

長半減期放射性廃棄物(非発熱性)の処理・処分の基本的考え方<sup>(注)</sup>  
について(一部改訂) 論点の整理(案)

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。)は、原子力委員会から指示された検討課題に対して、「TRU廃棄物処分技術検討書(日本原子力研究開発機構、電気事業連合会)」(以下、「第2次TRUレポート」という。)に示された技術知見(その概要については添付資料参照)や過去のその他の知見を基に、以下の検討を行った。

1. 検討の前提

- (1) 「原子力政策大綱」に示されているとおり、再処理施設やMOX燃料加工施設の操業・解体に伴って発生する放射性廃棄物(以下「長半減期放射性廃棄物(非発熱性)」という。)の中には地層処分することが合理的なものがある。その処分する廃棄体がガラス固化体であれば、その地層処分技術は高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分技術がそのまま活用できると考えられる。ここでは処分する廃棄体がセメント系材料等の固化体の地層処分について主に検討する。
- (2) 地層処分する際、地層処分場に長半減期放射性廃棄物(非発熱性)のみを処分(単独処分)する場合と、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)と同一の処分場に処分する場合がある。後者には地上施設等の施設は共用するもののそれぞれの処分地下施設の配置パネル間にはある隔離距離をとる。すなわち、処分する領域を別けて処分するいわゆる併置処分を行う場合がある。
- (3) 「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。)は安全な単独処分が技術的に可能であることを示し、これ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を目指して、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示したところ、日本原子力研究開発機構と電気事業連合会がこれら技術開発課題につき検討した「第2次TRUレポート」を作成しその内容を公開している。
- (4) この「第2次TRUレポート」第6章には、処分の合理化に係る技術的検討として併置処分を行う場合についての検討が示されている。併置処分における隔離距離には、それぞれの処分領域において事実上他の処分領域に廃棄体が存在しないとして処分地下施設の配置パネル等の設計から処分に至る活動を進めても

(注) 「超ウラン核種を含む放射性廃棄物」の名称は今回の検討会の名称である  
「長半減期放射性廃棄物(非発熱性)」としている。

差し支えない距離、あるいは他の処分領域に廃棄物が存在していることを考慮しても適切な工夫を講ずることにより合理的な処分が可能である距離などが考えられるが、「第2次TRUレポート」では前者の考え方によって併置処分を行う対策についての技術的検討を行っている。なお、後者についても将来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。

## 2. 地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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

地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分について、以下のとおり、同一サイトに長半減期放射性廃棄物（非発熱性）と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）とをそれぞれを適切に配置設計して処分することが技術的に成立するかの検討を行った。

### (1)相互影響因子の選定

長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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とした場合に想定される相互の影響因子（相互影響因子）としては、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の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」の因子が想定される。

しかしながら、我が国で想定される地質環境条件において、これらの因子のうち、「水理」、「応力」、「放射線」については、その影響が処分サイトの併置処分の実現性を検討するに際して処分体定置場所の近傍のみに限定的なものであることから、決定的な条件ではないこと、また処分サイトが決定されていない段階においては詳細な条件を設定して解析評価を実施しても有意な結果が得られないことから、ここでは高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）からの「熱」による影響、地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）に含まれる「化学」の因子である有機物、硝酸塩、高pHによる影響を評価することでよいと考えられるのではないかと。

なお、これらの相互影響因子については今後処分場が決まればその処分サイトに応じた施設の設計等が行われ、その地質環境条件等により、その処分場に応じたより精度の高い合理的な相互影響因子を判断することができると考えてよいのではないかと。

( 相互影響因子の選定に関して審議において確認された内容 )

- ・ 「水理」については処分サイトの放射性核種移行の評価で水理条件は重要な因子であるが、相互影響の観点では、その影響範囲は処分体定置場所近傍に限定的であることから相互影響因子として選定されないこと。
- ・ 高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の安全評価でも検討されたコロイド、ガス発生等の影響は長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の安全評価の中でも検討されており、その影響は処分体定置場所近傍に限定的である等により相互影響因子として選定されないこと。
- ・ 応力による影響と放射線による影響は処分体定置場所近傍に限定されること。

## (2)相互影響の評価及び結果

相互影響の評価を試算すると、それぞれの相互影響因子によりその影響範囲の広がり異なるが、一つの対策としてそれぞれの処分地下施設の配置パネル間にその影響を十分小さくすることができるだけの適切な離隔距離をとることが可能と考えられる。

