

低レベル放射性廃棄物処分における
ウランの扱いについて

－浅地中トレンチ処分に係る規制への提言－

平成 26 年度報告書

平成 27 年 3 月

一般社団法人日本原子力学会

「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の
低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会

まえがき

低レベル放射性廃棄物の処理処分については、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、事故に由来する放射性物質で汚染された廃棄物等の課題もあり、今後の展開が不透明となっている。一方、原子力政策の如何にかかわらず、低レベル放射性廃棄物の処理処分については着実に進めていく必要がある。このようなジレンマ的な状況を鑑みると、国の動きを待つのではなく、まずは学会を中心として、以下の 4 つの観点から低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方について検討することが喫緊の課題と考えられた。このため、一般社団法人日本原子力学会では「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会を設置し、平成 25 年 11 月（平成 25 年度は研究専門委員会として実施）から活動を実施した。本報告書は、これらの観点のうち、ウランを含む廃棄物の処分の考え方について取りまとめたものである。

- (1) 低レベル放射性廃棄物処理処分に係る技術体系
- (2) ウランを含む廃棄物の処分の考え方
- (3) 低レベル放射性廃棄物処理処分を推進するための理解活動
- (4) バックエンド分野における人材確保及び育成の方策

目次

1. はじめに.....	1
2. ウランを含む廃棄物とは.....	3
2.1. ウランを含む廃棄物の発生元.....	3
2.2. ウランを含む廃棄物保管の現状.....	4
2.3. ウランを含む廃棄物の特性.....	4
2.3.1. 発生する廃棄物の性状.....	4
2.3.2. 想定される処理方法と廃棄体等.....	5
2.3.3. 想定される廃棄体等の量と廃棄体等中の放射能濃度.....	6
2.3.4. 核種組成.....	7
3. ウランを含む廃棄物に関する我が国の法制度の状況.....	8
3.1. 放射性廃棄物の処分概念.....	8
3.2. 放射性廃棄物処分に係る法令整備状況.....	9
4. 国内外における低レベル廃棄物等の浅地中処分及び関連施設の事例.....	10
4.1. 諸外国における長寿命核種を含む低レベル放射性廃棄物処分の事例.....	10
4.2. 国内の浅地中トレンチ処分場事例.....	11
4.3. 国内の産業廃棄物最終処分場事例.....	14
5. ウランを含む廃棄物処分の考え方.....	16
5.1. ウランを含む廃棄物処分の検討経緯.....	16
5.2. ウランを含む廃棄物に対して想定される処分・管理方法と検討方針.....	17
6. 放射能濃度が低いウランを含む廃棄物処分の安全確保の考え方.....	19
6.1. 浅地中トレンチ処分におけるラドンガスを含む自然放射性物質の取り扱い.....	19
6.1.1. 国際機関及び我が国の考え方.....	19
6.1.2. 浅地中トレンチ処分場における濃度管理の対応について.....	21
6.2. 第二種廃棄物埋設事業における安全確保の考え方.....	24
6.3. 第二種廃棄物埋設事業の考え方を参考とした安全評価.....	27
6.3.1. レファレンス設定に基づく埋設可能量の試算.....	27
6.3.2. 前提条件.....	29
6.3.3. 試算結果.....	29
7. 浅地中トレンチ処分に関する検討結果のまとめ.....	34
7.1. ウランを含む廃棄物の処分に係る安全規制制度の策定の必要性.....	34
7.2. ウランを含む廃棄物の特性と検討課題.....	34
7.3. ウランを含む廃棄物処分の安全確保の方向性についての取りまとめ.....	34
8. おわりに.....	37

引用文献	38
用語集	39
委員会活動	45
参考資料 1 海外におけるウランを含む廃棄物の処分概念の整理	49
参考資料 2 産業廃棄物処分場の安全規制の考え方	61
参考資料 3 浅地中トレンチ処分における地形変化に関する検討例	69
参考資料 4 ウランを含む廃棄物処分における被ばく線量の試算	89
参考資料 5 ラドンガスによる影響について	195
参考資料 6 浅地中トレンチ処分の概念拡張に関する参考事例	223

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い従来の原子力政策の見直しが図られ、被災地の復旧を含め、我が国の原子力政策の一つであるバックエンド対策の重要性が改めて認識されてきているところである。この一環として、バックエンド分野、特に放射性廃棄物処分についても、既存の低レベル放射性廃棄物処分である浅地中ピット（コンクリートピット）処分及び浅地中トレンチ処分に係る安全規制について見直しが行われ、新規規制基準が施行された。しかしながら、燃料加工施設等から発生する専らウランで汚染された、いわゆるウラン廃棄物（「ウラン廃棄物」は、廃棄物の発生元で整理した原子力委員会の定義であるが、ウランそのものではなく、ウランが付着した廃棄物を指すことから、本報告書では「ウランを含む廃棄物」と定義する。）については、処分方策が未検討のままとなっている。このため、日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会では、ウランを含む廃棄物の処分の考え方を喫緊の課題の1つとして取り上げ、平成25年度より検討を行ってきたところである（平成25年度は、研究専門委員会として検討を実施）。

核燃料サイクルの中では、ウランの製錬からウラン燃料加工等の過程において、さらには、核燃料物質使用施設においてもウランの取り扱いにより、ウランを含む廃棄物が発生している。このようなウランを含む廃棄物の処分の安全確保の考え方については、旧原子力安全委員会が決定した「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」（平成22年8月9日原子力安全委員会決定、以下、二種埋指針）[1]において、「なお、ウラン系列核種が主な核種となるいわゆるウラン廃棄物については、自然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわたり放射能の減衰が期待できず、かつ、安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、本基本的考え方の適用対象外とする。」とされ、現在の第二種廃棄物埋設の事業（以下、第二種埋設事業）の安全規制の対象外となっている。

一方、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、原子力機構をはじめとする我が国の研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物（以下、研究施設等廃棄物）の埋設事業の実施主体として、核燃料加工施設及び核燃料物質使用施設から発生する低レベル放射性廃棄物もその事業対象廃棄物としており、研究施設等廃棄物の埋設事業の実施に際して、ウラン系列核種を主な核種とする低レベル放射性廃棄物の安全規制制度の整備が急務となっている。

このような状況を踏まえて、本特別専門委員会では、ウランを含む廃棄物のうち放射能濃度が低いウランを含む廃棄物を対象として、研究施設等廃棄物として浅地中トレンチ処分場で処分を行う場合の安全確保策についての検討を行い、規制への提言として取りまとめを行った。

ウランを含む廃棄物に含まれる主要な放射性物質であるウランの特徴は、半減期が極めて長く放射能の減衰が期待できないこと、数万年以降には子孫核種のビルドアップによる放射能の増加があること、子孫核種であるラドンガスの発生が有意にあること、及び天然賦存核種であることが挙げられる。これらの特性を踏まえた、浅地中処分方策の確立のための安全確保の考え方について検討した。

ウランの特徴を考慮した安全確保の考え方については、ウランが自然放射性物質であることから、International Atomic Energy Agency (以下、IAEA)における Basic Safety Standard (以下、BSS)等の関連文献の調査を実施し、放射能濃度が 1Bq/g 以下であれば自然に存在するウランの放射能濃度の変動の範囲内であることを整理した。さらに、旧原子力安全委員会の二種埋指針では、この考え方を部分的に取り入れ、「自然放射性物質のクリアランスのための国際基準濃度よりも低くなる場合は、散逸するラドンによる被ばくを考慮する必要はない。」と判断したと解釈されることを示した。これらのことから、本報告では、埋設施設でのウラン廃棄物の定置を一定の区画で適切に管理し、処分場平均でのウラン濃度をクリアランスのための国際基準濃度の 1Bq/g 以下に管理することにより考慮の必要のないレベルとなり、ラドンガスも含めた自然放射性物質による被ばくに対応できる方策を提示した。

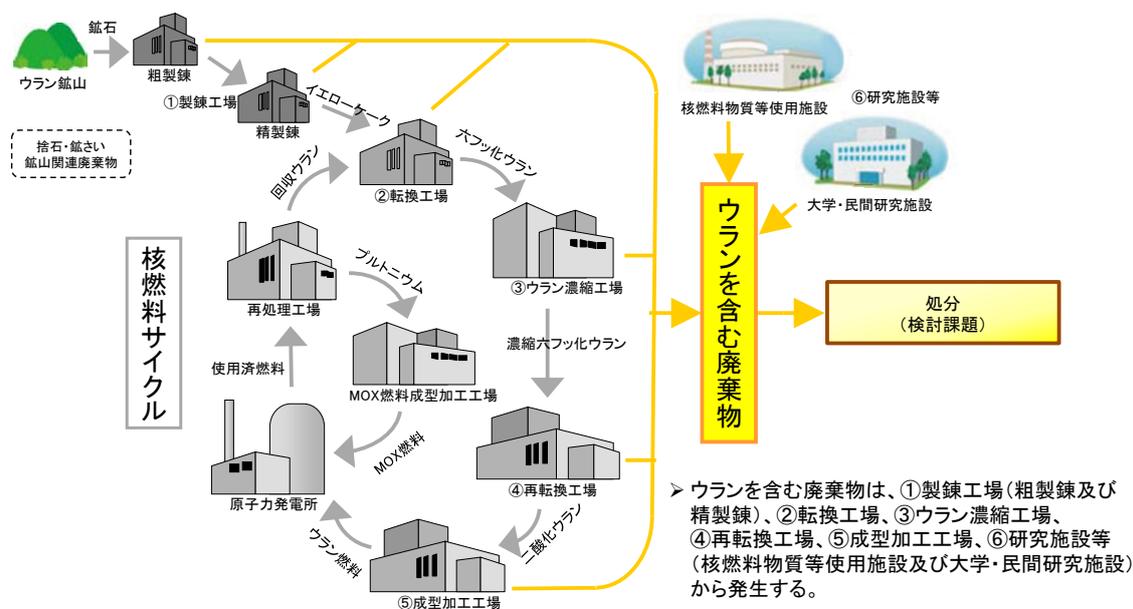
また、既存の二種埋指針の考え方を基本とした場合には、例えば降雨浸透防止機能のある覆土を適切に施す等の確実な安全確保の方法について十分検討して当初の設計・施工を図り、それを示すことが重要であることを示した。その上で、従来の第二種埋設指針を参考とした安全評価の結果及び処分場内での管理方法から、トレンチ処分の成立可能性があるウラン濃度の範囲を示した。なお、長期経過後にその影響が顕在化する特性については、これまで浅地中処分を検討されていなかったことから、想定される自然事象変化の影響について参考として整理した。

2. ウランを含む廃棄物とは

2.1. ウランを含む廃棄物の発生元

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会が取りまとめた「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」(平成12年12月14日)[2]において、「原子炉施設の運転に使用されるウラン燃料は、その原料となるウラン鉱石から、製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程を経て製造される。これらの各工程を行う施設の運転・解体に伴い放射性廃棄物が発生する。これらの放射性廃棄物をウラン廃棄物という。」とされている。

さらに同報告書では、「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について」(平成10年5月、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会)[3]で述べたように、RI・研究所等廃棄物¹⁾にもウラン廃棄物に相当する放射性廃棄物が存在する。これについては、対象廃棄物に準じて処分を行うことが適当である。」とされている。



2.2. ウランを含む廃棄物保管の現状

これまでに発生したウランを含む廃棄物は、各施設の操業開始後、発生事業者が保管している状態にあり、貯蔵設備容量の90%を超えている事業所も存在している（図2）[5]。このため、このままでは、ウラン燃料加工や老朽化した施設の廃止措置への支障となる状況であり、早急な処分が望まれている。

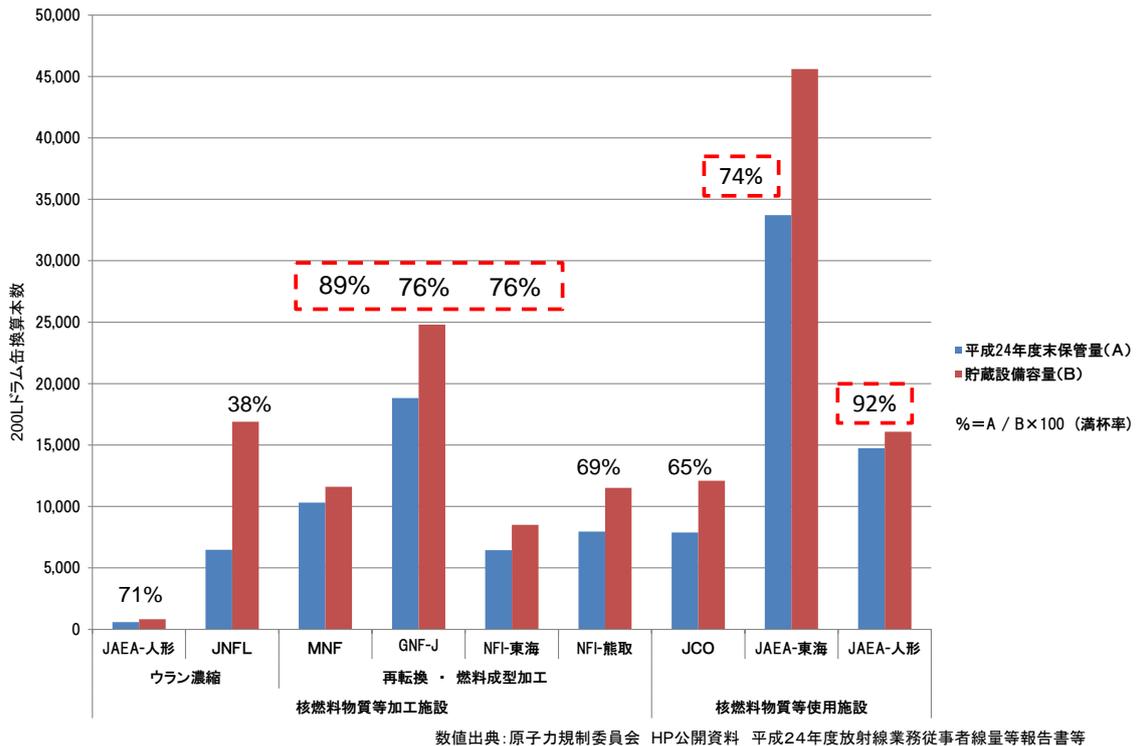


図2 ウランを含む廃棄物保管の現状

2.3. ウランを含む廃棄物の特性

2.3.1. 発生する廃棄物の性状

各施設から発生するウランを含む廃棄物は図3[6]に例として示しているが、主に以下のものに分類される。

- 1) ウランを取扱う設備の交換機器類や工具、ウエスや紙タオル等の雑固体であり、主な材質は、炭素鋼やステンレス鋼等の金属類、塩化ビニル等のプラスチック類である。さらに、これらのうち、可燃物や難燃物を焼却した後の焼却灰も廃棄物として発生する。
- 2) ウランを取扱う施設の排気処理に伴い発生するプレフィルタ及びHEPAフィルタがある。フィルタの材料としては、ろ材の材質にはグラスウール、セパレータにはアルミニウム、枠材として合板等が例として挙げられる。また、ケミカルトラップ充填剤(NaF、活性アルミナ)等も発生する。

- 3) 転換、再転換工程や湿式スクラップ回収、分析等の工程において発生する廃水処理として行う凝集沈殿やイオン交換等に伴い、廃泥、沈殿物（鉄澱物、シリカ澱物、フッ化カルシウム）等がスラッジとして発生する。
- 4) 施設の解体や交換に伴いウランが付着した金属類やコンクリートも発生する。



日本原子力研究開発機構、日本原燃(株)、(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、三菱原子燃料(株)、原子燃料工業(株)、(株)ジェー・シー・オー提供

