溶液型グラウトの設計・施工・長期影響に関するデータを室内試験により取得し、適用性を評価する。
グラウト注入施工方法およびその長期的耐久性の検討	グラウト材の即効性や耐久性、ニアフィールドシステムへの影響を考慮したグラウト注入施工方法や注入後長期耐久性に係る検討を実施する。
ニアフィールド領域構成材料(※2)に係る各種データの拡充に伴う現象モデルの高度化	- 沿岸部で想定される種々の地下水条件下(※1)での緩衝材の力学挙動に係るデータを取得するとともに、取得したデータを活用して熱・水・応力・化学(THMC)連成解析モデルの力学的現象に関するモデルの高度化を行う。 - オーバーパック、緩衝材、セメント系材料の各個別要素に対する海水環境下での長期挙動評価モデル開発・データ取得等の成果を反映しつつ、鉄・ベントナイト・セメント系材料の相互作用や複合現象を考慮した評価手法を構築する。 - 室内試験等を通じてモデルの信頼性を確認する。
処分概念およびそれに必要な総合的評価手法の構築	- 沿岸海底下の特性を考慮した地下施設の配置、人工バリアの仕様と構成の組み合わせによる種々の処分概念を検討し、その成立条件を確認する。 ✓ ニアフィールド領域構成材料(※2)間の相互作用を考慮した室内試験により、人工バリア構成材料の各種特性や挙動に係るデータを拡充する。 ✓ 拡充したデータに基づき、以下を考慮可能なニアフィールドシステムの総合的評価手法を構築する。 ➤ 個々のニアフィールド領域構成材料(※2)が塩水環境下で受ける影響や、材料間の相互作用 ➤ 建設から操業段階における塩水系地下水の湧水がニアフィールド領域構成材料(※2)に与える影響(特に、緩衝材の流出挙動に与える影響)
地上・地下施設の総合的な設計の検討	- 沿岸部の特徴を考慮した上で、制約条件を整理し、それを考慮した地上・地下施設の総合的な設計を行う。また、その結果を踏まえて陸域の場合との共通点や相違点を明確にするとともに、コストへの影響を整理する。 ✓ 島嶼の場合は既存インフラの利用可能性等の観点を考慮する。 ✓ 沿岸海底下の地下施設へアクセスするための坑道延長が長くなることを考慮し、火災等の異常時対応も含めた換気システム等に係る検討を行う。 ✓ 津波による地下施設の水没を防ぐために、地形条件を考慮した検討を行う。

※1 海水より塩分濃度の高い地下水環境下や、海水より塩分濃度の低い地下水環境下、種々の溶存成分の地下水環境下等。

※2 人工バリア構成材料、隙間充填材、埋め戻し材、プラグ材、グラウト材、支保材等。

表4 安全評価技術に係る高度化の方向性

重点項目	高度化の方向性
シナリオ構築手法の高度化	- 沿岸海底下における塩水環境下や塩淡水境界の遷移域における水理場および化学場(地下水組成、有機物・微生物等)と、その変遷を考慮したシナリオを検討する。 ✓ 地質環境調査・評価技術および工学的対策技術との連携による、沿岸海底下の地質環境特性およびその長期変遷、ニアフィールドの長期挙動に係る情報の充実と、シナリオ構築への反映方法を検討する。
核種移行評価モデルの高度化	- 既存モデル化技術および拡充するデータを用いた沿岸海底下を対象とする人工バリア／天然バリアの核種移行評価モデルおよび生活圏評価モデルの、特に以下の観点に留意した適用性確認と改良・高度化、および事例の拡充を行う。 ✓ 天然バリア中の核種移行モードの変遷(例えば、拡散から移流へ) ✓ 化学場および水理場の時間的・空間的変遷の考慮 ✓ 核種の流出域の変遷の考慮
種々の地質環境条件下および地表環境条件下における核種移行データの拡充	- 沿岸海底下等で想定される種々の地下水条件下(※)や、有機物・微生物特性等が異なる地下水条件下での室内試験等によりデータを拡充する。 - 沿岸部で想定される種々の地表環境条件下での試料採取や室内試験等によりデータを拡充する。

