

基礎講座2

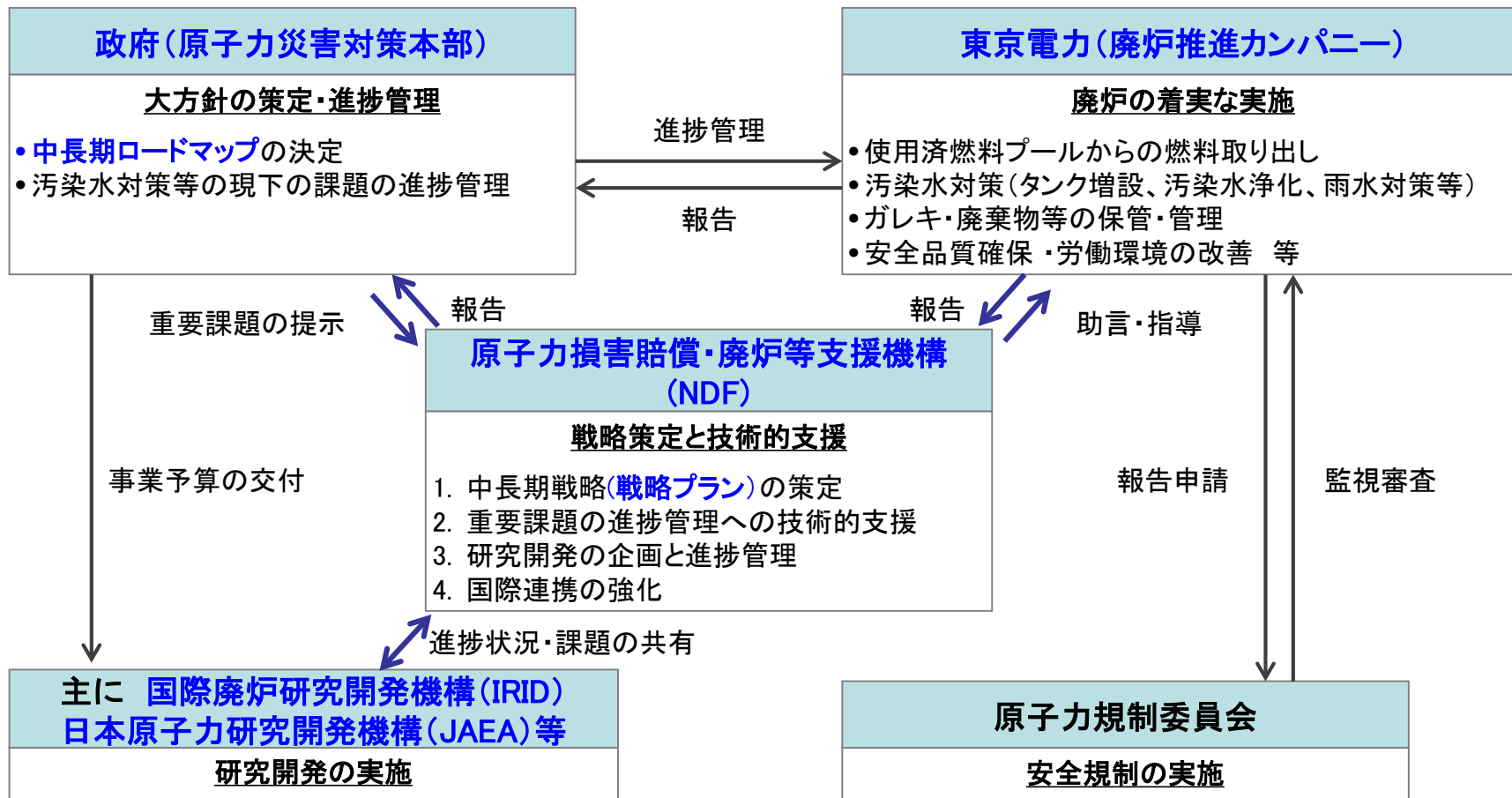
# 福島第一原子力発電所の 廃止措置に関する現状と課題

2015年度バックエンド週末基礎講座

平成27年11月7日(土)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター  
廃棄物処理処分技術開発グループ

大井 貴夫



NDF : Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation  
 IRID : International Research Institute for Nuclear Decommissioning  
 JAEA : Japan Atomic Energy Agency

「中長期ロードマップ」に則った廃炉プロジェクトに係る  
 政府、原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF), 東京電力 IRID, JAEA等の役割分担

1. 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた取り組み
  - 1.1 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた取り組みの経緯
2. 東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン
  - 2.1 戦略プランとは
  - 2.2 リスク低減の考え方
  - 2.3 廃棄物対策分野の戦略プラン
3. 2015年中長期ロードマップの改訂
  - 3.1 中長期ロードマップ改訂のポイント
  - 3.2 目標工程(マイルストーン)の明確化
4. 福島第一原子力発電所の廃棄物の概要
  - 4.1 福島第一原子力発電所の廃棄物の特徴
  - 4.2 福島第一原子力発電所の廃棄物等の保管・管理・処理状況
5. 福島第一原子力発電所の廃棄物対策に係る研究開発
  - 5.1 福島第一原子力発電所の廃棄物対策の特徴
  - 5.2 性状把握に関する検討
  - 5.3 長期保管・処理に関する検討
  - 5.4 処分に関する検討
6. まとめ

# 1. 福島第一原子力発電所の廃止措置 に向けた取り組み



事故前の福島第一原子力発電所(左から1, 2, 3, 4号機/2009年11月撮影)

