

# 長半減期低発熱放射性廃棄物の処理・処分の

## 基本的考え方について<sup>(注)</sup>

(一部改訂:併置処分等の追加) (案)

平成18年2月20日

原子力委員会

## 長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分技術検討会

(注) 今回の検討に当たり、「超ウラン核種を含む放射性廃棄物」を「長半減期低発熱放射性廃棄物」としたことに伴い、平成12年4月に原子力委員会決定した「超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処理処分の基本的考え方について」を「長半減期低発熱放射性廃棄物の処理・処分の基本的考え方について」としている。

## 目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	検討の前提	3
第 3 章	検討内容	7
第 4 章	結論	20
第 5 章	今後の継続的な取組事項	22
第 6 章	おわりに	24

(付録 1) 長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分技術検討会の開催実績

(付録 2) 長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分技術検討会委員名簿

(付録 3) 原子力政策大綱(平成 17 年 10 月 11 日原子力委員会決定)の関連部分抜  
粋

参考資料

主な用語解説

## 第1章 はじめに

原子力委員会は、再処理施設やウラン-プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料加工施設の操業・解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物（以下、「長半減期低発熱放射性廃棄物」という。）について、旧核燃料サイクル開発機構（現：日本原子力研究開発機構）と電気事業者が平成12年3月に作成した「TRU廃棄物処分概念検討書」（以下、「第1次TRUレポート」という。）を評価して、その処分の安全を確保することが可能であるとの考え方を示した「超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処理処分の基本的考え方について」（平成12年4月、原子力委員会決定）（以下、「基本的考え方」という。）を取りまとめた。その上で、「基本的考え方」は、処分の実施に向けて検討を深めるべき技術開発課題として、処分施設設計の合理化と詳細化並びに安全性の評価の信頼性向上に役立つ、試験データの取得、特有な現象のより正確な把握と評価モデルの構築等を提示した。旧核燃料サイクル開発機構と電気事業者は、これらの課題に取り組み、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の地層処分に関する研究成果も活用して、平成17年9月に「TRU廃棄物処分技術検討書」（以下、「第2次TRUレポート」という。）を作成公表した。

原子力委員会は平成17年10月11日に決定した「原子力政策大綱」において、「発生者等の関係者が処分のための具体的な対応について検討中の放射性廃棄物の処理・処分については、情報公開と相互理解活動による国民及び地域の理解の下、具体的な実施計画を速やかに立案、推進していくことが重要である。」として、長半減期低発熱放射性廃棄物<sup>（注）</sup>のうち地層処分を行う放射性廃棄物について、以下の基本的考え方を示した。

地層処分が想定される長半減期低発熱放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と併置処分することが可能であれば、処分場数を減じることができ、ひいては経済性が向上することが見込まれる。このため、国は、事業者による地層処分が想定される長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物を併置処分する場合の相互影響等の評価結果を踏まえ、その妥当性を検討し、その判断を踏まえて、実施主体のあり方や国の関与のあり方等も含めてその実施に必要な措置について検討を行うべきである。

海外再処理に伴う低レベル放射性廃棄物は、今後、仏国及び英国の事業者から順次返還されることになっている。このうち、仏国の事業者からは、地層処分が想定される低レベル放射性廃棄物のうち、低レベル廃液

の固化方法をアスファルト固化からガラス固化へ変えることが提案されている。英国の事業者からは、低レベル放射性廃棄物のうち、地層処分が想定されるセメント固化体と管理処分が適当とされる雑固体廃棄物とを、それらと放射線影響が等価な高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）に交換して返還することが提案されている。これらの提案には、国内に返還される廃棄物量が低減し、それに伴い輸送回数が低減すること及び海外から返還される低レベル放射性廃棄物の最終処分までの我が国における貯蔵管理施設の規模が縮小できる等の効果が見込まれる。このため、国は、事業者の検討結果を受け、仏国提案の新固化方式による廃棄体の処理処分に関する技術的妥当性や、英国提案の廃棄体を交換する指標の妥当性等を評価し、これらの提案が受け入れられる場合には、そのための制度面の検討等を速やかに行うべきである。

そこで、原子力委員会は、「基本的考え方」に示した地層処分への追加の検討を行うため、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会（以下、「本検討会」という。）を設置し、以下の事項の専門的な検討を行うよう指示した。

- 1 .地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分の技術的成立性
- 2 .仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分の技術的成立性

本検討会は、「第2次TRUレポート」に示された技術的知見及び過去のその他の知見を基に、これらの課題に対する技術的成立性について検討を行った。

この報告書（案）は、本検討会の第1回から第4回会合までの審議内容を取りまとめたものであり、6章から構成されている。序章である本章に続く第2章は「検討の前提」、第3章は「検討内容」、第4章は「結論」、第5章は「今後の継続的な取組事項」、第6章は「おわりに」を述べている。また、付録1に長半減期放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会の開催実績、付録2に委員名簿及び付録3に原子力政策大綱の関連部分抜粋を記載している。

なお、本報告書（案）を読まれる方の便に供するため、参考資料及び関連する主な用語解説を添付した。

## 第2章 検討の前提

### 2-1. 「基本的考え方」における地層処分の検討結果

「基本的考え方」は、長半減期低発熱放射性廃棄物の処分方法について、安全を確保して管理処分（浅地中ピット処分、余裕深度処分）及び地層処分を適用できる可能性を示した。以下にそのうち地層処分に関する主要な検討結果を要約する。

#### (1) 地層処分の安全性

地層処分の検討対象とした廃棄物は、アルファ核種濃度が一応の区分目安値（原子炉施設から発生する放射性廃棄物の浅地中ピット処分の埋設濃度上限値：1GBq/t）を若干超えるものから数千 GBq/t に及ぶものまで幅広い範囲の長半減期低発熱放射性廃棄物としている。アルファ核種濃度が一応の区分目安値を超える廃棄物の一部については、この区分値の性格上余裕深度処分の適用可能性があると考えられるが、この処分方法が適用可能なアルファ核種濃度の上限値が決定していないことから、アルファ核種濃度が一応の区分目安値を超える全ての廃棄物（ハル・エンドピース等）及びベータ核種であるよう素-129(I-129)(半減期:約1600万年)の濃度が比較的高い廃棄物（廃銀吸着材）を地層処分対象としている。

これらの廃棄物の特性を考慮して適切に分類し、各々のグループの特性に応じた人工バリアを構成する処分概念及び廃棄体を比較的大きな地下空洞内にまとめて処分する処分施設概念を検討し、検討当時の技術で構築可能な処分施設概念の一例を提示している。

高レベル放射性廃棄物の地層処分の知見を利用して、対象廃棄物の地層処分に特有な現象の影響を考慮した地下水シナリオによる線量の試算に基づき、安全性の検討を実施している。

対象廃棄物の特性及び処分施設概念を考慮して、地下水移行シナリオにおいて考慮すべき現象（ガス発生、セメント・硝酸塩等による人工バリアや天然バリアの放射性核種移行抑制に与える影響）を、詳細な調査及び解析を行った結果を踏まえて整理している。

「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 - 」(平成11年11月、旧核燃料サイクル開発機構)(以下、「高レベルH12レポート」という。)を参考に行わ

れた地下水移行シナリオによる線量の試算結果は、 $10^{-5} \sim 10^{-2}$  mSv/年程度となっており、これから安全を確保して地層処分を行うことが可能であると考えられている。

なお、試算結果によれば線量に与える影響が最も大きい放射性核種は I-129 である。

以上の検討により、長半減期低発熱放射性廃棄物を安全かつ合理的に地層処分を行うことが可能との見通しを得たと結論している。

## (2) 技術開発課題について

前述の結論は、処分方式の検討に当たって、検討当時に利用可能な技術的知見に基づいた施設設計を行い、この廃棄物の処分に特有な現象のいくつかについては、それまでの知見の範囲内で線量の試算結果が高めとなると考えられるモデルやデータを用いて評価して得られたものである。そこで、今後は以下の技術開発課題について取り組むことが重要であるとしている。

処分施設設計の合理化・詳細化と安全性評価の信頼性向上に役立つ、対象廃棄物の処分に特有な現象（充填材等に使用されるセメントの変質、アルカリ性環境による緩衝材や岩石への影響、廃棄物に含まれる硝酸塩の影響、金属等の腐食によるガス発生）の解明

処分の合理化と安全性向上に役立つ、廃棄体による放射性よう素 (I-129) の閉じ込め性能向上を目指す研究

廃棄体に関するデータベースの整備充実及び廃棄体の品質管理・検認手法の整備

## 2-2. 今回の検討の対象とする地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物

アルファ核種濃度が「基本的考え方」に示した一応の区分目安値を超える長半減期低発熱放射性廃棄物は地層処分することが合理的とされている。その一部については、余裕深度処分の適用可能性があると考えられるが、今回の検討では、長半減期低発熱放射性廃棄物の管理処分（浅地中ピット処分、余裕深度処分）の埋設濃度の上限値が定まっていないことから、「基本的考え方」と同様にアルファ核種濃度が一応の区分目安値（1 GBq/t）を超えるもの及び半減期の長い放射性核種である I-129 の濃度が比較的高い廃銀吸着材の廃棄物を地層処分するものとし、これを高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と同一の処分サイトに処分することについて検討することとした。

## 2-3. 地層処分の安全確保の考え方

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保については、旧核燃料サイクル開発機構が平成 11 年 11 月にそれまでの技術の現状と研究成果を基に作成した「高レベルH12レポート」に伴い、原子力委員会はこれを評価して「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価」(平成 12 年 10 月、原子力委員会決定)を取りまとめた。長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分については、「基本的考え方」において、安全確保が可能であるとの考え方を示した。一方、地層処分の安全規制の考え方については、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院が高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分スケジュールにしたがって、順次策定する予定となっている。原子力安全委員会は、これまでに、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第 1 次報告)」(平成 12 年 11 月、原子力安全委員会)、「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」(平成 14 年 9 月、原子力安全委員会)及び低レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物の安全規制における共通的な重要事項を示した「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」(平成 16 年 6 月、原子力安全委員会了承)を策定した。長半減期低発熱放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方については現在検討中である。総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会においては、これまで「高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて」(平成 15 年 7 月)を取りまとめるとともに、平成 17 年 12 月から同小委員会において、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制制度の検討を開始している。したがって、本検討会での技術的成立性の確認作業は、「基本的考え方」で示された安全確保の考え方を基に、安全規制における共通的な重要事項等も参考にして行うこととした。

## 2-4. 処分事業の実施主体のあり方、国の関与のあり方など

「基本的考え方」で示された処分事業の責任分担のあり方、諸制度の整備、処分費用の確保などについては順次検討が行われている。

処分費用のうち、海外から返還される低レベル放射性廃棄物及び六ヶ所再処理施設の操業・解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物については、「原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管

理に関する法律」(平成 17 年 5 月公布)により処分費用を確保するための制度が整備され、平成 17 年度から電気事業者による積立てが開始されている。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の地層処分については、既に平成 12 年 6 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が公布され、同年 10 月に同法に基づいて処分実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)が設立され、平成 14 年 12 月にはNUMOが全国市町村を対象に「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が開始されている。また、上記の法律に基づいて電気事業者等による高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分費用の積立てが開始されている。



### 第3章 検討内容

本検討会は、「第2次TRUレポート」の作成者から、そこに記載された「地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分」と「仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分」の技術的検討内容の説明を受け、これらの技術的成立性を検討・評価した。

作成者は「第2次TRUレポート」の作成過程において、国内の有識者（土木、地質、原子力等の各分野の専門家）及び国外の専門家〔スイス放射性廃棄物共同組合（Nagra）〕によるレビューを受け、関連する研究成果を国際的なワークショップ、原子力学会及び国際原子力機関（IAEA）の国際会議に報告し、公開の研究成果報告会を開催してその内容を一般に公開してきた。検討・評価の場には、これらの機会に得られた外部専門家等の指摘事項等を整理した「TRU廃棄物処分技術検討書 - 第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ - の外部レビューの結果」も提出されたので、参考にした。

#### 3-1. 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分

長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を近接して地層処分を行うに当たっては、地下に設けられるそれぞれの廃棄体の処分パネル等の施設の設計から処分に至る活動を、その処分領域に別の廃棄体の処分施設が存在しないとして進めても処分の安全確保の観点からは差し支えない距離だけ、それぞれの処分活動領域を離して行うことが考えられる。また、適切な工夫を講ずることにより二つの処分場の距離をこの距離よりも小さくすることも考えられる。「第2次TRUレポート」では、後者については将来の技術開発によりその知見が得られればそのような処分の対策も検討できると考えられるが、現時点ではその見通しが明確でないとして、前者の考え方によって併置処分を行うことに限定して、この距離、すなわち、必要十分な離隔距離を中心に技術的検討を行っている。検討会は、この考え方を妥当として、その検討内容を評価することとした。

##### (1) 相互影響因子

「第2次TRUレポート」においては、長半減期低発熱放射性廃棄物と高

レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）とを併置して地層処分をする際には、それぞれの処分施設の存在が他方の施設からの放射性核種の移行挙動に影響を及ぼす可能性に留意しつつ、その影響が及ぶ範囲を評価すべきと考えられる因子（相互影響因子）を以下のように抽出している。

#### < 想定される相互影響 >

地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）に比べると放射性物質濃度が比較的低いこと、ハル・エンドピースのように放射性物質の崩壊による発熱はあるが高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と比べて発熱量が小さいこと、硝酸塩や有機物を含有する廃棄体が含まれることなどの特徴を有する。また、その処分方式としては、それらの廃棄体をセメント系材料を比較的多く用いた処分坑道に処分することが考えられている。

「第２次ＴＲＵレポート」は、これらの長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）とを相互に近接して処分する場合、それぞれの廃棄物の特性等を考慮すると、「熱」、「水理」、「応力」、「化学」、「放射線」に係る相互影響を考慮する必要があるとしている。なお、ここで「水理」とは処分施設の建設に伴う地下水流動影響による処分サイト全体の水理条件への影響を指している。本検討会は、この判断は妥当と考える。

#### < 相互影響因子の抽出 >

「第２次ＴＲＵレポート」は、これらの相互影響を考慮するために、具体的に影響評価を行うべき相互影響因子を以下のように抽出している。

「熱」について注目すべきは、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の方が長半減期低発熱放射性廃棄物より発熱量が大きいため、前者の熱が後者に伝わり、後者のうち自ら発熱するハル・エンドピース周辺のセメントの温度を上昇させてセメントの変質をもたらす可能性があるため、この温度の上昇について評価する。

「水理」は、処分サイトの放射性核種移行の評価で重要であるが、長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）のそれぞれの処分施設が施設近傍の局所的な地下水流動を変化させても処分場全体の平均的な水理条件を乱さないよう設置されれば、安全評価で注目する処分場全体からの放射性核種移行挙動への影響は小さいと考えられることから、具体的な相互影響因子は選定する必要がない。ただし、実際に処分サイトが決まった段階では、その場所の地質環境条件を考慮に入れた場の条件としての水理について具体的に検討するのは当然である。

なお、広域的な地下水流動という意味での「水理」は、他の因子、例えば「化学」と密接な関係があるが、それは化学的影響を考慮する際の入力条件として「化学」の影響評価の中で扱う。

「応力」については、処分坑道間が近接しすぎると相互干渉による応力が増加し、崩落等が生じる可能性があるが、応力の影響範囲は処分坑道近傍に限定的であると考えられることから、相互影響因子として選定しなくてよい。ただし、それぞれの施設設計の際には施設の健全性確保の観点から施設の併置状況を適切に考慮すべきは、当然である。

「化学」については、長半減期低発熱放射性廃棄物に含まれる有機物（アスファルト、廃溶媒、セルロース）、硝酸塩の他、処分施設に広範に使用されるセメント系材料と地下水が反応し高アルカリ性となること、セメント起源のコロイド、金属の腐食等に起因するガス、微生物などの影響が注目される。これらについては、発生源側の長半減期低発熱放射性廃棄物の処分施設内での放射性核種移行への影響を評価し、その影響が小さいとわかれば、処分施設外へのその影響は考慮する必要がないとしてよい。一方、処分施設内において放射性核種移行への影響が小さくないとわかったものについては、それが施設外に拡がって高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）処分施設の放射性核種移行に影響を与える可能性を検討する必要があるため、その化学物質の拡がりを相互影響評価の観点から評価する必要がある。

- a. 有機物のうちアスファルト及び廃溶媒については、それらが放射性核種移行に影響を与える錯体を形成する能力が小さいため、量的には少なくないが、有意な影響を与えないと考えられる。一方、有機物のうちセルロースは、イソサッカリン酸 (ISA) に分解すると、錯体形成により放射性核種の収着性（吸収・吸着性）に影響を与える可能性があるため、処分施設内（ハル・エンドピースを含む廃棄体グループ 2）での収着分配係数への影響を考慮しているので、これの施設外への拡がりを検討するのが適切である。
- b. 硝酸塩は間隙水が高いイオン強度となって放射性核種とイオン競合を生じることによりベントナイト及び母岩の放射性核種の収着性へ影響を与える可能性があり、また、酸化性化学種の硝酸イオンにより、酸化性雰囲気形成されたり高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）のオーバーパック（炭素鋼）の局部腐食挙動に影響を与える可能性がある。高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）周辺には炭素鋼等の多くの還元性物質があり後者の影響は考えにくいだが、長半減期低発熱放射性廃棄物内（硝酸塩を含む廃棄体グループ 3）では

両者の可能性があるため放射性核種の収着分配係数などへの影響を考慮している。そこで、これの施設外への拡がりを検討するのが適切である。

- c. セメント系材料との反応により高アルカリ性となった地下水（以下、「高アルカリ性地下水」という。）は、化学環境場を変化させ放射性核種移行及び人工バリア材の安定性に影響を与える可能性があるため、処分施設内について高アルカリ性環境下での収着分配係数等への影響を考慮している。そこで、この施設外への拡がりを検討する。
- d. セメント起源のコロイドは、処分施設内は高アルカリ性環境下であり凝集沈殿するため濃度に上限があり、その濃度での放射性核種移行への影響は小さい。また、このコロイドはベントナイトによりろ過されると考えられ、放射性核種移行への影響は廃棄体定置場所近傍に限定的であると考えられる。そこで、これは相互影響因子として選定しなくてよい。
- e. 金属の腐食等に起因するガスは、それ自体は放射性核種の移行媒体となるものではないが、これによる処分施設内圧の上昇によって、放射性核種を含んだ水が押し出され局所的に放射性核種移行を早める現象については考慮している。ただし、その影響は廃棄体定置場所近傍に限定的であると考えられることから、これは相互影響因子としては選定しなくてよい。
- f. 微生物は、その活動により生成する炭酸などが化学環境場を変える可能性があるが、それらの活動による放射性核種移行への影響は廃棄体定置場所近傍に限定的であると考えられることから、これは相互影響因子として選定しなくてよい。

以上のことから、「化学」については、長半減期低発熱放射性廃棄物に含まれるセルロースの分解生成物である有機物、硝酸塩、高アルカリ性地下水の拡がりの処分施設外の高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）処分施設への影響を評価するため、この拡がり进行评估する。

「放射線」については、廃棄物に存在する放射性物質質量から判断して、当該廃棄物の人工バリアの性能を損なう可能性は考えにくいこと、たとえ、それがあとしても、構造物による遮へい効果があるため、その影響範囲は廃棄体定置場所近傍に限定的であると考えられることから、相互影響因子として選定しなくてよい。

本検討会は、我が国で想定される地質環境条件において長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分場を併置して地層

処分する場合、処分される廃棄物に係る「熱」、「有機物(イソサッカリン酸)」、「硝酸塩」及び「高アルカリ性地下水」の影響範囲がその他の要因の影響範囲より広くて当該処分施設近傍に及ぶとして、この併置処分の実現性を検討するためには、これらの因子について影響範囲を定量的に解析・評価するべきとしているのは、適切と考える。

