

(6) わが国における地層処分の 技術的実現性

NUMOセーフティケースに関する外部専門家ワークショップ

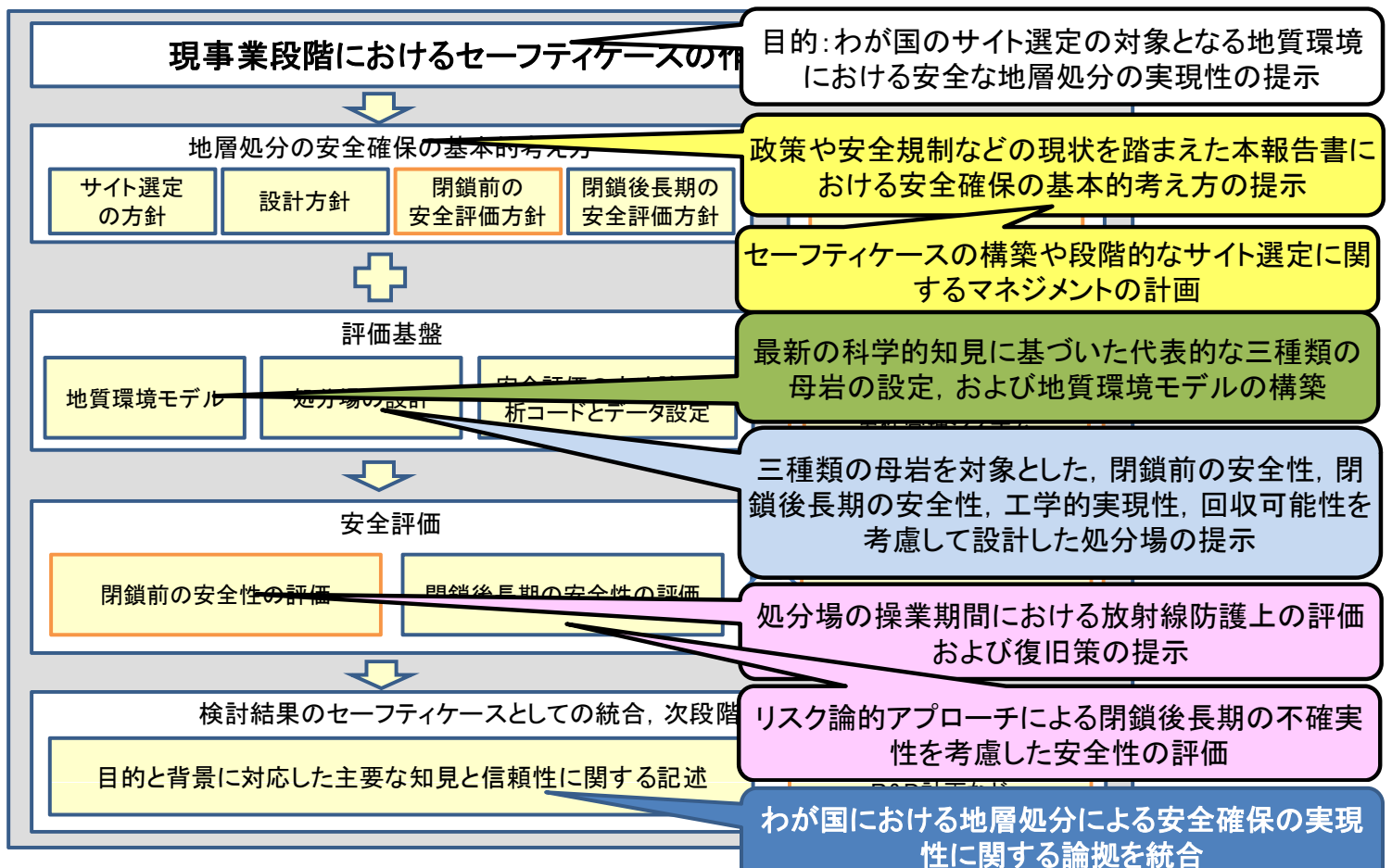
2016年9月21日 大阪科学技術センター

2016年9月23日 東京・三田NNホール

原子力発電環境整備機構 (NUMO)