事故後の福島第一原子力発電所(左から1, 2, 3, 4号機/2011年3月16日撮影)



## ◆ 2011 年4 月17日

東京電力による「東京電力福島第一原子力発電所事故の収束に向けた当面の取組のロードマップ\*」のとりまとめ(事故の早期収束に向けた取組)

## ◆ 2011 年5 月6日

\* ロードマップ: 物事の展開していく過程を示した計画案, 行程表(大辞林 第三版)

福島原子力発電所事故対策統合本部から**政府・東京電力統合対策室**に改組

➢ 総理判断により設置された統合本部の政府における位置づけの明確化

## ◆ 2011 年7 月

当面の取組ロードマップ, ステップ1 の目標「放射線量が着実に減少傾向となっている」状況を達成。

## ◆ 2011 年8 月

原子力委員会の「東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会」による技術課題、研究開発項目の整理

➢ 燃料デブリ取り出し開始までの期間は10 年以内を目標。

➢ 廃止措置がすべて終了するまでは30 年以上の期間を要するものと推定。

## ◆ 2011年9月

**原子力損害賠償支援機構設立**

➢ 「……原子力損害の賠償の迅速かつ適切な実施を確保するとともに……国民生活の安定向上および国民経済の健全な発展に資することを目的」

「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」, 平成27年6月12日, 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議, 参考2より引用  
「政府・東京電力統合対策室」(旧: 福島原子力発電所事故対策統合本部)に関するヒアリング結果より引用

- ◆ 2011 年11 月9日  
経済産業大臣及び原発事故収束・再発防止担当大臣による東京電力、資源エネルギー庁及び原子力安全・保安院(当時)に対する「廃止措置等に向けた中長期ロードマップ策定」指示
- ◆ 2011 年12 月16日  
「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋 ステップ2 完了報告書」(原子力災害対策本部 政府・東京電力統合対策室, 2011)を公表
  - ステップ2 の目標「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている」状況を達成
- ◆ 2011年12 月16日  
原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議設置
  - 中長期ロードマップの進捗管理を、政府と東京電力株式会社が共同で実施していく体制(「運営会議」の設置)
  - 政府・東京電力統合対策室廃止
- ◆ 2011年12月21日  
政府・東京電力中長期対策会議による、「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」初版の決定。

### ◆ 2012 年7 月30 日

原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議による、中長期ロードマップの第1 回改訂

- 東京電力が策定した「中長期的な信頼性向上のために優先的に取り組むべき事項についての具体的な計画」やそれまでの取組の進捗状況を反映。

### ◆ 2013 年2 月8 日

以下の目的に基づく原子力災害対策本部による東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議(廃炉対策推進会議)の設置

- 燃料デブリ取り出し等に向けた研究開発体制の強化を図る
- 現場の作業と研究開発の進捗管理を一体的に進めていく体制を構築する
- 政府・東京電力中長期対策会議は廃止。

### ◆ 2013 年3 月7 日

経済産業大臣による「改訂版ロードマップ」の取りまとめ指示(6 月中を目途)

- 燃料デブリ取り出しのスケジュール前倒し検討を反映

### ◆ 2013 年6 月27 日

廃炉対策推進会議による、中長期ロードマップの第2 回改訂。



- ◆ 2013 年8 月1 日  
技術研究組 国際廃炉研究開発機構 (IRID) 設立
  - 一元的なマネジメントを担う研究開発運営組織
- ◆ 2013 年9 月3 日  
原子力災害対策本部による「汚染水問題に関する基本方針」の決定および対応廃炉・汚染水問題の根本的な解決に向けた関係閣僚等会議の設置。
  - 汚染水貯水タンクからの汚染水漏れ(約300m<sup>3</sup> : 2013 年8 月19 日)対応
- ◆ 2013 年9 月10 日  
関係閣僚等会議による原子力災害対策本部下の廃炉・汚染水対策チームの設置
  - 廃炉・汚染水対策を進める体制の強化。
- ◆ 2013 年12 月20 日  
原子力災害対策本部による、「廃炉・汚染水問題に対する追加対策」の決定。廃炉対策推進会議を関係閣僚等会議に統合することによる、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議(関係閣僚等会議)の設置
  - 廃炉・汚染水対策に係る司令塔機能の一本化、体制強化のため



### ◆ 2014 年2 月17 日

廃炉・汚染水対策福島評議会の設置。

- 廃炉・汚染水対策について地元ニーズに迅速に対応し、地元関係者への情報提供・コミュニケーションの強化を図るため

### ◆ 2014 年8 月18 日

原子力損害賠償支援機構を原子力損害賠償・廃炉等支援機構に改組

- より着実に廃炉・汚染水対策を進められるよう支援体制を強化するため、廃炉等支援業務を追加。

### ◆ 2015年4月30日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)による「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015(戦略プラン)～2015年中長期ロードマップの改訂に向けて～」の策定

- 中長期ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資することを目的とし、中長期ロードマップにしっかりとした技術的根拠を与えるもの

### ◆ 2015年6月12日

関係閣僚等会議による中長期ロードマップの第3 回改訂版の決定。

- 廃炉・汚染水対策の進捗や地域の皆様からの声等を反映
- 2014 年1 月に発電設備として廃止となった福島第一原子力発電所5 号機及び6 号機も対象に追加。

## 2. 東京電力(株)福島第一原子力発電所 の廃炉のための技術戦略プラン

## 【戦略プランの位置づけ】

- ◆ 福島第一原子力発電所の廃炉を適正かつ着実に実施する観点から、中長期ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資することを目的とし、中長期ロードマップにしっかりとした技術的根拠を与えるもの。
- ◆ 以下の項目の研究開発を含む**取組計画**のとりまとめ。
  - 溶融して固まった燃料(以下「燃料デブリ」という。)取り出し
  - **廃棄物対策**

