資 料

RI 廃棄物等の処理処分に関する技術的検討[†](社) 日本アイソトープ協会 RI 廃棄物等処理処分技術検討委員会^{††}

113 東京都文京区本駒込 2-28-45

Key Words : radioactive waste, waste treatment, shallow ground disposal
(near surface disposal), disposal site upperbound, dose assessment, assessment scenario

1. はじめに

RI 廃棄物等の処理処分については、1994年

[†]Technical Study on Treatment and Disposal of Radioactive Wastes from the Use of Radioactive Materials. Committee of Technical Study on Treatment and Disposal of Radioactive Wastes from the Use of Radioactive Materials, Japan Radioisotope Association : 2-28-45, Honkomagome, Bunkyo-ku Tokyo 113, Japan.

^{††}RI 廃棄物等処理処分技術検討委員会

委員○小佐古敏荘(主査) 東京大学原子力

研究総合センター

宮坂 靖彦 日本原子力研究所東海研究所
バックエンド技術部

福田 勝男 日本原子力研究所安全管理室
○吉森 道郎 日本原子力研究所東海研究所
バックエンド技術部

放射性廃棄物管理課

江村 悟 (株)原子力施設デコミッション
ニング研究協会

山田 隆 放射線医学総合研究所技術部
○加藤 武雄 理化学研究所ライフサイエンス
筑波研究センター

筑波安全管理室

伊藤 彦二 日本原燃(株)環境整備部
(平成6年11月まで)

岡本 光雄 日本原燃(株)環境整備部
(平成6年12月より)

○福吉 健夫 三菱マテリアル(株)
地球事業センター原子力環境部

○北田 哲夫 (株)日本アイソトープ協会
環境整備部

○古川 修 (株)日本アイソトープ協会
茅記念滝沢研究所技術課

(順不同、所属は就任時、○印：ワーキング会合メンバー)

オブザーバー出席

科学技術庁原子力局 技術振興課

核燃料課原子力バックエンド推進室

原子力安全局 原子力安全課放射性

廃棄物規制室 放射線安全課

(平成6年)6月に策定された原子力委員会の「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」(以下、「長期計画」という)において、日本原子力研究所と日本アイソトープ協会等の主要な責任主体が協力して早急に検討を始めることとされている。これを受けて日本アイソトープ協会は、平成6年7月にRI 廃棄物等処理処分技術検討委員会を設け、日本原子力研究所を含む、関連する関係機関の実務者および学識経験者等により、RI 廃棄物等の現状調査および処理処分方法の技術的事項の検討を行った。なお、 α 核種のような長半減期核種が主要含有核種である廃棄物については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等でのTRUおよびウラン廃棄物等の規制に関する検討をまって、これらを参考に処分を検討することとし、ここでは主として日本アイソトープ協会が集荷している $\beta \cdot \gamma$ 核種を含むRI 廃棄物等を中心に検討を行った。委員会は、平成7年3月に審議を終了したが、このほどその結果をとりまとめたので、以下に内容を報告する。検討はまずRI 廃棄物等の調査を行って現状を把握した後、処分方法の技術的検討に移り、これらの結果をふまえて今後の課題を展望した。

2. RI 廃棄物等の調査

2.1 RI 廃棄物の現状

RIの使用により発生するRI 廃棄物は、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」、「医療法」、「薬事法」および「臨床検査技師、衛生検査技師等に関する法律」によっ

て規制され、その廃棄は廃棄の基準に則って RI 使用事業所が自己の施設において行うか、国の許可または指定を受けた廃棄業者に委託することになっている。

日本アイソトープ協会は廃棄業者として、全国の約 2 300 の RI 使用事業所から発生する RI 廃棄物を集荷しており、年間集荷量は約 17 000 本（200 l 容器換算。以下同じ）に達している。医療機関で発生した RI 廃棄物の一部（医療 RI 廃棄物）は、日本アイソトープ協会の茅記念滝沢研究所で処理されている。その他の RI 廃棄物（研究 RI 廃棄物）については、一部を日本原子力研究所に委託しているが、日本アイソトープ協会で貯蔵している未処理廃棄物が増加しており、処理施設の整備を早急に行う必要がある。