## (2) 影響範囲の評価方法

「第2次TRUレポート」において、影響範囲の評価方法を以下のとおりとしている。

長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の両施設の配置は、それぞれの相互影響因子による放射性核種移行への影響を十分小さくし、それぞれの施設に係る線量評価に影響を与えない配置になるようにする。そのための基本的な配置として長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）のそれぞれの処分地下施設が同一平面上にあり、地下水の流向に平行に設置されているものを想定する。そして、それぞれの相互影響因子について、時間経過に伴う影響範囲の空間的拡がりを解析により評価する。

この影響評価に使う地質環境条件としては、「高レベルH12レポート」で示された我が国の地下深部に関するデータを基に、代表的と考えられる条件として岩盤（堆積岩、結晶質岩）透水係数（ $10^{-8} \sim 10^{-10}$  m/s）、動水勾配（0.01）等を設定し、また、その他の条件についても「高レベルH12レポート」等に基づき保守的に設定し解析する。

本検討会は、上記の両施設の配置について、実際の処分サイトでは、その地質環境条件等に応じた柔軟な配置が検討されることになるが、影響範囲の評価のためには、これを代表的な配置とすることは適切と考える。また、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分に関する研究において評価された条件を影響範囲を評価する際の地質環境条件として採用することは適切と考える。

## (3) 相互影響範囲の評価

「第2次TRUレポート」では、影響範囲の拡がりを以下のとおり評価している。

### a. 「熱」の影響範囲

セメント系材料の熱変質により放射性核種の収着性に影響を与える

可能性が生じない温度を国内外の知見に基づき 80 以下を判断の目安として、高レベル放射性廃棄物( ガラス固化体 )からの発熱による長半減期低発熱放射性廃棄物( 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物の中で発熱量が比較的大きいハル・エンドピースの廃棄物 )の時間経過に伴う温度の変化を 2 次元伝導伝熱解析により求めた。解析の結果、高レベル放射性廃棄物( ガラス固化体 )処分地下施設から約 50m 以遠では、温度上昇が 80 以下となった。

b. 「有機物」の影響範囲

長半減期低発熱放射性廃棄物に含まれるセルロースの分解生成物であるイソサッカリン酸 ( ISA ) の濃度の時間経過に伴う空間的な拡がりを均質多孔質媒体モデルの 2 次元物質移行解析により評価した。解析の入力条件として、保守的に廃棄物に含まれる可能性があるセルロースがすべて ISA になると仮定した。影響の有無の判断の目安としては、母岩の放射性核種の収着性に影響を生じない ISA 濃度限度として、を国内外の知見に基づき  $1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$  ( mol / ) を選んだ。解析の結果、長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側及び横方向に約 20m 以遠においては、ISA 濃度がこの目安値以下となった。

c. 「硝酸塩」の影響範囲

長半減期低発熱放射性廃棄物に含まれる硝酸塩は、国内外の知見に基づけば、間隙水が高いイオン強度となって放射性核種の収着性へ影響を与える可能性があり、また、酸化性化学種の硝酸イオンにより高レベル放射性廃棄物( ガラス固化体 )のオーバーパックの局部腐食挙動や放射性核種移行に影響を与える可能性がある。前者については  $0.1 \text{ mol/dm}^3$  ( mol / ) 以下であれば影響はないとしており、後者については、高レベル放射性廃棄物( ガラス固化体 )周辺に多くの還元性物質があるためそれらの影響は考えにくい、ここではオーバーパックの腐食挙動に着目して放射線分解による酸化種生成からの局部腐食の影響と同等以下であることを目標に局部腐食の駆動力とならない濃度として  $4.5 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  ( mol / ) 以下としている。したがって、保守的に後者の濃度の約 5 分の 1 の硝酸塩濃度で  $1 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  ( mol / ) 以下(金属の局部腐食を生じないと考えられる濃度)を判断の目安として、その濃度の時間経過に伴う空間的な拡がりを均質多孔質媒体モデルの 2 次元物質移行解析により評価した。解析の結果、長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側及び横方向に約 300m 以遠においては、硝酸塩濃度がこの目安値以下となった。

なお、「高レベル H 1 2 レポート」に示されている高レベル放射性廃

棄物（ガラス固化体）の容器（オーバーパック）に期待されている放射性核種の閉じ込め期間は1,000年である。これに対し、硝酸塩が約300mまで拡がる時期は100,000年程度経過した後であることから、オーバーパックの保持期間（1,000年）より100倍長い時間を考慮したものとなっている。

d. 「高アルカリ性地下水」の影響範囲

長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設では、坑道支保や充填材で使用するセメント系材料に地下水が浸透し、セメント水和物中のNa、K、Ca等が地下水に溶解することにより、高アルカリ性（pH12.5以上）となる。この高アルカリ性地下水が、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の人工バリアであるベントナイト、ガラス固化体の成分の溶解速度やオーバーパックの腐食挙動へ影響を与える可能性がある。したがって、人工バリアの安定性に影響を及ぼさないpHとしては国内外の知見に基づき11以下を判断の目安として、そのpHの時間経過に伴う空間的な拡がりや均質多孔質媒体モデルの1次元物質移行・地球化学連成解析により評価した。解析の結果、長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側に約30m以遠においては、pHがこの目安値以下となった。

e. 相互影響範囲の時間的变化は、100,000年程度以内でその影響範囲が縮小するか、あるいはそれ以上の期間を評価する必要がない、という結果を示している。この値は「高レベルH12レポート」に示された「天然現象の活動やその影響が十分小さいと期待でき、地質環境の変化が概ね一定と見通せる程度の期間」と考えられる。

「第2次TRUレポート」では、上記のa～dのそれぞれの相互影響因子について評価した結果、その影響範囲が最も遠方まで及ぶと評価されたのは硝酸塩であり、その場合それぞれの地下施設間の必要十分な離隔距離として約300mあれば影響が十分小さいと評価した。ただし、この値は相互影響の対象である高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）のオーバーパックに期待される閉じ込め期間である1,000年に比べて保守的に100,000年先までの硝酸塩の拡がりや評価して得られた影響範囲に基づくものであること、今後の高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）等での技術知見が深まれば、この大きさの保守性がどうかの再検討を含めてこの距離を小さくできる可能性も考えられるとしている。また、実際の処分サイトにおいては、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の場合と同様、多様な地質環境条件に応じて、適切な離隔距離を考慮した処分地下施設の配置（立体配置、別岩盤配置）、工学的対策（プラ

グ等)など有効な措置を組み合わせることで影響の広がりを十分小さくする対応も可能と考えられるとしている。

本検討会は、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)を併置処分する場合、それぞれの処分地下施設の処分パネル間に適切な離隔距離(解析結果の値によれば約300m)をとることにより、それぞれの施設間の相互影響を十分小さくすることが可能であるとする。

ただし、硝酸塩が拡散し約300m離れた高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の容器(オーバーパック)に影響を及ぼすに至るには100,000年の期間が必要と評価されているが、これはオーバーパックに期待されている閉じ込め期間(1,000年)の100倍となっていることから、解析結果の値は保守的な評価に基づく距離であるとする。

なお、この離隔距離に関する解析結果は、標準的な条件でそれぞれの施設間の相互影響を十分小さくする際の値であるため、確保すべき距離として固定的に定める性格の値ではなく、今後処分サイトが決まればその地質環境に応じた施設の設計及び相互影響評価により設定されるべきものであるとする。

また、「第2次TRUレポート」では、複数の相互影響因子の重ね合わせ影響については解析評価されず、個々の因子による影響評価に代表させているが、仮に因子間の相互影響があった場合でも、既に有機物のセルロースから分解生成するISAの収率は保守的に100%と設定する等評価条件に含まれること、あるいはそれぞれの因子が他の因子に与える影響の範囲や程度は限定的と考えられることから、それらの影響については施設設計時に適切に考慮されることで十分と考えられる。

なお、「第2次TRUレポート」では、長半減期低発熱放射性廃棄物の処分施設においては、廃棄体の性状及び特性を踏まえて廃棄体をグループ化し、グループ毎に適切に人工バリアを設置した比較的大きな空洞内に処分し、かつ、熱、力学、硝酸塩の拡がりなどを考慮に入れた配置を例として想定している。その結果、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体4万本相当)処分の地下施設は約2km(横)×約3km(縦)[結晶質岩、深度1,000mの検討事例]の広がりであるのに比べ、長半減期低発熱放射性廃棄物の処分の地下施設は約0.6km(横)×約0.4km(縦)[結晶質岩、深度1,000mの検討事例]程度の広がりであり、それぞれの地下施設間の離隔距離として検討した約300m(0.3km)の距離を両施設間においたとしても、地層処分場に必要な面積を大きく増加させるものではないとする。



(4) 併置処分が調査、建設、操業、閉鎖、管理等の工程等に与える影響

「第2次TRUレポート」においては、併置処分が調査、建設、操業、閉鎖、管理等の工程等に与える影響を以下のとおり検討している。

- a. 長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設と高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分施設では、それぞれの施設の構造及び建設・操業期間が異なる可能性があるが、調査、建設、操業、閉鎖、管理等の全体的な事業の流れは共通である。
- b. また、廃棄体、人工バリアの仕様の違いから建設、操業、閉鎖についてはそれぞれ独立したエリアで行われることになるので、それぞれが互いに影響を及ぼす可能性は小さい。
- c. したがって、両処分施設を同一処分サイトで処分することによりそれぞれの各段階(調査、建設、操業、閉鎖、管理等)に大きな影響を与えることはない。

本検討会は、長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設と高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分施設を併置する場合に、調査、建設、操業、閉鎖、管理等の各段階に大きな影響を与えることはない考える。

(5) 諸外国における長半減期低発熱放射性廃棄物の処分方法

「第2次TRUレポート」では、諸外国における長半減期低発熱放射性廃棄物の処分方法について、以下のとおり、調査し今回検討の参考としている。

スイス、仏国、ベルギー、英国及びドイツは、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物に相当する放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)と同一サイトで処分することを計画又は検討している。各国とも、具体的な処分はまだ開始されていない。各国における相互影響に関する検討内容は、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)からの発熱、長半減期低発熱放射性廃棄物に含まれる有機物、高アルカリ性地下水であり、スイス、仏国、英国はそれを評価して配置上数百メートル程度の離隔距離として計画又は検討している。ベルギーについては離隔距離を今後検討するとしており、ドイツについては配置が未定である。なお、米国では、ニューメキシコ州の WIPP (廃棄物隔離パイロット事業) 処分場で長半減期低発熱放射性廃棄物に相当する放射性廃棄物(軍事用施設からの排出)の処分を既に開始し、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)はネバタ州のユッカマウンテン処分場での処分を計画している。

本検討会は、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物に関して今後も技術開発、処分場の設計等の知見や成果の向上を図っていく上で上記の国々と情報交換して技術共有を図ることが重要であるとする。

### 3-2. 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分

「第2次TRUレポート」では、仏国から返還される低レベル放射性廃棄物の中には、仏国再処理事業者である COGEMA 社の再処理施設 UP2-400 の廃止措置に伴う洗浄廃液を発生源とする廃棄物があり、その固化体は高レベル放射性廃棄物のガラス固化体と同じ形状で製造される予定であるとしている。「基本的考え方」では、仏国から返還される低レベル放射性廃棄物はビチューメン固化体（アスファルト固化体）を想定していたため、「第2次TRUレポート」を基に、ビチューメン固化体と低レベル放射性廃棄物ガラス固化体とを比較して、処分に対して影響する以下の項目の検討を行っている。

#### (1) 固化体の安定性

ビチューメン固化体と低レベル放射性廃棄物ガラス固化体との処分に関する物性を比較した結果、低レベル放射性廃棄物ガラス固化体はビチューメン固化体より力学的、熱的及び耐放射線性の観点での耐性があること、またガラスの網目構造中に放射性核種を保持することから、放射性核種の閉じ込め性が優れている。

#### (2) 地層処分への影響

処分施設設計の観点からは、低レベル放射性廃棄物ガラス固化体はガラス固化されているものの、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と異なり閉じ込め機能を有するオーバ - パック（炭素鋼）がないため、硝酸塩の影響は検討する必要がないが、高アルカリ性地下水の影響を避け、かつ廃棄体周囲に低透水性のベントナイト系材料を設けた人工バリア構成とすることが考えられるとしている。返還される低レベル放射性廃棄物ガラス固化体は現時点での電気事業者の試算では約 28 本と少量であることから、長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設内の比較的小断面積の処分坑道に処分することが可能である。

線量評価の観点からは、ビチューメン固化体に含まれている硝酸塩は低レベル放射性廃棄物ガラス固化体には含まれていないため、廃棄体内部からの

硝酸塩の影響を排除した線量評価が可能である。さらにビチューメン固化体の線量試算では放射性核種が瞬時に放出するモデルを用いていたが、低レベル放射性廃棄物ガラス固化体は固型化材料が高レベル放射性廃棄物と同様のほうけい酸ガラスであることから、高レベル放射性廃棄物のガラス固化体と同様に浸出モデルの適用が可能である。これらを考慮した線量評価では、低レベル放射性廃棄物ガラス固化体はビチューメン固化体に比べ線量が約1桁程度減少すると考えられ、地層処分を行う廃棄物の処分全体に影響を与えないと考えられる。

本検討会は、仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態である低レベル放射性廃棄物ガラス固化体は、他の放射性廃棄物の処分全体に影響を与えないことから、地層処分の技術的成立性があると考ええる。

### 3-3. 「基本的考え方」に示された技術開発課題に対する取組状況

「第2次TRUレポート」では、以下に示すとおり「基本的考え方」に示された特有な現象に対する技術開発課題等に関して取り組んでおり、本検討会ではその内容を確認した。

#### (1) セメントの変質

充填材等に使用されるセメントについて時間の経過とともに地下水と接触してセメント自体が変質する現象については、「第1次TRUレポート」では粉砕したセメントペースト硬化体の浸出試験結果に基づきセメントの長期挙動を検討したが、解析に当たっては保守的に初期から変質しているものと仮定した。「第2次TRUレポート」ではセメントペースト硬化体（ブロック形状）の通水に伴う変質試験によりpH変化や間隙率の変化に伴う透水性及び力学特性に関わるデータ等を取得した結果、変質に伴う透水性や強度の変化を考慮した物質移行データを設定して、人工バリアの長期間安定性の評価が可能となった。

#### (2) アルカリ/ベントナイト/岩反応

充填材等に使用されているセメントについて、その成分が溶け出すことによりアルカリ性となった地下水が周辺に拡がり、緩衝材（ベントナイト系材料）や岩と反応する現象については、「第1次TRUレポート」ではデータ不足により定量的評価ができなかったが、「第2次TRUレポート」では以下のとおり検討した。

アルカリ性成分と緩衝材（ベントナイト系材料）との反応については、アルカリ性環境下におけるベントナイトの構成鉱物（モンモリロナイト）の溶解速度に関わるデータの取得や二次生成鉱物（評価上ゼオライトとして設定）の組合せ及びアルカリ性環境下における熱力学データを整備した結果、人工バリアの長期間安定性の評価が可能となった。

アルカリ成分と岩との反応については、アルカリ性環境下における岩を構成する鉱物の反応を文献及び試験結果から調査し、化学反応と物質移行を連成した解析を実施した結果、アルカリ成分による周辺岩盤への影響は施設近傍にとどまり、放射性核種の移行経路全体に与える影響の評価が可能となった。

### (3) 硝酸塩挙動

硝酸塩を多量に含むプロセス濃縮廃液のアスファルト固化体等（廃棄体グループ3に区分）に含まれる硝酸塩が地下水に溶け出すことによる影響については、「第1次TRUレポート」ではその知見はほとんどなかったため、イオン強度の高い海水系の試験結果を参考に放射性核種の収着分配係数への影響を評価した。「第2次TRUレポート」では、硝酸塩の影響を考慮した条件におけるセメントペースト硬化体に対する放射性核種の収着分配係数を取得し、硝酸塩条件下での放射性核種の移行挙動の評価が可能となった。また、硝酸塩の地下深部での化学形態の変化を考慮して、アンミン錯体の影響、ガス発生の影響並びに放射性核種の溶解度及び収着分配係数への影響の評価が可能となった。

### (4) ガス発生影響

金属の腐食等によるガスの発生の影響として、「第1次TRUレポート」では、既存の腐食実験によって取得された文献値より腐食速度を設定しガス発生速度を算出した。「第2次TRUレポート」では、腐食速度が小さいジルカロイやステンレス鋼について低酸素かつアルカリ性環境下でのガス発生速度を取得した。また、ガス発生機構として、金属の腐食、有機物の微生物分解及び放射線分解を考慮してガス発生量を算出し、処分システムにおけるより現実的なガスの移行解析を実施した結果、緩衝材（ベントナイト系材料）の健全性の評価が可能となった。

### (5) 放射性よう素の閉じ込め性能向上のための研究開発

I-129の濃度が比較的高い廃銀吸着材は地層処分対象としており、I-129は半減期が長く、セメント系材料、ベントナイト系材料、母岩などへの収着性が小さく地中を移行しやすいため、「第1次TRUレポート」では固化処理技術の高度化を課題とした。「第2次TRUレポート」では、具体的なよう素固定化方法として8種類の固定化技術を調査し、開発の現状と取得

されているデータを取りまとめた。そのうち 4 種類の固定化技術についてはよう素の放出抑制期間を 10 万年間以上にする可能性についての見通しを得た。

(6) 放射性炭素の閉じ込め性能向上のための研究開発

放射性核種濃度が地層処分対象廃棄物の中で比較的高いハル・エンドピース中に多く含まれる C-14 (半減期：約 5700 年) は、地下水とともに移行しやすいため、「第 2 次 T R U レポート」では、C-14 が十分減衰するまで閉じ込めるための 2 種類の廃棄体容器の開発の現状を取りまとめた。両容器とも C-14 の閉じ込め期間を 6 万年 (C-14 の半減期の約 10 倍の期間) にする可能性についての見通しを得た。

なお、「第 2 次 T R U レポート」における今後の継続的な取組事項として、具体的な処分実施に向けて、「地下深部の原位置でのデータ取得・確証」、「さらなる現象の解明や技術的知見の拡充」、「事業化技術の開発」及び「代替技術の開発」の技術開発項目が挙げられている。

## 第4章 結論

### 4-1. 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分の技術的成立性

- (1) 本検討会の検討に際してその基とした「第2次TRUレポート」では、地質環境条件として既に評価された高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の地質環境条件が用いられており、長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の併置処分の安全性や相互影響の評価を行う上で適切な設定がなされていると考えられる。
- (2) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を併置処分する場合、それぞれの処分地下施設の処分パネル間に適切な離隔距離（解析結果の値によれば約300m）をとることにより、それぞれの施設間の相互影響を十分小さくすることが可能であると考ええる。

ただし、硝酸塩が拡散し約300m離れた高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の容器（オーバーパック）に影響を及ぼすに至るには100,000年の期間が必要と評価されているが、これはオーバーパックに期待されている閉じ込め期間(1,000年)の100倍となっていることから、解析結果の値は保守的な評価に基づく距離である。

なお、この離隔距離に関する解析結果は、標準的な条件でそれぞれの施設間の相互影響を十分小さくする際の値であるため、確保すべき距離として固定的に定める性格の値ではなく、今後処分サイトが決まればその地質環境に応じた施設の設計及び相互影響評価により設定されるべきものであると考える。

以上から、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分は技術的に成立すると判断した。したがって、「原子力政策大綱」に示したとおり、今後、所管行政庁において実施主体のあり方や国の関与のあり方等を含めてその実施に必要な措置について検討を進めるべきである。