## 【戦略プランの基本的考え方】

- ◆ 基本方針
  - 「福島第一原子力発電所における放射性物質によるリスクを継続的、かつ、速やかに下げる」
  - 戦略プラン ➡ 中長期の時間軸に沿った「リスク低減戦略の設計」を意味する。
- ◆ リスク低減に向けて、以下の5つの基本的考え方に基づき、燃料デブリ取り出し及び**廃棄物対策**に関する技術検討を行う。
  - 1: 安全      放射性物質によるリスクの低減及び労働安全の確保
  - 2: 確実      信頼性が高く、柔軟性のある技術
  - 3: 合理的    リソース(ヒト、モノ、カネ、スペース等)の有効活用
  - 4: 迅速      時間軸の意識
  - 5: 現場指向   徹底した三現(現場、現物、現実)主義

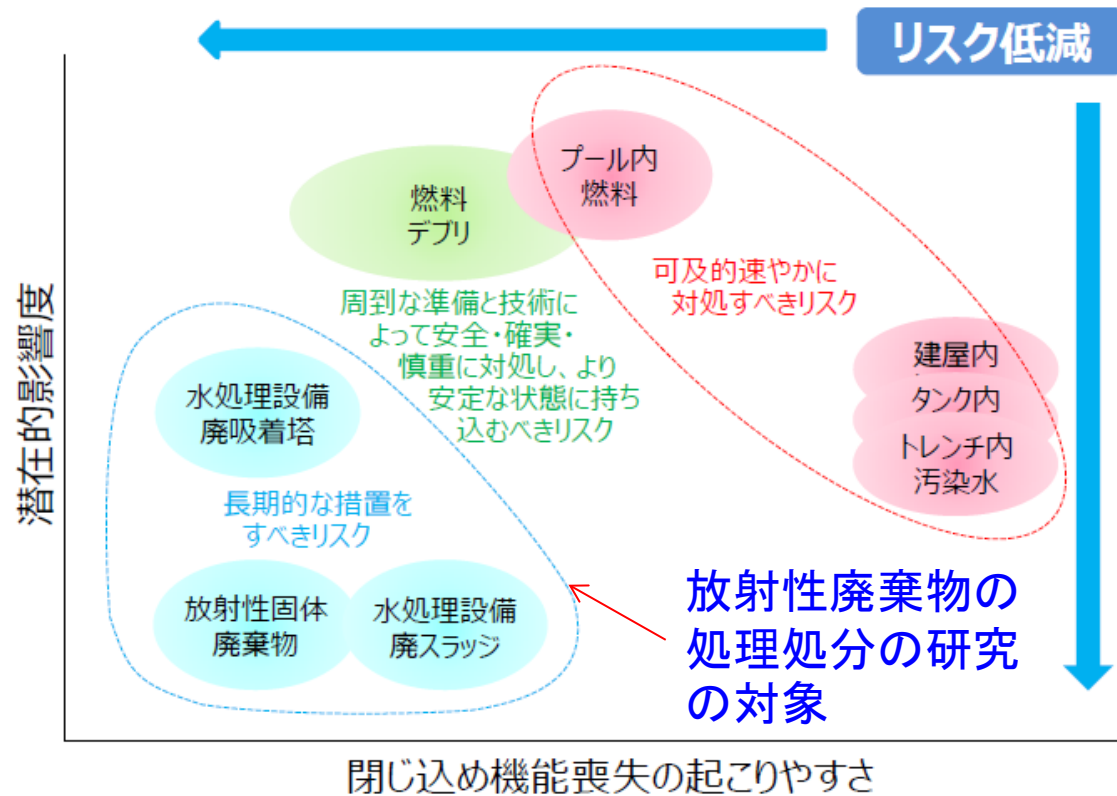
### ◆放射性物質によるリスク 「潜在的影響度」と「閉じ込め機能喪失」の起こりやすさで決まる。

#### ➤潜在的影響度

放射能と性状(固体・液体・気体)で決まる。

#### ➤閉じ込め機能喪失の起こりやすさ

要因発生の可能性と施設の脆弱性で決まる。



### 福島第一原子力発電所のリスクのイメージ

### ◆リスク低減の進め方

- 放射能の減衰や性状の変化 → 潜在的影響度を低減
- より安全・安定な施設への移動 → 閉じ込め機能喪失の起こりやすさを低減

中長期ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資することを目的とし、中長期ロードマップにしっかりとした技術的根拠を与えるための**廃棄物対策に対する取組計画**

### 【検討方針】

以下の検討内容を踏まえ、取組計画としてとりまとめる

- ①国際的な放射性廃棄物対策における安全確保の基本的考え方  
の整理
  - 放射性廃棄物**処分に対する安全確保の基本的考え方**
  - 放射性廃棄物の**処理の在り方**
- ②現行の中長期ロードマップに基づいた取組の現状と評価・課題
- ③廃棄物対策における中長期観点からの対応方針と今後の対応

