



セッション1： 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性 (案)

公募関係資料に関する技術アドバイザリー委員会

2003年12月17日

原子力発電環境整備機構 (NUMO)

梅木博之

高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性 (案)

- 「処分場の概要」の説明資料 -

目次

第1章 はじめに

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物

第3章 サイト選定

第4章 処分場の設計

第5章 処分事業

第6章 地層処分の長期安全性

第7章 今後の展望：サイトに応じた処分場概念の開発

付録

第1章 はじめに

◇本書の目的

- 「公募関係資料」のうち「処分場の概要」の内容について、さらに深く理解していただくために、背景となる情報をとりまとめた解説

◇対象とする読者

- 技術的専門家、「処分場の概要」の内容についてさらに深く理解したい人

◇本書の構成

- 「処分場の概要」の構成にしたがって記載

「処分場の概要」	高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性（案） - 「処分場の概要」の説明資料 -
1. 発生と処分	第2章「原子力の利用と高レベル放射性廃棄物」 第3章「サイト選定」
2. 処分場の構成	第4章「処分場の設計」
3. 処分事業	第5章「処分事業」
4. 安全性	第6章「地層処分の長期安全性」

- 第7章「今後の展望：サイトに応じた処分場概念の開発」

応募区域の環境条件を考慮して処分場概念を開発していくために必要な技術的準備について記載

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (1/7)

◇原子力の利用

- エネルギー源や放射線源としての原子力の利用
- 核燃料サイクルを基本とするわが国の原子力政策

◇放射性廃棄物の発生と対策の概要

- それぞれの特徴や危険度を踏まえた対策の概要
- 発生場所, 発生量, 放射能レベル他の特徴に応じた放射性廃棄物の区分
- 利害関係者に対しての放射性廃棄物管理の適切な解説

◇高レベル放射性廃棄物の特徴

- 初期の高い放射能と発熱
- 長期間 (10^4 年以上) にわたって潜在的な危険性が存続
- 2020年までの発生量を予想: ガラス固化体40000本

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (2/7)

✧高レベル放射性廃棄物管理

➤放射性廃棄物管理の基本的考え方

- 国際的な議論に基づく基本原則と環境／倫理的側面
- 主要な利害関係者

➤高レベル放射性廃棄物対策としての地層処分の選択

➤地層処分にに関する放射線防護

- 閉鎖前：通常の原子力施設と同様の方法による放射線防護
 - 防護目標と基準 (IAEA Safety Series No. 115)
- 閉鎖後：処分特有の問題に対するICRP勧告
 - 潜在被ばく概念 (ICRP Pub. 60)
 - 受容できる防護レベルとして約0.3 mSv/yを超えない線量拘束値 (ICRP Pub. 77)
 - 処分で想定される2つの被ばくの状況 (自然過程と人間侵入) の取扱い (ICRP Pub. 81)

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (3/7)

☆高レベル放射性廃棄物管理 (つづき)

➤地層処分計画の進め方

- 段階的なアプローチの採用
 - 利害関係者の合意に基づく意思決定
 - 地層処分の適切性に関する倫理／経済／政策的側面に関する合意
 - 技術的な実現可能性と長期安全性 (セーフティケース) に関する信頼性
 - 組織, 法規制の枠組み, 計画の進め方に対する信頼性
- 可逆性と回収可能性の検討
 - 意思決定プロセスにおける柔軟性の確保
- セーフティケースの作成
 - 透明性のある意思決定のための重要な基盤のひとつ
 - セーフティケース作成のための基本的な手続き
 - 計画を進めるための有効な方針

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (4/7)

◇高レベル放射性廃棄物管理：国際的な議論に関する参考文献

IAEA

- 1995: The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- 1996: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- 1997: Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- 2003: "Reference Biospheres" for Solid Radioactive Waste Disposal, Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASSEssment (BIOMASS) Programme, Part of the IAEA Co-ordinated Research Project on Biosphere Modelling and Assessment, International Atomic Energy Agency, IAEA-BIOMASS-6, Vienna, Austria.

