

## 放射性廃棄物処理・処分技術概論

亀井玄人<sup>\*1</sup>

近年、日本では震災を契機として原子力に対する関心が高まり、このことから派生して地層処分をはじめ、放射性廃棄物の処理・処分も重要問題として認識されるようになってきている。このような現状を踏まえ、放射性廃棄物の発生と性状、処理技術概要、および高レベル放射性廃棄物を事例とした廃棄物特性に基づいた処分システムとその安全評価などについて解説する。

**Keywords:** 放射性廃棄物、処理、地層処分、安全評価

After the Fukushima accident, concerns to nuclear power have been growing in Japanese society. Deriving from the issue, radioactive waste processing and disposal, including geological isolation, has been regarded as an important social problem. In consideration to such social trends, the author present fundamental information about radioactive waste generation, processing technology, disposal system (especially for high-level radioactive waste) based on the waste properties, and its safety assessment.

**Keywords:** Radioactive waste, Processing, Geological disposal, Safety assessment.

### 1 放射性廃棄物の発生

放射性廃棄物とは、原子力施設（原子力発電所、再処理施設、核燃料加工施設、研究施設）や医療施設などの運転や解体に伴って発生する放射性物質によって汚染された廃棄物で、その放射性物質濃度が法律で定める基準以上のものとをいう。図1に放射性廃棄物の種類とその発生元を示す。このうち高レベル放射性廃棄物（以後、HLWと記す）とは、使用済燃料から再処理施設でウランとプルトニウムを分離したあとの放射性廃液をガラス固化したもので、ガラス固化体とも呼ばれる。ちなみに、100万kW原子炉1年間運転（稼働率80%）で約30tの使用済燃料が発生し、これを再処理すると約30本のガラス固化体が発生する。これ以外の放射性廃棄物は、わが国ではすべて低レベル放射性廃棄物に区分される。また、長半減期低発熱放射性廃棄物はTRU廃棄物とも呼ばれ、再処理施設のほかプルトニウム燃料加工施設等からも発生する。なお、本稿では以後TRU廃棄物と記す。

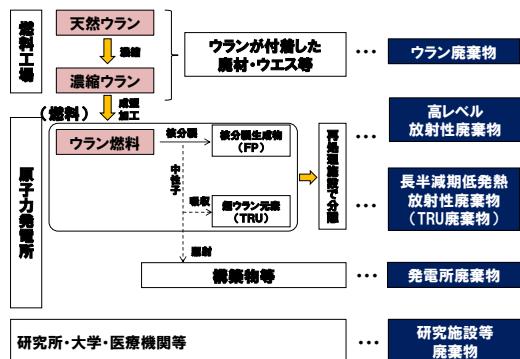


図1 放射性廃棄物の発生フロー

### 2 処理技術概要

放射性廃棄物を安全に処分するために行う処置のことを処理という。処理すべき放射性廃棄物の形態には、気体、液体、および固体状のものがある。その対処方策を以下に記す。気体については、性状等に応じて、減衰処理、吸着処理、濾過処理を経て、安全基準に適合することを確認して環境中に放出される。液体については、放射性物質や液体の特徴に応じて、放射性物質を取り除いた上で環境中に放出するとともに、この処理過程（蒸発濃縮処理、膜分離処理、凝集沈殿処理、イオン交換処理等）で発生する沈殿物等についてはセメント系材料等の固形化材料用いて固化される。固体については、放射性廃棄物の物量や容積を減少させる技術として、除染処理や減容処理がある。除染処理には、プラスト除染や化学除染などがあり、これらによって放射性物質濃度を法律で定める基準（クリアランスレベル）未満に低減させ、一般の産業廃棄物としたり、リサイクル材料として活用したりすることが期待できる。また、減容処理には焼却処理、圧縮処理、溶融処理などがある。いずれにせよ、処分に当たっては処分施設の受け入れ要件を満たす必要があり、廃棄物を容器に入れ、セメント系材料等で充填するといった廃棄体化処理が施される。

