

研究施設等廃棄物の現況

坂本義昭*1

日本原子力研究開発機構をはじめとして、大学、独立行政法人、民間企業さらには医療機関などから発生する低レベル放射性廃棄物は研究施設等廃棄物と呼ばれ、発生した大半の廃棄物は廃棄体処理および埋設処分されることなく保管されたままである。このため、早急な処理処分が求められているところであり、本稿ではこのような研究施設等廃棄物の現況として原子力機構での取り組みについて概説する。

Keywords: 研究施設等廃棄物、埋設事業、浅地中処分、廃棄体処理、処理処分の合理化

はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(原子力機構)は、原子力に係る研究開発のため、原子炉施設、再処理施設、核燃料物質使用施設、加工施設、廃棄物管理施設および放射性同位元素使用施設などを設置している。また、原子力機構以外の大学、独立行政法人、民間企業でも、学術利用、産業利用のために、試験研究炉、核燃料物質使用施設、加工施設、放射性同位元素使用施設などを設置していると同時に、医療施設などでも放射性同位元素を利用しており、全国の許可事業者として約二千数百者におよんでいる。これらの施設から発生する低レベル放射性廃棄物は研究施設等廃棄物と呼ばれ、現在に至るまで大半が廃棄体処理および埋設処分がなされずに保管されたままである。このままの状態が継続すれば、廃棄物の保管能力を超えるおそれとともに老朽化施設の廃止措置が困難となり、新たな研究・開発への支障となるおそれがある。このため、早急な処理処分の推進に向けて、平成20年6月の原子力機構法の改正により、原子力機構が研究施設等廃棄物の埋設処分の実施主体と位置付けられた。本報では、研究施設等廃棄物を対象とした原子力機構法での取り組みについての現況を報告する。

1 研究施設等廃棄物の埋設事業の概要

1.1 埋設事業の対象廃棄体の性状と埋設施設の概要

埋設処分の対象とする廃棄体(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(原子炉等規制法)では、容器に固化していないコンクリート等廃棄物と廃棄体の両者が定義されているが、ここでは埋設事業対象物量の集計の都合などから両者を合わせて廃棄体と記載している。以下、同じ。)は、濃縮廃液をセメントやアスファルトで固化した均質・均一固化体、可燃物の焼却灰や雑固体を溶解処理、高圧圧縮またはそのままの形状でセメント固化を行った充填固化体、金属廃棄物を角形金属容器へ収納(砂充填等)した物やコンクリート廃棄物をフレキシブルコンテナに収納した物となる。また、一部の大型の廃棄物は解