NEA

- 1977 : Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes, Report by an NEA group of Experts, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1982 : Disposal of Radioactive Waste, An Overview of Principles Involved, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1984 : Long-term Radiation Protection Objectives for Radioactive Waste Disposal, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1991 : Can Long-term Safety be Evaluated? A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee, OECD/Nuclear Energy Agency, and the International Radioactive Waste Committee, IAEA endorsed by the Experts for the Community Plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management, CEC, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1994 : The Environmental and Ethical Aspects of Long-lived Radioactive Waste Disposal, Proc. of an International Workshop, Paris, September 1994, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1995 : The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal, A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1997 : Lessons Learnt from Ten Performance Assessment Studies, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1999a : Progress towards Geologic Disposal of Radioactive Waste: Where do We Stand? An International Assessment, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 1999b : Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories, Its Development and Communication, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 2001 : Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste, Reflections at International Level, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 2002 : Establishing and Communicating Confidence in the Safety of Deep Geologic Disposal Approaches and Arguments, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (5/7)

◇高レベル放射性廃棄物管理：国際的な議論に関する参考文献

ICRP

- 1977: Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 26, Pergamon Press, Oxford and New York.
- 1985 : Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 46, Pergamon Press, Oxford and New York.
- 1991 : 1990 Recommendations of the ICRP, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 60, Pergamon Press, Oxford and New York.
- 1993 : Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 64, Pergamon Press, Oxford and New York.
- 1997 : Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 77, Pergamon Press, Oxford and New York.
- 2000 : Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long lived Solid Radioactive Waste, International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication no. 81, Pergamon Press, Oxford and New York.

OTHERS

- Clarke, L. and Sloos, L.(1992) : IEACR / 49, IEA Coal Res., London.
- Curtis, D.B., Benjamin, T.M., Gancarz, A.J., Loss, R., Rosman, J.K.R., De Laeter, J.R., Delmore, J.E. and Maeck, W.J. (1989): Fission Product Retention in the Oklo Natural Fission Reactors, Jour. Applied Geochemistry, 4, pp.49-62.
- IEA(1998) : "World Energy Outlook".
- KASAM(1988) : Ethical Aspects on Nuclear Waste, SKN Report 29, April 1988, SKN, Stockholm, Sweden.
- Miller, W., Alexander, R., Chapman, N., McKinley, I. and Smellie, J.(1994) : Natural Analogue Studies in the Geological Disposal of Radioactive Waste, Nagra Technical Report NTB 93-03.
- Nakicenovic, N., Gruebler, A. and McDonald, A. (Ed.) (1998) : "Global Energy Perspectives", IIASA and Wec.
- NRC(2003) : One Step at a Time, The Staged Development of Geologic Repositories for High-level Radioactive Waste, Committee on Principles and Operational Strategies for Staged Repository Systems, Board on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies, the National Academy Press, Washington, D.C.
- Rhode, R. and Beller, D(2000) : The Need for Nuclear Power, Foreign Affairs,(Jan./Feb.).
- Umeki, H.(2000) : Key Aspects of the H12 Safety Case, MRS 2000, 24th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, August 27-31, 2000, Sydney, Australia.

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (6/7)

◇わが国の地層処分計画

➤ 地層処分計画の進展

- 基盤的研究開発の段階
 - 研究開発の開始
 - 「地層処分研究開発の第1次取りまとめ」の概要と結論
 - 「地層処分研究開発の第2次取りまとめ」の概要と結論
- 処分実施の段階
 - 事業化に向けた検討
 - 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(最終処分法, 2000年6月)
 - NUMOの設立
 - 安全規制に関する検討
(具体的な安全指針については規制当局において審議中)
 - 実施段階における研究開発
- 処分計画の進め方に関する国際的な議論との調和

第2章 原子力の利用と高レベル放射性廃棄物 (7/7)

◇わが国の地層処分計画 (つづき)

➤地層処分による安全確保の考え方

- 安定な地質環境の選定 (サイト選定) と選定された地質環境への頑健な人工バリアシステムの設置 (設計)
- システムの安全性の確認 (安全評価)