なお、併置処分における離隔距離としては、それぞれの施設がより近接し、一方の処分領域に他方の廃棄体が近接して存在するような場合を考慮しても、

工学的対策や廃棄体の配置等の適切な工夫を講ずることにより合理的な処分が可能な距離とすることも将来の検討や技術開発により可能と考えられるが、現時点では検討を行っていない。

#### 4-2. 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分の技術的成立性

仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態である低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の地層処分について、他の放射性廃棄物の処分全体に影響を与えないことから技術的に成立すると判断した。したがって、「原子力政策大綱」に示したとおり、今後、所管行政庁において、これらの提案が受け入れられる場合には、そのための制度面等の検討を速やかに進めるべきである。

## 第5章 今後の継続的な取組事項

前述のように、本検討会では、技術的成立性を検討した。今後、長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の具体的な実施に向けて、発生者、国等の関係者は、技術開発、地層処分の安全規制、処分事業のあり方、国の関与等について、以下の事項を継続的に取り組んでいくことが期待される。

### 5-1. 技術開発について

- (1) 「第2次TRUレポート」では「基本的考え方」で示された詳細化及び合理化に取り組み、長半減期低発熱放射性廃棄物の廃棄体データベース、設計及び安全評価に係る各評価結果等の詳細化や合理化を図っている。今後の具体的な処分に向けて、諸外国との情報交換等による技術共有を図りながら、「地下深部の原位置でのデータ取得・確証」、「さらなる現象の解明や技術的知見の拡充」、「事業化技術の開発」及び「代替技術の開発」の技術開発項目について着実に取り組んでいくことが重要である。その際、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の地層処分に関する研究と共通する点が多くあることから、効率的かつ効果的に研究開発を実施していくことが期待される。また、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と同様に、国、研究開発機関、発生者及び実施主体は、それぞれの役割分担を踏まえつつ、密接な連携の下で、廃棄物処理及び地層処分に係る研究開発を着実に進めていくことが期待される。
- (2) また、「第2次TRUレポート」の地層処分における線量試算結果は、諸外国の安全基準（0.1～0.3mSv/年）に比べ十分低いことが示されている。

なお、長半減期低発熱放射性廃棄物特有の放射性核種のI-129やC-14については、半減期が長く、セメント系材料、ベントナイト系緩衝材、母岩などへの収着性が小さく、地中を移行しやすいため、線量評価上の重要な核種となっていることから、廃棄体からの放射性核種放出抑制及び放射性核種移行への影響緩和について、さらなる技術開発を継続的に実施することが期待される。

### 5-2. 地層処分の安全規制について

- (1) 地層処分の安全規制については、第2章「検討の前提」に示したとお



り、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院が高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分スケジュールにしたがって、順次策定する予定となっている。したがって、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物についても、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と同じく地層処分であることから、これまで高レベル放射性廃棄物で策定した地層処分の安全規制の基本的考え方等を踏まえ、長半減期低発熱放射性廃棄物の安全規制を順次策定することが期待される。

- (2) また、長半減期低発熱放射性廃棄物は地層処分以外に管理処分（浅地中ピット処分、余裕深度処分）できる廃棄物も多くあることから、これらの安全規制についても策定に向けた検討が引き続き行われることが期待される。

なお、その検討に際しては「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」（平成 16 年 6 月、原子力安全委員会了承）に示されているとおり、諸外国等の例を参考にしつつ、シナリオの発生の可能性を考慮したリスク論的考え方を取り入れた規制の、早期導入についても検討することが期待される。

### 5-3. 処分事業の実施主体のあり方、国の関与等について

- (1) 今回の検討結果を踏まえ、今後、所管行政庁において処分事業の実施主体のあり方、国の関与、処分費用の制度などの検討を行うに際しては、この廃棄物も高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の地層処分同様に、長期的に安定な地質環境を選定するなど長期的安全確保対策を講ずることと安全評価等による安全確認を行うことにより、長期に亘って人間の生活環境から隔離し安全確保が図られることが必要であるため、現行の高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）に係る処分事業を参考としつつ、必要となる制度の検討を進めることが重要である。
- (2) 今回検討対象ではない R I ・研究所等廃棄物（今回検討した旧核燃料サイクル開発機構の再処理施設及び M O X 燃料取扱施設の操業・解体に伴って発生する放射性廃棄物を除く。）ウラン廃棄物等の一部について、今後の技術開発動向等により、地層処分を視野に入れていくべき場合も想定される。これらの廃棄物について、今回の検討結果等を参考に、事業者等が具体的な技術的検討を行うことも可能と考えられ、また、その検討結果を踏まえ所管行政庁は、今回対象とする廃棄物に関する議論も踏まえつつ、処分事業の実施主体のあり方、国の関与などを検討対象にすることが重要である。

## 第6章 おわりに

本検討会では、原子力委員会が検討を指示した課題である「地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分の技術的成立性」、及び「仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分の技術的成立性」について、「第2次TRUレポート」に示された技術的知見及び過去のその他の知見を基に検討し、これらについて技術的な成立性があると判断した。

長半減期低発熱放射性廃棄物を安全かつ合理的に処分することは、発生者の責任であり、発生した廃棄物の安全かつ合理的な処分が着実に実施される必要がある。したがって、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分スケジュール等を踏まえ、発生者等は実施体制を含めた処分計画の明確化及び処分の具体化に向けて今後も継続的に密接に協力しながら着実に事業に取り組むことが重要であり、国は高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と同様に地層処分を行う放射性廃棄物であることを踏まえ適切な制度整備を行うことが重要である。

また、今回検討した地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物を含む放射性廃棄物処分事業の実施に当たっては、安全が確保されるとともに、国民との相互理解を図り、立地地域の住民を含む国民に受け入れられなければならない。「原子力政策大綱」においても、「国、事業者等は、安全確保のための活動を的確に実行していることを立地地域や周辺地域の住民を含む国民に説明し意見交換して、相互理解の形成に寄与するリスクコミュニケーション活動を行う責任を有する」と示されている。このため、国は諸制度の整備や実施体制の確立などの一連の取組とともに、放射性廃棄物全体の処分計画を踏まえた安全かつ合理的な処分に関する的確で分かりやすい情報を積極的に提供していくことが不可欠である。今回の検討の基にした「第2次TRUレポート」についても、その作成段階で外部レビューを受けるとともに一般の方々への説明会を実施し、その研究成果は公開されているが、国及び事業者等は今後もの的確な情報提供を引き続き実施することを期待する。

( 付録 1 )

長半減期低放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会の開催実績

1. 長半減期低放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会

原子力委員会の長半減期低放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会は、平成 17 年 10 月 22 日に原子力委員会決定した以下の検討内容について、「超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処理処分の基本的考え方」（平成 12 年 4 月、原子力委員会決定）の一部見直しにかかる専門的な検討を行った。

- (1) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物との併置処分の技術的成立性
- (2) 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分の技術的成立性

2. 開催実績

・第 1 回（平成 17 年 11 月 28 日）

- (1) これまでの検討経緯等
- (2) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物との併置処分
- (3) 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分

・第 2 回（平成 17 年 12 月 21 日）

- (1) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物との併置処分
- (2) 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分

・第 3 回（平成 18 年 1 月 25 日）

- (1) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物との併置処分
- (2) 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分
- (3) 論点の整理（案）

・第 4 回（平成 18 年 2 月 20 日）

- (1) 地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物との併置処分

- (2) 仏国から返還される長半減期低発熱放射性廃棄物の固化体形態の変更  
（低レベル放射性廃棄物ガラス固化体）の処分
- (3) 報告書（案）

( 付録 2 )

長半減期放射性廃棄物（非発熱性）処分技術検討会委員名簿

座長	小佐古 敏荘	東京大学大学院工学系研究科教授
	岩川 眞由美	放射線医学総合研究所フロンティア研究センター 第3研究グループグループリーダー
	岡本 浩一	東洋英和女学院大学人間科学部教授
	楠瀬 勤一郎	(独)産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門 地質バリア研究グループ長
	佐藤 正知	北海道大学大学院工学研究科教授
	中野 政詩	東京大学名誉教授、ソイルサイエンス総合研究所代表
	長崎 晋也	東京大学大学院工学系研究科教授
	藤川 陽子	京都大学原子炉実験所助教授
	山崎 晴雄	首都大学東京都市環境学部地理学教室教授

計 9 名

( 平成 18 年 2 月時点 )

( 付録 3 )

原子力政策大綱（平成 17 年 10 月 11 日原子力委員会決定）の関連部分抜粋

2 - 3 . 放射性廃棄物の処理・処分

2 - 3 - 1 . 地層処分を行う放射性廃棄物

( 2 ) 超ウラン核種を含む放射性廃棄物のうち地層処分を行う放射性廃棄物

低レベル放射性廃棄物のうち超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下「TRU 廃棄物」という。）の中には地層処分が想定されるものがある。地層処分が想定される TRU 廃棄物を高レベル放射性廃棄物と併置処分することが可能であれば、処分場数を減じることができ、ひいては経済性が向上することが見込まれる。このため、国は、事業者による地層処分が想定される TRU 廃棄物と高レベル放射性廃棄物を併置処分する場合の相互影響等の評価結果を踏まえ、その妥当性を検討し、その判断を踏まえて、実施主体のあり方や国の関与のあり方等も含めてその実施に必要な措置について検討を行うべきである。

また、海外再処理に伴う低レベル放射性廃棄物は、今後、仏国及び英国の事業者から順次返還されることになっている。このうち、仏国の事業者からは、地層処分が想定される低レベル放射性廃棄物のうち、低レベル廃液の固化方法をアスファルト固化からガラス固化へ変えることが提案されている。英国の事業者からは、低レベル放射性廃棄物のうち、地層処分が想定されるセメント固化体と管理処分が適当とされる雑固体廃棄物とをそれらと放射線影響が等価な高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）に交換して返還することが提案されている。これらの提案には、国内に返還される廃棄物量が低減し、それに伴い輸送回数が低減すること及び海外から返還される低レベル放射性廃棄物の最終処分までの我が国における貯蔵管理施設の規模が縮小できる等の効果が見込まれる。このため、国は、事業者の検討結果を受け、仏国提案の新固化方式による廃棄体の処理処分に関する技術的妥当性や、英国提案の廃棄体を交換する指標の妥当性等を評価し、これらの提案が受け入れられる場合には、そのための制度面の検討等を速やかに行うべきである。

## 参 考 資 料

## 参考資料リスト

- |            |                                |
|------------|--------------------------------|
| 参考資料 1     | 「基本的考え方」の概要                    |
| 参考資料 2 - 1 | 放射性廃棄物の全体概要                    |
| 参考資料 2 - 2 | 長半減期低発熱放射性廃棄物の特徴               |
| 参考資料 2 - 3 | 長半減期低発熱放射性廃棄物の推定発生量            |
| 参考資料 2 - 4 | 長半減期低発熱放射性廃棄物の放射性物質濃度          |
| 参考資料 3     | これまでの長半減期低発熱放射性廃棄物処理・処分の検討経緯等  |
| 参考資料 4 - 1 | 安全評価の中での相互影響因子の位置付け            |
| 参考資料 4 - 2 | 併置処分における相互影響因子の取り扱い            |
| 参考資料 4 - 3 | 相互影響因子（「熱」）の影響範囲の評価            |
| 参考資料 4 - 4 | 相互影響因子（「有機物」）の影響範囲の評価          |
| 参考資料 4 - 5 | 相互影響因子（「硝酸塩」）の影響範囲の評価          |
| 参考資料 4 - 6 | 相互影響因子（「高アルカリ性地下水」）の影響範囲の評価    |
| 参考資料 4 - 7 | 相互影響因子の影響範囲の評価結果               |
| 参考資料 4 - 8 | 相互影響因子の影響範囲の時間的变化              |
| 参考資料 4 - 9 | 長半減期低発熱放射性廃棄物の処分施設設計（軟岩系岩盤）の一例 |



- 参考資料 4 - 1 0 併置処分が調査、建設、操業、閉鎖、管理等の工程等に与える影響
- 参考資料 4 - 1 1 諸外国における高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体・使用済燃料）と長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の状況
- 参考資料 4 - 1 2 スイスにおける高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体・使用済燃料）と長半減期低発熱放射性廃棄物の併置処分概念図
- 参考資料 4 - 1 3 仏国における高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体・使用済燃料）と長半減期低発熱放射性廃棄物の併置処分概念図
- 参考資料 5 - 1 仏国 C O G E M A 社再処理工場での低レベル廃液の処理の概要
- 参考資料 5 - 2 ビチューメン固化体と低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の比較
- 参考資料 5 - 3 低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の処分概念
- 参考資料 6 - 1 「基本的考え方」に示された主な技術開発課題に対する「第 2 次 T R U レポート」における取組状況
- 参考資料 6 - 2 「第 2 次 T R U レポート」における今後の技術開発の概要

# 「基本的考え方」(注)の概要

## (背景)

再処理施設やウラン-プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料加工施設からは、その操業・解体に伴い超ウラン核種を含む放射性廃棄物が発生する。

これらに含まれる放射性核種の濃度は、放射性物質が付着した紙タオル等のような低いものから、使用済燃料を切断して硝酸に溶解した後の被覆管の断片等(ハル・エンドピース)といった比較的高いものまで幅広い範囲に及んでいる。

さらに、「RI：研究所等廃棄物」のうちアルファ核種濃度が一応の区分目安値(1GBq/t)を超えるものについては、超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処分方針に準じて基準等の整備を順次実施する必要があるとされている。

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会は、これらの廃棄物を対象として、既存の処分方針を参考にしつつ、当該廃棄物の特徴を踏まえた安全かつ合理的な処分の基本的考え方について検討を行った。

## (処分方針の検討に当たっての考え方)

放射性廃棄物処分の基本的考え方

- ・放射性廃棄物の処分にあたっては、廃棄物に含まれる放射性核種が生活環境に対して影響を及ぼすことを防止することが必要である。
- ・このためには、処分方法に適した形態に処理した後、放射性物質(放射線)の影響が安全上支障のないレベルになるように処分することが基本となる。

我が国でこれまでに検討されてきた処分方法

- ・低レベル放射性廃棄物の管理処分(浅地中トレンチ処分、浅地中ピット処分、余裕深度処分)及び高レベル放射性廃棄物の地層処分対象廃棄物の処分方法の考え方
- ・共通の性状を有するものについては共通の処分概念に集約することにより、処理処分の安全確保の実効性を高めることができると考えられる。
- ・また、異なる施設から発生する廃棄物についても、処分概念を共有することが可能になれば、処分費用などの点で一層合理的な対応ができるようになると考えられる。
- ・このような観点から、当該廃棄物についてこれまで示されてきている処分方法の適用可能性を検討した。

## (各処分方法の適用可能性について)

これまで示されてきている処分方法の適用可能性を検討

- ・当該廃棄物のうち放射性核種の濃度が比較的低いものについて、浅地中ピット処分(浅地中のコンクリートピットへの処分)あるいは余裕深度処分(一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度：例えば50～100m)への処分の適用可能性について検討(被ばく線量の試算等)し、これらの処分概念により処分できるものが比較的多く存在し処分を適用できる可能性があると考えられる。対象廃棄物のうちアルファ核種濃度が一応の区分目安値(原子炉施設から発生する放射性廃棄物の浅地中ピット処分の埋設濃度上限値：1GBq/t)を大きく超えないものについては、余裕深度への処分を適用できる可能性がある。
- ・アルファ核種濃度一応の区分目安値を超える全ての廃棄物(ハル・エンドピース等)及びベータ核種であるI-129の濃度が高い廃棄物(廃銀吸着材)については、処分施設概念及び当該廃棄物の特徴を考慮(適切に分類し各々のグループの特性に応じた人工バリアを構成、比較的大きな地下空洞内にまとめて処分)した被ばく線量試算結果から、地層処分の安全を確保することが可能であると考えられる。

技術開発課題について

- ・処分施設設計の合理化・詳細化と安全性評価の信頼性向上に役立つ、対象廃棄物処分に特有な現象(充填材等にされるセメントの変質、アルカリ性による緩衝材や岩石への影響、廃棄物に含まれる硝酸塩の影響、金属等の腐食によるガス発生)の解明
- ・処分の合理化と安全性向上に役立つ、廃棄体による放射性よう素(I-129)の閉じ込め性能向上を目指す研究
- ・廃棄体に関するデータベースの整備充実及び廃棄体の品質管理・検認手法の整備

## (事業の責任分担と諸制度の整備)

責任分担の在り方と実施体制

- ・当該廃棄物は、廃棄物の発生に関わる者の責任(「発生者等」)において処分を実施。
- ・処分事業を行う者は、処分の安全な実施及び長期の処分場管理を行うに十分な技術的、経済的能力が要求されるほか、処分の安全確保に関する法律上の責任を負う。
- ・国は安全基準・指針の制度などを図り、厳正な規制を行うとともに、廃棄物の管理や処分を安全かつ合理的に実施するよう、関係法令に基づき事業者への指導監督などの必要な措置を講じる。なお、地層処分が適当と考えられる廃棄物については、より安全かつ合理的な処分の実施に向けての研究開発や処分費用確保の検討を進めつつ、将来的には高レベル放射性廃棄物の地層処分を考慮し、合理的な対応が行われる必要がある。

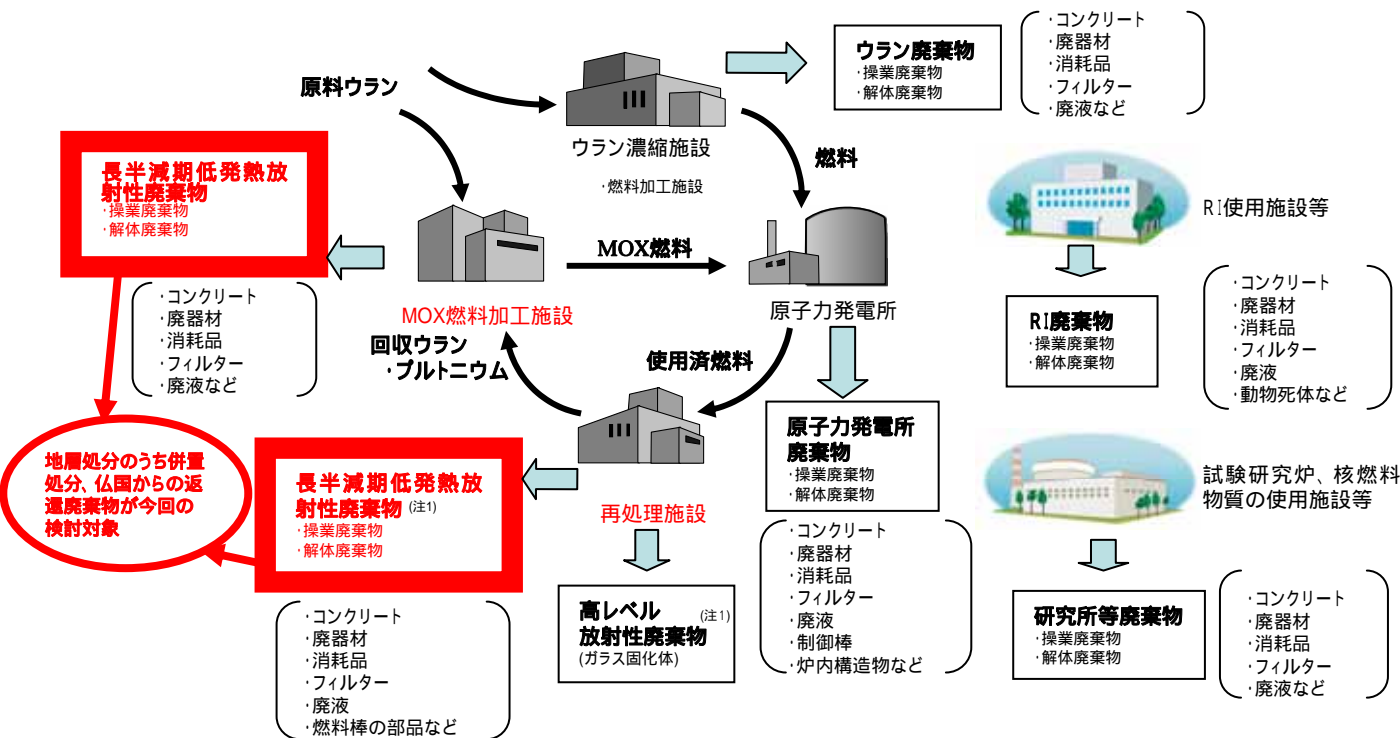
今後の放射性廃棄物全体の処分計画、再処理施設の運転開始スケジュール等を踏まえ、

- ・当該廃棄物の発生者等や処分事業を行う者は、廃棄物の区分及び物量を明確にして合理的積算を行った上で適正な処分費用を確保しなければならない。国は処分費用の確保に必要な諸制度の検討を行う必要がある。
  - ・国は安全規制や安全基準などについて検討し、RI廃棄物は原子炉等規制法と整合性を図りつつ関係法令を整備する必要がある。
- 放射性廃棄物全体の処分計画を踏まえた的確で分かりやすい情報を積極的に提供することが不可欠である。処分事業の各段階において必要とされる情報を分かりやすく提供できる体制を整える必要がある。