体および処理の合理化のため、開口部の処理などを施してそのままの形状(有姿廃棄物)での埋設処分を行うことも想定している[1]。

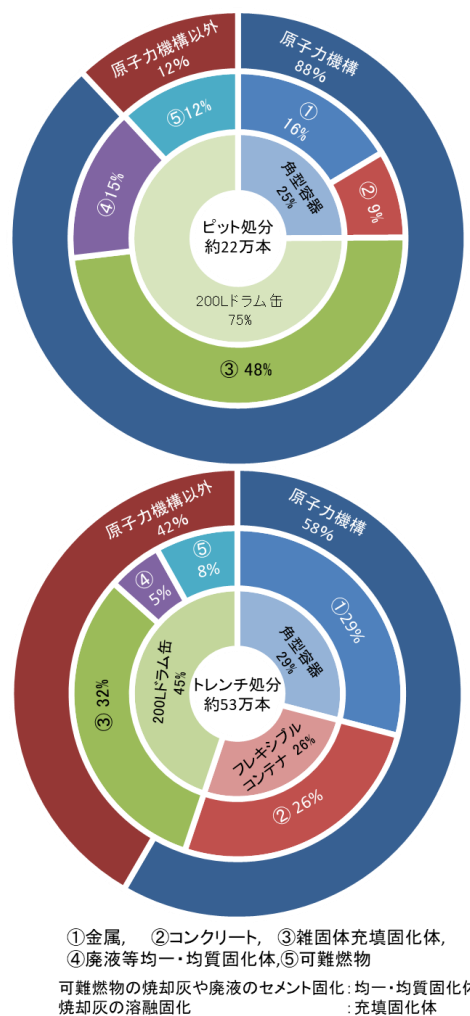


Fig.1 発生者、廃棄体容器、性状ごとの割合

原子力機構の埋設事業では、令和30年度までに発生する浅地中処分(コンクリートピット処分およびトレンチ処分)の対象となる研究施設等廃棄物の性状と廃棄体物量を取りまとめている[2-4]。原子力機構から発生する廃棄物については原子力機構が今後の各施設の操業および廃止措置、廃棄物処理計画に基づき廃棄体物量などを整理した。原子力機構以外の廃棄物発生者に対しては、原子力機構から埋設処分区分および廃棄体性状ごとの廃棄体の見込み量のアンケート調査を行い、調査結果を整理した[4]。この結果、原子力機構と原子力機構以外の廃棄物発生者を合わせた対象

Current status of treatment and disposal of radioactive wastes generated from research, industrial and medical facilities by Yoshiaki SAKAMOTO (sakamoto.yoshiaki@jaea.go.jp)

*1 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 バックエンド統括本部 埋設事業センター

Japan Atomic Energy Agency, Decommissioning and Radioactive Waste Management Head office, Radioactive Wastes Disposal Center 〒319-1112 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第35回「バックエンド」夏期セミナーにおける講演内容を加筆・修正したものである。

廃棄体の見込み量は、コンクリートピット処分およびトレンチ処分の合計値として約 67 万本（200L ドラム缶換算）と集計された。これを受けて、物量の変動に対する裕度を持たせて全体で約 75 万本に相当する埋設施設の設置とし、その内訳としては、コンクリートピット埋設施設で約 22 万本、トレンチ埋設施設で約 53 万本が埋設処分可能な施設を設置する予定である[4]。

Fig. 1 にコンクリートピット処分およびトレンチ処分ごとの廃棄体性状などの廃棄体物量を整理した結果[4]を、Fig. 2 にコンクリートピットおよびトレンチ埋設施設の概念図を示す[1, 4]。コンクリートピット埋設施設では、200L ドラム缶および角形金属容器の両者が定置できる構造である[1]。また、トレンチ埋設施設では、Fig. 1 に整理した廃棄体性状から金属廃棄物とコンクリート廃棄物は遮水工を設置しない安定型のトレンチ埋設施設での埋設処分とし、その他の性状となる 200L ドラム缶に固型化された廃棄体は遮水シートなどを設置した付加機能型トレンチ埋設施設での埋設処分としている[4]。これは、産業廃棄物でのいわゆる安定 5 品目以外の廃棄物に相当するため、廃棄物処理法との整合も踏まえて設定したものである[1]。

