



技術報告

RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分場概念設計

宮本 陽一 川越 浩 大湖 岳雄

東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部

Conceptual Design of Disposal Facility below the Generally Used Depth for Radioactive Waste from Medical, Industrial and Research Facilities

Yoichi MIYAMOTO Hiroshi KAWAGOSHI Takeo OHGO

Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works.

大学及び研究機関における研究や、医療機関における治療・診断など、様々な分野においてRIや核燃料物質等が利用されている。これらの利用により発生するRI・研究所等廃棄物*の安全かつ合理的な処分方策の確立は必須の課題となっている。

しかしながら、RI・研究所等廃棄物のうち、余裕深度処分**対象となる廃棄物については具体的な処分概念が検討されておらず、その安全性の評価も十分にはされていない。

本研究では、余裕深度処分対象となる廃棄物について、検討対象廃棄物の廃棄体データベースを整備し、場所を特定しない一般的な条件を設定し、施設形態、操業形態等の処分概念を検討、線量評価を実施し施設成立性の検討、廃棄体を処分するための処分費用の評価等を実施した。

Radioisotopes, nuclear fuel materials, and so on are used in various fields such as the research activities of universities and research institutes and in the treatment and diagnosis of medical institutes. It is necessary to treat and dispose of radioactive wastes safely and economically.

Radioactive wastes disposal below the generally used depth require examination of a concrete disposal concept and thorough safety evaluation.

This report presents development of a database for the radioactive wastes applicable for disposal below the generally used depth, and preliminary safety and economy evaluation based on currently presumed general conditions.

Subjects for the conceptual design of the disposal facility below the generally used depth are also presented.

キーワード

RI・研究所等廃棄物、余裕深度、概念設計、低レベル放射性廃棄物、放射性廃棄物、放射性同位元素、廃棄物処分、処分コスト、処分場

Radioactive Waste from Medical, Industrial and Research Facilities, Below the Generally used Depth, Conceptual Design, Low-Level Radioactive Waste, Radioactive Waste, Radioisotope, Waste Disposal, Disposal Cost, Repository

*放射線障害防止法、医療法、薬事法、臨床検査技師法の規制の下で放射性同位元素（以下「RI」）を利用（加速器の利用を含む）している事業所から発生する、RIが付着した試験管、注射器、ペーパータオルや使用済みの密封線源等の廃棄物（RI廃棄物）及び、日本原子力研究所等の研究機関、大学、民間企業等が、原子炉等規制法の規制の下、試験研究炉や核燃料物質等の使用施設等で原子力の安全研究や核燃料物質等を用いた研究、及び、一部の民間企業における核燃料物質を金属触媒に使用する等、研究以外の目的での核燃料物質等の使用、これらの施設の運転や実験に伴って発生する廃液、ペーパータオル、排気フィルタ、試験管等や施設の解体により発生するコンクリートや金属等の廃棄物（研究所等廃棄物）の総称。

**人間の活動（地下室利用等）によって人間が放射性廃棄物に接触する可能性が十分小さくなる、一般的な地下利用に十分余裕を持った地下（50m～100m程度の深度）で、放射性核種移行抑制機能の高い地中へ、現行の低レベル放射性廃棄物が処分されているコンクリートピットと同等以上の放射性核種閉じ込め機能を持った処分施設を設置する処分方法。



宮本 陽一

処分研究部所属
次長兼処分材料研究グループリーダー
TRU廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル放射性廃棄物の処分研究に従事
核燃料物質取扱主任者、第1種放射線取扱主任者



川越 浩*

処分材料研究グループ基準・研究所等廃棄物評価チーム所属
副主任研究員
RI・研究所等廃棄物処分等の低レベル放射性廃棄物の処分研究に従事



大湖 岳雄

処分材料研究グループ基準・研究所等廃棄物評価チーム所属
RI・研究所等廃棄物処分等の低レベル放射性廃棄物の処分研究に従事
第1種放射線取扱主任者

*現在：文部科学省科学技術・学術政策局

1. はじめに

放射性同位元素使用施設、試験研究用原子炉、核燃料物質等使用施設等から発生する放射性廃棄物（以下「RI・研究所等廃棄物」という）の処分に關しては「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方」¹⁾の中で、廃棄物の物理化学的性状と放射能濃度に応じて適切に区分し、それぞれの区分に応じて適切に処分方策を講じるとの基本的考え方が示されている。

