

廃棄物の合理的処理処分方策の基本的考え方

—廃棄物処理の加速に向けた検討結果—

令和2年1月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 検討の目的及び方法
 - 1.1 目的
 - 1.2 検討の方法
2. 検討対象廃棄物
 - 2.1 廃棄物の分類
 - 2.2 廃棄物関連情報
3. 課題及び対策の整理
 - 3.1 課題の整理
 - 3.2 対策の整理
4. 課題1:放射能濃度評価の加速
 - 4.1 主要対策の概要
 - 4.2 核種濃度評価法の構築
 - 4.3 埋設施設の受入基準の検討
 - 4.4 中長期対策
5. 課題2:有害物等分別の加速
 - 5.1 主要対策の概要
 - 5.2 非破壊検査による廃棄物の確認
 - 5.3 埋設施設の受入基準の検討
 - 5.4 中長期対策
6. 課題3:可燃物分別の加速
 - 6.1 主要対策の概要
 - 6.2 可燃物埋設の定置管理
 - 6.3 埋設施設の受入基準の検討
 - 6.4 中長期対策
7. 対策の効果
8. 令和2年度以降の対応スケジュール
9. 規制への要望事項

1章 検討の目的及び方法

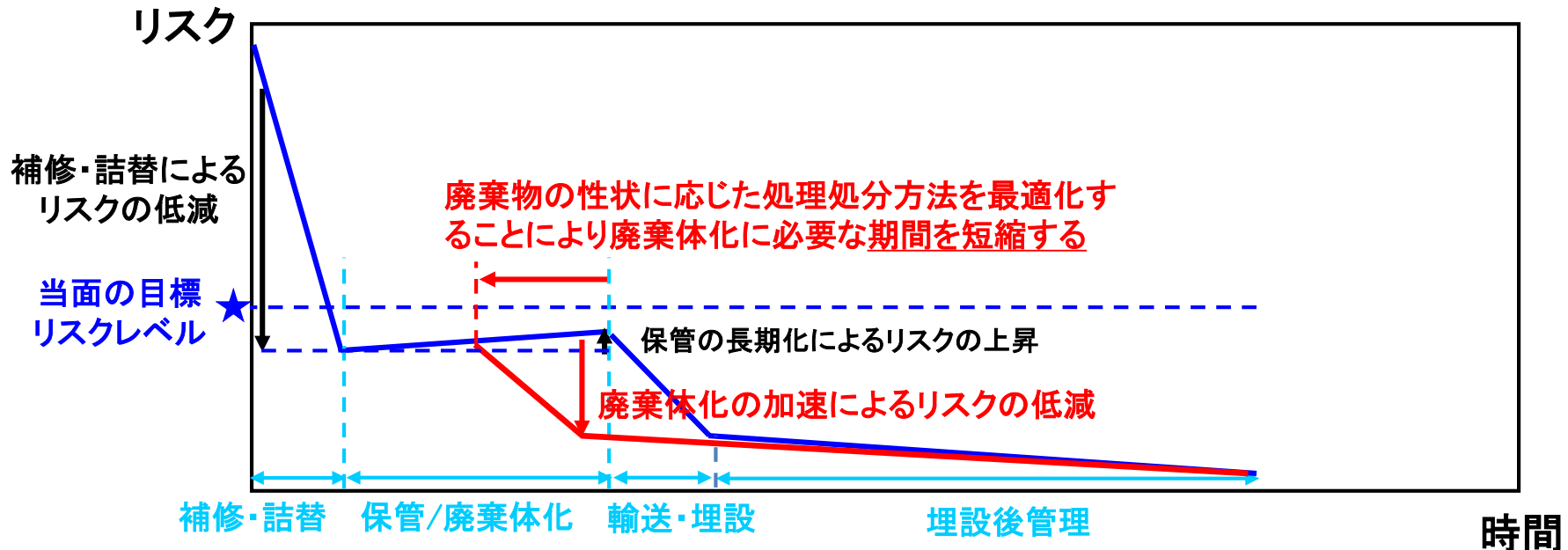
1. 検討の目的及び方法

1.1 目的

■ 保管廃棄物の早期リスク低減について

- 原子力科学研究所の半地下ピット式の保管廃棄施設・L(Lピット)に長期に亘って保管されているドラム缶に対し、外観確認を行い、腐食の程度に応じて補修や詰め替えを計画的に実施している。
- 上記の対策に加えて、線量が低いといった廃棄物の性状に応じた処理処分方法を最適化することにより、廃棄物処理を加速し、更なるリスクの早期低減を行う方策を検討した。

■ 保管廃棄物の早期リスク低減のイメージ(Lピットの例)



1. 検討の目的及び方法

1.2 検討の方法

(1) 廃棄体製作作業の加速の検討

以下の手順で加速の検討を行った。

- ① 検討対象廃棄物の性状の把握
- ② 廃棄体製作作業の中で時間がかかっている工程の分析
- ③ ボトルネックとなっている工程の加速対策の検討
 - 効果、実現性等を指標に対策を評価
 - 対応計画を作成

(2) 埋設施設の廃棄体受入基準の検討

- 埋設施設についても安全性の向上を図り、これに応じた廃棄体の仕様を検討した。
 - 放射能濃度
 - 有害物等含有割合
 - 可燃物含有割合
- 想定される埋設施設の構造や環境パラメータを設定して試算を行う。

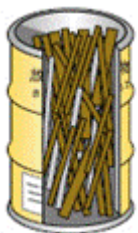
2章 検討対象廃棄物

2. 検討対象廃棄物

2.1 廃棄物の分類

① タイプⅠ廃棄物

発電所廃棄物に適用されている廃棄体製作方法(健全性を損なう物質・有害物の除去、SF法等による放射能評価など)の適用が比較的容易と考えられるもの



検討対象

② タイプⅡ廃棄物

複数の施設から発生した廃棄物を収納したもの並びにそれらの圧縮体または固化したもの。健全性を損なう物質・有害物の除去、放射能評価等に時間がかかる廃棄物が存在する。



③ タイプⅢ廃棄物

過去に海洋投棄を前提に頑丈なコンクリート容器に収納した、比較的高線量の廃棄物



主な発生施設

廃棄物種類	主な発生施設					
	青森研究開発センター	原子力科学研究所	核燃料サイクル工学研究所	大洗研究所	敦賀事業本部	人形峠環境技術センター
タイプⅠ 約20万本*	原子炉施設(むつ)	原子炉施設(JPDR等) 照射後試験施設(ホットラボ等)	再処理施設 MOX製造施設 ウラン濃縮施設	全施設 (廃棄物が発生施設毎に管理されている最近のもの)	ふげん もんじゅ	精錬転換施設 濃縮工学施設 ウラン濃縮原型プラント
タイプⅡ 約10万本*		廃棄物処理場 全施設 (廃棄物が混合、圧縮されていた時期のもの)		全施設 (廃棄物が混合、圧縮されていた時期のもの)		
タイプⅢ 約2万本*		照射後試験施設 (ホットラボ等)		照射後試験施設 (MMF等) 原子炉施設 (JMTR等)		

* 廃棄物量は200ドラム缶換算値。種類分けが難しい廃棄物があるため概算値を示した。このため、合計は機構保管廃棄物の合計約35万本と合っていない。

2. 検討対象廃棄物

2.2 廃棄物関連情報 (1/5)

■ 廃棄物関連の記録(1/2): 放射能濃度に関する記録の作成方法

保管体の区分	対象保管体	記録すべき核種	評価核種の例	評価手法
そのまま処分する可能性のある保管体	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント固化体 ・アスファルト固化体 	将来の処分時の安全評価を行う上で必要な核種を記録する。	H-3, C-14, Co-60, Sr-90, Ru-106, Cs-134, Cs-135 等	試料分析測定法
詰替え等を行って再パッケージ化する可能性のある保管体	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮体 ・焼却灰 ・直接保管体 ・その他 	再パッケージ化作業上問題となるような核種及び当初に評価しておかないと再パッケージ化時に見逃してしまうような核種を記録する。	H-3, C-14, Co-60, Cs-137 等	表面線量率換算法 発生元の伝票記載値 収支管理法
将来、クリアランスレベル以下となる可能性のある保管体	<ul style="list-style-type: none"> ・RI協会からの廃棄物 ・直接保管体 	短半減期核種のみのもものは半減期が最も長い核種で代表して記録する。 その他のものは上記に準じる。	Cr-51, I-125, P-32等	上記に準じる。