ICRP Publ. 81(1998), IAEA 安全要件SSR-5等を総合的に踏まえて放射性廃棄物に対する安全確保の基本的考え方を整理

以下に示す考え方を単独で又は組み合わせることにより、有意な健康影響を与えないよう措置する。

- i) 廃棄物を閉じ込める。
- ii) 廃棄物を生活環境から隔離することにより、意図せずに人が接触する可能性を減らす。
- iii) 放射性物質の生活環境への移行を抑制し、遅らせることにより、放射性物質濃度を減らす。
- iv) 放射性物質が移行し生活環境に到達する量が、有意な健康影響を与えないほど低いことを確保する。
- v) 有意な健康影響を与えない放射性物質濃度であることを確保するよう管理放出する。

IAEA の一般安全要件GSR-Part5(放射性廃棄物の処分前管理)の内容を踏まえた以下のまとめ i)～v)に基づく処理の在り方



- 処理には、安全性向上の観点から保管管理における含水物の漏えいや飛散の危険性の低減のための対策等を施す場合でも、**処分方策と整合できる柔軟性が求められる。**
- また、減容処理についても、**処分方策との整合性を確保しつつ、貯蔵容量の制約や経済合理性の観点からその実施が検討されるべきである。**

- i) **処理の主な目的**は、廃棄物の安全な処理そのもの、輸送、貯蔵および処分のための受入れ規準を満たすように廃棄物形態を作製することにより安全を高めることであり、**廃棄物処分の安全性を確保するもの**である。
- ii) 処理は、廃棄物の特性および管理段階(前処理、処理、廃棄体化、輸送、貯蔵および処分)の要求を適切に反映しなければならない。処理の決定を行う際に、各管理段階で将来的に予想されるあらゆる要求が、可能な限り考慮されなければならない。その際、放射線による健康影響だけでなく、非放射性の含有物質による環境影響や社会的および経済的要因も含む様々な要因が考慮されるべきである。
- iii) 廃棄物をどの程度まで処理するか決定する際には、処理の対象となる**放射性廃棄物の量、放射能および物理的・化学的性質、利用できる技術、貯蔵容量、および処分施設の利用可能性**が考慮される。
- iv) 上記 iii) の場合であっても、処分の要件が定まっていない時点で処理を行う場合は、**処分の要件が定まった際に、それに適合する処理が可能でなければならない。**
- v) 処理を実施する前に、一定の放射能レベルに減衰するまで貯蔵してもよい。その結果、規制上の管理からクリアランスすることもできる。



◆ 中長期ロードマップ(2013年6月27日第2回改訂版)の「4-3(4)固体廃棄物の保管管理と処理・処分に向けた計画」に基づいた**取組の現状と評価・課題**

➤発生量低減

敷地内へ持ち込む梱包材や資機材等の持込抑制、再使用、再生利用などの**固体廃棄物の発生量低減対策が行われている**。減容処理については、2015年に焼却炉を設置し、使用済保護衣等の**焼却可能なものの処理を開始する計画が進められている**。

➤保管管理

発生した固体廃棄物の保管対策として、その**線量率に応じて、貯蔵庫や一時保管施設への分別保管等が行われている**。水処理二次廃棄物の保管については、**腐食抑制等の対策の必要性について引き続き検討していくことが重要**である。

➤性状把握

固体廃棄物の性状把握に関して、**ガレキの分析、水処理二次廃棄物の性状評価、難測定放射性物質の分析手法の開発等が行われている**。また、**放射性物質の量を評価するための手法の検討が進められている**。しかしながら現時点では、高線量等の理由で、まだサンプリングできていない箇所がある。

➤処理及び処分方策に関する検討

固体廃棄物に関して、廃棄体化を含めた既存の処理技術の調査、**廃棄体化技術の基礎試験、既存の処分概念や安全評価手法の調査・検討などが行われている**。

廃棄物の性状把握等を踏まえつつ、上記取組を着実に実施し、固体廃棄物の処理・処分に関する基本的考え方として、取りまとめていく。

## (1) 発生量低減

固体廃棄物の発生量低減の観点から、サイト外から持ち込まれる梱包材、予備品等の**持込抑制の一層の徹底**が合理的であり、また、**構内再利用などの促進**も検討すべきである。固体廃棄物の減容設備の導入や除染方法の選択をする場合、**二次廃棄物の発生に留意し、二次汚染抑制**はもとより、発生する**二次廃棄物の性状や処分への影響を評価し、適切な技術を選択**することが重要である。

## (2) 保管管理

今後の工事に伴い発生する固体廃棄物の発生時期、量及び性状の予測を行い、それに基づく保管管理計画を策定することが現在予定されており、**敷地を有効活用して計画的に保管管理を実施**していく観点から重要である。燃料デブリ取り出し作業の際に発生する固体廃棄物に関して、適した保管場所や保管方法について、燃料デブリ取り出し工法の検討と並行して検討しておくことが必要である。

## (3) 性状把握

建屋地下スラッジのように固体廃棄物の処理・処分等に影響を与える可能性がある廃棄物はその**性状把握が極めて重要**である。その中で試料が採取できていないものについて、**採取方法を調査検討し、適用性を確認しつつ、サンプリング計画を早期に策定**することが重要である。性状把握のための分析に関して、現時点では利用されていない既存の分析施設の活用、新規の分析・研究施設の整備及びそれらの運用体制の強化・整備により、**分析能力の増強を図ることが極めて重要**である。

## (4) 処理及び処分方策に関する検討

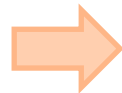
固体廃棄物の処理及び処分方策を安全かつ合理的なものとするため、廃棄物の特徴の把握、それに適した処分方策、その処分方策を念頭においた処理のあり方など、総合的な検討を行うことにより、**処理及び処分方策を具体化していくことが極めて重要である**。固体廃棄物の発生履歴等の属性、汚染履歴、包含される放射性物質濃度等の情報を保存・管理し、それに基づき区分管理を行うことが重要である。固体廃棄物に関する規制制度が円滑に整備されていくためには、**必要な情報を規制機関に適宜積極的に提供**していくことが重要である。