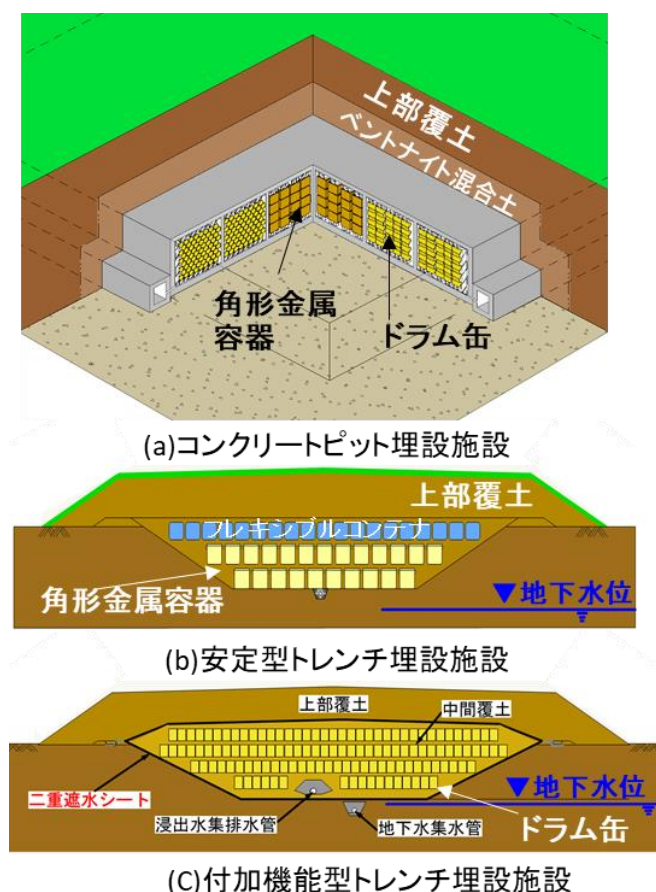


Fig. 2 埋設施設の概念図

これらの埋設施設の概念設計に基づく埋設施設の全体配置図を Fig. 3 に示す。コンクリートピット埋設施設では約 1.3 万本/基が定置可能な埋設施設を 18 基設置、トレンチ埋設施設では約 2.4~2.6 万本/基の安定型トレンチ埋設施設を

12 基並びに約 3.2~4.9 万本/基の付加機能型トレンチを 6 基設置予定である[1, 4]。

1.2 埋設事業工程と事業費用等

埋設事業では、埋設施設設置の立地確定後、各施設の設計・許認可・建設などに要する初期建設期間を約 8 年間、廃棄体の定置を行う操業期間を約 50 年間と設定している。最終覆土後は、約 300 年間の閉鎖後管理へ移行する予定である。上述したコンクリートピット埋設施設およびトレンチ埋設施設は、各発生者の廃棄体処理および廃棄体の搬出状況に基づき計画的に埋設施設の建設を行うこととなる。ただし、現状では 50 年間の操業期間で平均してコンクリートピット処分では年間約 4 千本、トレンチ処分については年間約 11,000 本を埋設処分することを想定している[4]。

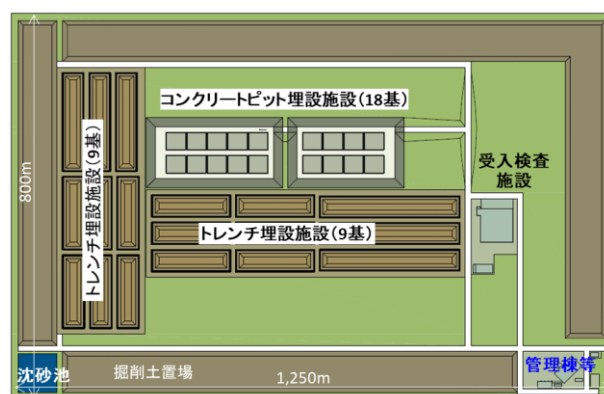


Fig. 3 研究施設等廃棄物の埋設施設全体配置図

このような研究施設等廃棄物の埋設事業では、各発生者が廃棄物の量や性状などに応じて応分の負担を行う考えに基づき、埋設事業の総事業費を積算している[2-4]。埋設事業費用は、各埋設施設および付属施設の建設費と操業費、環境調査や環境モニタリング費、閉鎖後管理費、公租公課および職員などの人件費などを算定した結果、約 2,243 億円と見積もっている[4]。このような積算結果に基づき処分単価を算出し、原子力機構の研究施設等廃棄物の埋設事業の web サイトで公開している[5]。なお、埋設事業並びに埋設施設などの技術的検討の詳細に関しても、埋設事業の web サイトを参照願いたい[5]。

2 廃棄物処理処分の合理化に向けた検討

2.1 廃棄物処理処分費用について

研究施設等廃棄物を発生する研究機関などのバックエンド対策を合理的に行うためには、埋設処分だけでなく廃棄物処理と一体となった費用低減化を図ることが重要である。例えば、原子力機構の 1 拠点での廃棄物発生段階での 200L ドラム缶当たり処理処分単価を前処理・保管、廃棄体処理・保管、廃棄体輸送・処分に区分した費用割合を Fig. 4 に示す[6]。廃棄物の種類による違いはあるものの、全体の費用の中で廃棄体処理・保管の費用割合が大きく、廃棄物処理の合理化が重要であることがわかる。

