

研究施設等廃棄物埋設事業計画策定のための
受入要件等に関する調査

(委託研究)

Study of Waste Acceptance Criteria for Low-level Radioactive Waste
from Medical, Industrial, and Research Facilities
(Contract Research)

鯉淵 浩人 土肥 輝美 石黒 秀治* 林 勝*
千田 正樹*

Hiroto KOIBUCHI, Terumi DOHI, Hideharu ISHIGURO*, Masaru HAYASHI*
and Masaki SENDA*

バックエンド推進部門
事業計画グループ

Project Planning Group
Nuclear Cycle Backend Directorate

December 2008

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2008

研究施設等廃棄物埋設事業計画策定のための受入要件等に関する調査
(委託研究)

日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門

埋設事業推進ユニット

鯉渕 浩人, 土肥 輝美, 石黒 秀治*, 林 勝*, 千田 正樹*

(2008年5月16日受理)

日本原子力研究開発機構(以下「機構」という。)は、機構を始め、大学・民間等の研究所等から発生する極低レベル放射性廃棄物及び低レベル放射性廃棄物(以下、「研究施設等廃棄物」)の浅地中処分の埋設事業計画を策定する。その際、機構以外を発生源とする廃棄物形態等を想定した廃棄物の受入要件は、本事業の許認可における安全評価等の観点で重要となる。従って本調査において、国内外の低レベル放射性廃棄物の受入れ基準、医療廃棄物の管理状況、わが国の「研究施設等廃棄物」のうち、「RI 廃棄物」を除いた「研究所等廃棄物」に関する基礎データ等について調査・整理を行い、埋設事業計画策定時に必要とされる廃棄物(廃棄物)受入要件等の検討を行った。

わが国の低レベル放射性廃棄物の受入れ基準に関しては現行法規を、諸外国の同基準に関しては、代表的なアメリカ、フランス、イギリス、スペイン各国について文献等を参考に整理した。

研究所等廃棄物に関しては、浅地中処分を対象とする廃棄物の物量や特徴を整理した。また、有害廃棄物、二重規制対象廃棄物の取扱い、廃棄物所有権の取扱いなど、今後の検討課題も挙げた。

以上の調査結果等をもとに、研究所等廃棄物の受入要件に関して法規上、技術上必要となる対応策、整備事項などを報告する。

本調査は、財団法人原子力研究バックエンド推進センターが日本原子力研究開発機構との契約により、平成19年度に実施した成果をまとめたものである。

東京事務所(駐在): 〒100-8577 東京都千代田区内幸町2-1-8 新生銀行本店ビル11階

* 財団法人 原子力研究バックエンド推進センター

Study of Waste Acceptance Criteria for Low-level Radioactive Waste from Medical, Industrial,
and Research Facilities
(Contract Research)

Hiroto KOIBUCHI, Terumi DOHI, Hideharu ISHIGURO*, Masaru HAYASHI*
and Masaki SENDA*

Radioactive Waste Management Unit
Nuclear Cycle Backend Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(Received May 16, 2008)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is supposed to draw up the plan for the disposal program of the very low-level radioactive waste and low-level radioactive waste generated from medical, industrial and research facilities. For instance, there are these facilities in JAEA, universities, private companies, and so on. JAEA has to get to know about the waste and its acceptance of other institutions described above because it is important for us to hold the licenses for the disposal program regarding safety assessment.

This report presents the basic data concerning radioactive waste of research institutes etc. except RI waste, domestic and foreign information related to acceptance criteria for disposal of the low-level radioactive waste, the current status of foreign medical waste management, waste acceptance, and such.

In this report, Japan's acceptance criteria were summarized on the basis of present regulation. And, the criteria of foreign countries, United States, France, United Kingdom and Spain, were investigated by survey of each reference.

In addition, it was reported that the amount of waste from laboratories etc. for near-surface disposal and their characterization in our country. The Subjects of future work: the treatment of hazardous waste, the problem of the double-regulation (the Nuclear Reactor Regulation Law and the Law Concerning Prevention from Radiation Hazards due to Radioisotopes and Others) and the possession of waste were discussed here.

This work was performed by the contract with RANDEC in the fiscal year 2007.

* Radioactive Waste Management and Nuclear Facility Decommissioning Technology Center (RANDEC)

Keywords: Low-Level Radioactive Waste, Waste Disposal, Waste Acceptance Criteria, Radioactive Medical Waste Management

This is a blank page.

目次

1. 緒言	1
2. 国内外の低レベル放射性廃棄物受入基準の整理	2
2.1 わが国の廃棄物受入基準の整理	2
2.1.1 廃棄物の区分と処分方法	2
2.1.2 低レベル放射性廃棄物処分事業に関する現行法規	4
2.1.3 廃棄物技術基準に係る現行法規の整理	4
2.2 諸外国の廃棄物処分場と廃棄物受入れの現状	15
2.2.1 米国における低・中レベル放射性廃棄物処分の概況	15
2.2.2 フランスにおける低・中レベル放射性廃棄物処分の概況	18
2.2.3 英国における低レベル放射性廃棄物処分の概況	21
2.2.4 スペインにおける低・中レベル放射性廃棄物処分の概況	23
2.3 諸外国における医療廃棄物の管理概況	25
2.3.1 フランスにおける医療廃棄物の管理の現状	25
2.3.2 米国における医療廃棄物の管理の現状	25
2.3.3 英国における医療廃棄物の管理の現状	27
3. 研究所等廃棄物の受入れ要件等の検討	29
3.1 研究所等廃棄物に関する基礎データの調査及び整理	29
3.1.1 浅地中処分対象廃棄物の物量把握	29
3.1.2 試験研究炉及び使用施設のデータ分析	29
3.1.3 発生施設ごとの廃棄物の特徴	33
3.1.4 今後検討すべき事項	35
3.2 研究施設等廃棄物埋設事業計画策定に対する廃棄物受入れ要件の検討	36
3.2.1 廃棄物(廃棄物)受入要件の整理	36
3.2.2 廃棄物確認への技術的対応策の検討	37
3.2.3 法規整備, 研究開発要件等に関する検討	39
4. まとめ	41
参考文献、引用文献	42
付録 1: 研究所等廃棄物に対する原子力委員会, 同安全委員会の見解	44
付録 2: フランスにおける α 廃棄物の浅地処分及びクリアランスの考え方と現状について	46
付録 3: 調査票記載区分表	59

Contents

1. Introduction	1
2. Arrangement of Domestic and Foreign low-level Radioactive Waste Acceptance Criteria in Disposal Facilities	2
2.1 Arrangement of low-level Radioactive Waste Acceptance Criteria in Japan	2
2.1.1 Classification and Disposal Method of Radioactive Waste	2
2.1.2 Present regulations of low-level Radioactive Waste Disposal Project	4
2.1.3 Arrangement of Present Regulations that Concerned Technical Criteria	4
2.2 Present Situation of Radioactive Waste Acceptance in Foreign Countries	15
2.2.1 Overall Condition of low and intermediate-level Radioactive Waste Disposal in United States	15
2.2.2 Overall Condition of low and intermediate-level Radioactive Waste Disposal in French	18
2.2.3 Overall Condition of low-level Radioactive Waste Disposal in United Kingdom	21
2.2.4 Overall Condition of low and intermediate-level Radioactive Waste Disposal in Spain	23
2.3 Overall Condition of Radioactive Medical Waste Management in Foreign Countries	25
2.3.1 Current Situation of Radioactive Medical Waste Management in French	25
2.3.2 Current Situation of Radioactive Medical Waste Management in United States	25
2.3.3 Current Situation of Radioactive Medical Waste Management in United Kingdom	27
3. Study of Acceptance Criteria for Radioactive Waste from Medical, Industrial and Research Facilities	29
3.1 Basic Data and Arrangement of Radioactive Waste from Medical, Industrial and Research Facilities	29
3.1.1 Understanding of Radioactive Waste Quantities for Near Surface Disposal	29
3.1.2 Data Analysis of Research Reactor and Nuclear Facility	29
3.1.3 Characterization of Radioactive Waste of Each Facilities	33
3.1.4 Subject of Future Investigation	35
3.2 Study of Acceptance Criteria for Project Decision	36
3.2.1 Arrangement of Waste Acceptance Criteria	36
3.2.2 Study of Technical Countermeasure for Confirmation of Waste	37
3.2.3 Study of Regulation, Research and Development	39

4. Conclusion 41

References 42

Appendix1. Statement on Radioactive Waste from Medical, Industrial and Research
Facilities by Atomic Energy Commission and Nuclear Safety Commission..... 44

Appendix2. Current Situation of Alpha-emitters Disposal and Clearance System in
French46

Appendix3. Table of Waste Content59

This is a blank page.

1. 緒言

わが国で発生する低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所から発生するもの(以下、「発電所廃棄物」)のほかに、大学・民間・医療機関等から発生するもの(以下、「研究施設等廃棄物」)がある。発電所廃棄物は、運転履歴や長年のデータ蓄積等によって含有核種をある程度推測できることから、処分場への受入要件等も整備され、既に原燃(株)により埋設処分事業が開始されているところである。

一方で、研究施設等廃棄物の埋設処分事業については、その最大の発生者である(独)日本原子力研究開発機構(以下、「機構」)が実施主体となって推進することが適切とされている¹⁾。本事業を推進するにあたっては、多種多様な事業所から発生する廃棄体形態や含有核種等を想定した受入要件を考慮して事業計画を策定する必要がある。

従って本調査において、国内外の低レベル放射性廃棄物の受入れ基準、医療廃棄物の管理状況、わが国の「研究施設等廃棄物」のうち、「RI 廃棄物」を除いた「研究所等廃棄物」に関する基礎データ等について調査・整理を行い、埋設事業計画策定時に必要とされる廃棄体(廃棄物)受入要件等の検討を行った。

2. 国内外の低レベル放射性廃棄物受入基準の整理

2.1 わが国の廃棄物受入基準の整理

2.1.1 廃棄物の区分と処分方法

(1) 放射性廃棄物の区分

わが国では、放射性廃棄物はまず「高レベル放射性廃棄物」と「低レベル放射性廃棄物」に大きく分けられる。高レベル放射性廃棄物は、使用済燃料を再処理する過程で発生する放射能レベルの高い廃液をガラス固化したもの、低レベル放射性廃棄物はそれ以外のものとされている。低レベル放射性廃棄物は更に、その発生源や廃棄物の種類によって「発電所廃棄物」、「TRU 廃棄物」、「ウラン廃棄物」、「研究施設等廃棄物」の4種類に分けられる。各廃棄物の区分・廃棄物例・発生源は表 2-1^{1),2)}にまとめたとおりである。

本調査で対象としているのは、「研究施設等廃棄物」のうち、「RI 廃棄物」を除く「研究所等廃棄物」で、実用発電用原子炉を除く原子炉^{※1}及び核燃料物質の使用施設等^{※2}の操業から発生する放射性廃棄物(例:原子力機構等の研究機関や大学,民間企業等において実験で使用した手袋やペーパータオル,廃液等)及びこれらの施設の解体により発生する放射性廃棄物(例:核燃料物質が付着したコンクリートや金属,放射化した炉内構造物等)をいう。¹⁾

(2) 放射性廃棄物の処分方法

放射性廃棄物は適切な処理を経て、その廃棄物の含有核種や濃度に応じた埋設深度や放射性物質の漏出を抑制するためのバリアの違いによって、次の4つに分けられる。

1. 浅地中トレンチ処分: コンクリートピットなどの人工構築物を設けない簡易な浅地中埋設処分
 2. 浅地中ピット処分 : コンクリートピットなどの人工構築物を設けた浅地中埋設処分
 3. 余裕深度処分 : 一般的な地下利用に対して十分な余裕を持った深度(地下約50-100m)にコンクリートピットなどの人工構築物を設けた処分
 4. 地層処分 : 人間の生活環境から十分離れた地下300mより深い地層中に処分
- 以上の各処分方法の概略を図 2-1 に示す。

※1 原子力機構の新型転換原型炉「ふげん」及び高速増殖原型炉「もんじゅ」は実用発電用原子炉ではないが、一方で、これらの炉は発電を行うことから、その廃棄物は研究所等廃棄物であるとともに発電所廃棄物としても位置づけられている。

※2 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」でいう使用施設、貯蔵施設、廃棄施設。

表 2-1 放射性廃棄物の区分表

廃棄物の区分		廃棄物の例	発生源	
高レベル放射性廃棄物		ガラス固化体	再処理施設	
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの比較的高いもの	原子力発電所	
		放射能レベルの比較的低いもの		
		放射能レベルの極めて低いもの		
	長半減期低発熱放射性廃棄物 (TRU廃棄物)		燃料棒の部品, 廃液, フィルター等	再処理施設・MOX燃料加工施設
	ウラン廃棄物		消耗品, スラッジ, 廃器材等	ウラン濃縮・燃料加工施設
	研究施設等廃棄物	研究所等廃棄物	コンクリート, 廃器材, 廃液, フィルター等	試験研究炉, 核燃料物質の使用施設等
RI廃棄物		コンクリート, 廃器材, 廃液, フィルター等	RI使用施設等	

浅地中トレンチ処分

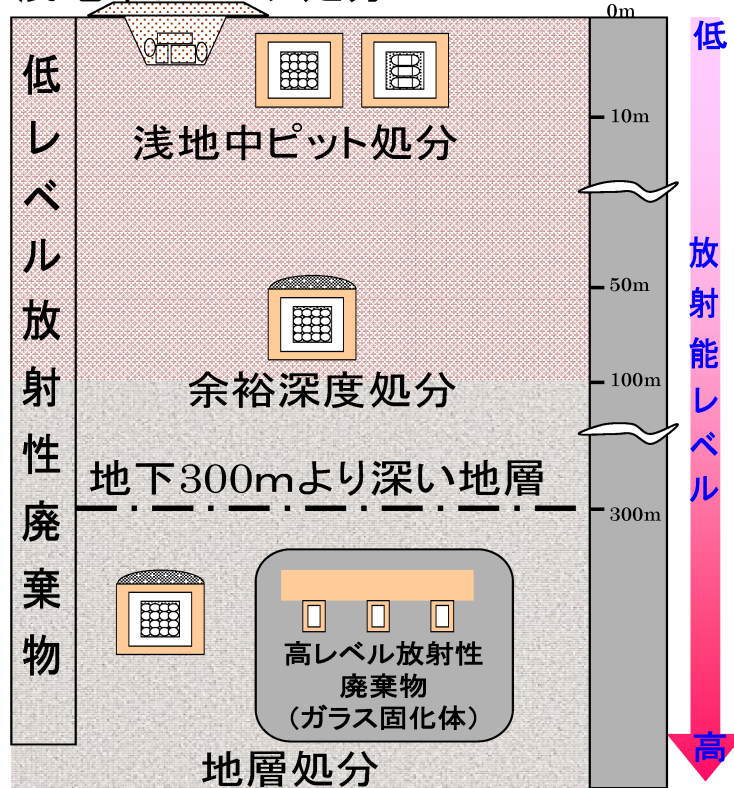
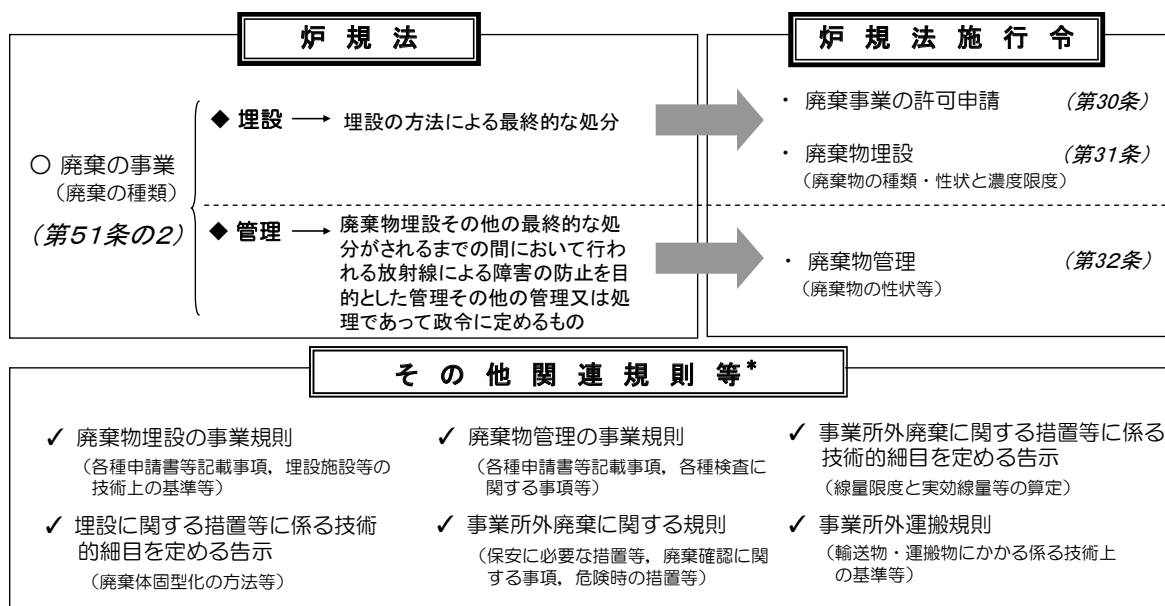


図 2-1 放射性廃棄物処分の概略図

2.1.2 低レベル放射性廃棄物処分事業に関する現行法規

核燃料物質の使用や廃棄等は、その安全を図るために「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(以下、「炉規法」)をはじめとした関連法令で規制されている。放射性廃棄物の埋設、管理に関する事業も、この炉規法及び関連法令によって、例えば事業の種類、各事業の実施方法、各種申請書の記載事項、事業対象施設的设计・工事方法等の認可、防護措置等に関する事項などが規定されている。図 2-2 に廃棄物埋設処分事業に係わる関連法令を示す。



* 上に記した規則等は正式な名称を略したものである。また、ここに記載した関連規則等は一部である。

図 2-2 廃棄物埋設処分事業に係わる関連法令

2.1.3 廃棄体技術基準に係る現行法規の整理

(1) 廃棄体の技術基準の要件

図 2-2 に示したとおり、廃棄体に関する技術基準等を定める法令、規則はまず、「炉規法施行令第31条」に廃棄物の種類、廃棄体形態、放射性核種ごとの濃度上限値が定められているほか、申請要件、技術的細目については「廃棄物埋設事業に関する規則」、並びに「埋設に関する措置に係る技術的細目を定める告示」に定められている。

廃棄体の形態は、原子炉施設を設置した工場又は事業所で生じた廃棄物で放射性核種ごとの放射能濃度上限値に応じて表 2-2 のように定められている。

しかしながら、トレンチ処分対象廃棄物については、原子力委員会は“コンクリート等廃棄物については、廃棄体中の放射能濃度等が埋設に係る技術基準に適合して安全であることを確認した上で「素堀処分」により処分する事が適当である。その他の廃棄物は焼却灰や金属等を固型化したものである。このような廃棄物については、放射能の観点以外にも、廃棄体からの有機性の汚水の発生や重金属の溶出等を考慮した対策が必要である。すなわちRI廃棄物と同様に、分別管理、無害化処理等を行った後、「管理型処分場」の構造規準を踏まえた処分施設での処分が必要であると考えられる。”という見解を示している。これに従えば、トレンチ処分ではコンクリート等廃棄物以外は「素堀処分」が困難で、