➤処分実施への取組み

- 信頼性の基盤の確保
 - 地層処分の適切性
 - 技術的な実現性と長期安全性に関する信頼性
 - 様々な角度からの論拠の呈示 (例: ナチュラルアナログ)
 - 組織, 法規制の枠組み, 計画の進め方に関する信頼性
 - 最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募

第3章 サイト選定

◇ 最終処分法に基づき、3段階の選定過程を経て最終処分施設建設地を選定

- 概要調査地区の選定
 - 文献調査の結果を法定要件などに基いて評価することにより選定
- 精密調査地区の選定
 - 概要調査の結果を法定要件などに基いて評価することにより選定
- 最終処分施設建設地の選定
 - 精密調査の結果を法定要件などに基いて評価することにより選定

◇ 処分場の建設が可能な地域は多様 (サイト環境条件)

◇ サイト選定過程と設計／安全評価の関わり

- 各段階では、法定要件に関する調査に加え、設計と安全評価の検討に必要な情報を得るための調査も計画的に実施
- 段階的な調査により地質環境の情報を着実に蓄積し、各段階ごとに処分場の設計と安全評価を繰り返し実施
- 長期安全性を確認したうえで、合理性や効率性の観点から、処分場の設計や建設／操業／閉鎖を最適化

第4章 処分場の設計 (1/5)

◇ 処分場の構成

- 処分場は、人工バリアシステム、地上／地下施設、並びに、天然バリアから構成される（人工バリアシステムと地上・地下施設が最終処分法でいう最終処分施設に相当）

◇ 処分場設計の前提条件

- 300m以深に、ガラス固化体40000本を、年間1000本の割合で処分

◇ 処分場の規模

- 第2次取りまとめの基本概念に基づけば、地上施設1km²程度、地下施設4～15 km²
- 処分場の占有投影面積（フットプリント）をより小さくすることにも対応可能

第4章 処分場の設計 (2/5)

☆設計の基本的考え方

➤ 処分深度

- 深度に関わる要件や制約
 - －地層処分の長期安全性
 - －サイトにおける地質環境の安定性
 - －対象となる岩盤の広がり
 - －地質環境の特性 (地下水の地球化学特性や流動特性など)
 - －建設技術や調査技術の適用範囲
 - －設計において考慮される処分深度の範囲
 - －経済性

➤ 処分場の設計・性能評価と長期安全性

- 設計と性能評価をくり返すことによって長期的な安全性をより高めていく
(→第7章において詳述)

第4章 処分場の設計 (3/5)

✧人工バリアの設計

➤設計手順

- 各人工バリアについて、以下の2つの視点から設計要件を明確化
 - －放射性核種の隔離のための要件
 - －人工バリアが成立するための要件
- 主要な特性の設計
 - －材質
 - －厚さ／形状
 - －製作性／施工性

➤長期健全性評価

- 性能低下に至る有意な影響がないことを検討し、性能評価の基本的前提を確認する
- 再冠水時挙動、構造力学的安定性、ガス透過性、緩衝材流出、緩衝材変質 等

第4章 処分場の設計 (4/5)

✧地上施設の設計

➤施設レイアウトの一般的留意事項

- 地理／地形条件
- ガラス固化体／廃棄体の搬送経路
- 操業／建設／閉鎖の動線と施設のゾーニング
- 換気／排水施設の配置
- 施設の保安
- 地下施設へのアクセス

➤サイト環境条件からの制約がある場合のレイアウト

- 斜坑のみで地下施設へアクセスする場合
- 分散配置
- 半地下化・地下化

第4章 処分場の設計 (5/5)

✧地下施設の設計

- 処分坑道離間距離と廃棄体ピッチ
- 坑道や処分孔の力学的安定性と人工バリアシステムの温度制限
- 坑道断面
- 支保工
- 廃棄体多段定置, 処分パネル多層配置の成立性
- 施設レイアウトの一般的留意事項
 - 操業安全性, 物流経路, 必要な空間, 力学的安定性, 核種移行遅延性能 等
- サイト環境条件からの制約がある場合のレイアウト
 - 高透水性ゾーンが存在する場合
 - 候補岩体が傾斜している場合
 - 廃棄体多段定置
 - 処分パネル多層定置