■ 廃棄物関連の記録(2/2): 放射能濃度の評価手法について

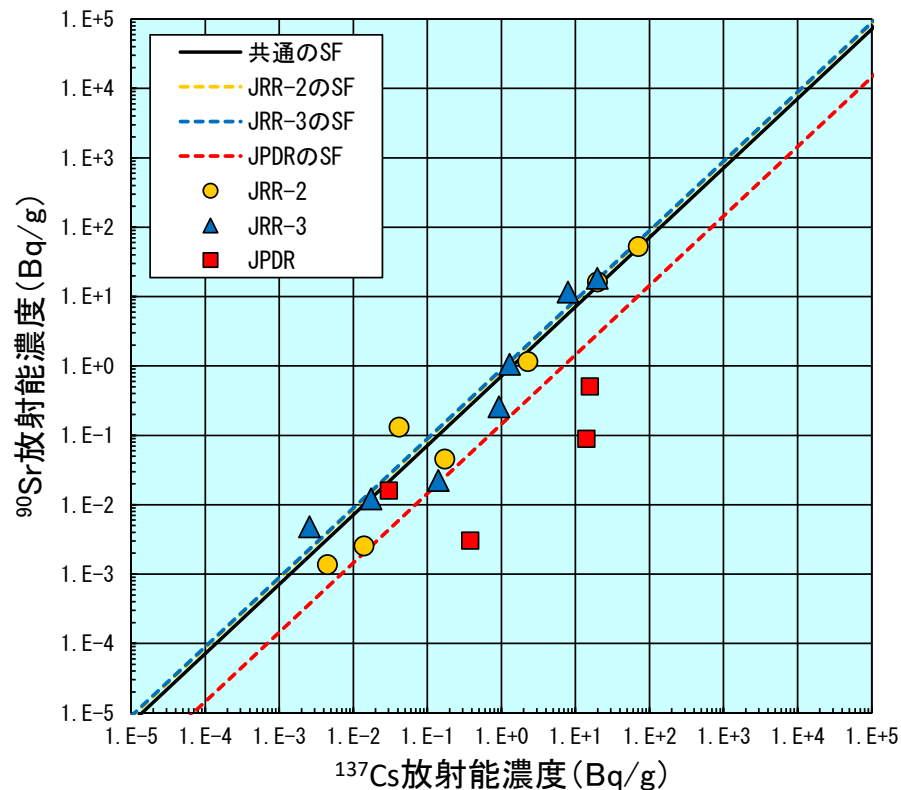
評価手法	概要
表面線量率換算法	保管体の表面線量等量率から放射能を換算する手法。換算係数はQADコードを用いて計算する。
試料分析測定法	固化前の廃液の一部を分析・定量して評価する手法。
収支管理法	廃棄前の使用実績に基づき計算又は推定する。

2. 検討対象廃棄物

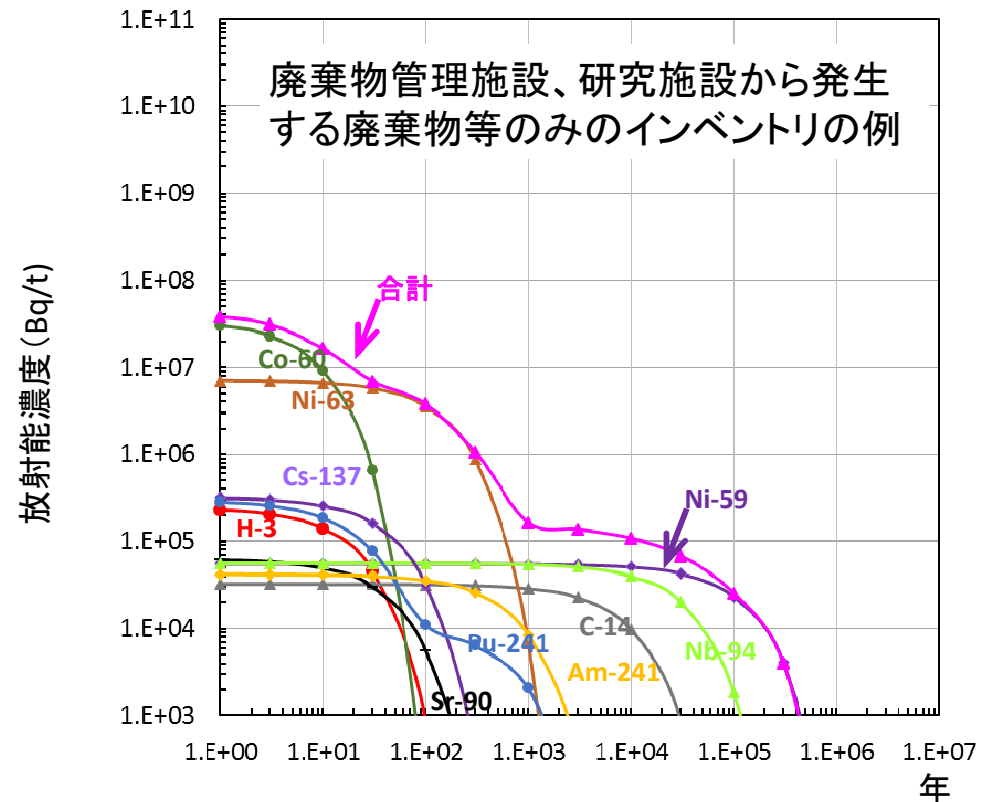
2.2 廃棄物関連情報 (2/5)

■ 廃棄物の核種組成比、インベントリ

- タイプⅡ廃棄物の放射能濃度に関する分析結果はほとんどないものの、タイプⅠ廃棄物の放射能濃度分析を進めており、また、廃棄物の表面線量、発生施設別の核種組成比等からインベントリを評価している。



研究炉の放射能濃度の相関の比較の例



トレンチ埋設対象の廃棄物インベントリの例*

*原子力規制庁 第14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資料14-2-2
研究施設等廃棄物の埋設処分について(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)

2. 検討対象廃棄物

2.2 廃棄物関連情報 (3/5)

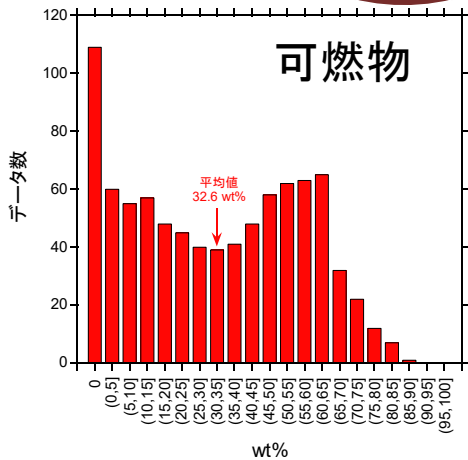
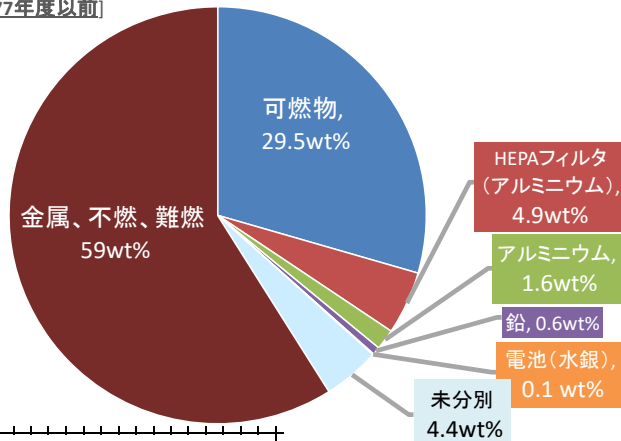
■ 廃棄物開缶調査の結果 (1/3)

● 原科研のタイプⅡ廃棄物中の平均重量割合(圧縮体)の例

- これまでに実施した圧縮体約900本の開缶調査の結果を下の円グラフに示す。
- 焼却炉の新設に向けて分別要領が変更された1978年度前後で組成が大きく変化していた。
- 1977年度以前の廃棄物は可燃物の割合が高く(約3割)、1978年度以降の廃棄物は可燃物の割合が低かった(約1割)。
- 令和2年度以降も調査を継続する。

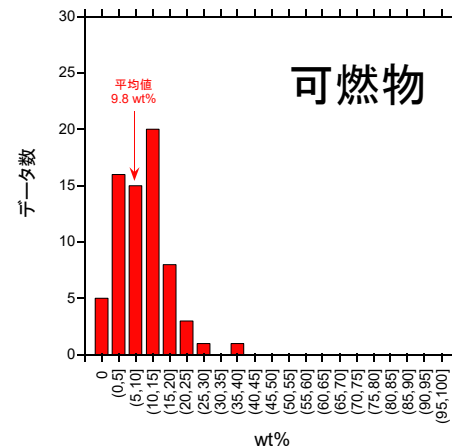
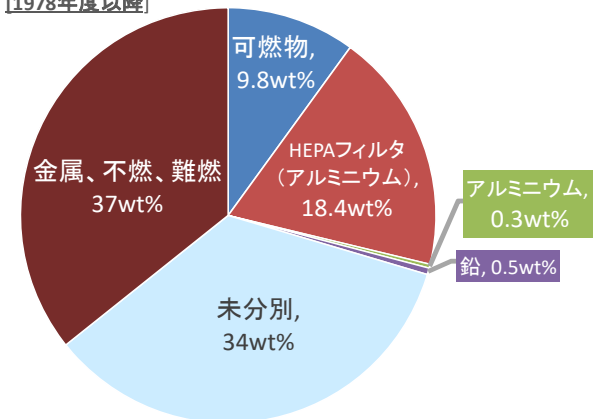
1977年度以前:水分を含んだ紙、布類は「不燃物」として圧縮
(ドラム缶本数:14,891本のうち864本を調査)

圧縮体の内容物の割合
[1977年度以前]



1978年度以降:水分を含んだ紙、布は焼却処理
(ドラム缶本数:7,951本のうち69本を調査)

圧縮体の内容物の割合
[1978年度以降]