### 3. 2015年中長期ロードマップの改訂

## 1. リスク低減の重視

スピード重視

汚染水、プール内燃料  
燃料デブリ  
固体廃棄物、水処理二次廃棄物



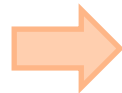
リスク低減重視



可及的速やかに対処  
周到的準備の上、安全・確実・慎重に対処  
**長期的に対処**

スピードだけでなく、長期的にリスクが確実に下がるよう、優先順位を付けて対応

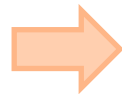
## 2. 目標工程(マイルストーン)の明確化



地元の声に応え、今後数年間の目標を具体化

## 3. 徹底した情報公開を通じた地元との信頼関係の強化等

福島評議会の設置(昨年2月)



コミュニケーションの更なる充実

(廃炉に係る国際フォーラム等)

## 4. 作業員の被ばく線量の更なる低減・労働安全衛生管理体制の強化

## 5. 原子力損害賠償・廃炉等支援機構(廃炉技術戦略の司令塔)の強化

原賠・廃炉機構の発足(昨年8月)



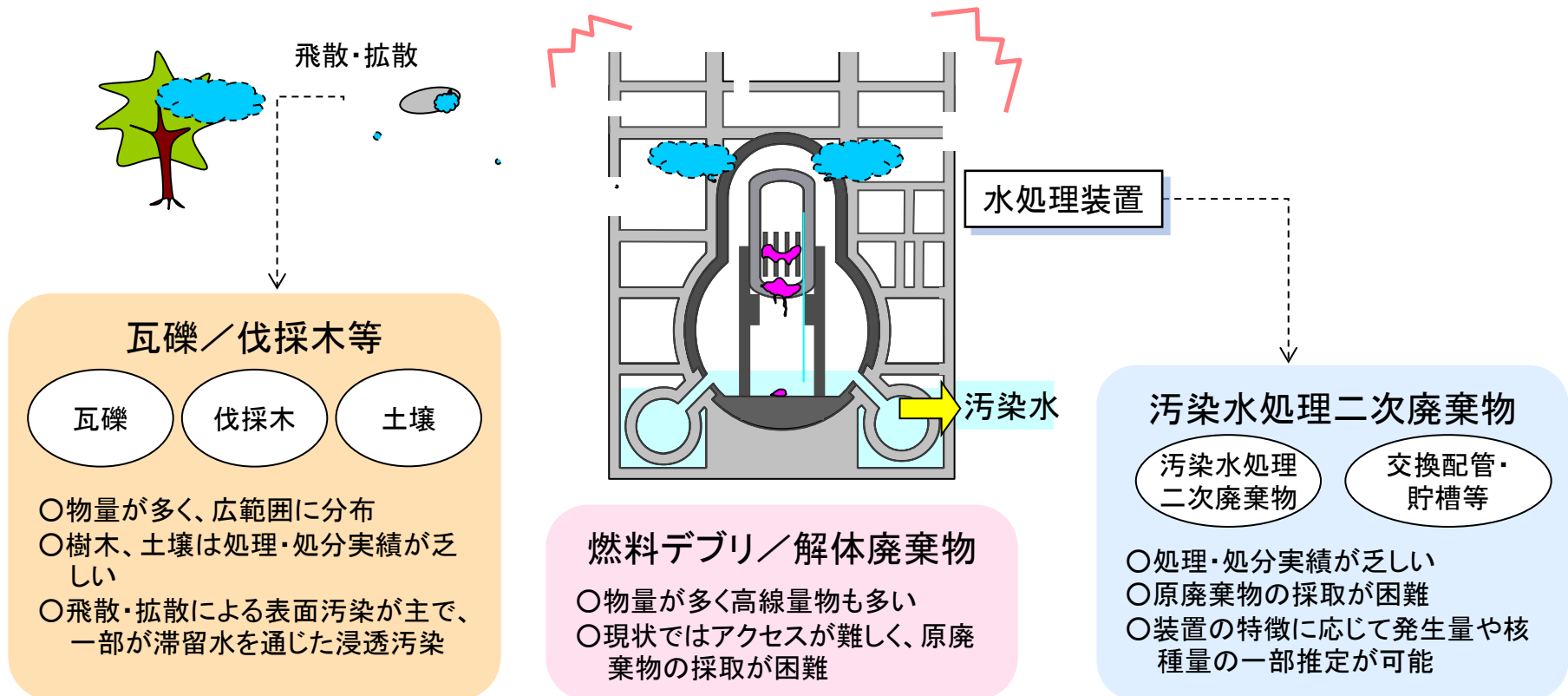
研究開発の一元的管理・国内外の叡智結集

■ 大枠の目標(青字)を堅持した上で、優先順位の高い対策について、直近の目標工程(緑字)を明確化

全体	廃止措置終了	30～40年後
汚染水対策	建屋内滞留水の処理完了 [ 冷却水以外の建屋内の水や汚染水の増加量をほぼゼロに ]	2020年内
取り除く	敷地境界の追加的な実効線量を1mSv／年未満まで低減 [ 被ばくリスクの低減目標達成 ]	2015年度
	多核種除去設備処理水の長期的取扱いの決定に向けた準備開始	2016年度上半期
近づけない	建屋流入量を100m <sup>3</sup> ／日未満に抑制 [ 汚染水増加量の大幅抑制 ]	2016年度
漏らさない	高濃度汚染水を処理した水の貯水は全て溶接型タンクで実施 [ タンクからの漏えいリスクの大幅低減 ]	2016年度早期
滞留水処理	建屋内滞留水中の放射性物質の量を半減	2018年度
新規		
燃料取り出し	使用済燃料の処理・保管方法の決定	2020年度頃
	1号機燃料取り出しの開始	2017年度下半期 → 2020年度
	2号機燃料取り出しの開始	2020年度上半期 → 2020年度
	3号機燃料取り出しの開始	2015年度上半期 → 2017年度
※目標工程の変更要因は、ダストの飛散防止対策、作業員の被ばく線量低減対策等、「安全・安心対策」の実施等によるものが大半。今後、「トラブル」や「判断遅延」に基づく遅れは起こさないように努める旨を明確化。		
燃料デブリ取り出し	号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定	2年後を目途
	初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定	2018年度上半期
	初号機の燃料デブリ取り出しの開始	2021年内
廃棄物対策	処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ	2017年度

## 4. 福島第一原子力発電所の廃棄物の概要

- ◆ 事故によりコントロールできない状態で発生
- ◆ 1～3号機の炉心燃料を起源とした汚染\*
- ◆ 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、発生量の想定が困難
- ◆ 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、データが非常に限定的(特に長半減期核種の組成)