固型化処理等を行った上「管理型処分場」に処分することとなり、トレンチ処分といえどもピット処分に準じた固型化処理が必要であることを示唆している。

表 2-2 炉規法施行令第 31 条で定められる廃棄体の形態

第1項	廃棄体の形態	処分方法
第1号	容器に固型化したもの、又は金属製のもの(容器に固型化することが困難なものに限る)で開口部の密閉その他の処理をしたもの	浅地中ピット処分
第2号	容器に固型化したコンクリート等	
第3号	固体状のもので容器に固型化していないもの	浅地中トレンチ処分
第4号	コンクリート等で容器に固型化していないもの	
第2項	廃棄体の形態	処分方法
第1号	容器に固型化したもののほか、固体状のもの	余裕深度処分

1) 廃棄物の埋設処分を行うには、法第 51 条の 6 の規定に従って、廃棄体等が技術上の基準に適合しているか、経済産業大臣の確認を受けなければならない。この確認に関する事務の一部は、(独)原子力安全基盤機構(以下、「基盤機構」)が行うため、確認申請の際には、廃棄物に関する情報を所定の様式に記述して、基盤機構に提出する(核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則(廃棄物埋設の事業規則)第 7 条)。以下に、様式ごと、廃棄体の形態ごとの廃棄物埋設確認申請書への記述内容⁴⁾を記す。

「廃棄物埋設確認申請書記載事項」

【様式第 2(法施行令第 31 条, 一, 二, 相当廃棄体)

- ・廃棄体用: 廃棄体の数量
- ・整理番号(廃棄体ごと)
- ・放射性廃棄物の種類
- ・容器に固型化した方法
- ・重量
- ・廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギー
- ・廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度
- ・放射性廃棄物を示す標識
- ・表面における線量当量を示す標識
- ・標識整理番号の表示方法
- ・埋設しようとする年月日
- ・確認を受けようとする場所
- ・確認を受けようとする年月日

【様式第 3(法施行令第 31 条, 一, 相当廃棄体)】

- ・大型金属廃棄体用:大型金属廃棄体の数量
- ・整理番号(廃棄体ごと)
- ・放射性廃棄物の種類
- ・処理の方法
- ・重量
- ・大型金属廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギー
- ・大型金属廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度
- ・放射性廃棄物を示す標識
- ・表面における線量当量を示す標識
- ・標識整理番号の表示方法
- ・埋設しようとする年月日
- ・確認を受けようとする場所
- ・確認を受けようとする年月日

【様式第 4(法施行令第 31 条, 三, 四, 相当廃棄物)】

- ・非固化コンクリート等廃棄物用:廃棄物の数量
- ・区分
- ・放射性廃棄物の種類
- ・重量
- ・非固化コンクリート等廃棄物に含まれる放射性物質の種類とその放射エネルギー
- ・非固化コンクリート等廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度
- ・当該非固化コンクリート等廃棄物に関して本申請書に記載された事項と照合出来る措置の内容
- ・埋設しようとする年月日
- ・確認を受けようとする場所
- ・確認を受けようとする年月日

2) 廃棄体に係る技術上の基準は、廃棄物埋設の事業規則第 8 条により、次のとおり定められている。

「第 2 項 廃棄体に係る技術上の基準は次の各号による」

- 一、放射線障害防止のため、放射性廃棄物を経済産業大臣の定める方法により容器に固化してあること。
- 二、放射能濃度が申請書に記載した最大放射能濃度を超えないこと。
- 三、表面の放射性物質の密度が第 14 条第 1 号ハの表面密度限度の 10 分の 1 を超えないこと。
- 四、廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質として経済産業大臣の定める物質を含まないこと。
- 五、埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。
- 六、著しい破損がないこと。
- 七、容易に消えない方法により、廃棄体の表面の目につきやすい箇所に放射性廃棄物を示す標識及

び当該廃棄体の表面における線量当量率が経済産業大臣の定める線量当量率を超える場合にあっては経済産業大臣の定める標識(技術的細目を定める告示第6条, 7条)をつけ並びに当該廃棄体に関して第7条第1項第一号の申請書(様式第2)に記載された事項と照合出来る整理番号を表示したものであること。

「大型金属廃棄体」;

埋設規則第8条の第2項二号から七号を準用するほか, 放射線障害防止のため, 経済産業大臣の定める方法により開口部の密閉その他の処理をしておくこと。

「非固型化コンクリート等」;

埋設規則第8条の第2項二号の規定を準用するほか

一, 爆発性の物質を含まない事。

二, 当該非固型化コンクリート等廃棄物に関して第7条第1項第三号申請書(様式第4)に記載された事項と照合出来るよう措置が講じられていること

3) 廃棄体の製作に係る要件は, 「埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示」に以下のとおり定められている。

【告示第4条 固型化方法】

「液体状の廃棄物, イオン交換樹脂, 焼却灰, フィルタスラッジ, その他の粉粒体及びこれらを成型した廃棄物を容器に固型化する方法」

一, 固型化材料の指定

- ・JIS R5210(1992) 又は JIS R5211(1992)に定めるセメント
- ・JIS K2207(1990)に定める石油アスファルト, 針入度 100 以下
- ・不飽和ポリエステル

二, 容器の指定

- ・JIS Z1600(1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密封性をするもの

三, セメントを用いて固型化された廃棄物の強度

- ・一軸圧縮強度 1470 キロパスカル(15kg・/cm²)以上

四, アスファルト, 不飽和ポリエステルの廃棄体中固型化材料重量比の指定

- ・アスファルト:廃棄体重量(容器除く)の 50% 以上
- ・不飽和ポリエステル:廃棄体重量(容器除く)の 30% 以上

五, 不飽和ポリエステルで固型化した廃棄物の硬さ

- ・JIS K7215 に定める方法による測定値が 25 以上

六, 固型化材料(混和材料含む)と廃棄物の練り混ぜ条件の指定

- ・均一に混合させること
- ・容器内に有害な空隙が残らないようにすること

「固体状の放射性廃棄物を固型化材料(骨材, 添加剤等の混和剤含む)で容器に固型化する方法」

一, 固型化材料の指定

- ・JIS R5210(1992)又は JIS R5211(1992) に定めるセメント又はこれと同等のもの

二、容器の指定

・JIS Z1600(1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密性を有するもの

三、固型化材料の調整及び充填法の指定

- ・あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料を容器内の放射性廃棄物と一体になるよう充填すること
- ・容器内に有害な空隙が残らないようにすること

【告示第5条 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質の指定】

- 一、爆発性の物質又は水と接触したときに爆発的に反応する物質
- 二、揮発性の物質
- 三、自然発火性の物質
- 四、廃棄体を著しく腐食させる物質
- 五、多量にガスを発生させる物質

【告示第6条 規則第8条題2項七号の経済産業大臣の定める線量当量率】

1 cm 線量当量率:0.5mSv/h(ただし、経済産業大臣が認めた場合はこの限りではない)

【告示第7条 規則第8条題2項七号の経済産業大臣の定める標識】

廃棄体表面線量率:0.5mSv/h 以上は、レベルに応じ色帯標識(白, 橙, 赤)

(2) 廃棄体の形態別物量評価

廃棄体形態は、埋設規則に示す技術基準に準拠すれば、基本的に廃棄物と固型化材料を均質に練り混ぜて容器に固型化した「均質固化体」と容器にあらかじめ固体状廃棄物を収納し、均質に練り混ぜた固型化材料を充填して容器と一体的に固型化する「充填固化体」に分類される。従って、廃棄体処理設備としては最終的にこの2方式の処理設備に集約されるが、その前処理設備として、可燃物の焼却減容設備、フィルタ類等難燃物の圧縮減容設備が必要になる。このため前処理設備を含む廃棄体処理設備計画に資するため、それぞれの処理に適した廃棄物分類別の物量について検討する必要がある。また、現在までの廃棄物の実態調査結果によれば、改めて開梱分別をしなければ廃棄体処理に対応できない未分別収納廃棄物や集荷対象にできない液体状廃棄物、及び有害物質のため廃棄出来ない鉛等が少量存在する。これら廃棄物は当面その他廃棄物として分類しておき、その対策については別途検討することとする。

廃棄物区分のうち、多くを占めるウラン廃棄物は、現行の原子炉施設廃棄物の濃度区分から推定してその大部分がトレンチ処分対象と予想されるが、その廃棄体形態については原子力委員会原子力バックエンド対策部会(平成10年5月28日)が“コンクリート等廃棄物については、廃棄体中の放射能濃度等が埋設に係る技術基準に適合して安全であることを確認した上で「素堀処分」により処分する事が適当である。その他の廃棄物は焼却灰や金属等を固型化したものである。このような廃棄物については、放射能の観点以外にも、廃棄体からの有機性の汚水の発生や重金属の溶出等を考慮した対策が必要である。分別管理、無害化処理等を行った後、「管理型処分場」の構造規準を踏まえた処分施設での処分が必要であると考えられる。”との見解を表明しており、これに従えば、コンクリート等廃

棄物以外の廃棄物は、固型化等の廃棄体化処理の必要性を示唆しており、素堀トレンチ内にバラ積みで処分することはできないものと思われる。また、埋設規則第 8 条では、処分後の廃棄物については、非固型化コンクリート等廃棄物であっても申請書記載事項と照合出来る措置が必要であり、埋設単位区分の明確化と照合出来る措置を考慮する必要がある。これらを考慮すれば、トレンチ処分廃棄体の形態は、次のように考えられる。

素堀トレンチ:ブロック状コンクリート塊

フレキシブルコンテナ詰めコンクリート破砕片

管理型処分場:200ℓドラム缶固化体(均質固化体, 充填固化体)

金属等固体廃棄物を型枠に収納し、固型化材料で充填固化したブロック状固化体(型枠は再利用)

以上の諸条件を考慮した上で、機構を除く廃棄体形態を前提とした物量を次の表(表 2-3, 表 2-4)に示す。

表 2-3 トレンチ処分廃棄物
(平成 17 年度未保管量、単位：200ℓ ドラム缶換算本数)

固体廃棄物の種類	試験研究炉	政令第 41 条該当 核燃料等使用施設 (材料、燃料施設含む)	政令第 41 条非該当 核燃料等使用施設	合計*
β γ 廃棄物	充填固化体用	190.4	1	191.4
	均質固化体用	44.6	—	44.6
	焼却処理	34.3	—	34.3
	圧縮処理	15.3	—	15.8
	未分別廃棄物	6.8	15.8	22.6
	液体廃棄物	—	—	2
ウラン廃棄物	充填固化体用	5.6	1241	1246.6
	均質固化体用	—	29	29
	焼却処理	1.3	167	168.3
	圧縮処理	—	199.5	199.5
	未分別廃棄物	—	389	389
	液体廃棄物	—	21	21
TRU 廃棄物	充填固化体用	—	1	1
	均質固化体用	—	—	—
	焼却処理	—	18	18
	圧縮処理	—	203	203
	未分別廃棄物	1	539	540
	液体廃棄物	2	6	8
合計				32700.8
				2144.7

*各廃棄物の合計欄について、上段は充填固化体用、均質固化体用、焼却処理、圧縮処理の合計を、下段は未分別廃棄物と液体廃棄物の合計を表す。

表 2-4 コンクリートピット処分廃棄物
(平成 17 年度末保管量、単位：200ℓ ドラム缶換算本数)

固体廃棄物の種類	試験研究炉	政令第 41 条該当 核燃料等使用施設 (材料、燃料施設含む)	政令第 41 条非該当 核燃料等使用施設	合計*
β γ 廃棄物	充填固化体用	84.6	—	84.6
	均質固化体用	5	—	5
	焼却処理	14.3	—	14.3
	圧縮処理	166.8	—	166.8
	未分別廃棄物	30	—	30
	液体廃棄物	—	—	—
ウラン廃棄物	充填固化体用	13	57	129
	均質固化体用	—	3	5
	焼却処理	—	10	20
	圧縮処理	—	2	2
	未分別廃棄物	—	52	136
	液体廃棄物	—	—	1.2
TRU 廃棄物	充填固化体用	—	1	1
	均質固化体用	—	—	—
	焼却処理	—	—	—
	圧縮処理	—	3	3
	未分別廃棄物	—	3	3
	液体廃棄物	—	—	—
合計				430.7
				170.2

*各廃棄物の合計欄について、上段は充填固化体用、均質固化体用、焼却処理、圧縮処理の合計を、下段は未分別廃棄物と液体廃棄物の合計を表す。

尚、表 2-3, 2-4 に記載している固体廃棄物の種類については、以下の点に留意する必要がある。

- 1. 前記廃棄物量の単位は、各事業者の保管する 200 l ドラム缶実数及びそれ以外の収納のものについては、事業者の判断により 200 l ドラム缶数に換算したため、廃棄物分類ごとの標準収納量が一律でない。
- 2. なおこの集計に計上していない廃棄物として、当面集荷されない RI 廃棄物 (699 本) および固化体 (廃棄体?) として処理済みの原子力研究開発機構に保管されている廃棄物 (2602.3 本) 及び有害廃棄物 (373 本) がある。
- 3. 「未分別廃棄物」には「可、難燃」、「可、難燃、不燃」をひとまとめとした。TRU 廃棄物の「区分なし廃棄物」には混合廃棄物 (炉規制法・RI 放射線障害防止法) を含めている。
- 4. 表中充填固化体用廃棄物の廃棄体数は廃棄物量とほぼ同数、均質固化体は固型化法により 3~5 倍程度の廃棄体数に増量される。
- 5. 現在実用化されている廃棄体の例を図 2-3 に示す。

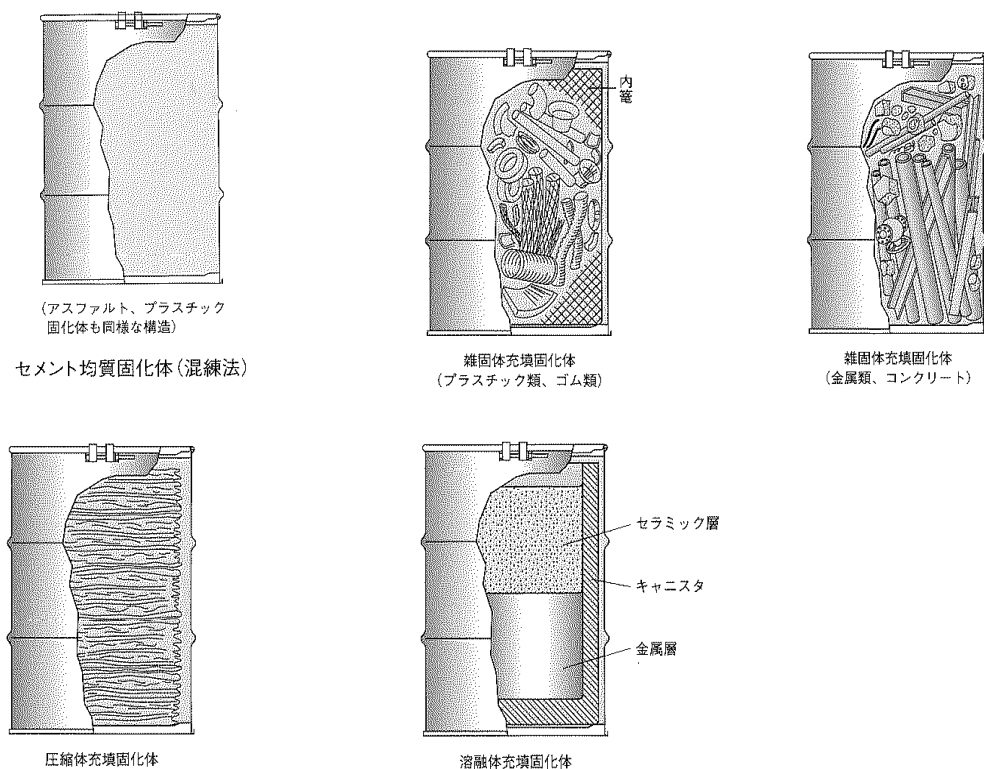


図 2-3 現在実用化されている廃棄体の例

(3) 埋設申請書記載事項と廃棄体（廃棄物）情報の照合

埋設規則第7条に定める、独立行政法人原子力安全基盤機構の制定する事務取扱規程に示す申請書記載事項のうち、廃棄体作製に伴う情報、及び確認手続きの日程、場所等については、今後の施設計画に準拠することになるが、現時点での課題は、全ての廃棄物について核種組成とその放射能濃度、放射エネルギーが廃棄物の分類ごとに明確に定義付けされていないことである。これらのデータは、埋設処分に際しての安全評価ならびに原子炉等規制法施行令及び埋設規則に定める廃棄体形態、埋設処分形態別の放射能濃度上限値遵守の基本となる重要なデータであるとともに、廃棄体処理に際しては減容を伴う前処理での濃縮評価、充填固化体における廃棄体ごとのインベントリ評価に不可欠である。また、大多数を占めるウラン廃棄物については、廃棄体作製後に外部から非破壊で放射能を測定することは困難となるため、廃棄体作製以前の放射能測定、評価の信頼性が極めて重要となる。

現行法規による廃棄体形態別に重要と思われる申請書記載事項の項目は次の通りである。（記載事項の一部省略）

廃棄体用：廃棄体の数量

整理番号（廃棄体ごと）

放射性廃棄物の種類

容器に固化した方法

重量

廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギー

廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度

放射性廃棄物を示す標識

表面における線量当量を示す標識

標識整理番号の表示方法

大型金属廃棄体用：大型金属廃棄体の数量

整理番号（廃棄体ごと）

放射性廃棄物の種類

処理の方法

重量

大型金属廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギー

大型金属廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度

放射性廃棄物を示す標識

表面における線量当量を示す標識

非固化コンクリート等廃棄物用：廃棄物の数量

区分

放射性廃棄物の種類

重量

非固化コンクリート等廃棄物に含まれる放射性物質の種類とその放射エネルギー

非固化コンクリート等廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度

当該非固型化コンクリート等廃棄物に関して本申請書に記載された事項と照合出来る措置の内容
 なお、非固型化コンクリート等廃棄物については、「申請書記載事項と照合できる措置」について考慮
 する必要があり、素堀トレンチに埋設する場合は、この要求事項に対処するため、埋設単位の区分や取
 扱い上の制約から想定される単位ごとに照合できるよう標識等の設置が必要と考えられる。

(4) 廃棄物情報の補完事項の検討

現状では、大学、民間等事業者の保有する廃棄物の管理とその情報整備は、処分方策が未定であ
 ったこともあり、埋設申請等を考慮して適切に管理がなされてきたとは言えない。研究所等廃棄物の埋
 設事業を具体化するためには、前項で指摘した廃棄物分類ごとの放射能情報の整備は最も重要であ
 り、その測定、評価に際しては廃棄物分類ごとの大枠での定義が必要となるため、測定のためのサン
 プル抽出法、サンプリング密度、測定誤差の取り扱い及び放射化学分析法による評価手法の標準化
 等合理的な測定手法の確立が望まれている。特に極低レベル領域での放射能データの測定手法とし
 て、トレンチ処分廃棄物の区分や今後制定されるクリアランスレベルの検認等において、この課題の解
 決がより重要となる。