比較的放射能レベルが低く^{***}、地下数m程度に埋設する廃棄物に關しては、発電所廃棄物は既に日本原燃株式会社が低レベル放射性廃棄物埋設センター（以下「既存埋設施設」）に埋設を始めており、RI・研究所等廃棄物に關しても、(財)原子力研究バックエンド推進センター（以下「RANDEC」）が中心となり、日本原子力研究所（以下「原研」）及び日本アイソトープ協会が検討を進めてきている。

比較的放射能レベルの高い^{****}廃棄物に關しては、「現行の濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方」²⁾（以下「濃度上限値の基本的考え方」）において、一般的な地下利用に十分余裕を持った深度（地下50m～100m）（以下「余裕深度」）の処分概念が示された。

RI・研究所等廃棄物にも、比較的放射能濃度が高く余裕深度処分が適切であると考えられる廃棄物がある。核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」）において「濃度上限値の基本的考え方」に示された処分概念に基づき、現時点における知見を基に、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分場に關して、場所を特定しない概念設計を行い、処分概念の構築をするとともに、その安全性、経済性の概略評価、課題の抽出を実施している。

2. 対象廃棄物の調査

概念設計を行うにあたっては対象となる廃棄物の物量及び廃棄物に含有される放射能量等の情報が必要となる。

RI・研究所等廃棄物のうち比較的高い放射能レベルを持つ廃棄物を発生させる機関は主として、サイクル機構と原研である。また大学・民間の研究炉、民間の燃材施設からも発生がある。

サイクル機構の廃棄物に關しては、「低レベル放

射性廃棄物管理プログラム」（以下「管理プログラム」）の検討で余裕深度相当とされた廃棄体のデータを使用し、原研の廃棄物に關しては、原研で取りまとめている廃棄体データのうち、余裕深度相当とされている廃棄体のデータを入手し使用した。ただし、サイクル機構東海事業所の再処理施設、Pu燃料施設から発生する廃棄物に關しては、その性格から別途TRU核種を含む廃棄物として処分方策の検討が行われており、また、ウラン廃棄物に關しても、別途検討されているので、今回の対象からはずした。

その他機関から発生する廃棄物に關しては、RANDECを通じ、アンケート方式で調査を実施し、その成果を使用した。

サイクル機構と原研以外は、廃棄物を埋設可能な廃棄体にするための条件が、現状では設定されていないため、管理プログラムで使用している廃棄体作製条件を用いたと仮定し、廃棄体として集計を行った。

廃棄体の形態に關して、想定される廃棄体表面の線量率を考慮した場合、取扱時に設備側への遮蔽負担が大きくなることから、廃棄体収納容器にも遮蔽性能を持たせることを考えた。このとき、200ℓドラム缶1本ごとに遮蔽を持たせるのは現実的でないため、1m³角型容器（外寸法1.3m×1.3m×1.3m、内容積1m³）へ収納する設定とした。ただし、原研及びサイクル機構の廃棄物のうち、200ℓドラム缶で廃棄体の作製が既に計画されている廃棄体に關しては、廃棄体取扱施設の簡素化のため、1m³角型容器と同外寸のラックに、ドラム管4本を収納する設定とした。発生施設別の廃棄体発生量調査結果を表1に示す。

3. 処分施設形態の検討

処分施設は大きく分けて、廃棄体を埋設する地中設備の廃棄体埋設設備と、輸送容器の受入、廃棄体の取出、受入検査等を実施する、地上設備である廃棄体受入施設に分かれる。

3.1 廃棄体埋設施設

埋設施設の施設概念として、対象廃棄体、埋設対象の放射能レベル等を考慮した場合、国内外の既存あるいは計画中の処分施設を参考に、トンネル式とサイロ式を選定した。本研究では両概念に關して具体化を行った。