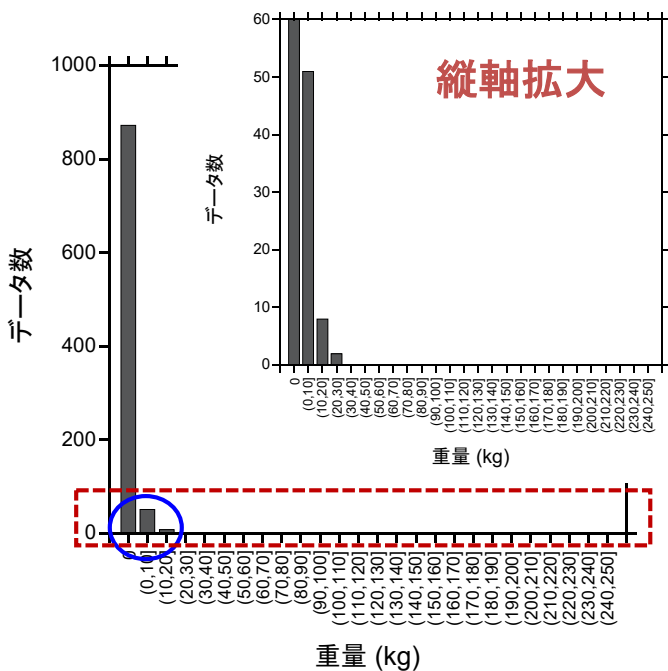


2. 検討対象廃棄物

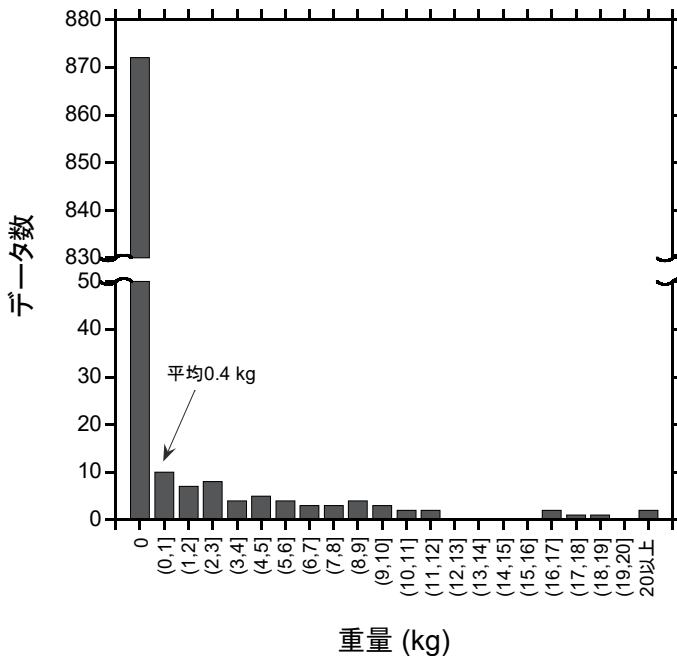
2.2 廃棄物関連情報 (4/5)

■ 廃棄物開缶調査の結果 (2/3) : 鉛含有量の評価

- これまでに実施した圧縮体約900本の開缶調査の結果のうち、鉛含有量に関する結果を下の棒グラフに示す。
- 調査対象廃棄物の約7%に鉛が含まれていた。
- 1本あたりの鉛含有量は、平均0.4kgであった。



20 kg以下の部分



933本の評価結果

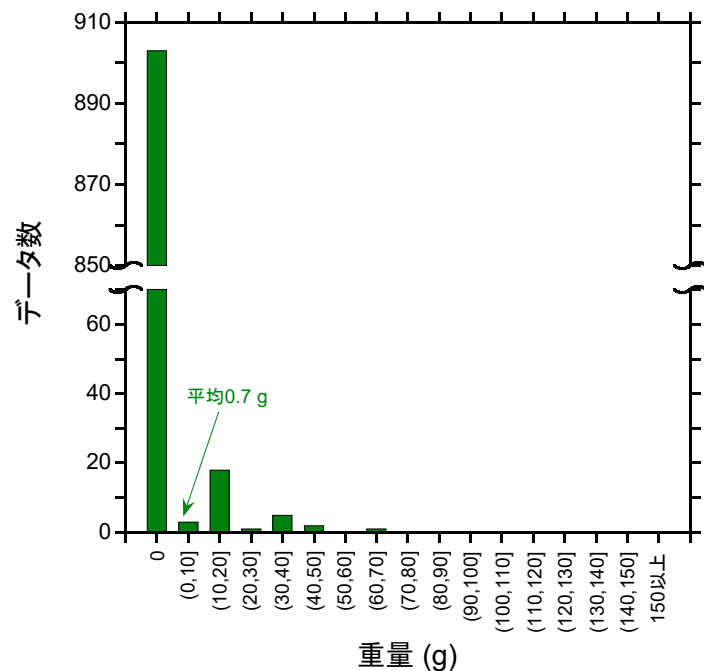
- 鉛なし: 872本 (93.5%)
- 鉛を含有: 61本 (6.5%)
- 平均: 0.4 kg
- 標準偏差: 2.2 kg
- 最大: 28 kg

2. 検討対象廃棄物

2.2 廃棄物関連情報 (5/5)

■ 廃棄物開缶調査の結果 (3/3) : 水銀含有量の評価

- これまでに実施した圧縮体約900本の開缶調査の結果のうち、水銀含有量に関する結果を下の棒グラフに示す。
- 調査対象廃棄物の約3%に電池(水銀)が含まれていた。
- 1本あたりの水銀含有量は、平均0.7gであった。



933本の評価結果

- 水銀なし: 903本 (96.8%)
- 水銀を含有: 30本 (3.2%)
- 平均: 0.70 g
- 標準偏差: 4.48 g
- 最大: 62 g

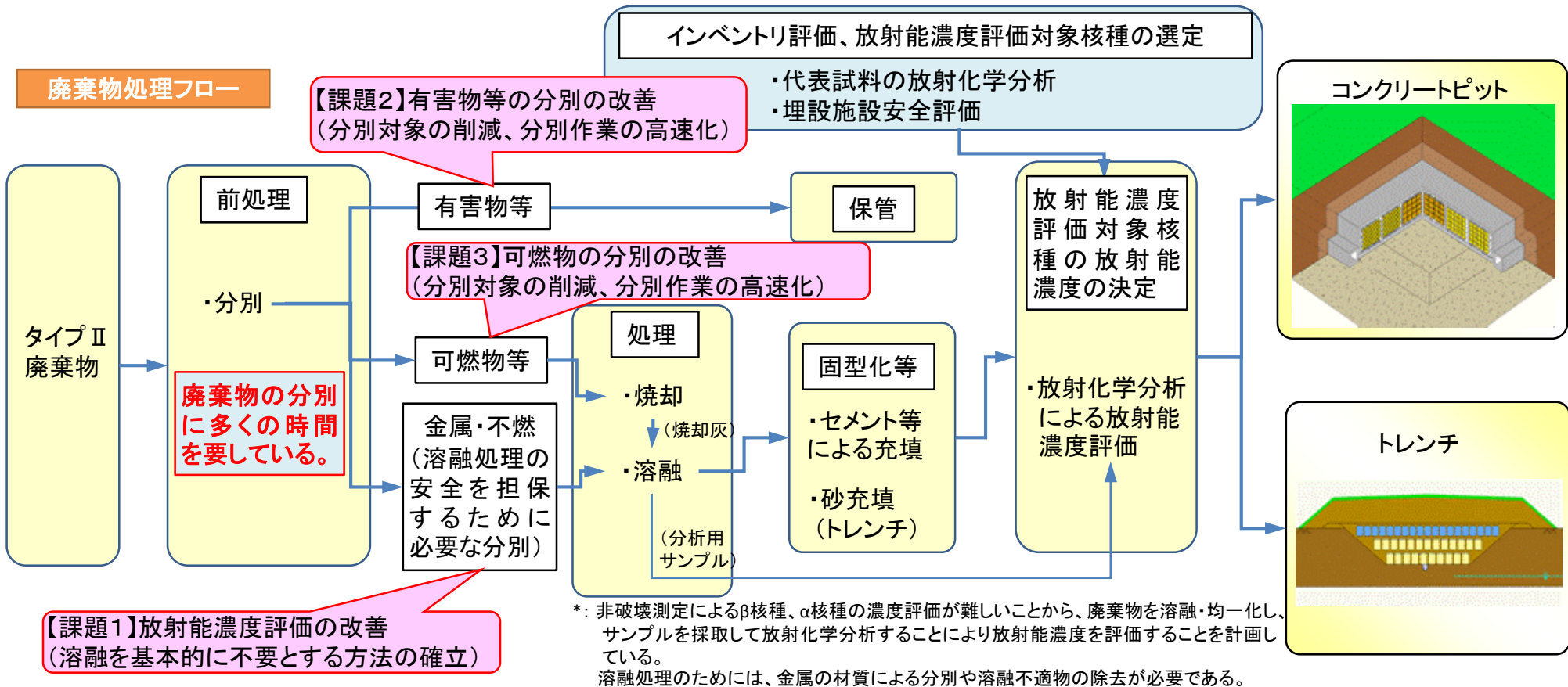
電池重量から水銀重量への換算方法

- 水銀124.8 mg/個 (単3アルカリ: 20g)
柳瀬他、廃棄物資源循環学会論文誌, 20, 12-23 (2009)
- 水銀 6.2×10^{-3} g/電池1g
 (この換算係数を電池重量に掛けて水銀重量を求めた。)