2・2 処理の現状

RI 廃棄物は、発生時点でその処理方法に依じた分類に従って分別集荷されている。集荷された廃棄物は処理工程に回り、固体廃棄物は焼却または圧縮処理で減容処理され保管されている。最近、焼却処理に適した焼却型フィルタが開発され、焼却時の減容効果を大きくとれるなどの改善もみられる。また、液体シンチレーション廃液などの有機廃液は、規模の大きい一部の発生事業所で焼却処理がなされている。

現在の廃棄物処理は、おもに廃棄物の保管効率を高めるための減容および性状の安定化を目的とするものであるが、今後は、廃棄物管理の総合的視点からの検討を進めることが必要となり、処分の技術基準の策定を急ぎ、処分を前提とした処理を導入していく必要がある。また、現在日本アイソトープ協会は、有機廃液や動物など集荷・処理上問題のある廃棄物についても処理できるような総合的処理施設の建設を計画し推進している。

3. 処分方法の技術的検討

RI 廃棄物の処分の可能性を調べ、処分に係わる技術的知見を得るために処分方法の検討を行った。処分に関する基礎的な計算を行うに当

たっては、濃度限度値* を求める計算は既存の処分に関する安全評価手法に倣って行った。検討のフローを図 1 に示した。また、処分の安全性評価に使用した処分に係わる被ばく線量当量評価シナリオを図 2 に示した。

3・1 処分の検討

3・1・1 処分対象量

本検討における処分対象 RI 廃棄体本数は、平成元年から 5 年までの 5 年間に日本アイソトープ協会が集荷した RI 廃棄物本数をもとに 100 年間の発生量を想定したものに、現在、日本アイソトープ協会が貯蔵保管している RI 廃棄物の量を加えて、それらを処理したものとして求めた。固化処理の方法として国内で処分の実績のあるセメント固化処理方法を採用した場合、その廃棄体本数は 30 万本となった。また、

*濃度限度値とは、ある処分方法で放射性廃棄物を処分した場合、本検討における 3 種類の被ばく線量当量評価シナリオ、つまり、住居建設、居住および地下水移行シナリオでの管理期間の終了時点における公衆の被ばく線量（実効線量）の最大評価値が、 $10 \mu\text{Sv/y}$ となる核種ごとの放射能濃度値（ Bq/t 、など）をいう。ここで、公衆の被ばく線量評価値を $10 \mu\text{Sv/y}$ としているのは次の理由による（「放射性固体廃棄物の浅地中処分における規制除外線量について」、昭和 62 年 12 月、放射線審議会・基本部会）。

ICRP Publ. 46 では、規制除外の際の個人線量は、被ばくによるリスクが無視できるほど低いレベル（ 10^{-6} /年のオーダー）に相当する $100 \mu\text{Sv/y}$ のオーダーとしている。さらに、そこでは、個々の放射性固体廃棄物の処分について規制除外する際の線量評価上の判断基準として、この年個人線量 $100 \mu\text{Sv}$ を $10 \mu\text{Sv}$ に低減することにより、現在あるいは将来における複数の規制除外された線源から被ばくする可能性を考慮することができるとしている。なお、IAEA の上級専門家グループも同様の考え方に立ち、年個人線量約 $10 \mu\text{Sv}$ を提案している。

わが国における放射性固体廃棄物の浅地中処分において放射線障害防止の観点からの管理を規制除外する際の個人線量は、上に述べた考え方に立って判断することが適当であり、その判断の基準とすべき線量は、ICRP Publ. 46 と IAEA 上級専門家グループによる声明において提案されている個人線量に準拠して、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を用いることが妥当であるとされている。