また、廃棄物の管理状況を見ると、未分別廃棄物として改めて開梱分別をしなければ、次の廃棄体
 化処理工程に受け入れられない廃棄物及び、そのままでは受入できない液体状廃棄物も無視できな
 い程の量が見受けられる。これら廃棄物の取り扱いについては、可能であれば、各事業所での分別や
 固型化の実施及び、処理後の廃棄物管理情報の再構築が必要となる。

現在液体状で保管している廃棄物については、各事業所において簡易固化処理(例として容器に
 あらかじめ固型化材を充填しておき、そこに液体廃棄物を注入して含浸固化する方法がある)を行い、
 廃棄体として搬出する方法もある。また、廃棄できない有害廃棄物として、少量の汚染した鉛製品やそ
 の他廃棄物の存在があるが、これらについては、管理区域内での再利用や除染リサイクルの手法を検
 討してゆくことが必要である。

更に、法制度的課題に係る事項として原子炉規制法及び RI の放射線障害防止法の両規制を受け
 る廃棄物が存在しており、例えば、同一事業所内で区画を分けずにそれぞれの規制を受ける放射性
 物質を取り扱い、廃棄物を区分せずに混合廃棄物となったもの、構造上両方の規制対象となる排気系
 設備などから発生する廃フィルタなどである。これらの廃棄物については現在 RI 協会の集荷対象^{※3}か
 ら除外されており、今後何らかの法的対応措置が必要になるものと思われる。

いずれにしても、上記に示した各廃棄物の発生経緯、保管状況を考慮した上、所定の廃棄体形態
 に対応した廃棄物分類ごとの放射性核種組成とその核種ごとの放射能濃度、放射エネルギー等の廃棄物情
 報の整備は急務である。

※3 現在、集荷・処理を希望する事業者の RI 廃棄物は、発生者からの申し込みを受けて RI 協会が集荷を実施している。
 集荷に当たっては、発生者は、可燃物、難燃物等の分別を行うとともに、RI 廃棄物に含まれる放射性物質の種類や濃度
 等の内容を明示することになっている。¹⁾

2.2 諸外国の廃棄物処分場と廃棄物受入れの現状

原子力発電所や原子力の医療・産業利用、研究活動を行っている諸外国でも、放射性廃棄物の処分に取り組んでいる。ここでは、わが国の「研究施設等廃棄物」に相当する、海外の医療関連を含む小規模研究機関等から発生する放射性廃棄物の処分について、文献調査した結果を報告する。調査対象は、上記廃棄物の浅地中処分実施実績がある、米国・フランス・英国・スペインとし、廃棄物処分場への廃棄体受入基準を整理した。

2.2.1 米国における低・中レベル放射性廃棄物処分の概況

(1) 低レベル放射性廃棄物処分場の受入れ状況

米国では現在3つの州の商用処分場で低レベル放射性廃棄物(LLW)の処分が行われている。民間の原子力利用、DOE※4 扱い以外の政府発生分を発生源とするリッチランド処分場(ワシントン州)、バーンウエル処分場(サウスカロライナ州)は、それぞれ1965年、1971年に操業を開始している。リッチランド処分場、バーンウエル処分場では、低レベル放射性廃棄物についての要件(10 CFR Part61)に規定されているクラスA(低濃度)、クラスB(中濃度)、クラスC(高濃度)の廃棄物を受入れ、処分することが可能である。

表 2-5 米国における放射性廃棄物の区分 (2)

表1 「長寿命の核種」によって決定される放射性廃棄物濃度

放射性核種	放射能濃度
^{14}C	8 Ci/m ³
^{14}C (放射化金属中)	80
^{59}Ni (放射化金属中)	220
^{94}Nb (放射化金属中)	0.2
^{99}Tc	3
^{129}I	0.08
TRU(アルファ放射体)*	100 nCi/g
^{241}Pu	3,500
^{242}Cm	20,000

* : 半減期5年以上

表2 「短寿命の核種」によって決定される放射性廃棄物濃度

放射性核種	放射能濃度 (Ci/m ³)		
	カラム1	カラム2	カラム3
半減期5年未満の全核種の合計	700	なし	なし
^3H	40	なし	なし
^{60}Co	700	なし	なし
^{63}Ni	3.5	70	700
^{63}Ni (放射化金属中)	35	700	7,000
^{90}Sr	0.04	150	7,000
^{137}Cs	1	44	4,600

※4 DOE(米国エネルギー省): U.S. Department of Energy

1) 低レベル放射性廃棄物についての要件

低レベル放射性廃棄物についての要件(10 CFR Part61)に規定されているクラスは同規則表 2-5 (表 1)の長寿命核種と同表(表 2)の短寿命核種濃度基準に対する割合で分けられ、例えば、短寿命核種である Sr-90 では、クラス A は 0.04Ci/m^3 以下、クラス B は $0.04\sim 150\text{Ci/m}^3$ 、クラス C では $150\sim 7000\text{Ci/m}^3$ の濃度順となっている。この中でクラス A では、C-14, I-129 や半減期 5 年以上の TRU α 核種等の長寿命核種に対しては表 2-5(表 1)の基準値の 0.1 倍を超えない濃度限度となっている。クラス C では、長寿命核種では同表(表 1)の基準値以下、短寿命核種に対して同表(表 2)の基準値までが上限となっている。

2) 低レベル放射性廃棄物処分場の受入れの現状

リッチランド処分場では全てのクラスの低レベル放射性廃棄物と NARM(naturally occurring and accelerator-produced radioactive materials)の処分が、バーンウエル処分場では、全てのクラスの低レベル放射性廃棄物と大型の廃棄物の処分が行われている。これらの受入れ対象廃棄物は、原子力発電所、医療・産業利用や研究活動から発生するものである。

民間の原子力利用、核兵器開発関連、ウラン製錬などを発生源とするクライブ処分場(ユタ州)は、天然の土壌・粘土を用いた浅地中処分方式で、1988 年に操業を開始している。クライブ処分場では、ウランなどの天然起源放射性物質(NORM)が処分されてきたが、現在は 10 CFR Part61 に規定されているクラス A の廃棄物を受入れ、処分することが可能となっている。この他に PCB など化学的毒性をあわせ持った放射性廃棄物である混合廃棄物についても、受入れ、処分を行っている。クライブ処分場は、低レベルと混合廃棄物及び NORM, NARM を処分しており、特定の放射性物質を受け入れる危険物廃棄物とウラン採鉱残渣の処分サイトでは NRC による処分の規制を受けることなく処分されている。

3). 低レベル処分受入れ条件と今後の問題点

① 背景と問題点

米国議会は 1980 年に「低レベル放射性廃棄物政策法 1980」を制定し、州内で発生する LLW は州が責任を持つこと、その際地域全体で解決を図るため、「コンパクト(Compact:協定)」と呼ばれる州間の地域的協力体制の構築が望ましいとして、全米を 10 のコンパクトに分岐した体制を作った(表 2-6)。これは、すでに当時運転していた 3 処分場(リッチランド、ビーティ及びバーンウエル)を有する 3 州の懸念、即ち、これらの処分場が永続的に米国全土の LLW の捨て場として使用されるのでないか、また LLW 処分では各州は公平な扱いがなされるべきではないか、に対処するためであった。なお、現在、ビーティ処分場は閉鎖され、クライブ処分場(ユタ州)が運転されている。

しかしながらバーンウエル処分場は、現在の州法では 2008 年から、Atlantic コンパクトの 3 州以外からの廃棄物を受け入れなくなるため、処分場を有する Northwest, Rocky Mountain, 及び Atlantic コンパクトに加盟していない 36 州のクラス B,C の廃棄物が処分できなくなる。

36 州の非政府事業体には、原子力発電所、大学、病院と医療センター、研究所及びバイオテクノロジーと製薬会社を含む一般産業の施設が含まれる。B,C クラスの廃棄物の年間発生量のうち約 75% が 36 州で発生し、その約 10% が医療施設と原子力発電所以外の施設で発生する。商用利用を促進するために、既存のテキサス州 Andrews の危険物廃棄物サイトが処分場の認可を取得しつつある。これにより今後新たな州間のコンパクト施設は不要となるが、国レベルのルール作りが必要となる。

表 2-6 LLW Compact と参加州 (3)

Compact 名称	参加州名称	処分場 (有・無)
アパラチア	メリーランド州 他 3 州	無
アトランチック	サウスカロライナ州 他 2 州	有 (Energy Solution in Barnwell)
セントラル	ネブラスカ州 他 4 州	無 (1998 年に申請却下)
セントラルミッドウエスト	イリノイ州、ケンタッキー州	無 (2032 年までデコミ計画がない)
ミッドウエスト	インディアナ州 他 5 州	無
北西	ワシントン州、ユタ州 他 6 州	有 (US Ecology in Richland)
ロッキーマウンテン	コロラド州、ネヴァダ州 他 1 州	
南東	テネッシー州 他 6 州	無
南西	アリゾナ州 他 3 州	無 (サイトの申請をしたが連邦が土地の放出拒否)
テキサス	テキサス州、バーモント州	許可申請中 (テキサス西部に許認可申請中、2008 年審査終了)
所属なし	メイン州他 9 州は、どの Compact からも脱落している。	無
Compact システム外	DOE 及び非政府施設廃棄物	有 (Energy Solution in Clive)

② クラス A 廃棄物の処分場:

・ユタ州のクライブ処分場は Northwest コンパクト以外の 42 州からのクラス A 廃棄物を受け入れており、これは全国の大半のクラス A 廃棄物の受入を意味する。この受入れ対象となる廃棄物は、原子力発電所、医療・産業や研究活動、さらにウラン精錬等により発生したものである。

・エンバイロケア(2006 年 Energy Solutions に名称変更)は、このクライブサイトで別に処分施設を操業し混合廃棄物、ウラン及びトリウムの鉍砕を処分している。商用に加え、クライブサイトは DOE 兵器施設からの廃棄物も受け入れている。2005 年に州法で州内でのクラス B,C 廃棄物の処分が禁止され、Energy Solutions はクラス B,C 廃棄物の処分許可取得を断念している。

・ユタ州のクライブ処分場は法律改正で施設の拡張を図れるようになった。ウランの鉍滓用に確保されているセルをクラス A 廃棄物の処分に転用することで今後 23 年間クラス A 廃棄物を処分できるスペースを確保した。

③ 危険物廃棄物の処分施設:

・US エコロジー社はアイダホの危険物施設の許可によって低放射能物質の処分を可能にした。廃棄物の受入基準に従うと、少量の線源物質、NARM, NORM, NRC や州間協定にある規制除外の廃棄物の処分が可能である。概算としてグラムあたり 2000 ピコキュリーが制限値となっている。規制免除の項目は基本的にはケースバイケースで決められる。

・テキサス危険廃棄物施設 Andrews (WASTE CONTROL SPECIALIST 社)は低放射能 LLW と NRC の規制除外値に近いものを受け入れる。アイダホとテキサスの危険廃棄物施設運転者は国及び

産業界の放射性廃棄物を受け入れるとともに、市場価格を設定することができる。その他のカリフォルニアとテキサス州の危険廃棄物施設は少量の受入を行っている。

④ 産業界の動向

低レベル廃棄物政策法や他の法律に目立った改正のないまま、現状の複数の民間会社が所有運転する処分場が種々の市場条件下で種々の廃棄物を受け入れるという仕事の方法は今後も続くであろう。これは市場が作り上げたシステムである。

クラス A, B 及び C 廃棄物の処分をめぐる競争はテキサス Andrews 処分場が許認可申請し、追加の処分が可能となれば競争が激しくなる。テキサス州 Andrews 近郷の Waste Control Specialists 社の新しい民間の LLW 処分サイトについては、許可申請書をテキサス州が審査している。申請サイトにはテキサス州間協定のための LLW を処分する施設と、政府の混合 LLW 及び LLW を処分する施設が含まれる。許可の決定は 2007 年 12 月までは期待できない。

競争とは関係なく、クライブ・ユタ施設は何十年にわたりクラス A 廃棄物の十分な処分容量を有する。逆に見ると、クラス B とクラス C 廃棄物処分が 2008 年 7 月 1 日以降、サウスカロライナ州のサイトで禁止されるので、36 州にとって信頼できる長期見通しが無い。さらに、Andrews がクラス B とクラス C 廃棄物の許可を取得したとしても、全州が制限なく使用できるとは限らない。さらに、サウスカロライナの法律家が 2008 年に発効するコンパクト搬入制限を改正する兆候もない。各州は政策を覆したり、種々の搬入制限を緩和してきた一方で、このように見通しは不確定で今後は州法の変更が必要ではないだろうか。

2.2.2 フランスにおける低・中レベル放射性廃棄物処分の概況

フランスで発生する放射性廃棄物の 90%以上が浅地中処分されている。現在、ラ・マンシュ処分場は閉鎖され、短寿命中低レベル廃棄物処分施設のオーブ処分場と極低レベル廃棄物処分施設のメルビリエ処分場の 2 施設を ANDRA (フランス放射性廃棄物管理機関) が操業している。これらの受入れ対象となる廃棄物は、原子力発電所、核燃料サイクル施設、医療・産業や研究活動から発生するものである。

1) オーブ処分場

オーブ処分場は 1994 年に閉鎖したラ・マンシュ施設の代替として、またオーブ処分場は 1969 年以來のラ・マンシュ処分場の経験が反映された施設として 1992 年操業開始した容量 100 万 m³ の処分場で、処分容量 100 万 m³ に対し 2006 年末で約 20 万 m³ が処分された。

フランスの中低レベル放射性廃棄物はウラン転換、濃縮、加工を含む核燃料サイクルから発生する。発電所の運転廃棄物の発生は 56% を占めるが 1988 年比では 3.5 分の一に減少している。再処理と燃料製造施設からは 25% 発生するが、その大半は現在デコミッショニングを行っているマルクールで発生する。FAEC (フランス原子力エネルギー委員会) から発生する廃棄物が 17% である。その他、病院、保健関連企業、非原子力産業の小口ユーザーから 2% 発生する。これらは ANDRA が集荷、処理の後に処分を行なっている。

オーブ処分場は運転廃棄物の処分を主に実施していた。しかし、5 m³ 又は 10 m³ の金属容器はデコミッショニング廃棄物用に使用することが計画され、操業の始めのころに、デコミッショニングにおい

て、大型機器の現場での解体切断による被ばくを避けるために大型廃棄物をそのまま処分できる方法を検討した。この処分場には、高圧縮減容設備(1000t プレス)とモルタル充填設備が備えられており、輸送容器を兼ねた廃棄体容器(200ℓドラム缶は輸送のみに使用)で受入れた固体廃棄物の廃棄体化のための処理が行われている。廃棄体容器として、金属ドラム缶(450ℓ)、円筒コンクリート容器(外径約1.4m×高さ約1.2m)、角型金属容器(5 m³, 10 m³)の3種類が仕様されている。

大型廃棄物の処分を考慮した施設の安全評価が採用され、デコミッショニングにおいて現場での切断や調整作業を要しないように大型機器を受け入れられる施設として一般化した。特に、フランスでは現在第一世代の発電炉のデコミッショニングが開始されており、今後デコミッショニングから生じる大型廃棄物を管理するのに大きく寄与すると考えられる。



オーブ処分場の全景

コンクリート処分施設 (Vault)

写真 2-1 オーブ処分場の現姿 (4)

2) モルビリエ処分場

2003年10月に極低レベル廃棄物の処分場としてモルビリエ処分場が建設された。オーブ処分場から数kmに位置しており、65万m³の容量を有する。フランスで進行中の廃止措置から生ずる廃棄物の処分場である。対象廃棄物中の放射能濃度が低い(1~100Bq/g)。非放射性危険物廃棄物の処分施設の規則に適合できる施設設計になっており、放射性廃棄物と有害廃棄物の両方を処分することが可能であるが、放射性廃棄物のみが処分されている。

モルビリエ処分場も主に標準廃棄物を考慮した設計(大型袋、金属箱等)であるが、ある場合には大型のものを廃棄する必要があることは明らかである。例えば熱交換器、20フィート容器、使用済燃料輸送容器である。クレーン容量から24トン以上の物は取扱えない。



写真 2-2 モルビリエ極低レベル処分場とその素掘りトレンチ処分 (3)(4)

3) 放射性廃棄物処分に係わる法律の概況 (2006 年 6 月 28 日の法律)

フランスでは、「放射性物質および廃棄物の持続的管理に関する 2006 年 6 月 28 日計画法 : The Planning Act of 29 June 2006 concerning the sustainable management of radioactive materials and waste」が公布され、1991 年 12 月 30 日の法律が指図した研究の 15 年間の成果をもとに、今後の計画に向けた適応条件と方策を具体化することになった。

表 2-7 「放射性物質及び廃棄物の持続的管理に関する 2006 年 6 月 28 日計画法」
に指図された各カテゴリーの廃棄物処分場の開設時期 (5)

	Short-lived (half-life < 30y years)	Long-lived (half-life > 30y years)
Very low level (VLL)	VLL Waste Disposal Facility (Aube) Moriviliers 処分場	
Low level (LL)	LL/IL Waste Disposal Facility(Aube) Aube 処分場	Investigations on repository projects Commissioning in 2013
Intermediate level (IL)		
High level (HL)	Investigations conducted in accordance with the Law of 30 December 1991, and now with the Planning Act of 2006	

2.2.3 英国における低レベル放射性廃棄物処分の概況

(1) 英国のドリッグ処分場における廃棄物の受入れ基準

英国における低レベル放射性廃棄物処分施設はブリティッシュニュークリアグループ (BNG) の運転するカンブリア州セラフィールドサイト近傍のドリッグ廃棄物処分場とスコットランドのドーンレイにある処分施設(受け入れは停止されている)の 2 箇所が操業中である。英国に於ける放射性廃棄物は、原子力発電所や核燃料サイクル施設に限らず、各種研究開発施設、医療関連施設等でも発生しており、現在、これら放射性廃棄物の管理、処分については環境庁所管の放射性物質法(1993 年, RSA93 と略称される)及び環境法(1995 年)によって規制されている。

1) ドリッグ処分場の概要

ドリッグ処分場は西カンブリア海岸から約 0.5km 内陸に入った、セラフィールドサイトから 6km ありのところにある。ドリッグ処分場は低レベル放射性廃棄物専用の処分場であり、敷地面積は約 109 万 m² である。この地は 1939 年以来王立軍事工場として使用されてきたが、その後 1957 年に北側の 40ha が原子力機関(Atomic Energy Authority)に移管されて廃棄物処分地として使用されることになった。

1958 年に最初の低レベル廃棄物処分の許可をうけ、1959 年に廃棄物処分が開始された。1971 年に BNFL が設立された際に、サイトの管理責任が BNFL に移管された。2005 年に原子力施設デコミッショニング機構 (NDA) が設立され、セラフィールド等 BNFL(現在 BNG)及び UKAEA 関連施設と共に NDA の所管となっている。敷地外観は写真 2-3 のとおりである。



写真 2-3 ドリッグ低レベル廃棄物処分場の全体 ⁽⁶⁾

サイト内にはトレンチ処分施設、コンクリートボールト処分施設、プルトニウム汚染物 (PCM) 保管庫、低レベル廃棄物容器内にセメント・モルタルを充填する施設等がある。