3章 課題及び対策の整理

3. 課題及び対策案の整理

3.1 課題の整理



内容物の除去



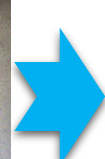
養生材の除去



目視確認による分別



仕分け



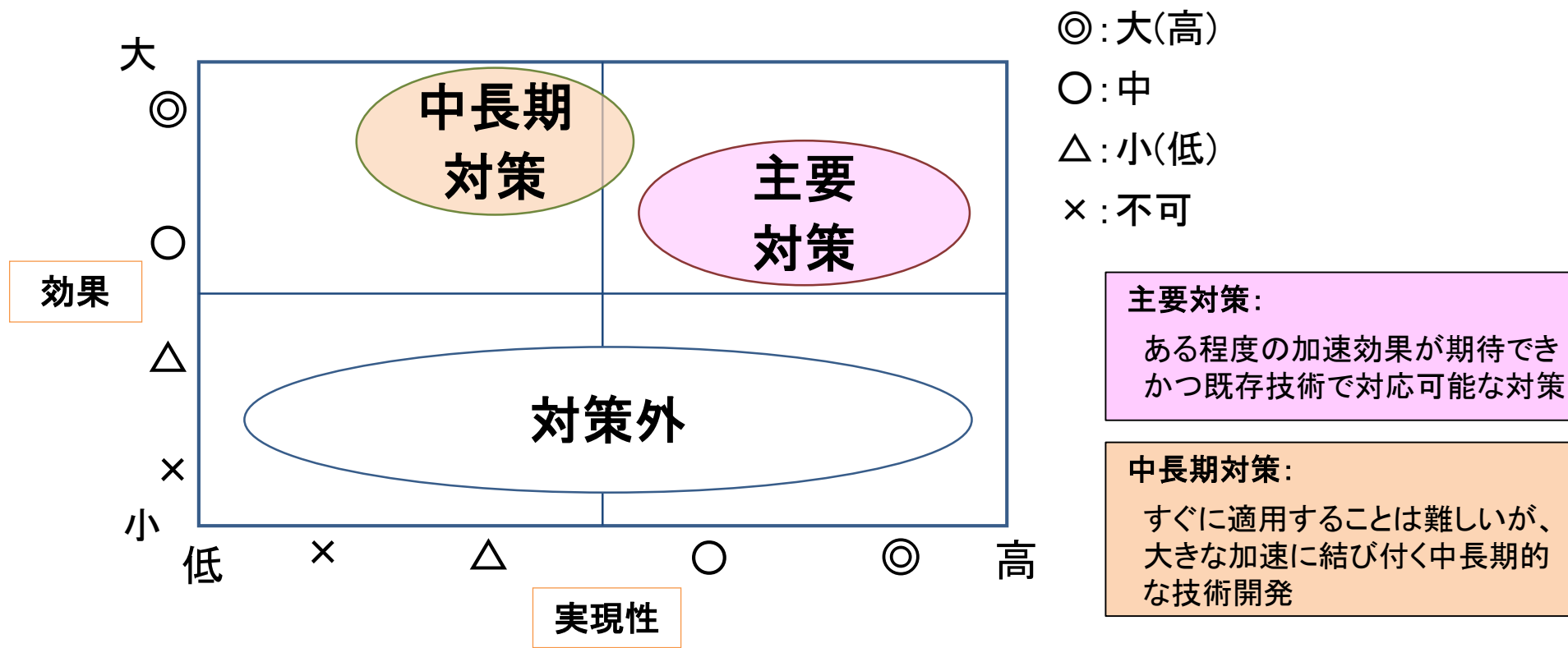
分別作業にドラム缶1本あたり5時間以上を要している。

3. 課題及び対策の整理

3.2 対策の整理 (1/4)

■ 対策の評価方法

- 現時点で考えられる個別対策を整理し、効果と実現性について評価を行った。
- 以下の図に評価結果に基づく対策の位置付けを示す。



個別対策のマトリックス

3. 課題及び対策の整理

3.2 対策の整理 (2/4)

■ 課題1: 放射能濃度評価の加速

【対策】

主要対策

中長期対策

【評価と評価根拠】

上段: 効果

下段: 実現性

評価の目安

◎: 大

○: 中

△: 小

現状(計画)

- 手作業による分別後に廃棄物を溶融・均一化して、放射化学分析

- 非破壊測定によるβ核種、α核種の評価が難しいことから、現状では廃棄物を溶融・均一化し、サンプルを採取して放射化学分析することにより評価することを計画している。
- 溶融処理を行うためには、溶湯の突沸や排ガス処理系の故障を防ぐため、金属の材質による分別や難燃物の除去等が必要になる。このため、分別作業に多大な時間を要している。
- 溶融・均一化を前提としない放射能濃度評価法が構築できるか、β核種・α核種の評価が不要となれば、溶融処理及びこれに必要な分別処理が不要となり、作業を大きく加速できる。

保守的な核種組成比と非破壊測定による放射能濃度の評価

- | | |
|---|-------------------------------|
| ◎ | 分別が不要となり、作業時間の大幅な短縮が期待できる。 |
| ○ | 保守的かつ現実的な核種組成比の構築にある程度の作業が必要。 |

廃棄物の統計的推定による放射能濃度の評価

- | | |
|---|--|
| ○ | 評価作業の合理化が期待されるが、統計誤差を含む保守的な評価になる。 |
| △ | サンプルの代表性を保証する方法の確立に時間がかかるため、現時点では実現性が低い。 |

記録による放射能濃度の評価

- | | |
|---|------------------------------|
| △ | 発生施設の明確な廃棄物が少ないため、対象廃棄物が少ない。 |
| △ | 記録の正確さの検証が必要であり、実現性が低い。 |

か焼による放射能濃度評価対象核種の削減

- | | |
|---|------------------------------------|
| ◎ | H-3、C-14等の揮発性β核種の評価が不要になることが期待できる。 |
| △ | 十億円オーダーの設備整備費が必要であり、実現性が低い。 |

埋設施設構造高度化及び放射能濃度評価対象核種選定方法の見直しによる放射能濃度評価対象核種の削減

- | | |
|---|---|
| ○ | β核種、α核種の評価が不要になることが期待できるが、埋設施設の環境条件によっては削減核種が限定される。 |
| ◎ | 施設設計で対応可能である。 |

溶融を基本的に不要とする方法

3. 課題及び対策の整理

3.2 対策の整理 (3/4)

課題2: 有害物等の分別の加速

【対策】

主要対策

中長期対策

【評価と評価根拠】

上段: 効果

下段: 実現性

評価の目安

◎: 大

○: 中

△: 小

現状

手作業による分別

非破壊検査による分別が不要な廃棄物の確認(鉛、水銀)

記録、現在の有害物使用状況等による分別が不要な廃棄物の確認(鉛、水銀以外の有害物)

廃棄物の統計的推定による有害物含有量の評価

埋設施設構造高度化及び安全評価による安全性向上

作業員数の増加

圧縮物分解等補助装置の使用

自動分別装置の使用

分別対象廃棄物の削減

分別作業の高速化

○

大部分の廃棄物は分別不要となるが、鉛・水銀が検出された一部の廃棄物は分別が必要。

○

高エネルギーX線CT等*が適用できるが、画像判断機能の追加が必要。

* 現在技術開発が進んでいる中性子ラジオグラフィCTについては、高エネルギーX線CTに比べて高性能化が期待されることから、中長期対策に位置付ける。

○

大部分の廃棄物は分別不要となるが、有害物が確認された一部の廃棄物は分別が必要。

○

記録に加えて現在の有害物使用状況等の情報を追加し説明性を高めることが必要。

△

有害物が極めて少ない廃棄物のみ適用可能であり、効果が低い。

△

サンプルの代表性を保証する方法の確立に時間がかかるため、現時点では実現性が低い。

○

安全性向上が期待できるが、環境条件によっては効果が限定される。

◎

施設設計で対応可能である。

○

大きな効果を得るためには、大幅な人員数と分別設備の増加が必要。

△

作業員の大幅な増員と分別設備の整備が必要であり、実現性が低い。

○

補助装置であり、効果は限定される。

△

現状では、加速につながる装置が見つかっておらず実現性が低い。

◎

全廃棄物の分別作業の大幅な時間短縮が期待できる。

△

現状では、産廃用の自動分別装置は分別性能が不十分であり、また十億円程度の設備整備費が必要であることから、実現性が低い。

3. 課題及び対策の整理

3.2 対策の整理 (4/4)

課題3: 可燃物の分別の加速

		【対策】	主要対策 中長期対策	【評価と評価根拠】	上段: 効果 下段: 実現性	評価の目安 ◎: 大 ○: 中 △: 小
現状	手作業による分別					
	非破壊検査による分別が不要な廃棄物(埋施設受入基準内)の確認			◎ 可燃物含有量の少ない廃棄物の分別作業の削減が期待できる。 ○ 高エネルギーX線CT等が適用できるが、画像判断機能の追加が必要。		
分別対象廃棄物の削減	上の主要対策の追加対策					
	受入基準を超えた廃棄物の可燃物含有量が少ない廃棄物との混合希釈による分別不要化			◎ 全廃棄物の分別作業の削減が期待される。 ○ 可燃物がほとんど入っていない廃棄物の確保が必要(解体廃棄物等で対応可能。)		
	統計的推定による可燃物含有量の評価			◎ 全廃棄物の分別作業の削減が期待できる。 △ サンプルの代表性を保証する方法の確立に時間がかかるため、現時点では実現性が低い。		
	上の2つの主要対策とセットの対策					
	埋施設構造高度化と可燃物を含む廃棄物の受入基準の提示			◎ 全廃棄物の分別作業の削減が期待できる。 ◎ 必要に応じて埋施設構造の見直しで対応可能。		
分別作業の高速化	作業員数の増加			○ 大きな効果を得るためには、大幅な人員数と分別設備の増加が必要。 △ 作業員の大幅な増員と分別設備の整備が必要であり、実現性が低い。		
	圧縮物分解等補助装置の使用			○ 補助装置であり、効果は限定される。 △ 現状では、加速につながる装置が見つかっておらず実現性が低い。		
	自動分別装置の使用			◎ 全廃棄物の分別作業の大幅な時間短縮が期待できる。 △ 現状では、産廃用の自動分別装置は分別性能が不十分であり、また十億円程度の設備整備費が必要であることから、実現性が低い。		
	か焼装置の使用			△ 火災等を防止するため、ある程度の分別が必要であり、効果が低い。 △ 十億円オーダーの設備整備費が必要であり、実現性が低い。		