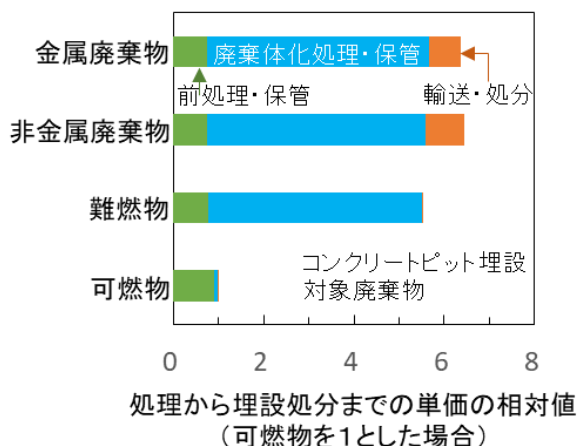


Fig. 4 廃棄物処理処分までの費用割合の例

2.2 廃棄物処理処分の合理化に係る課題について

上記のような背景を踏まえ、原子力機構では、今後の廃棄物の処理処分の合理化に向けて課題を整理し、検討を行っている。廃棄物処理の合理化の1つ目としては、原子力施設の解体で大量に発生する極低レベル放射性廃棄物に対し、解体時の放射能濃度評価と性状把握に基づき減容処理の一部を簡素化するなどの方法が想定される。2つ目としては、過去に発生してから長期にわたり保管されている廃棄物の処理処分対策が挙げられる。このような廃棄物の一部は、廃棄物発生時点の処理の考え方と処理設備に基づいた処理・保管がなされていたため、現在の知見に基づいた埋設処分に向けての分別処理や放射能濃度評価に多大な労力が必要となる状況である。したがって、このような廃棄

物に対しても処理の合理化に係る検討を行っている。具体的には、過去の廃棄物の一部には複数種類の施設から発生した廃棄物を同じ容器に収納した状態などにより保管しているため、以下の課題が挙げられている[7]。

- 1) 不燃物・可燃物の混在および圧縮、固型化されている廃棄物が多く、有害物なども一部含まれるため分別に多大な労力と時間が必要
- 2) 複数種類の施設から発生した廃棄物の混在により核種組成が一定でないため、原廃棄物分析法が主体とならざるを得ず、放射化学分析に労力が必要

このような課題への対応のため、原子力規制委員会に原子力機構バックエンド対策監視チームが設置され[8]、具体的な対策を検討している[7, 9-12]。

本報では、この監視チームで検討を進めている1)の廃棄物中の可燃物と有害物への処理方策、および1)と2)に対応すべきトレンチ埋設施設の検討状況について報告する。

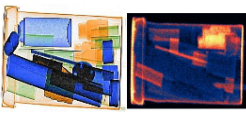
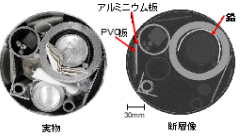
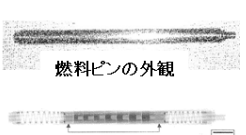
2.3 廃棄物処理方策の検討状況

2.3.1 可燃物や有害物への対応

可燃物は、埋設処分対象の廃棄体量の低減化と安定化のために焼却処理がなされている。しかしながら、諸外国では可燃物を含む廃棄物の埋設処分も一定の安全評価を踏まえた上で実施されていることから[13, 14]、可燃物を含む廃棄体が受入可能な埋設施設と受入基準の検討および廃棄体中の平均可燃物量の確認評価を進めている[10, 11]。

有害物としては、原子力施設で遮蔽物として多く用いられている鉛および一部の試験での使用や古い電池に含有されている水銀などが想定される。このような有害物のうち、塊状の物質については非破壊検査を行い、検出された廃棄