鈴木 覚

セーフティケースの構築における本報告書の主な成果



ここまでに述べた安全確保の考え方および検討成果を統合し、わが国の多様な地質環境を対象とした安全な地層処分の技術的実現性について総括する。

- 7.1 地層処分の安全確保の基本的考え方
- 7.2 安全確保の方法の技術的実現性
- 7.3 わが国の多様な地質環境に対応した安全確保の考え方
- 7.4 今後の技術開発などの取り組み

7.1 地層処分の安全確保の基本的考え方

- 地層処分は、地下深部が本来的に有する特性を利用して放射性廃棄物を人間社会および環境から隔離し、さらに、廃棄物に含まれる放射性物質を地下深部に閉じ込めることを目的とする。
 - 地下深部の地質環境は、**金属材料が腐食しにくく、また、地下水の流れが極めて緩慢である**。こうした天然の地質環境特性に加え、人工バリアなどの工学的な対策や措置を施すことによって**隔離や閉じ込めの機能を多重的に有するシステム（多重バリアシステム）を構築**する。
 - 地層処分は、放射能の危険性が長期間継続して残存する高レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物に対して、**現時点で最も有望な処分方法として国際的に選択されているもの**である。
- わが国では、火山活動や断層活動が将来にわたり継続する可能性がある場所も存在することから、これらの自然現象による安全性に対する著しい影響を回避することが必要である。
- このため、地層処分に適した母岩の選定は、文献調査を受け入れていただいた地域を対象に、地質環境の調査・評価方法を段階的に詳細化して、適性を確認しながら慎重に進める計画である。
- この選定期間および閉鎖までの期間、地層処分の意思決定の可逆性を確保する。

7.2 安全確保の方法の技術的実現性

3章から6章で示した試行の結果に基づいて、地層処分による安全確保の方法の技術的実現性について述べる。

7.2.1 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化

7.2.2 閉鎖前の安全確保の方法

7.2.3 閉鎖後長期の安全確保の方法

7.2.4 第2次取りまとめ以降の進展

7.2.1 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化

- 全国レベルの情報に基づくと、地層処分に適した地質環境特性を有する岩盤が、**わが国に広く分布**していると考えられる。
- わが国の処分場を設置する候補となる母岩は、**深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類の3種類に分類可能である**ことを示した。
- これらの候補母岩を対象に、**科学的知見に基づいて地質環境をモデル化**し、処分場の設計と安全評価の場として設定した。
- 実際のサイトに対しては、**地質環境の調査結果**に基づいて、同様な手法によって、地質環境モデルを構築する。

7.2.2 閉鎖前の安全確保の方法

○平常時の安全確保の方法

- 放射線防護は「**閉じ込め**」と「**放射線遮蔽**」の機能を持たせることで放射線から公衆および作業者を防護することを示した。(←4章)
- 一般労働安全に関しては、**良好な作業環境(温度、湿度など)**を維持するとともに、特に地下施設においては、**作業空間を維持する**ために坑道の空洞安定性を確保することを示した。(←4章)

○自然災害への対処

- 施設に破壊的な影響を及ぼす自然災害(溶岩流や火砕流、および地表地震断層の変位など)の発生が明らかな場所は、**処分施設の設置領域からは除外**することを示した。(←3章)
- 地震や津波など、サイトによっては回避することができない自然災害については、**施設の安全機能が維持されるように、工学的対策**を設計することを示した。(←4章)

○異常および事故対策

- 国際標準として示されている多重防護の考え方に準拠**して、火災や落下事象に対して、異常状態の発生を防止する対策、さらに異常が発生し、次の異常状態に推移することを防ぐための拡大防止策を設計することにより安全確保が可能である。(←4章)
- 地上、地下施設における異常状態として、落下と火災の影響について評価したが、ガラス固化体、TRU廃棄物に含まれる**放射性物質が漏出するような異常状態は見いだされなかった**。(←5章)
- 地下施設における火災時にも**作業者の安全を確保するよう**、避難経路の確保や、緊急時避難シェルターなどを設置することが可能であることを示した。(←4章)