4章 課題1:放射能濃度評価の加速

4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.1 主要対策の概要

■ 主要対策の基本的な考え方

これまでの対応計画

【廃棄物の溶融均一化＋放射化学分析】

溶融のための分別
(不適物除去や材質分別)

長時間を要する

溶融による均一化
(1バッチ:ドラム缶約20本)

放射化学分析
(溶融10バッチ分の試料をまとめて溶解・分析)

埋設施設の
受入基準

新たな対応方法

【保守的な核種組成比＋非破壊測定】
＋【埋設施設の安全性向上】

保守的な核種組成比
の構築
(代表サンプルの
放射化学分析等)

埋設施設の
安全性向上
と受入基準
の
検討

非破壊γ線測定
→濃度評価
(容器1基ごと)

安全性を
向上した
埋設施設
受入基準

4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.2 核種濃度評価法の構築 (1/2)

■ 保守的な核種組成比と非破壊測定による放射能濃度の評価

● 基本的な考え方

- これまで設定していた「溶融均一化＋放射化学分析」に代えて、非破壊測定のみで放射能濃度の評価が可能な方法の検討を進める。

● 当面の進め方(原科研)

- 現状では圧縮体の放射能濃度に関する実測データがほとんどないことから、廃棄物の性状評価(核種組成比・濃度)を進める。
- 実測データの取得については、当面、300点程度のサンプル数を目標とする。
 - ✓ 原科研の研究炉廃棄物のSFは約20点で設定できている(p.8)。一方、廃棄物管理施設等からの廃棄物は、研究炉に比して核種組成比の変動が大きいので、タイプⅡ廃棄物については5倍のサンプル数を設定し100サンプルとした。
 - ✓ 廃棄物発生施設を廃棄物管理施設、研究施設、照射後試験施設の3グループに分類し、合計で300サンプルと設定した(タイプⅠ廃棄物のSF構築のために取得する実測データの一部(50サンプル程度)を含む)。
- 次のページに示す原科研全体の廃棄物を包含できる保守的な核種組成比の設定を目指す。
- 性状評価の結果、分けて扱った方がよい(核種組成比を変えたほうがよい)廃棄物が出てきた場合には、いくつかの廃棄物グループに分けるなど、評価法を見直す。

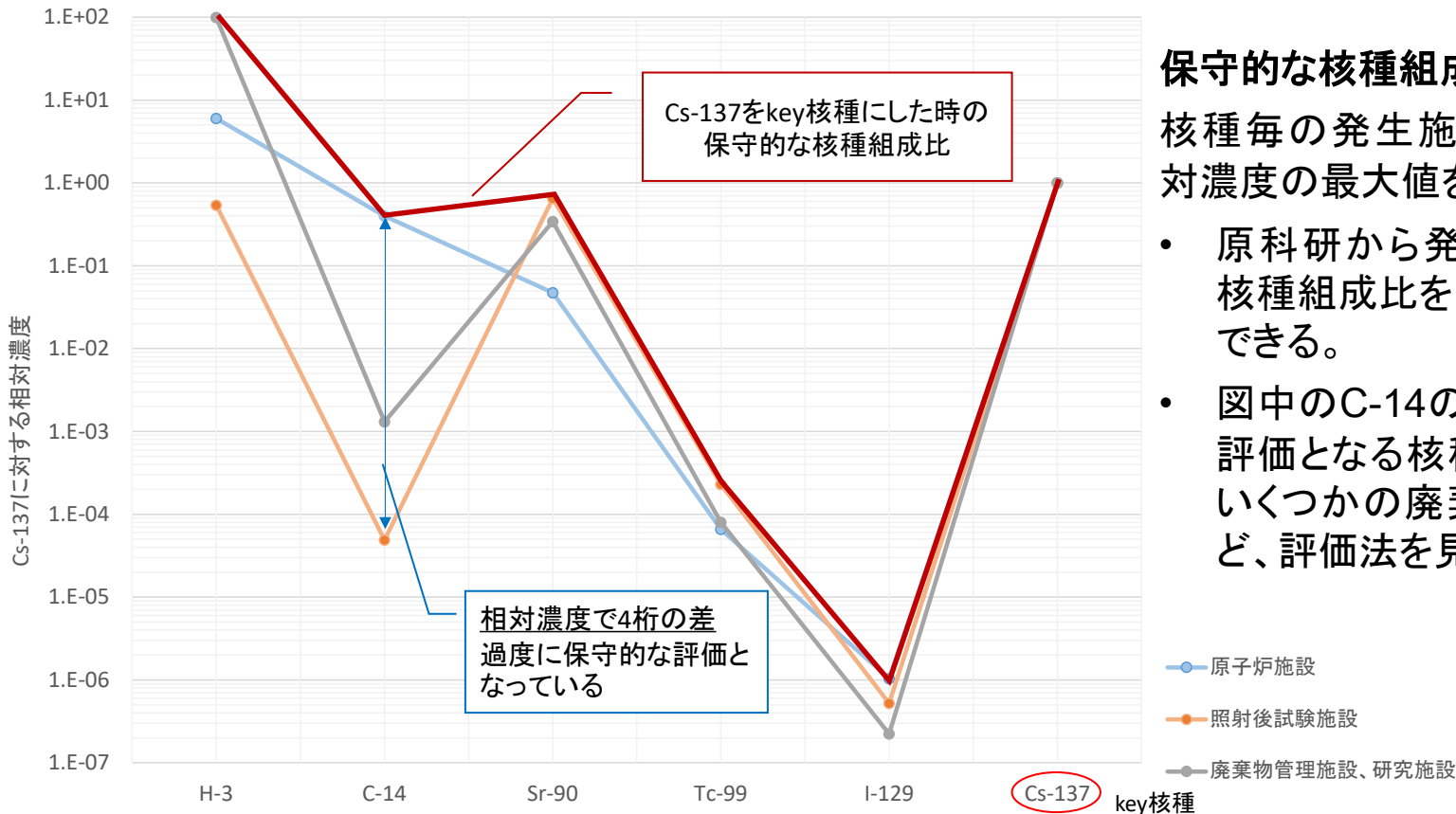
4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.2 核種濃度評価法の構築 (2/2)

■ 保守的な核種組成比の検討例

- 原子力科学研究所で保管中の廃棄物に対し、1つの γ key核種 (Cs-137) と β 核種の放射能濃度の関係を試算した。
- 今後、実測データも踏まえて保守的かつ合理的な核種組成比を設定する。

原科研ピット処分対象廃棄体: key核種Cs-137



保守的な核種組成比 (赤線):

核種毎の発生施設のCs-137に対する相対濃度の最大値を結んだ包絡線

- 原科研から発生する全ての廃棄物の核種組成比を1つの核種組成比で設定できる。
- 図中のC-14のように、過度に保守的な評価となる核種が発生する場合には、いくつかの廃棄物グループに分けるなど、評価法を見直す。

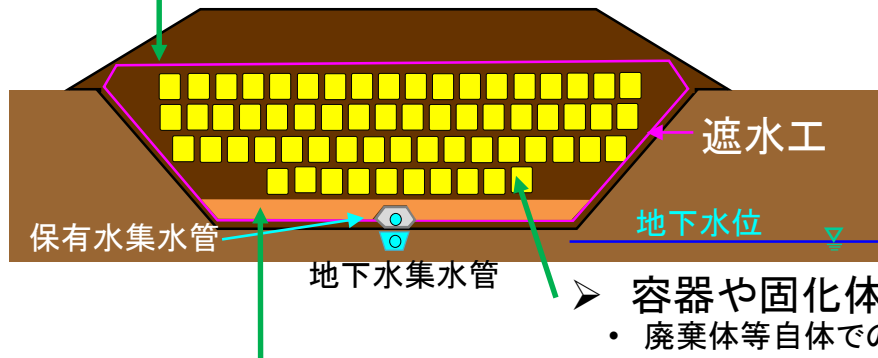
4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.3 埋設施設の受入基準の検討 (1/2)

■ トレンチ埋設施設構造の高度化の検討

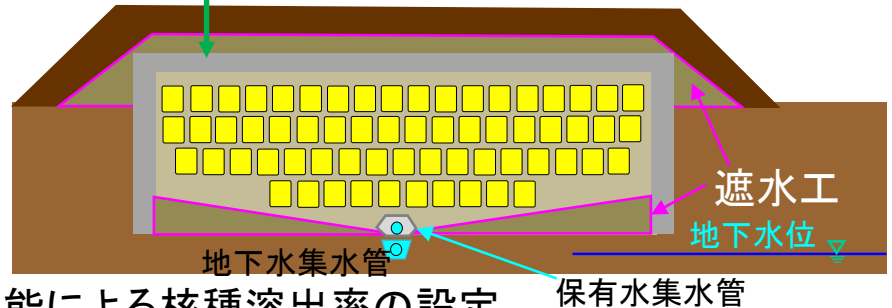
▶ 浸透水低減構造を有する覆土

- ・浸透水量を低減する遮水シートや粘土層等の遮水工の設置



▶ 外周仕切設備等と同等の掘削抵抗性を有する覆土構造

- ・覆土の一部に鉄筋コンクリート等を設置



- ▶ 容器や固化体の性能による核種溶出率の設定
 - ・廃棄体等自体での核種移行抑制効果

▶ 核種の閉じ込め性能の高いバリア材の設置 (C-14等の陰イオン系物質への収着性が期待できる無機材料等による移行抑制効果)