*** 廃棄体の放射能濃度が、炉規法施行令第十三条の九の表一及び二に相当するもの。

**** 廃棄体の放射能濃度が、炉規法施行令第十三条の九の二に相当するもの。

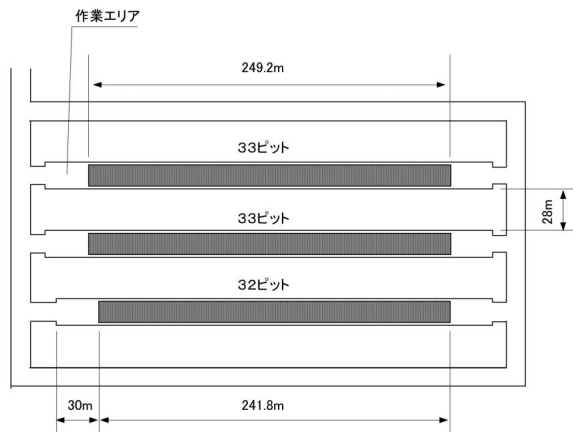


図2 トンネル型処分施設の配置図

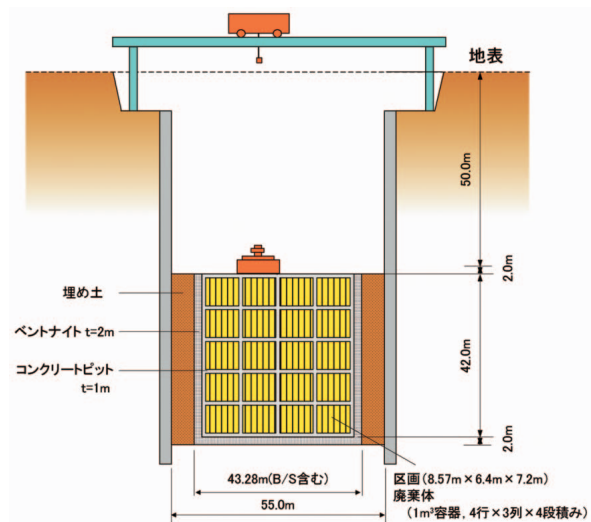


図3 開削サイロ型処分施設の概念図

空洞を地表から掘り下げる開削サイロがある。

地中サイロはフィンランドなど結晶質岩系での施工実績はあるが、日本のような堆積軟岩主体の岩における大規模な施工実績はなく、新たな技術開発が必要となる。それに対し開削サイロは、同等規模の一般土木建築の施工例があり、現状の技術で対応可能であるため、今回の検討においては開削サイロを対象とした。

サイロ空洞の大きさは、類似一般土木工事の例を参考とし、最大で50m程度とした。

トンネル式と同様に、サイロの空洞内にピットを構築し、その周囲を難透水性のベントナイト混合土で囲む形式とし、対象廃棄体が埋設可能な規模の施設として図3に示すような施設とした。

この場合、対象廃棄体数量を埋設するには、サイロ1基で可能である。

3.2 廃棄体受入施設

受入れる廃棄体は、対象施設に搬入される時点で、既に廃棄体化されているとの前提に立ち、廃棄体のコンディショニング施設は検討範囲外とした。この場合、受入施設として必要になるのは、輸送容器及び廃棄体のハンドリング装置、受入れた輸送容器、廃棄体の一時貯蔵、受入検査等が考えられる。輸送容器受入から廃棄体払出までの流れを図4に、また機器配置を図5に示す。