(注)「基本的考え方」：「超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処理処分の基本的考え方について」(平成12年4月、原子力委員会決定)

# 放射性廃棄物の全体概要

放射性廃棄物は、原子力発電所や再処理施設、ウラン濃縮・燃料加工施設などの核燃料サイクル施設、医療機関や研究機関等の操業や廃止措置に伴い発生。



(注1)海外からの返還廃棄物を含む

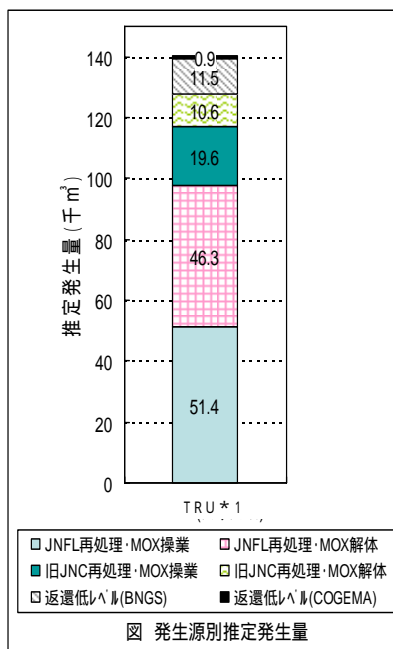
# 長半減期低発熱放射性廃棄物の特徴

処分方法	地層処分		余裕深度処分・浅地中処分	
	ハル	エンドピース	濃縮廃液等	難燃性廃棄物 ゴム手袋 不燃性廃棄物 工具 金属配管
概要				
廃棄体イメージ	(例)	(例)	(例)	(例)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>発熱量が比較的大</li> <li>C-14を含む</li> <li>有機物を含む</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I-129を含む</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>硝酸塩を含む</li> </ul>	-

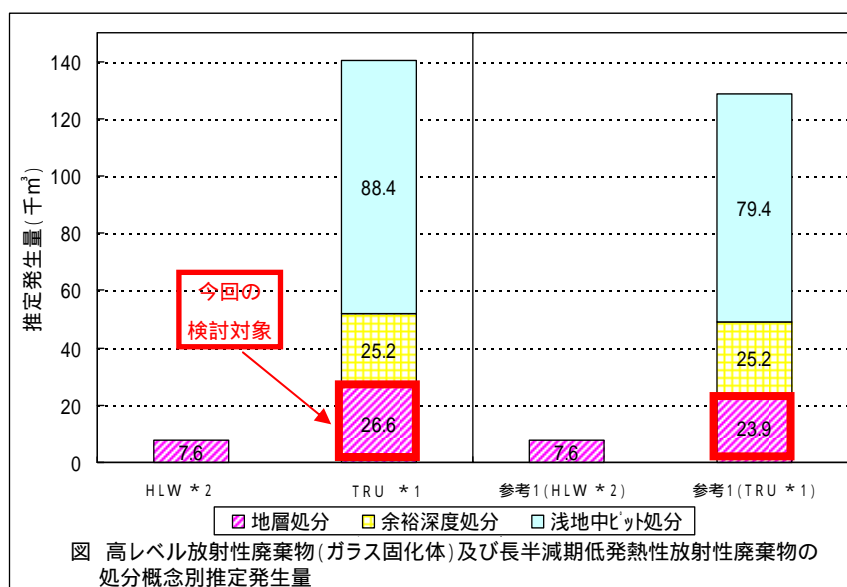
[出典:「第2次TRUレポート」より]

## 長半減期低発熱放射性廃棄物の推定発生量

発生源別及び処分概念別の廃棄物発生量を下図に示す。



注) JNFL: 日本原燃  
旧JNC: 旧核燃料サイクル開発機構

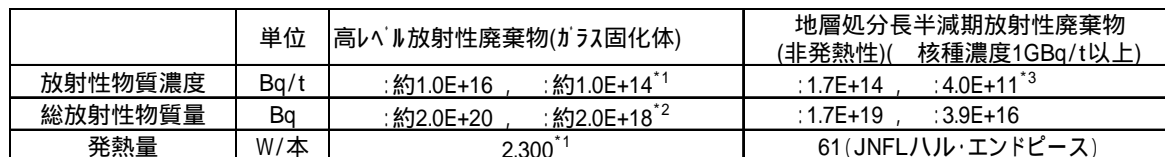


\*1: 長半減期低発熱放射性廃棄物

\*2: 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)

参考1: 英国 BNGSの低レベル廃棄物の高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)への交換、仏国COGEAのピチューメン固化体の低レベル放射性廃棄物ガラス固化体へ変更の場合

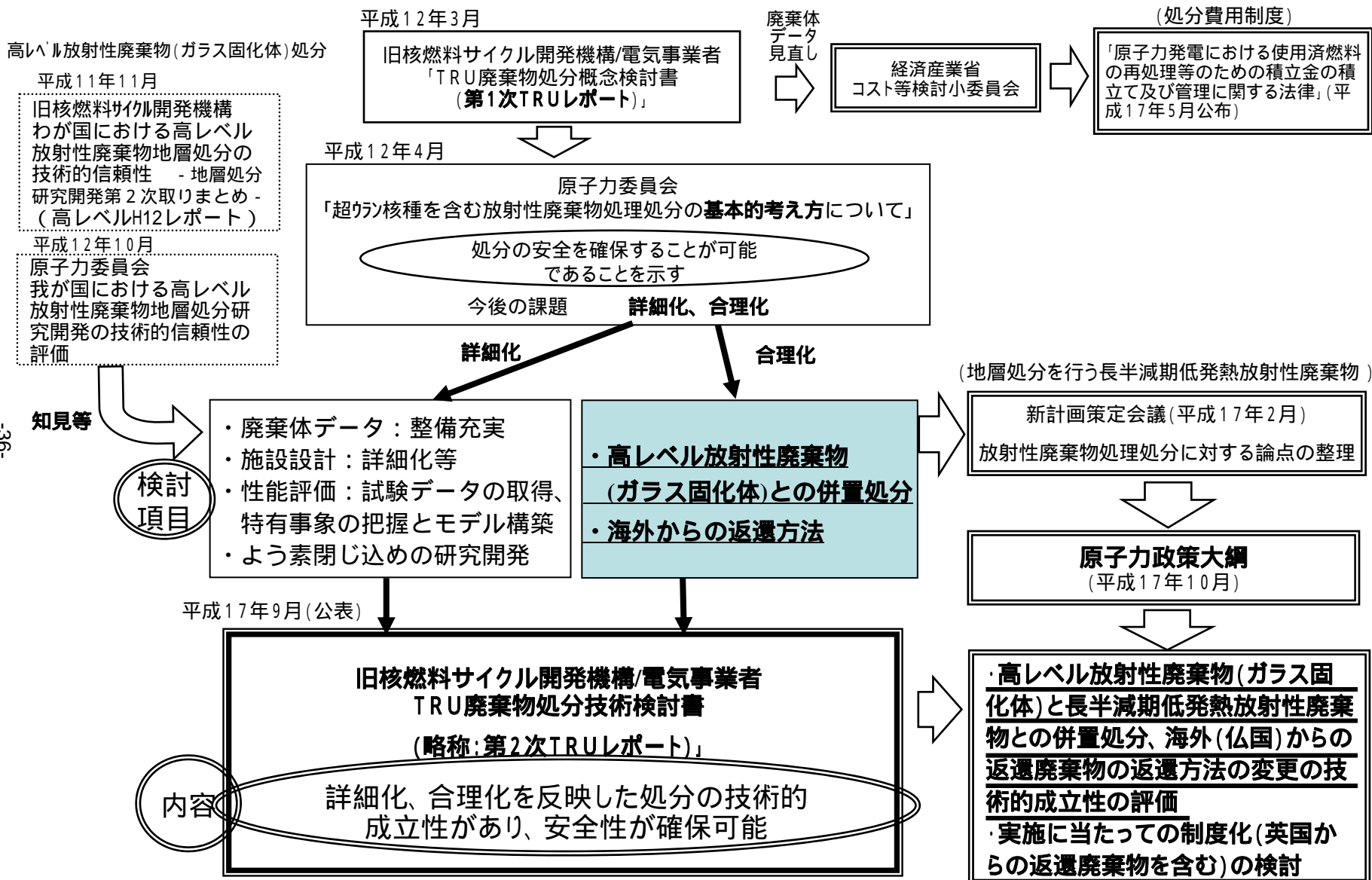
[出典:「第2次TRUレポート」より]



\* 3: 総放射性物質質量を地層処分対象廃棄体の総重量: 約98,000tonで除して算出

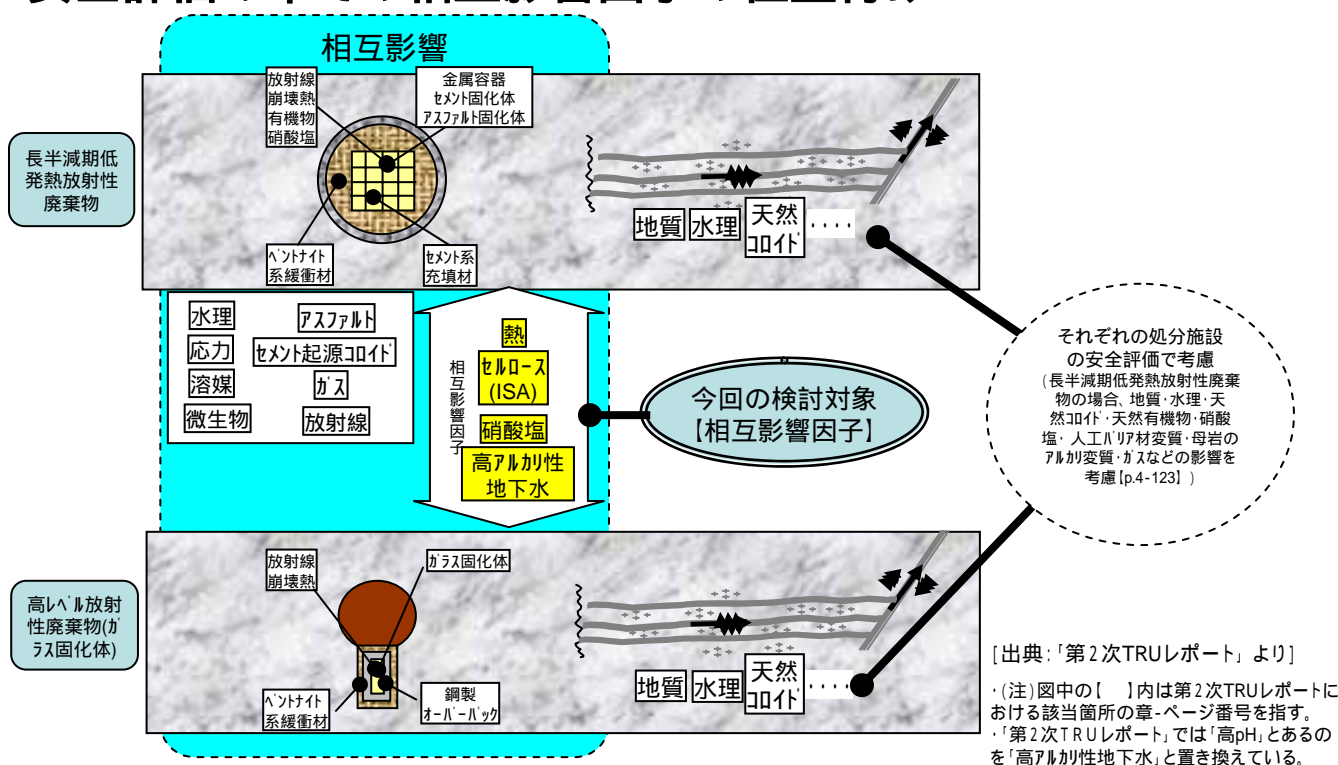
-35-

# これまでの長半減期低発熱放射性廃棄物処理・処分の検討経緯等



(注)核燃料サイクル開発機構(JNC)は、平成17年10月1日に日本原子力研究所と統合して日本原子力研究開発機構(JAEA)として発足。

# 安全評価の中での相互影響因子の位置付け



## 併置処分における相互影響因子の取り扱い

影響因子		方向	影響の可能性	発生源側の施設での取扱い	隔離をとる場合の相手側への相互影響への拡張	併置処分相互影響評価での取扱い
T: 熱	熱	TRU HLW	発熱による温度上昇で人工バリアの変質が促進される可能性がある。	発熱するグループ2のpH・インドースについてpHの温度が80 以下になるよう廃棄体定置密度及び坑道間距離を確保。 その他廃棄体は温度の考慮不要	影響は限定的と考えられる	温度を評価
		HLW TRU	同上	同上(緩衝材の温度が100 以下となるように廃棄体の定置密度を確保) ・リファレンス及び変動幅の水理条件下で地層処分が成立する見通し。 ・施設近傍の局所的な地下水流動を変化させても処分場全体の平均的な水理条件を乱さないよう設置されれば、水理への影響は廃棄体定置場所近傍に限定となる。	グループ2坑道の温度が上昇する可能性がある	
H: 水理	地下水流動(核種移行経路)	TRU HLW	・核種移行挙動は水理場に依存 ・隣接して処分施設が形成されることによって、広域の水理場が乱れる可能性がある。	・リファレンス及び変動幅の水理条件下で地層処分が成立する見通し。 ・施設近傍の局所的な地下水流動を変化させても処分場全体の平均的な水理条件を乱さないよう設置されれば、水理への影響は廃棄体定置場所近傍に限定となる。	実際に処分サイトが決まっ てからは、その場所の地質 環境条件に応じて、場の条 件として改めて具体的に検 討する。	ISA濃度を評価 硝酸塩濃度を評価
M: 応力	岩盤 応力	TRU HLW	坑道が近接しすぎると崩落する可能性がある。	坑道(坑道径D)の安定性から坑道間距離を確保(長半減期放射性廃棄物(非発熱性)用大断面坑道で3~40)	各処分施設で設計されてお り、応力の影響範囲は坑道 径の数倍の範囲であり限定 的と考えられる。	
C: 化学	アスファルト	TRU HLW	分解生成物が核種の溶解度及び分配収着性能に影響する可能性がある。	還元性でpH酸性ではアスファルトの劣化が生じにくく、分解生成物の錯体形成能は低い。	影響は小さいと考えられる	pHを評価
	溶媒(TBP等)	TRU HLW	同上	pH酸性環境での溶解度計算により有意な影響は与えない	影響は小さいと考えられる	
	セルロース	TRU HLW	同上	イソシアナ酸(ISA)の錯体形成による収着分配係数の低下を考慮	核種移行に影響する可能性 がある	pHを評価
	硝酸塩	TRU HLW	・高イオン強度及び酸性条件下によりバリア材の収着分配現象に影響する可能性がある。 ・酸化還元雰囲気及び金属腐食等に影響する可能性がある。	硝酸イオンによる収着分配係数の変化を考慮	核種移行及びオーバーバックの寿命に影響する可能性 がある	
	セメント高アルカリ性地下水	TRU HLW	高アルカリ性地下水により、ガラスの溶解、オーバーバックの腐食、ベントナイトの変質、核種の溶解・沈殿及び収着に影響する可能性がある。	高アルカリ性地下水による収着分配係数の変化を考慮	核種移行及び人工バリア材の安定性に影響する可能性 がある。	影響は限定的と考えられる
	コロイド(セメント起源)	TRU HLW	セメントコロイドとの相互作用により、核種の移行挙動(移行速度、収着性等)が変化する可能性がある。	ベントナイト層による過効果が期待でき、また高イオン強度環境によるコロイド濃度の上限から収着への影響は小さい。	影響は限定的と考えられる	
	ガス	TRU HLW	ガスにより、処分施設周辺の水理条件が変化する可能性がある。	圧力は上昇するが、透気することからバリアの破壊にまでは至らない。処分施設内の間隙水が排出される可能性があるが、周辺岩盤の地下水の平均的な流れは変わらない。	実サイトでの配置で考慮する ものと考えられる	
	微生物	TRU HLW	微生物活動の分解生成物(CO <sub>2</sub> 等)により、核種移行の化学環境が変化する可能性がある。	微生物活動により生成するCO <sub>2</sub> とカルシウム水和物が反応した場合の化学環境の変化は小さい。	影響は限定的と考えられる	
R: 放射線		TRU HLW	照射損傷によってバリア材の特性を変化させたり、水の放射線分解に伴い酸化還元電位を変化させることで核種移行挙動に影響する可能性がある。	人工バリアの性能を損なう可能性は放射性物質量から判断して考えにくく、構造物による遮へい効果がある。	影響は限定的と考えられる	

[出典:「第2次TRUレポート」より]

・「第2次TRUレポート」では「高pH」とあるのを「高アルカリ性地下水」と置き換えている。



# 相互影響因子(「熱」)の影響範囲の評価

## 【影響源】

・長半減期低発熱放射性廃棄物の発熱率は高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)より小さいので、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)側から長半減期低発熱放射性廃棄物への影響を評価 [p.6-7]

## 【影響の概要】

・高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)からの伝熱により長半減期低発熱放射性廃棄物の充填材(セメント系材料)の温度が80℃を超えると放射性核種の吸着性に影響が生じる。 [p.6-8]  
 ・長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設のうち、廃棄体グループ2の処分施設は、ハル・エンドピースの発熱により施設内温度が79.5℃まで上昇するが、その支配核種はCo-60であるため、30年後には76℃以下になる。  
 ・温度上昇が数℃以下であれば、施設材料・断面寸法・坑道間距離等、設計上の工夫により対応可能である。

## 【判断目安】

・長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設内の温度:80℃以下

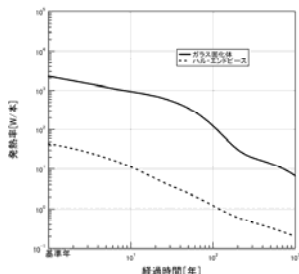


図 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)と長半減期低発熱放射性廃棄物(HLE)の発熱率 [p.6-7]