Table 1 想定される廃棄物の非破壊検査方法の概要

検査技術	イメージング画像	概要	特徴 (1:整備費、2:スピード、3:精度、 4:物質透過性、5:開発要素)
透過・後方散乱 X線ラジオグラフィ	 透過と後方散乱画像	100keV程度のX線を使用し、透過、後方散乱の二つのイメージングを同時に取得可能で、後方散乱情報を用いれば有機物も検出できる。但し、透過力が低いのでドラム缶内容物の外側からの評価はできない。	1: ~2千万円 2: 10秒程度 3: 分類精度は低い 4: 物質透過性が低い(ドラム缶不可) 5: 基本的な技術は確立されている。
高エネルギー X線CT	 実物と断層画像	数MeVのX線を使用し、高い精度で内容物の密度分布を評価できる。密度差があれば軽金属(Al)、重金属(Cd、Pb、Feなど)、有機物の分類は可能である。但し元素の情報を見ているわけではなく、密度が近いものの分類はできない。	1: ~10億円(このほか、ハンドリング装置、耐荷重強化等が必要) 2: 70分程度(200Lドラム缶内の単三乾電池を検出しようとした場合) 3: 分類精度は高い 4: 物質透過性が高い(ドラム缶可) 5: 基本的な技術は確立されている。
中性子 ラジオグラフィ・CT	 燃料ピンの外観 中性子イメージング像	パルス中性子(meV~MeV)を使用し、広いエネルギー領域でイメージング画像を取得できる。共鳴吸収を利用すれば元素(Pb、Cd、Cl、Al、Si、F)を選択的に見れる。またX線よりも軽元素(H、C、N、O)に高感度であり、物質透過性も高い。	1: ~10億円 2: 20分程度(ラジオグラフィ+共鳴吸収) 3: 分類精度は高い 4: 物質透過性が高い(ドラム缶可) 5: 小型中性子源の開発が必要である。

物について分別を行うことを検討している[10, 12]. また, 非破壊検査で検出が困難な微量の有害物などについては, 各物質が地下水中などの環境基準を遵守することにより安全性を確保できる埋設施設について検討を行っている[10, 11]. 代表的な非破壊検査方法の概要と特徴について **Table 1** に整理した[7, 12, 15, 16]. 透過・後方散乱 X 線ラジオグラフィは, 空港の X 線検査装置などで既に実用化されている方法であり, 導入費用も比較的安価であるが, 分類精度が低いことや 200L ドラム缶内の物質の検査には不向きである. 一方, 高エネルギー X 線 CT は有力な手法であるが, 導入費用がかかること, 測定および画像解析に時間がかかるため大量の廃棄物への適用に向けた検討を進めている段階である. また, 中性子ラジオグラフィ・CT は, 費用と測定時間を要するが, 分類精度が高い情報を 200L ドラム缶容器の外側から検出可能である. しかし, 現状では小型中性子源および元素の識別手法の研究開発が必要な段階である[7, 10, 12, 15, 16].

2.3.2 放射能濃度評価への対応

研究施設等廃棄物の埋設処分では, 放射性同位元素使用施設から発生する廃棄物も対象であるとともに, 上述したように複数種別の施設から発生した廃棄物が混在して核種組成が一定でない廃棄物も存在している. このため, いわゆる重要核種として選定された核種に対し, SF 法や理論計算法などの適用が難しく原廃棄物分析法が主体となり放射化学分析に多くの労力が必要となることが想定されている. とくに, トレンチ埋設処分対象廃棄物(ウラン廃棄物を除く)では, 重要核種として ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr などが選定されることが想定されている[9]. これらの核種は廃棄体容器外部からの非破壊測定による放射能濃度の定量が困難なため, SF 法など以外の方法として既存の記録などを利用した放射能濃度の評価方法の検討および埋設施設構造の高度化により地下水移行シナリオに起因する重要核種の絞り込みの可能性について検討を行っている[7, 9, 10, 12]. 既存記録としては, 保管体の表面線量当量率から放射能を換算する手法(換算係数は QAD コードを用いて計算されたもの)や固化前の廃液の一部を分析・定量して評価されているものがあるため, これらの記録の一部の利用について検討を行っている[7]. さらに, 複数種別から発生した廃棄物の処理を一括の施設で行う場合などでは, 廃棄物全体のインベントリの主要な部分を占める施設の核種組成を標準として発生する廃棄物を包含できる保守的な核種組成の設定や廃棄物のグルーピングによる核種組成設定の検討を行う予定である[10, 12].