「第2次TRUレポート」の解析の結果では、硝酸塩による影響を回避するための離隔距離が最も長く、その離隔距離は約 300mである。ただし、この値は高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）のオーバーパック（金属製であるため硝酸塩により腐食するリスクがある）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 年先まで評価した場合の結果である。また、この離隔距離に関する解析結果は固定的に解されるべきでなく、今後処分場が決まればその処分サイトに応じた施設の設計等が行われるので、今回の検討結果を基にその地質環境条件等を入力し、その影響評価が行われるものと解する。したがって、処分場に応じた適切な離隔距離を確保した配置パネル設計を行う等の対策をとることにより相互影響を十分小さくできると判断してよいのではないかと。

なお、「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との指摘があった。しかし、仮に因子間の相互影響があった場合でも、定性的には、それぞれの因子は互いに大きな影響を与えないと考えられること、評価の試算において入力条件及び判断の目安値を保守的に設定し解析されていることから、施設設計時に適切に評価されるものと考えてよいのではないかと。

( 相互影響因子の評価及び結果に関して審議において確認された内容 )

- ・ 相互影響を評価するための解析への入力データは地層処分を行う廃棄

体に含まれるデータを基に保守的に設定していること。今後、海外（英国、仏国）から返還される廃棄体の形態が変更〔英国からは高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）、仏国からは低レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）〕されることもあるが保守的に現状の廃棄体を基に設定されている。

- ・硝酸塩については農学分野における微生物活動による窒素サイクルも考慮に入れて安全評価が実施されているが、現時点では地下深部での環境には不確定性が高いため保守的に硝酸イオンの形態として評価していること。また、有機物については保守的にセルロースが100%イソサッカリン酸となるよう設定されていること。
- ・相互影響の評価結果は、「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 - 」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、安定な地質環境が見通せる100,000年程度以内でその影響範囲が収まると評価していること。
- ・実際の処分施設の配置については、処分場の様々な条件（地質条件、水理条件、地下水条件、廃棄体条件等）により配置設計が行われること。

### (3) 調査、建設、操業、管理等への影響

長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）処分施設の調査地区の選定条件は高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）処分施設と概ね共通的なものになり、かつ建設工程において前者が後者の律速にならないと考えられることから、調査、建設、操業、管理等の各段階に大きな影響を与えることはないと考えられるのではないかと。

#### (調査、建設、操業、管理等への影響に関して審議において確認された内容)

- ・併置処分による施設等の共用化は処分場の各種条件にも依存するため、特に地下施設（アクセス坑道等）は実際の処分サイトでの事業の運用等を考慮して決められるものであること。

### (4) 諸外国における状況

諸外国においても、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）に相当する放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体又は使用済燃料）と同一サイトで処分することを検討している国（スイス、仏国、ベルギー、英国、ドイツ）があり、今回の検討結果と同様に、配置上数百メートル程度を離隔距離として計画又は検討している国があり（スイス、英国、仏国とベルギーについては離隔距離を今後検討。ドイツは配置が未定）、これらの国々と今後

も情報交換等により技術共有が図れるのではないかと。

なお、「第2次 TRU レポート」第6章に示された長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の処分の合理化に係る技術的検討において評価が行われた「熱」、「有機物」、「高 pH」、「硝酸塩」の因子による影響は、同レポートの第4章に示された長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の地層処分の安全性の検討においてもその影響について評価している。それらの影響因子による影響の評価結果は長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の地層処分の地下施設内での適切なパネル配置設計においても活用できるとしてよいのではないかと。

### 3. 仏国から返還される長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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

「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。今般、仏国の再処理事業者から地層処分を行う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ビチューメン固化からガラス固化へ変えることが提案されており、「第2次 TRU レポート」を基に、低レベル放射性廃棄物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、処分に対する影響が適切に評価されているかの検討を行った。仏国から返還される長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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、処分に対する固化体の安定性が低レベル放射性ビチューメン固化体と同等以上であること、処分場の配置設計が可能であること、線量評価値に影響を与えないことの理由により、地層処分を行う放射性廃棄物の処分全体に影響を与えないことから、地層処分を行うことができると判断してよいのではないかと。