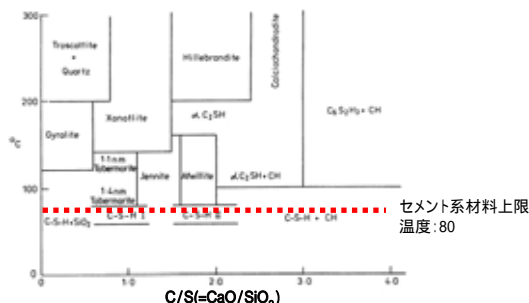
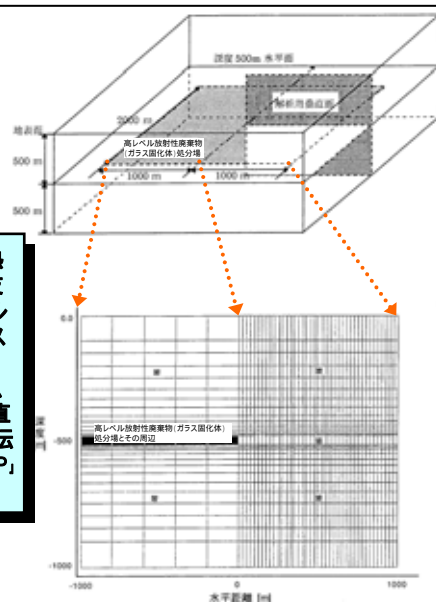


図 セメント系材料の熱変質温度 (Atkinson et al. 1989)

## 【解析体系】

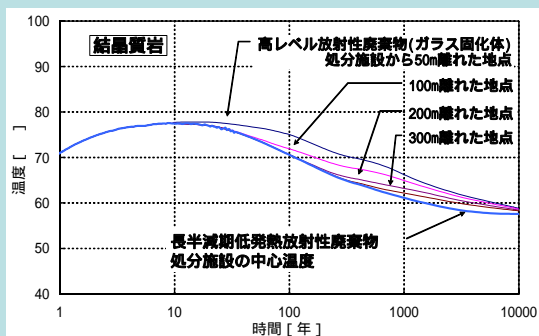
地層処分環境下の熱移動は伝導伝熱が支配的である。高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分施設は2km四方の水平平板、解析領域を2次元鉛直断面でもモデル化し、熱伝導解析コード「TRUMP」を使用した。 [p.6-8]



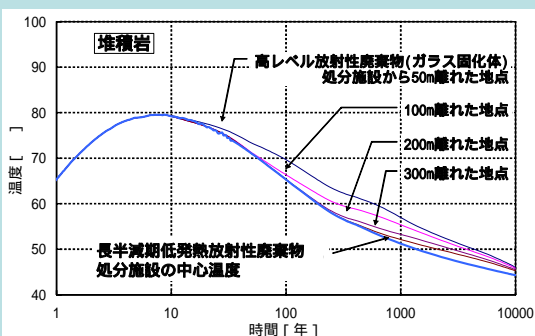
Atkinson, A and Hwarne, J. A., "The hydrothermal Chemistry of Portland Cement and its Relevance radioactive Waste Disposal", NSS/R187(1989)

## 【解析結果】

### 結晶質岩系岩盤 (処分深度:1000m)



### 堆積岩系岩盤 (処分深度:500m)



高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分地下施設から約50m以遠において、80℃以下となった。



# 相互影響因子(「有機物」)の影響範囲の評価

## 【影響源】

含有する有機物  
セルロース系有機物  
廃溶媒  
アスファルト 等

## 【影響の概要】

- ・国内外の知見に基づけば、セルロースの分解生成物であるISA(イソサッカリン酸)が放射性核種の収着性に影響する(Van Loon & Glaus, 1997)。
- ・ISA濃度が $1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$  (mol/L)を超えると、放射性核種の溶解度及び収着分配係数に有意な影響が生じる。(Greenfield et al., 1995; Tits et al., 2002)。[p.6-13]

## 【判断目安】

ISA濃度で  
 $1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$  (mol/L)  
以下

## 【影響】

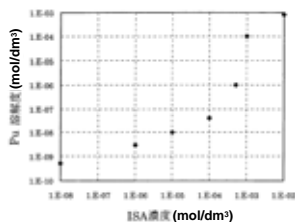


図 Pu溶解度のISA濃度依存性  
(Greenfield et al., 1995)

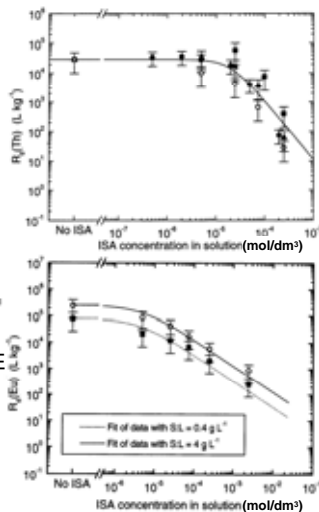
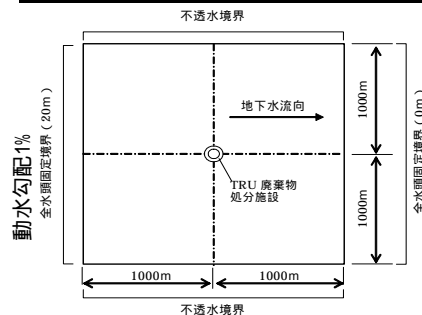


図 分配係数のISA濃度依存性  
(Tits et al., 2002)

## 【解析体系】

解析体系は処分施設及び周辺岩盤をモデル化した  
2次元鉛直断面

使用コード: 2次元物質移行解析コード「AZURE」

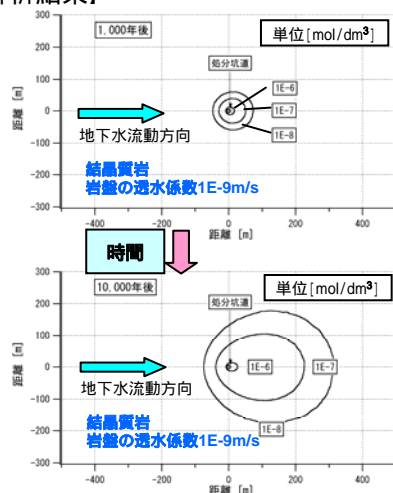


Greenfield and Holton (1995): MRS Symp. Proc., Vol.353

Tits et al.(2002): NAGRA NTB 02-08

Van Loon and Glaus (1997): Journal of Environmental Polymer Degradation, Vol.5, No.2, pp.97-109

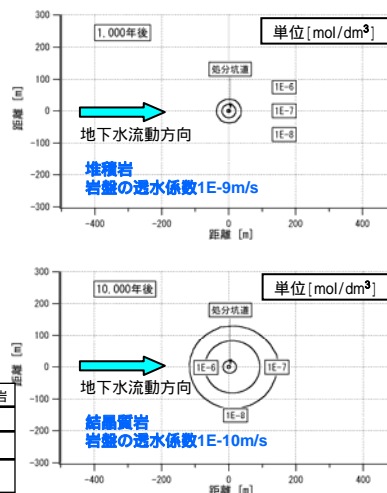
## 【解析結果】



岩種

岩盤の透水係数

	結晶質岩	堆積岩
間隙率	2%	30%
分散長	移行距離の1/10	
動水勾配	1%	



### 【ISA濃度が $10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ 以上となる領域】

- ・10,000年以内でISAの拡がり最大となるため、1,000年と10,000年での結果を表示した。
- ・結晶質岩の透水係数が $10^{-9} \text{ m/s}$ のケースの1,000年後では、上流側と横方向のいずれの場合も10m以内の範囲である。
- ・同じケースの10,000年後では、ISAは下流方向には30mまで拡がるものの、上流側と横方向への拡がりには変化はなく、いずれの場合も10m以内の範囲である。
- ・岩盤の透水係数を低下させる( $10^{-10} \text{ m/s}$ )と、ISAの拡がり相対的に小さくなるが、 $10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ の拡がりは、上流側と横方向のいずれの場合も20m以内の範囲に拡大する。
- ・堆積岩の場合、結晶質岩に比べて間隙率が高いことによる希釈効果のため、ISAの拡がりは相対的に小さくなり、上流側と横方向のいずれの場合も10m以内の範囲である。

長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側及び横方向約20m以遠において、ISA濃度が $1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$  (mol/L) 以下となった。

# 相互影響因子(「硝酸塩」)の影響範囲の評価

## 【影響源】

再処理施設で発生する硝酸塩がグループ3廃棄物に含まれる

## 【影響の概要】

・硝酸イオンによる人工バリア及び天然バリアの特異的な鉱物学的変質は認められない(武井ほか,2002,2003,藤田ほか,2003,金子ほか,2004)。  
 ・放射性核種移行抑制機能への影響(核種の吸着性の変化)はNa<sup>+</sup>濃度に対するCs<sup>+</sup>の吸着分配係数(渋谷ほか,1999,陶山ほか,2004)より、0.1mol/dm<sup>3</sup>(mol/L)程度ではイオン競合反応による放射性核種吸着性への影響はないと考えられる[p.6-24]。  
 ・酸化性化学種としての影響としては、オーバーバック(炭素鋼)の局部腐食への影響として、不動態化した場合を想定すると、 $4.5 \times 10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>(mol/L)以下であれば局部腐食の駆動力とならないと考えられる。

## 【判断目安】

硝酸塩濃度で  
 $1 \times 10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup> (mol/L)  
 以下  
 (金属の局部腐食を生じない濃度)

## 【影響】

・岩盤への吸着分配係数

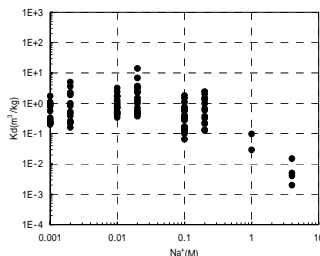


図 Na濃度とCsの岩盤への吸着分配係数の関係(渋谷ほか, 1999, 陶山ほか, 2004)

・オーバーバックの局部腐食

高レベルH12レポートの「放射線分解による腐食への影響」を参考にすると、不動態保持電流密度相当のカソード電流密度を供給する緩衝材外側の硝酸イオン濃度は $4.5 \times 10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>である。[p.6-25]

## 【解析体系】

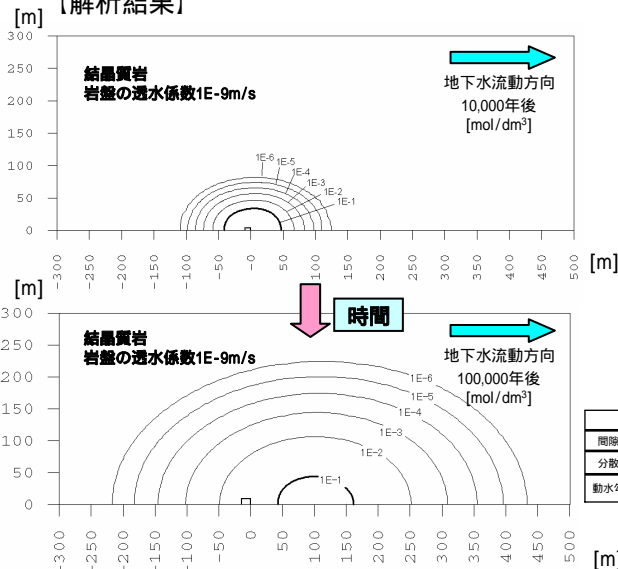
解析体系は、長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設とその周辺の岩盤をモデル化した2次元鉛直断面

使用コード:2次元物質移行解析コード「Dtransu2D-EL」



藤田ほか(2003):コンクリートの化学的侵食・溶脱に関するシンポジウム論文集, pp.207-214;  
 金子ほか(2004):日本原子力学会, 2004年秋の大会予稿集(第 分冊), p.676;  
 武井ほか(2002):JNC TJ8400 2002-020; 武井ほか(2003):JNC TJ8400 2002-041;  
 渋谷ほか(1999):JNC TN8400 99-050; 陶山ほか(2004):JNC TN8410 2003-018.

## 【解析結果】



岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

岩種

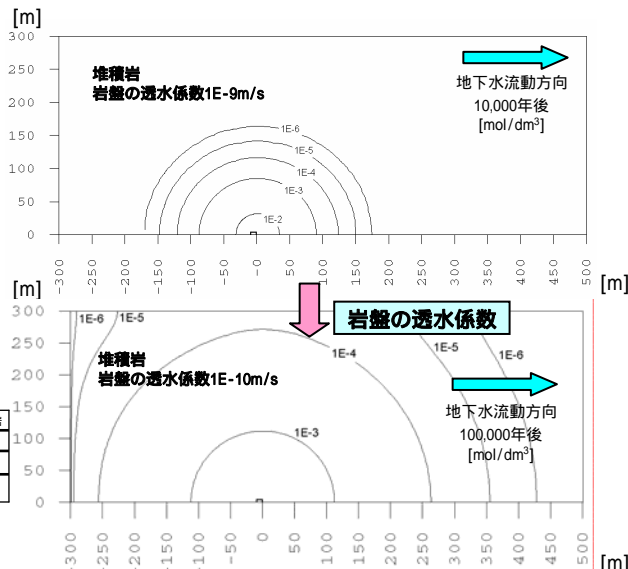
岩種

岩種

岩種

岩種

岩種



## 【硝酸塩濃度が $10^{-4}$ mol/dm<sup>3</sup>以上となる領域】

・結晶質岩の岩盤の透水係数が $10^{-9}$ m/sのケースの10,000年後では、上流側90m、横方向70m以内の範囲である。  
 ・時間が経過し100,000年後では、上流側150m、横方向160m以内の範囲に拡大する。  
 ・岩種を堆積岩に変えると、結晶質岩に比べて空隙率が大きい希釈効果により硝酸塩濃度が非常に高い領域は長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設付近に限定されたものとなる。ただし、拡散係数が結晶質岩に比べて大きいことから、10,000年後では上流側120m、横方向120m以内の範囲である。  
 ・岩種が堆積岩のケースでさらに岩盤の透水係数を低下させると、地下水流速が低下し、硝酸塩は拡散により拡がり100,000年後では上流側260m、横方向300m以内の範囲に拡大する。  
 ・なお、「高レベルH12レポート」に示されている高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)のオーバーバックの担保期間は1,000年であるのに対し、硝酸塩が300mまで拡がる時期は100,000年程度経過した後であるため、その保持期間より十分長い時間を考慮したものとなっている。

長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側及び横方向約300m以遠において、硝酸塩濃度が $1 \times 10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup> (mol/L)以下となった。

# 相互影響因子(「高アルカリ性地下水」)の影響範囲の評価

【影響源】

【影響の概要】

【判断目安】

長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設の支保・充填材等で使用されるセメントにより地下水が高アルカリ性となる。

・天然バリアへの影響としては、岩盤の構成鉱物の溶解、二次鉱物の生成等による空隙構造の変化が想定される。長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設周囲の岩盤領域を対象とした検討より、それらの変化は長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設近傍に限定されると考えられる [p.4-57]。

pH11以下(緩衝材の安定に影響を及ぼさないpH)

想定される高い放射性廃棄物(ガラス固化体)処分施設の人工バリアへの影響

- ・高アルカリ性地下水(pH11以上)によるベントナイト成分の溶解の促進(SKB,2004)
- ・高アルカリ性環境(ベントナイト周りの地下水pH12.5以上)で炭素鋼が不働態化(谷口ほか,2002)
- ・高アルカリ性環境でのガラス固化体の溶解(pH11以上で顕著な変質が生じる)(Gin et al., 2001)

【解析体系】

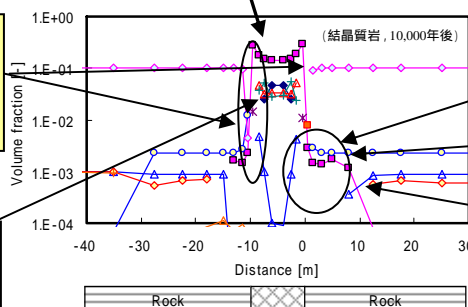
解析体系は、緩衝材を設けていない長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設とその周辺の岩盤を1次元体系でモデル化

使用コード:地球化学・物質移行連成解析コード「PHREEQC-TRANS」

【影響】

岩盤成分の変化によるpHの緩衝(アモルファスシリカの消失後、カルセドニの溶解)

セメント成分  
Ca(OH)<sub>2</sub>の溶解



ゼオライトの生成  
(Na,Kの固定化)

CSH(Ca/Si=0.9)の生成  
(Caの固定化)

アモルファスシリカの溶解  
CSH(Ca/Si= 0.4)の生成  
(Caの固定化)

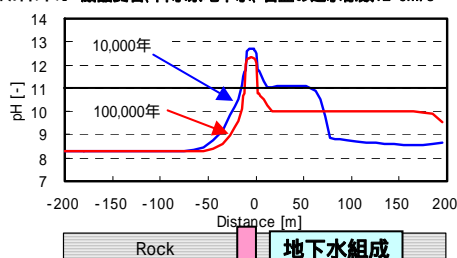
SKB(2004):SKB-R-04-33.

谷口直樹,川上達,森田光男(2002):JNC TN8400 2001-025.

Gin, S. and Mestre, J.P (2001):Journal of nuclear materials Vol.295, pp.83-96.