7.2.3 閉鎖後長期の安全確保の方法

7.2.1に示した地層処分に適した地質環境特性を有する母岩を対象として、以下のように

○処分場の設計(←4章)

- 三種類の母岩を対象**として、わが国における断層の分布頻度や、地下水移行特性の分布を考慮しても**所要の量の廃棄物を処分するための地下施設を配置することが可能である**ことを示した。
- 塩水など**幅広い地質環境に適用可能な所要の安全機能を有する人工バリア**を構築可能であることを示した。
- 高レベル放射性廃棄物とTRU廃棄物の処分場が相互に影響を受けないように、**処分場を併置することが可能である**ことを示した。

○閉鎖後長期の安全性の評価(←6章)

- 閉鎖後長期にわたる不確実性を考慮してシナリオを作成し、候補母岩*と対応する設計仕様毎に核種移行解析を実施した結果、いずれも目標線量を下回ることを確認した。

* 先新第三紀堆積岩については解析モデル等の適用性を定性的に示した。

7.2.4 第2次取りまとめからの進展(1/2)

第2次取りまとめ以降の技術開発により、以下の点で地層処分の技術的実現性が向上している。

○地質環境のモデル化

- 国内外の地下研究施設において地下深部の地質環境特性の研究をすすめ、それらを把握するための調査技術、評価・解析技術を整備したこと。
- 空間スケールの考え方や、地下水水理解析技術などを整備し、地質環境モデルを構築するための方法論を整備できたこと。

○処分場の設計および閉鎖前の安全性の評価

- わが国の多様な地質環境に柔軟に対応した処分場を設計できるよう、PEM方式などの設計オプションの開発が進んだこと。
- 安全確保はもちろんのこと、人工バリアの製作・施工や回収技術など、実証的に技術開発が進み、処分場の操業に関する工学的実現性が向上したこと。
- 換気・排水・作業動線の独立性など、作業者の安全確保も含めた地下施設レイアウト設計の方法を整備したこと。
- 国内外の地下研究施設の建設を通じて、グラウチング技術などの処分場の建設技術の適用性の確認や、開発が進んだこと。

7.2.4 第2次取りまとめからの進展(2/2)

○閉鎖後長期の安全性の評価

- 閉鎖前の安全性の確保のために導入した構造物(支保工など)と人工バリアの化学的相互作用の現象理解が進み、それらを反映した安全評価が可能となったこと。
- 人工バリアや坑道の形状、割れ目や断層の分布を取り込んだ物質移行解析手法の開発が進み、それらの影響などを定量的に評価できるようになったこと。
- 核種移行解析に必要な収着・拡散に関する試験データが拡充され、核種移行メカニズムの理解が進んだこと。また、データベースの整備が進み、解析データの設定が効率的に実施できるようになったこと。

試行結果に基づいて、わが国の候補母岩ごとの安全確保の考え方をまとめる。

7.3.1 深成岩類における安全確保の考え方

7.3.2 新第三紀堆積岩類における安全確保の考え方

7.3.3 先新第三紀堆積岩類における安全確保の考え方

7.3.1 深成岩類における安全確保の考え方

○地質環境モデルの構築

- 深成岩類は、国内および海外の地下研究施設で、調査・評価技術の研究開発の実績が多い。このため、地質環境モデルの構築においては、これらの技術や経験を適用することが可能である。
- 深成岩類の基質部は緻密で地下水は流れにくいですが、断層や割れ目が発達しているため、これらが地下水の移行経路となると考えられている。
- したがって、地質環境モデルの構築においては、不連続構造としての断層や割れ目の分布とその物質移行特性のモデル化に取り組む必要がある。

○処分場の設計

- 断層や割れ目を通じた物質移行が卓越するため、人工バリアにさまざまな安全機能を期待する必要がある。
- 深成岩類は一般に高い強度を有するため、処分場の建設においては、空洞安定性の確保は比較的容易であり、処分深度も地表から1,000 mの深さ程度まで実施可能である。
- ただし、地下研究施設の経験に基づけば、割れ目からの湧水が比較的多いため、建設時にはグラウチングなどの湧水対策が必須である。また、処分孔内への湧水量が多い箇所には、定置が難しいため、割れ目の密度が高いサイトにおいては、地下施設設置可能領域を余裕をもって設定する必要がある。