※ 海水より塩分濃度の高い地下水環境下や、海水より塩分濃度の低い地下水環境下、種々の溶存成分の地下水環境下等。

なお、これらを効率的かつ着実に実施していくためには、実施主体である原子力発電環境整備機構と基盤研究開発機関等が、今後の方向性を含めた今後の取組の全体像やその進捗状況を随時共有していくことが重要である。その点については、原子力発電環境整備機構が実施主体として主体的に進めていくとともに、原子力発電環境整備機構のニーズを踏まえて基盤研究開発機関等が適切にサポートしていくことが重要である。その連携が適切に図られるよう、国として全体調整を行うことも重要である。

<参考資料>

秋田勝次(2011):セメント系薬液注入材の耐久性に関する研究, 京都大学.

地質環境の長期安定性研究委員会編(2011):地質リーフレット 4, 日本列島と地質環境の長期安定性, ISSN 2185-8543, 日本地質学会.

電力中央研究所(2013):平成 24 年度地層処分技術調査等事業 地層処分共通技術調査:ボーリング技術高度化開発 成果報告書.

長谷川琢磨, 五十嵐敏文, 田中靖治, 土 宏之, 小野文彦(2001):沿岸海底下の地下水流動状況に関する数値解析的検討, 地下水学会誌, 第43巻, 第4号, pp.289-300.

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, 57, No.1, pp.15-26.

今井 久, 山下 亮, 塩崎 功, 浦野和彦, 笠 博義, 丸山能生, 新里忠史, 前川恵輔(2009):地下水流動に対する地質環境の長期変遷の影響に関する研究, JAEA-Research 2009-001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013): Climate change 2013: The physical

science basis.

- 原子力発電環境整備機構(2011):地層処分事業の安全確保(2010 年度版), NUMO TR-11-01.
- 海上保安庁(2016):溶岩流の痕跡がくっきり! 宮古島北方に海底火山, 平成28 年2月3日,
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAIYO/press/H280203_auv_daisannmiyako.pdf.
- 核燃料サイクル開発機構(1999a):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.
- 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.
- 経済産業省資源エネルギー庁(2015):諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について 2015 年版.
- 菊池広人, 棚井憲治(2005):幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験, JNC TN8430 2004-005.
- 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, 122p.
- Luszczynski, N. J. and Swarzenski, W. V. (1966): Salt-Water Encroachment in Southern Nassau and Southeastern Queens Counties Long Island, NY. USGS, Water-Supply Pap. 1616-F, p.76.
- 前川恵輔, 三枝博光, 稲葉薫, 下河内隆文(2010):幌延沿岸域を対象とした地下水流動評価のためのモデル化・解析, JAEA-Research 2010-001.
- 日本原燃株式会社, 東北電力株式会社, 東京電力株式会社, リサイクル燃料貯蔵株式会社(2015):下北半島東部の地質構造調査に関する最終評価結果について,
<http://www.jnfl.co.jp/press/pressj2015/20150723bessi.pdf>.
- 日本原子力研究開発機構(2010):平成21 年度 地質環境総合評価技術高度化開発 報告書.
- 日本原子力研究開発機構(2013):平成24 年度 処分システム化学影響評価高度化開発 —6 年研究成果の取りまとめ— 報告書.
- 日本水路協会(2016):海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ,
<http://www.jha.or.jp/jp/shop/products/btdd/index.html> (参照 2016-08-09).
- 小田好博, 綿引孝宣, 佐藤 久, 澤田 淳(2010):塩淡境界部における塩分濃度分布の移流・分散および密度流解析, JAEA-Research2010-020.
- 小野智三, 柴田 遥(2012):被災地における航空レーザー測量, 海洋情報部研究報告第49 号, 平成24 年12 月20 日.
- 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗(2007):幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1 段階)研究成果報告書, 分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044.
- Posiva(2012a): Olkiluoto site description 2011, Posiva 2011-02.
- Posiva(2012b): Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto -Design basis 2012, Posiva 2012-03.
- Posiva(2012c): Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012,

Posiva 2012-12.

Reilly, T. E. and Goodman, A .S. (1985) : Quantitative Analysis of Saltwater Freshwater Relationships in Groundwater Systems, A Historical Perspective, Jour. Hydrol., 80, pp.125-160.