### 3 HLWとTRU廃棄物

以後、放射性廃棄物のうち、燃料サイクルから発生する廃棄物であるHLWとTRU廃棄物を例に解説する。まず処分施設は、処分しようとする廃棄物の性状に応じて設計される必要がある。図2はHLWとTRU廃棄物の性状として、その放射能濃度の分布を示すものである。TRU廃棄物はきわめて広範な放射能濃度分布を持つことが特徴で、後述するように濃度に応じて埋設深度が区分され、一部はHLWと同様、地層処分が適切と考えられている。ちなみに最終処分法では、前者を第1種特定放射性廃棄物、後者を第2種特定放射性廃棄物と呼ぶ。ほかに、処分の観点からとくに留意すべき点として、HLWの熱的特性がある。HLWは埋設時（製造後30年間の貯蔵期間後）の発熱量として約560W/本の試算がある[1]。処分場は、このような特性がそのシステムに期待する機能を損なわないように設計される必要がある。

An outline of technologies of radioactive waste processing and disposal by Gento KAMEI (kamei.gento@jaea.go.jp)

\*1 日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 基盤技術研究開発部 Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会2015年度週末基礎講座における講演内容に加筆したものである。

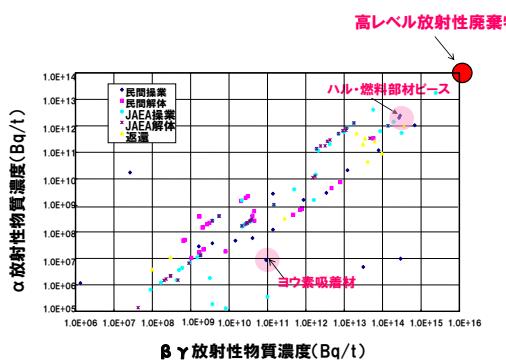


図 2 HLW および TRU 廃棄物の放射能濃度分布（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構[2]に加筆）

#### 4 放射性廃棄物の処分方策および安全確保の考え方

放射性廃棄物の処分方策としては、その性状に応じて廃棄物管理と廃棄物埋設に区分され、後者は「原子炉等規制法の政令濃度上限値」より高いものを第1種埋設（地層処分）、低いものを第2種埋設として区分される。さらに第2種埋設は、「第2種廃棄物埋設の事業に関する規則」に示された濃度より高いものを余裕深度処分とし、低いものを浅地中処分（ピット処分またはトレンチ処分）相当としている。HLW は第1種埋設に相当し、TRU 廃棄物は図 2 に示すように広範な濃度分布をもつことから、地層処分相当から浅地中処分相当まで幅広く存在する。

ここでは HLW を事例に、日本の地層処分における安全確保の考え方について解説する。要約すれば、廃棄物を人間環境から隔離し、制度的管理にたよらず受動的な安全確保方策を確立しようというもので、将来、放射性核種が人間の生活環境に近づくシナリオを考慮して、適切な対策を講ずるというものである。

シナリオは大きく接近シナリオと地下水シナリオに区分される（図 3）。接近シナリオに対してはマグマの貫入や人間の侵入などを考慮し、低リスクのサイト選定が基本的な対策となる。地下水シナリオは、地下水を介して放射性核種が人間環境に近づくというシナリオの総称であり、さらに、基本シナリオと変動シナリオに区分される。基本シナリオ



図 3 日本の地層処分における安全確保の考え方

では、現在の地質環境が将来も継続する、人工バリアは期待する機能が維持される、現在の地表の環境が継続される、といったことが前提であるのに対し、変動シナリオでは、地質環境の変動や処分場の初期欠陥、地下水に対する人間活動の影響などを考慮する。地下水シナリオに対しては、種々の変動因子も考慮した工学的対策が基本となる。

地下水シナリオに対する工学的対策としてはガラス固化体、オーバーパック、緩衝材からなる人工バリアに、天然バリアを合わせた多重バリアシステムが構築される。これには廃棄物の性状を踏まえた合理性がある。表 1 のように、製造当初のガラス固化体には比較的短寿命の Cs-137 と Sr-90 が圧倒的に多い。オーバーパックの設計寿命は 1000 年であるが、この間、地下水との接触を避けることにより、これらの核種の減衰が期待でき、評価の対象から除外することができる。これ以外の長寿命核種については、多重バリアによってその移動を制限することが期待できる（図 4）。

表 1 ガラス固化体の放射能と処分後に想定されること[3]