図 3 ウランを含む廃棄物の例

2.3.2. 想定される処理方法と廃棄体等²

各廃棄物は、性状に応じて適切に処理を行い、現行の原子炉等規制法に基づき処分されることが想定される。すなわち、コンクリート等は未処理のままフレコンバッグに収納されるが、可燃物(焼却設備により難燃物も対象)は焼却、金属類は圧縮処理による減容又は処理せずにそのままの状態、スラッジは脱水、フィルタ類は各パーツに分解して処理を行う。これらの処理後、以下の固化処理等により廃棄体等とすることが想定される。

- 均質又は均一固化体（セメント固化等）
- 充填固化体（セメント充填固化）
- 金属容器への収納（砂充填等）
- フレコンバッグへの収納

埋設処分に用いる容器は、200Lドラム缶及び1m³程度の角型金属容器やフレコンバッグも想定されている。

²トレンチ処分を対象としても、コンクリート等廃棄物のみならず、スラッジ等は固化処理することを想定しているため、本報告ではコンクリート等廃棄物と廃棄体を合わせて「廃棄体等」とした。

なお、実際の処分に際しての廃棄体等の性状及び容器については、各事業者の廃棄物の発生と処理施設の条件、廃棄体の輸送条件及び埋設施設の設計に基づくことになる。

2.3.3. 想定される廃棄体等の量と廃棄体等中の放射能濃度

ウランを含む廃棄物の想定される廃棄体等の量を図 4 に示す。現有の廃棄物だけでなく、今後発生する廃棄物として 2050 年頃までに発生する廃棄体等の量を集計するとともに、廃棄体等中の放射能濃度を算定したものである。このうち、現行の金属を対象としたクリアランス制度を活用すると、埋設処分対象となる廃棄物量は約 5 万 t である。200L ドラム缶換算では、1 本当たりの重量を 0.2~0.4t と仮定すると、我が国で想定されるウランを含む廃棄物の廃棄体等の量は、合計で約 13 万~約 25 万本となる。

廃棄体等中のウラン濃度の範囲は、1 万 Bq/g を超える廃棄物が僅かに発生するが、埋設対象廃棄物のうち 84%が 1Bq/g 以下であること(クリアランス対象物が 56%、埋設対象廃棄物は 28%)、10Bq/g 以下までが 93%を占め、100Bq/g 以下では 98%を占めることとなる。

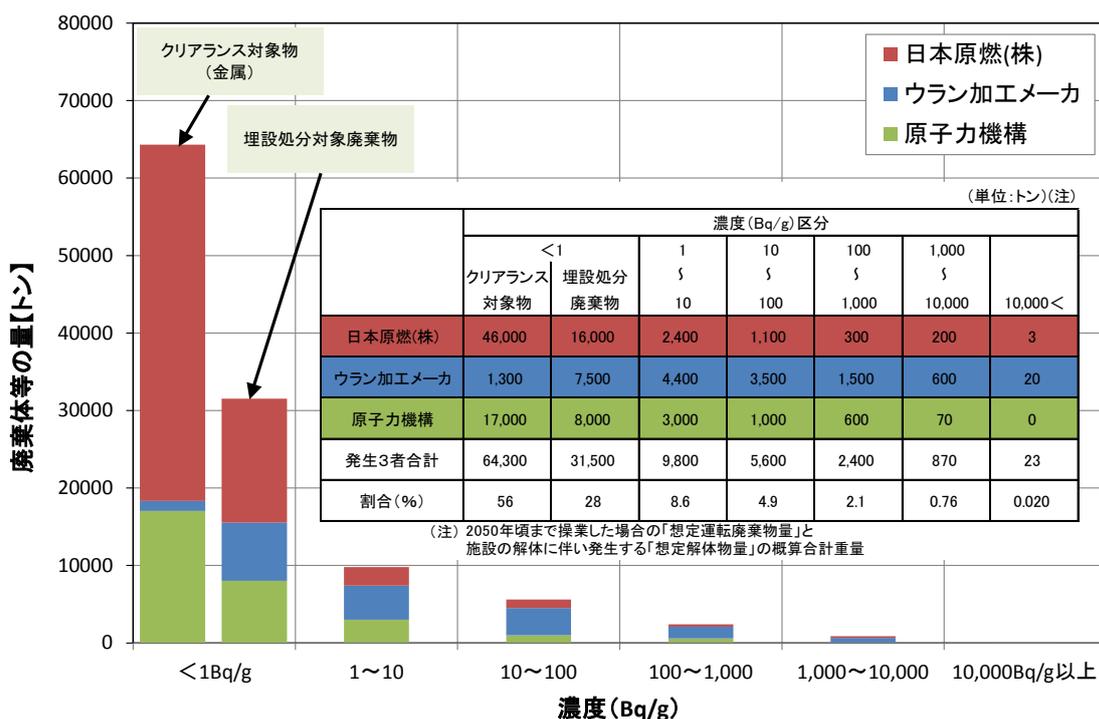


図 4 2050 年頃までの廃棄体等の発生量

2.3.4. 核種組成

ウランを含む廃棄物に含まれる放射性物質は、主に U-234、U-235、U-238 である。その他に再転換・成型加工事業者の再処理回収ウラン及びそれを転換・濃縮した濃縮回収ウランでは、Np-237 やプルトニウムといった超ウラン元素や Te-99、Ru-106 や Sb-125 といった核分裂生成物も含まれる。

これらの放射性物質の組成比は、使用するウラン燃料の濃縮度によって異なる。表 1 に濃縮度別の核種組成の例を示す。本報告で対象とするウランを含む廃棄物の発生施設では、天然ウランや濃縮ウラン及び劣化ウランをプラント内で取り扱っており、様々な核種組成のウランを含む廃棄物が発生している。したがって、本報告においては、安全評価上その影響が大きい U-234 濃度が高い核種組成として、燃料加工施設において取り扱われる最大の濃縮度である 5%濃縮ウランに基づく核種組成を前提として、後述する安全評価に用いた。

表 1 ウランの組成 (天然ウラン、濃縮ウラン、劣化ウラン)

U-235含有割合 (%) 半減期	U-234 (Bq/gU) 2.45×10^5 年	U-235 (Bq/gU) 7.04×10^8 年	U-238 (Bq/gU) 4.46×10^9 年	合計 (Bq/gU)
0.3	4.34E+03	2.41E+02	1.24E+04	1.70E+04
0.45	7.29E+03	3.61E+02	1.24E+04	2.01E+04
0.711	1.24E+04	5.70E+02	1.24E+04	2.53E+04
1.0	1.81E+04	8.03E+02	1.24E+04	3.13E+04
2.0	3.78E+04	1.61E+03	1.23E+04	5.16E+04
3.0	5.74E+04	2.41E+03	1.21E+04	7.20E+04
4.0	7.71E+04	3.21E+03	1.20E+04	9.23E+04
4.5	8.69E+04	3.61E+03	1.20E+04	1.02E+05
5.0	9.67E+04	4.01E+03	1.19E+04	1.13E+05

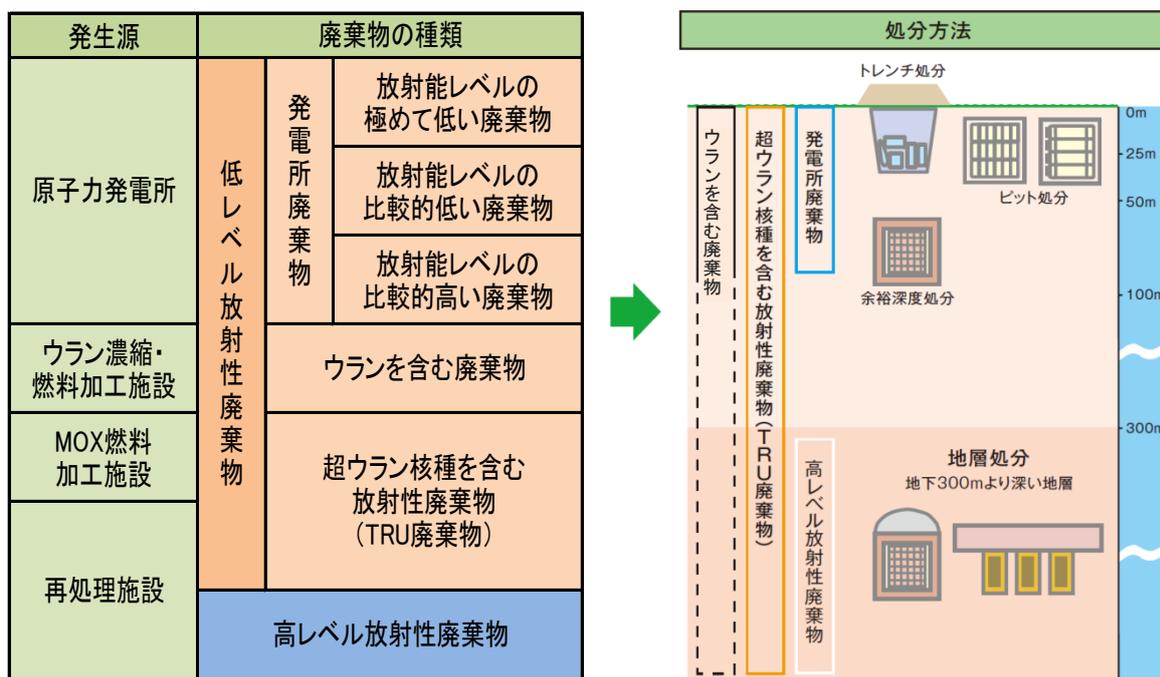
* ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書 [6]を基に修正

3. ウランを含む廃棄物に関する我が国の法制度の状況

3.1. 放射性廃棄物の処分概念

我が国の放射性廃棄物の処分概念は、放射能濃度及び性状に応じて適切に区分して処分を行うものであり、具体的には深度や漏出を抑制するためのバリアの違いにより以下の4つに分類される（図5[7]）。

- 浅地中（トレンチ）処分 : 地下50m未満の浅い地中に人工バリアを設けずに処分する方法
- 浅地中（ピット）処分 : 地下50m未満の浅い地中にコンクリート等の人工バリアを設置し処分する方法
- 余裕深度処分 : 地下50m～100m程度の一般の地下利用に余裕を持った深度に人工バリアを設置し処分する方法
- 地層処分 : 地下300mより深い地層中に人工バリアを設置し処分する方法



電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集」より

図5 放射性廃棄物の処分概念

3.2. 放射性廃棄物処分に係る法令整備状況

これらの処分概念に対して、原子炉等規制法においては、高レベル放射性廃棄物、及び長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU 廃棄物）のうち濃度の高い廃棄物を対象とした地層処分の安全規制制度として、第一種廃棄物埋設の事業が設けられている。また、余裕深度処分、浅地中ピット処分、及び浅地中トレンチ処分の安全規制制度として第二種埋設事業が設けられている。

この第二種埋設事業における余裕深度処分の対象廃棄物の発生施設は MOX 燃料加工施設、再処理施設、試験研究用等原子炉施設、及び発電用原子炉施設とされており、浅地中ピット処分、浅地中トレンチ処分対象廃棄物の発生施設は試験研究用等原子炉施設、及び発電用原子炉施設とされている。このため、ウランを含む廃棄物の埋設処分を行うには、第二種埋設事業においてウラン加工施設及び核燃料物質使用施設等を対象施設として追加する必要がある。これらの整備状況について表 2 に示す。

表 2 放射性廃棄物に係る規制制度検討状況

● 処分方法別

		処分方針 (原子力委員会)	安全規制 関係法令	技術基準の内規
高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体) 【地層処分】		整備済	整備済	未整備
低 レ ベ ル 放 射 性 廃 棄 物	長半減期低発熱放射性廃棄物 (うち【地層処分】相当の廃棄物)	整備済	整備済	未整備
	【余裕深度処分】 対象 放射性廃棄物(MOX燃料加工 施設、原子炉施設、再処理施設)	整備済	一部整備済	未整備
	【浅地中(ピット)処分】 対象 放射性廃棄物(原子炉施設)	整備済	整備済	整備済
	【浅地中(トレンチ)処分】 対象 放射性廃棄物(原子炉施設)	整備済	整備済	整備済

● 処分方法共通

		処分方針 (原子力委員会)	安全規制 関係法令	技術基準の内規
低 レ ベ ル 放 射 性 廃 棄 物	長半減期低発熱放射性廃棄物 (うち地層処分相当以外の廃棄物)	整備済	一部整備済	一部整備済
	研究施設等廃棄物	整備済	一部整備済	一部整備済
	ウラン廃棄物	整備済	未整備	未整備

原子力委員会 新大綱策定会議(第5回)(平成23年3月8日)
資料第3-1号「放射性廃棄物の処理・処分を巡る取組の現状について」を基に修正

* 余裕深度処分については、原子力規制委員会規則(設計基準)から、除外されている。

4. 国内外における低レベル廃棄物等の浅地中処分及び関連施設の事例

ウランを含む廃棄物の処分に係る安全確保の手法を検討するため、諸外国における低レベル廃棄物処分の法規制及び処分事例と、国内の浅地中トレンチ処分施設の運用状況を整理した。また、海外では産業廃棄物との処分場での混合処分の事例もあることから、国内の産業廃棄物処分の基準類についても整理した。

4.1. 諸外国における長寿命核種を含む低レベル放射性廃棄物処分の事例

ウランを含む廃棄物に相当する長寿命核種を含む低レベル放射性廃棄物の処分が既に実施されている国のうち、米国、カナダ、英国、フランス、スウェーデンでの処分事例や法規制をまとめ、我が国での処分制度の参考となるように整理した（参考資料 1）。

表 3 各国の処分場における対応状況の特徴の分類

課題において整理すべき内容		長期評価処分場 クライブ、ポートホープ、ドリッグ、FA-VL処分概念	短期評価処分場 WCS、クリフトンマーシュ(CM)、オーブ、モルヴィリエ、グリタ
1	浅地中処分におけるウランを含む廃棄物の取扱い	ウランを含む廃棄物を他のLLWと区分しないで処分している。	
2	ウランを含む廃棄物の浅地中処分等における放射能濃度等の基準	輸送単位、処分場全体の廃棄物の平均で数百Bq/g、廃棄体の最大で数千Bq/g程度の範囲。 主にα核種の濃度が高い(クライブ)、又は存在割合の大きい処分場(ポートホープ、FA-VL)	主にα核種の平均放射能濃度基準が～数100Bq/gの処分場
3	シナリオの種類と対応する線量基準	地下水シナリオ 人間侵入シナリオ	線量拘束値250μSv/年(米国、フランス)。リスク基準 10^{-6} /y(発生確率1で20μSv/y:英国)。 基準値無し(米国、フランス)。3～20mSv/年(英国)。5mSv/y(米国規則改定案)
4	ウランの子孫核種であるラドンの線量評価	ウラン起源 (参考)ラジウム起源	評価している。(評価期間まで) 評価していない。 オーブ以外は評価している。(オーブはラジウム廃棄物の受入無し)。
5	評価期間	地下水シナリオ 人間侵入シナリオ	各国で年数の長さは様々であるが、シナリオにおけるピーク線量の含む時期まで評価を実施する方針。 1万年程度(その後は定性的評価など) 500年以下(処分場の管理期間など)。
6	長期評価における地質環境、バリア機能及び生活環境の変化の設定	自然環境の変化の設定 バリア機能の変化の設定	評価・考慮している。(WCS、CMを含む) 未確認。(グリタは評価していない)。 パラメータスタディや処分場崩壊が想定された評価など様々な方法で実施。 人工バリア機能喪失または損傷なし等の比較的単純な評価。
7	ウランの子孫核種の生成	評価している。(クライブ、ドリッグ、FA-VL、CM)	崩壊連鎖の全てまで評価していない。(CM除く)
8	跡地利用(人間侵入)シナリオの長期評価における廃棄物層の放射能インベントリの減衰以外の減少	考慮していない。	
9	安全評価における埋設施設の廃棄物層の放射能濃度の平均化の設定、及び実際の廃棄物の埋設方法の管理について	平均放射能濃度で評価している(ポートホープは一部区分値)。廃棄物の深度管理を実施。(FA-VLは未定)。	平均放射能濃度で評価している(WCSは発生施設ごとの放射能濃度でそれぞれ評価)。
10	管理期間の長さ	100年以上500年以下。(オーブ、WCSを含む)	5年～30年(オーブとWCS除く)。
11	管理期間終了後の土地利用	米国では国又は州の土地で処分を実施。カナダは長期管理施設。その他の施設では、制度的管理も想定されるが明確にされていない。	