### 4. 今後継続的な取組事項について

本検討会は、前述のとおり技術的成立性を検討することが課題であるが、今後、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の地層処分の実施に向けて、技術開発、地層処分の安全規制、処分事業の実施主体のあり方、国の関与等について、以下のとおり取組事項があり、発生者、国等の関係者はそれらについて継続的に取り組んでいくことが期待される。

技術開発について

- ・「第2次TRUレポート」では「長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の処理・処分の基本的考え方」で示された詳細化及び合理的に取り組み、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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、「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」及び「事業化技術の開発」の技術的課題に着実に取り組む必要がある。その際、地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）は高レベル放射性廃棄物の地層処分研究と共通する点が多く、効率的かつ効果的に研究開発を実施していくことが重要である。
- ・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。長半減期放射性廃棄物（非発熱性）特有の放射性核種のI-129（半減期：約1600万年）やC-14（半減期：約5700年）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（吸収・吸着性）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ため、さらなる廃棄体からの核種放出抑制及び核種移行への影響の緩和についての技術開発を継続的に実施することが期待される。

#### 地層処分の安全規制について

- ・地層処分の安全規制については、原子力安全委員会等が高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の今後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放射性廃棄物（非発熱性）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、これまで策定した「高レベル放射性廃棄物の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、原子力安全委員会決定）等が長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の地層処分の安全規制として適用できるか検討するとともに、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の安全規制を処分スケジュールにしたがって順次策定することが期待される。
- ・また、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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を期待される。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、原子力安全委員会決定）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基礎とした規制の導入も速やか

に検討することが期待される。

処分事業の実施主体のあり方、国の関与等について

- ・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」が制定され、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」の公募を開始している。また、電気事業者等により、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も行われている。
- ・今回対象とした地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）については、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、国の関与などの検討が行われることになる。その際、当該廃棄物についても、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。このため、基本的には、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が進められることが期待される。
- ・なお、今回検討対象ではない R I ・研究所等廃棄物（今回検討した日本原子力研究開発機構の再処理施設及び M O X 燃料取扱施設の操業・解体を除く。）、ウラン廃棄物等の一部については、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、事業者等においては、今回の検討結果等を参考に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、国の関与などの検討対象とすることが期待される。

「TRU廃棄物処分技術検討書」（「第2次TRUレポート」）  
に示された技術知見について

「第2次TRUレポート」は、その策定過程において、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））とのレビュー会議が行われている。また、国際的なワークショップ、原子力学会及びIAEAの国際会議に研究成果が報告されている。さらには、公開の研究成果報告会が開催され、第2次TRUレポートの内容が一般の方々にも説明されており、これらの活動により外部専門家等と技術情報交換された内容が技術知見として整理されている。

1. 地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）と高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）との併置処分

相互影響因子

- ・併置処分した場合にそれぞれの廃棄物を含む処分地下施設に影響を与える可能性がある因子（以下、「相互影響因子」という。）として、それぞれの廃棄物の特性を踏まえ、網羅的な視点で「熱」、「水理」、「応力」、「化学」、「放射線」の項目を抽出。
- ・これらの項目のうち、「水理」、「応力」、「放射線」による影響についてはその影響範囲がそれぞれの処分体定置場所近傍で限定的であり決定的な条件ではないこと、また実際の処分サイトが定まっていない段階においては詳細な条件を設定して解析評価する段階でないと判断。
- ・その結果、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）からの「熱」による影響、地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）に含まれる「化学」による影響として、有機物、硝酸塩、高pHを相互影響因子として選定して評価。

相互影響を評価するための解析モデル

- ・それぞれの相互影響因子による時間的経過による影響範囲を求めるため、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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と仮定し、相互影響因子の発生する処分地下施設からのその影響範囲を解析により評価。



- ・地質環境条件は「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、「H12 レポート」という。）で示された我が国の地下深部に関するデータを参考に、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）及び動水勾配（0.01）を設定し、また、核種移行条件についてはH12 レポート等に基づき保守的に設定し解析。

#### 相互影響因子の評価

##### 「熱」による影響

- ・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放射性廃棄物（非発熱性）処分地下施設による温度の上昇を2次元伝導伝熱解析により評価。
- ・地層処分を行う長半減期放射性廃棄物（非発熱性）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温度が判断の目安値（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考えられる80℃）以下にするためには、解析の結果、両施設の離隔距離は約50mとなった。