	半減期 (年)	1本あたりに 含まれる総放 射能 (Bq/本 製造直後)	ガラスの溶解 に伴う放出 率 (Bq/年)	地下水への 溶解度 (Bq/L)	想定される こと
Sr-90	29	5.5x10 <sup>15</sup>			オーバーパック内 で 1000 年で減 衰
Cs-137	30	7.6x10 <sup>15</sup>			
Am-241	432	3.0x10 <sup>13</sup>		6.1x10 <sup>6</sup>	数万年以上の地 下水移行期間に わたる減衰
Am-243	7370	7.9x10 <sup>11</sup>		3.6x10 <sup>5</sup>	
Se-79	65,000	1.7x10 <sup>10</sup>		6.1x10 <sup>2</sup>	
Sn-113	100,000	3.0x10 <sup>10</sup>		6.6x10 <sup>5</sup>	
Tc-99	210,000	5.2x10 <sup>11</sup>		2.5x10 <sup>3</sup>	多量の地表水に より希釈
Zr-93	1,530,000	7.4x10 <sup>10</sup>		8.6x10 <sup>3</sup>	
Np-237	2,140,000	1.8x10 <sup>10</sup>		1.2x10 <sup>2</sup>	
Cs-135	2,300,000	1.8x10 <sup>10</sup>	2.6x10 <sup>5</sup>		

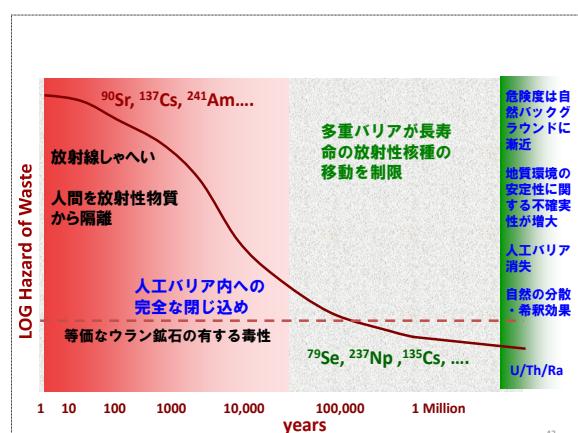


図 4 核種の移行抑制に関する多重バリアの機能

地層処分システムの安全評価の手順を略記すれば、網羅的に抽出したシナリオを数学モデルに表し、必要なデータを入力、解析し、その結果を安全基準と比較する、ということである。この場合、安全指標は線量やリスクである。図 5 は線量を指標とした場合の地層処分の安全評価結果の例であるが、最大線量が基準値と比較される。当然のことながら、この評価値は処分場の核種インベントリや人間の生活圏も含めた地質環境によって大きく変動する。また、

この評価の信頼性は、解析に用いる数学モデルと入力データの信頼性に依存する。いわゆる地下研究施設での試験などを通じ、地質環境でのこれらの適用性確認が重要と考えられる。

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－ 分冊3 地層処分システムの安全評価. JNC TN1400 99-023 (1999).

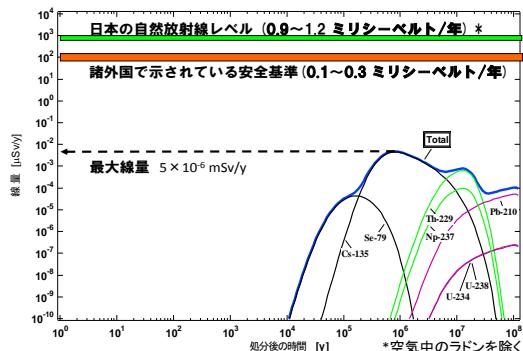


図 5 地層処分の安全評価結果の一例（核燃料サイクル開発機構[4]に加筆）

### 3 おわりに(今後の課題)

本講演では、放射性廃棄物の発生と分類、処理技術を述べ、とくに地層処分を例として処分技術について概説した。最後に放射性廃棄物全般に係る、今後の主要な課題と思われる事項を列記する。

- ・処分事業に確実に廃棄体を引き渡すことのできる合理的処理技術の構築
- ・処分場の設計・施工技術や安全評価ツールの適用性確認（地下研究施設の活用）
- ・国民理解に基づく処分場の確保
- ・人材育成、技術・情報の継承
- ・事故廃棄物の処理・処分
- ・幅広い選択肢確保の点から処分オプションの技術検討

### 謝辞

放射性廃棄物の発生と処理技術については、JAEAの高橋邦明氏より資料の提供を得ました。記して謝意を表します。

### 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構：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－ 分冊2 地層処分の工学技術. JNC TN1400 99-022 (1999).
- [2] 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構：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－. JNC TY1400 2005-013 FEPC TRU-TR-2005-02(2005).
- [3] 増田純男：地層処分概念の開発経緯. JAEA 第7回地層処分コロキウム資料 (2014).
- [4] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放