○安全評価

- 閉鎖後長期安全性の評価に関しては、断層および割れ目を介した物質移行を取り扱うことが可能な核種移行解析モデルおよびコードが必要である(例えば、三次元核種移行解析コードPartridgeの改良)。

7.3.2 新第三紀堆積岩類における安全確保の考え方

○地質環境モデルの構築

- 新第三紀堆積岩類については、**国内外の地下研究施設で、地質環境特性の把握のための調査・評価技術の研究開発の実績**を有する。
- ただし、国内の堆積岩は、**褶曲構造や、断層および割れ目**を伴うなど、海外に比べ、比較的構造が複雑である点に注意が必要である。

○処分場の設計

- 岩盤の強度は、深成岩類と比べると低く、**空洞安定性確保のため、坑道の掘削に際しては、支保工の設置が必須**である。また、処分孔間のピッチを大きくとる必要があり、**処分場の設置に必要な領域が大きくなる傾向**がある。
- 湧水は、割れ目が重要であるが、基質部からの湧水についても考慮が必要となる。処分孔内湧水量の評価解析結果より、**深成岩と比較して湧水量は少ない**。
- **続成作用が進んでいない堆積岩の場合には、坑道内のメタンガス濃度の管理**のための換気対策や、防爆対策をする。

○安全評価

- 物質移行モデルは、**基質部の拡散と、割れ目内の地下水流による移行を同時に取り扱うことができない**なければならない。
- 堆積岩としては、**泥岩や砂岩など構成鉱物の種類が多く、また、サイトごとに続成作用の程度も異なる**ことから、今後、データベースの拡充と、実際のサイトから採取した岩石試料と地下水を利用した試験が必要である。

7.3.3 先新第三紀堆積岩類における安全確保の考え方

○地質環境モデルの構築

- 先新第三紀堆積岩類の地表分布の70%以上が付加体に属し、**整然層と混在相に大別**できる。
- 付加体については、国内の地下発電所や一般道路トンネルなど多数の事例により特性が把握されているとともに、それらの知見を活用してモデル化も可能と考えられる。
- 褶曲構造が発達しており地質構造は複雑。断層や割れ目の頻度分布は深成岩に類似する。

○処分場の設計

- **一般に続成作用が進んでおり、岩盤は緻密で、高い強度**を有する。国内において一般道路トンネルなどの掘削事例は多く、深成岩類同様、**坑道の掘削は容易**と考えられる。
- 断層および割れ目の取り扱いは、深成岩と同様である。
- なお、設計に必要な特性が似通っていれば、地質構造モデルにおいて、**岩種を詳細に区分してモデル化する必要はなく**、それらは同種の特性を有する岩盤として、グループ化して取り扱うことで、合理的に地質環境モデルを構築できる。

○安全評価

- 閉鎖後長期安全性の評価に関しては、基質部の間隙率が低く、地下水を通しにくいいため、物質移行モデルは、**断層および割れ目を介した物質移行を取り扱うことが可能な核種移行解析モデルおよびコードが必要**である。
- 拡散や収着などの物質移行データの取得例が限定的であり、今後、データベースの拡充と、実際のサイトから採取した岩石試料と地下水を利用した試験が必要である。

7.4 今後の技術開発などの取り組み

本報告書で実践した取り組みを今後も着実に実施していくために、第2章で示したマネジメントの考え方に基づいた今後の取り組みの方針を示す。

技術開発の取り組み

- 地層処分事業は長期にわたるものであり、今後も**安全性や効率性の向上に資する技術**や、**自然現象などの科学的知見を蓄積していくことが重要である**。また、現段階の結果に満足せず、可能な限り安全性や効率性を追求することが必要である。
- そこで、今後も継続的に地層処分の技術的信頼性の向上に資するために、**重点的に取り組む技術開発項目**を抽出した。