4. 施設成立性の検討

前項までに検討を行った廃棄体特性、施設形態を基にして、埋設地を特定しない一般的な条件で安全評価を実施する。

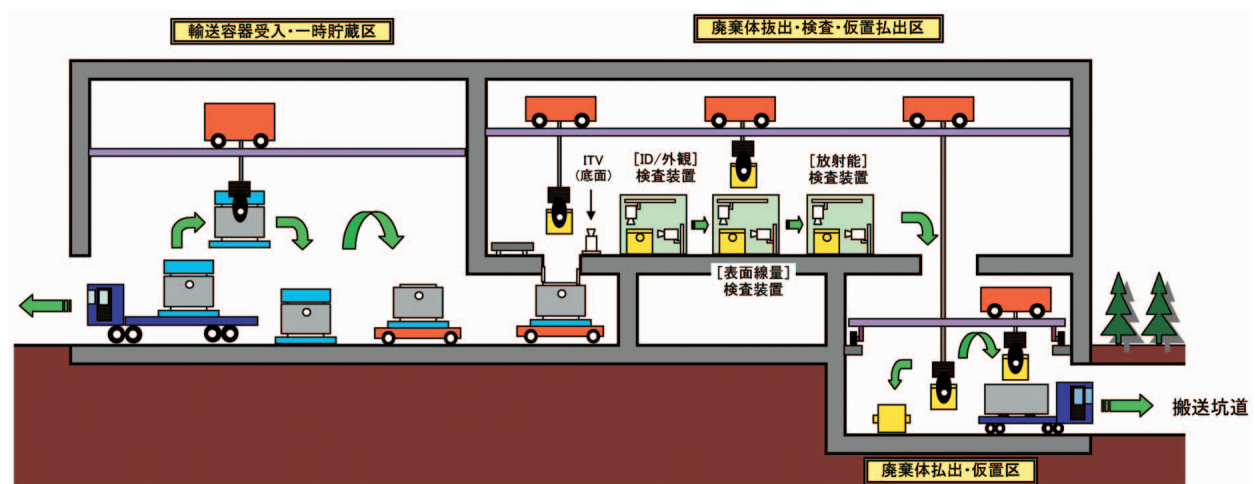


図4 廃棄体取扱施設における廃棄体の流れ

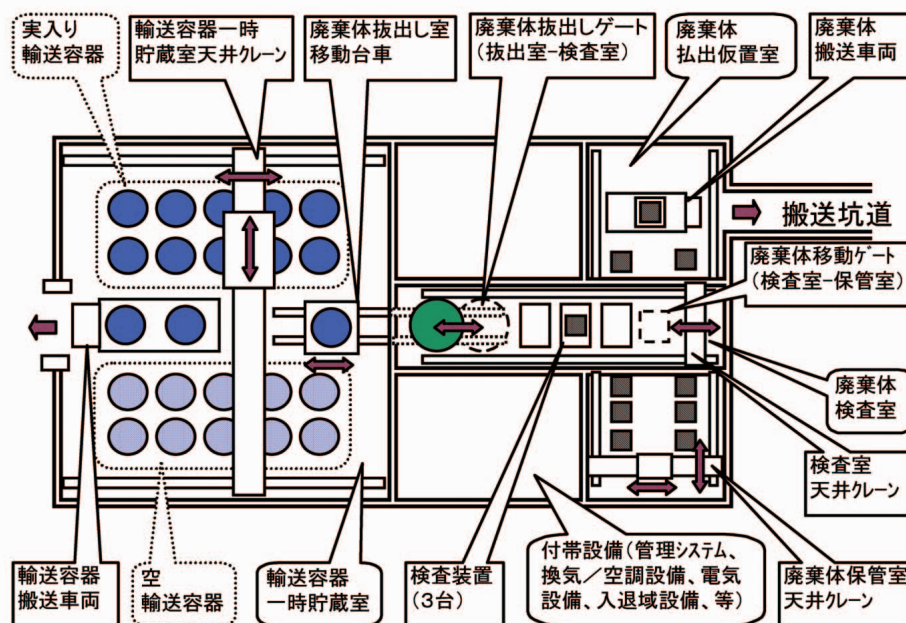


図5 廃棄体取扱施設における機器配置図

一般的な条件としては、「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について (第3次中間報告)」³⁾ (以下「第3次中間報告」) のデータを基本とし、分配係数等に関しては「TRU 廃棄物処分概念検討書」⁴⁾ 及び「日本原燃(株)埋設事業申請書」⁵⁾ 等の公開文献を参考にした。