諸外国では、核燃料加工施設や使用施設から発生するウランを含む廃棄物をその他の低レベル放射性廃棄物と区別していない(表 3)。この状況を踏まえ、ウランを含む廃棄物を第二種埋設事業の対象に含めた場合の課題を、上記の国の放射性廃棄物処分事例及び法規制を基に抽出・整理した。その結果、埋設したウランから生成するラドンガスに係る安全評価、ウランの子孫核種に係る安全評価、地質の安定性等の評価上の考慮の観点から、次のような二通りの対応が見られた。一つは、サイト内侵入シナリオの評価期間が1万年程度で、その後は定性的な評価を行う米国のクライブ等の長期評価処分場であり、もう一つは、評価期間が処分場管理期間である数百年までのフランスのオーブ等の短期評価処分場

であった。我が国においても、ウランを含む廃棄物の浅地中処分に係る制度化にあたっては、これらの処分場の対応が参考になると考えられる。

次に、我が国における第二種埋設事業の代替案となり得る処分方法として、処分限定クリアランス及び極低レベル放射性廃棄物 (VLLW) と産業廃棄物との混合処分の様な処分方針の海外情報を整理した。VLLW の産廃処分と処分限定クリアランスの基準は、各国で異なり、数 Bq/g～200Bq/g の範囲であった。この濃度範囲のウランでは、ラドンガスの生成は考慮されていなかった。

さらに、制度的な対応の観点から、長寿命低レベル放射性廃棄物の処分と長期保管について海外情報を整理した。米国、フランスにおける長寿命低レベル放射性廃棄物の処分では、1 万年までは定量的な評価、1 万年以降は定性的な評価とする方法が検討されている。1 万年までの評価ではウラン起源のラドンガスによる安全評価も行われている。処分ではないが、長期保管については、長期間の能動的な制度的管理（例えば、モニタリング、監視、維持管理等）を継続し、管理期間終了後に廃棄物の回収や処分を決めるというカナダの事例が参考となる。ここでの技術的な基準は、産業廃棄物処分場や放射性廃棄物処分場の安全性に係るものと同じであった。

4.2. 国内の浅地中トレンチ処分場事例

浅地中トレンチ処分については、原子力機構において、動力試験炉 (JPDR) の解体に伴い発生したコンクリート等廃棄物 (埋設対象廃棄物：約 1,670 トン) のトレンチ埋設処分の安全性実証を目的とした埋設実地試験が行われている。概略図を図 6 に、外観写真を図 7～図 9 に示す。

素掘りの埋設用トレンチは 6 区画に仕切られ、区画ごとにフレキシブルコンテナ等に収納したコンクリート廃棄物が 3 段に定置された。廃棄物の定置作業は上部に雨水浸入防止用テント (移動式) を設置して行われた。定置した廃棄物の間は空隙が残らないように土砂が充填され、段の間には約 25cm の土砂の層が設けられ、さらにトレンチ外周と最上段の廃棄物の上部に約 30～40cm の厚さで透水性の低い土砂層が充填された。透水性の低い土砂層の上面には、周辺の土壌より透水性が大きくなるように土砂を締め固めながら、厚さ約 2.2m の覆土が施され、その上面に植生が施された。廃棄物埋設地の管理期間は約 30 年とされ、平成 7 年～平成 9 年の埋設段階では、管理区域 (覆土施工完了後は解除し、埋設保全区域)、及び周辺監視区域の設定、放射線モニタリング、巡視点検等が行われた。また、平成 9 年～平成 37 年まで予定されている保全段階では、埋設保全区域の設定が継続され、巡視点検等による管理が行われている。

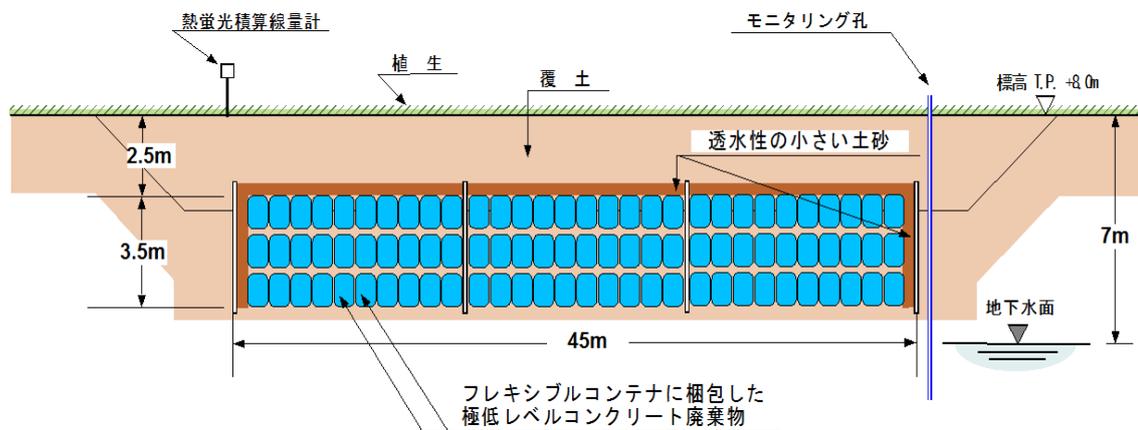


図 6 埋設実地試験 概略図

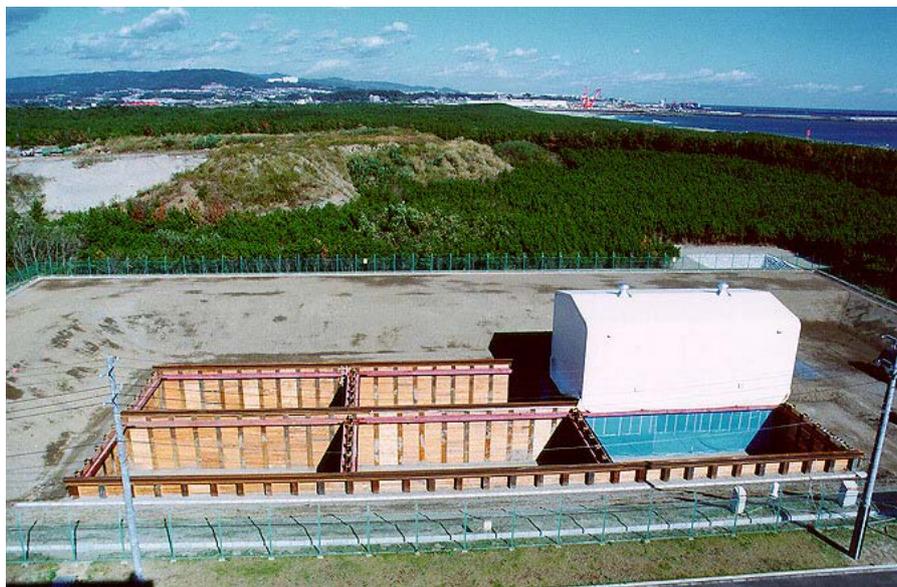


図 7 廃棄物埋設用トレンチ外観及び雨水浸入防止用テント（定置開始前）



図 8 フレキシブルコンテナ封入廃棄物の定置作業状況



図 9 廃棄物埋設地（保全段階）

4.3. 国内の産業廃棄物最終処分場事例

海外では産業廃棄物処分場にウランを含む廃棄物を埋設している事例があること、ウランは長半減期核種であるため放射能の減衰がほとんどないことから、時間経過による減衰のない非放射性の有害物に係る国内の産業廃棄物処分場の安全規制の考え方について調査・整理した。

表 4 産業廃棄物の最終処分場の維持管理基準

最終処分場の種類	構造基準	維持管理基準
安定型最終処分場	・浸透水採取設備の設置	・搬入廃棄物の展開検査の実施 ・浸透水の水質検査の実施 ・周縁モニタリングの実施
管理型最終処分場	・浸出液処理施設の設置 ・二重の遮水層の設置	・雨水流入防止措置 ・周縁モニタリングの実施 ・放流水水質の排出基準の遵守 ・発生ガスの適正管理
しゃ断型最終処分場	・外周・内部仕切り設備などの貯留構造物の仕様を設定 ・一区画の埋立面積(50m ² 以下)と埋立容量(250m ³ 以下)の規模を設定	・雨水流入防止措置 ・周縁モニタリングの実施

表 5 産業廃棄物の最終処分場の廃止基準概要

	安定型処分場	管理型処分場	しゃ断型処分場
共通基準	1. 最終処分場の外に悪臭が発散しないように必要な措置が講じられていること。 2. 火災の発生を防止するために必要な措置が講じられていること。 3. ねずみが生息し、はえその他の害虫が発生しないように必要な措置が講じられていること。 4. 地下水等の水質検査の結果、次のいずれにも該当していないこと。ただし、水質の悪化が認められた場合においてはこの限りではない。 ・現に地下水質が基準に適合していないこと。 ・検査結果の傾向に照らし、基準に適合しなくなるおそれがあること。 5. 現に生活環境保全上の支障が生じていないこと。		
個別基準	6. 埋立地からのガスの発生がほとんど認められない、又はガス発生が増加が2年以上にわたり認められないこと。 7. 埋立地の内部が周辺の地中温度に対して異常な高温になっていないこと。 8. おおむね50cm以上の覆いにより開口部が閉鎖されていること。		—
	9. 地滑り、沈下防止工、雨水排水設備について構造基準に適合していないと認められないこと。	11. 囲い、立て札、調整池、浸出液処理設備を除き構造基準に適合していないとは認められないこと。	14. 地滑り、沈下防止工及び外周仕切設備が構造基準に適合していないと認められないこと。
	10. 浸出水が次の要件を満たすこと。 (1)地下水等検査項目:適合 (2)BOD:20mg/L以下	12. 保有水等集排水設備により集められた保有水等の水質が次に掲げる項目・頻度で2年以上にわたり行った水質検査の結果、排水基準等に適合していると認められること。 (1)排水基準等:6月に1回以上 (2)BOD, COD, SS:3ヶ月に1回以上	15. 外周仕切設備と同等の効力を有する覆いにより閉鎖されていること。
	13. 雨水が入らず、腐敗せず保有水が生じない廃棄物のみを埋め立てている処分場の覆いについては、沈下、亀裂その他の変形が認められないこと。	16. 埋め立てられた廃棄物又は外周仕切設備について、環境大臣の定める措置が講じられていること。	

(抜粋) 一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部を改正する命令

(総理府、厚生省の共同命令) (平成 10 年 6 月 16 日)

産業廃棄物に係る維持・管理基準及び廃止の基準について表 4 及び表 5 に示す（参考資料 2）。産業廃棄物処分場では、廃止後は立地自治体の知事による記録の保管が永久に義務付けられており、廃棄物埋設地の形質変更に対しては立地自治体の知事の許可が必要となっている。なお、しゃ断型処分場は、有害物の漏えいがない構造基準を定めているが、廃止の基準が定められていないことから、現状、保管・管理が継続されている状況である。このような施設の保管・管理の仕組みは、半減期が極めて長く放射能が減衰しないウランを含む廃棄物の処分を検討する上での参考になると考えられるが、現行の放射性廃棄物処分の考え方である、所定の管理期間が経過した後は人間の管理を必要としない状態を目指す制度とは異なる。そのため、将来的にはこれらの考え方について検討と整理が必要と考えられる。

5. ウランを含む廃棄物処分の考え方

5.1. ウランを含む廃棄物処分の検討経緯

原子力委員会では、平成 12 年の「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」において、ウランは長半減期核種であるため、放射能の減衰に応じて管理を行う浅地中処分の考え方が適用できないとして、処分にあって、

- 1) 放射能が数十万年にわたって増加するため、長期における跡地利用シナリオ（建設・居住シナリオ）の線量が大きくなる。したがって、長期にわたり廃棄物埋設地の受動的な制度的管理を継続する等の管理の在り方について検討が必要。
- 2) 自然放射性物質であることを考慮した線量目標値（ $300 \mu\text{Sv/年}$ 等）の設定の検討、自然過程による被ばくと、人為事象による被ばくの区別が必要。
- 3) 長期評価に際し、シナリオ、モデル及びパラメータの不確実性や、シナリオの発生の可能性（通常、頻度小）の考慮が必要。

との提言がなされた。なお、RI・研究所等廃棄物のウラン廃棄物に相当する放射性廃棄物については、ウランを含む廃棄物と同様の考えで処分を行うことが可能と考えられることが示された。

また、平成 12 年の「原子力の研究・開発及び利用に関する長期計画」 [8]及び平成 17 年の「原子力政策大綱」 [9]のいずれにおいても、「発電所廃棄物以外の低レベル放射性廃棄物の処分の実現に向けた取り組みに当たっては、発生源別に処分場を用意して処分することだけでなく、処分方法が同じ廃棄物を発生源の違いによらず同一の埋設施設への処分も検討することが必要である。」及び「放射性廃棄物の処理・処分は、発生者や発生源によらず放射性廃棄物の性状に応じて一元的になされることが効率的かつ効果的である場合が少なくないことから、国はこれが可能となるように諸制度を運用すべきであり、必要に応じて、このための更なる対応策を検討すべきである。」との提言がなされており、放射性廃棄物の処分は発生源別だけでなく、発生源の違いによらずに同一の処分場に処分することも検討する方向性が示されている。

一方、旧原子力安全委員会においては、平成 18 年 4 月に「研究所等から発生する放射性固体廃棄物の浅地中処分の安全規制に関する基本的考え方」 [10]において、研究所等から発生するウランを含む廃棄物相当の廃棄物に加え、放射能濃度や性状が同等なウラン燃料加工、濃縮施設等から発生する廃棄物も検討対象とされた。この中では、ウランを含む廃棄物を研究炉施設や RI 使用施設から発生する廃棄物と同じ処分場に処分するに当たり、「ウラン等を含む検討対象廃棄物も含めて管理期間終了後の安全評価を行い、その結果が線量のめやす値を超えなければ、原子炉廃棄物と同様の浅地中処分を行うことが可能である。」と示された。ただし、原子力委員会の課題事項とされたウランが自然放射性物質であることを考慮した処分の線量基準の考え方については、課題として示されたのみであり、浅地中処分における長期評価の具体的な検討は実施されなかった。このような状況を受け、平

成 19 年 5 月の「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」（以下、濃度上限値評価）[11]では、「なお、ウラン廃棄物のように天然起源の核種を主たる組成とする廃棄物については、天然の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、そのような廃棄物を対象とする埋設計画が具体化する段階で検討することとする。」とされ、二種埋指針でも「なお、ウラン系列核種が主な核種となるいわゆるウラン廃棄物については、天然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわたり放射能の減衰が期待できず、かつ、安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、本基本的考え方の適用対象外とする。」とされた。また、ウランで問題となるラドンガスの扱いについては、「ウラン系列の放射性物質であるラドンの影響については、天然起源の放射性物質の規制の考え方を部分的に適用し、自然放射性物質のクリアランスのための国際基準濃度よりも低くなる場合は、散逸するラドンによる被ばくを考慮する必要はない。」とされた。