技術開発項目の例

○地質環境モデルの構築

- 火山・火成活動、断層活動などの自然現象の科学的知見の継続的な情報収集
- 沿岸域などの地質環境の調査・評価技術

○処分場の設計および工学技術

- 廃棄体特性の把握および廃棄体受入基準の整備
- 処分場の安全性と合理性の両立、向上
- 設計手法、解析方法、データ取得法などの標準化、品質マネジメントの推進
- 処分場の建設・操業・閉鎖技術の開発と実用化

○安全評価

- シナリオ構築手法の整備
- 天然バリアの核種移行モデルの高度化
- 核種移行解析コード、データの標準化、品質マネジメントの推進
- ナチュラルアナログ事例の情報整備

- なお、これらの項目は、今後作成するNUMOの中期技術開発計画に反映するとともに、国や関連研究機関と連携して着実に進めていく

その他のマネジメントの考え方に基づいた取り組み

知識マネジメント

- 本報告書の取りまとめにおいて参照した数多くの参考文献や技術情報は、透明性・追跡性、ならびに今後の取り出しと更新の容易性を確保した形で、NUMOの文書管理システムにおいて体系的に保管する。

人材の確保・育成・技術継承

- 本報告書の取りまとめを通じて、地層処分全体を俯瞰した最新知見の取得、分野間をまたがる技術の連携と統合化の経験が**NUMO内に蓄積された**。また、国内外の専門家との議論や、関係機関との協力・連携などを通じて、**NUMOの技術力向上が図ることができた**。
- 今後は、長期の事業展開と事業に必要な広範にわたる技術分野を踏まえて、**計画的に人材の採用と育成を行う**。また、国内外の実施主体や関係機関への派遣、共同プロジェクトの実施等により、**さらなる技術力の能力向上を図る**。

コミュニケーション

- 今後、様々なステークホルダーを想定したわかりやすい資料を階層的に整備し、シンポジウムや対話の場等における双方向のコミュニケーションによって、技術的な安全性と実現性、不確実性への対処等について、国民全般との共有を図る。
- また、同時に英語版も公表することで海外への情報発信も充実させる。さらには、将来、関連する技術開発成果や動画などのコンテンツを充実させることで、有識者、一般の方を含めより多くの方に、**地層処分に対する知識を深めていただけるようにする**。

8章 結言

最新の科学技術的知見に基づいて安全な地層処分の実現性についてセーフティケースを作成することを通じて検討した結果を以下に示す。

- NUMOでは、放射性廃棄物を長期にわたって隔離し閉じ込めるための、処分場を設置する地質環境に必要な条件と望ましい条件を明確にし、これらの条件に応じた適切な地質環境を選定する技術を整備している。
- わが国で地層処分の対象となり得る代表的な三種類の候補母岩について、地下深部で得られている断層の存在状況等の地質環境特性を反映し地質環境モデルを作成する技術を有し、このモデルに応じて要求機能を満足する処分場を設計することが可能となっている。報告書で示した結果は、設計および建設・操業・閉鎖に関する技術開発成果に基づいており実用性を有する。
- 地質環境や設計した処分場の仕様の特徴を現実的に取り扱って、閉鎖前及び閉鎖後長期にわたる安全評価を行うことが可能となっている。その結果から国際機関や諸外国の規制に示された、あるいは国内類似施設に関する安全基準等に照らして、安全を確保できる見通しが得られている。
- 処分場の設計・建設・操業に関する安全評価技術の信頼性や、わが国の地質環境に対する適応力を高めるため、今後、取り組む必要がある技術開発項目を抽出した。また、品質保証、知識管理、人材育成に適切に取り組む必要があり、そのための基盤を整えつつある。

以上のことから、わが国の地質環境において高レベル放射性廃棄物およびTRU廃棄物の安全な地層処分ができる見通しが一段と高まった。また、今後文献調査等を受け入れていただいた地域において、その特性を踏まえて処分場の設置に適した場所を選び、安全な処分を実現するために、より信頼性の高い技術を整備しつつ、段階的に事業を進めていくための一連の準備ができていると結論する。



ご清聴ありがとうございました



参考資料



セーフティケースの構成要素 (NEA, 2004に項目を追加して作成)