- ✓ 研究施設等廃棄物の埋設事業においては、廃棄体を対象としたトレンチ埋設施設として浸透水量の低減化を図る遮水工の設置を想定した埋設施設の概念設計を実施済み*。 *研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計JAEA-Technology 2012-031(2012)
- ✓ 遮水工の設置に加え、埋設施設底面にバリア材となる粘土系材料の設置を追加することを想定する。
- ✓ 外周仕切設備等と同等の掘削抵抗性を有する覆土の設置も想定する。

■ 放射能濃度評価対象核種の選定方法の提案

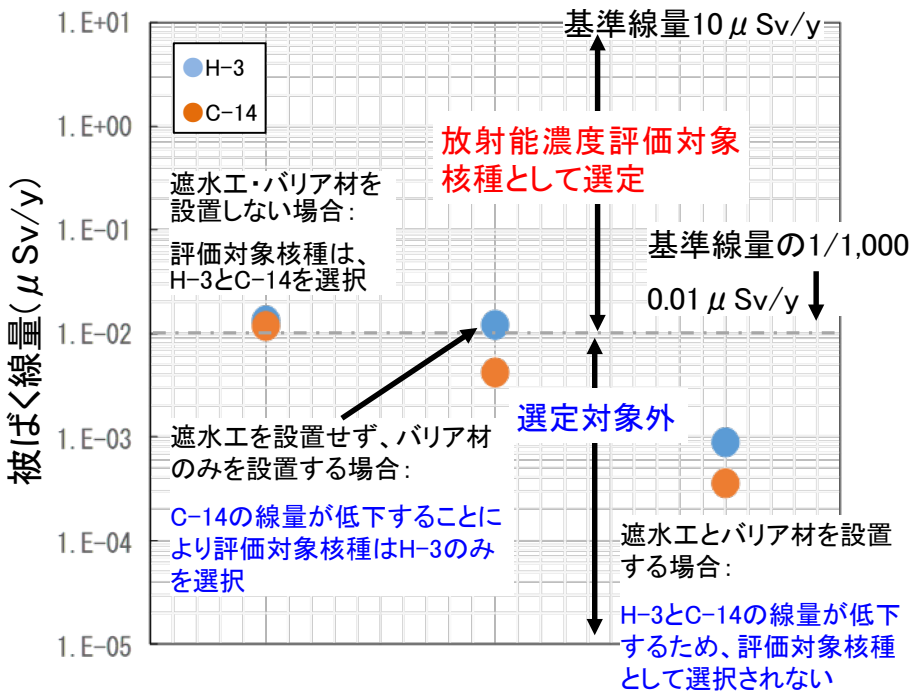
- ・放射能濃度評価対象核種の選定に際して、これまでは、被ばく線量の大小にかかわらず最大値を示す核種とその最大値の1%以内の線量を示す核種が選定されている(相対評価)。
- ・しかし、十分低い線量を示す核種まで選定しなくても埋設施設の安全性は確保できるため、相対評価による選定に加え、一定の被ばく線量以下(例えば、基準線量の1/1,000)を示す核種は放射能濃度評価対象核種に選定しないとする絶対評価による選定方法の追加を提案する。

4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.3 埋設施設の受入基準の検討 (2/2)

■埋設施設構造の高度化に基づく放射能濃度評価対象核種の絞込

河川水シナリオ(基本シナリオ)での評価例



*試算の詳細及びその他の試算例は参考資料に記載

- 埋設施設構造の高度化として、遮水工及びバリア材の設置により被ばく線量低減を図ることが可能である。
- 上記の埋設施設構造高度化対策に加え、基準線量の1/1,000以下を放射能濃度評価対象核種として選定しない方策(絶対評価)を導入することにより、放射能濃度評価対象核種の絞込みが可能である。

ただし、実際の埋設施設での放射能濃度評価対象核種の選定と最大放射能濃度の提示は、埋設施設を設置する場所の環境条件(雨水浸透水量や地下水流速等)及び埋設対象廃棄体中に含まれる放射性核種の種類と放射能濃度に依存する。

4. 課題1:放射能濃度評価の加速

4.4 中長期対策

■ 中長期対策の基本的な考え方

名称	対策の概要	期待される効果	中長期対策とする理由	当面の実施項目
か焼による評価対象核種の削減	廃棄物を600℃前後に加熱することにより、揮発性の核種を廃棄物から分離する。	廃棄体の非破壊γ線測定のみで放射能濃度評価ができる可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物に不揮発性のα核種、β核種が含まれていると、放射化学分析が必要となるため、非破壊γ線測定のみでは対応できない。 設備の整備に十億円オーダーの予算が必要であるが、分析データがほとんどない現状では、投資コストに対する効果が評価できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 保守的な核種組成比の構築のために今後取得する放射化学分析データ等を利用して効果の評価を進める。 か焼処理に関する情報の収集・整理を進める。

5章 課題2:有害物等分別の加速

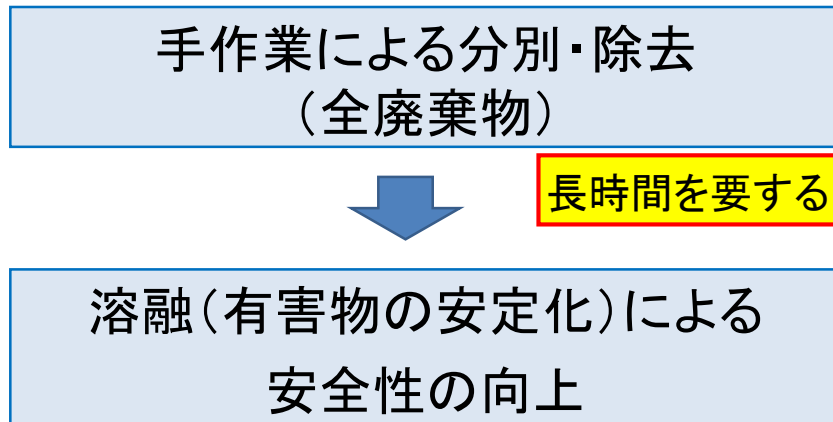
5. 課題2: 有害物等分別の加速

5.1 主要対策の概要

■ 主要対策の基本的な考え方

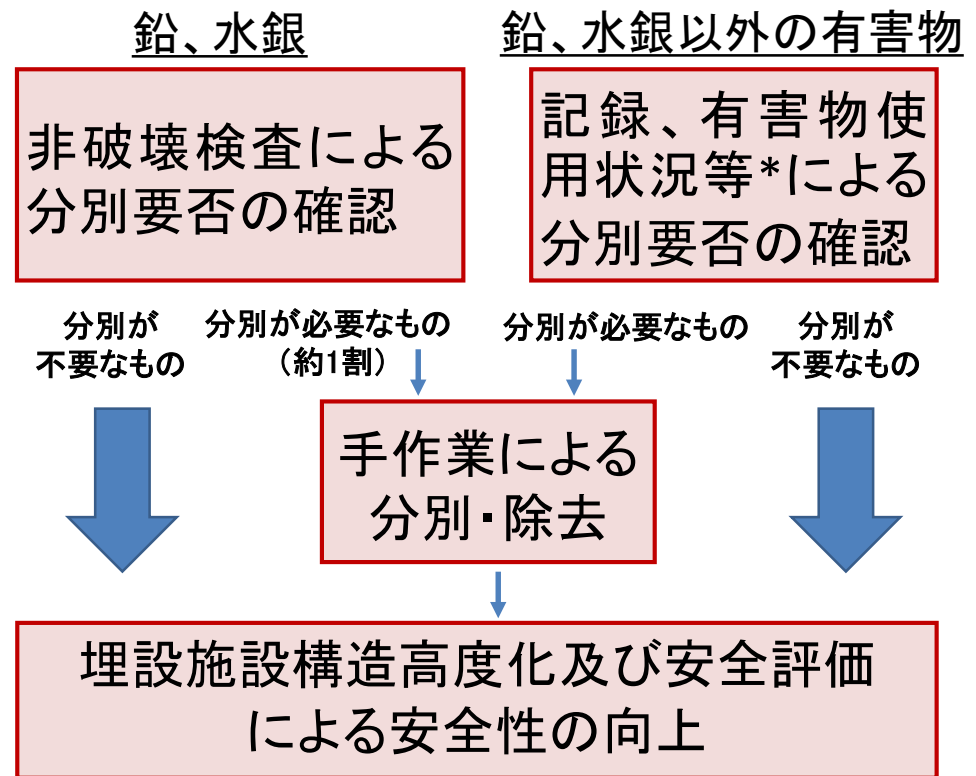
これまでの対応計画

【手作業による全廃棄物の分別】



新たな対応方法

【非破壊検査による分別要否の確認】
+【埋設施設的安全性向上】

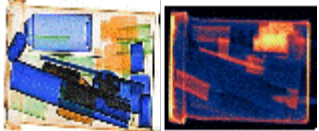
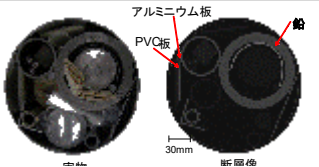