また、人工バリア、天然バリアの条件を変動させた解析を行い、感度の高いパラメータの確認などを行った。

4.1 施設浸透水量

「濃度上限値の基本的考え方」においては「透水性の低い地層、動水勾配の小さな地下などに処分施設を設置することにより、処分施設を通過する地下水量の低減、及び放射性核種の移行速度の低減を図る」とされており、それを受け第3次中間報告では、比較的浅い地中での評価において使用された地下水流速0.01m/dayより1桁低い0.001m/dayを余裕深度における処分施設近傍の地下水流速として設定している。

今回は、場所を特定しない評価ではあるが、処分施設に関しては、地下水流速が比較的遅い領域に建設されるものとし、第3次中間報告で使用されている地下水流速0.001m/dayと同じになるように、岩盤の透水係数(1E-7m/s)、動水勾配(1%)を設定し施設への浸透水量の計算を行った。

4.2 核種移行解析

安全評価において考慮すべきシナリオはいくつか考えられるが、第3次中間報告においては、①地下水移行シナリオ、②人間接近シナリオ、③操業中シナリオの3シナリオが上げられており、通常の被ばく経路としては①の地下水移行シナリオが選定されている。このため今回の安全評価では地下水移行シナリオに基づき、対象廃棄物の安全評価を実施した。

地下水移行シナリオは、第3次中間報告と同じ核種移行モデルに基づき評価した。同報告書では地下水移行シナリオとして、以下の4経路について線量評価がされている。

- ①河川水利用経路 (被ばく経路1～6)
- ②河川岩建設作業経路 (被ばく経路7, 8)
- ③河川岸居住経路 (被ばく経路9, 10)
- ④河川岸農耕経路 (被ばく経路11～14)

評価経路の概念を図6に示す。

4経路のうち、第3次中間報告においては、被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種のうち、C-14、I-129、Np-237等は「河川水利用経路」が決定経路となっており、今回は概略的な検討であるため、最も代表的と考えられる「河川水利用経路」を評価することとした。その他の経路に関しても、今後検討を行う。