したがって、我が国においてウランを含む廃棄物に対し、他の研究施設等廃棄物と一緒に浅地中処分できる方策は示されたものの、浅地中処分の放射能濃度の上限値、長期の安全評価の方法等の具体的な検討は実施されていない。

5.2. ウランを含む廃棄物に対して想定される処分・管理方法と検討方針

これまで我が国におけるウランを含む廃棄物の特性を踏まえた処分に際しての課題を整理すると以下の通りである（図 10）。

- 1) 「研究所等から発生する放射性固体廃棄物の浅地中処分の安全規制に関する基本的考え方」では、長半減期核種でも濃度が低い場合には原子炉廃棄物と同様の処分を行うことが可能とされていることから、既存の第二種埋設事業の浅地中処分とした検討
なお、この際の課題は以下の通りである。
 - ・ ウラン及びその子孫核種は、自然に存在する放射性物質であるため自然放射能との関連の考慮
 - ・ ウランの崩壊に伴い生成する子孫核種であるラドンガスによる被ばくへの対応
 - ・ 半減期が極めて長く減衰に期待できないことを踏まえ、長期事象を踏まえた考え方の整理が必要
- 2) 浅地中処分の概念を拡張する考え方として、長期にわたり廃棄物埋設地の受動的な制度的管理を継続する等の管理の在り方について検討
- 3) 浅地中処分では対応せず、例えば、クリアランスと地層処分の組み合わせのような対応の検討

これらを整理した検討課題を踏まえ、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物を、研究施設等廃棄物として第二種埋設事業の浅地中処分を行うことを想定し、課題となる安全確保の方法や埋設可能な放射能濃度について検討することとした。

また、検討にあたり、浅地中処分施設は地表に近く自然事象等による攪乱の可能性が高いことから人工バリアの機能を長期にわたり定量的に示すことは一般的に困難であること、及びウランが地表に広く存在していることから、埋設処分の方策として浅地中トレンチ処分について検討することとした。図 10 で、本報告書での検討範囲を赤枠で示す。

なお、本報告書での検討の範囲外となる二種埋設事業の浅地中処分の概念を拡張して対応する、あるいは浅地中処分に対応しないウランを含む廃棄物については、制度の整備状況等に応じて、今後、議論が必要と考えられる。その際の検討の参考となりうる事例等を参考資料 6 に整理した。

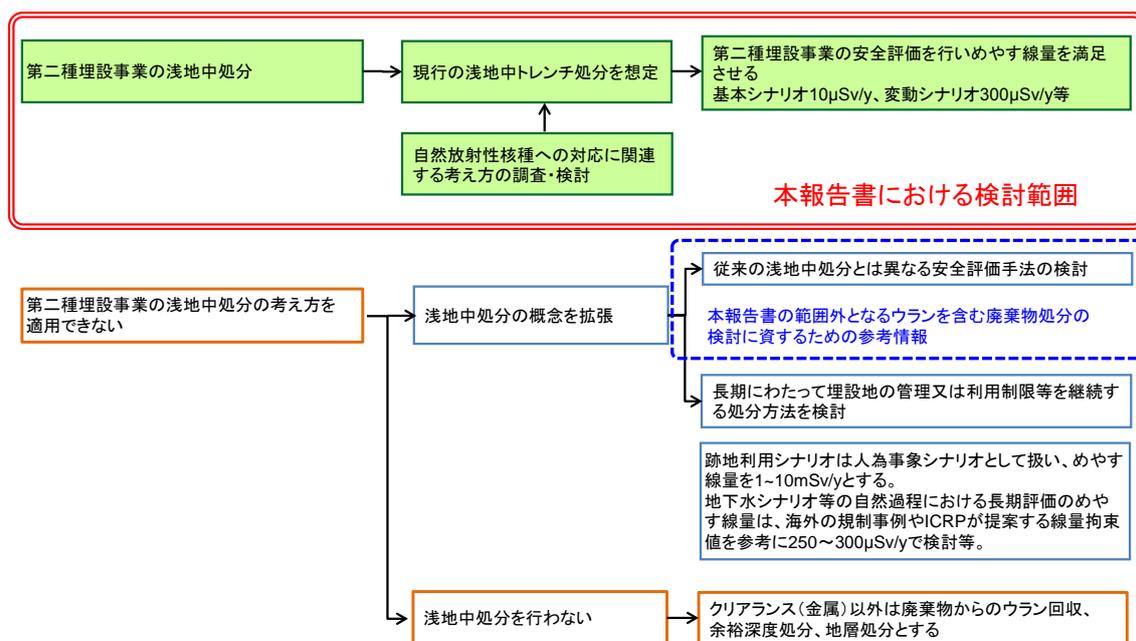


図 10 浅地中処分に係る課題を踏まえた考え方

6. 放射能濃度が低いウランを含む廃棄物処分の安全確保の考え方

放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の浅地中トレンチ処分の安全確保の考え方について検討を実施した。放射能濃度が低いウランを含む廃棄物は、原子力機構が計画している他の原子力施設から発生する放射性廃棄物と併せてトレンチ処分する方策と、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物だけでトレンチ処分する等の場合があり、それぞれを念頭において安全確保の考え方を検討した。

原子力委員会は、浅地中処分の安全評価におけるウランが自然放射性物質であることを考慮した線量基準について課題として示したのみであり、旧原子力安全委員会の二種埋指針においても下記のような記述にとどまり、具体的な検討はなされていない。

- 「なお、ウラン系列核種が主な核種となるいわゆるウラン廃棄物については、自然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわたり放射能の減衰が期待できず、かつ、安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、本基本的考え方の適用対象外とする。」
- 「ウラン系列の放射性物質であるラドンの影響については、自然起源の放射性物質の規制の考え方を部分的に適用し、自然放射性物質のクリアランスのための国際基準濃度よりも低くなる場合は、散逸するラドンによる被ばくを考慮する必要はない。」

このような状況を考慮し、ラドンガスを含む自然起源の放射性物質に関する国際機関での取り扱いを調査・整理し、自然起源の放射性物質の放射能濃度による規制免除・クリアランスの考え方を浅地中処分の規制に取り入れる可能性とそのため具体的な対応を検討した。

その上で、既存の低レベル放射性廃棄物の浅地中処分の安全規制制度である第二種埋設事業の安全確保の考え方を検討するとともに、処分可能な濃度を把握するため、既存の二種埋設事業を参考とした安全評価を実施した。

6.1. 浅地中トレンチ処分におけるラドンガスを含む自然放射性物質の取り扱い

6.1.1. 国際機関及び我が国の考え方

精製されたウラン（主に U-234、U-235、U-238）は、崩壊に伴い子孫核種が生成され、時間とともに放射能が増加するが、U-238 の崩壊系列中の Ra-226 と平衡となるラドンガス（Rn-222）（図 11）も生成する。ラドンガスの吸入による被ばく線量は、自然放射線から受ける年間線量のうち半分程度と評価されているように、ウランを含む廃棄物からの線量が大きくなると想定される。また、精製されたウランでは、1 万年以降の長期において Ra-226 以下の核種の放射能濃度がウランと同程度（図 12）となる特徴がある。

U-238の崩壊系列(主要部)

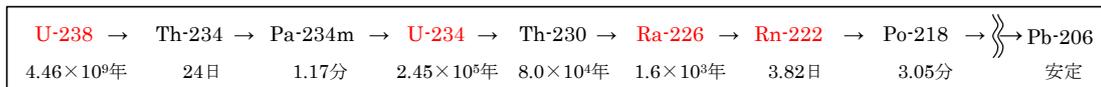
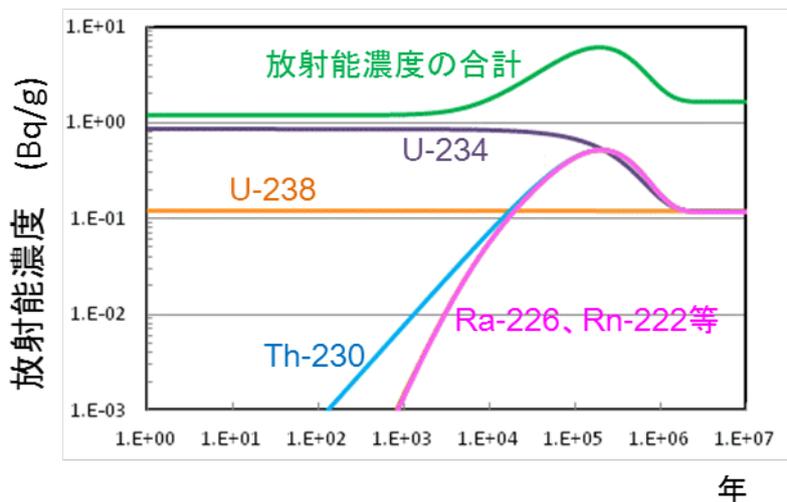


図 11 U-238 の崩壊系列



初期条件 (0年) U 合計(U-234, U-235, U-238)=1Bq/g、子孫核種=0 Bq/g

図 12 U-235 の濃縮度 5wt%の時のウランの主な子孫核種の生成

ウラン及び子孫核種は自然環境中に存在する放射性物質であり、自然環境中のウラン系列を含む全ての自然放射性物質及び自然放射線からの線量は、世界平均で年間約 2.4mSv、そのうちラドンの吸入被ばくは、年間約 1.2mSv と示されている。

そこで、国際機関による自然放射性物質の規制の考え方を整理し、ラドンガスを含め自然放射性物質による影響の取り扱いについて検討した（参考資料 5）。

IAEA の安全要件 BSS [12]では、環境中の放射能濃度が 1Bq/g 以下のウラン系列の核種は、計画被ばく状況の適用範囲外であり、現存被ばく状況として扱う、また、その放射能濃度は、クリアランスレベルとして扱えるとの考え方が示されている。この 1Bq/g は、安全指針 RS-G-1.7において、世界規模での土壌中の放射能濃度分布の上限に対する考察に基づいて設定したことが示されている。

埋設したウランの放射能濃度が 1Bq/g 以下であれば天然に存在するウランの放射能濃度の変動の範囲内であり、IAEA の考え方では天然に存在しているものについては計画被ばくの適用範囲外及び計画被ばく状況から発生したものに対するクリアランスレベルとしているため、ウラン及びその子孫核種からの被ばくの影響は評価の対象外と考えることができる。旧原子力安全委員会は、二種埋指針において、自然放射性物質に対する IAEA の考え方を埋設施設からのラドンガスによる安全評価に対する基準に取り入れ、ラドンガスの親核種であるウランまたはラジウム(Ra-226)が放射能濃度 1Bq/g 以下であれば評価の必要が

ないと示しており、上記の考え方に基づいていると考えられる。

IAEAのクリアランスレベルは、大量物質（1トン以上のもの）を対象としており、人工放射性物質のクリアランスレベル導出の安全評価においても、半無限の線源や45,000トンの処分場が想定されている。浅地中トレンチ処分の管理期間終了後の安全評価では、埋設施設の廃棄物と充填材（以下、廃棄物層）により放射能濃度を平均化して評価されている。低レベル放射性廃棄物のトレンチ処分における跡地利用シナリオは、地表における数100m²程度の面積において、埋設された数100m³の体積の放射性物質を含む対象物からの線量を評価するシナリオである。対象物の放射能濃度は均一ではないため、対象物からの線量は、場所によって高低があると想定されるが、その両方の影響が考慮され、全体で平均化されて評価されている。したがって、埋設施設の廃棄物層の一部が安全評価対象物として考えられるため、廃棄物層の一定範囲毎にウランの平均放射能濃度を1Bq/g以下とすることで、ラドンガスを含めウラン系列の放射性物質による影響はクリアランスで想定される影響の範囲内であり、事前に安全評価しなくてもよいレベルに含まれると考えられる。

廃棄物層の範囲を決めて放射能濃度を1Bq/g以下に管理することは、その範囲における総放射能を制限することにより達成されることが考えられる。

浅地中トレンチ処分の安全確保の考え方は、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について」（昭和60年10月24日、原子力安全委員会決定）[13]によれば、50年程度の期間において廃棄物埋設地の保全措置を行うことにより、埋設した放射性物質による環境への影響が安全上支障のないレベル以下となるようにすることである。したがって、廃棄物層におけるウランの平均放射能濃度を1Bq/g以下に管理することにより、管理期間終了以降におけるウラン及び生成する子孫核種からの影響は考慮の必要のないレベルであるため、既存の浅地中トレンチ処分の考え方に対応して安全確保がなされると考えられる。

なお、地域によっては、自然放射性物質の放射能濃度が1Bq/gより高い場所も存在し、そのような場所では、地域の自然放射性物質の放射能濃度等を考慮した対応を取ることが考えられる。

6.1.2. 浅地中トレンチ処分場における濃度管理の対応について

IAEAの安全指針RS-G1.7 [14]では、クリアランスレベルを満足させるために物質を意図的に希釈することは、規制機関の事前の承諾なしに許可されるべきでないとして示されており、固体廃棄物の埋設処分でも基本的に同様の考え方が適用されることが考えられる。放射能濃度が低いウランを含む廃棄物におけるウランの放射能濃度分布は図4に示すように10⁴Bq/g以上まで幅広く分布していることから、放射能濃度の極端に高い廃棄物を放射能濃度の低い大量の廃棄物層の部分に配置することのないようにトレンチ処分対象のウランの上限の放射能濃度を適切に設定し、廃棄物層における平均放射能濃度の管理を行う必要がある。

ここで、トレンチ処分施設の廃棄物層におけるウランの平均放射能濃度は、放射能濃度

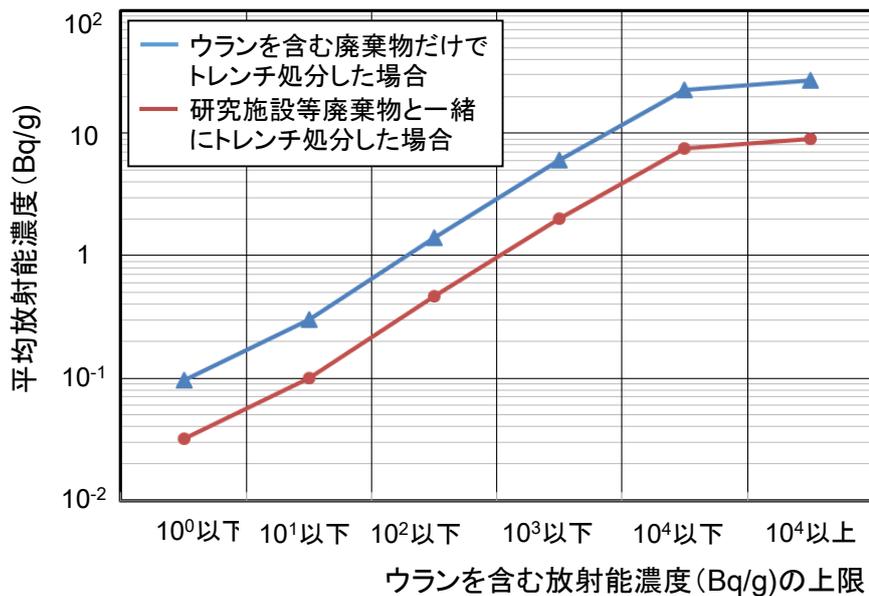
が低いウランを含む廃棄物の処分条件、すなわち、トレンチ処分施設における放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の放射能濃度、廃棄物層における全廃棄物と充填材との割合、総放射能及びトレンチ処分施設対象のすべての研究施設等廃棄物中の本数割合に依存する。図 13 には 5.1 節で既述した原子力政策大綱の考え方に従い、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物を他の研究施設等廃棄物と同一にトレンチ処分した場合の廃棄物層における平均放射能濃度の試算結果を示す。