図 1 RI 廃棄物等処分検討のフロー

廃棄物の減容効果が高い溶融固化処理方法を採用した場合、その廃棄体本数は 7.5 万本となった。

廃棄体に含まれる核種の放射能濃度は、平成元年から 5 年までの 5 年間に日本アイソトープ協会が集荷した RI 廃棄物に含まれていた核種の放射能濃度（集荷時に受け取る明細書に記入されているデータ）を基にして設定した。

これらの算出方法のフローを図 3 に示した。

3・1・2 処分方法

処分の方法は、RI 廃棄物に含まれる核種が比較的短半減期で放射能も低いものが多いことなどを考慮し、長期計画に示されている、「段階管理を伴わない簡易な方法による浅地中処分」、「簡易な方法による浅地中処分」および「浅地中処分」の 3 種類を具体的に以下のように設定した。

- (1) 段階管理を伴わない簡易な方法による浅地中処分：素掘トレンチ埋設，管理期間 0 年
- (2) 簡易な方法による浅地中処分：素掘トレンチ埋設，管理期間 30 年
- (3) 浅地中処分：コンクリートピット埋設，管理期間 30 年

3・1・3 埋設方法

埋設方法は既存処分モデルを参考にして、簡易な方法による浅地中処分については人工構築物を設置しないで埋設する方法，浅地中処分についてはコンクリートピットなどの人工構築物を設置して埋設する方法とし，処分場の自然条件パラメータも既存処分モデルと整合を図っ

た。

埋設方法の概念を図 4 に示した。

3・1・4 処分場規模

既存処分モデルは、100 万本の廃棄体を 500 m×500 m に埋設するものである。ここでの検討では、埋設する廃棄体の埋設層の厚さを既存処分モデルと同じにしたので，処分場規模は処分本数に比例する。したがって，セメント固化廃棄体 30 万本または溶融固化廃棄体 7.5 万本を処分するのに必要な処分場規模は，それぞれ 300 m×300 m および 150 m×150 m となる。

3・2 濃度限度値

(1) セメント固化廃棄体 30 万本を 300 m×300 m の処分場に上記 3 種類の方法で処分した場合の核種ごとの濃度限度値を試算した。

(2) 廃棄体に含まれている核種の平均放射能濃度と濃度限度値を比較して，処分による被ばく線量当量への寄与が相対的に大きな核種を選定し，それらを対象として処分場規模の違いによる濃度限度値の変化を検討した。

(3) 廃棄体に含まれている核種の平均放射能濃度と濃度限度値の比を使って，RI 廃棄物の処理・処分について考察した。

3・3 RI 廃棄物処分による公衆の被ばく線量当量の評価

前項 3・2 濃度限度値に記した(3)の方法は，複数核種が含有される場合の処分安全性の検討や，処分方法ごとの埋設可能本数の推定等がで

住居建設シナリオ

- 管理期間(30年)後の跡地への住居の建設工事
掘削面積: 416m² (26m × 16m)
- 基礎掘削工事時の外部被ばくおよび汚染粉塵吸入内部被ばく
- 深さ3mまで掘削するため、廃棄物層まで掘削される。掘削総量に対する廃棄物割合は0.32
- 汚染粉塵濃度: 5×10^{-10} g/cm³
- 被ばく時間 500時間/年

住居建設シナリオ

- 管理期間(30年)後の跡地への住居の建設工事
・建設用掘削面積 416m² (26m × 16m)
- 3mの深さまで基礎用に掘削
- 覆土と廃棄物の混合は起こらない
- 基礎掘削工事時の外部被ばく
- 被ばく時間 500時間/年

居住シナリオ

- 管理期間(30年)後の跡地への居住・栽培農作物の摂取
- 居住による外部被ばく、および汚染土壌での農作物栽培、摂取による内部被ばく
- 被ばく時間 365日/年
- 農作物摂取量 130kg/年 (野菜、果物、穀類、果樹の果物の年間摂取量の1/2)