第3次中間報告では、地下水移行シナリオにお

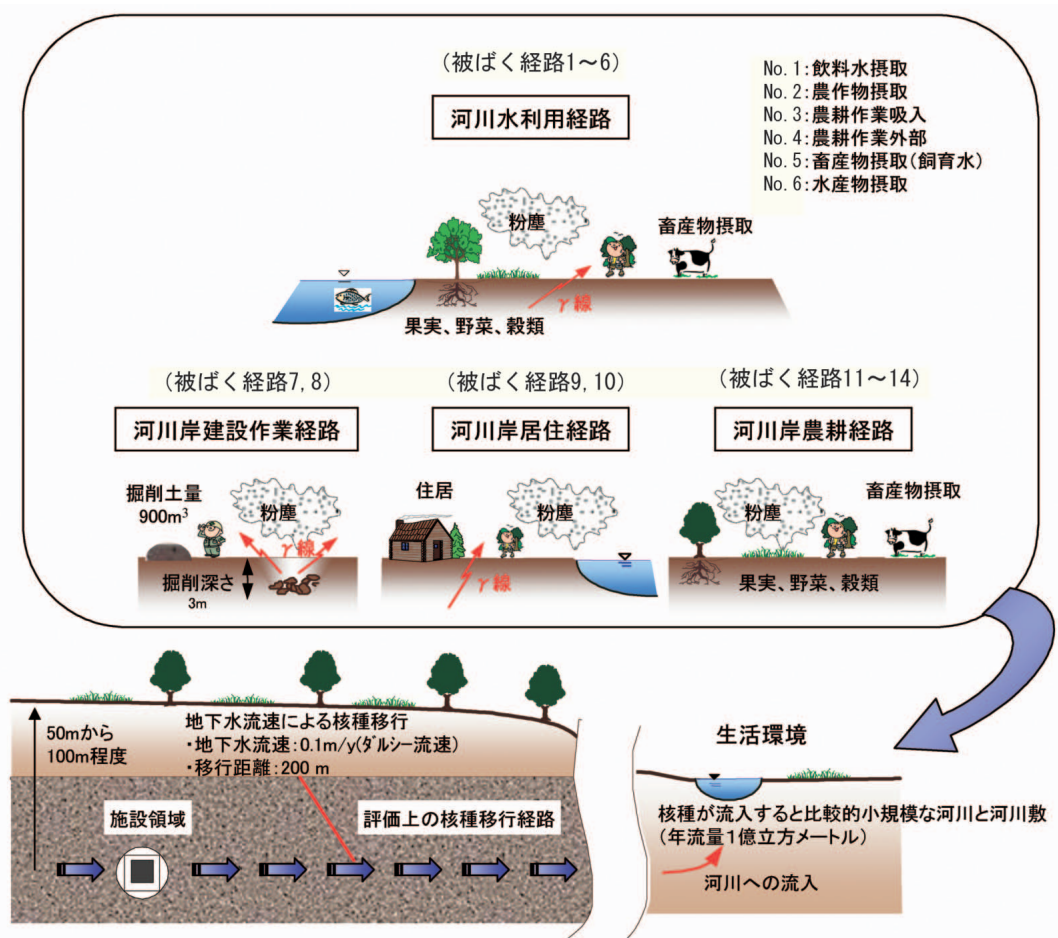


図6 地下水移行シナリオにおける核種移行モデル

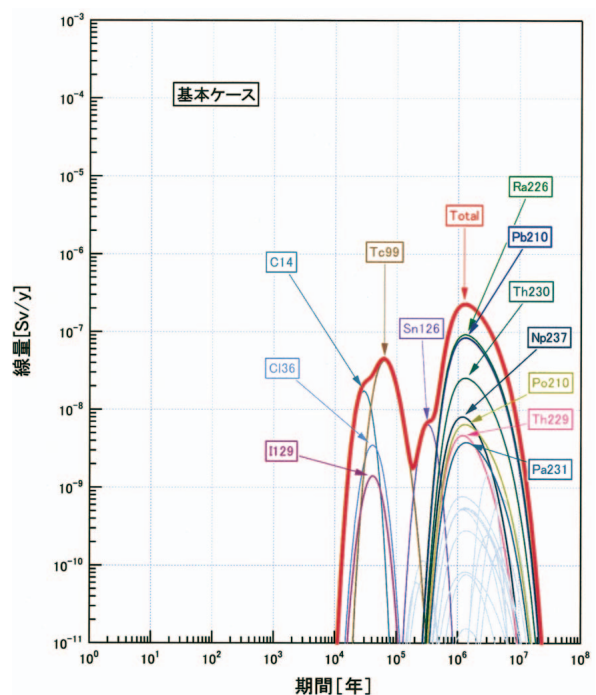
ける線量当量は原研で開発された解析コードであるGSA-GCLが使用されている。

今回は、GSA-GCLコードと同様の機能を有した1次元核種移行解析コードMENTORを使用した。当該コードは、電力共通研究及びTRU廃棄物処分概念検討書における安全評価において使用されている評価コードであり、上記のGSA-GCLと類似の機能を有する評価コードである。

解析結果の一例として、基本ケースにおける解析結果を図7に示す。

処分施設成立性の指標の基準としては、現在一般的なシナリオに関しては、10 μ Sv/yが目標線量とされている。

解析結果は、この線量を十分下回っており、今回設定した天然バリア及び人工バリアの条件においては、対象とする廃棄体を埋設することは十分可能であると考えられる。

図7 線量当量評価結果例
(トンネル型基本ケース)