ここには原子力発電所、核燃料サイクル施設、研究開発施設、RI 取扱い施設、病院等で発生する全ての低レベル放射性廃棄物が搬入される。低レベル廃棄物の受入れ基準は表 2-8 のようになっている。

表 2-8 ドリッグ処分場の受入れ基準 (7)

要件	内容
有害物*	水、火災・爆発性物質*、ガスを発生する物質、腐敗性物質 (5%以下)、生物学的毒性
放射能量	α 核種 : 4GBq/t 以下、 $\beta\gamma$ 核種 : 12 GBq/t 以下 年間の放射能限度量 : ウラン : 0.6TBq/y、 ^{14}C : 0.05 TBq/y、 ^{226}Ra : 0.03 TBq/y、 ^{129}I : 0.05 TBq/y
表面密度限度	α 核種 : 0.4Bq/cm ² 以下、 $\beta\gamma$ 核種 : 4Bq/cm ² 以下
マクロ空隙率	10%以下
圧縮強度	400KN/m ² 以上
重量	グラウト充填前 : 35 トン以下、グラウト充填後 : 42 トン以下もしくは 30KN/m ² 以下の厳しい方

* ①可燃性金属 : (微粉の, Li, Mg, Zr, Zn, Na, , K, Ca)、②22°C以下の引火点を有する固定化されている液体、③りん、④ホウ素の水素化物、⑤水素化物、窒素化物、炭化物等で水と反応により熱・可燃性を発生する物質、⑥強酸試薬、⑦圧縮気体、エアゾル。

低レベル廃棄物はドリッグ処分場に運び込む前に、セラフィールドの廃棄物圧縮(WAMAC)プラントで圧縮減容し、図 2-4 に示すハーフ ISO コンテナに入れ、ドリッグサイトへ移送後にグラウト注入施設でセメントを充填・固化したのち埋設処分される。非圧縮性廃棄物は、ハーフ ISO コンテナに直接入れて列車で輸送される。セメント充填にはセメント、フライアッシュ及び水の混合物が使用されている。

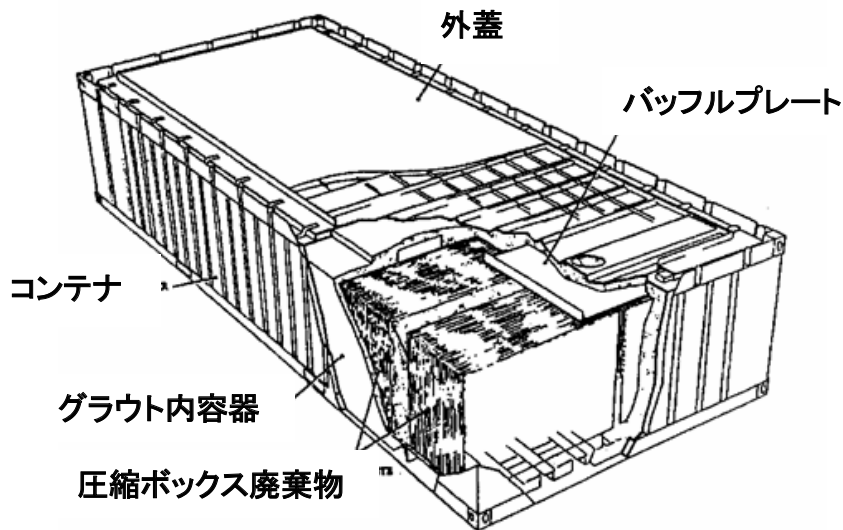


図 2-4 ハーフ ISO コンテナ (8)

2.2.4 スペインにおける低・中レベル放射性廃棄物処分の概況

(1) スペインのエルカブリル処分場における廃棄物受入れ基準

放射性廃棄物処分については、1984年の王令(Royal Decree)によって設立された ENRESA が実施主体になっている。ENRESA はエネルギー・環境・技術研究センター(CIEMAT)が80%、財務省傘下のスペイン産業公社(SEPI)が20%出資する国営企業であり、高レベル放射性廃棄物から低・中レベル放射性廃棄物に係わる研究開発、中間貯蔵、輸送、処分、及び原子力施設の廃止措置に至るまで広範な活動を行っている。

低・中レベル放射性廃棄物の処分施設としては、1992年に操業を開始したスペイン唯一のエルカブリル放射性廃棄物処分場がある。エルカブリル処分場は、スペイン南部アンダルシア地方、コルドバの北西約60kmにあるシェラアルバラナ丘陵地帯の麓にある。敷地面積約1,100万m²で、このうち約20万m²を処分場としている。処分概念は多重バリア浅地中処分方式で、容量は廃棄物で約45,000m³であり、このうち53%が2006年夏までに使用されている。低・中レベル放射性廃棄物は、発生者が処理した上ここで処分される。処分場の全景を写真2-4に示す。



写真 2-4 El Cabril 処分場の全景⁽⁹⁾

敷地はビルエリアと処分エリアの二つに分かれており、ビルエリアには施設の運転に必要な全てのビルと附属施設がある。最も重要なビルは廃棄物の受入れ、処理、調整の行われる処理建屋(conditioning building)である。処分エリアは南北二つのプラットフォーム上に設置された計28基の強化コンクリート製貯蔵セル(各24×19×10m)で構成されている。セルは南プラットフォームに12基、北プラットフォームに16基で、各プラットフォームは浸水対策が施され、底部の水を雨水プールに集めるネットワークが設備されている。施設の配置状況を図2-5に示す。処分廃棄物の大部分は220Lのドラム缶に詰めて搬入され、管理建屋で一次貯蔵される。

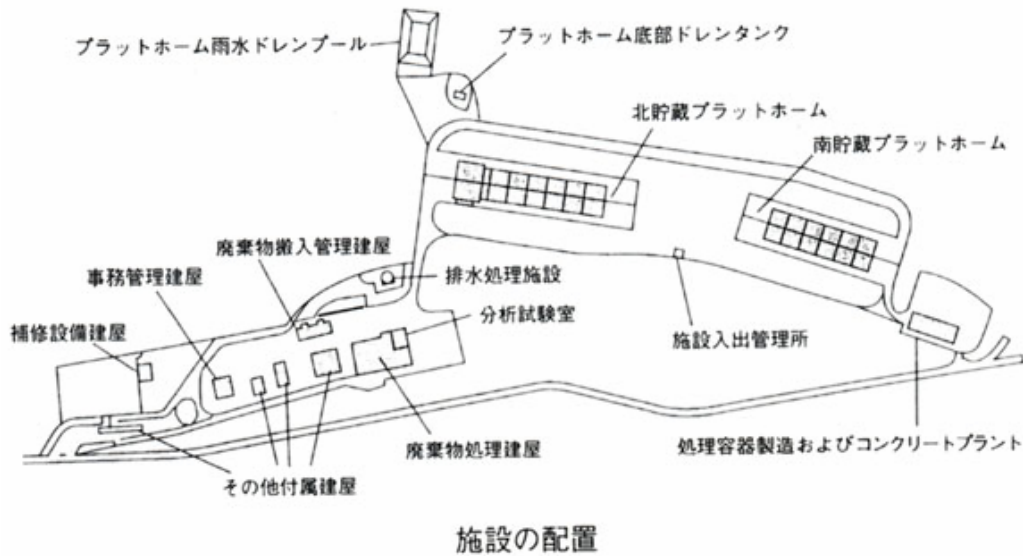


図 2-5 施設の配置 (10)

一次貯蔵後、廃棄物ドラム缶は立方形をしたコンクリート製コンテナ(2.25m×2.25m×2.20m)に3行3列2段(18ドラム)に収納され、ドラム間の空隙にモルタルが注入されて固定される。これが貯蔵セル内の貯蔵単位であり一次バリアとなる。貯蔵セル内にはこのコンテナ 320 個が定置され、隙間は砂利で充填される。これらの作業終了後、プラットホームのスラブが設置されて貯蔵セルは封じられ、非透水性のペイントを塗った後、非透水性及び透水性の土で覆われる。

スペイン国内では、放射性廃棄物処分施設を規制する特定の法律は定められていない。このため、原子力安全審議会(Nuclear Safety Council)の定めた長期放射線許容基準(リスク:10⁻⁶/年, 線量:0.1mSv/年)に基づいて廃棄物の受入れ濃度基準が表 2-9 のように設けられている。

表 2-9 廃棄物受入れ濃度基準

レベル 1	核種	濃度
	全α核種	1.85E2 Bq/g
	半減期5年超の個々のβ・γ核種	1.85E4 Bq/g
	半減期5年超の全β・γ核種	7.4 Bq/g
	トリチウム	7.4Bq/g
レベル 2	核種	濃度
	全α核種	3.7E3 Bq/g
	コバルト 60	5.0E7 Bq/g
	ストロンチウム 90	9.1E4Bq/g
	セシウム 137	3.3E5Bq/g、等
<ul style="list-style-type: none"> ・施設全体のα核種の平均濃度は370Bq/g以下でなければならない ・セルの上層部にはレベル1廃棄物を設置しなければならない 		

2006年2月から原子力安全審議会による安全評価及び環境影響評価を終えて、130,000m³の容量をもつ極低レベル放射性廃棄物(VLLW)処分施設の建設を開始した。VLLWの処分ゾーンは容量各35,000-45,000m³の貯蔵セル4つから構成されている。

2.3 諸外国における医療廃棄物の管理概況

2.3.1 フランスにおける医療廃棄物の管理の現状

医療用廃棄物に対しては、通達により放射性物質に汚染された可能性のある廃棄物を他の廃棄物から区分する必要を説明している。「環境保護の理由で区分された施設」(ICPE)には、施設で使用する核種の危険性のレベルに従い、県の規制当局が変更できる標準の一般規制事項がある。

【病院で作り出された廃棄物と廃水のケース】

廃棄物処分と材質の再生に関連し、発生する廃水と廃棄物処分の責任については、1975年7月15日の修正した法律(n° 75-633)に示された。この責任の実行は、合法的な限界を下回る被ばくの最適化が重要で、管理が人々の被ばくを減らすことを目指すという結果にならなくてはならない。そのために、廃棄物と廃水の管理の方法は次の4つの原則を考慮して定義されなければならない:廃棄物はそれらを生産する各施設で可能な限り上流側で分類、安定化処理すること。ただし、特に短寿命放射性核種の存在は計算で求められる。即ち、100日以下の半減期を持つ放射性核種の使用からくる廃棄物と廃水は(より長い半減期を持つ放射性元素を含んでいる)他の廃棄物と区別する。

廃水と廃棄物は、次の方法で管理される。

- ① 100日以下の半減期の放射性核種の使用で生じた廃水と廃棄物の放射能減衰による現場処理(Local Treatment)。
- ② ①以外の廃棄物に関しては、放射性廃棄物の管理を行うANDRAによる廃水・廃棄物の管理
 - ・廃水と廃棄物の放射能は、それらの除去の前に管理されている
 - ・廃水と廃棄物は確認されたルートで送られる:感染性の化学的なリスクが存在する一般廃棄物のルート、あるいは危険廃棄物のルート(感染性)、あるいは危険廃棄物(化学性)に適合したルート
- ③ 「公共下水道網」への解放、
- ④ 100日より大きな半減期を持つ廃棄物のためのANDRAによる管理。

2.3.2 米国における医療廃棄物の管理の現状

放射性同位元素を使用した医薬品開発で発生する放射性廃棄物の廃棄

1) 対象廃棄物の概要

医療分野における放射性物質の使用については、10 CFR Part 35で規定されており、NUREG-1556第9巻がガイダンス文書として発行されている。代表的な核種については、核医学学会のガイドの他、米国放射線防護・測定審議会(NCRP)のレポートにおいても代表的核種が示されている。NCRPでは、Tc-99m, I-123, I-131, Tl-201, Ga-67, Xe-133, In-111, Rb-82, O-15, C-11, F-18, N-13が代表例として示されており、極めて半減期が短い核種もリストされている。医薬品開発において発生する放射性廃棄物の量に関する統計等は得られていないが、NCRPが1989年に行った推定に拠

れば、米国における医学での放射性物質使用は、年間約1億の措置例があるとの数値が示されている。表2-10は、核医学における措置の種類別に見た適用例の上位5種を示したもので、典型的調査例としてNCRPにより報告されているものである。

表2-10 核医学で代表的な処置と使用核種（上位5種）⁽¹¹⁾

処置名	割合 (%)	放射性 同位元素
骨（診断）	20.6	Tc-99m
心筋かん流	17.9	Ti-201 Tc-99m
放射線心臓計測	11.8	Tc-99m
腎臓	9.6	I-131 Tc-99m
肺かん流	8.2	Tc-99m

また、同報告書では、核医学の適用例は大きく増加しており、米国で行われたインビゴ検査は、1980年の640万件から1990年には740万件へと約16%増加したとの推定例が紹介されている。先に示したNRC協定州に立地する生物医学用・産業用放射性同位元素の大手製造施設に対する聞き取り例では、主なものとして以下の廃棄物の情報が得られている。

- 免除レベル : 無し
- 短半減期核種 : P-32(300ft³≒8.5m³)、P-33(45ft³≒1.3m³)、S-35(300ft³≒8.5m³)、I-125(150ft³≒4.2m³)
- クラスA廃棄物 : C-14(170ft³≒4.8m³)、H-3(500ft³≒14.2m³)
- 混合廃棄物 : C-14(16ft³≒0.5m³)、H-3(16ft³≒0.5m³)
- クラスC廃棄物 : C-14(40ft³≒1.1m³)

2) クリアランスの適用状況

短半減期核種廃棄物以外の医療廃棄物について、クリアランスの適用に関する情報は、出典に記載したNRC、NCRP等の文献では得られていない。

上に示した放射性同位元素製造施設の例では、短半減期核種廃棄物については減衰貯蔵による処分を実施しているが、C-14及びH-3の廃棄物については、クリアランスは実施されていない。

10 CFR Part 20第2005条の特定廃棄物の規定により、H-3若しくはC-14が1.85kBq/g以下の液体シンチレーションの廃液、又は動物組織は、放射性廃棄物ではないものとして廃棄が可能とされている。分母の質量は、廃液全量、及び動物全体の質量で計算され、梱包材や容器の重さは含まれない。ただし、動物の組織は、人間又は動物の食料とならないように処分しなくてはならない。

また、許可保有者は、10 CFR Part 20第2108条に従って記録の維持が必要である。NRCのガイダン

ス文書では、この条項により処分が可能である場合でも10 CFR Part 71で規定された輸送時の要件は2nCi/gであることに留意が必要としている。

3) 処理・処分の状況

短半減期核種廃棄物以外の廃棄物について、クリアランスを適用しての処分事例に関する情報は得られていない。

先に示した放射性同位元素製造施設の例では、H-3及びC-14の廃棄物の内、クラスA廃棄物については一部を除いてユタ州のクライブ低レベル放射性廃棄物処分場へ、また混合廃棄物は承認処理業者施設に搬出、そして残りの廃棄物についてはサウスカロライナ州のバーンウエル低レベル放射性廃棄物処分場に処分しているとの情報が得られている。また、処分に当たっては、クラスA廃棄物は約6カ月間サイト内で貯蔵して処分場への輸送量として十分になった段階で処分し、またバーンウエルに処分するクラスC廃棄物等は、約18カ月毎に処分に向けての搬出を行っているとのことである。

2.3.3 英国における医療廃棄物の管理の現状

放射性同位元素を使用した医薬品開発で発生する放射性廃棄物の廃棄のみに限定されている情報は少ないため、ここでは医療全般で発生する放射性廃棄物の廃棄について示す。

1) 免除令によるクリアランスについて

医療事業において、病院に最も関連する免除令として病院免除令があげられる。この病院免除令により、小規模の病院のほとんどが、放射性物質の所有と使用の登録と承認の必要性から免除されている。大規模の病院は、放射性物質の保有量が免除令で定められている制限値を越える場合、EAなどの規制機関に対して登録と承認を申請する必要がある。

病院免除令の適用を行いたい医療施設では、あらかじめ規制機関に申告を行うことが求められている。しかし、規制機関側は、病院免除令の適用をしている医療施設のすべてが、実際に申告を行っているかを認識する手段を持っていない。放射性廃棄物管理諮問委員会(RWMAC)は規制機関に医療施設による免除令の適用状況についてのデータの提示を求めたことがあるが、包括的なものでないためもあるのか、規制機関からの提示がなされたことはないとしている。

また、医療分野において発生する放射能汚染の可能性のある廃棄物について、医療関連の事業者は、クリアランスを行うための十分なリソースを持っていない状況にあるため、低放射能免除令や病院免除令などの免除令を用いたクリアランスのためにサンプルを採取したり、分析したりすることには積極的ではなく、汚染の可能性のある廃棄物は、放射性廃棄物として、すべて一括して処分してしまっていることが多いとされている。

2) クリアランスされた廃棄物について

医療において発生する極低レベル放射性廃棄物(VLLW)には、一般廃棄物として処分できるような放射能濃度の制限値内にあるものもあるが、例えば廃棄物中に、汚染された生物学的な試供品、有機で腐敗しやすい廃棄物、注射器やその他の鋭利な物体を含むため、直接埋設処分することはできない。このような廃棄物は、RSA93のもと医療廃棄物を焼却することが承認されている、事業者の施設内、または施設外の焼却場に搬送後、焼却炉において、まず燃焼処分されなければならないことになっている。一般廃棄物の処分と異なり、焼却処分を行う場合においては、放射性核種の内容を明らかにしなければならないとされている。医療廃棄物の焼却処分に対する承認は、通常、地域のあらゆる

状況を考慮に入れて、個別に与えられることになっている。

焼却後に発生する放射性的焼却灰という形での 2 次廃棄物や、排出ガスの浄化から固体または液体廃棄物も発生している。一般的に、2次固体廃棄物の放射能濃度は、免除される廃棄物として、または一般廃棄物あるいは VLLW としての処分ができるほどに十分低くなければならないとされている。VLLW の放射能の制限値内にある場合は、放射性核種の内容を明らかにする必要がなくなり、一般廃棄物処分が承認されることもある。VLLW としての処分が適切でない放射能濃度の固体廃棄物は、適切な埋立処分場(管理型埋設処分場)における処分が、RSA93 のもとに承認されている。そのような特別なサイトにおける処分に対する承認は、処分サイトが必要な封じ込め特性を持ち、放射線学上の影響についての十分な事前評価が行われている場合にのみ、規制機関から与えられる。また、結果的に、そのような英国の各地域における処分が適切でなく、BNFL の Dドリッグ低レベル放射性廃棄物処分場や Culham の Safeguard International 社に搬送されている低レベル固体廃棄物もある。

なお、RWMAC は、VLLW の物量が少量の低レベル放射性廃棄物または VLLW と大量の非放射性的医療廃棄物とが共に焼却された場合、実質的に増加することになり、VLLW として埋立処分場に送られることになる焼却残灰量が大量に増加し、放射能が拡散するとの見解を示している。