2.4 埋設施設での対応の検討状況

トレンチ埋設施設での対応では, 有害物および放射能濃度評価へ同じ対応方法を検討している. すなわち, 埋設施設構造の高度化として埋設施設への浸透水量の低減化を図るために埋設施設上面に遮水工の設置並びに施設底面に放射性核種および有害物の収着を期待する核種収着層を設置することにより, ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr などの放射性核種および有害物に対し埋設施設内での移行抑制機能の高度化を図る方法について検討を行っている[9]. 遮水工としては, ベント

ナイトなどの粘土系材料や遮水シートが有力な候補として想定され, 浸透水量を 1~2 桁低減する効果が期待できるものである[9]. 核種収着層としては, 例えば ^{14}C などの陰イオン系核種の収着に期待できる物質が想定される[17, 18]. これらの対策により, 地下水移行シナリオに基づく安全評価上の重要核種の選定において, 核種の一部については, 環境条件や放射能インベントリの組み合わせにより重要核種の対象外となる可能性も想定される[9].

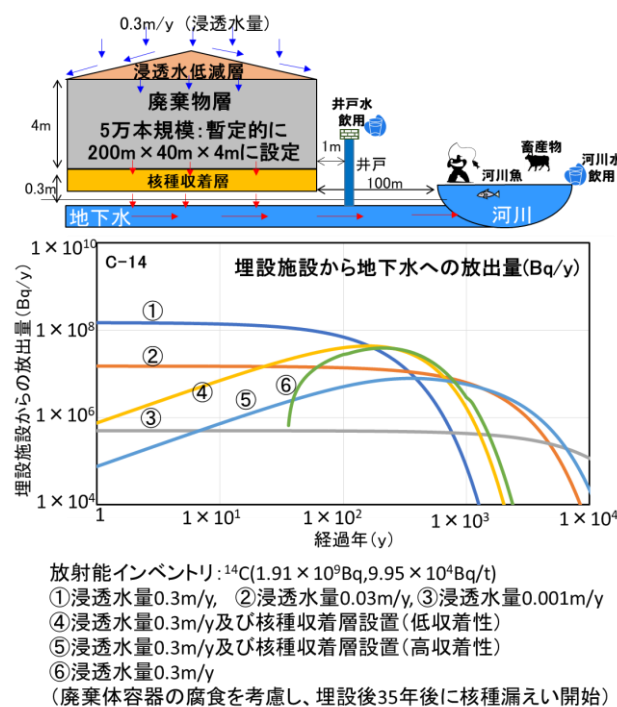


Fig. 5 埋設施設構造の高度化と施設からの ^{14}C の放出量のシミュレーション結果

具体的なシミュレーション結果として種々の施設構造を想定した場合におけるトレンチ埋設施設からの ^{14}C の放出量の一例を **Fig. 5** に示す. ここでは, トレンチ埋設施設の上面に浸透水低減層としての遮水工および埋設施設底面に核種収着層を想定したものである. 放射性核種のインベントリは, 研究施設等廃棄物の埋設施設の概念設計で設定したインベントリ[1]に基づき廃棄物量と埋設施設の容量に合わせて設定した. トレンチ埋設施設の規模としては, **Fig. 2** に示す付加機能型トレンチ埋設施設が 1 基当たり約 4.9 万本の容量であることから[4], 5 万本の廃棄物量を 1 つの埋設施設規模として設定した. この場合の埋設施設からの ^{14}C の年間放出量を遮水工および核種収着層の組み合わせで試算を行うとともに, 廃棄体容器自体の腐食時間の考慮により閉じ込め性能に期待できる場合の年間放出量も試算した. **Fig. 5** に示すように浸透水量がオーダーで低減すると埋設施設からの ^{14}C の放出量が比例して低減する効果が明確に示された (**Fig. 5** の①②③). さらに, 核種収着層の設置により初期の放出量の低減効果が顕著に示される結果となった (**Fig. 5** の④⑤). なお, 廃棄体容器による閉じ込め性能に期待する場合でも核種放出の遅延が生じるため, 核種収着層の設置と同様な効果が認められた (**Fig. 5**

の⑥). これらの結果から, トレンチ埋設施設に浸透水量や核種移行の抑制機能を付加することにより, 地下水シナリオにおいて一部の核種からの被ばく線量の低減化を図り重要核種の選定の絞り込みを図ることが可能となるものと考えられる[9].