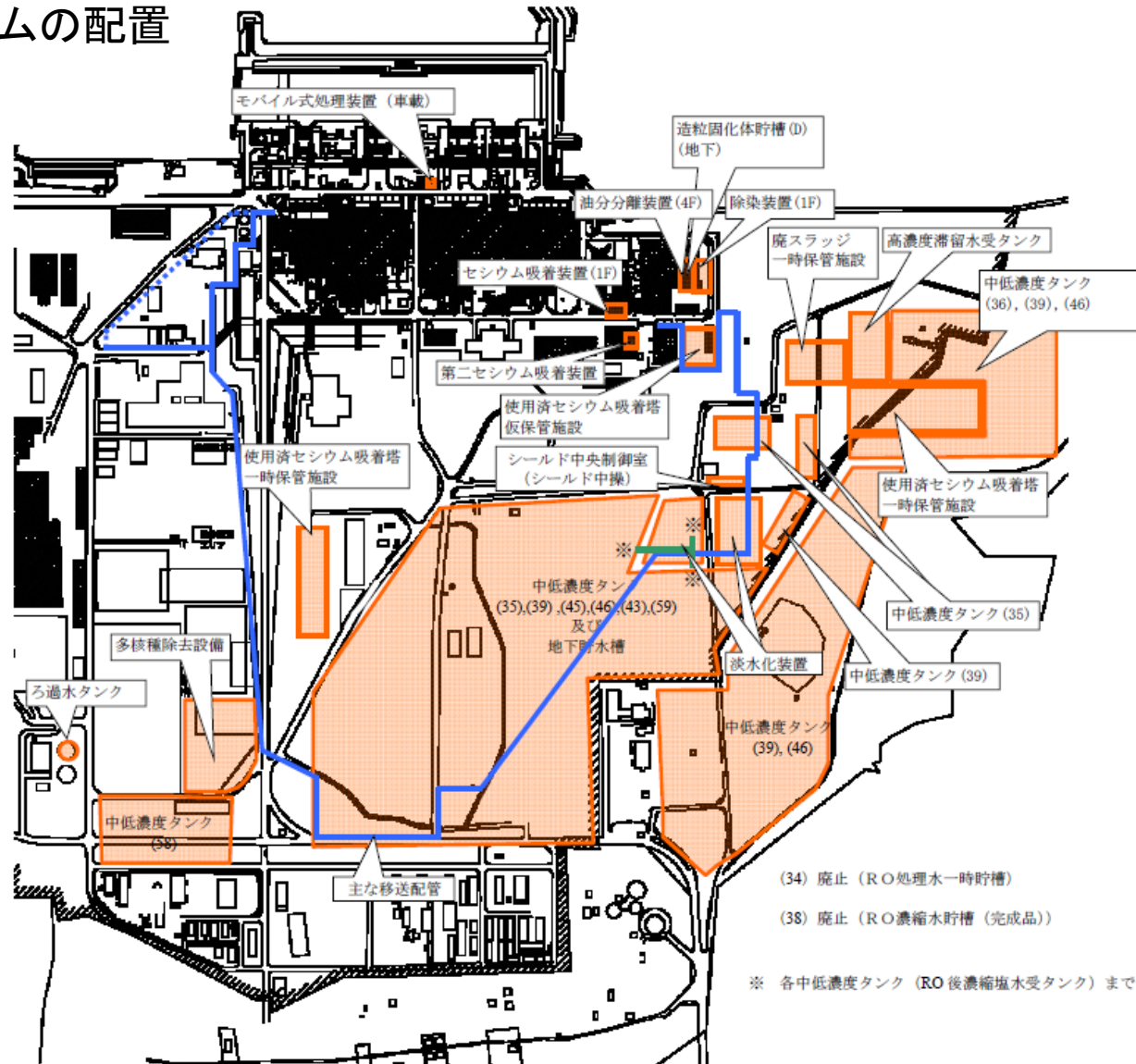


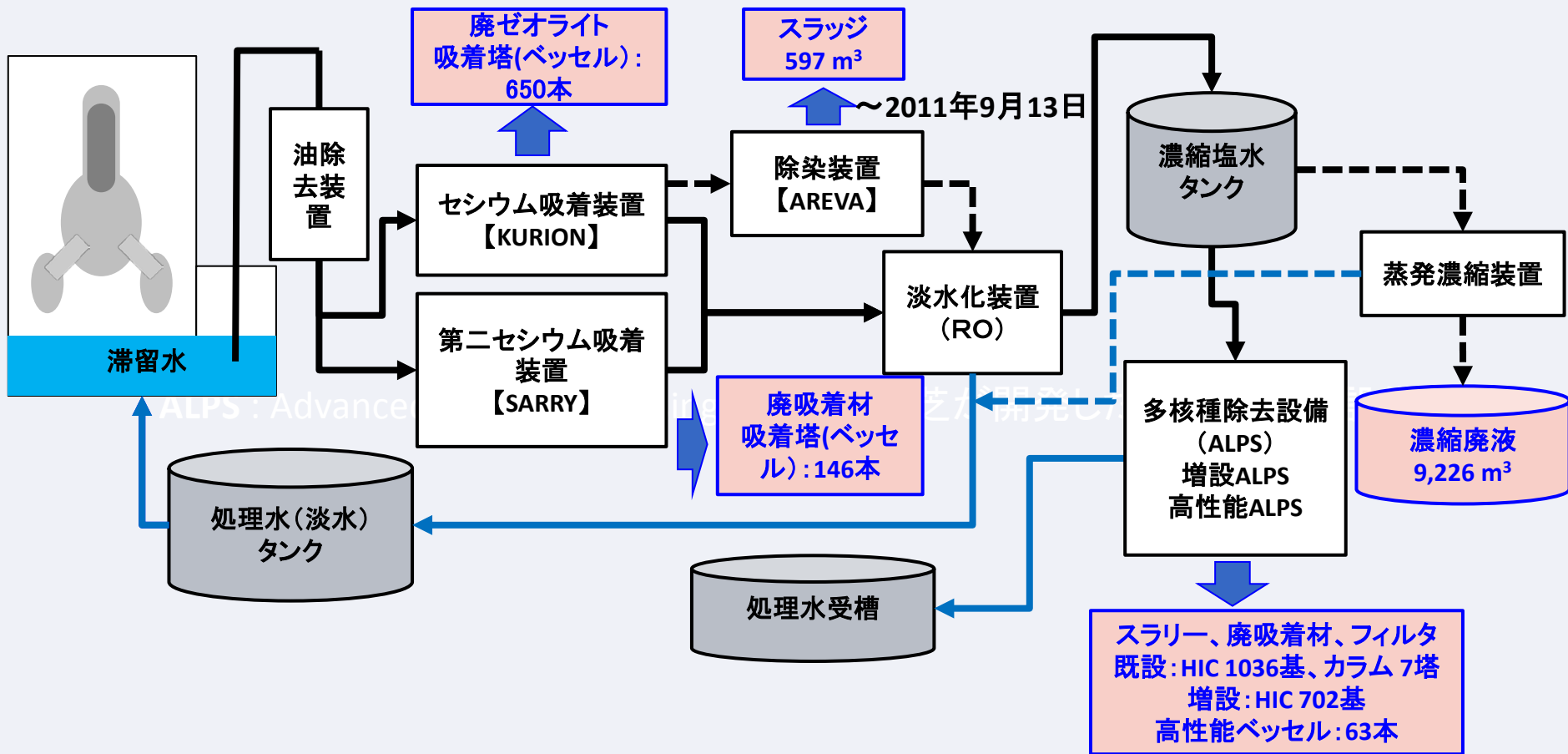
\* : 放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。



分類	福島第一事故廃棄物
汚染水処理二次廃棄物	セシウム吸着塔(セシウム吸着装置)
	セシウム吸着塔(第二セシウム吸着装置)
	スラッジ(除染装置)
	HIC(多核種除去設備－前処理スラリー:鉄共沈スラリー, 炭酸塩スラリー)
	HIC(多核種除去設備－吸着材)
	処理カラム(多核種除去設備－樹脂系吸着材)
	高性能多核種除去設備用フィルタおよび吸着塔
	モバイル型ストロンチウム除去装置用フィルタおよび吸着塔
	第二モバイル型ストロンチウム除去装置用フィルタおよび容器
	RO濃縮水処理設備用フィルタおよび吸着塔
瓦礫/伐採木	瓦礫
	伐採木
	土壌
燃料デブリ解体廃棄物	燃料デブリ
	解体廃棄物
	運転中廃棄物