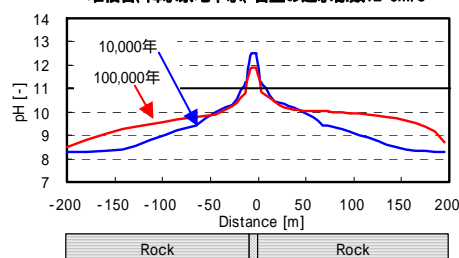
【解析結果】

結晶質岩、降水系地下水、岩盤の透水係数1E-9m/s

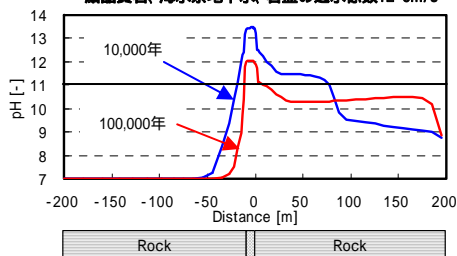


岩種

堆積岩、降水系地下水、岩盤の透水係数1E-9m/s



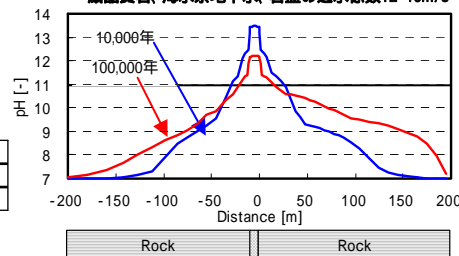
結晶質岩、海水系地下水、岩盤の透水係数1E-9m/s



岩盤の透水係数

	結晶質岩	堆積岩
間隙率	2%	30%
動水勾配	1%	

結晶質岩、海水系地下水、岩盤の透水係数1E-10m/s



【pHが11以上となる領域】

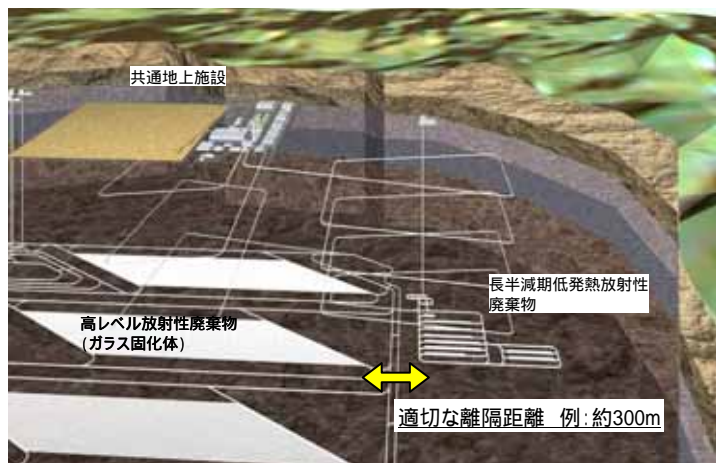
- ・結晶質岩、降水系地下水、岩盤の透水係数が10<sup>-9</sup>m/sのケースでは、アルカリ成分は移流により下流側へ広がる。上流側でpH11以上となるのは10,000年後で10m以内となる。100,000年後では遊離アルカリ成分が散逸し、同じく10m以内の範囲である。
- ・地下水組成を海水系地下水としたケースにおいても、物質移行特性が同じであることから、上流側でpH11以上となるのは10,000年後で10m以内となる。100,000年後では遊離アルカリ成分が散逸し、同じく10m以内の範囲である。
- ・さらに岩盤の透水係数を低下させると、拡散による移行が主となり、上流側でpH11以上となるのは30m以内の範囲である。
- ・岩種を堆積岩に変えると、結晶質岩に比べて空隙率が大きい実流速が小さくなり、拡散による移行が支配的であり、上流側で10m以内の範囲である。

長半減期低発熱放射性廃棄物処分地下施設から上流側約30m以遠において、pH11以下となった。

【出典:「第2次TRUレポート」より】・(注)図中の[ ]内は第2次TRUレポートにおける該当箇所の章・ページ番号を指す。  
・「第2次TRUレポート」では「高pH」とあるのを「高アルカリ性地下水」と置き換えている。

# 相互影響因子の影響の評価結果

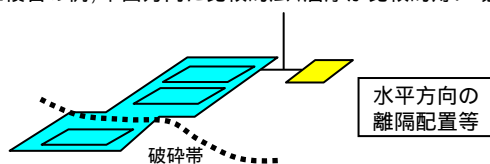
参考資料4 - 7



相互影響因子	影響	離隔距離の目安
熱(HLW <sup>1</sup> TRU <sup>2</sup> )	セメントの吸着性低下	約50m
有機物(TRU <sup>2</sup> HLW <sup>1</sup> )	溶解度上昇, 収着分配係数低下	約20m
硝酸塩(TRU <sup>2</sup> HLW <sup>1</sup> )	収着分配係数低下, 金属腐食	約300m
高アルカリ性地下水 (TRU <sup>2</sup> HLW <sup>1</sup> )	ペントライト変質, 金属腐食, ガラスの溶解	約30m

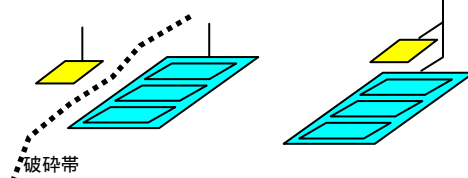
処分場の条件に応じた種々の配置

(堆積岩の例) 平面方向に比較的広く層厚が比較的小さい場合



水平方向の  
離隔配置等

(結晶質岩の例) 破砕帯により平面方向の拡がりが比較的小さい場合



破砕帯を挟んで  
別岩盤に配置

立体的に配置

\*1:高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体) \*2:長半減期低発熱放射性廃棄物

[出典:「第2次TRUレポート」より]

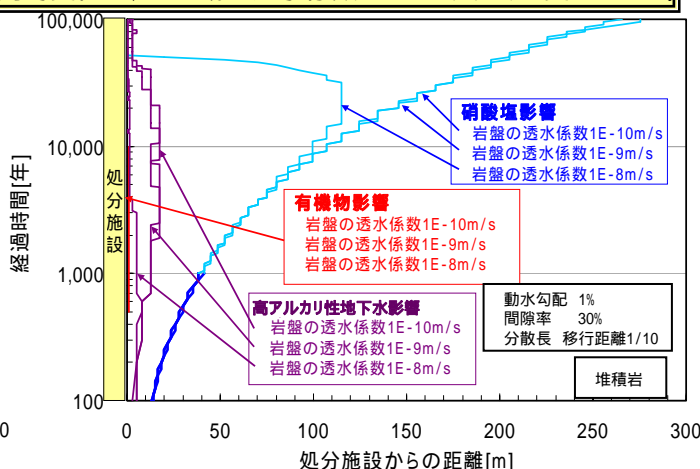
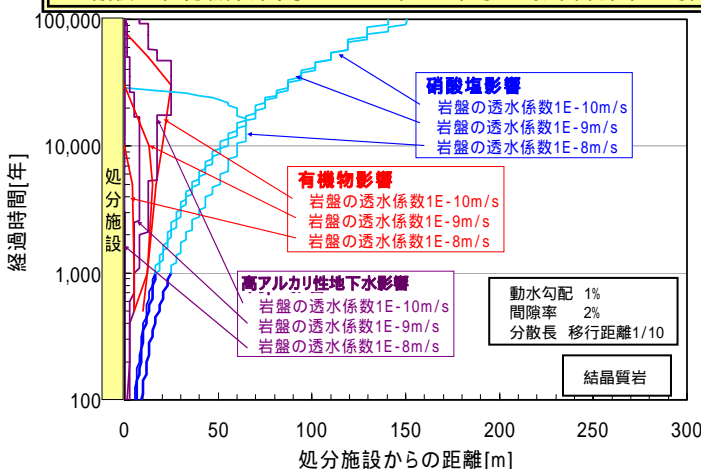
相互影響因子のうち、最もその影響範囲が遠方まで及ぶとされたのは硝酸塩であり、その場合それぞれの地下施設間の必要十分な離隔距離として約300mであれば影響が十分小さいと評価した。ただし、この値は相互影響の対象である高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)のオーバーパックの評価上の保持期間である1,000年に比して保守的に100,000年先までの硝酸塩の拡がりを評価して得られた影響範囲に基づくものであること、今後、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)等での技術知見が深まればこの大きさの保守性が必要かどうかの再検討を含めてこの距離を小さくできる可能性も考えられるとしている。また、実際の処分サイトにおいては、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の場合と同様、多様な地質環境条件に応じて、適切な離隔距離を考慮した処分地下施設の配置(立体配置、別岩盤配置)、工学的対策(プラグ等)など有効な措置を組み合わせることで影響の広がりを十分小さくする対応も可能と考えられている。

## 相互影響因子の影響範囲の時間的変化

参考資料4 - 8

相互影響は、過去の天然現象の活動履歴から天然事象の影響の程度と範囲が小さいことが見通せるとされている将来10万年程度の時間スケールの中で評価しうる現象である。

硝酸塩、有機物、高アルカリ性地下水の影響範囲の時間的変化は、その場の透水係数によって大きくは変わらない。



[評価結果] 図 相互影響因子の影響範囲の時間的変化(左:結晶質岩、右:堆積岩)

因子	判断の目安	影響範囲が最大となる時期又は評価対象期間
熱	80 以下	1,000年以内で影響は最大となる。
有機物	$10^{-6}\text{mol/dm}^3$ (mol/L) 以下	10万年以内に影響範囲は最大となる。
硝酸塩	オーバーパックの腐食抑制の点から $10^{-4}\text{mol/dm}^3$ (mol/L) 以下	オーバーパックの設計上の機能維持期間(1,000年)に100倍程度の余裕を見たととしても、硝酸塩の拡がりの評価対象となる期間は10万年程度に収まる。
高アルカリ性地下水	pH11以下	10万年以内に影響範囲は最大となる。

[出典:「第2次TRUレポート」より] (注) 図中の [ ] 内は第2次TRUレポートにおける該当箇所の章・ページ番号を指す。  
「第2次TRUレポート」では「高pH」とあるのを「高アルカリ性地下水」と置き換えている。



# 長半減期低発熱放射性廃棄物の処分施設設計 (軟岩系岩盤) の一例

表 各廃棄体グループの特性と  
処分坑道断面レイアウトの例

グループ	内容 (発生量)	特性	バリア	円形処分坑道の例 (単位: m)
1	廃銀吸着材のセメント固化体 (300m <sup>3</sup> )	半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(I - 129)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
2	ハル・エンドピース圧縮収納体 (6,700m <sup>3</sup> )	発熱がある 半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(C - 14)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
3	アスファルト固化体等の濃縮廃液固化体 (6,200m <sup>3</sup> )	硝酸塩を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	
4	焼却灰, 不燃物セメント固化体等 (13,400m <sup>3</sup> )	-	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	

放射性核種移行を考慮したバリアの設置

発熱による温度制限から坑道離間距離を設定

硝酸塩含有廃棄体は他と分けて配置

力学的安定性から坑道離間距離を設定

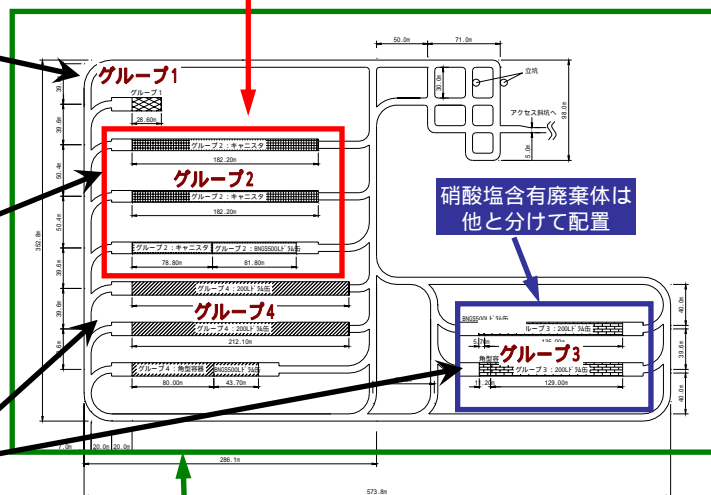


図 処分場平面レイアウトの例

[出典:「第2次TRUレポート」より]

# 併置処分が調査、建設、操業、閉鎖、管理等の工程等 与える影響

	段階	高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分施設 での内容	長半減期低発熱放射性廃棄物処分施設 で考えられる内容	併置処分の場合の影響
1	概要調査地 区選定	・文献調査 ・地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がなく、 かつ、将来にわたってそれらが生じる恐れが少ないと見込ま れること等の確認	・天然バリアに期待する機能は高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)と共通であり、調査段階で確認すべき サイト特性はほぼ同じであると考えられる。したがって、 両者の多くの調査は共通化を図ることが可能であり、調 査の手順、内容はほぼ同じものとなる。	・調査サイト数は共通化できる。 ・長半減期低発熱放射性廃棄物に必要な面積は少ない ので、全体の調査範囲が大きいは変わらないと考えられ る。
2	精密調査地 区選定	・ボーリング調査、地表踏査、物理探査、等 ・最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層が安定し ていること、坑道の掘削に支障がないこと、地下水の水流等 が地下施設に悪影響を及ぼすおそれがないと見込まれる こと等の確認		
3	最終処分施 設建設地の 選定	・地上からの調査、地下の調査施設での測定・試験等 ・最終処分を行おうとする地層の物理的・化学的性質等が最 終処分施設の設置に適していると見込まれること等の確認		
4	用地取得	・用地を取得する	・同左	・同上
5	処分場の設 計・建設	・敷地及び道路等インフラを整備し地上施設を建設する。必 要に応じて港湾施設を建設する。 ・地上での準備が整い次第、地下施設(処分坑道等)を建設 する。	・同左。受入規模等は高レベル放射性廃棄物(ガラス固 化体)と異なる。 ・同左。地下施設の断面構造は高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)と異なる。	・インフラ施設などの共用化を図ることができる。 ・実際のサイトの状況に依存し全体的な配置設計の工 夫は必要である。
6	処分場の操 業	・順次、廃棄体を受入れ、処分坑道の建設・廃棄体の定置・ 定置後の埋め戻しを行う	・同左。物量や線量率によって操業期間や操業方法は 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)と異なる可能性 がある。	・操業エリアは独立していることから、併置処分がそれ ぞれの操業の障害にはならないと考えられる。 ・一部の施設・設備については、共用化を図ることが できる可能性がある。実際の処分サイトでの設計段階で、 それぞれの操業工程が輻輳しないよう検討することで、 相互影響は回避可能である。
7	地下施設の 閉鎖	・操業終了後、長期安全性を確認し、連絡坑道・アクセス坑 道の埋め戻しを行い地下施設を閉鎖する。	・同左。	・特に問題ないと考えられる。
8	地上施設解 体撤去	・全ての地上施設を解体・撤去する	・同左。	・特に問題ないと考えられる。
9	閉鎖後の管 理	・必要に応じモニタリングを実施	・放射エネルギーと面積は高レベル放射性廃棄物(ガラス固 化体)より少ないが、長い半減期の核種を含んでおり、地 層での隔離を期待するため高レベル放射性廃棄物(ガ ラス固化体)と同様なモニタリングになると考えられる。	・モニタリング項目等は高レベル放射性廃棄物(ガラス 固化体)と共通性が高いと予想されること並びに長半減 期低発熱放射性廃棄物の処分面積は小さいため、事業 を推進する上では問題ないと考えられる。
10	全体のプ ロジェクト管理	・各段階で、地質・土木・機電・操業・広報等の人員が必要	・同左。	・人員の共用化を図ることができる
11	管理終了後	・すべての地上施設を撤去して、跡地利用	・放射エネルギーと面積は高レベル放射性廃棄物(ガラス固 化体)より少ないが、長い半減期核種を含んでおり、地層 での隔離を期待するため高レベル放射性廃棄物(ガ ラス固化体)と同様な扱いになると考えられる。	・特に問題ないと考えられる。

・両処分施設では、それぞれの施設の構造及び建設・操業期間が異なる可能性があるが、調査・建設・操業・閉鎖・管理等の全体的な事業の流れは共通である。  
・廃棄体、人工バリア仕様の違いから建設・操業・閉鎖については、それぞれ独立したエリアで行われることになるため、それぞれが互いに影響を及ぼす可能性は小さい。  
以上より、併置処分によりそれぞれの処分事業の各段階(調査、建設、操業、閉鎖、管理等)の工程等に大きな影響を与えることはないと考えられる。

[出典:「第2次TRUレポート」より]

# 諸外国における高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)と長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の状況

国名	スイス	仏国	ベルギー	ドイツ	英国	アメリカ
処分方式	<b>併置処分</b> 長寿命・中低レベル廃棄物* 高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	<b>併置処分</b> カテゴリ-B廃棄物* 高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	<b>併置処分</b> カテゴリ-B廃棄物* カテゴリ-C廃棄物の一部* 高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	<b>併置処分</b> 発熱性廃棄物* 非発熱性廃棄物の一部* 高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	<b>併置処分</b> 長寿命・中低レベル廃棄物* 高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	<b>単独処分</b> 長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) (軍事用)
岩種・深度	オクリナス粘土:約650m 結晶質岩:約1,000m	堆積岩:約500m 結晶質岩:未定	グーム粘土:約240m	未定 (サイト選定見直し中) (ゴアレ・ベンの場合、岩塩 層:840～1,200m)	未定	操業中 (ニューメキシコ州 カールスバッド近郊) 岩塩層:約650m
レイアウト	同一地層で高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)処分エリアと長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分エリアは高pHに考慮して数百m離される。	同一地層で高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)処分エリアと長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分エリアに区分されている。(離間距離は公開情報なし)	同一地層で高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)処分エリアと長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分エリアに区分されている。(離間距離は今後検討)	未定	同一地層で高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)処分エリアと長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分エリアは数百m離される。	-

\*: 日本では、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物に相当する。

スイス: Kristallin- , Safety Assessment Report, NTB93-22, 1994, Nagra ; Project OPALINUS Clay, Safety Report, NTB 02-05, 2002, Nagra

仏国: DOSSIER 2005 ARGILE, 2005, ANDRA

ベルギー: SAFIR2, NIROND 2001-05 E 2001, ONDRAF/NIRAS

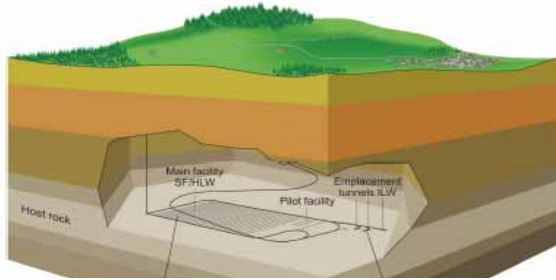
ドイツ: Environmental Policy Joint Convention on The Safety of SF and R/W Management, DBE Webサイト: <http://www.dbe.de/>

英国: King, S.J. and Poole, M.: Issues Associated with the Co-disposal of ILW/LLW and HLW/SF in the United Kingdom, WM 02

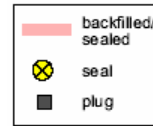
アメリカ: WIPP Webサイト: <http://www.wipp.ws/>

[出典:「第2次TRUレポート」より]

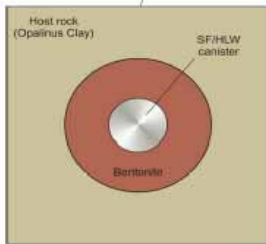
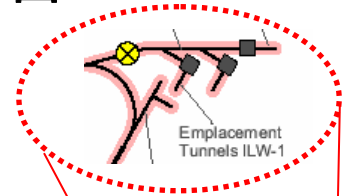
# スイスにおける高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)と長半減期低発熱放射性廃棄物の併置処分概念図



Note that seals are considered to comprise highly compacted bentonite, along with concrete bulkhead. Plugs at the entrances to ILW emplacement tunnels are compact concrete.