##### 「有機物」による影響

- ・長半減期放射性廃棄物（非発熱性）に含まれる主な有機物には、アスファルト、セルロース及び廃溶媒があるが、国内外の文献等によると放射性核種の移行に影響を与えるものはセルロースの分解生成物であるイソサッカリン酸（ISA）である。解析するための入力条件として、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、その場合に母岩の放射性核種の収着性に影響を与えるISA濃度を判断の目安値  $1 \times 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup> (mol/l) 以下として、その濃度の時間経過に伴う空間的な広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。
- ・解析の結果、長半減期放射性廃棄物（非発熱性）処分の地下施設の上流側及び横方向に約20mで  $1 \times 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup> (mol/l) 以下となった。

##### 「硝酸塩」による影響

- ・長半減期放射性廃棄物（非発熱性）に含まれる硝酸塩は、国内外の文献等によると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、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が、 $4.5 \times 10^{-4}$  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。また、ベントナイト及び母岩の放射性核種の収着性については、間隙水が高いイオン強度となり競合反応を生じることによる影響は  $0.1$  mol/dm<sup>3</sup> (mol/l) 以下であれば影響ないとされている。したがって、

保守的に硝酸塩濃度で  $1 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  以下(金属の局部腐食を生じない濃度)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広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。

- ・ 解析の結果、長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分地下施設の上流側及び横方向に約 300m で  $1 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  以下となった。
- ・ なお、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)のオーバーパックの放射性核種の保持期間が 1,000 年であり、硝酸塩が約 300m まで広がるのは 100,000 年程度経過した後であり、その保持期間より十分長いものとなっている。

#### 「高 pH」による影響

- ・ 長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分施設では、支保・充填材で使用するセメント系材料に地下水が浸透し、セメント水和物が地下水に溶解することにより、地下水へ Na、K、Ca が溶出し高アルカリ性(pH12.5 以上)となる可能性がある。この高 pH の地下水(高 pH プルーム)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への影響、及びオーバーパックの腐食挙動への影響があると想定。
- ・ したがって、人工バリアの安定に影響を及ぼさない pH としては 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広がりを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。
- ・ 解析の結果、長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分地下施設の上流側に約 30m で pH11 以下となった。

#### 相互影響評価結果

- ・ 上記の ~ のそれぞれの相互影響因子の評価の結果、最もその影響範囲が広がると評価されたのは硝酸塩であり、それぞれの地下施設の離隔距離として約 300m 以上を確保すれば影響を与えないよう処分できると評価。実際の処分サイトにおいては、多様な地質環境条件に応じて、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の場合と同様、処分施設の配置(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対応が可能。
- ・ なお、長半減期放射性廃棄物(非発熱性)処分の地下施設はそれぞれの廃棄物の特性を踏まえた相互影響因子に関する評価を行い、適切な離隔距離の確保及びグルーピングを実施した上で比較的大きな空洞内に処分できることから、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体 4 万本相当)処分の地下施設の場合の約 2km(横) × 約 3km(縦)〔結晶質岩、深度 1,000m の検討事例〕の面積に比べ、今回検討の対象とした廃棄物を処分する場合に想定

される地下施設の面積は約 0.6km (横) × 約 0.4km (縦)〔結晶質岩、深度 1,000m の検討事例〕と比較的小さな面積で処分可能であり、それぞれの処分の地下施設の離隔距離の約 300m (0.3km) は地層処分場の必要な面積を大きく増加させるものではない。

併置処分における調査、建設、操業、管理等の影響

- ・ 長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) 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、管理等の全体的な事業の流れは共通である。
- ・ 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が、それぞれが互いに影響を及ぼす可能性は小さい。
- ・ したがって、併置処分によりそれぞれの各段階 (調査、建設、操業、管理等) に大きな影響を与えることはない。

諸外国の長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) の処分の状況

諸外国において地層処分を行う長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) に相当する放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体又は使用済燃料) の同一サイトで処分が計画又は検討されている国としては、スイス、仏国、ベルギー、英国及びドイツがある。各国とも、具体的な処分はまだ開始されていないが、今回の我が国の検討内容とほぼ同じく、相互影響として、各国で検討されている内容を挙げると、高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体又は使用済燃料) からの発熱、長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) に含まれる有機物、高 pH プルームの因子を評価し、各国とも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国 (スイス、英国、仏国とベルギーについては離隔距離を今後検討、ドイツは配置が未定) がある。なお、米国では、長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) に相当する放射性廃棄物 (軍事用) をニューメキシコ州の WIPP (廃棄物隔離パイロット事業) 処分場で既に処分を開始している。また、ネバダ州のユッカマウンテン処分場では、高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体と使用済燃料) の処分を計画している。