クリアランスされた医療廃棄物は、1992 年管理廃棄物規則に従って、人間及び環境へ害を及ぼさないように安全に回収され、処分されるように厳しく管理されている。同規則において、医療廃棄物とは、人間または動物の臓器、血液または体液、排泄物、薬品または薬品関係製品、綿類または包帯、注射器・針・その他の鋭利な機器、安全に取り扱われない場合には接触した人間に有害であるとされる物など、医療関係で発生する廃棄物とされている。また、医療廃棄物は、1990 年環境保護法のもと、管理廃棄物として、廃棄物管理許認可を得ないで、また許認可条件や免除条項に反して、または人間の健康に害を及ぼしたり、環境を汚染したりするような方法で、回収や処分などを行うことはできないとされている。

また、医療廃棄物の中には、1996 年特定廃棄物規則のもと、特定廃棄物として管理がなされなければならないものもある。1996 年の特定廃棄物規則では、有害廃棄物が発生から処分まで安全に管理されることを担保するための管理システムについて規定されている。同規則によると、すべての特定廃棄物の移動については、廃棄物管理施設に到着するまで、事前申告と送付通知書によって追跡管理されなければならないことになっている。EA などの規制機関が、同規則の施行に対する責任を有している。

3. 研究所等廃棄物の受入れ要件等の検討

3.1 研究所等廃棄物に関する基礎データの調査及び整理

3.1.1 浅地中処分対象廃棄物の物量把握

(財)原子力研究バックエンド推進センターは、大学・民間等事業者から発生する廃棄物量等の現状把握等を図るべく、文部科学省からの請負いで、平成18年度文部科学省「研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の詳細調査」(以下、「平成18年度調査」)を実施しており、浅地中処分(コンクリートピット埋設処分・トレンチ埋設処分)対象となる廃棄物(現行濃度区分から推定したレベルⅢ及びレベルⅣ相当)は表3-1のとおりである。

表3-1 大学・民間等事業者から発生する浅地中処分対象廃棄物

(単位：本で200ℓドラム缶相当)

	事業所				合計
	研究炉	使用施設			
		政令第41条該当施設		政令第41条非該当施設	
		核燃料・材料試験施設	核燃料・材料試験施設以外の使用施設		
平成17年度末保管量 (廃棄体換算)	561 (267)	2,411 (347)	3,559 (1,251)	35,558 (24,748)	42,089 (26,613)
平成18年度内保管量 予測量(廃棄体換算)	3 (1)	248 (30)	178 (33)	574 (431)	1,003 (495)
平成18年度末保管量 予測合計 (廃棄体換算)	564 (268)	2,659 (377)	3,737 (1,284)	36,132 (25,179)	43,092 (27,108)
平成19-60年度発生 量予測量 (廃棄体換算)	4,560 (4,954)	13,192 (477)	7,545 (1,270)	27,124 (12,244)	52,421 (18,945)

3.1.2 試験研究炉及び使用施設のデータ分析

前述の資料に関して、可燃性、難燃性及び不燃性など26通りの廃棄物種別表(付録3)に基づいて詳細に区分し整理した結果は次のとおりである。

(1) 試験研究炉のデータ分析

試験研究炉は、主に大学や民間企業において原子炉運転訓練や材料・燃料分析など学術的・研究開発的要素が主流であり、商業用原子炉と比較しても出力、施設規模が極めて小さく、従って発生している廃棄物量も少ない現状にあり、ピット相当及びトレンチ相当ともにβγ廃棄物が主であり、全体の78%を占めている。

また、両レベルの廃棄物種別については、半数以上は「不燃性廃棄物」であり、「フィルター類」・「金

This is a blank page.

属・「雑固体」が主である。また、「難燃性廃棄物」として「ゴム類」が続いている。また、「可・難燃区分なし」及び「全区分なし」の合計値が極めて少なく、試験研究炉の性格上事業者側としても廃棄物を明確に区分し易い状況下にあることが窺われる。

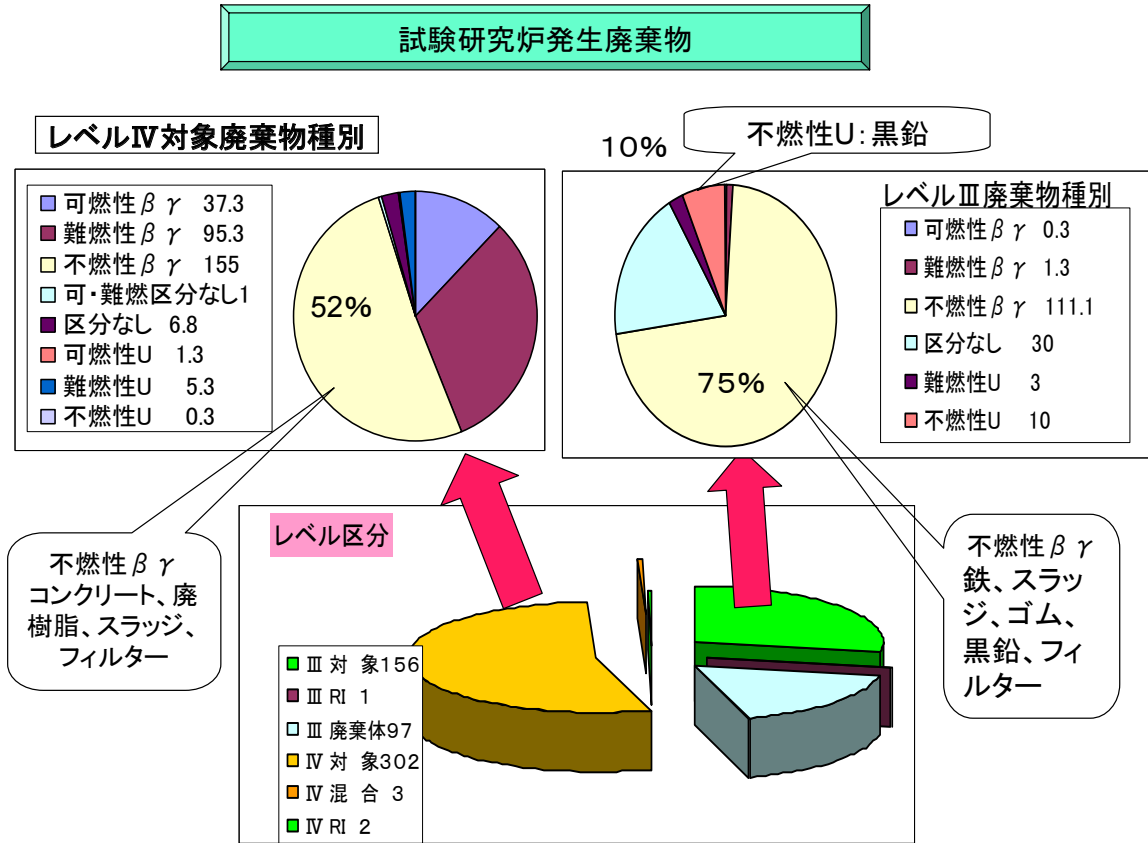


図 3-1 試験研究炉で発生した廃棄物の種類

※ 単位は本で 2000 ドラム缶換算

(2) 使用施設のデータ分析

使用施設は、「核燃料・材料試験施設」・「核燃料・材料試験施設以外の政令第 41 条該当施設」及び「第 41 条非該当施設」から構成されている。大学・民間及び公益法人の研究開発や事業経営などから発生した廃棄物であり、発生事業所や廃棄物量は試験研究炉に比べてかなり多く、主流は「ウラン廃棄物」である。

特に顕著な廃棄物種別は、「可燃性紙等」、「難燃性ゴム類」、「不燃性金属」、「コンクリート類」及び「フィルター類」である。

一方で、有害廃棄物の存在が認められており、内容物としては鉛・アルミや水銀などである。また、「可・難燃区分なし」及び「全区分なし」の合計値が 1500 本にも及んでおり、過去の廃棄物に対して事業者側が明確に内容物を把握できず、若しくは過去のデータが良く整備されていないことがそのまま伝承されていることが窺われる。さらに、「全区分なし」が顕著であり、RI廃棄物と研究所等廃棄物の個別法規制に係らず、これらが混入している「混合廃棄物」の存在が見受けられる。

This is a blank page.

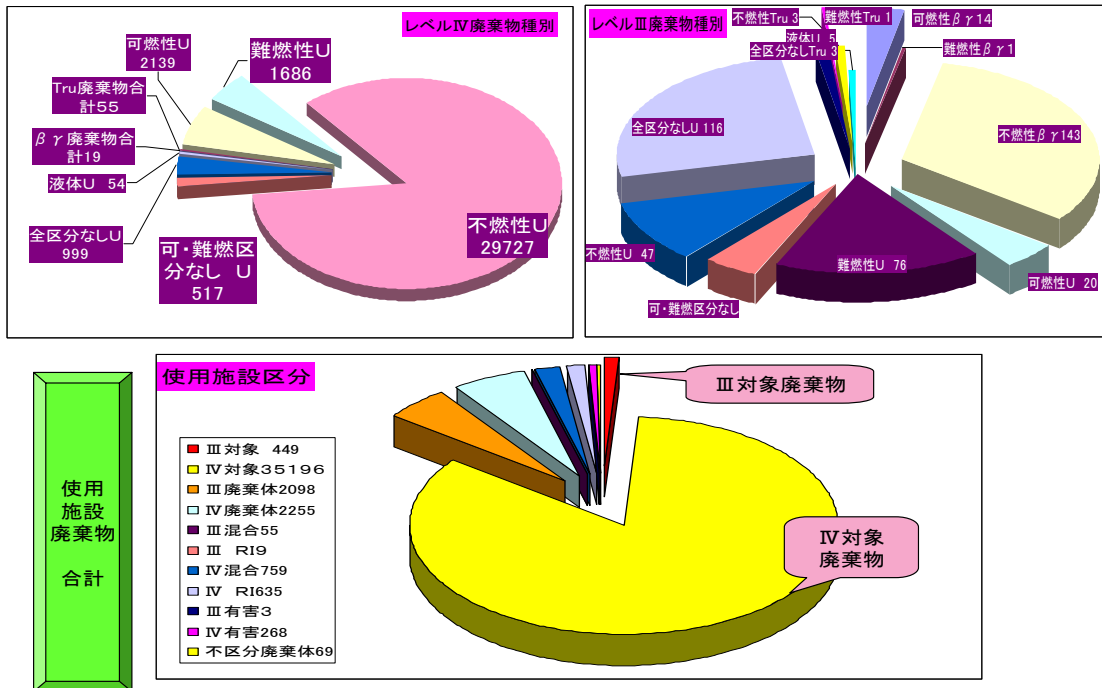


図 3-2 使用施設で発生した廃棄物の種類

*レベルIII:ピット相当, レベルIV:トレンチ相当を指す

※単位は、本で 2000 ドラム缶換算

3.1.3 発生施設ごとの廃棄物の特徴

(1) 試験研究炉

試験研究炉を有する事業所では、原子炉運転訓練、放射化分析、医療研究等を実施しており、主な放射性廃棄物は、試験研究炉の運転、管理区域内で使用した機材等である。具体的には、廃イオン交換樹脂、スラッジ及び試験片等の金属廃棄物が主体であり、その汚染源は放射化生成物と核分裂生成物である。

廃棄物に含まれる核種及びその組成は、商業用の原子力発電所から発生する廃棄物と同様であり、その大部分は放射能濃度が低い。また、これらの施設では試験研究の実施のため、RI 使用施設を併設しているところがあり、一部の施設では RI 廃棄物と混合して保管されているものがある。当該事業所は 8 事業所であり、βγ 廃棄物が主である。

(2) 燃料・材料試験施設

原子炉内で照射された原子炉構造材料及び原子力発電所で照射した燃料を用いた各種試験を実施している照射後試験施設を有する事業所から発生する廃棄物は、試験セル周辺の管理区域内で使用した機材、試験セル内で使用した汚染機器及び雑固体等からなり、汚染の起源は、照射済燃料及び照射後金属材料中に含まれる放射化生成物と核分裂生成物である。当該事業所は 2 事業所である。

(3) 燃料・材料試験施設以外の政令第 41 条該当施設及び非該当施設

This is a blank page.

大学、民間企業(化学・薬品メーカー、電気・電子部品メーカー等)及び公的機関の多くがこの分類に属する。主な使用目的は、研究、環境試料分析用トレーサ、試薬製造・販売等である。主な放射性廃棄物は、核燃料物質等で汚染された紙ウエス等の可燃性廃棄物、分析残滓やガラス・金属等の不燃性廃棄物、実験廃液である。放射性廃棄物中に含まれる放射性核種は、RIを除けば主に天然ウラン、天然トリウム等である。一方、原子力施設周辺の環境分析用、原子力研究、蛍光X線分析用密封線源等のためにPuの使用許可を有する事業所もあり、Puで汚染した廃棄物も僅かに発生している。また、トレンチ相当で「不燃性コンクリート類」に区分されている重金属を含む可能性がある汚染土壌廃棄物を比較的大量に保有する事業者もある。

この施設群から発生する廃棄物は、平成17年度末保管量の合計値42,089本の内、約85%に及ぶ35,558本は「政令第41条非該当施設」から発生し、かつ、トレンチ相当の廃棄物が約99%で、ほとんどがウラン廃棄物で占められていることが判明している。

3.1.4 今後検討すべき事項

(1) 廃棄物量の再確認

大学・民間等事業所から発生する多くの廃棄物は、ウラン廃棄物であるが、原子炉施設の放射能濃度区分とは異なり、使用施設に係る廃棄物の放射能濃度区分は未確立であり、別途考慮する必要がある。この点に関しては未だ原子力安全委員会において、検討が進められている現状にある。特に、クリアランスレベルのレベル範囲とその廃棄物の処理・処分方策が明確に確定されることによって、廃棄物の物量は大きく増減することになる。従って、新たに制定されることが計画されている使用施設の放射能濃度区分が確定された段階で、再度大学・民間等事業者から発生する廃棄物量を見直す必要がある。

また、現状の収集データでは各施設ごとの廃棄物の核種組成と核種別放射能濃度が明確でなく、埋設事業の安全審査に対応出来る廃棄物放射能データの整備も併せて実施する必要がある。

(2) 液体廃棄物の扱い

液体廃棄物は蒸発濃縮処理し、固型化することが一般的であるが、液体廃棄物を受入れるとすれば、その輸送の検討が必要である。液体輸送が不可能な場合には、発生元で固型化処理を行わせることになるのか、その実現性は疑問である。しかしながら、液体廃棄物の総量は少量なので、解決法の一つとして減容性を考慮せずに簡易セメント固化法(容器に特殊セメントを充填し、液体廃棄物を含浸させ固型化する)を各事業所で実施することが考えられる。

(3) 有害廃棄物の取扱い

ウラン廃棄物の中には、鉛や水銀など有害廃棄物を含む「固体廃棄物」や「液体廃棄物」が存在している。また、民間企業の一部は、重金属を含む土壌廃棄物を多く保管しているため、これら有害廃棄物の除去技術開発や、安定化する処理対策を取らなければ廃棄物量の減少にはつながらない。

(4) 大型廃棄物の扱い

民間企業の廃棄物施設を調査した際、廃棄物化されている大型機器や遮蔽体など超重量廃棄物が散見されている。これらの廃棄物については、輸送、保管の制約条件から発生事業所において解体・減容化する必要がある。但し、トレンチ埋設処分対象廃棄物であれば、敢えて解体・減容化せず、必要な処置をした上でそのまま埋設処分することが効率的であると考えられる。しかし、トレンチ埋設処

分場までの輸送手段等を考察する必要がある。

(5) 二重規制対象廃棄物の扱い

RIと研究所廃棄物の規制上、法律の異なる両方の廃棄物を取り扱う施設があり、現在、明確な区分がなされていない施設から排出されるRI廃棄物の集荷をRI協会は法的に取り止めている。従って、所謂「RI協会が集荷しない廃棄物」の行き場がなくなっており、発生事業所側として困窮している状況にある。このため、原子炉等規制法に包含して対処出来るよう国に働きかける必要がある。

(6) 廃棄物の所有権の取扱い

廃棄物の移動とその所有権の帰属については現状では、すべて発生者の責任に帰するということがあり、処理・処分を実施するに当たっては、発生者との私契約に基づくものとされている。機構は既に、大学・民間等事業者の一部から定期的に廃棄物を集荷・保管し、今後の処理・処分については、「任されている」状況にあると考えられる。しかし、発生者は、早く廃棄物を手放し、その休止施設の解体撤去等を第1次的に考えており、所有権問題は今後の事業等に大きな影響を及ぼすことになる。集荷保管事業を実施する場合でも、この点は慎重に考察する必要がある。「所有権は発生者から廃棄物を移転した場合に移管されるが、将来、発生者に瑕疵があった場合には、(過去に遡り)相応の負担責任を負う。」と記載するべきではないか。そうすれば、発生者側も集荷保管・処理・処分に自らの廃棄物を送り出す場合は、その内容物の確認等に慎重を期することになると考えられる。

(7) トレンチ埋設処分対象廃棄物の扱い

昨今の一般産業廃棄物の埋設処分場は、環境に対する影響や地域住民の同意という両面から見ても、埋設部分に止水幕を装備した「管理型埋設処分場」が主流であり、先進国のフランス ANDRA 社のクリアランス及び極低レベル放射性廃棄物のトレンチ埋設処分場の例にも見受けられる。これらの点から安定型廃棄物のみを取り扱う場合を除き、トレンチ埋設処分場も同様な形態とすべきである。トレンチ埋設処分場に搬入される廃棄物は、所謂「レベルIV相当」の廃棄物であるが、

- ・可燃性廃棄物については、焼却減容処理を施し、モルタル固化した場合、放射能の濃縮により、ピット埋設処分場へ向けられる可能性も否定できない。
- ・難燃性廃棄物は多くは「ゴム類」であり、焼却処理を行うことによって有害ガスを発生することから、高度な廃ガス処理設備を設ける必要がある。一方、焼却処理を施さずにモルタル注入による充填固化処理を行う場合は、ゴム類の比重の関係で浮上防止を考慮する必要がある。
- ・不燃性廃棄物の中でも、特に「薄板金属類」や「フィルタ等」については、圧縮処理による減容の後廃棄物体化され埋設されるが、上記「大型廃棄物」の減容については別途検討する必要がある。

3.2 研究施設等廃棄物埋設事業計画策定に対する廃棄物受入れ要件の検討

3.2.1 廃棄体(廃棄物)受入要件の整理

(1) 一般情報として廃棄物体化処理に先立つ確認のため、以下の集荷情報が必要である。

廃棄物発生事業者名

廃棄物発生施設及び事由(運転廃棄物, 改良工事等)

廃棄物発生時期(年・月)

廃棄物数量(収納容器数又は取扱単位数)

廃棄物集荷年月日

廃棄物受入年月日

(2) 廃棄物情報として埋設申請書記載事項に記述すべき情報が整備されていることが必要である。これは廃棄体処理された時点での廃棄体形態ごとに必要な、次の項目を明確にするためである。

1) 廃棄体用(容器に固形化する)

廃棄物形態(分別して容器に収納してあること)

廃棄物の種類(均質固化体, 充填固化体用に区分されていること)

重量(分別し容器に収納した廃棄物重量及び容器重量)

廃棄物に含まれる放射性物質ごとの放射エネルギー(容器収納単位)

廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度(廃棄体重量換算)

2) 大型金属廃棄体用(容器に固形化出来ないもの)