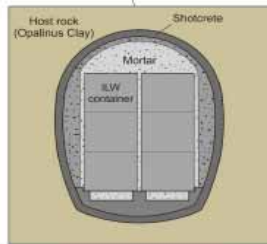


シール: 高圧縮ベントナイト  
プラグ: コンクリート



Emplacement tunnel SF/HLW

高レベル放射性廃棄物



Emplacement tunnel ILW

長半減期放射性廃棄物(非発熱性)

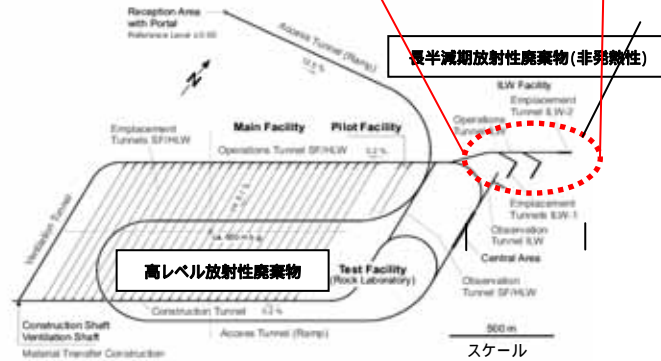


図 オパリナス粘土層における地層処分場レイアウト

出典: Nagra NTB 02-05: Project Opalinus Clay

図 オパリナス粘土層における地層処分施設断面図

# 仏国における高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体・使用済燃料)と長半減期低発熱放射性廃棄物の併置処分概念図

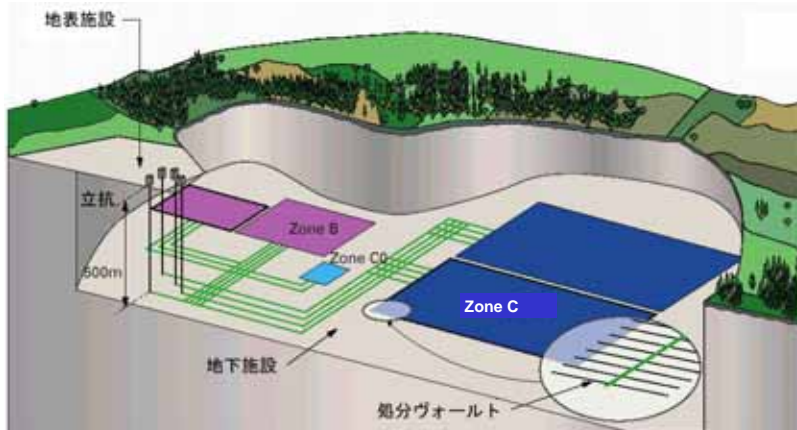


図 仏国における地層処分場の鳥瞰図

- Zone B: 中レベル放射性廃棄物\*1  
(アスファルト固化体、セメント固化体等)
- Zone C: 高レベル放射性廃棄物  
(ガラス固化体及び使用済燃料)
- Zone C0: ガラス固化体のうち、マルケールのガラス固化試験装置(PIVER)及びマルケールガラス固化施設(AVM)で製造されたもの

\*1: 日本では、地層処分を行う長半減期低発熱放射性廃棄物に相当する。

出典: Dossier 2005 Argile(2005)

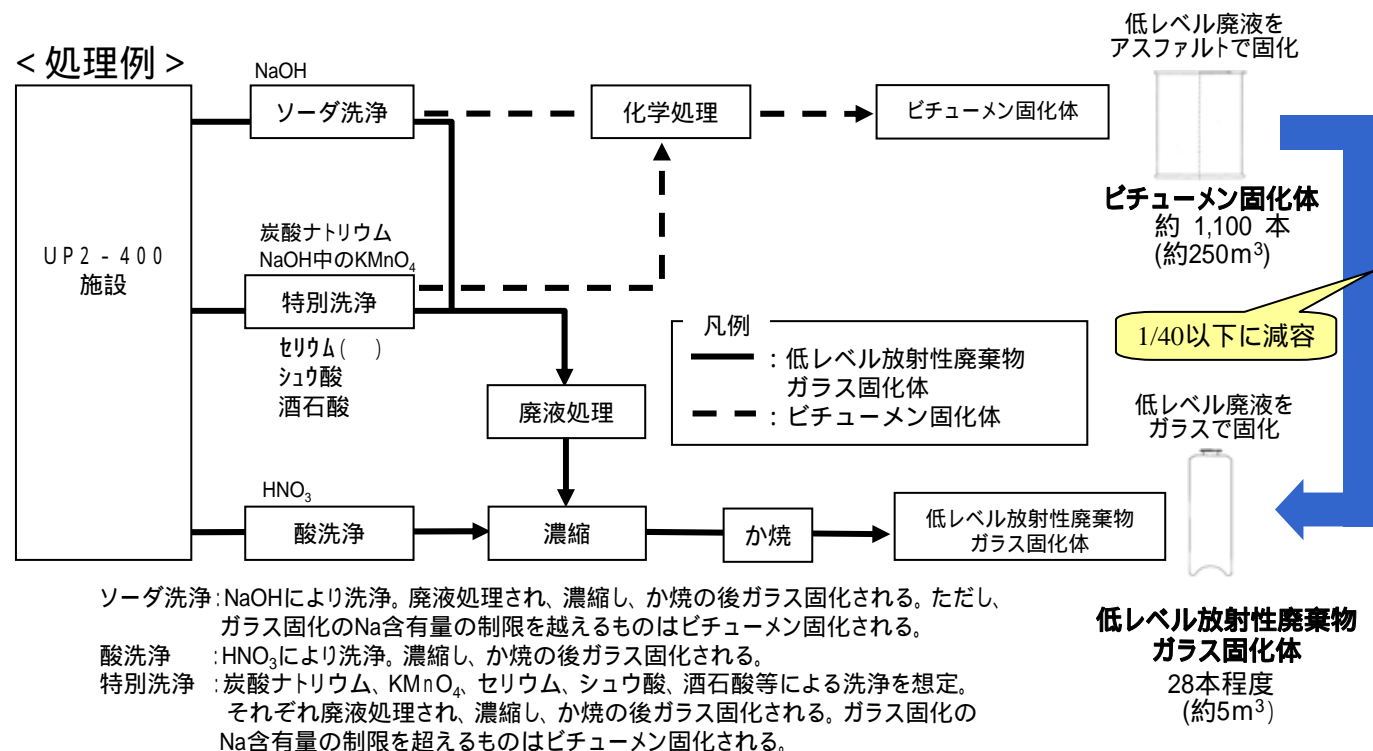


図 セル構造一例: カテゴリーB廃棄物用



# 仏国COGEMA社再処理工場での低レベル廃液の処理の概要

低レベル廃液の起源は、UP2 - 400施設の廃止措置に伴う洗浄廃液であり、洗浄廃液の特性に応じて廃液処理の後、低レベル放射性廃棄物ガラス固化体に処理される。



[出典:「第2次TRUレポート」より]

# ピッチューメン固化体と低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の比較

項目		ピッチューメン固化体	ガラス(ほうけい酸ガラス)固化体
耐性	温度	軟化点:38～53 (照射されると高温側に移動) 高温では形状が変化	失透化温度:500 前後 処分環境で想定される程度の温度であれば良好な耐性を有する
	水理	マトリクス・固化体そのものは不透水性	マトリクス・固化体そのものは不透水性
	力学	針入度:7～10mm(照射されると硬化する) 塑性変形(レオロジック)	曲げ強度:75MPa 脆性破壊
	水化学	有酸素条件、強酸、強アルカリ条件以外では溶解性は安定。	強酸、強アルカリ条件以外では溶解性安定。
	放射線	照射によって特性変化が生じる(例:硬化等)	良好な耐放射線性を有する
閉じ込め性	容器	密封性なし 材質:JIS SUS316L又はSUS430LX相当 肉厚:約1mm	密封性あり 材質:JIS SUH 309 相当 肉厚:約5mm
	核種保持	廃棄体周囲を不透水マトリクスが覆うことで核種と水との接触を防止(可視スケール)	ガラスの網目構造中に核種を保持(微視スケール)
	核種放出モデル	瞬時放出モデル(保守的)	浸出率モデル(定常的な長期溶解速度)
	特記事項	廃棄物として含有される硝酸塩は、多重バリアの性能に影響を及ぼす可能性がある。	高温での固化プロセスとなるため、硝酸塩は分解されている可能性があると同時に、一部の核種は揮発する可能性がある。
線量への寄与		レファレンスケースにおける長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分全体の線量評価(最大)約0.002mSv/yの100分の1程度。	ピッチューメン固化体の線量評価に比べ1桁減少する。ただし、全体に対する影響は変化なし。

線量評価の条件  
-放射性物質質量

:非常に良好な耐性を有する :良好な耐性を有する

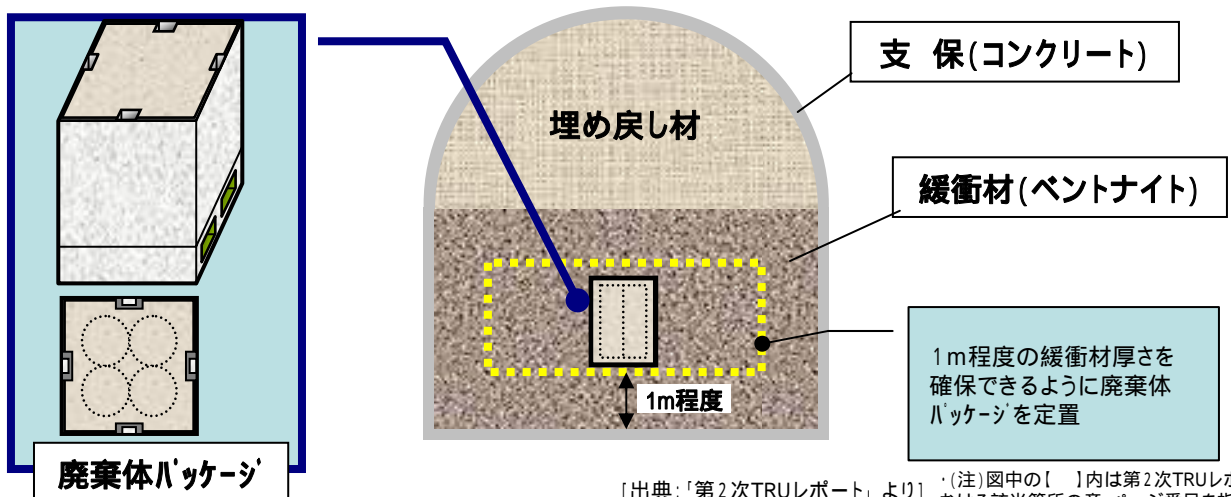
低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の放射性物質質量はピッチューメン固化体の放射性物質質量と同量と仮定  
-浸出率  
固化体中のNa成分が比較的高いことから高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)( $10^{-5}$ /y)よりも浸出率を10～100倍程度高いと仮定

[出典:「日本原子力産業会議(編):  
放射性廃棄物管理ガイドブック」ほか]

## 低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の処分概念

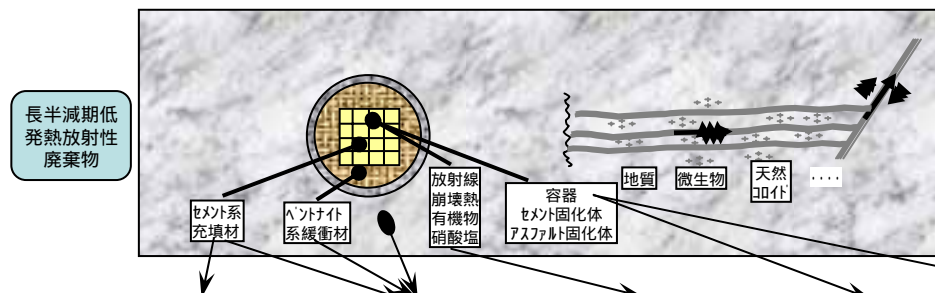
参考資料5 - 3

- 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)と異なり閉じ込め機能を有するオーバーパック(炭素鋼)がないため、硝酸塩の影響は検討する必要がないが、高アルカリ性地下水の影響を避け、廃棄体周囲に低透水性のベントナイト系材料を設けた、比較的小断面の処分坑道に処分することが可能である。[p.6-59]



[出典:「第2次TRUレポート」より] (注)図中の[ ]内は第2次TRUレポートにおける該当箇所の章-ページ番号を指す。  
・「第2次TRUレポート」では「高pH」とあるのを「高アルカリ性地下水」と置き換えている。

# 「基本的考え方」に示された主な技術開発課題に対する 「第2次TRUレポート」における取組状況



「基本的考え方」に示された技術開発課題	セメントの変質	アルカリ環境下 ベントナイト/岩反応	硝酸塩挙動	ガス発生影響	よう素閉じ込め性能向上のための研究開発等
第1次TRUレポートでの取扱い	・粉砕したセメント硬化体の浸出試験結果に基づきセメントの長期挙動を検討したが、保守的に初期から変質しているものと仮定した。	・ベントナイト、岩ともにデータ不足により定量的な評価ができなかった。	・知見不足により、イオン強度の高い海水系の試験結果を参考に放射性核種の収着分配係数への影響を評価した。	・既存の腐食実験によって取得された文献値より腐食速度を設定しガス発生速度を算出した。	・I-129について固化処理技術の高度化を課題とした。 (C-14については記述なし。)
第2次TRUレポートでの取扱い	・セメントペースト硬化体(ブロック状)の通水に伴う変質試験によりpH変化や間隙率の変化に伴う透水性及び力学特性に関わるデータ等を得た結果、変質に伴う透水性や強度の変化を考慮した物質移行データを設定して、人工バリアの長期安定性の評価が可能となった。	・ベントナイトについてアルカリ性環境下におけるベントナイトの構成鉱物(モンモリロナイト)の溶解速度に関わるデータの取得や二次生成鉱物(評価上セオライトとして設定)の組合せ及びアルカリ性環境下における熱力学データを整備した結果、人工バリアの長期安定性の評価が可能となった。 ・岩についてアルカリ性環境下における岩を構成する鉱物の反応を文献及び試験結果から調査し、化学反応と物質移行を連成した解析を実施した結果、アルカリ成分による周辺岩盤への影響は施設近傍に止まり、放射性核種の移行経路全体への影響の評価が可能となった。	・硝酸塩の影響を考慮した条件におけるセメントペースト硬化体に対する放射性核種の収着分配係数を取得し、硝酸塩条件下での放射性核種の移行挙動の評価が可能となった。 ・硝酸塩の地下深部での化学形態の変化を考慮して、アモン錯体の影響、ガス発生の影響、放射性核種の溶解度及び収着分配係数への影響の評価が可能となった。	・腐食速度が小さいジルコイロイステンレス鋼について、低酸素かつアルカリ性環境下でのガス発生速度を取得した。 ・ガス発生機構として、金属の腐食、有機物の微生物分解及び放射線分解を考慮してガス発生量を算出し、処分システムにおけるより現実的なガスの移行解析を実施した結果、緩衝材(ベントナイト系材料)の健全性の評価が可能となった。	・I-129について、具体的な8種類の固定化技術を調査し、開発の現状と取得されているデータを取りまとめた。そのうち4種類の固定化技術についてはよう素の放出抑制期間を10年以上にする可能性についての見通しを得た。 ・C-14について、十分に減衰するまで閉じ込めるための2種類の廃棄体容器の開発の現状を取りまとめた。両容器とも閉じ込め期間を6万年(C-14の半減期の約10倍)にする可能性についての見通しを得た。

[出典:「第2次TRUレポート」より]

## 「第2次TRUレポート」における今後の技術開発の概要

地下深部の原位置でのデータ取得・確認

- ・ 地下深部の原位置での物質の挙動の把握や確認。

地質媒体中での物質移行挙動への影響に係る知見の拡充 など

さらなる現象の解明や技術的知見の拡充

- ・ 現状の技術検討を基盤として、引き続き理解を深めるべき現象や、より現実的な評価を行うために、継続して確認していくもの。

長期挙動を主体とした個別現象のさらなる解明や安全評価技術の高度化 など

事業化技術の開発

- ・ 処分事業の事業化にあたっての技術開発。

サイト条件に応じた併置処分施設設計、建設・操業・閉鎖技術の高度化、モニタリング技術、処分場候補地に依存する地質・水理条件、物質移行挙動データの取得 など

代替技術の開発

- ・ 現状で安全評価上問題ないと考えられるものの、放射性よう素129・放射性炭素14・アスファルト・硝酸塩などを含む長半減期低発熱放射性廃棄物の特性を踏まえ、さらなる廃棄体からの核種放出の抑制や放射性核種移行への影響の緩和に対応するための技術として準備しておくもの。

放射性よう素129固定化技術、放射性炭素14長期閉じ込め技術、低アルカリセメント、硝酸塩分解処理技術 など

[出典:「第2次TRUレポート」より]

# 主な用語解説

## 【ア行】

### R I 廃棄物

放射性同位元素(Radioisotope)を使用した施設、医療機関や医療検査機関などから発生する、放射性同位元素を含む廃棄物。

### アルファ核種

アルファ( )線(陽子2個、中性子2個からなる粒子、ヘリウム-4(He-4)の原子核である。)を放出する放射性核種。核種のほとんどは、ウラン及びそれ以上の重さを持つ放射性核種、又はそれらが順次壊れることによってできた放射性核種であり、半減期の長いものが多い。

### アンミン錯体

アンモニア(NH<sub>3</sub>)分子が、分子内の非共有電子対により金属イオンなどに配位結合して生成する錯イオン。

### イソサッカリン酸(ISA: Iso Saccharinic Acid)

セルロースのアルカリ加水分解により生成する物質(CH<sub>2</sub>OHCHOHCH<sub>2</sub>COHCH<sub>2</sub>OH COOH)。国内外の試験研究において、放射性核種の収着分配係数及び溶解度に影響を与えることが指摘されている。

### 1次元物質移行 - 地球化学連成解析

高アルカリ性地下水の影響範囲の評価においては、均質多孔質媒体モデルで、米国地質調査所(USGS:US Geological Survey)が作成した地球化学反応解析コードを基に開発された解析コードが用いられた。本解析コードは非公開コードであるが、「第2次TRUレポート」では物質移行解析について解析解と比較し、セメントペーストに対する通水試験のトレース解析を実施し再現性を確認するとともに、物質移行-化学反応の連成現象について他の解析コードとの間でベンチマーク計算を実施し、コードの検証を実施している。

### WIPP (廃棄物隔離パイロット事業) 処分場

米国における長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分場である廃棄物隔離パイロットプラント(WIPP)。法律により国防・軍事活動により発生した長半減期低発熱放射性廃棄物のみが処分対象となっている。1999年に受け

入れを開始。

#### ウラン廃棄物

ウランの濃縮、転換、成型加工等に伴って発生するウランを含んだ放射性廃棄物。半減期が極めて長いウラン及びその子孫核種（ウランの壊変により生成した核種）を含んでいること、放射性物質濃度が極めて低い廃棄物が大部分を占めること等の特徴を有している。

#### ウラン - プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料加工施設

使用済燃料などから回収されたプルトニウムをウランと混合して作られた酸化物燃料（Mixed Oxide 燃料の略）で、MOX燃料の成型加工施設。主な工程としては、ウランとプルトニウムを所定の割合で混合し、焼き固め、被覆管に充填して、燃料集合体に加工することなど。施設の運転・解体に伴い、主としてウランやプルトニウムを含む様々な性状の放射性廃棄物が発生する。

#### オーバーバック

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を封入する容器。所定の期間（例えば、ガラス固化体の放射性物質質量や発熱量がある程度減少するまでの期間）ガラス固化体に地下水が接触することを防止し、地圧などの外力からガラス固化体を保護する。処分施設の人工バリアの構成要素の一つで、候補材料は炭素鋼などの金属。

### 【力行】

#### ガラス固化

再処理工程において使用済燃料から分離される高レベル放射性廃液を、ガラスを形成する成分と一緒に加熱することにより水分を蒸発させて非結晶に固結（ガラス化）させ、物理的・化学的に安定な形態にするプロセス。ガラス固化体は、廃液をステンレス鋼製の堅牢な容器（キャニスター）にガラス固化したものであり、放射性物質が安定な形態に保持され、地下水に対する耐浸出性に優れていることから、人工バリアの構成要素の一つとなる。

#### 間隙水

砂礫、砂、粘土などの土粒子や岩石の間隙を満たしている水をいう。ここでは、緩衝材中の間隙を満たしている水を差す。

#### 緩衝材

廃棄体周辺に構築されるベントナイト系材料を高密度に充填、圧縮した人工バリア。廃棄体の長期に亘る安定保持を確保し、高い止水性と膨潤による自己シール性、高い放射性核種収着性、コロイドろ過性等により、長期に亘る放射性核種移行遅延機能を発揮する。「第2次TRUレポート」の検討では廃棄体グループ1、2の処分に適用している。

#### 管理処分

放射性核種の濃度が比較的低い低レベル放射性廃棄物は、比較的短い時間の経過とともに放射性核種が減衰する。放射線防護上の管理も放射性核種が減衰に伴って軽減化することができ、有意な期間内（例えば300年～400年程度）に放射線防護上の管理を必要としない段階に至る。このように段階的に管理を軽減し、最終的には管理を必要としない段階まで管理する処分の方法を管理処分という。管理処分の方式には、浅地中トレンチ処分、浅地中ピット処分、余裕深度処分がある。

#### 局部腐食

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分において人工バリアとして用いられる炭素鋼オーバーパックの腐食形態の1つで、金属表面の一部が集中的に腐食する形態である。一方、金属表面全体が腐食していく形態を全面腐食という。

#### 均質多孔質媒体モデル

岩盤中の地下水流動や溶存物質の移行を表現するモデルの一つであり、岩盤や人工バリアなどの材料を均質な多孔質媒体としてモデル化し、これらの材料の空隙内を地下水や溶存物質が一様に移動すると考えたモデル。