第5章 処分事業 (1/4)

◇ サイト選定調査

- 最終処分法に基づいて調査／選定を段階的に実施
- 設計／建設や安全評価に必要なデータの取得

◇ 処分場の建設

- 現在の技術を用いて建設が可能
- サイト環境条件 (地理, 岩種 etc.) の特徴に応じて検討

◇ ガラス固化体の輸送

- 国内外での核燃料輸送物の十分な輸送実績
- 現在の輸送技術により, ガラス固化体の処分場への安全な輸送が可能

◇ 処分場の操業

- ガラス固化体の受け入れからオーバーパックへの封入, 地下への搬送／定置には, 遠隔操作が不可欠
- 現状の技術により実現可能であるが, さらに実証が必要

◇ 処分場の閉鎖

- アクセス坑道に沿った地下水流路形成をプラグにより遮断
- 現状の技術により実現可能であるが, さらに実証が必要

第5章 処分事業 (2/4)

☆ 操業安全性

- 「作業安全」と「放射線安全」の2つに大別
 - ・ 作業安全: トンネル建設や採鉱のような通常の土木工学で採用されている対策の適用が可能
 - ・ 放射線安全: 通常の原子力施設で採用されている対策の適用が可能
- モニタリングにより対策の有効性を確認

☆ 環境保全対策

- サイト特性調査の段階から事業の廃止に至るまで、処分場の建設に伴う影響について周辺環境の調査や保全対策を実施
- モニタリングにより対策の有効性を確認

第5章 処分事業 (3/4)

☆モニタリング

- 上記安全対策と環境保全対策の有効性確認に加え、処分場閉鎖前の安全評価の妥当性の確認に必要なデータを取得
- モニタリング結果は公開し、異常時は原因調査と追加対策を実施
- 閉鎖後モニタリングすべき項目とその期間については、今後適切な利害関係者とともに検討される
- モニタリングについての国内外の検討状況の概観

☆品質管理

- 処分場全体の性能と信頼性を確保するとともにそれらを文書で示すために、処分場の成立性を確立するというNUMOの目的にそった品質管理方策が必要
- 品質管理についての国内外の検討状況の概観

第5章 処分事業 (4/4)

✧回収技術

- 段階的に計画を進めるうえで可逆性を確保するために、少なくとも閉鎖までの期間、廃棄物の回収可能性を維持
- 処分場概念に応じた回収技術の検討とその実証の必要性
- 回収技術についての国内外の検討状況の概観

✧記録保存

- 最終処分法の下で、閉鎖時に提出された記録は永久に保存される
- 記録は、将来世代の注意を喚起し、処分場への偶然の接近や侵入の防止に寄与
- 記録保存の考え方と具体的方策の検討
- 記録保存についての国内外の検討状況の概観

第6章 地層処分の長期安全性 (1/4)

◇適切なサイト選定 (第3章) と工学的対策 (第4章) によって構築される処分場の長期安全性について, 第2次取りまとめの知見を例示しながら解説

◇システムの安全機能と安全評価の方法論

- 安全機能を備えた処分場システムの構成要素
- 安全評価の方法論と安全評価で行う予測の意味
- 安全評価に必要な安全指標, 安全基準, 評価の時間スケール

第6章 地層処分の長期安全性 (2/4)

◇シナリオの検討

➤シナリオ作成の方法論

- 包括的なFEPリストを出発点とするシナリオ作成
- サイトや設計の特徴を考慮したFEP／シナリオの検討
- 接近シナリオと地下水シナリオの取扱い

➤オーバーパックの閉じ込め機能が維持される期間のシナリオ

- 想定されるシナリオの記述
- 閉じ込め機能が維持されている間に、ガラス固化体からの発熱や放射線の影響、処分場を建設したことによる地質環境への影響は無視できるほどに低減