放射能濃度が低いウランを含む廃棄物だけでトレンチ処分した場合、廃棄物層における全廃棄物と空隙を埋める充填材との体積割合(処分場定置効率)を 0.3 で試算すると、図 13 の青線で示すようにウランの放射能濃度の上限を 10Bq/g とすれば、廃棄物層の平均放射能濃度が 1Bq/g 以下となる。また、研究施設等廃棄物として他の施設から発生する廃棄物と併せてトレンチ処分した場合、すべての埋設対象廃棄物のうち放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の本数割合を 1/3 で試算すると、図 13 の赤線で示すようにウランの放射能濃度の上限を 100Bq/g とすれば、廃棄物層の平均放射能濃度が 1Bq/g 以下となる。

これより、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物中のウランの最大放射能濃度が 100Bq/g 程度までであれば、廃棄物層におけるウランの平均放射能濃度を 1Bq/g 以下に管理できる見通しがあると考えられる。廃棄物層における平均放射能濃度を 1Bq/g 以下に管理する条件だけでは、最大放射能濃度の制限は設定できないので、別の方法で最大放射能濃度を設定する必要がある。例としては、プルトニウムやアメリシウムなどの他の α 線放出核種の浅地中処分の濃度上限値を参考にする方法、自然環境中において放射能濃度が高いレベルである世界におけるウラン鉱床の濃度(100Bq/g 程度)を考慮する方法などが考えられ、適切な濃度に設定することが必要と考えられる。

廃棄物層のウランの平均放射能濃度は、図 14 に示すように、ウランの放射能濃度の偏在をできるだけ低減させるように、図 14 の赤線の枠内に相当する廃棄物層を一定の区画で区切り、区画ごとの廃棄物層のウランの総放射能が 1Bq/g から計算される上限の放射能を超えないように管理する方法が考えられる。また、部分的には 1Bq/g を超えることが想定されるが、その場合、別の場所では 1Bq/g を下回っている必要がある。1Bq/g を超える部分が存在することを想定した埋設地の地表における住居の室内ラドン濃度の感度解析では、平均放射能濃度を 1Bq/g 以下に管理した場合と同程度であると評価された(参考資料 5)。

なお、実際の埋設においては、放射能濃度の高いウランを含む廃棄体等は、より深い場所に定置する、覆土の厚さや覆土内に粘土層を設置する等の付加機能の追加により地表でのラドンガスによる影響を低減させるような対策にも留意が必要である。

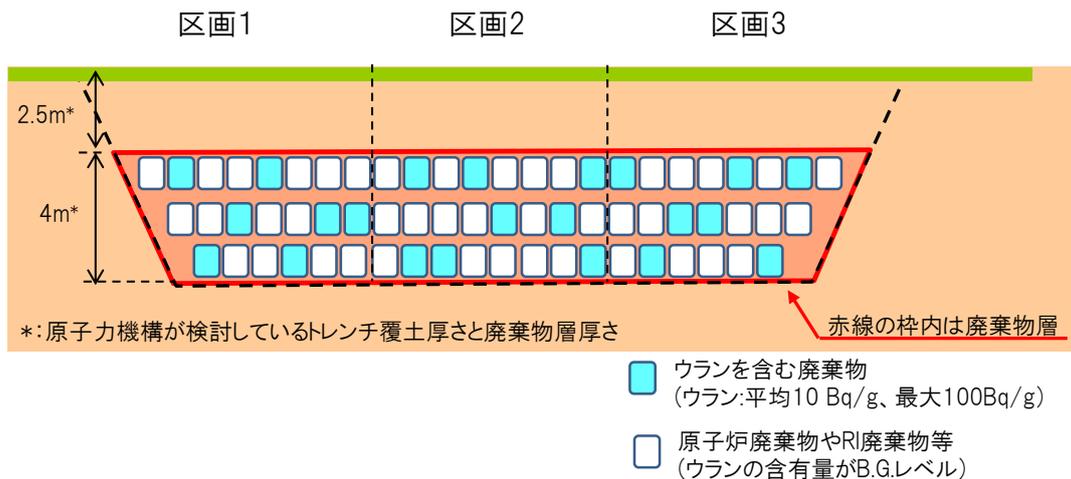


➤ 廃棄物層における平均放射能濃度は、廃棄物層における充填材と廃棄体等の体積割合(処分場定置効率)を0.3、全研究施設等廃棄物におけるウランを含む廃棄物の割合は、1/3として計算。



➤ ウランを含む廃棄物を研究施設等廃棄物と一緒に処分した場合は、ウランの放射能濃度が 100Bq/g以下であれば、廃棄物層の平均放射能濃度を1Bq/g以下で管理できる見込みがある。

図 13 放射能濃度を各上限で区切った場合の廃棄物層の平均放射能濃度



各区画でウランの平均放射能濃度が1Bq/gと想定した場合に計算される総放射エネルギー以下となるように廃棄体等を定置管理することで、廃棄物層におけるウランの平均放射能濃度が1Bq/g以下になる。

図 14 廃棄物層の平均放射能濃度の廃棄体等管理概念

6.2. 第二種廃棄物埋設事業における安全確保の考え方

原子力機構では、研究施設等廃棄物の浅地中ピット処分、浅地中トレンチ処分の埋設事業を実施主体として計画しているところである。図 15 に研究施設等廃棄物の埋設施設の概念図を示す。

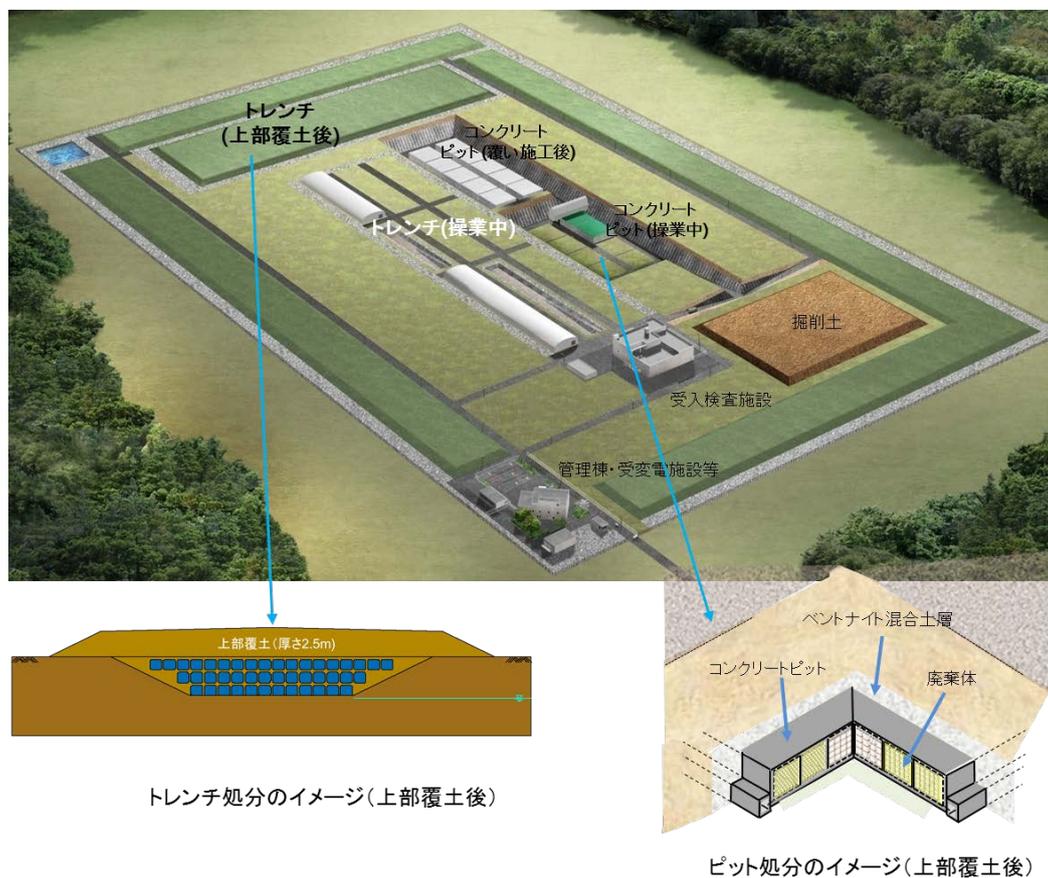


図 15 研究施設等廃棄物の浅地中埋設施設の概念

浅地中トレンチ処分は極低レベル廃棄物を対象とし、埋設した放射性物質の環境への移行が天然バリアの透水性及び収着性等の機能によって抑制されるように処分施設を設計・施工し、かつ、50年程度の期間において廃棄物埋設地の保全措置を行うことにより、放射性物質による環境への影響が安全上支障のないレベル以下となるようにする処分方法である。

浅地中ピット処分は、低レベル廃棄物を対象とし、少なくとも埋設が終了するまでの期間は廃棄物埋設地の限定された区域に放射性物質を閉じ込め、埋設が終了した以降は人工バリア及び天然バリアの低透水性、収着性等の機能により放射性物質の環境への移行を抑制するように処分施設を設計・施工し、かつ、300年程度の期間において廃棄物埋設地の保全措置を行うことにより、放射性物質による環境への影響が安全上支障のないレベル以下となるようにする処分方法である。

放射能濃度が低いウランを含む廃棄物についても、前述した旧原子力安全委員会の「研究所等から発生する放射性固体廃棄物の浅地中処分の安全規制に関する基本的考え方」に示されているように、管理期間終了後の安全評価結果が線量のめやす値を超えなければ、原子炉廃棄物と同様の浅地中処分を行うことが可能であると考えられる。このため、二種埋指針に従い、管理を終了しても安全が確保されていることを示すべき項目は、具体的には以下の通りとなる（図 16）。

- 埋設段階以降において、放射性物質の廃棄物埋設地から生活圏への移行を、安全上支障のないレベル以下になるように抑制する（天然バリアによる移行抑制）
- 閉じ込め機能を要求しない浅地中トレンチ処分を行う場合においては、覆土により直接γ線による被ばくの低減や飛散を防止
- 処分する放射性廃棄物に含まれるインベントリの適切な管理（移行抑制機能が劣化しても安全が確保できる量）
- 上記の安全確保策について、シナリオ毎に想定される条件での被ばく評価を行い、公衆に影響がないことを確認する

加えて、本検討の対象である放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の特徴を鑑みて、上記 4 要件の長期の不確実性を考慮しても、なお安全が確保されることを示す必要があることから、下記要件も重要となる。

- 埋設した放射性物質の環境への移行が天然バリアの透水性及び収着性等の機能によって抑制されるように、例えば降雨浸透防止機能のある覆土を適切に施す等、確実な安全確保の方法を検討し、当初から処分施設を設計・施工するとともに、社会への情報公開の観点から、それら具体的対策について科学的根拠をもって示す。

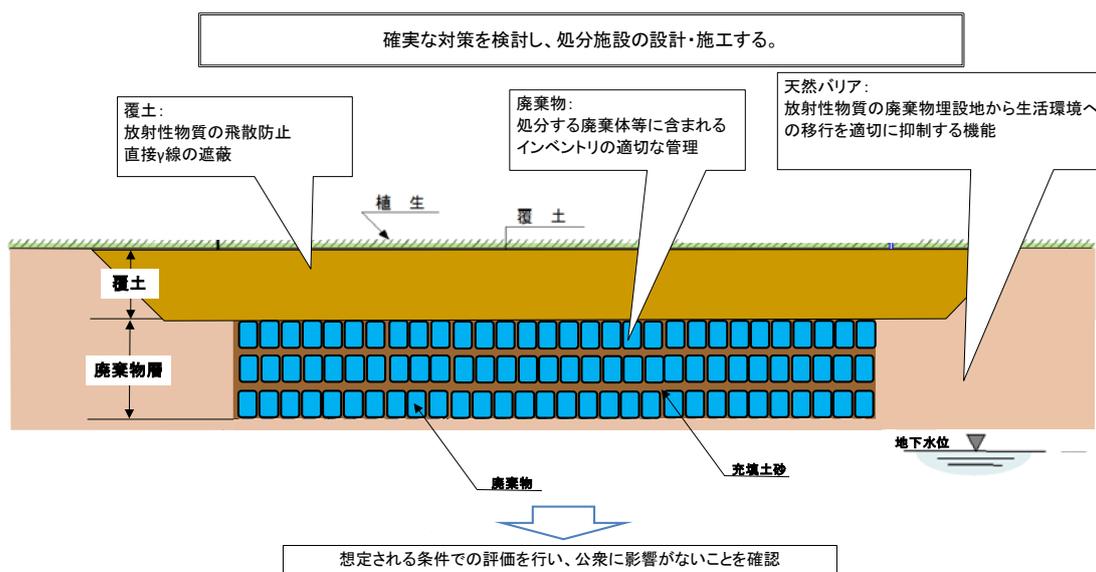


図 16 基本的な安全確保の方針

第二種埋設事業として行われる埋設の方法のうち浅地中に埋設する最終的な処分についての安全確保の考え方については、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について」に示されたところであるが、これは、原子力施設から発生する放射性固体廃棄物を浅地中に埋設した後、放射能の低減により被ばく管理の観点からは埋設した場所の管理を必要としないものと認められるまでの間、公衆に与えるおそれのある放射線被ばくの程度等を勘案しながら所要の管理を行い、安全に処分しようというものである。埋設処分の安全確保の前提条件としては、放射能の低減に伴う段階管理については、時間経過に伴う安全確保の段階として図 17 のように整理できる。

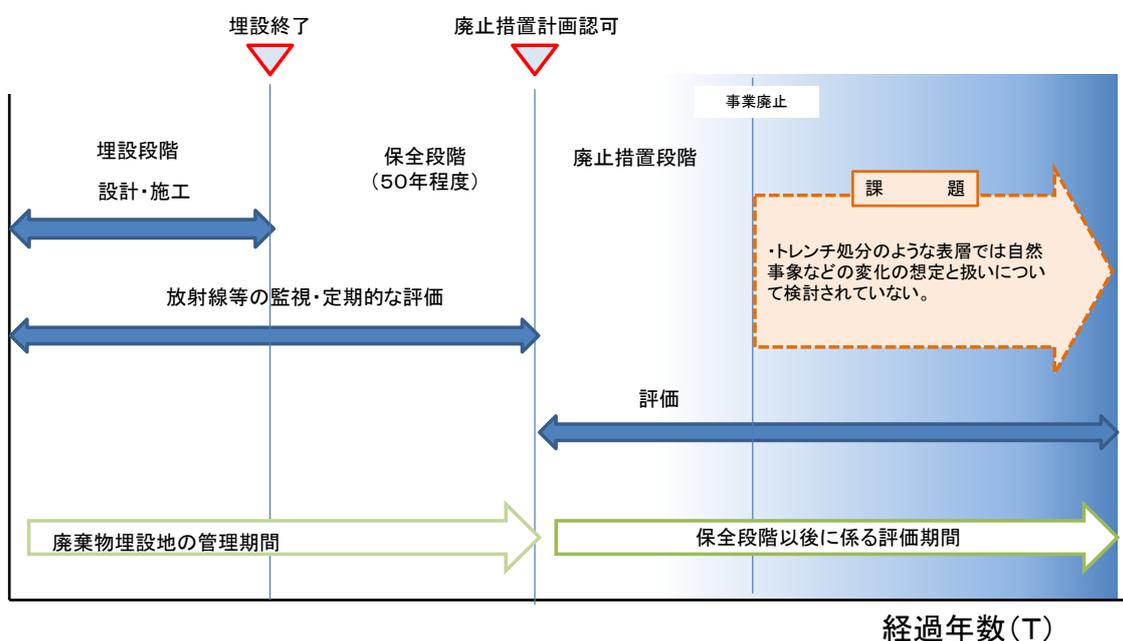


図 17 時間経過に伴う安全確保の段階

ラドンも含め、自然放射性物質であるウランについては、国際機関等の考え方から、処分場平均濃度でクリアランスレベル以下に管理することで、考慮の必要がない、という考え方をまとめたところであるが、次節では、5.2 節で本報告の検討方針とした第二種埋設事業の考え方を適用した場合の成立可能性と処分可能な濃度範囲の検討を行った。