#### 結晶質岩

放射性廃棄物の地層処分の分野において、火成岩（マグマが冷えて固まった岩石）と変成岩（既存の岩石が地下において熱・圧力を受け、その鉱物組成や組織が変化してできた岩石）を包含する呼称。この分野において、堆積岩の対語として用いられる。放射性核種移行評価においては亀裂性媒体として扱われることが一般的である。

#### 研究所等廃棄物

原子炉等規制法による規制の下で、試験研究炉などを設置した事業所並びに核燃料物質などの使用施設などを設置した事業所から発生する放射性廃棄物。

試験研究炉の運転に伴い発生する放射性廃棄物は、原子力発電所から発生する液体や固体の廃棄物と同様なものである。その他は、核燃料物質などを用いた研究活動に伴って発生する雑固体廃棄物が主なものである。

また、試験研究炉の運転、核燃料物質などの使用などを行っている研究所などにおいては、併せてR Iが使用されることも多く、原子炉等規制法及び放射線障害防止法の双方の規制を受ける廃棄物も発生している。

#### 原子力発電環境整備機構（NUMO）

高レベル放射性廃棄物の最終処分事業の実施主体。2000年6月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が公布され、高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた枠組みが整備された。同法に基づき、同年10月、国の認可を得て「原子力発電環境整備機構」は設立された。

#### 原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律

原子力発電における使用済燃料の再処理等を適正に実施するため、使用済燃料再処理等積立金の積立て及び管理のために必要な措置を講ずることにより、発電に関する原子力に係る環境の整備を図ることを目的とする法律。2005年5月公布。

#### 検認

廃棄物中に含まれる放射性物質等量の測定結果や評価方法等について、その妥当性を検査、認定すること。

#### 高アルカリ性地下水

地下水がセメント系材料に接触し、セメント水和物の溶解度に応じて水和物中のNa、K、Ca等が地下水に溶解し、地下水のpHがもともとのpHよりも高くなった状態。主要なセメント水和物である水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )の溶解による高アルカリ性となった地下水はベントナイト系材料、周辺岩盤との化学反応を生じることが想定される。

#### 高レベル放射性廃棄物

使用済燃料の再処理工程で、硝酸に溶解された後、有機溶媒（リン酸トリブチル：TBP）によってウランとプルトニウムが抽出される工程から排出される放射性物質濃度の高い廃液、又はこれの固化体。

核分裂生成物（FP）の大部分と、ネプツニウム（Np）、アメリシウム（Am）

キュリウム(Cm)などアクチノイド元素を含み、放射性物質濃度が高く、大きな崩壊熱を発生する。

## コロイド

物質の状態を示す概念のひとつで、大きさが $10^{-6} \sim 10^{-3}$ mmの粒子が水などの液体中に浮遊し、容易に沈まない状態にあるものをコロイドという。粒子の大きさがこれよりも小さい場合は溶存状態となり、大きい場合は懸濁状態となる。

## 【サ行】

### 再処理施設

使用済燃料を、再び燃料として使用できるウラン、プルトニウムと、不要物として高レベル放射性廃棄物に分離し、ウラン又はウラン - プルトニウム混合物を回収する施設。施設の運転・解体に伴い、様々な性状かつ含まれる放射性核種の種類及び濃度も幅広い放射性廃棄物が発生する。

### 支保

地山からの荷重に十分対抗し、地山の崩壊、肌落ち等を防止して、所定の掘削断面を維持し、かつ能率的に坑内作業が行われるようにトンネル内に設ける地山支持構造物。支保工の種類としては、鋼製（鋼アーチ）支保工、ロックボルト、吹付けコンクリート等がある。

### 収着性

人工バリア材、天然バリアなどの固相と間隙水との界面において、間隙水中に溶存する溶質が固相へ吸着、吸収される現象を収着という。収着性が高い溶質は固相への移行率が高く、間隙水中の濃度が低下する。放射性核種の収着性は固相と液相との収着分配係数( $m^3/kg$ )として評価される。

### 収着分配係数

間隙水中の溶質が固相へ収着（吸着、吸収）される現象における移行係数。固相に収着される濃度( $mol/kg$ ) / 溶液中の濃度( $mol/m^3$ )で定義される。対象とする溶質、固相の種類、また溶液の状態の違いなどにより幅広い値をとる。

### 充填材

人工バリアの構成要素の一つで、廃棄体を定置した後、処分施設の構造躯体



との隙間を充填するために用いられる。候補材料としては、セメント系材料が挙げられている。

#### 硝酸塩

我が国において使用済燃料の再処理法としてPUREX法が採用されており、この再処理工程のせん断・溶解工程では硝酸が使用される。長半減期低発熱放射性廃棄物中に含まれる硝酸塩は、再処理工程において使用された硝酸が化学処理を施され、低レベル放射性廃液中に硝酸塩(主に、 $\text{NaNO}_3$ )として回収されたもの。

#### ジルカロイ

ジルコニウムをベースに、微量成分として錫、鉄、クロムなどを含む合金。ジルカロイは、中性子を吸収しにくい性質があり、高温水中においても耐腐食性に優れているため、軽水炉の燃料被覆管として使用されている。

#### 人工バリア

埋設された放射性廃棄物から、放射性物質が生活環境へ移行することを抑制するために人工的に設けられる障壁をいい、緩衝材、コンクリートなどの処分施設における人工構築物(廃棄物の固型化材料及び処分容器も含む。)の総称。

#### 浸出モデル

処分環境での廃棄体からの放射性核種の放出モデルの一つ。廃棄体構造材の溶解又は腐食に連れて保持されていた放射性核種が放出され则认为。代表的なものはガラス固化体からの放射性核種放出のモデル。「第2次TRUレポート」においては廃棄体グループ2に分類される使用済燃料集合体の構造材からのC-14などの放出においてこのモデルが採用されている。

#### ゼオライト

沸石族鉱物の総称。産状のひとつとして、高アルカリ性環境下で生成された堆積岩の構成鉱物として存在する。セメント系材料の溶解によって処分施設内がアルカリ性環境になると、ベントナイトが変質しその変質鉱物の一つとしてゼオライトが生成する可能性がある。

#### セメントペースト硬化体

石灰岩や石膏を主原料とするセメントと水を練り混ぜてペースト状としたものは、時間の経過とともに水和反応によって硬化する。これをセメントペー

スト硬化体という。処分施設において使用が想定されている材料としては、コンクリートとセメントモルタルがある。これらはセメントと水の他に、強度などを増すために骨材（砂利や砂）を加えた複合材料である。基本的なデータを取得する試験には、骨材を加えないセメントペースト硬化体がよく用いられる。

## セルロース

植物細胞壁の主成分を構成する多糖であり、食物繊維起源の有機物（木綿、紙、木材等）に含まれる。 $(\text{CH}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ の基本構造を有し、アルカリ加水分解によりイソサッカリン酸が生成される。

## 浅地中ピット処分

コンクリートピットを設けた浅地中(地下数メートル)へ埋設処分する方法。

対象廃棄物としては、原子炉施設の廃液固化体、充填固化体等。原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物は、1992年より、青森県六ヶ所村にある日本原燃(株)六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで埋設処分されている。

## 線量

体外にある放射線源あるいは体内に摂取された放射性物質から個人が受ける放射線の影響に着目した量。 $S_v$ （シーベルト）という単位で表される。吸収線量に放射線の種類及び影響を受ける人体の部位に応じた補正係数をかけて、放射線の影響という観点で共通の尺度を与える量である。

## 【タ行】

### 堆積岩

堆積物が続成作用により固結することにより生成された岩石で、種々の粒度の碎屑物、生物の遺骸、化学的沈殿物、それらの混合物を含む。放射性廃棄物の地層処分の分野においては、結晶質岩の対語として用いられる。放射性核種移行評価においては多孔質媒体として扱われることが一般的である。

### 炭素-14 (C-14)

半減期 5,730 年の放射性核種。燃料集合体（燃料及び構造材）中に不純物として含まれる安定窒素（N-14）の放射化により生成される。使用済燃料集合体の構造材（ハル・エンドピース）中に多量に含まれる。地層処分の化学環境条件においては炭酸イオンなどの無機形態の他、有機形態になる可能性も考えられている。線量評価においては人工バリア及び天然バリアに対する収着性が低

いものとされ、I-129 に次いで評価上重要な放射性核種となっている。

#### 地下空洞

岩盤を掘削して構築された地下の空間。放射性廃棄物の地層処分場においては、廃棄体、人工バリアの搬送・定置等の多くの作業が地下空洞内で実施される。

#### 地下施設

放射性廃棄物の地層処分場の施設のうち、地下の岩盤内に建設される施設。アクセス坑道（斜坑、立坑）、主要坑道、連絡坑道等の搬送用坑道、廃棄体を定置する処分坑道及びそれらに付随する設備等の総称。

#### 地層処分

人間の生活環境から十分離れた安定な地層中に、適切な人工バリアを構築することにより処分の長期的な安全性を確保する処分方法。「地層処分」という用語の「地層」には、地質学上の堆積岩を指す「地層」と、地質学上は「地層」とみなされない「岩体」が含まれている。

#### 超ウラン核種

ウラン(92)より原子番号が大きい人工放射性核種[TRU (Trans Uranium) 核種]。超ウラン核種には、ネプツニウム-237(Np-237)(半減期: 214万年)、プルトニウム-239(Pu-239)(半減期: 2万4千年)、アメリシウム-241(Am-241)(半減期: 432年)のように半減期が長く、アルファ線を放出する放射性核種が多い。

#### 長半減期低発熱放射性廃棄物

再処理施設やウラン-プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料加工施設の操業・解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物。長半減期低発熱放射性廃棄物のうち、ハル・エンドピースの圧縮体は発熱量が比較的大きく、発生時点で約60W/本(25年後で約4.5W/本)程度。一方、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の発熱量は固化直後で約2,300W/本(50年後で約350W/本)程度である。また、長半減期低発熱放射性廃棄物にはハル・エンドピース以外に、ベータ線核種であるI-129の濃度が比較的高い廃銀吸着材、硝酸塩を含む濃縮廃液等を固化したもの、不燃性廃棄物等がある。

#### TRU廃棄物

長半減期低発熱放射性廃棄物に対する従来の呼称。「第2次TRUレポート」ではこの呼称を用いている。

#### 天然バリア

処分施設の周囲に存在し、埋設された放射性廃棄物から漏出してきた放射性物質の生活環境への移行抑制が期待できる岩体や土壌など。

#### 透水係数

飽和した土壌・岩盤中を流れる地下水の透水法則として知られるダルシー則は、次式で表される。

$$V = K \times i$$

K：透水係数(m/s)、i：動水勾配(-)、V：地下水流速(ダルシー流速)(m/s)

透水係数はダルシー則における比例定数であり、地下水が媒体を通過する際の地下水の通り易さを表す媒体固有の定数である。

#### 特定放射性廃棄物

使用済燃料を再処理した後に発生する高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)を指す。「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」第二条で、「使用済燃料の再処理後に残存する物を固型化したものをいう」と定義されている。

#### 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

発電に関する原子力の適正な利用に資するため、発電用原子炉の運転に伴って生じた使用済燃料の再処理後に生ずる特定放射性廃棄物の最終処分を計画的かつ確実に実施させるために必要な措置等を講ずることにより、発電に関する原子力に係る環境の整備を図ることを目的とする法律。2000年公布。

### 【ナ行】

#### 2次元伝導伝熱解析

熱の影響評価(2次元伝導伝熱解析)においては、米国カリフォルニア大学で開発された熱輸送基礎方程式による3次元非定常輸送計算コードが用いられた。本解析コードは対象を要素分割し、各要素の差分形として熱変化を取り扱う。核融合炉ITER等の熱解析で使用実績がある。本解析コードは公開されている。

#### 2次元物質移行解析

(有機物影響評価)

有機物の影響評価においては、均質多孔質媒体モデルで、定常地下水流動解析を目的として開発された２次元物質移行解析コードが用いられた。本解析コードは不均質透水係数場の作成、有限要素法によるポテンシャル流解析及び放射性核種の移行解析ができる。本解析コードは非公開コードであるが、第２次ＴＲＵレポートでは旧日本原子力研究所及び電力中央研究所が所有する解析コードとの間でベンチマーク計算を実施し、コードの検証を実施している。

（硝酸塩影響評価）

硝酸塩の影響評価においては、均質多孔質媒体モデルで、化学物質濃度の広がり解析する２次元物質移行解析コードが用いられた。本解析コードはソースプログラムが公開されたコードであり、飽和-不飽和解析や密度流を考慮することもできる。また、解析解と比較するとともに他解析コードとの間でベンチマーク計算を実施し、コードの検証を実施している。

#### 日本原子力研究開発機構

２００５年１０月に、旧日本原子力研究所と旧核燃料サイクル開発機構の統合により発足した独立行政法人。原子力に関する基礎的研究及び応用の研究、核燃料サイクルを確立するための高速増殖炉及びこれに必要な核燃料物質の開発並びに核燃料物質の再処理に関する技術及び高レベル放射性廃棄物の処分等に関する技術の開発を総合的、計画的かつ効率的に行うとともに、これらの成果の普及等を行うことを目的とする。

#### 熱力学データ

「熱力学」とは物理学の重要な一分野であるが、ここでは、例えば鉱物の溶解・沈殿反応といった化学反応に対する、特定の条件下での平衡状態（反応がこれ以上進展しない状態）に関する諸物性（固相の溶解度積、液相化学種の生成反応に関する平衡定数など）を測定、あるいは計算で予測したものをいう。

#### 【八行】

#### 廃棄体

放射性廃棄物を、ドラム缶にセメント固化するなど、十分安定化処理するか又は容器に封入し、最終的に埋設可能な形態にしたもの。

#### 廃棄体グループ

長半減期低発熱放射性廃棄物の特性は多種多様であることから、処分において適切かつ合理的な人工バリア構成及び配置とするために廃棄体の特性を踏まえて行った分類のこと。

I-129 が多量に含まれる廃棄体をグループ 1、C-14 が多量に含まれ、かつ発熱を考慮する必要がある廃棄体をグループ 2、硝酸塩が含まれる廃棄体をグループ 3、その他廃棄体をグループ 4 にグループ化している。

#### 廃銀吸着材

使用済の銀吸着材。銀吸着材は銀の化学吸着性を利用したフィルターで、再処理工程において使用済燃料のせん断、溶解に伴いガスとして発生する放射性ヨウ素を吸着除去するために使用される。そのため、半減期の長い放射性核種である I-129(半減期：約 1,600 万年)が多く含まれる。

#### 廃溶媒

再処理施設の溶媒処理設備から発生する廃溶媒残渣及び定期的に更新する工程内の溶媒であり、リン酸トリブチル(TBP)とn-ドデカンの混合物である。

#### ハル・エンドピース

使用済燃料集合体をせん断するときに取り除かれる燃料集合体の末端部をエンドピース、使用済燃料を切断して硝酸に溶解した後に溶け残った被覆管の断片をハルという。長半減期低発熱放射性廃棄物のうち、ハル・エンドピースの圧縮体は発熱量が比較的大きく、発生時点で約 60 W/本(25 年後で約 4.5 W/本)程度。一方、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の発熱量は固化直後で約 2,300 W/本(50 年後で約 350 W/本)程度である。

#### 半減期

放射性核種の数が放射性壊変によって半分になるまでの時間。

#### ビチューメン固化体(アスファルト固化体)

再処理施設の操業で発生する低レベル放射性廃液(廃ガス洗浄廃液、分析廃液、除染廃液等)をアスファルト固化した廃棄物。

#### 物質移行

ここでは、(地下水に溶解した)物質が、岩石やその他の媒体中を移動することをいう。

#### プラグ

坑道周辺に形成される掘削影響領域、劣化した支保工などによる連続した高

透水領域を水理的に分断する目的で設置される水理プラグ、緩衝材、埋め戻し材等のはらみ出し防止を目的に設置される力学プラグが検討されている。前者はベントナイト系材料、後者はセメント系材料が候補材料として挙げられている。

#### 併置処分

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と長半減期低発熱放射性廃棄物等を同一のサイト内に処分する処分方法。

#### 別岩盤配置

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と長半減期低発熱放射性廃棄物のそれぞれの処分地下施設を地質学的特徴の異なる岩盤に配置すること。処分施設の配置に適した岩盤範囲が小さい場合など、実際の処分サイトの条件に応じた配置方法の一つ。

#### ベータ核種

ベータ（）線を放出する核種。水素-3（H-3）、炭素-14（C-14）、リン-32（P-32）、イオウ-35（S-35）、ストロンチウム-90（Sr-90）、テクネチウム-99（Tc-99）などが代表的なベータ核種で、一般的にベータ線のみを放出する核種をいう。

#### ベントナイト

モンモリロナイトを主成分とし、石英、クリストバライト、沸石、長石などをからなる粘土状物質の総称。一般に、火山噴出物が海底などに堆積、埋没し、続成作用によって生成される。水中で膨潤することと、陽イオン交換性を有することが主な特徴。放射性廃棄物の地層処分では、止水性、放射性核種収着性、廃棄体の保持、地下水に対する化学的緩衝性などを期待して、緩衝材として利用が考えられている。

#### 放射線

法令上、放射線とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつものであると定義されており、アルファ（）線、ベータ（）線、ガンマ（）線、中性子線、重荷電粒子線、エックス（X）線などが含まれる。

【マ行】

## 埋設濃度上限値

低レベル放射性廃棄物の埋設処分において、操業中や埋設後の管理期間終了前後における廃棄物による作業員や一般公衆の線量を評価し、安全性の目安線量以下となる放射性核種濃度を算出し、これに放射性核種濃度分布を考慮して10倍したもの。

## モンモリロナイト

人工バリア材料の候補として検討されているベントナイトの主要構成鉱物であり、スメクタイト族に分類される。スメクタイト族は層状の鉱物であり、層間に水を含むことで膨潤する特性を有し、また陽イオン交換性を有する。

## 【ヤ行】

### UP2-400

仏国COGEMA社ラ・アーグ再処理工場の施設。1976年に運転開始し、新たに、せん断施設、溶解施設、ガラス固化施設等を追加設置して、1994年にUP2-800施設として運転開始した。既存のせん断、溶解施設は使用しなくなり、UP2-400施設は1998年に操業停止し、現在廃止措置を実施している。

## ユッカマウンテン処分場

米国における高レベル放射性廃棄物処分場。処分対象は、民間の原子力発電所から発生する使用済燃料、国防・軍事活動等により発生した使用済燃料及びガラス固化体となっている。2010年操業開始予定。

## よう素 - 129 (I-129)

半減期約1,600万年の放射性核種。燃料の核分裂によって生成される。主に再処理工程で発生するオフガス中に含まれ、これを吸着除去するために使用された銀吸着材(廃銀吸着材)が主な廃棄体である。地層処分の化学環境条件においては、I-129は主に陰イオンとして存在し、人工バリアや天然バリアに対する収着性は低いと考えられている。このため、線量評価上重要な放射性核種となっている。

## 余裕深度処分

一般的な地下利用に対して十分余裕を持った深度(例:50~100m)への処分。対象廃棄物としては、原子炉施設の炉内構造物、使用済樹脂など。



## 【ラ行】

### リスクコミュニケーション

技術は人間にとって望ましくない事態をもたらす可能性を有する。この事態の深刻さと可能性の大きさを定義されるのがリスクであり、技術の負の側面であるこのリスクの評価や管理のあり方について、行政や事業者、市民が情報や意見を提示し、求め、議論を行って、お互いに信頼と理解を深めてそのリスクに対する適切な対処の仕方を決めることに貢献していくプロセスをリスクコミュニケーションという。

### 立体配置

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）と長半減期低発熱放射性廃棄物のそれぞれの処分地下施設を適切な離間距離を確保した上で、異なる深度に配置すること。処分施設の配置に適した岩盤範囲が小さい場合など、実際の処分サイトの条件に応じた配置方法の一つ。