なお, 有害物質についても Fig. 5 に示すような埋設施設を想定し, 受入基準について検討を進めているところである[10-12].

3 埋設処分の安全規制整備動向

原子力規制委員会においては, コンクリートピット処分およびトレンチ処分の安全規制を対象として, 核燃料物質また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(第二種埋設事業規則)および告示, 同埋設施設の許可基準規則とその解釈などの改正案への意見募集が令和元年7月18日から同年8月16日まで行われた[19]. また, 意見募集結果とその反映結果は, 同年10月2日の原子力規制委員会で報告され[20], 今後改正された第二種埋設事業規則などが施行されることとなる. 具体的な改正概要は,

- 1) ピット処分施設や廃棄体に対する要求性能の明確化
- 2) 規制期間終了後の被ばく評価シナリオの整理と線量基準の変更
- 3) 処分の対象とする放射性廃棄物の発生施設の拡張
- 4) 浅地中処分施設の特徴に応じた規制要求の適正化および明確化
- 5) その他

である[19]. 原子力機構としては, これまで規制当局に対し早期の規制制度整備についての要望を行ってきたが[21], 例えば, 3)処分の対象とする放射性廃棄物の発生施設の拡張としては, 今回の改正によりウラン廃棄物を除く廃棄物が第二種廃棄物埋設事業の対象となったところである. なお, 平成29年には放射性同位元素等の規制に関する法律(RI法)において, 同法の規制下で発生する廃棄物(RI廃棄物)が原子炉等規制法の廃棄の事業への委託処理処分が可能とされた[22]. このため, 今回の第二種埋設事業規則などの改正により, 受託側である原子炉等規制法においてもRI廃棄物が埋設事業の対象となるとともに, RI法と原子炉等規制法の両方の規制を受ける廃棄物, いわゆる重複許可施設から発生する廃棄物に対しても, 原子炉等規制法の第二種廃棄物埋設事業で埋設処分を可能とする措置が図られたことになる.

残された課題は, 減衰が期待できないウラン廃棄物と医療法等廃棄物であるが, 医療関連法令については法的な対応について議論がなされており[23], 早期の制度整備が期待されるところである.

4 最後に

研究施設等廃棄物の現況として, 原子力機構での埋設事業と廃棄物処理処分の合理化への取り組み状況について概説した. 現段階では, 研究施設等廃棄物の埋設施設の設置

場所が未定のため, 具体的な埋設施設や事業計画について提示できる段階ではないが, 早期の事業の具体化に向けた対応を進めているところである.

また, 廃棄物処理処分の合理化としては, 原子力機構で長期に保管されている廃棄物への検討状況を提示した. 今後, 原子力規制委員会の原子力機構バックエンド対策監視チームでの議論を通じて合理的な処理処分方策の検討を進め, 取りまとめ結果については原子力機構だけでなく原子力機構以外の研究施設等廃棄物の発生者へも適切に応用できるように対応を図る予定である.

謝辞

本講演と報告のまとめに当たり, 原子力機構バックエンド統括本部埋設事業センターの坂井章浩氏, 天澤弘也氏, 菅谷敏克氏, 仲田久和氏, 岡田翔太氏, 星野譲氏, 岩村桐子氏, 石田孝子氏, 同バックエンド統括本部企画部廃棄体化推進室の佐々木紀樹氏, 吉田幸彦氏, 村上昌史氏のご協力を得たことに感謝します.