* PRTR管理情報による現時点での有害物の使用状況、年報による過去のR&Dの実施内容等から総合的に判断することを想定。具体的な方法については、今後検討を進める。

5. 課題2: 有害物等分別の加速

5.2 非破壊検査による廃棄物の確認

■ 主な非破壊検査技術

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	 模擬廃棄物の 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2種類のイメージングを取得可能。後方散乱情報を用いれば有機物も検出できる。ただし、透過力が低いためドラム缶内容物の評価はできない。	1:~2千万円 2:10秒程度 3:識別精度は低い 4:物質透過性は低い(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	 模擬廃棄物の断層画像	数MeVのX線を使用し、高い精度で内容物の密度差を評価できる。軽金属(Al)、重金属(Cd、Pb、Fe等)、有機物を密度により評価可能である。ただし、密度が近いものの識別はできない。	1:~10億円(このほか、ハンドリング装置、設置場所の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:識別精度は高い 4:物質透過性は高い(ドラム缶可) 5:基本的な技術は確立されている。			
検査技術	費用	測定スピード	精度	物質透過性	開発要素	総合評価
透過・後方散乱 X線ラジオグラフィ	○	○	△	△	○	物質透過性が低いため、ドラム缶の内容物の評価は難しい。小型容器やドラム缶に収納されている養生袋単位での評価は、可燃物主体のものであれば可能である。
高エネルギー X線CT	△	△	○	○	○	整備費用と測定スピードに課題があるが、密度の違いを利用して、ほとんどの内容物を識別可能である。

● 高エネルギーX線CTを主要対策で使用する非破壊検査技術とする。

表中の記号の定義

【費用】

○: 5千万未満
△: 10億円程度
×: 20億円以上

【測定スピード】

○: 5分以内
△: 60分程度
×: 120分以上

【精度】

○: 0.5g/cm³未満のコントラスト判別可
△: 1g/cm³程度のコントラスト判別可
×: 2g/cm³以上のコントラスト判別可

【物質透過性】

○: ドラム缶可
△: 小型容器(可燃物主体)可
×: 表面情報しか得られない

【開発要素】

○: 開発要素なし
△: 開発要素少ない
×: 開発要素多い

5. 課題2: 有害物等分別の加速

5.3 埋設施設の受入基準の検討 (1/2)

■ 埋設施設構造高度化及び安全評価による安全性の向上

- 非破壊測定により分別要否の確認を行う鉛・水銀については、非破壊測定装置の検出下限値の目安とするため、埋設施設において環境基準を遵守できる廃棄体中の濃度を評価し、受入基準(試算値)とした。

鉛及び水銀について、環境基準を遵守可能な濃度を試算し、受入基準として評価

- 埋設施設直近の地下水における濃度を試算し、環境基準との比較検討から環境基準を遵守可能な廃棄体中の受入基準を試算
 - ・ 遮水工や有害物元素の収着性能を有するバリア材の設置の有無による受入基準の違いも試算

- 鉛、水銀以外の重金属は、分別要否の確認の目安のための受入基準を試算した。
- また、水素ガス発生を防ぐために分別しているアルミニウム等について受入基準を試算した。

鉛及び水銀以外の重金属について環境基準を遵守可能な濃度を試算し、受入基準として評価

- 埋設施設直近の地下水における濃度を試算し、環境基準との比較検討から環境基準を遵守可能な廃棄体中の受入基準を試算
 - ・ 遮水工や有害物元素の収着性能を有するバリア材の設置の有無による受入基準の違いも試算

アルミニウム等からの水素ガス発生量を評価し、水素ガスによる爆発の可能性及び被ばく線量を試算し、アルミニウム等の受入基準を評価

- 埋設施設表面における水素ガス濃度を評価し、水素の爆発下限界との比較
- 埋設施設から発生する水素ガス中のH-3の放射エネルギーから内部被ばく線量を評価(管理期間中及び管理期間終了直後)

5. 課題2: 有害物等分別の加速

5.3 埋設施設の受入基準の検討 (2/2)

■ トレンチ埋設施設での鉛、水銀の受入基準の試算結果

(単位: kg/200Lドラム缶本)

有害物元素	遮水工・バリア材を設置しない場合	遮水工を設置せず、バリア材のみを設置する場合	遮水工とバリア材を設置する場合
Pb	1.8×10^{-1}	3.4×10^{-1}	5.0×10^0
Hg	5.7×10^{-4}	5.4×10^{-3}	5.4×10^{-2}

*埋設施設の概要はp.22に記載したとおり

*試算の詳細及びその他の試算例は参考資料に記載

■ 鉛、水銀以外の重金属及びアルミニウム等の水素ガス発生物質の受入基準の試算結果

有害物元素	遮水工・バリア材を設置しない場合	遮水工を設置せず、バリア材のみを設置する場合	遮水工とバリア材を設置する場合
Cd	5.3×10^{-2}	1.0×10^{-1}	1.5×10^0
Cr	4.0×10^{-2}	4.1×10^0	4.1×10^1
As	1.4×10^{-3}	1.1×10^{-1}	1.1×10^0

水素ガス発生金属(アルミニウム及び鉄)

埋設施設表面の水素ガス濃度の評価結果、及び発生ガスによる被ばく線量評価結果から廃棄体中のアルミニウム及び鉄の制限を考慮する必要がないと考えられる。

*埋設施設の概要はp.22に記載したとおり

*試算の詳細及びその他の試算例は参考資料に記載

5. 課題2:有害物等分別の加速

5.4 中長期対策

■ 中長期対策の基本的な考え方

名称	対策の概要	期待される効果	中長期対策とする理由	当面の実施項目
中性子ラジオグラフィ・CTの使用	非破壊検査装置として使用する予定の高エネルギーX線CT装置より識別性能・速度の高い中性子ラジオグラフィ装置の技術開発を進める。	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギーX線CTに比べて測定時間の短縮が期待される。 元素組成に関する情報が得られるため、密度がほぼ同じ物質も識別できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 開発途上の技術である。理研等で開発されている小型中性子源の完成を待つ必要がある。 また、測定技術についても、膨大な情報を高速で処理する技術が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 小型中性子源等の最新の技術開発状況の調査を継続する。 J-PARCを利用した基礎試験を継続する。
自動分別装置の使用	手作業で実施している圧縮体の分解や分別作業を自動化する。	自動化により、分別作業時間の短縮や作業員数の大幅な削減が期待される。	<ul style="list-style-type: none"> 放射性廃棄物分別に要求される性能の基準が厳しいため(分別対象物の種類が多い、100%に近い分別性能を要求される)、産業廃棄物用の自動分別装置の適用は難しい。 AIの飛躍的な進展に伴い、分別性能が大きく向上し続けていることから、最新の技術開発状況の調査を継続するとともに、性能向上に応じて適用性評価を見直す。 	<ul style="list-style-type: none"> 最新の廃棄物自動分別技術の開発状況の調査を継続する。 必要に応じて公募研究等を利用した技術開発を進める。

6章 課題3:可燃物分別の加速

6. 課題3: 可燃物分別の加速

6.1 主要対策の概要

■ 主要対策の基本的な考え方

これまでの対応計画

【手作業による分別】

手作業による分別・除去

長時間を要する

焼却による減容・安定化

新たな対応方法

【非破壊検査による分別が不要な廃棄物の確認+可燃物含有量が少ない廃棄物との混合希釈による分別不要化】

非破壊検査による
可燃物含有割合の
評価

埋設施設構造高度
化と可燃物を含む
廃棄体の受入基準
の提示

受入基準以下

受入基準超

可燃物含有量が少ない
廃棄物との混合希釈
(埋設施設内平均で受
入基準を担保)

6. 課題3: 可燃物分別の加速

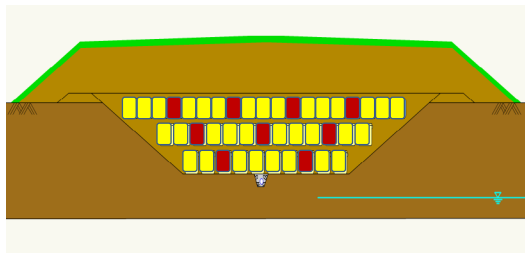
6.2 可燃物埋設の定置管理

■ 非破壊検査による分別が不要な廃棄物の確認＋ 可燃物含有量が少ない廃棄物との混合希釈による分別不要化

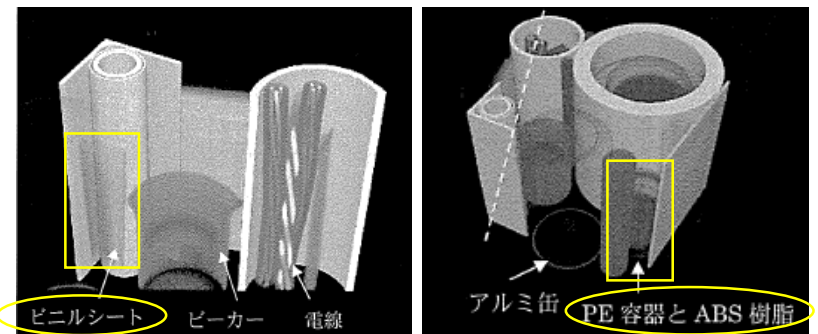
- 非破壊検査により可燃物及び空隙の体積の評価を行う。
- 埋設施設の受入基準以下である廃棄物は、分別を行わない。
- 受入基準を超えた廃棄物は、可燃物含有量の少ない廃棄体(解体廃棄物の廃棄体等)との混合埋設により、埋設施設内平均で受入基準を担保するようにする。