4.3 評価パラメータの感度解析

今回の検討において、場所を特定しない、一般的な条件に、現状のピット施設と同等以上の性能を持つ施設で埋設を行うとして、評価パラメータを設定し、安全評価を実施した。

実際には、処分場を建設する場所の条件、人工バリアの時間的な性能変動などによる評価条件の変動が考えられる。

建設場所に関するパラメータの変動としては、基本ケースより動水勾配が大きい場合、天然バリアの分配係数が異なる場合などを想定した。また、人工バリア性能の変動としては、充てん材の分配係数が異なる場合、時間的に劣化し変動する場合、緩衝材の透水係数、厚さが異なる場合及び性能維持期間が短くなる場合を想定した。

基本ケースに対して、それぞれのパラメータを変動させ評価を行い、どのパラメータを変動させた場合が、評価結果に与える影響が大きいのか検討した。

線量に大きく影響するパラメータとしては、緩衝材の維持期間、緩衝材の透水係数、天然バリアの分配係数等があげられる（参考として天然バリア分配係数の解析結果比較を図8に示す）。

一方、セメント系材料の分配係数及び緩衝材厚さが線量に与える影響は数倍以内であり、比較的小さいことが確認された（参考としてセメント系材料分配係数の解析結果比較を図9に示す）。

5. 経済性の検討

経済性の概略評価として、トンネル型処分施設の処分コストの検討を行った。

処分コストは、大きく建設コストと操業コストに分かれる。さらに、最終的には埋設施設を閉鎖し、その他施設は撤去が必要になるため、閉鎖費用も必要となる。以下にそのコスト算定の方法を示す。

5.1 建設コスト

放射性廃棄物処分場は地上の廃棄体受入施設と地下の処分施設に分けられる。さらに、後者の処分施設は、処分坑道等の地下空間、廃棄体が定置されるコンクリートピット、緩衝材等の埋戻材、定置クレーン等で構成される。これらの施設及び設備を構築するための費用を建設費として試算した。