廃棄物の種類(使用時の機材名)

処理の方法(開口部の密閉その他の処理が行われた場合)

重量

廃棄物に含まれる放射性物質ごとの放射エネルギー(廃棄体1体ごと)

廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度(総重量換算)

3) 非固形化コンクリート等

区分(発生元区分, 取り扱い単位区分)

廃棄物の種類(用途, 形状, 鉄筋の有無等)

重量(区分ごとの重量, 全重量)

廃棄物に含まれる放射性物質ごとの放射エネルギー(取り扱い単位ごと)

廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能濃度(評価平均値)

(3) 廃棄体処理に際し, 埋設規則及び告示に定める技術上の基準に適合するために廃棄物収納容器の品質証明及び廃棄物分別管理時点の管理記録, が受入廃棄物に対応した記録として添付される必要がある。

1) 廃棄物収納容器の品質証明(JIS Z1600 に定める金属容器又はこれと同等以上の強度密封性を有するもの)

2) 廃棄体の健全性を損なうおそれのある次の物質を含まないことの確認

- ・爆発性の物質又は水と接触したときに爆発的に反応する物質
- ・揮発性の物質
- ・自然発火性の物質
- ・廃棄体を著しく腐食させる物質
- ・多量にガスを発生させる物質

3) 非固形化コンクリート等に爆発性の物質を含まないこと

3.2.2 廃棄体確認への技術的対応策の検討

廃棄体確認に必要な確認は, 規則上廃棄体処理を終え, 6 ヶ月以上経過した廃棄体について実施される。このため, 確認情報は広範に亘り, 廃棄物の受入条件で確認される廃棄物情報, 廃棄物を廃

棄体化処理する廃棄体作製工程における廃棄体作製記録に示す品質管理項目及びその裏付けとなる標準廃棄体作製マニュアルの整備(各事業所共通), 更に, 廃棄体作製マニュアルを検証するための模擬廃棄体の試作や試験片評価データが必要となる。埋設規則の技術基準に係る確認項目については, 次の対応策が考えられる。

廃棄物情報: 廃棄物受入要件での取得情報による

廃棄体作製年月日: 作製後 6 ヶ月以上経過後埋設の確認のため

経済産業大臣の定める方法により容器に固形化する方法:

「均質固化体」

固形化材料の指定;

セメント・・・JIS R5210,5211 相当材料証明書

アスファルト・・・JIS K2207 相当材料証明書

不飽和ポリエステル・・・材料証明書

容器の指定; JIS Z1600 相当品質証明書

セメントで固形化された廃棄物の強度; 非破壊外部測定, 模擬廃棄体試作データ, 廃棄体作製記録,

アスファルトの廃棄物中重量比の指定; 廃棄体作製記録

不飽和ポリエステルの廃棄物中重量比の指定; 廃棄体作製記録

不飽和ポリエステルで固型化した廃棄物硬さ; 廃棄体作製記録

固型化材料と廃棄物の練混ぜ条件の指定;

均一な混合・・・模擬廃棄体試作, 作製記録

有害な空隙が残らないこと・・・模擬廃棄体試作, 作製記録

「充填固化体」

固形化材料の指定; JIS R5210,5211 相当材料証明書

容器の指定; JIS Z1600 相当品質証明書

固形化材料の調整及び充填方法;

容器内の廃棄物と一体になる充填・・・模擬廃棄体試作, 作製記録

有害な空隙が残らないこと・・・模擬廃棄体試作, 作製記録

申請書記載の最大放射能濃度を超えないこと: 廃棄体重量から算定評価

表面の放射性物質の密度: スミア試験

埋設加重に耐える強度: 模擬廃棄体強度試験データ, 廃棄体作製記録

著しい破損がないこと: 目視確認

容易に消えない方法により表面の目につきやすい箇所の標識等:

放射性廃棄物を示す標識; JIS Z9103 に準拠, 目視確認

廃棄体表面における線量当量を示す標識; 目視確認

標識整理番号の表示方法; 目視確認

非固型化コンクリート等廃棄物に関して申請書記載事項と照合出来る措置

: 埋設施設区画ごとの標識, 取り扱い単位容器(又はブロック)ごとの標識等の目視確認

3.2.3 法規整備, 研究開発要件等に関する検討

(1) 追加すべき法規整備事項

1) ウラン廃棄物の放射能濃度上限値の制定

現行原子炉等規制法施行令ではウラン, TRU 核種を主体とする廃棄体に関して, 放射性物質ごとの放射能濃度上限値の制定がないため, 現行の施行令に準じて, 次の廃棄体形態ごとの区分で濃度上限値を制定する必要がある。

- ・ 容器に固形化した廃棄物及び金属廃棄物で容器に固形化することが困難なもの
- ・ 容器に固形化したコンクリート等
- ・ 固体状の廃棄物で容器に固形化していないもの
- ・ 容器に固形化していないコンクリート等廃棄物
- ・ 余裕深度へ埋設する廃棄物で容器に固形化したもの
- ・ 余裕深度へ埋設する廃棄物で固体状のもの

2) 廃棄物の放射能評価手法の技術的細目の制定

埋設規則で定められている“廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギー及び放射性物質ごとの放射能濃度”を定義するためには廃棄物の大枠での放射エネルギー及び廃棄物の種類ごとに放射能濃度を評価し, これをもとに廃棄体単位の放射エネルギー及び放射能濃度を定義する必要がある。このため, 「均質固化体」となる液体, 粉粒体については比較的単位物量に対する放射エネルギー及び放射能濃度を平均化して測定評価することが容易と考えられるが, 「充填固化体」となる固体状廃棄物については, 金属類・コンクリート等の不燃物, 圧縮処理した不燃物, プラスチック・ゴム類等難燃物など多種多様であり, 放射能汚染レベルが均一でなく, 大枠での放射能評価が難しい。このため放射能評価手法のガイダンスを技術的細目に加えることが望まれる。これにより大枠での評価のための, 標準的評価単位物量, 代表サンプルの抽出条件, 平均放射能濃度の定義, 放射能測定法, 推奨する測定機材等に関する事項を明確にする。

(2) 今後必要な調査研究等に関する事項

1) 廃棄体作製マニュアル及び廃棄体作製記録様式の策定

異なる事業所で作製される廃棄体が同一の品質保証のもとに作製出来るよう標準となる廃棄体作製マニュアルを策定するとともに, 廃棄体の品質保証に係る作製記録により廃棄体確認に対応出来るよう, 廃棄体作製記録様式を定めておく必要がある。

2) 廃棄体作製マニュアル検証のための実大模擬廃棄体作製評価試験

廃棄体作製マニュアルに準拠して作製した廃棄体が, 埋設規則の技術的細目の要求条件を満足することを確認するため, 実廃棄物を模擬した各種廃棄物を用い, 実大模擬廃棄体の作製評価試験を実施する。これにより, 廃棄体の固化強度, 耐埋設荷重強度, 内部空隙の有無等を評価し, 廃棄体作製マニュアルが適正であることを検証するとともに, 廃棄体作製記録により廃棄体の健全性が確認出来ることを証明しておくことが必要である。

3) 「均質固化体」の強度非破壊測定装置の開発

セメントで固型化された均質固化体の固化強度については, 一軸圧縮強度の確認が要求されるが, 実廃棄体から試験片を採取して破壊試験することは, 廃棄物の再発生を伴うので好ましくない。そのため既に実績のある超音波伝播速度から圧縮強度を評価する廃棄体外部からの強度非破壊測定装置

の開発が必要と思われる。

4) 廃棄体外部からの非破壊放射能測定評価システムの可能性検討

最終的に廃棄体の放射性核種ごとの放射能量, 放射能濃度は, 完成した廃棄体に対し, 外部から非破壊で測定し, 直接確認することが廃棄体確認上から望まれている。しかしながら, 研究所等廃棄物のうち多数を占めるウラン汚染廃棄物については, 廃棄体として容器に固型化後に, 非破壊で, 外部から放射線を測定することは難しく特に極低レベル領域での測定は極めて困難を伴う。このため, その可能性について検討し, 実用的なシステムの構築が困難であることを明確にしておくこととする。

5) ウラン廃棄物の化学的毒性の考慮

焼却灰や金属廃棄物の埋設処分については, 放射能以外にも化学的毒性について考慮する必要があると原子力委員会が指摘している。我が国では環境中のウラン許容濃度を最も厳しく規制しているのは, 水道の水質基準に示される値 ($0.002\text{mg/l} = 2\text{ppb}$) であるものと思われる。これに対し, 対象とする廃棄物のウラン汚染レベルがどの程度にあたるか一応検討しておく必要がある。

4. まとめ

研究施設等廃棄物は、商用原子力発電所を除く原子力の研究・開発・利用に伴い発生する廃棄物であり、発電所廃棄物に比して廃棄物の性状や含有各種等は多種多様である。一方廃棄物の埋設処分にあたっては、原子炉等規制法や関連規則に基づき、一定の技術基準に基づく廃棄体化处理や、廃棄体に含まれる放射性物質ごとの放射エネルギー等を確認することが求められている。このため、大学・民間等、機構以外を発生者とする研究施設等廃棄物(RI 廃棄物を除く)に関する基礎データを調査・整理するとともに、これらの廃棄物を埋設処分するための受入要件等について検討を行った。

(1) 大学・民間等から発生する放射性廃棄物の調査

試験研究炉を有する事業所の廃棄物は、商用原子力発電所と比較して施設規模が極めて小さく、発生している廃棄物量も少ない。発生する廃棄物は主に β γ 廃棄物であり、一部ではRI 廃棄物と混合して保管されている事例もあった。

使用施設から発生する廃棄物の場合、ウラン廃棄物がかなりの部分を占めるほか、鉛やアルミ、水銀等の有害廃棄物の発生が認められた。また調査の結果から、RI 廃棄物との混合が見られることや、過去の廃棄物に対するデータ整備が不十分であることが伺えた。

(2) 大学・民間等から発生する放射性廃棄物埋設処分にあたっての課題

原子炉施設とは異なり使用施設で発生した廃棄物の放射能濃度区分は現時点では未確立であるため、濃度区分が制定された後、改めて廃棄物量調査を行う必要がある。また処分場の安全審査を想定して、廃棄物の放射能データ等を収集・整備していく必要がある。

その他、液体廃棄物や大型廃棄物、有害廃棄物の取り扱い等、輸送や処理も含めたバックエンド全体のシステムについての課題、RI 廃棄物と混合した二重規制対象廃棄物やウラン・TRU 廃棄物の放射能濃度上限値等、法規整備についての課題等がある。

(3) 諸外国の状況

海外事例として、アメリカ、フランス、イギリス、スペインの低レベル放射性廃棄物処分の状況を、文献等を参考に整理した。また、我が国で検討している研究施設等廃棄物の処分事業では医療機関等から発生する放射性廃棄物も対象としていることから、医療廃棄物の管理の現状についても併せて調査を行った。

研究施設等廃棄物処分事業の実現に向けて、これらの調査結果を基礎として、更なる検討が必要である。特にここで検討している処分事業は機構のみならず全国に所在している大学・民間等の事業所から発生する放射性廃棄物をも対象としているため、処分に至る前段階としてのデコミッションングや廃棄物輸送、廃棄体化处理をも含めたバックエンド事業の全体像についても考慮しつつ、様々な課題に対応していかなければならない。

参考文献

- 1) RI・研究所等廃棄物(浅地中処分相当)処分の実現に向けた取り組みについて H18.9.12 RI・研究所等廃棄物作業部会
- 2) 放射性廃棄物のホームページ TALK . 経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室
- 3) 原子力規制関係法令集 2007 年 大成出版社
- 4) (独)原子力安全基盤機構ウェブサイト 廃棄物埋設施設確認事務規程,
<http://www.jnes.go.jp/kensa/pdf/kensa-maisetsusisetsu.pdf>
- 5) George E. Dials and Leif G. Eriksson, Progress Towards New LLW-Disposal Capacity in the USA, ICEM05, 2005 Edinburgh
- 6) Stephen A. Romano, Low-Level Radioactive Disposal in the United States—an Industry Perspective on Current Practices and Future Trends, ICEM05, 2005 Edinburgh
- 7) U.S. Department of Energy, Transuranic Waste Acceptance Criteria for the Waste Isolation Pilot Plant, DOE/WIPP-02-3122, November 2006
- 8) M.Dutzer,et.al.,“Present Issue for Centre De Manche Dsposal Facility”,TOPAEAL 2006, Olukiloto/Finland, Sept.2006
- 9) First national report on the implementation by France of obligation of the Convention. “Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management” March 2003.
- 10) MY Gerchikov, ZK Hillis, E.I.M. Meijne, W Oatway, “S Mobbs³, A van Weers² Evaluation of the Application of the Concepts of Exemption and Clearance for Practices According to Title III of Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996 in EU Member States, Volume 2: Appendices” (2004).
- 11) J.A.Siegel (SNM), Guide for Diagnostic Nuclear Medicine, Society of Nuclear Medicine, 2001
- 12) Radioactive Materials Small Users and their activities, 2000, RWMAC ウェブサイト,
<http://www.defra.gov.uk/rwmac/index.htm>
- 13) Administration of Radioactive Substances Advisory Committee, Notes for Guidance on the Clinical Administration of Radiopharmaceuticals and Use of Sealed Radioactive Sources, December 1998
- 14) Clearance and Exemption Principles, Processes and Practices for Use by the Nuclear Industry, A Nuclear Industry Code of Practice, the Nuclear Industry Safety Directors Forum, May 2003
- 15) Environment Agency ウェブサイト, <http://www.environment-agency.gov.uk>
- 16) RWMAC, The Radioactive Waste Management Advisory Committee’s: Advice to Ministers on Management of Low Activity Solid Radioactive Wastes within the United Kingdom, 2003
- 17) Controlled Waste Regulation 1992 SI No.588
- 18) Environmental Protection Act 1990.
- 19) 「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について」, 原子力委員会, 原子力バックエンド対策専門部会, 1998

- 20) 「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」, 原子力委員会, 原子力バックエンド対策専門部会, 2000
- 21) 「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」, 原子力安全委員会, 放射性廃棄物・廃止措置専門部会, 2006

引用文献

- (1) RI・研究所等廃棄物(浅地中処分相当)処分の実現に向けた取り組みについて H18.9.12 RI・研究所等廃棄物作業部会 p.3
- (2) NRC, 10CFR61.55「放射性廃棄物の陸地処分のための認可要件」
- (3) Nancy J. Zacha, ”Low-Level Radioactive Waste Disposal: Are we having a Crisis Yet?”, Radwaste Solution, May/June 2007
- (4) M.Dutzer, et.al., ”French Surface Disposal Experience.The Disposal of Large Waste”, ENC05, Versailles, 2005
- (5) Marie-Claude Dupuis, et.al., “Current Status of the French Radioactive Waste Disposal Programme”, ibid. Session 5 TOPSEAL, Olukiloto/Finland, Sept.2006
- (6) Low Level Waste Repository Site Summary, Lifetime Plan 34, 2006/07, Nuclear Decommissioning Authority
- (7) 放射性廃棄物データブック, (財)原子力環境整備センター, 1998年11月
- (8) A. Coyle et al., Waste Acceptance Policy and Operational Developments at the UK’s Drigg LLW Disposal Site, Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities, IAEA-SM-341/62, June 1996.
- (9) P. ZULOAGA., NEW DEVELOPMENT IN LOW LEVEL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN SPAIN, TOPSEAL2006, 17-20 September 2006.
- (10) 原環センタートピックス No.28, (財)原子力環境整備センター, 1993年12月
- (11) NCRP, Sources and Magnitude of Occupational and Public Exposures from Nuclear Medicine Procedures, NCRP Report No.124, March 11, 1996

付録 1

研究所等廃棄物に対する原子力委員会、同安全委員会の見解

研究所等廃棄物の処分について、原子力委員会、原子力安全委員会は、現在までの検討結果から、以下に示す見解を公表している。これによれば、「研究所等廃棄物の処分に関しては、ウラン含有廃棄物を含めて、放射線防護の最適化の観点から処分施設の制度的方策（能動的管理、受動的管理の組み合わせ）を考慮した上で、廃棄物中のウラン濃度上限値を決める事は可能であり、浅地中のコンクリートピット処分、トレンチ処分の適用は可能である。」と結論づけているものと解釈できる。

ただし、ウラン含有廃棄物の浅地中処分については、放射能減衰による安全性の確保が期待できないため、処分施設の制度的管理期間の意義、期間設定の考え方を明確にする必要があるものと考えられる。

原子力委員会は、平成 10 年 5 月 28 日付け原子力バックエンド対策専門部会報告として「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について」を公表し、研究所等廃棄物の処理処分に関する基本的考え方を示している。この中で、研究用原子炉から発生する現行の政令による放射能濃度区分により区分できる廃棄物については、廃棄体の確認、コンクリートピット処分、トレンチ処分が可能で、処分施設の制度的管理も現行と同様にできるとしている。特に極低レベル放射性廃棄物については、“コンクリート等廃棄物については、廃棄体中の放射能濃度等が埋設に係る技術基準に適合して安全であることを確認した上で「素堀処分」により処分する事が適当である。その他の廃棄物は焼却灰や金属等を固型化したものである。このような廃棄物については、放射能の観点以外にも、廃棄体からの有機性の汚水の発生や重金属の溶出等を考慮した対策が必要である。すなわち R I 廃棄物と同様に、分別管理、無害化処理等を行った後、「管理型処分場」の構造規準を踏まえた処分施設での処分が必要であると考えられる。”との見解が付されている。しかしながら、ウランを含む廃棄物については放射能濃度による区分が示されておらず、またそのクリアランスレベルについても言及されていない。このため、“ウラン廃棄物に相当する廃棄物については、今後検討されるそれぞれの処分方策に準じて埋設処分を行う事が必要である”としている。

その後、平成 12 年 12 月 14 日付けで原子力委員会、原子力バックエンド対策専門部会は「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」を公表し、その中で、対象廃棄物の安全かつ合理的な処分の可能性について述べている。ここでは、「素堀処分」及び「コンクリートピット処分」の可能性について検討されており、ウラン核種の半減期、子孫核種の生成、累積等を踏まえて、放射線防護上の観点から適切な安全評価シナリオを検討して設定される線量目標値に基づいて廃棄物中のウラン濃度を制限すること（ウランの濃度上限値の設定）が可能であるとしている。検討事例として ICRP が勧告している 0.3mSv/y を線量目標とすれば、素堀処分も想定できるとしている。また制度的管理の考え方については、偶然に人間が侵入する可能性を低減させるため、長期間に亘って土地利用の形態が処分に影響を及ぼさないようにする制度的方策等が必要であり、これら方策は、基本的には放射線防護の最適化の観点から考慮されるものとしている。管理の内容については、覆土の維持管理、地下水のモニタリングなどの能動的管理と廃棄物処分に関する記録の維持管理などの受動的管理が考えられるが、受動的管理については、長期間有効となるように検討すべきであるとしている。

また、原子力安全委員会は平成 18 年 4 月 20 日付けで、同委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会の報告書「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」を承認した。結論として、①材料等の放射化に起因する核種及び②使用済燃料、照射済燃料に起因する核種は原子炉廃棄物に含まれるものとほぼ同様であり、これらを含む放射性廃棄物のうち放射能濃度の低いものは、原子炉廃棄物と同様浅地中処