なお、この際、浅地中処分における長期の安全評価に関する検討がなされていなかったことから、長期状態設定の考え方を整理した。

6.3. 第二種廃棄物埋設事業の考え方を参考とした安全評価

低レベル放射性廃棄物の浅地中トレンチ処分では、保全段階以降は、天然バリアによる移行抑制によって安全性を確保することとしている。これは、廃棄物埋設地から放射性物質の環境への移行の影響を地下水シナリオとして、また、廃棄物埋設地に残存する放射性物質の影響を跡地利用シナリオとして安全評価を行い、線量がめやす値以下であることを評価して安全性を確認することとなっている。6.1 節にて処分場におけるウラン濃度を1Bq/g以下に管理することで、自然放射性物質からの影響を考慮する必要がない考え方を示したところである。本節では、前述のウラン濃度管理による処分を行った場合の被ばくへの影響の程度を把握するため、第二種埋設事業の考え方を参考に、想定される埋設施設のレファレンスケースを設定して安全評価を行うとともに、成立可能性と埋設可能なウラン濃度の範囲を検討した。

このレファレンスケースの状態設定に際しては、濃度上限値評価でのサイト条件及び事象変化に関する既往文献を参考として、以下の考え方を基本とした。

- ウランの特徴である長期経過後に跡地利用シナリオで影響が顕在化することを考えた場合、地下水シナリオとの整合性や長期的な評価の観点での現実的な状態を考慮し、設定することが重要である。その状態変化の程度については、古墳等の建造物の遺構の存在や気候変動に関する既往文献の考え等から、一定の条件によっては現在の状態が数万年程度は維持される可能性が示唆されている（参考資料 3）。このため、長期において、地表での複雑な自然事象変化とそれによる処分施設の状態変化はサイト特性に依存することとなるが、事象変化の影響把握の観点から、初期に設定したパラメータは、評価期間中は一定とした
- 濃度上限値評価を参考とした場合、地下水シナリオと跡地利用シナリオでの評価における主な相違点は、長期的に変動が想定される分配係数と降雨浸透による処分場からの核種移行の考慮の有無がある。科学的蓋然性に基づく現実的な状態設定と地下水シナリオとの整合から、長期に渡り廃棄物層に核種が閉じ込められることは想定しがたく、跡地利用シナリオでは放射性物質の移行を考慮する

また、個々のパラメータの影響については、レファレンス設定の結果と比較し、感度解析で留意すべき要素の抽出により、具体的設計等の安全確保の方法に反映していくことが適当と考える。

6.3.1. レファレンス設定に基づく埋設可能量の試算

原子力機構が実施主体として事業を進めている研究施設等廃棄物の埋設事業では、原子力機構及びその他の事業者から発生する低レベル放射性廃棄物の処分を行うことを予定している。これについては、原子力政策大綱で示された発生源によらない一元的処分の考え

方にも合致するものであることから、本報告では、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物が他の原子力施設から発生する放射性廃棄物と併せて埋設処分がなされることを想定した。

ここでは、二種埋指針で対応可能な放射性廃棄物の浅地中トレンチ処分におけるレファレンスケースとしての被ばく線量計算を実施した(参考資料4)。被ばく線量計算は、図18(a)に示すように、放射性物質が廃棄物層から帯水層を經由して河川水に移行し、さらに、飲料水、河川産物、畜産物への移行により、これらを摂取する消費者が被ばくする河川水利用の被ばく経路を設定した。また、図18(b)に示すように、跡地に残存する放射性物質により建設作業や居住者が被ばくする跡地利用の被ばく経路を設定した。これらの評価体系における帯水層の核種移行は、一次元移流・分散式により、また、その結果から各経路を通じて核種の濃度を求め、被ばく線量換算係数を設定して被ばく線量を計算した。なお、一次元移流・分散式には、ラプラス変換による解析解での解法を採用した。

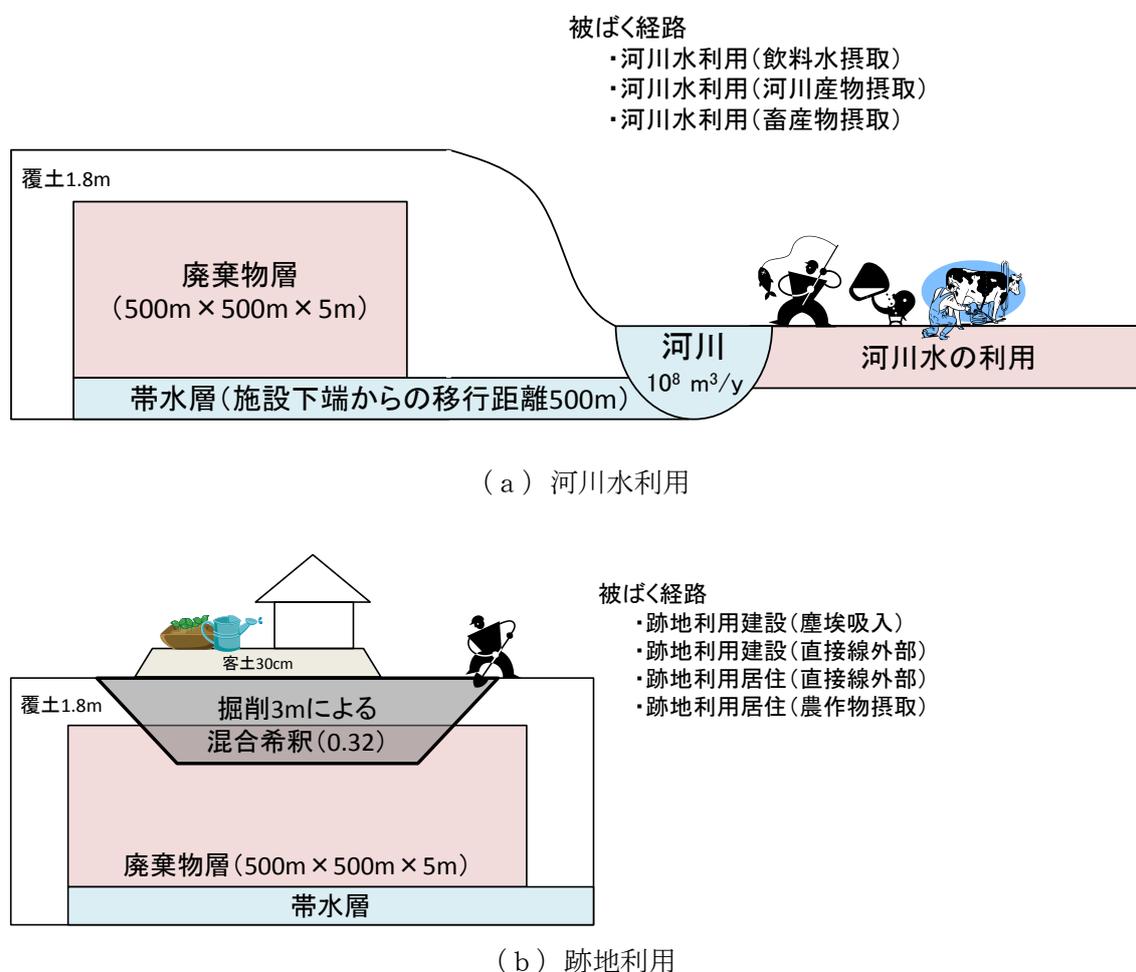


図 18 被ばく経路の概要図

6.3.2. 前提条件

濃度上限値評価では、200Lドラム缶換算で100万本（200,000 m³）に相当する放射性廃棄物が処分可能な規模の浅地中トレンチ処分場を仮想している。廃棄物層の容量は、「濃度上限値評価」と同じ500m×500m×5m（1,250,000 m³）とし、廃棄物量と廃棄物層容量から埋設効率を0.16と設定した。

放射能濃度が低いウランを含む廃棄物は、平均濃度が10Bq/gの5%濃縮ウラン（U-234：8.42 Bq/g、U-235：0.401 Bq/g、U-238：1.18 Bq/g）で100万本のうちの4分の1を占めると設定した（図4に示す処分対象廃棄物の発生量はクリアランスを除くと最大でも約5万トンであり、これを0.2~0.4トン/缶の200Lドラム缶に換算すると約13万本から約25万本である）。なお、研究施設等廃棄物の他の核種の平均放射能濃度は、「研究施設等廃棄物浅地中処分の概念設計」[15]から、C-14で0.0995 Bq/g、Co-60で13.3 Bq/g、Sr-90で0.0851 Bq/g、Cs-137で0.438 Bq/gとし、100万本のうち4分の3である75万本相当のインベントリとして設定した。

また、地下水移行シナリオとの整合性や長期的な評価の観点から、跡地利用シナリオにおいても廃棄物層からの放射性物質の移行を考慮し、残存量による評価を行うこととした。放射性物質は、管理期間（50年）終了以降に移行すると仮定した。

なお、本試算では、ラドンガスの吸入による内部被ばく線量は、統一的な評価方法の考え方が示されておらず、これまでの安全評価においても被ばく線量への影響として考慮されていなかったことから、ここでは含まないものとした。

前提条件をまとめると以下ようになる。

・浅地中トレンチ処分場の規模	500m×500m×5m=1,250,000m ³
・埋設処分する廃棄物の容積	200,000m ³ （埋設効率0.16）
・放射能濃度が低いウランを含む 廃棄物(5%濃縮ウラン)	50,000m ³ (ドラム缶で、25万本)
・上記以外の低レベル放射性廃棄物	150,000m ³ (ドラム缶で、75万本)
・ウランを含む廃棄物の割合	0.25（全ドラム缶の25%）
・管理期間	50年(この期間、地下水移行は生じない。)
・ウラン及びその子孫核種の分配係数	1,670mL/g (濃度上限値評価の放出係数より算定)

6.3.3. 試算結果

上記の前提条件を基に設定した計算条件及び評価の考え方（参考資料4参照）に基づき、地下水移行シナリオと跡地利用の居住シナリオにおける被ばく線量の試算結果を図19及び図20にそれぞれ示す。なお、いずれの結果も、廃棄物からの核種の移行に係る廃棄物層の分配係数は、長期的には変動することも想定されるが、濃度上限値評価で設定している放

出係数から換算した 1,670mL/g としたケースである。

地下水移行シナリオでは、2,000 年経過頃に被ばく線量の最初のピークがみられるが、これは、C-14 の影響によるものであった。被ばく線量のピークは、100,000 年頃となるが、これは生成されるウランの子孫核種である Pb-210 の影響が大きくなるためである。なお、地下水移行シナリオの被ばく線量は、飲料水摂取による被ばく経路の寄与が最大であった。

一方、跡地利用シナリオでは、残存する放射性物質の減衰により管理期間終了直後が被ばく線量の最初のピークで、Sr-90 の影響によるものである。被ばく線量のピークは、44,000 年頃となるが、これは生成されるウランの子孫核種である Ra-226 の影響が大きくなるためである。なお、跡地利用シナリオの被ばく線量は、農作物摂取による被ばく経路の寄与が最大であった。

決定経路は跡地利用の居住シナリオであり、被ばく線量は $9.7 \mu\text{Sv/年}$ となる。この結果から、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の $10 \mu\text{Sv/年}$ 相当濃度は 10.3Bq/g である。この濃度から、濃度上限値評価で示された手法と同様である対数丸めと放射能濃度分布を考慮して最大値見込係数 (α 核種に対して 10) を仮定すると、浅地中トレンチ処分の適用濃度範囲は 100Bq/g となる。したがって、濃度上限値評価と同様の処分場を想定した場合、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物の割合を 25%、跡地利用シナリオにおける放射性物質の移行を考慮するといった条件下では最大放射能濃度 100Bq/g までが 5.2 節で示した二種埋設事業として対応可能であると考えられる。