## 2. 仏国から返還される長半減期放射性廃棄物 (非発熱性) 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

電気事業者によると、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起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。「長半減期放射性廃棄物（非発熱性）の処理・処分の基本的考え方」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、低レベル放射性廃棄物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た。

#### 固化体の安定性

ビチューメン固化体と今回の低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の処分に対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ことが示された。

#### 処分への影響

電気事業者の試算によると、返還される低レベル放射性廃棄物ガラス固化体は約 28 本と少量であり、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分施設と同様に高 pH 環境を避け、廃棄体周囲に低透水性で力学的な緩衝性を有するベントナイトを設けた、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。また、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、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化材がガラス（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。

### 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と今後継続的な取組事項

「基本的考え方」では、「処分に当たっては、現在の技術に基づいた施設設計により具体的な対策を講じることとしたが、対象廃棄物の処分に特有な現象のいくつかについては、現状の知見の範囲内で被ばく線量の試算結果が厳しくなると考えられるモデルやデータを用いた。これらを用いた検討の結果、処分の安全を確保することは可能であると考えられるが、今後は処分施設設計の合理化及び詳細化、並びに安全性の評価の信頼性向上を目指して、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などを

行うことが重要である。」としており、以下に特有な現象に対する技術開発課題の取組状況と今後継続的な取組事項を示す。

(1) 特有な現象に対する技術開発課題の取組状況

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、「TRU廃棄物処分概念検討書」（平成12年3月、旧核燃料サイクル開発機構、電気事業連合会）（以下、「第1次TRUレポート」という。）では粉碎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、保守的にセメント系材料の変質に伴う物質移行特性の時間的な変化については考慮しなかった。「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、人工バリアの長期間の安定性を評価することが可能となった。

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広がり、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以下のとおり検討した。

- ・ アルカリ環境下における緩衝材（ベントナイト系材料）については、アルカリ条件におけるベントナイトの構成鉱物（モンモリナイト）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環境下における熱力学データを整備した結果、「第1次TRUレポート」では保守的に検討しなかったセメントの変質を考慮した場合の人工バリアの長期間の安定性を評価することが可能となった。
- ・ アルカリ環境下における岩については、「第1次TRUレポート」では知見不足ため評価しなかった。「第2次TRUレポート」では岩のアルカリ性に対する反応を文献及び試験結果から調査し、化学反応と物質輸送を連成した解析を実施した。その結果、アルカリ成分による周辺岩盤への影響は施設近傍で生じ放射性核種の経路全体に顕著な影響を生じないことが評価可能となった。

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（配置設計上グループ3と区分）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

め保守的にイオン強度の高い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硬化体に対する放射性核種の収着分配係数を取得し、そのデータも用いて線量試算を実施した。また、硝酸塩の地下深部での化学的変遷を考慮して、アンミン錯体の影響、ガス発生の影響及び放射性核種の溶解度及び収着分配係数への影響を評価した。

#### ガス発生影響

金属等の腐食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値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）の破壊の可能性は小さいことを評価した。

#### よう素閉じ込め性能向上のための研究開発

I-129の濃度が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つの固定化技術（岩石固化体、アパタイト固化体、AgI ガラス、BPI ガラス、セメント固化体、合成ソーダライト、合成鉛アパタイト、銅マトリクス固化体）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。8つの固定化技術のうち4つの固定化技術（岩石固化体、AgI ガラス、セメント固化体、銅マトリクス固化体）についてはよう素放出期間を10万年以上にする可能性についての見通しを得た。

#### 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は、地下水とともに移行しやすいため、「第2次TRU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廃棄体容器（高強度高緻密コンクリート容器、チタン合金 - 炭素鋼複合容器）の開発の現状を取りまとめた。両容器ともC-14の6万年間（C-14の半減期の10倍の期間）閉じ込め可能性についての見通しを得た。

## (2) 今後の継続的な取組事項

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、「代替技

術の開発」、「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」及び「事業化技術の開発」の技術的課題がある。

以上