分の安全確保及び安全規制の基本的考え方が適用できる。また、③ウラン、プルトニウム等の核燃料物質が主たる核種である検討対象廃棄物についても、放射能濃度が低く管理期間終了後の線量評価の結果が線量目安値以下であれば、原子炉廃棄物と同様の浅地中処分を行う事が可能であると考えられる。今後は、本検討を踏まえて、検討対象廃棄物について、浅地中処分に対する濃度上限値の検討及び安全審査の基本的考え方を見直しを行うことが必要であるとしている。

付録 2

フランスにおける α 廃棄物の浅地処分及びクリアランスの考え方と現状について

フランスには3ヶ所の放射性廃棄物処分場がある。これらの処分場の管理は、ANDRAが実施しており、処分場に受け入れる廃棄物の基準が設定されている。特に α 廃棄物に注目して、これらが設定された経緯、被ばくシナリオ等の根拠などのほか、クリアランスの代わりにフランスが採用しているゾーニング導入の経緯を報告する。

原子力研究バックエンド推進センターが招へいたフランス放射性廃棄物管理機構(ANDRA)の元理事長(在籍1978-1984) Jean-Marie Lavie*氏の講演会(平成19年5月18日)での講演・資料に基づいて、野原道広(フランス語通訳者)の翻訳を介して、当センターがまとめたものである。

1. 概要

現在、フランスには、3ヶ所の処分場(フランスでは貯蔵センターという)があります。最初に操業した処分場は、ラ・アグ再処理施設に隣接するラ・マンシュ(La Manche)の低中レベル廃棄物の貯蔵センター(CS-FMA)です。この処分場は、既に53万 m^3 の廃棄物が処分され、1994年に操業を終了しており、2003年から300年の監視段階に入っています。

ANDRAが創立され、ラ・マンシュの処分場を引き継いだ当時、ラ・マンシュとは別の廃棄物貯蔵センターを作る計画が原子力関係者の間で議論されていました。その処分場の候補としては、ウラン採掘を行っていた鉱山跡地です。すなわち、Forez山にあるSaint Priestウラン鉱山を原子力サイトとして利用しようという計画がありました。この鉱山は、約20年前から採掘を終了していました。ラ・マンシュの後継地として低中レベル廃棄物の貯蔵センターをこの鉱山跡地に作ろうとしました。1981年の大統領選挙の前にANDRAは、新センター設立に必要な手続きステップを成功裡に終えていました。しかし、当選した新大統領は、「私が当選したらこの処分場は開かない」との選挙公約のため、このセンターの設置を白紙に戻さざるを得なくなりました。そこで、原子力関係に好意的な責任者がいるところを探しました。

それがオーブ(Aube)で、この地域の知事及びオーブの近くの市長は私と同じ学校の同窓生でした。その後、この地域の地質学上の調査を行い設置したのが現在の低中レベルの廃棄物処分用にオーブ貯蔵センターで、1992年から操業しています。また、オーブの処分場から2km離れた場所に極低レベル廃棄物処分用にモルビリエ(Morvilliers)の貯蔵センターが2003年から操業しています(Figure 1)。

さて、日本においてウランを含む低レベル廃棄物の最終処分として浅地中処分場を使用するという検討に役立てるために、フランスのこれまでの実践と経験を知りたいとの要望がありました。もっと具体的には、次のことについてです。

- (1) オーブあるいはラ・マンシュの低中レベル廃棄物の貯蔵センター(CS-FMA)に α 廃棄物を受け入れる時の許容値の科学的根拠。
- (2) モルビリエの極低レベル廃棄物貯蔵センター(CS-TFA)についても同じ質問。
- (3) フランスが他国とは違い規制免除(exemption)あるいはクリアランス閾値(libération)の採用を見送った動機。

これらの質問に回答をするため、私は自分の知識を最新化しようとフランス放射性廃棄物管理機構(ANDRA)の責任者と会い、これら2つのセンターの安全に関する報告書の閲覧を許されました。また、ANDRAの国際関係部長、安全・品質・環境部長、産業部長、(フランス)原子力安全当局(ASN: Autorité de Sûreté Nucléaire)の部長補佐、国立評価委員会(Commission Nationale d'Evaluation)の事務局長と会い、話しを

聞きました。ここに、その会見などで得た情報をまとめました。

2. 処分場の受入れ基準

2.1 安全の基本規則

フランスにおける放射性廃棄物については、安全の基本規則(RFS)の RFS n°1.2 (発行日：1982年11月8日、改訂日：1984年6月19日、追加 RFS 1.2 e 発行日 1986年10月31日) に従って処分されます。これは、ANDRA の既存及び将来建設される貯蔵センターに適用される基本規則です。この基本規則の策定には責任者であった私も積極的に参加しましたが、同規則は、ラ・マンシュの貯蔵センターを ANDRA が 1979年に引き取る際に ANDRA と安全当局の経験をフィードバックしてまとめられたものです。ラ・マンシュの貯蔵センターは試験モデルとして使用されました。この基本規則は、達成目標と監視期間を定め、同センターに適用するとともにオーブ及びモルビリエの貯蔵センターの設計、操業に適用されました。

皆さんは関心のある閾値を抜粋しておられますので、おそらく同規則の文書をお持ちだと思います。皆さんは、その閾値の評価の科学的根拠を知りたいと要望しています。基本規則は、起りうるシナリオ(Table 1)について詳しい影響評価を求めています。とりわけ α 廃棄物など閾値の評価についてはほとんど記述がありません。同規則の解説として、フランス原子力庁 (CEA) / フランス原子力安全防護研究所 (IPSN) の研究：表題『 α 線を放射する廃棄物の浅地中貯蔵がもたらす放射線の影響の研究』(出版準備中)が今後出版されます。

皆さんの質問であるオーブあるいはラ・マンシュの低中レベル廃棄物における α 廃棄物、半減期の長い低中レベル廃棄体の許容できる仕様の科学的根拠について、2つの重要な情報をお伝えできます。

2.2 低中レベル廃棄物 (FMA) の受入れ基準の設定

最初に、ANDRA のセンターについて α 廃棄物の受入れ基準の設定とその根拠に関する合理的な説明について、旧同僚、旧原子力安全防護研究所 (IPSN) で現放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN) の協力を得て、1981年3月11日付けの CEA-IPSN の研究結果を見つけることができました。この研究が安全の基本規則が推奨している数値のベースになっています。その方法は、下流側で合理的に許容できる線量をベースにして受け入れ時に許容できる閾値を決めるというものです。このやり方では、起りうるシナリオを想定し、安全の基本規則の閾値を決めています。この研究は、公表されなかったようです。

しかし、私は安全の基本規則 RFS n°1.2 の基となった IPSN の資料を入手しました。原子力安全当局と ANDRA は、それを資料室に所蔵していなかったため、その写しを提供しました。もちろん、この一番の基礎となった文書を皆さんにお見せできます。通常状態あるいは条件が悪化した状態での浅地中貯蔵施設から水あるいは空気を介して起る放射性物質の移行が与える放射線学的な影響を考察しています。IPSN は、将来あるいは既存の浅地中貯蔵センターについて α 廃棄物の受入れ制限値を提案しています。(Table 2).

2番目の情報は、これらオーブとモルビリエの貯蔵センターに関し、最初から α 廃棄物の受け入れ閾値を評価できる合理的な証明モデルを ANDRA から入手できると考えていた人にとっては、がっかりさせるものです。ANDRA は、これらの閾値の再計算を全くしていません。安全の基本規則の閾値を踏襲しました。あるひとつの廃棄体について、全ての受け入れ閾値に達したことは一度もなかったという経験のフィードバックを

基に ANDRA は、違うアプローチ、すなわち IPSN とは正反対の方法を採用しました。計算の入力点は、これ以降、線量の拘束条件にはしない。センターで貯蔵している廃棄体の放射能レベル及びその累計値が、環境に与える影響上、許容基準を満たしているかどうかを確認する、としました。

ANDRA は、起りうるシナリオとして全ての状況と同定したクリテカルグループ（* 作業者、公衆、子供）について貯蔵の放射線的、化学的影響が許容できる範囲のものであることを注意深く確認し、証明しました。さらに、ANDRA は、独自の判断で放射線的制限(公衆は 0.25 mSv/年、事業所の作業者は 5 mSv/年)を採用しています。化学的制約はもっと厳しいものとししました。ANDRA は、素晴らしく、かつ網羅的な検討結果の結論を 2004 年の安全報告書の要として、『受入れ閾値の再計算をする必要はない』と述べています。数値あるいは現在適用されている LMA（最大許容限界: Limite Maximale Admissible）を保持することを決めました。

この検討から得られた他の教訓として、次のことを引用したいと思います。『もし ANDRA が α 線を常に低減させたいと望み、受け入れ時に個別に放射線測定をすることで関係する放射性核種のインベントリをとり続けるとしても、300 年間について全放射能の受入れ容量を規定するだけで技術的規定は十分であろう、と考えられる。』

今回の発表では、影響を検討した色々な研究結果を詳しく述べることはできないと考えます。ここでは、採用された多重障壁という設計思想の場合、それぞれの人的カテゴリー、各シナリオにおいて放射線的及び化学的影響が許容できるものであることを証明することが大切であることを喚起するだけに留めたいと思います。しかし、それは意識的に厳しい仮定条件を設定した計算でも確認されています。

皆さんの関心項目である定量評価のいくつかの結果を紹介します。まず、Table 3 は、ウラン関係 (U-232 から U-238) についてオーブの全インベントリと監視期間終了後に 10 歳の子供が実効線量を受ける場合を表しています。また、比較のためにプルトニウムについても示してありますが、ウランの実効線量は非常に少ないことが分ります。Table 4 は、オーブの貯蔵廃棄物インベントリが与える放射線的影响及び化学的毒性の影響を示しています。監視期間終了後に侵入に伴う吸入リスクが最も高い放射性核種は、 α 線放出核種であり、特にこのシナリオで想定する浮遊状態で被ばくされる期間は短いとされるが、道路建設現場のリスクが高いと考えられます。これら 3 つのシナリオ (道路工事、住居、住居+子供の遊び) 全てを検討したところ化学的影響に関する問題は出てきませんでした。

浅地中貯蔵に関する受入れ基準の科学的根拠の研究についての結論は、 α 線放出核種については、核種毎の吸着係数、等価線量係数(facteurs de dose équivalents)を持っているので、それぞれのインベントリの合計である総容量だけを考慮すれば十分であるとししました。ちなみに、このように定義した限界値は、多めに出る特性を持っています。というのは、U-238 など影響の計算結果から重要でないと判断された放射性核種にも適用されるからです。この容量は、監視期間開始日の容量で示されます。よって、受け入れ時において廃棄物の経過日数(年齢)とは独立した形で貯蔵量を管理することができます。

3. 極低レベル廃棄物 (TFA) の貯蔵

3.1 モルビリエ処分場

ANDRA と 3 つの主要な放射性廃棄物発生者であるフランス電力会社 (EDF)、CEA、アレバ社 (AREVA) によって構成される計画された原子力施設の解体についての作業グループは、化学的毒性物質を含む極低レベルの予測インベントリ (Table 5) を今から 2030 年までの期間について作成しました。この予想されるインベントリは、100 以上の放射性核種をサイトが受け入れるという想定、すなわち、その他の発生者と不確定要素を考慮して作成されており、極低レベル廃棄物の量は約 80 万トンと見積っています。よって貯蔵容量は、65 万 m³ 必要になります。80 万トンのうち放射性核種の質量は、118 トンと見積もっています。その内訳は、ウランが 115.4 t、トリウムが 2.8 t、プルトニウムが 65 g、その他の放射性核種は数 g です。天然の放射性核種 (U 238、U 234、Th 232 など) は、廃棄物受け入れ時には極低レベル貯蔵場の放射能の 22% 以上を占め、短半減期の放射性核種が減少した監視期間終了時には 53% 以上になります。これらの核種は半減期が長いので子孫化による寄与が一般的に超長期になると大きくなりますが、早くても 1 万年以上経たないと大きくなりません。

オーブの低中レベル廃棄物貯蔵センターの廃棄物受け入れ能力 (容量) は、十分でないことが明白であったので、ANDRA により、この低中レベル廃棄物センターの近傍にあるモルビリエに貯蔵センターが開発されました。このセンターは、2003 年夏以来操業しています。連続した 3 期分の貯蔵場建設工事が予定されていて、ひとつ 1 万 m³ の容量を持った空洞 (alvéole) が 24 個、20 個、21 個あります。空洞 1 個で 6 ヶ月の受け入れが可能で、その大きさは、長さ 80 m、幅 25 m、深さ 6 m です。

3.2 極低レベル廃棄物 (TFA) の受入れ基準と設定

これら極低レベル廃棄物の放射線危険性は極めて低いものです。これに対し、いくつかの廃棄物は化学的危険性が高いものがあります。よってこの貯蔵センターでは、危険廃棄物である分類 1 に対応した技術設計基準としています。したがって、貯蔵方式は粘土質層に空洞を掘削する浅地中方式です。このセンターで貯蔵する全放射能が原子力施設に対し規定されている上限より低いため、当センターは規制面では『環境保護の指定設備』 (ICPE) になるため、当施設は環境法に準拠します。

このモルビリエの TFA 貯蔵センターの安全に関する手続きは、オーブの FMA 貯蔵センターの安全に関する手続きと同一で整合性があります。ANDRA は閾値の再計算は全く行っていません。安全の基本規則の閾値を踏襲しました。あるひとつの廃棄体について、全ての受け入れ閾値に達したことは一度もなかったという経験のフィードバックを基に ANDRA は、当センターがその運用にあたり、劣化した状況という厳しいシナリオにおける作業者及び公衆の被ばくが IAEA、ICRP など国際機関及び国内規制の目標を遵守することを 3 つの期間について確認しました。3 つの期間とは、操業 (30 年)、監視 (300 年)、監視終了後を指します。より詳しく言いますと、ANDRA は、オーブと同じ操業中の通常状態では公衆に対し 0.25 mSv/y、作業者に対しては 5 mSv/y という法規制より更に厳しい最大値を目標として設定しました。

また、当センターの廃棄物の受け入れについて 2 つのアプローチが採用されました。1 番目のアプローチは、オーブの貯蔵センターと同じように、起り得ると想定される全てのシナリオで予想インベントリが公衆にも作業者にも許容できるものであることを確認するというものです。ANDRA は、そのためオーブの貯蔵センターと同じ手続きをひとつひとつ実行し、このセンターに貯蔵する廃棄物の予想インベントリの水及び空気を介して移行する放射線及び毒性の影響を注意深く評価しました。その評価は、操業期間中 (事故による火災、廃棄体の落下) だけでなく、長期 (道路建設工事、サイト上に

住宅地の建設、子供の遊び) についても評価しました。この影響評価の結果は、検討したインベントリの受け入れ性を実証しただけでなく、逆に当センターの放射能容量を 25 の放射性核種について定めることができました(Table 6)。

2 番目のアプローチとして、同じ影響調査と各放射性核種の固有の LMA (最大許容限界) は、あるひとつの廃棄体について全てが達したことは一度もなかったという経験のフィードバックを基に ANDRA は、貯蔵における放射線受入れ指数 (IRAS) と命名した放射性廃棄物の受入れ基準を開発しました。

$$\text{IRAS} = \sum A_{m i} / 10^{\text{クラス } i}$$

ここで、 $A_{m i}$ は放射性核種 i に関する廃棄物 1 ロットの平均放射能濃度、クラス i はこの放射性核種 i の放射能のクラスを表し、主要な核種に対するクラスは、以下の通りである。

クラス 1 : Co-60、Cs-137、Pu-236、Pu-244、Am-241

クラス 2 : U-232、U-238

クラス 3 : H-3、C-14

この指数は、放射性核種の固有の放射能濃度と放射能毒性を加重することにより、公衆及び作業者の許容できる放射能被ばくレベルを守り、人間の侵入という仮定のシナリオにおける影響さえも少なくすることができます。この基準は、『廃棄物が、ある数の廃棄体で構成されるロット』という概念を作り出します。つまり、廃棄物が入っている廃棄体のひとまとまりがあり、その廃棄物の特性、起源がわかっているため受け入れに際し、単一の書類で正確な記述ができるものです。IRAS 指数は、廃棄物バッチ当たりに対して 1 を超えてはならない。また、パッケージ当たりの廃棄体は 10 までの変動は許容されるというものです。

したがって、各廃棄物発生者は、自らの責任で廃棄体に入っている放射性核種の同定とその放射能レベルの評価を行い、その情報を ANDRA に伝えなければなりません。それを受けて ANDRA は、受け入れできる放射能レベルの最大値を守っているかどうかの確認、及び、モルビリエ貯蔵センターに貯蔵している放射能レベルのインベントリを最新化できます。

事故のシナリオについては、検討対象経路の中で一番被害が大きい廃棄物のカテゴリーである吸入を考慮するのが適切です。各廃棄物発生者は、業務内容及び燃料サイクルの相対的位置から固有の典型的な核種濃度スペクトルをもつ廃棄物を出しています。一番被害が大きいスペクトルは、サイクルの下流側の特徴である『COGEMA 2』と呼ばれるスペクトルです。このスペクトルを持つ廃棄物ロットの受け入れは、放射能濃度がバッチ当たりの平均が 92 Bq/g 以下、廃棄体当たり 920 Bq/g 以下でなければセンターでは許可されません。

モルビリエ貯蔵センターの予想インベントリ及び特性をベースに、ANDRA は、METIS、MODFLOW、PORFLOW という計算コードを使い、放射能及び化学的影響の計算を行いました。

こうして得られた結果のいくつかは、もし、日本で予定しているサイトの水文地質学的特性が近い場合、現在のコンセプトのフィジビリティ・スタディに役に立つかも知れません。なお、検討したシナリオ全体について化学的影響の問題はありませんでした。

3.3 結論

モルビリエの TFA 貯蔵センターの廃棄物の受け入れ条件検討の結論として言えるのは、オーブの低中レベル廃棄物貯蔵センターに対する問題の回答と同じになります。こ

これらの条件は科学的根拠には基づいていません。しかし、経験とある一定の経験主義に基づいています。センターの受け入れ全体の容量は、とりわけ環境というサイトの特性によって決定され、廃棄体あるいは廃棄体ロットの放射能特性がキーパラメータになっています。これらの仕様を定める目的は、廃棄物発生者が廃棄物の特性を把握しなければならないという責任を約束させることに加え、センターに貯蔵される放射性核種のインベントリを日々最新化できるようにすることです。なお、実行した計算によれば、特に危険性のあるグループ（公衆など人的グループ）は出ていません。

4. 規制免除あるいはクリアランス閾値

4.1 経緯

規制免除あるいはクリアランスの閾値という概念は、放射性核種の発生者、安全機関、使用者の間で、ここ 30 年間フランスで数多くかつ反復した議論の対象になりました。反対意見はあるかも知れませんが、1992 年の『科学・技術的選択の国民議会委員会』（Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Technologiques）で報告者、Yves le Déaut（イヴ・ル・デオ）が述べているように、フランスの規制の中に規制免除閾値は既に存在していたことを認めるべきです（Table 7）。