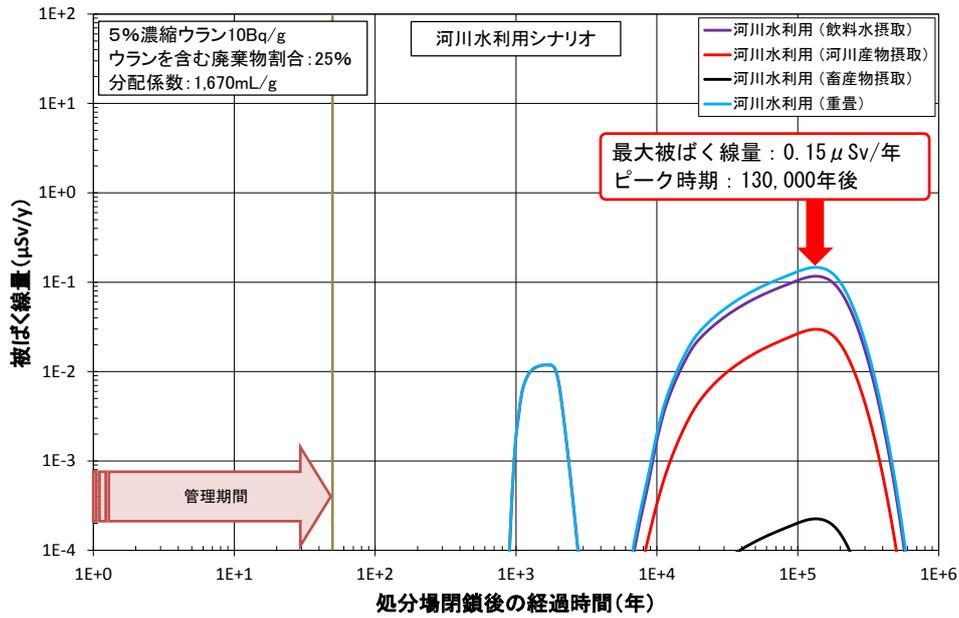


図 19 地下水移行シナリオの被ばく線量経時変化：処分場の分配係数 1,670mL/g

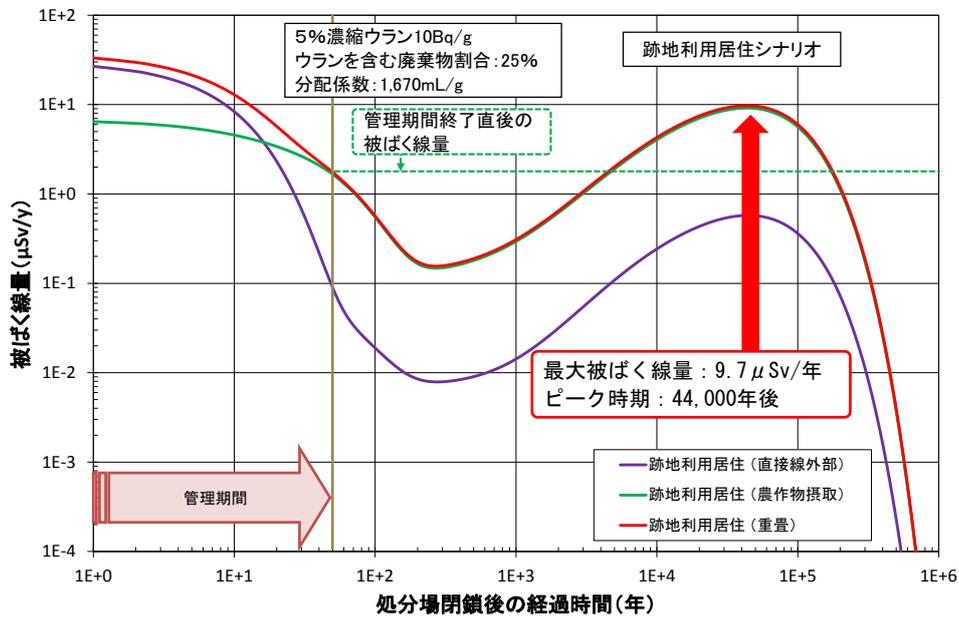
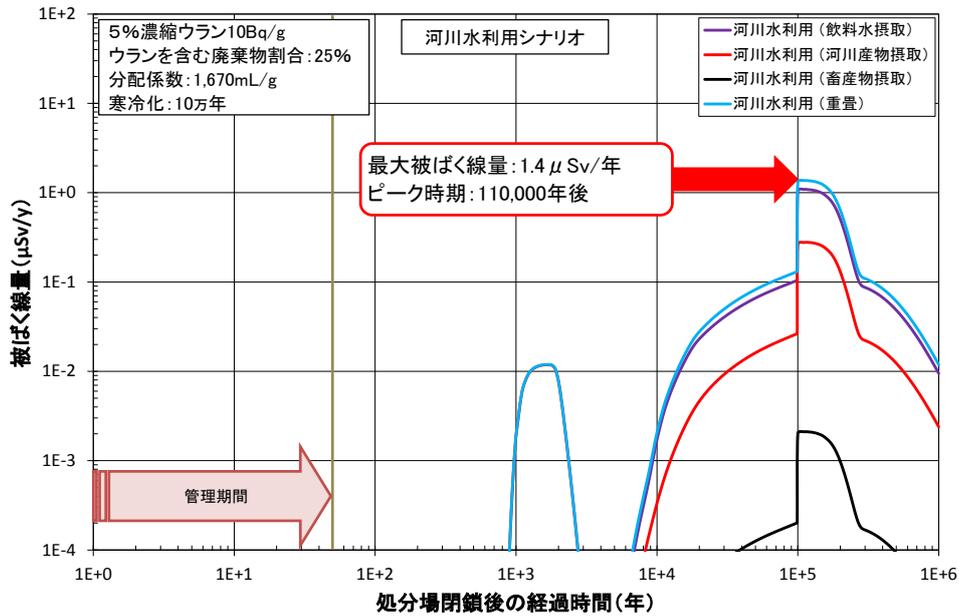


図 20 跡地利用居住シナリオの被ばく線量経時変化：処分場の分配係数 1,670mL/g

なお、余裕深度処分における長期の被ばく評価においては、変動しうる様々な考慮事象が想定されている。しかしながら、浅地中トレンチ処分については、これまで主に濃度が低い短半減期の放射性物質を含む廃棄物を対象としてきたことから、長期の被ばく評価についてほとんど検討されてこなかった。このため、参考資料 4 では長期的に変化が想定される個々のパラメータの影響を把握するため、ケーススタディとして試算の結果を整理している。例えば、変動状態として、図 21 の気候変動—寒冷化に伴う施設浸透水量及び河川水の減少を考慮した場合を想定した結果では、レファレンス設定の図 19 に比べ最大被ばく線量は約 10 倍となっているが、基本シナリオのめやすである $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ は下回るものであった。

また、決定経路である跡地利用シナリオに大きな影響のある変動状態として、廃棄物層の分配係数が極めて大きく、核種移行がほとんど期待できない状態を仮定した。図 22 に試算結果を経時変化として示す。廃棄物層からの核種の移行がなく、減衰とビルドアップのみを考慮したもので、最大被ばく線量は $43 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 、ピーク時期は 21 万年後であった。この結果は、レファレンスとして試算した結果の図 20 に比べ、最大被ばく線量は約 4 倍に高まったが、この状態を変動シナリオにとらえた場合、そのめやすである $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ は満足するものであった。

そのほかの変動状態についても、参考資料 4 にケーススタディの結果としてまとめている。なお、一部で基本シナリオのめやすである $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を超える条件・被ばく経路もあったが、いずれも変動シナリオのめやすである $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ は下回る結果であった。



注) 変化の影響が明確に見えるよう、変動時期に急変する設定で試算

図 21 変動状態における地下水移行シナリオの被ばく線量経時変化：気候変動—寒冷化により 10 万年後に施設浸透水量及び河川水量が初期の 1/10 に減少)

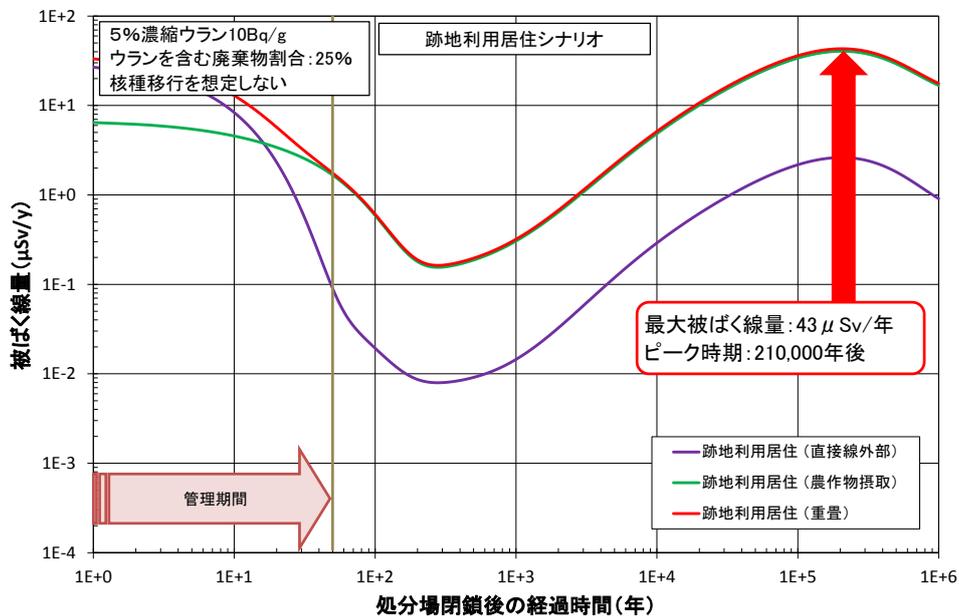


図 22 変動状態における跡地利用居住シナリオの被ばく線量経時変化：処分場の分配係数 ∞ （評価期間中の核種移行を想定しない）

7. 浅地中トレンチ処分に関する検討結果のまとめ

7.1. ウランを含む廃棄物の処分に係る安全規制制度の策定の必要性

ウランを含む廃棄物の安全規制制度は、旧原子力安全委員会の濃度上限値評価において、「なお、ウラン廃棄物のように天然起源の核種を主たる組成とする廃棄物については、天然の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、そのような廃棄物を対象とする埋設計画が具体化する段階で検討することとする」とされており、今後、ウランを含む廃棄物の処分の具体化に伴い規制制度の整備がなされる方向となっている。

一方、平成 20 年に独立行政法人日本原子力研究開発機構法が改正され、原子力機構が研究施設等廃棄物の埋設事業の実施主体と位置づけられ、ウランを含む廃棄物も対象とした埋設事業を今後展開することとなり、ウランを含む廃棄物の埋設処分の具体化に向けた検討が進められている状況にある。さらに、ウランを含む廃棄物の発生者である各ウラン燃料加工事業者及び核燃料物質使用者においては、事業の開始から現在に至るまで放射性固体廃棄物が累積し、事業所によっては貯蔵設備容量に対して廃棄物の累積貯蔵量が 90%に達している状況である。特に、放射性固体廃棄物の保管廃棄施設の増設が容易ではない状況を踏まえると、今後十数年で放射性固体廃棄物の保管廃棄施設が満杯となる可能性があり、ウラン燃料加工事業の継続への支障並びに施設の廃止措置への影響が現実的に想定されてきている。このため、ウランを含む廃棄物処分の安全規制制度の策定と、それに基づく早期のウランを含む廃棄物も対象とした処分事業が強く望まれているところである。

なお、今回は検討対象外となっているが、核原料物質についても放射性廃棄物処分に係る諸制度の整備が必要となる。

7.2. ウランを含む廃棄物の特性と検討課題

ウランを含む廃棄物の特徴は、主要な放射性物質であるウランの半減期が極めて長く減衰に期待できないこと、数万年以降には子孫核種のビルドアップによる放射能の増加があること、子孫核種の中にラドンガスの発生が有意にあること、及び天然賦存核種であることが挙げられる。これらの特性を踏まえ、かつ浅地中処分方策の確立のため以下の課題について検討を実施した。

- 1) ウランの特徴を考慮した安全確保の考え方
- 2) 既存の第二種埋設事業における安全確保の考え方と浅地中トレンチ処分の適応性

7.3. ウランを含む廃棄物処分の安全確保の方向性についての取りまとめ

原子力機構が処分実施主体として事業を進めている研究施設等廃棄物の埋設事業では、原子力機構及び我が国の研究施設等から発生する放射性廃棄物の第二種埋設事業を行う予定である。したがって、本報告では、他の原子力施設から発生する放射性廃棄物と併せて

放射能濃度が低いウランを含む廃棄物が約 25%混在して埋設処分がなされることを見越した処分方策の検討を実施した。この際には、ウランの特徴である放射能がほとんど減衰しないことを考慮すると、人工バリアの機能を長期にわたり定量的に示すことは困難であること、及び放射能が低く地表に広く存在している核種であることから、最適な埋設処分の方策として浅地中トレンチ処分を設定した。なお、トレンチの施設構造としては、対象廃棄体等の種類により当初の設計で覆土による降雨浸透防止機能等を適切に施すことにより、確実な安全確保を図ることにも留意が必要である。

1)ウランの特徴を考慮した安全確保の考え方

ウランの特徴である影響が長期経過後に顕在化することを考慮し、不確実性が大きくなる長期に渡り、どのように処分の安全性を確保すべきかについて検討した。

ラドンガスを含め、主たる核種であるウランは自然放射性物質であることから、その扱いについて、IAEA における BSS 等の関連文献の調査を実施した。その結果、IAEA の BSS では、環境中の放射能濃度が 1Bq/g 以下のウラン系列の核種は、計画被ばく状況の適用範囲外であり、現存被ばく状況として扱うとされ、放射能濃度 1Bq/g をクリアランスレベルとして扱えることが示されている。さらには、BSS に取り込まれた IAEA の安全指針 RS-G-1.7 において、世界規模での土壤中の放射能濃度分布の上限に対する考察に基づいてクリアランスレベル 1Bq/g を設定したことが示されている。したがって、放射能濃度が 1Bq/g 以下であれば事前に評価しなくても良いレベルにあると考えることができる。旧原子力安全委員会が、二種埋指針で示したように「ウラン系列の放射性物質であるラドンガスの影響については、自然起源の放射性物質の規制の考え方を部分的に適用し、自然放射性物質のクリアランスのための国際基準濃度よりも低くなる場合は、散逸するラドンガスによる被ばくを考慮する必要はない。」(国際基準濃度:1Bq/g (IAEA によるクリアランスレベル))と判断した理由は、自然放射性物質に対する国際機関の考え方を、埋設施設からのラドンガスによる安全評価に対する基準として部分的に取り入れたためと解釈される。さらに、このクリアランスレベルの考え方は、課題となったラドンガスのみならず、同じく自然放射性物質であるウランやその子孫核種に対しても適用できるものと考えられる。

なお、地域によっては、自然放射性物質の放射能濃度が 1Bq/g より高い場所も存在し、そのような場所では、地域の自然放射性物質等を考慮した対応を取ることが必要と考えられる。

これらのことを踏まえ、実際の研究施設等廃棄物の発生状況及び埋設施設での操業を想定し、埋設施設での放射能濃度が低いウランを含む廃棄体等の定置を一定の区画で適切に管理し、処分場平均でのウラン濃度を管理する方法を示した。これにより、廃棄物層でのウランの平均放射能濃度は 1Bq/g 以下とすることができ、事前に安全評価しなくても良いレベルにあることから、管理期間終了以後におけるラドンガスも含めた自然放射性物質からの影響は安全上支障のないレベルにあると考えられる。この場合、放射能濃度分布から、

ウラン濃度で約 100Bq/g までの廃棄体等において上記の条件が達成できることを示した。

2)既存の第二種埋設事業における安全確保の考え方と浅地中トレンチ処分の適応性

第二種埋設指針に基づくと、生活環境に対する放射能の影響を未然に防止することを目的に処分対象の放射性廃棄物を処分方法に応じた処理を行った後、その放射能レベルが時間の経過に伴い減衰し、安全上支障のないレベル以下になるまでの間、生活環境に対する影響を及ぼさないように放射性物質の移行を抑制することにより安全を確保することとなる。加えて、様々な事象を想定した上で、当初の設計・施工により、確実な安全確保策が施されることを具体的に示し、それでもなお、想定を超える場合の影響について評価で確認することが重要である。

IAEA 等における自然放射性物質に対する考え方を整理・検討した結果、ウラン及びその子孫核種は、クリアランスレベル以下であれば、評価の必要がないと考えられることを示したが、既存の第二種埋設事業を参考として、処分可能な濃度範囲を検討するため、管理期間終了以後の被ばく安全評価を行った。ここでは、既往文献等の情報から、長期状態設定の考え方についても整理した。

地表における長期状態設定においては、不確実性が伴うものの変動事象に対する感度を把握すること、数万年程度は現在の気候が継続し、地形変化（侵食）への影響が小さいと推定できる可能性があることから、処分施設の環境等は初期状態が評価期間中は継続するものと設定した。また、廃棄物層からの核種の移行を考慮することについては、長期的な評価の観点から現実的と考えられる状態設定として適当と考えられる。この考え方は、地下水シナリオとの整合性を図るという観点からも合理性があると考えられる。

このような前提のもと、既存の第二種埋設事業に係る濃度上限値の導出シナリオに基づき、将来の子孫核種のビルドアップも含めた安全評価を実施した結果、基本シナリオにおけるめやす線量である $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を満足することを確認した。また、 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 相当濃度を試算すると廃棄体等中のウラン濃度は約 10Bq/g であった。以上のことから、濃度上限値での評価と同様の手法を用いて、放射能濃度分布から最大見込係数 10 を設定すると 100Bq/g までは、浅地中トレンチ処分が適応可能な濃度範囲と考えられることを示した。これにより我が国で発生するウランを含む廃棄物の約 90%は浅地中トレンチ処分の成立可能性があることを示した。

8. おわりに

ウランを含む廃棄物は、「自然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわたり放射能の減衰が期待できず、かつ、安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要がある」ことから現在の第二種埋設事業の安全規制の対象外となっている。

一方、原子力機構は、研究施設等廃棄物の埋設事業の実施主体として、ウランを含む廃棄物も事業対象廃棄物としており、研究施設等廃棄物の埋設事業の実施に際して、ウラン系列核種を主な核種とする低レベル放射性廃棄物の安全規制制度の整備が急務となっている。

このような状況を踏まえて、一般社団法人日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会では、放射能濃度が低いウランを含む廃棄物を対象として、浅地中トレンチ処分場で処分を行う場合の安全確保策についての検討を行うとともに、第二種埋設事業を参考とした安全評価を行い、所定の埋設条件においては、公衆への被ばくに影響がないレベルであることを確認した。

これらの検討結果から、以下を規制への提言として取りまとめた。

○ウランの特徴に起因する検討課題の一つとして挙げられたラドンガスを含め、自然放射性物質であるウラン及び子孫核種の扱いとしては、IAEAにおけるBSS等の関連文献を調査・整理した結果から、処分場でのウランの平均放射能濃度が自然放射性物質に対するクリアランスレベルである1Bq/g以下であれば事前に評価しなくても良いレベルとして扱うことができる。