居住シナリオ

- 管理期間(30年)後の跡地へ居住・栽培農作物の摂取
- 農作物は根が1m以深におよぶ果樹を仮定
- 居住による外部被ばく、および農作物摂取による内部被ばく
- 被ばく時間 365日/年
- 農作物摂取量 20kg/年 (果樹の果物の年間摂取量の1/2)

地下水移行シナリオ

- 埋設処分後、直ちに(管理期間0年)地下水への漏出が開始すると仮定
- 処分場より核種が地下水に移行し、河川に流入
- 河川水の直接飲用、および家畜及び魚(河川水飼育)の摂取による内部被ばく

(1) 素掘トレンチ埋設

地下水移行シナリオ

- 管理期間(30年)後に地下水への漏出開始
- 処分場より核種が地下水に移行し、河川に流入
- 河川水の直接飲用、家畜および魚(河川水飼育)の摂取による内部被ばく

(2) コンクリートピット埋設

図2 被ばく線量当量評価シナリオの概念

図3 処分対象廃棄体の設定

(1) 素掘トレンチ埋設, 管理期間 0年または30年

(2) コンクリートピット埋設, 管理期間 30年

図4 RI廃棄物等の処分場の概念図

きないなどの限界があるので、処分方法ごとの被ばく線量当量の評価を行った。

処分の対象となるRI廃棄物と処分方法を設定すれば、各処分方法で埋設できる廃棄体本数、それらの廃棄体についての核種ごとの平均放射能濃度および各処分方法での濃度限度値により、各処分を行った場合の管理期間終了時における被ばく線量当量評価シナリオによる被ばく線量当量評価値が算出できる。

(1) 廃棄体に含まれる放射能濃度のばらつきを考慮して濃度限度値の10倍を仮濃度上限値**とし、仮濃度上限値を超えない放射能濃度をもつ廃棄体がある処分方法で埋設できるものとしてその本数を設定した。

(2) 各処分方法で処分できる廃棄体に含まれる核種として、3・2濃度限度値(2)と同様の方法

で、処分による被ばく線量当量への寄与が相対的に大きな核種を選定した。そして、それらの平均放射能濃度を、廃棄体の放射能濃度分布の推定値を使って算出した。

(3) 処分方法ごとに、次の計算を行った。(2)で求めた平均放射能濃度を濃度限度値で除した値に、その核種を含む廃棄体本数の処分対象廃

**「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」において、放射性廃棄物の埋設の方法による最終的な処分が規制されている。処分許可申請を行うことができる放射性廃棄物の上限の放射能濃度は、同法施行令で決められていて、これを濃度上限値という。仮濃度上限値とは、RI廃棄物の埋設の場合にもこれと同様の考え方に基づいて、埋設処分に係わる濃度上限値が設定されるであろうと仮定し、その値を既存の濃度上限値と区別して仮濃度上限値と呼称したものである。

棄体本数に対する割合を掛ける。この値を選定された核種について加算し、それに $10 \mu\text{Sv/y}$ を乗じて、その処分方法で対象廃棄体を埋設した場合の被ばく線量当量シナリオによる年線量当量の評価値を求めた。求めた評価値をすべての処分方法について加算して、RI 廃棄物全体の処分における被ばく線量当量評価値を試算した。すなわち、所定の RI 廃棄物を処分した場合の被ばく線量当量評価値 $H(\mu\text{Sv/y})$ は、

$$H = \sum_j \sum_i (\bar{C}_{ij}/L_{ij})(N_{ij}/N_d) \cdot 10(\mu\text{Sv/y})$$

ここで、

$\bar{C}_{ij}$: 処分方法 j で処分される廃棄体のうち、核種 i を含有する廃棄体について求めた、核種 i の平均放射能濃度

L_{ij} : 処分方法 j での核種 i の濃度限度値

N_{ij} : 処分方法 j で処分される廃棄体のうち核種 i を含有する本数

N_d : 処分対象の全廃棄体本数 (3×10^5 または 7.5×10^4)