➤オーバーパックの閉じ込め機能が喪失した後のシナリオ

- 想定されるシナリオの記述
 - レファレンスケースとレファレンスケース以外の基本シナリオ
 - 変動シナリオ

第6章 地層処分の長期安全性 (3/4)

◇モデル開発と評価解析

- 地下水シナリオに沿った解析の枠組み
 - レファレンスケースを含む基本シナリオと変動シナリオの取扱い
- レファレンスケースに沿った解析の解説
 - 地質環境, 気候および生物圏が将来的に大きく変動しないことが前提
 - 放射性核種のガラス固化体からの溶出と人工バリア, 天然バリアおよび生物圏の中の移行
 - レファレンスケースの解析結果
- 長期安全性に関する総合評価
 - 地下水シナリオ全体に対するシステムの安全性の把握
 - 第2次取りまとめで示された安全評価の結果に基づく内陸部と沿岸部の処分場の安全性の推定

第6章 地層処分の長期安全性 (4/4)

◇長期安全性に関する信頼性

➤安全評価の信頼性の確保

- サイト特性調査
- 室内試験
- 不確実性への対処 (シナリオ, モデルおよびデータ)
- 専門家による技術レビュー (ITAC, DTAC他)

➤様々な角度からの論拠

- ナチュラルアナログの利用
- 線量やリスク以外の補完的指標の採用
 - 岩盤中や地表の天然放射性核種の濃度やフラックスとの比較
- バリア性能の呈示
 - 各バリア中の放射性核種の存在量の呈示
- 諸外国で実施された安全評価との比較

第7章 段階的なサイト選定に応じた処分場の開発(1/3)

◇安全確保構想と処分場概念

➤法的な要件や前提条件

- 最終処分法に基づく3段階の選定プロセス
- 応募区域に固有のサイト環境条件
- 処分対象はガラス固化体
- 地下300m以深への処分
- 処分場の規模はガラス固化体40000本以上
- 多重バリアシステムによる安全確保

➤安全確保の考え方と処分場概念

- ニアフィールド(人工バリアとその周辺岩盤)の安全性をベースに, サイト環境条件に応じて最適化

第7章 段階的なサイト選定に応じた処分場の開発(2/3)

◇処分場概念の開発

- 段階的なサイト選定プロセスと処分場概念開発の枠組み
- 処分場概念の開発
 - 構造化アプローチによる処分場概念開発の枠組み
 - 第2次取りまとめのレファレンスシステムとその類型が出发点
 - 段階的な調査に応じて詳細化されるサイト環境条件に関わる情報(サイト環境情報)を反映し, 種々の処分場設計オプションを視野に入れながら, 繰り返し実施
 - サイト環境条件への適合性を評価するための設計因子の設定

◇処分場設計オプション

- 諸外国の処分場概念
- その他に提案されている処分場設計オプション

第7章 段階的なサイト選定に応じた処分場の開発(3/3)

サイト環境情報に基づく処分場の設計／性能評価の進め方

- サイト環境情報を反映した処分場概念開発のフロー
- 応募区域のサイト環境情報から処分場設計へのフィードバック
- 応募区域サイト環境情報から性能評価へのフィードバック

処分場設計／性能評価のため手法の開発

- 計算機支援システムCADPASSの開発

技術開発の進め方

- 事業の進展にしたがい、最適な処分場概念を具体化するうえでの技術開発課題を明示しながら実施

◇一人あたりのガラス固化体発生量

日本人一人あたりの原子力による電力の消費から発生するガラス固化体の量がゴルフボール約3個分に相当することの計算根拠

◇ガラス固化体の放射線量

ガラス固化体からの放射線が人間に与える影響の計算根拠

◇IAEA放射性廃棄物管理の原則

IEAE安全シリーズNo.111-F「放射性廃棄物管理の原則」(1995年)の概説

◇核燃料輸送物の安全基準

国内法令に定められている, 核燃料輸送物やその技術基準に関わる要件の概説

◇輸送の安全管理

核燃料輸送物の輸送に関する手続きや安全管理体制の概説

◇各国の処分場概念

諸外国で考えられている処分場概念の概説