○埋設施設の廃棄物層を一定の区画で区切り、区画ごとの廃棄物層のウランの総放射能が1Bq/gから計算される上限の放射能を超えないように定置管理を行うことにより、処分場でのウランの平均放射能濃度1Bq/g以下を達成できる。

なお、本報告書の検討範囲は、第二種埋設事業の浅地中トレンチ処分を想定したものであり、その結果を取りまとめたものであるが、特別専門委員会での審議の過程で整理・検討した海外事例など一部の事例には、将来議論が必要と考えられる長半減期核種の処分や第二種埋設事業の考え方の拡張に関する検討の際、参考となりうる情報もある。そのため、長期的に不確実性が高まる中での安全評価の取り扱いとして、定量評価が可能な評価期間の考え方、及び保守的状态設定の考え方について参考資料6に整理した。

引用文献

1. 原子力安全委員会, 第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方について, 平成 22 年 8 月 6 日原子力安全委員会決定.
2. 原子力委員会, ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について, 平成 12 年 12 月 14 日.
3. 原子力委員会, RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方, 平成 10 年 5 月.
4. 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律, 昭和 32 年 6 月 10 日法律第 166 号 (最終改正: 平成 21 年 7 月 3 日法律第 69 号) .
5. 原子力規制委員会, 平成 24 年度放射線業務従事者線量等報告書.
6. 日本原燃株式会社、独立行政法人日本原子力研究開発機構他, ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書, 平成 18 年 3 月.
7. 電気事業連合会, 原子力・エネルギー図面集, (オンライン) 2014 年 3 月, (<http://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/zumenshu/>) .
8. 原子力委員会, 原子力の研究・開発及び利用に関する長期計画, 平成 12 年.
9. 原子力委員会, 原子力政策大綱, 平成 17 年.
10. 原子力安全委員会, 研究所等から発生する放射性固体廃棄物の浅地中処分の安全規制に関する基本的考え方, 平成 18 年 4 月 20 日.
11. 原子力安全委員会, 低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について, 平成 19 年 5 月 21 日了承.
12. IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards, 2014, General Safety Requirements Part 3.
13. 原子力安全委員会, 低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について, 昭和 60 年 10 月 24 日原子力安全委員会決定.
14. IAEA, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, 2004, SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.7.
15. 天澤弘也、坂井章浩他, 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計, 2012, JAEA-Technology 2012-031.

用語集

この報告書で用いる主な用語及び定義は次による。

放射性廃棄物

原子力のエネルギー利用や放射性物質を利用した医療や工業、原子力に関連した研究開発などにおいて発生する廃棄物のうち、放射性物質を含むものをいう。この廃棄物中には人体や環境に影響を与える放射性物質が含まれていることから、この廃棄物の処分に関する措置は原子炉等規制法、放射線障害防止法等の規制を受け安全性確保の上から適切に行う必要があり、一般廃棄物や産業廃棄物の処分求められる有害物質や重金属等による化学的毒性に対する措置と異なったものとなる。

ウラン廃棄物

原子力委員会報告書「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」（平成 12 年 12 月 14 日）で定義されたもので、原子炉施設の運転に使用されるウラン燃料は、その原料となるウラン鉱石から、製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程を経て製造される。これらの各工程を行う施設の運転・解体に伴い発生する放射性廃棄物をいう。

ウランを含む廃棄物

廃棄物の性状は、ウランそのものではなく、ウランが付着した放射性廃棄物であることをから、これを明確にするため、本報告書の検討対象である廃棄物を、「ウランを含む廃棄物」と定義した。

規制免除

単に免除とも言う。ある放射線源に起因する人の健康に対するリスクが無視できるほど小さいため、放射性物質として扱う必要がないことから、当該放射線源について放射線防護に係る規制の体系に入らないことを言う。

クリアランス

ある放射線源に起因する人の健康に対するリスクが無視できることから、放射性物質として扱う必要がなく、当該放射線源を放射線防護に係る規制の体系から外しても良いとすること。

注記 関係省令に定められた放射性物質として扱う必要のない物とする放射性物質の放射能濃度の基準をクリアランスレベルという。

低レベル放射性廃棄物

放射性廃棄物のうち高レベル放射性廃棄物以外のもの。

注記 主に浅地中トレンチ処分、浅地中ピット処分又は余裕深度処分の対象となる。

高レベル放射性廃棄物

使用済み核燃料を再処理した際の廃液を固化したガラス固化体のことを指す。核分裂生成物 (FP) と超ウラン核種 (TRU/MA) が主なもので、前者は強い放射線を放ち、後者は長期間放射線を放出する。

余裕深度処分

地表から深さ 50m 以上の地下に設置された廃棄物埋設地において放射性廃棄物を埋設の方法により最終的に処分すること。

注記 平成 20 年 3 月に改正された「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」の定義による。廃棄物埋設地は、処分空洞に相当する。この処分対象廃棄物は、比較的放射能濃度が高く、浅地中処分には適さないが、地層処分は必要としない廃棄物であり、原子炉施設、再処理施設、MOX燃料加工施設の運転及び解体に伴って発生する低レベル廃棄物である。具体的には原子炉内構造物、使用済制御棒、チャンネルボックス、プロセス廃棄物等である。

地層処分

原子力発電所から発生する使用済み燃料の再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物の最終処分方法の一つである。特定の地層にある、少なくとも地下数百メートル程度（わが国では 300m 以深）のトンネル、ボルトまたはサイロ内に建設される施設への処分である。

長半減期低発熱放射性廃棄物 (TRU廃棄物)

超ウラン元素を含む TRU 廃棄物は、高レベル放射性廃棄物と異なり、化学形態、放射能濃度も様々である。これらについては、現在、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及びその施行令により核種毎の放射能濃度が定められており、地層処分対象の低レベル放射性廃棄物としての第二種特定放射性廃棄物 (C-14 が 87TBq/t 以上、Cl-36 が 96GBq/t 以上、Tc-99 が 1.1TBq/t 以上、I-129 が 6.7GBq/t 以上、 α 線放出核種が 8.3GBq/t 以上のうちのいずれかの条件を満たすもの) と、これ以外の低レベル放射性廃棄物に分類され、分類に応じた処分がなされることとされている。

浅地中ピット処分

地上又は地表から深さ 50m 未満の地下に設置された廃棄物埋設地において、放射性廃棄物

を次のいずれかの埋設の方法により最終的に処分すること。

- ・外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法
- ・外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法

注記 法令及び安全審査の基本的考え方のピット処分と同義である。

浅地中トレンチ処分

地上又は地表から深さ 50m 未満の地下に設置された廃棄物埋設地において、放射性廃棄物を次の方法を除く埋設の方法により最終的に処分すること。

- ・外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法
- ・外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法

注記 法令及び安全審査の基本的考え方のトレンチ処分と同義である。

処分システム

浅地中ピット処分においては、人工バリアと天然バリアによって放射性廃棄物の生活環境への影響を防止するための仕組み。また、浅地中トレンチ処分においては、廃棄物埋設地と天然バリアによって放射性廃棄物の生活環境への影響を防止するための仕組み。

注記 浅地中ピット処分においては、人工バリアである廃棄体及び廃棄物埋設施設と天然バリアである地質環境によって構成される。生活環境の一部を含める場合もある。浅地中トレンチ処分においては、廃棄物埋設地と天然バリアから成り、生活環境の一部を含める場合もある。

被ばく経路

放射性物質が生活環境に到達してから、放射線又は放射性物質が人間に到達し、被ばくをもたらす道筋。

シナリオ

放射性廃棄物が人間に及ぼす影響を評価する観点から、処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて処分システム及び生活環境の長期挙動を描いたもの。

注記 状態設定及び移行経路を含む基本シナリオ、変動シナリオ及び人為事象シナリオについては、本体に説明している。移行媒体又は移行経路に着目してシナリオ（地下水、ガス移行又は土地利用）ということもある。

基本シナリオ

発生の可能性が高く、通常起きるものと考えざるをえないようなシナリオであり、過去及び現在の状況から、廃棄物埋設地とその周辺の地質環境及び被ばく経路の特性、並びにそ

れらにおいて将来起こることが確からしいと予見される一連の変化を考慮したもの。

変動シナリオ

発生の可能性は低いですが、安全評価上重要な変動要因を考慮したシナリオであり、廃棄物埋設地及び被ばく経路、並びにそれらにおける基本シナリオで選定した以外の様々な変化における変動の範囲を網羅的に考慮したもの。

人為事象シナリオ

廃棄物埋設地の存在を認識できず、偶発的に発生する人間活動により廃棄物埋設地及びその近傍の天然バリアに擾乱を与える行為を想定したもの。

廃棄物埋設地

浅地中ピット処分においては、放射性固体廃棄物を埋設するために又は人工バリアを設置するために土地を掘削した場所、及び放射性固体廃棄物を埋設し、埋め戻した場所。また、浅地中トレンチ処分においては、放射性固体廃棄物を埋設するために土地を掘削した場所、及び放射性固体廃棄物を埋設し、埋め戻した場所。

注記 浅地中ピット処分においては、単に埋設地ともいう。人工バリアを設置する場合は、その人工バリアを含む。また、浅地中トレンチ処分においては、隙間の充填材、覆土等設置又は成形したものを含めて、廃棄物埋設地又は埋設地という。

人工バリア

埋設された放射性固体廃棄物から生活環境への放射性物質の漏出の防止及び低減を期待する廃棄体及び人工構築物。

注記 廃棄体についても設計で強度部材として考慮する場合もある。

天然バリア

人工構築物又は埋設された放射性固体廃棄物の周囲に存在し、埋設された放射性固体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の抑制等が期待できるような岩盤又は地盤等。

生活環境

人間を含む生物が生息する領域（生物圏）のうち、評価対象地点周辺で一般的な水（河川水等）の利用と土地の利用が想定される深さ、人間が活動する範囲及びその環境。

埋設施設

廃棄物埋設地及びその附属施設。廃棄物埋設施設という場合もある。

注記 附属施設としては、放射性固体廃棄物受入れ施設、放射線管理施設等がある。

段階管理

公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低く抑えるため、埋設した放射性固体廃棄物の放射能が時間の経過に伴って低減すること等によって、放射性物質の生活環境に及ぼす影響が安全上支障のないレベル以下になることを確認するまでの間、放射性固体廃棄物の種類、放射能レベル等に応じて廃棄物埋設地の管理を段階的に行うこと。

管理期間

処分場において、操業を行う期間（操業期間）及び監視、巡視、点検、特定行為の制約等の管理を行う期間。

処分場

廃棄物埋設施設を設置した敷地。

操業期間

管理期間の一部の期間であり、廃棄体を廃棄物埋設施設に受け入れてから廃棄物埋設地の覆土が終了するまでの期間。

地表水

河川水、湖沼水等陸地の表面に存在する水。

注記 海水、地表近くの一般的に利用可能な帯水層、伏流水等含める場合は、“地表水等”という。

ラドンガス

希ガス元素の一種で、原子番号が 66 の放射性をもつ気体。無味無臭、水に溶けやすい。ラドンは岩石中のウランやトリウムといった物質が放射性壊変することで生成される。天然でもいくらか存在している。

注記 ラドンガスを過度に体内に取り込めば、内部被ばくによる放射線障害が起こりえる。

地下水シナリオ

放射性廃棄物が人間に及ぼす影響を評価する観点から、処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて処分システム及び生活環境の長期挙動を描いたもの。移行媒体又は移行経路として地下水に着目したシナリオである。

跡地利用シナリオ

放射性廃棄物が人間に及ぼす影響を評価する観点から、処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて処分システム及び生活環境の長期挙動を描いたもの。移行媒体又は移行経路として処分場の跡地に着目したシナリオである。

研究施設等廃棄物

原子力の研究開発や放射線利用に伴って発生する低レベル放射性廃棄物であり、日本原子力研究開発機構の各原子力施設、及び大学や民間機関等が設置した試験研究炉、核燃料物質使用施設、放射性同位元素使用施設、医療機関等から発生する放射性廃棄物の総称をいう。

第二種埋設事業

原子炉等規制法第五十一条の二で規定されている廃棄の事業で、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分及び浅地中処分を行う埋設事業を指す。

覆土

廃棄物埋設地において、放射性物質の飛散を防ぎ、直接線の影響を抑制するために、埋設した廃棄物層の表面を覆う土砂を指す。

廃棄体等

トレンチ処分を対象としても、コンクリート等廃棄物のみならず、スラッジ等は固型化処理により廃棄体化することを想定しているため、本報告ではコンクリート等廃棄物と廃棄体を合わせて「廃棄体等」とした。

委員会活動

「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会

委員名簿

(順不同、敬称略)

主査	井口 哲夫	名古屋大学
幹事	菊池 孝	(公財)原子力バックエンド推進センター
	金子 悟	日本原燃株式会社 (第1回委員会まで)
	佐々木 泰	日本原燃株式会社 (第2回委員会から)
委員	池田 泰久	東京工業大学
	市川 康明	岡山大学
	出光 一哉	九州大学
	榎戸 裕二	(公財)原子力バックエンド推進センター
	大江 俊昭	東海大学
	大場 恭子	東京工業大学
	奥津 一夫	鹿島建設株式会社 (第2回委員会から)
	勝田 忠広	明治大学
	小崎 完	北海道大学
	坂下 章	三菱重工業株式会社 (第2回委員会から)
	高橋 邦明	(独)日本原子力研究開発機構
	土 宏之	清水建設株式会社 (第2回委員会から)
	朽山 修	(公財)原子力安全研究協会
	新堀 雄一	東北大学
	長谷川 信	(独)日本原子力研究開発機構
	加藤 和之	日本原燃株式会社 (第2回委員会まで)
	古谷 誠	日本原燃株式会社 (第3回委員会から)
	椋木 敦	日揮株式会社 (第2回委員会から)
	柳原 敏	福井大学
	山本 修一	株式会社大林組
	吉田 憲正	株式会社東芝

「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会

活動記録

第1回委員会 平成26年6月18日

- (1) 放射能濃度の低いウランを含む廃棄物のトレンチ処分の安全評価について
- (2) 低レベル放射性廃棄物処理処分技術の体系化に関する検討課題について
- (3) 低レベル放射性廃棄物処理処分の推進のための理解活動等に関する検討課題について
- (4) バックエンド分野における人材確保および育成の方策に関する検討課題について

第2回委員会 平成26年9月1日

- (1) 低レベル放射性廃棄物の処分にかかわる新規規制基準への対応、およびウラン廃棄物の処理処分を進めるための合理的な規制の在り方の検討について
- (2) バックエンド分野における人材確保及び育成の方策に関する検討課題について
- (3) 低レベル放射性廃棄物処理処分の推進のための理解活動等に関する検討課題について

第3回委員会 平成26年10月23日

- (1) ウラン廃棄物処分の考え方 中間報告書(案)について
- (2) 低レベル放射性廃棄物処理処分の推進のための理解活動等に関する検討課題について
- (3) バックエンド分野における人材確保及び育成の方策に関する検討課題について

第4回委員会 平成26年12月18日

- (1) バックエンド分野における人材確保及び育成の方策に関する検討課題について
- (2) 低レベル放射性廃棄物処理処分技術の体系化に関する検討課題について
- (3) 低レベル放射性廃棄物処理処分のための理解活動等に関する検討課題について

第5回委員会 平成27年1月22日

- (1) ウランを含む廃棄物処分の考え方について
- (2) 低レベル放射性廃棄物処理処分技術の体系化等に関する検討課題について
- (3) 低レベル放射性廃棄物処理処分の推進のための理解活動等に関する検討課題について
- (4) バックエンド分野における人材確保及び育成の方策に関する検討課題について