$\sum_i$: 選択された核種についての総和

$\sum_j$: 3 処分方法についての総和

で表される。

(4) 試算のフローを図 5 に示した。

試算結果を表 1 に示した。ここで、セメント固化廃棄体と溶融固化廃棄体の被ばく線量当量の差は、濃縮による放射能濃度の差と、 ^3H 、 ^{14}C の含有量の差に起因する。区分外は、放射能濃度がコンクリートピット埋設、管理期間 30 年の場合の仮濃度上限値を超える廃棄体群である。

3.4 処分検討の結果

既存処分モデルと整合を図った RI 廃棄物の処分用計算モデルを用いることにより、下記の結果を得た。

(1) 核種ごとの濃度限度値を求めた。また、処分場規模が濃度限度値に与える影響について知見を得た。それによると、ここで扱った処分モデルについては、住居建設および居住シナリオが決定シナリオとなる核種の濃度限度値は処分場規模によって変わらず、地下水移行シナリ

オが決定シナリオとなる核種の濃度限度値は処分場規模が小さくなるに従って大きくなる結果となっている。

(2) 今回の試算により、RI 廃棄物に含まれる放射性核種のうち、処分の安全評価上注目すべき核種を明らかにさせることができた。これらは、RI 廃棄物に比較的多く含有される核種のうち半減期の長いものである。

(3) 100 年間に発生すると推定される RI 廃棄物（処分対象量としてセメント固化廃棄体 30 万本または溶融固化廃棄体 7.5 万本）の埋設処分場についての知見が得られた。

すなわち、最大 300 m^2 程度の規模で処分が可能であり、また管理期間終了時点での処分による公衆の年個人被ばく線量は $10 \mu\text{Sv}$ を超えないものと考えられる。

(4) 処分を前提とした適切な処理技術の導入が必要である。たとえば、溶融固化処理は減容効果が高く、物理的・化学的に安定でかつ均質な固化体が得られる可能性があり、そうすれば均質のサンプル採取ができることから、溶融固化廃棄体の性状確認が容易になるといった利点があると思われる。また溶融固化処理を行うと廃棄体に含まれる ^3H 、 ^{14}C などが除かれて、廃棄体中の放射能濃度が低くなることから、この試算では、溶融固化廃棄体処分での被ばく線量当量評価値が、同時に試算したセメント固化廃棄体の場合より大幅に小さくなることがわかった。

(5) 半減期の長い核種を含む廃棄体は、管理期間、人工バリアなどの面において、よりコストの高い処分が必要になるので、RI 廃棄物に含まれる核種の半減期に応じた分別管理が合理的である。

3.5 処分場のサイト概念

処分場のサイト選定に当たって考慮すべき事項および処分場の施設構成等について整理を行うとともに、処分場のサイト概念についても検討を行い、試案を提示した。

3.6 廃棄体の確認技術

原子力発電所からの低レベル廃棄物の放射能

図 5 RI 廃棄物処分の被ばく線量当量評価のフロー

表 1 処分方法ごとの廃棄体処分本数および被ばく線量当量評価値

(1) セメント固化体（処分本数 300 000 本）の場合 処分場サイズ 300 m×300 m

処 分 方 法	素掘トレンチ 管理期間 0 年	素掘トレンチ 管理期間 30 年	コンクリートピット 管理期間 30 年	総 合	区 分 外
処 分 本 数	146 600	136 400	16 000	299 000	1 000
被ばく線量当量($\mu\text{Sv/y}$)	0.013	3.75	0.86	4.62	—