産業技術総合研究所(2010):海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」

産業技術総合研究所(2012):平成 23 年度海域地質環境調査技術高度化開発成果報告書

産業技術総合研究所(2015):平成 26 年度海域地質環境調査確証技術開発成果報告書

SKB(2008): Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase SDM-Site Forsmark, TR-08-05.

SKB(2011): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, Main report of the SR-Site project, TR-11-01.

SKB(2013): Site description of the SFR area at Forsmark at completion of the site investigation phase SDM-PSU Forsmark, TR-11-04.

SKB(2015): Safety analysis for SFR Long-term safety Main report for the safety assessment SR-PSU, TR-14-01.

杉山雄一, 山本博文, 村上文敏, 宇佐見琢哉, 畑山一人, 島崎裕行(2013):柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部北方延長域(坂井市沖～福井市沖)における活断層の分布と活動性, 活断層・古地震研究報告, No. 13, p.145-185.

鈴木英明, 中間茂雄, 藤田朝雄, 今井 久, 九石正美(2012):熱－水－応力－化学連成解析による緩衝材の地球化学環境の変遷に着目したニアフィールド長期挙動評価の一例, 原子力バックエンド研究, Vol.19, No.2, pp.39-50.

舘 幸男, 陶山忠宏(2016):緩衝材及び岩石中の拡散データベース(JAEA-DDB)の整備; 2015 年度におけるデータ拡充, JAEA-Data/Code-2015-27.

Tagami, K., Uchida, S. (2013): Marine and freshwater concentration ratios (CR wo-water): review of Japanese data. J. Environ. Radioactiv., 126, pp. 420-426.

Takata, H., Aono, T., Tagami, K. and Uchida, S. (2010): Concentration ratios of stable elements for selected biota in Japanese estuarine areas. Radiat. Environ. Biophys., 49, pp. 591-601.

Takata, H., Aono, T., Tagami, K. and Uchida, S. (2016): A new approach to evaluate factors controlling elemental sediment-seawater distribution coefficients (K_d) in coastal regions, Japan. Sci. Total Environ., 543, pp. 315-325.

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, 59, pp.418-429.

登坂博行(2002a):地質時間にわたる淡塩漸移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1)－静的境界条件化における検討－, 応用地質, 第 43 巻, 第 5 号, pp.293-305.

登坂博行(2002b):地質時間にわたる淡塩漸移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)－動的境界条件化における検討－, 応用地質, 第 43 巻, 第 5 号, pp.306-315.

米倉伸之, 貝塚爽平, 野上道男, 鎮西清高編(2001):日本の地形 1 総説, 東京大学出版会, 351p.

添付資料

(添付資料－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委員名簿

主 査

◇大西 有三 関西大学 環境都市工学部 客員教授 (京都大学 名誉教授)

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 文理学部地球システム科学科 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

(計 7 名)

（添付資料－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開催実績

○第1回（平成28年1月26日）

（議題）

1. 研究会の設置及び今後の進め方について
2. 沿岸部における地層処分についての関連情報の整理について

（配布資料）

資料1. 委員名簿

資料2. 議事の公開等について（事務局）

資料3. 研究会の設置及び今後の進め方（資源エネルギー庁）

資料4. 沿岸部における地層処分についての関連情報の整理（原子力発電環境整備機構）

参考資料. 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

○第2回（平成28年3月22日）

（議題）

1. 我が国の沿岸部の地下環境における特性について
2. 沿岸部における地層処分についての技術的対応可能性について

（配布資料）

資料1. 委員名簿

資料2. 本日の議論について（事務局）

資料3. 我が国の沿岸部の地下環境における特性の整理
（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

資料4. 沿岸部の特性を踏まえた地層処分の技術的対応可能性
（原子力発電環境整備機構）

参考資料. 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

○第3回（平成28年4月19日）

（議題）

1. 技術的信頼性向上のための課題について
2. 研究会のこれまでの議論を踏まえたとりまとめ（たたき台）について

（配布資料）

資料1. 委員名簿

資料2. 沿岸部における地層処分についての信頼性向上に向けた課題の整理と
今後の取り組み（原子力発電環境整備機構）

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
とりまとめ（たたき台）（資源エネルギー庁）

参考資料. 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