それは、1966 年 6 月 20 日の（20/06/66）の政令（デクレ）によってすそ切り放射能濃度は 100 Bq/g と決められ、この値は 1991 年 2 月 19 日（19/02/91）に『原子力の安全と情報上級評議会』（Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaire）によって確認されています。この値以下の廃棄物は、任意の行き先に排出しても良い。さらに、1970 年 6 月 6 日に放射性核種の使用者に対し、放射性核種の毒性グループに応じ規制免除(exemption)と規制除外(exclusion)の概念が勧告として導入されています。放射能濃度が 74 Bq/g を超えるものは、放射性廃棄物と見なされ、全放射能によってグループ 1 から 4 に分けられます。一方、鉱業法典の改訂（1990 年 3 月 9 日付けの政令 n°90 221）があり、放射能含有量が 0.03 %以上、つまり α 線が約 30 Bq/g 以上の固体生産物については鉱業から発生する物質について管理計画を作成することが義務化されています。

基本原子力施設（INB）の場合、全放射能あるいは放射能濃度を適用するが、鉱業物貯蔵の扱いに関する規則の適用をめぐる論争があり、1991 年 12 月 11 日コンセイユ・デタ(Conseil d'Etat : 行政裁判所)が審議を依頼され、2 番目の放射能濃度の適用を確認しました。規制免除閾値の決定は、放射性物質の放射能濃度のみを基準として行うことが確認されました。コンセイユ・デタは、さらに、Euratom の指令を国内法に書き換えた政令の付属文書を根拠として『行政はシードと呼ばれる核壊変の系列上位 2 つの核種の放射能のみを考慮し、それらの子孫核種の放射能の考慮しないものとする。』という立場を示した。

1991 年 7 月、Pierre Desgraupes（ピエール・デグロープ）は、産業大臣、環境大臣、健康大臣から放射性物質の貯蔵について諮問された委員会（放射性物質の貯蔵についての検討委員会）の委員長ですが、同大臣宛の報告書の中で閾値の概念と限界値の概念を定義づけています。2 つの概念は、はっきり区別する必要があります。これら規制免除閾値と限界値は、ある種の業務あるいは使用に関係して使われます。よって、放射能が極低レベルの廃棄物は、非放射性であると見なすことができ、食料品に対して決められている上限値を上回っていたとしても埋設場に廃棄処分することができます。

委員会の結論は、放射性物質について全ての使用に適用できるような閾値を設定することは不可能である。委員会は、規制免除閾値と ICPE と INB の規制を適用する閾値の 2 種類の閾値を採用することを提案しています。委員会の何人かの委員は自分たちの提案の根拠（正当性）を説明し、Table 7 に示すような閾値を採用することを提案しています。

提案している規制免除値は、IPSN が 1990 年の『極低レベル放射能廃棄物の排出方法について』という報告書の中で提案している値以下です。これらの限界値を決めるに当たり IPSN は、『ないに等しい』(insignifiants)と考えられるレベルの線量を基準にし、現在検討中の EU の指令案よりもはるかに下のレベルを基準にしています。

さらに、IPSN は、これまで施設が経験した最も厳しい被ばく条件のシナリオと物質の再使用というシナリオに関心を示しました。例えば U232, U234, U235, U236, U238 について（政令 n° 86 1103 は、U 232 と U234 はクラス 1、U236 はクラス 2、U235 と U238 はクラス 4 とする毒性のグループを定めている）例を Table 8 に示します。

委員会は規制の限界値は、施設あるいは施設カテゴリーごとに、その特性と事業者の対策を考慮して決めなければならない、と述べています。委員会は、また α 線放出核種の吸引が一番支配的な被害経路であると認識しています。

原子力施設の解体計画が増えてくること、とりわけ解体作業に伴い発生する極低レベルの廃棄物の量が多いこと、また、その量が多いことにより管理・排出を専門に行う事業者が必要であることから、論議が起り、活発になっています。この必要性に対し欧州のいくつかの国では、放射能濃度(Bq/g)あるいは放射能表面密度(Bq/cm²)で表したクリアランス閾値を設定しました。これらの閾値は、物質が使用される大部分の状況を考慮できるように非常に数多くのシナリオをモデル化して決定されています。その値は、一番被ばくの大きい公衆の場合で、影響が無視できると見なすことができる 0.01 mSv/y 未満とし、いずれにしても 1mSv/y を超えてはならない、としています。

これら上記のアプローチにかかわらず、フランスの原子力安全当局(ASN)は、原子力業務で使用された資材は汚染あるいは照射で放射化された可能性があるため、少なくとも極低レベル廃棄物であると見なされなければならない、という考え方を選択しました。極低レベル廃棄物の定義は、放射能の測定値ではなく、発生起源によって行われます。フランスの安全当局が他国とは違う措置をとった動機を次に挙げます。

閾値アプローチの見かけの利点：

- － たとえ区別するクリアランス閾値が食品や飲料について特別に設定されるにしても、放射性物質と一般物質とを明確に区別することで規則の簡略化が図れる。
- － 放射能を扱う際、許可されるか、されないにかかわらず、どんな人間の活動に対しても均一な適用ができる。
- － 国を超えた移動について管理しやすい。

このアプローチに対する批判：

- － 検討したシナリオの網羅性あるいは実際に被害を及ぼすことを証明することが不可能である。
- － これらのシナリオは、解体からでてきた鋼鉄など、しばしば希釈係数を使用している。また、これらの係数は変動するので比較が出来ない。
- － さらに、放射線防護の目標を達成するために、クリアランス閾値は極めて低い値に設定される。その結果、管理をするプロトコルや機器は洗練かつ高精度のものが要求される。また、このアプローチは、解体作業が産業的規模で実行され、そこから発生する大量の極低レベル廃棄物が発生すると、それを分別するという行為に対応しにくい。

最後に、これらの科学的及び技術的批判に加えて、パブリック・アクセプタンスは、つまり最終的には政治判断になって出てくるのですが、極低レベル廃棄物をクリアランスすることで人工放射性物質が環境に分散することに対して、線量が極めて低いので損害が実際は無視できるものであっても、受容されているとは言い難く、一般世論でも議論になっています。

4.2 ゾーニングの設定

上記のメリットとデメリットを比較し、1990年初頭に起きた一定数の出来事を考慮し、原子力安全当局は、1990年台半ばに次のことを決定しました。

- － クリアランス閾値を設けるといふ道はとらない。
- － INB から発生する廃棄物については、専用の極低レベル廃棄物管理を行うといふ道を採用する。

その結果、1999年12月31日の省庁間令が出され、原子力施設の廃棄物についてゾーニング(zonage)が義務化されました。このゾーニングは、原子力安全当局の承認が必要ですが、施設の運用に伴い汚染あるいは放射化された可能性のある原子力廃棄物のゾーンと一般廃棄物のゾーンを分離しなければなりません。ゾーニングは慎重に行わなければなりません。放射能の測定は、確認のためだけに行われるべきです。そこから、ゾーンを移動する機材のトレーサビリティが必要になります。このアプローチは、INB で実行されていますが、それ以外の原子力業務への適用を検討中です。このフランスの決定は、将来、普遍的なクリアランス閾値を採用しているその他欧州国との整合性の問題を引き起こす可能性があります。したがって、フランスではゾーニングの概念が、閾値の概念にとってかわりました。

フランス原子力安全当局は、これに関し最近2つの通達を出しました。

- － 通達 SD3 D01 : INB の解体に関する規制手続き
廃棄物の一般検討の中で廃棄物のゾーン及びその管理方法を策定する手続きを詳しく記述している。
- － 通達 SD3-DEM-02 : 許容できるまでの完全な除染方法
フランスの原子力廃棄物の管理は、ゾーニング方式をベースとして行われる。原子力廃棄物ゾーンから出た全ての廃棄物は、最初から原子力廃棄物と見なされる。

結論として、『規制面において原子力安全当局は、極低レベル廃棄物管理について固有の方法を導入した。このカテゴリーの廃棄物を規制免除あるいはクリアランス閾値を基準に一般廃棄物にしてはならない。逆にこれらの廃棄物に対し注意を払い、適応させた系列 (filières) において最も適切な方法で処理されるべきである。この決定を受け、ANDRA は極低レベル廃棄物の管理体系を作り上げる公式かつ公的な機関として指定された。』極低レベル廃棄物は、ANDRA が 2003 年に開設したモリビエリの TFA 貯蔵センターなどにおいて極低レベル廃棄物として長期にわたり管理されます。

クリアランス閾値の使用はフランスでは禁止されていますが、公衆衛生法典では、特例として長い手続きの後、放射性核種を消費財あるいは建設材に添加することを許可しています。ただし、食料品は除きます。

最後に極低レベル廃棄物のリサイクルは、原子力産業では原材料の節約を理由に伸びる傾向にあります。そうなれば、リサイクル後の資材のトレーサビリティと管理が更に容易になります。

おわりに

この度、RANDEC（原子力研究バックエンド推進センター）から招へいされ、こうして皆さんと一緒にいられることを大変光栄に思います。今回の訪日に関して、ANDRAをはじめ、原子力安全当局、国立評価委員会等の関係者と会見し、報告する資料をまとめることができ、感謝する次第です。

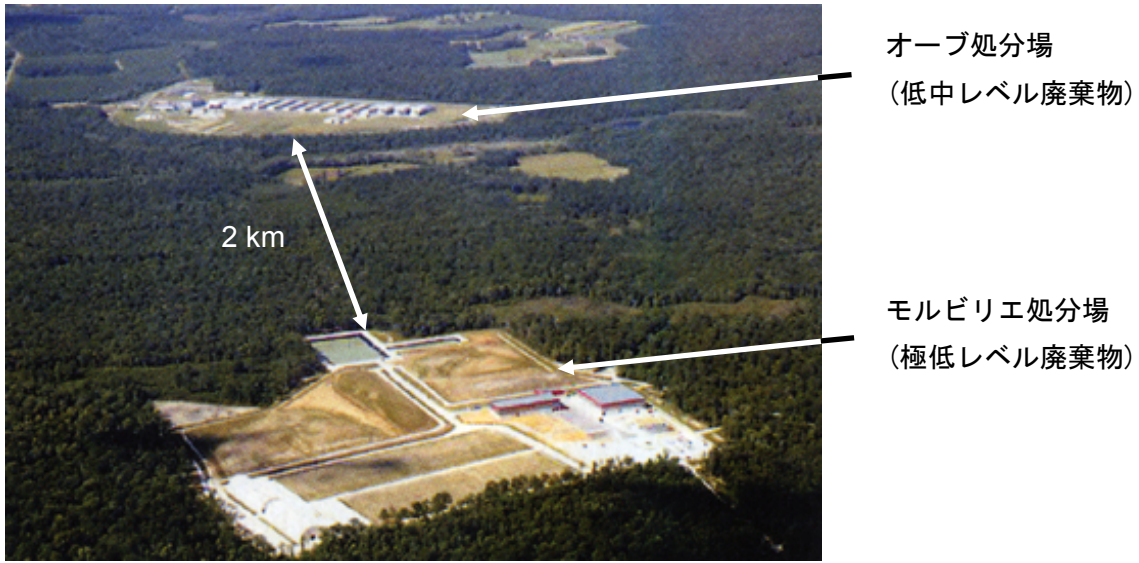


Figure 1 Aube and Morvilliers Centers

Table 1 Basic Scenarios Considered

- ・核種移動の経路（水、空気）
- ・施設の段階
 - －50年操業
 - －300年に閉鎖後の制度的管理
 - －管理なし監視期間後（300年以上）
- ・対象グループ（作業員、公衆、子供）
- ・操業中のシナリオ（通常の操業、事故）
- ・監視期間終了後のシナリオ（道路建設、住宅使用、居住者の子供）

Table 2 Waste Requirements for Shallow Land Disposal (Alpha Waste)

α 廃棄物	バッチ当たり	廃棄体当たり
パックなしまたは被覆なし 廃棄物	0.02 Ci/t	0.05 Ci/t
パックされた廃棄物	0.04 Ci/t	0.1 Ci/t

Table 3 Doses from Scenarios in Aube Center

核種	全インベントリ [TBq]	子供の実効線量 [mSv/y] (年齢 10 歳、 廃棄物量 85mg の吸入)
U-232	3.96 E-02	8.41 E-07
U-233	1.71 E-01	3.17 E-05
U-234	4.82 E+00	8.91 E-04
U-235	7.04 E-01	1.85 E-05
U-236	1.76 E-01	3.00 E-05
U-238	1.35 E+00	2.04 E-04

比較のため：

Pu-239	2.41 E+02	3.20 E-01
Pu-240	1.77 E+02	2.07 E-02
Pu-241	2.84 E+02	6.34 E-01

遊戯中の住居の子供のシナリオからの線量：

吸入 1.22mSv/y、直接被ばく 0.92mSv/y、合計 2.14mSv/y

Table 4 Aube Center: Radiological and Toxicological Impacts

・被ばく量

シナリオ	公衆線量	作業員線量	主要影響核種
操業中の事故	0.68mSv/y	0.81mSv/y	
	-0.81mSv/y	-0.96 mSv/y	
道路建設	10 μSv/y		
水	7.4 μSv/y		Cl-36, Pu-239
井戸	10 μSv/y		Cl-36, U-234,

・関連する毒物成分（監視後）：ヒ素

- － 牧草地（d'Amance 湿地）：0.01 μg/L
- － 自然界レベル：3 μg/L
- － 規制値：10 μg/L

Table 5 Morvilliers Center: Intended Inventory

廃棄物全量	800 000 t
- ウラン	115.4 t
- U-234	1.43 – 3.71 E+12 Bq
- U-238	1.42 – 3.70 E+12 Bq
-トリウム	2.8 t
-プルトニウム	65 g
-他の核種	Several g

天然核種は初期インベ
ントリの 22%
監視期間終了時は 53%

鉄	230 000 t	クロム	20 000 t	アルミニウム	16 000 t
銅	16 000 t	鉛	15 000 t	ニッケル	11 000 t
スズ	4 000 t	アンチモニ	500 t	ホウ素	300 t
カドミニウム	20 t	ヒ素	8 t	水銀	4 t
シアン化物	4 t				

Table 6 Morvilliers Center: Normal Capacity

Cl-36	64 Gbq	Sr-90	37 TBq	Sn-126	100 GBq
I-129	31 Gbq	C-14	1.9 TBq	Pu-239	1.2 TBq
Cs-135	1.8 TBq	Ag-108m	3.8 GBq	Ra-226	1.4 TBq
Tc-99	130 GBq	Se-70	740 GBq	Th-232	11.6GBq

クラス	バッチ当たりの 最大放射能 [Bq/g]	パッケージ当たりの 最大放射能 (単一核種) [Bq/g]
0	1	10
1	10	100
2	100	1 000
3	1 000	10 000

クラス 1 : Co-60、Cs-137、
Pu-236、Pu-240、Pu-242、
Pu-244、Am-241

クラス 2 : U-232、U-238

クラス 3 : H-3、C-14、Ni-63、Sr-90

Table 7 Historic French Clearance Values

- ・政令 (20/06/66) 100 Bq/g
- ・原子力の安全と情報上級評議会 (12/02/91) 100 Bq/g
- ・放射性核種の使用に関する命令 (06/06/70) 74 Bq/g

全放射エネルギーにより右表のグループ分けする。

3.7 Bq	Group 1
37 Bq	Group 2
370 Bq	Group 3
3 700 Bq	Group 4

- ・鉱業法典 (n°90 221)の改訂 (09/03/90) 0,03 %(α 放射能 30 Bq/g)
- ・コンセイユ・デタ (行政裁判所) (11/12/91) 放射能濃度に基づく基準
- ・Pierre Desgraupes 委員会 (1991年7月)
 - 規制免除の閾値
 - α 放射能 1 Bq/g
 - β/γ 放射能 10 Bq/g
 - 環境保護の指定設備 (ICPE) 及び
基本原子力施設 (INB) の規制免除
 - α 放射能 10 Bq/g
 - β/γ 放射能 100 Bq/g

Table 8 Exemption Limits (TFA <-> Conventional Waste)

U-232, U-234, U-235, U-236, U-238 に関して :

IPSN December 1990

	放射線の影響	放射能濃度 規制免除限界 [Bq/g]	放射能表面密度 規制免除限界 [Bq/cm ²]
固体廃棄物	10 または 50 μ Sv/y	10	1
監視を伴うクラス 1 の 産業廃棄物	作業者 1 mSv/y 公衆 10 μ Sv/y	1 000	5 000
監視を伴わないクラス 1 またはクラス 2 に都 市・産業廃棄物	作業者 50 μ Sv/y 公衆 10 μ Sv/y	1 000	1 000
銅産業	10 または 50 μ Sv/y	50 (U-234, 235, 238)	
輸送	作業者 1mSv/y	500	1000

付録 3

【調査票記載区分表】

記号	廃棄物の種類			放射能レベル区分	備考	
1	可燃性 廃棄物	紙・布等		I ~ V		
2		実験動物等死骸				
3		その他				
4	難燃性 廃棄物	ゴム・ プラスチック	焼却時に特に有害ガスを発生しないもの			
5			焼却時有害ガスを発生するもの (ゴム、塩化ビニル、テフロン等)			
6			<これら廃棄物は、施設仕様から不燃性廃棄物として扱われる場合がある>			
7	可燃・難燃の区分をしていない					
8	固体 廃棄物	金属	鉄、ステンレス			
9			制御棒			
10			鉛			
11			アルミニウム			
12			黒鉛			
13			その他非鉄金属(亜鉛、銅他)			
14		コンクリート類	コンクリート、土砂、ガラス、陶片他			
15		不燃物	フィルタ類			HEPAフィルタ
16						プレフィルタ
17						チャコールフィルタ
18						その他
19		その他 雑固体				焼却灰(溶融物含む)
20						廃樹脂(イオン交換樹脂等)
21	スラッジ 乾燥固体					砂
22						凝集沈殿物
23						その他
24	可燃・難燃・不燃の区分をしていない					
25	液体 廃棄物	水溶液				
26		有機溶液				

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積 (比体積)	立法メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の) 1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	エクスト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad		m ² ・m ⁻¹ =1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ² ・kg ² ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² ・kg ² ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ² ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr ^(c)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
(放射能核種の)放射能	ベクレル	Bq	1m/m ²	m ² ・m ⁻⁴ ・cd=m ⁻² ・cd
吸収線量, 質量エネルギー分与, カーマ線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m ² ・s ⁻²
	シーベルト	Sv	J/kg	m ² ・s ⁻²

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときにいくつかの用例は表4に示されている。
 (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。
 (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa・s	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg ² ・s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg ² ・s ⁻³
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー	ジュール毎平方メートル	J/K	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎メートル	J/m	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎メートル	J/m	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s ² ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² ・s ² ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・mol ⁻¹
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ ・s ² ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² ・s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =m ² ・kg ² ・s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² ・sr)	m ² ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =kg ² ・s ⁻³

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	''	1''=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	l, L	1l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30)×10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海	里	1海里=1852m
ノット	ノット	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dam ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バー	b	1b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm ² =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St =1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G ≙10 ⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe ≙(1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≙10 ⁻⁸ Wb
スチルブ	sb	1 sb =1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位系に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	lx	1X unit=1.002×10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W・m ⁻² ・Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