(2) 溶融固化体（処分本数 75 000 本）の場合 処分場サイズ 150 m×150 m

処 分 方 法	素掘トレンチ 管理期間 0 年	素掘トレンチ 管理期間 30 年	コンクリートピット 管理期間 30 年	総 合	区 分 外
処 分 本 数	36 900	36 700	1 200	74 800	200
被ばく線量当量($\mu\text{Sv/y}$)	0.030	1.22	0.37	1.62	—

注：処分場サイズ 150 m×150 m の仮濃度上限値は、300 m×300 m の仮濃度上限値と同等とした。

濃度の確認については、発生源の性質から、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs の γ 線放出核種を key 核種として廃棄物の非破壊測定を行い、そのデータと核種相関を利用したスケーリングファクタ法、原子炉の燃焼計算にもとづいた理論計算法および平均放射能濃度法が採用されている。

このような放射線測定の特徴を利用した非破壊測定法を RI 廃棄物に含まれる核種の放射能

評価に応用することは、一般的に技術上および経済性からみて困難である。

この困難性を補完するものとして、溶融処理による均質サンプルについて放射線測定を行う方法や、RI 販売データおよび集荷した放射性廃棄物の明細データと放射性廃棄物に含まれる核種の放射能との相関を利用する方法等が考えられ、今後の検討が期待される。

4. 今後の課題

4・1 今後の検討の必要性

今回の検討は、廃棄物の将来発生量や処分場の自然条件などを仮定した RI 廃棄物処分の検討の第一段階であり、処分場条件、処分の運営計画等の諸条件の設定に伴い、さらに引き続き詳細な検討を行う必要がある。

4・2 合理的な処理処分方法の検討

実際の処理処分に当たっては、以下のように技術的および経済的観点から検討を加え、合理的な方法を考えることが必要である。

4・2・1 処理技術の総合的検討

RI 廃棄物の処分を考慮に入れた前処理を行うための適切な処理技術を、さらに総合的に検討する必要がある。たとえば、熔融固化技術は減容効果が高く、均質な廃棄体が得られるなどの利点が考えられるので有用な処理技術であるが、処理施設の設備コストが比較的高いといわれている。このため、RI 廃棄物の処分前処理技術として今後導入するに当たっては、処理処分全体の経済性の面から慎重に総合的に検討する必要がある。また、資源の再利用を行うなど RI 廃棄物の発生を減少させるために、廃棄体になる前の過程で分岐する処理体系についても総合的に検討する必要がある。

4・2・2 処分廃棄体の技術基準

今回の検討では処分対象廃棄体の技術基準の細部にわたる検討は行っていない。廃棄体の技術基準は処分のための前処理方法に直接関係するので、合理的な処理処分を行うためには、前述の処理技術の総合的な検討とともに廃棄体の

技術基準を整備する必要がある。

4・2・3 分別管理

処分の観点から問題となる核種（長半減期核種）を含む廃棄物の分別管理は、RI 廃棄物の合理的な処理処分を検討するうえで有効である。RI 廃棄物の発生状況、集荷方法および処理・処分プロセスの技術的および経済的事項を考慮して、特定の核種については分別管理を実施していく必要がある。

4・2・4 中間貯蔵

放射性廃棄物の処理処分に先立って中間貯蔵を行い、放射能を減衰させることは、合理的な処理処分方法を考えるうえで有効な手段である。

4・3 確認技術

RI 廃棄物の核種および放射能インベントリの確認は、放射線の測定データのみを利用する方法だけでは技術的に困難であり、経済的にも問題がある。日本アイソトープ協会の、RI 頒布のデータと RI 廃棄物のデータを結びつけたデータベースを開発し、確認支援技術として利用していくことなども考慮していかなければならない。

4・4 処分実施体制

長期計画に従い、処分に関する具体的技術（廃棄体の技術基準、放射能確認技術および処分場建設に関する技術的事項など）の確立や処分場立地などの検討を進め、RI 廃棄物の処分を行う体制を早期に整備していくことが必要である。