対象廃棄物の物量に基づいて、処分施設の概念

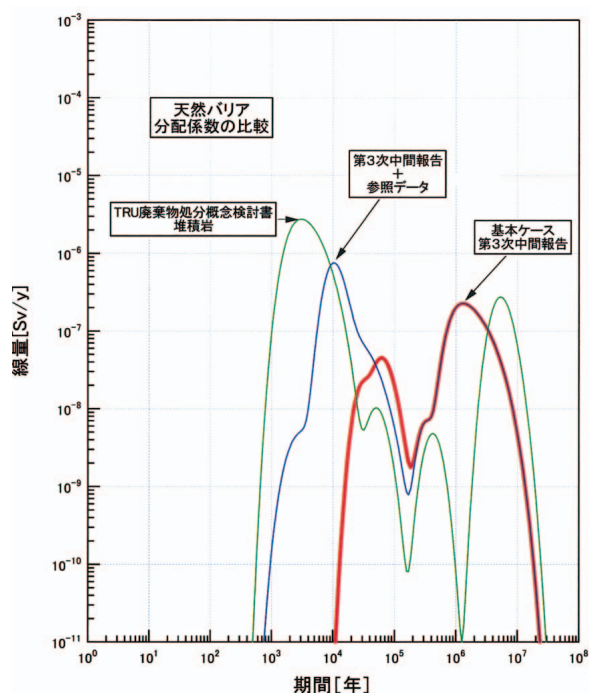


図8 天然バリア分配係数の解析結果比較

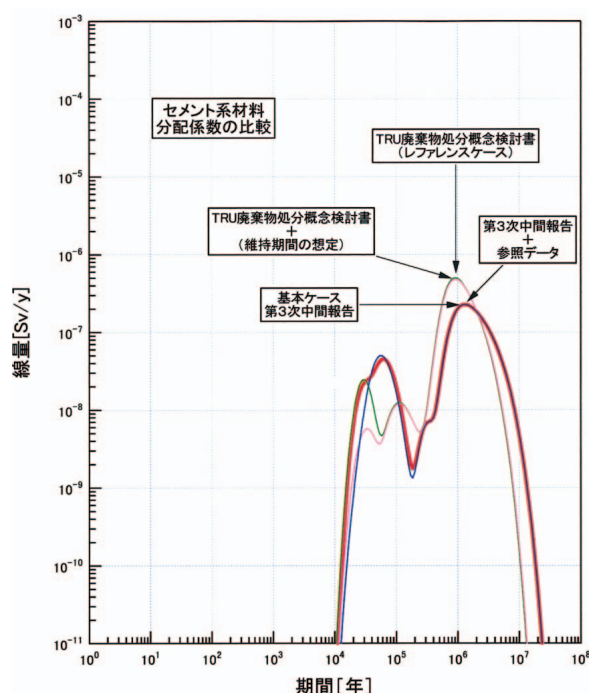


図9 セメント系材料分配係数の解析結果比較

設計を行い、主要な施設及び設備の数量を求めたのち、地下トンネルなど類似施設の建設費等を参考にコスト算定を行った。

5.2 操業コスト

操業費としては、施設及び設備の維持補修にか

かる費用、廃棄体の定置に携わる作業者の人件費が挙げられる。

維持費は、一般原子力施設の例を参考に、維持比率を建設費の1%とした。また、人件費については、操業工程の検討を行い、必要となる人員数を算定し人件費の算定を行った。

5.3 閉鎖コスト

処分事業の最終段階においては、構築された施設・設備は解体・撤去される計画である。ここでは、一般原子力施設の経済評価例を参考に、閉鎖にかかる費用を施設及び設備の建設費の10%とした。

5.4 廃棄体処分費用

処分コストの概略検討の結果を、図10に示す。ただし、今回は概略コスト算定であるため、研究開発費、土地取得費用、各種税金等に関しては、サイト条件、安全審査からの要求度、税制度等に依存するものであり、現時点では不確定要素が多いことから、検討の範囲外とした。

6. おわりに

現在までの検討で、第3次中間報告に示された余裕深度処分の基本的考え方に基づき、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計を、対象廃棄体の調査から、施設設計、安全性評価、経済性検討まで一通り実施した。

今後、現在までの検討条件である、対象廃棄体、地質条件、設備形態等に対して、幅を持った条件

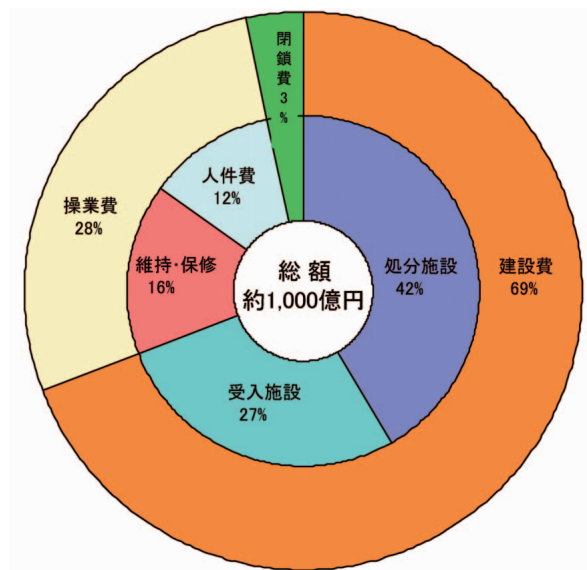


図10 処分コスト内訳

設定で検討し、施設形態等に対して、経済性を考慮した最適化を図っていく必要がある。

参考文献

- 1) 原子力委員会“RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方”(1998)
- 2) 原子力委員会“現行の濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方”(1998)
- 3) 原子力安全委員会“低レベル放射性廃棄物の陸地処分概念検討書(第3次中間報告)”(2000)
- 4) 核燃料サイクル開発機構 電気事業連合会“TRU廃棄物処分概念検討書”, JNC TY1400 2000-001 (2000).
- 5) 日本原燃株式会社“六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター廃棄物埋設事業許可申請書”(1988)