参考文献

- [1] 天澤弘也 他: 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計. JAEA-Tech. 2012-031 (2012).
- [2] 文部科学大臣, 経済産業大臣: 埋設処分業務の実施に関する基本方針 (2008).
- [3] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構: 埋設処分業務の実施に関する計画. 平成21年11月13日認可, 平成30年3月1日変更認可 (2018).
- [4] 日本原子力研究開発機構埋設事業センター: 文部科学省原子力科学技術委員会第1回原子力バックエンド作業部会資料 4-1 埋設処分業務の実施状況について, 令和元年8月19日 (2019).
- [5] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構埋設事業センター: <https://www.jaea.go.jp/04/maisetsu/> (accessed 2019-10-11).
- [6] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構: <https://tenkai.jaea.go.jp/facility/3-facility/09-download/waste-reg-cost.pdf> (accessed 2019-10-11).
- [7] 日本原子力研究開発機構: 第2回原子力機構バックエンド対策監視チーム資料 1-1 廃棄物処理の加速に向けた検討-廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方(検討状況 1)- (1) 検討報告構成案およびこれまでの検討結果, 令和元年7月18日(2019).
- [8] 原子力規制委員会: 平成31年度第4回原子力規制委員会資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構に係る監視チームの再編について(案), 平成31年4月17日(2019).
- [9] 日本原子力研究開発機構: 第2回原子力機構バックエンド対策監視チーム資料 1-2 廃棄物処理の加速に向けた検討-廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方(検討状況 1)- (2) 今回のトピックス: 埋設施設構造の高度化による放射能濃度評価対象核種の選定, 令和元

年 7 月 18 日(2019).

討会資料 3 医療用放射性汚染物の取扱いについて, 平成 31 年 3 月 6 日(2019).

- [10] 日本原子力研究開発機構: 第 3 回原子力機構バックエンド対策監視チーム資料 1-1 廃棄物処理の加速に向けた検討-廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方(検討状況 2)-(1) これまでの検討結果, 令和元年 9 月 25 日(2019).
- [11] 日本原子力研究開発機構: 第 3 回原子力機構バックエンド対策監視チーム資料 1-2 廃棄物処理の加速に向けた検討-廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方(検討状況 2)-(2) 今回のトピックス 1: 可燃物及び有害物等を含む廃棄体の受入可能な埋設施設の設置, 令和元年 9 月 25 日(2019).
- [12] 日本原子力研究開発機構: 第 2 回原子力機構バックエンド対策監視チーム資料 1-3 廃棄物処理の加速に向けた検討-廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方(検討状況 2)-(3) 今回のトピックス 2: 可燃物及び有害物等の含有量並びに放射能濃度の評価方法, 令和元年 9 月 25 日(2019).
- [13] LLW Repository Ltd: Waste Acceptance Criteria – Low Level Waste Disposal Version 5.0 Issue 1 (2016).
- [14] Waste Control Specialists LLC: Waste Acceptance Plan Revision 9 (2014).
- [15] 中西良樹 他: 高エネルギー X 線 CT を利用した放射性廃棄物容器の内容物検査技術の開発. 日本原子力学会 2012 春の年会予稿集 L05 (2012).
- [16] 安田良 他: 中性子ラジオグラフィによる照射済燃料・材料の非破壊試験法の開発, 3; 中性子イメージングプレート法および CT 法による未照射燃料ピンの撮影. JAERI-Tech. 2002-001 (2002).
- [17] S.C. Sheppard et al.: Carbon-14 and tritium in plants of a wetland containing contaminated groundwater, Applied Geochemistry, vol.13, pp.43-47, (1988).
- [18] R. S. Rundberg and Y. Albinsson: Carbonate adsorption onto goethite as a function of pH and ionic strength, LA-UR-91-3244 (1991).
- [19] 原子力規制委員会: 第 18 回原子力規制委員会資料 2 ビット処分およびトレンチ処分に係る規則等の改正案および改正案に対する意見募集の実施について, 令和元年 7 月 17 日(2019).
- [20] 原子力規制委員会: 第 33 回原子力規制委員会資料 1 ビット処分及びトレンチ処分に係る規則等の改正及び改正案に対する意見募集の結果について, 令和元年 10 月 2 日(2019).
- [21] 原子力規制委員会: 第 2 回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合資料 2-2 日本原子力研究開発機構から発生する低レベル放射性廃棄物等について, 平成 27 年 2 月 12 日(2015).
- [22] 原子力規制委員会: 第 2 回原子力規制委員会資料 1「原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質, 核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律」の成立及び今後の対応について, 平成 29 年 4 月 12 日(2017).
- [23] 厚生労働省: 第 8 回医療放射線の適正管理に関する検