■ 非破壊検査技術

- 「5. 課題2: 有害物等分別の加速」参照。



混合埋設のイメージ



高エネルギーX線CTによる可燃物検出のイメージ

6. 課題3: 可燃物分別の加速

6.3 埋設施設の受入基準の検討 (1/3)

■ トレンチ埋設施設での可燃物の受入基準及び埋設施設構造としての対応を検討

可燃物からのメタンガス発生量を評価し、
メタンガスによる爆発可能性を評価

- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)ガイドライン*における可燃物の分解によるガス発生量を評価
- 発生ガス中のメタンガス発生量を評価
可燃物は、セルロースを想定
廃棄体物量は、200Lドラム缶 5万本 (170kg/本)と設定
- 埋設施設表面におけるメタンガス濃度を評価
廃掃法の規制下の最終処分場の廃止基準等と比較

放射性物質を含むガス中の放射エネルギーを評価し、
被ばく線量を評価

- IPCCガイドラインにおける可燃物の分解によるガス発生量を評価
- 発生ガス中の放射エネルギーを評価
廃棄体物量と性状は上記と同じ
放射能インベントリは、研究施設等廃棄物の概念設計に用いた平均放射能濃度から廃棄体物量と重量に基づいて設定
- 放射性物質を含むガスの吸入による内部被ばく線量を評価
管理期間中及び管理期間終了直後

*2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 Waste

6. 課題3: 可燃物分別の加速

6.3 埋設施設の受入基準の検討 (2/3)

可燃物分解生成物による地下水シナリオへの影響評価

- 可燃物分解生成物による放射性核種の分配係数の低下を想定した地下水シナリオにおける被ばく線量を試算し、影響を評価

埋設施設内空隙の増加による陥没を評価し、覆土での事前対応可能量を評価

- 可燃物の分解による廃棄物層中の空隙の増加量を求め、覆土への影響を評価するとともに、覆土や遮水工での事前対策による対応可能性を検討。
- その結果に基づき、廃棄物層中の可燃物割合を評価

可燃物の受入基準を評価

- 上記の各観点からの評価結果に基づきトレンチ埋設施設での可燃物の受入基準を評価

6. 課題3: 可燃物分別の加速

6.3 埋設施設の受入基準の検討 (3/3)

- 可燃物分解の影響評価結果に基づくトレンチ埋設施設での廃棄体中への可燃物の受入基準の評価結果

想定される事象	影響評価*	本評価における結果
可燃性ガスの爆発	埋設施設表面のメタンガス濃度と廃掃法のガイドラインで定められた最終処分場の発生基準値**と比較	可燃物が100%でも発生基準値以下
ガスの放出に伴う放射性物質の吸入による内部被ばく	H-3及びC-14を含むガスを吸入した場合の内部被ばく線量を評価(埋設施設表面の作業員(管理期間中)、居住者(管理期間終了直後)の内部被ばく線量を評価)	可燃物が100%でも基準線量以下
分解生成物による地下水中の放射性核種の移行への影響	分解生成物による地下水での放射性核種の移行促進による地下水シナリオでの被ばくへの影響評価	重要核種の選定には影響がない見通し
埋設施設内空隙の増加による陥没	空隙による覆土及び遮水工の形状変化に対し、事前対応すべき盛土の設置可能量から許容可能な空隙率を算定	可燃物は20vol%まで許容可能***

*影響評価はトレンチ埋設施設とし、200m×40m×4mの施設に200Lドラム缶5万本の廃棄物(放射能濃度³H:10Bq/g、¹⁴C:1.0Bq/g)を埋設することを設定した。

**最終処分場跡地地形質変更に係る施行ガイドラインにおいて ≤ 1.5 [%]とされている。

***今回の評価はあくまでも埋設後可燃物が一定速度で分解することを仮定したものであり、分解速度が変われば対策必要時期と内容が変わることになる。

6. 課題3: 可燃物分別の加速

6.4 中長期対策

■ 中長期対策の基本的な考え方

名称	対策の概要	期待される効果	中長期対策とする理由	当面の実施項目
統計的推定による可燃物含有量の評価	評価対象廃棄物から一定割合の代表サンプルを採取し、開缶・分別を行って廃棄物全体の平均の可燃物量の評価を行う。	分別作業時間の短縮や作業員数の削減が期待される。	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物の発生時期、発生施設等により平均含有量が変わることから、サンプルの代表性を示すためには、更なる調査・検討が必要である。 正規分布等の特定の分布に当てはまらない分布になっており、統計的処理の手法の検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 開缶調査の結果を基に、廃棄物の発生履歴(発生時期、発生施設、詰替えの有無等)により可燃物含有量がどの程度変化するかを確認を進める。 特定の分布を仮定しない統計的処理の手法(ノンパラメトリック検定等)の検討を進める。
自動分別装置の使用	p. 30参照。			

7章 対策の効果

8章 令和2年度以降の対応スケジュール

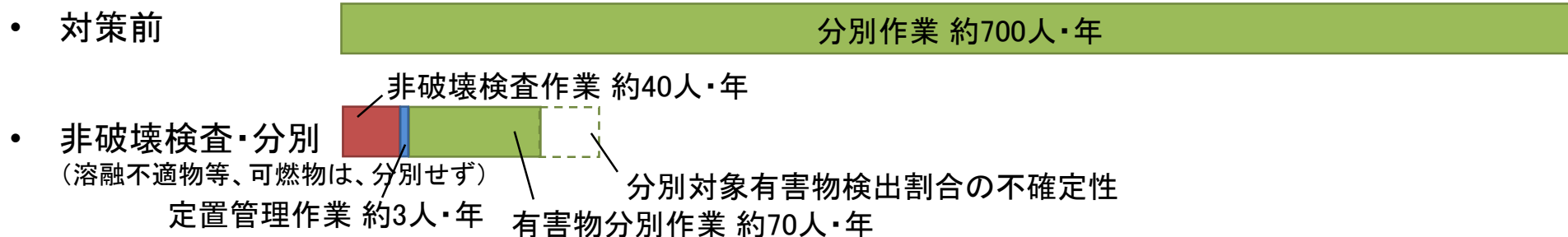
9章 規制への要望事項

7. 対策の効果

■ 主要対策による処理加速の効果

- 原科研の圧縮体を例に処理加速対策の効果の簡単な評価を行った。
- 評価は、設定条件に基づいたものであり、対策検討の進展により大きく変わる可能性がある。

● 溶融不適物・可燃物・有害物等分別作業に必要な人工数(イメージ)



● 主な設定条件

- 処理対象廃棄物数量：約2.3万本(200Lドラム缶換算)
- 現状での分別作業：作業員6人で1本/日、200本/年
- 非破壊検査装置の測定時間：70分(最新型X線CT装置)
- 分別対象有害物検出割合：10%(鉛6.5%、電池3.2%：開缶調査結果より設定)
- 埋設施設内平均で受入基準を担保するための定置管理作業：作業員1名で約1万本/年

8. 令和2年度以降の対応スケジュール

■ 廃棄物処理の加速に関する対応

- ・ 約15年後のタイプⅡ廃棄物の廃棄体製作開始に向けて、廃棄物処理の加速に関する対応を進める。
- ・ 主要対策については、保守的な核種組成比を設定するための放射化学分析等の具体的な対応を行う。
- ・ 中長期対策については、当面机上検討を中心に進め、必要に応じて公募研究等を利用した技術開発を行う。
- ・ 3年後を目途に調査・検討結果のレビューを行い、主要対策及び中長期対策（継続の要否を含む）の見直しを行う。

分類		対応の内容	スケジュール	
			R02-R10	R11-R20
主要対策	有害物等・可燃物 分別加速	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高エネルギーX線CT等を利用した内容物評価技術の構築 ・ X線CT実装置の設計・許認可・製作・据付 ・ 埋設施設の構造及び受入基準の検討 ・ 埋設施設の設計 		タイプⅡ廃棄物の廃棄体製作開始(目標) ▼ タイプⅡ廃棄物の廃棄体処分開始(目標) ▼ ▼調査・検討結果のレビュー及び対策の見直し
	放射能濃度 評価加速	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保守的な核種組成比の検討 (放射化学分析を含む) ・ 非破壊測定法の検討 		
中長期対策		<ul style="list-style-type: none"> ・ か焼技術の検討 ・ 自動分別に関する検討 ・ 中性子ラジオグラフィ・CTに関する検討 ・ 統計的推定による可燃物含有量評価法の検討 		
内容物調査		<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物の開缶調査 		
国際協力		<ul style="list-style-type: none"> ・ 海外先行事例の調査 ・ 課題解決に向けた協力 		

■ 処理処分加速に関する意見交換

- 明らかに容認できない点(その理由)、申請時の議論になりそうなポイント等についてコメントを頂きたい。
- 頂いたご意見を踏まえ、新たな考え方に基づく埋設施設の設計に向けて議論となる点を予め絞り、効率的な申請に向けた準備及び申請手続きを進めたい。なお、将来的な廃棄体確認申請への対応も同様である。

■ 有害物質を含む廃棄体に関する安全規制

- 放射性廃棄物の埋設処分の安全規制は放射線安全に関する規制であるため、今回の検討事例で示したような化学的有害物質への安全規制の在り方について検討していただきたい。