## 汚染水処理システムの配置

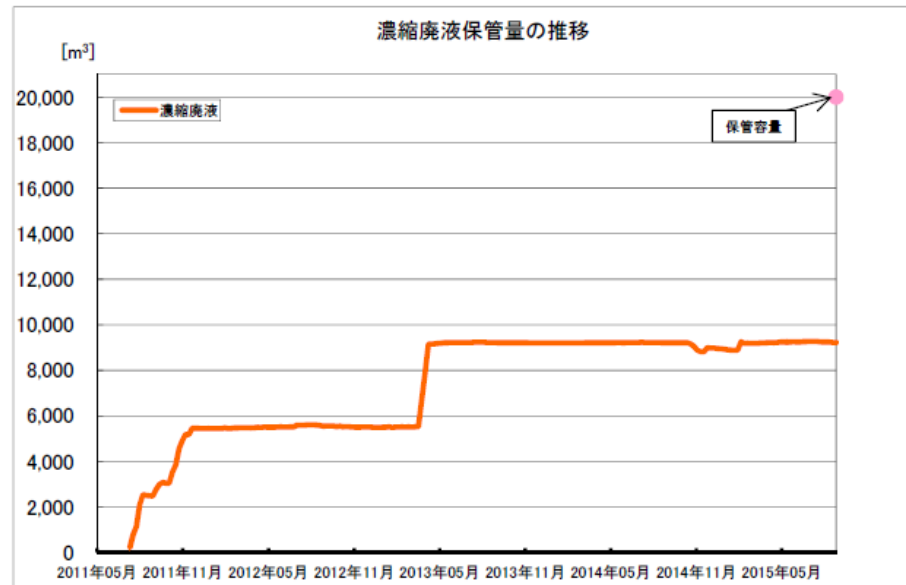
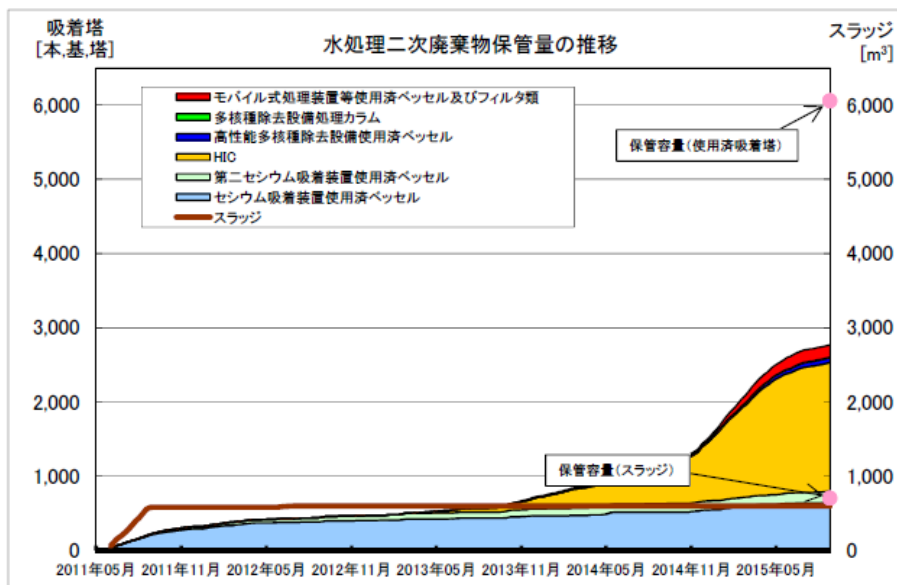




- \* R.O (Reverse Osmosis membrane) : 逆浸透膜を利用した淡水化装置
- \* HIC (High Integrity Container) : 高性能容器
- \* ALPS (Advanced Liquid Processing System) : 多核種除去設備

モバイル式処理装置等使用済ベッセル及びフィルタ類: 166本

	保管場所	種類	保管量	エリア占有率
水処理二次廃棄物	使用済吸着等保管施設	セシウム吸着装置使用済ベッセル	650 本	46%
		第二セシウム吸着塔使用済ベッセル	146 本	
		多核種除去設備等保管容器(HIC)	既設 1,036本	
			増設 702 本	
		高性能多核種除去設備使用済ベッセル	63 本	
		多核種除去設備処理カラム	7本	
		モバイル式処理装置等使用済ベッセル及びフィルタ類	166 本	
	廃スラッジ貯蔵施設	廃スラッジ	597 m <sup>3</sup>	85%
	濃縮廃液タンク	濃縮廃液	9,226 m <sup>3</sup>	46%



## ガレキ・伐採木の保管状況





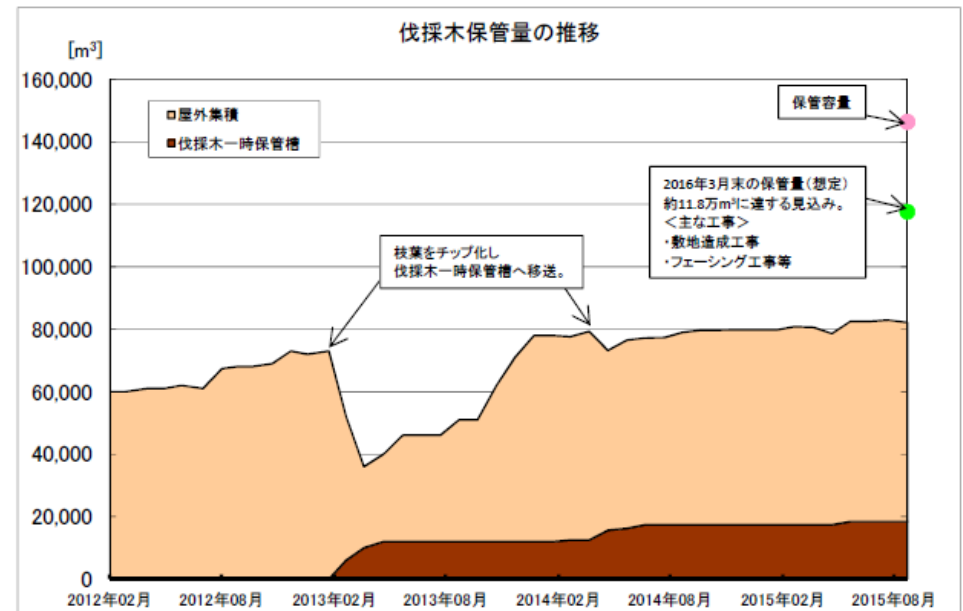
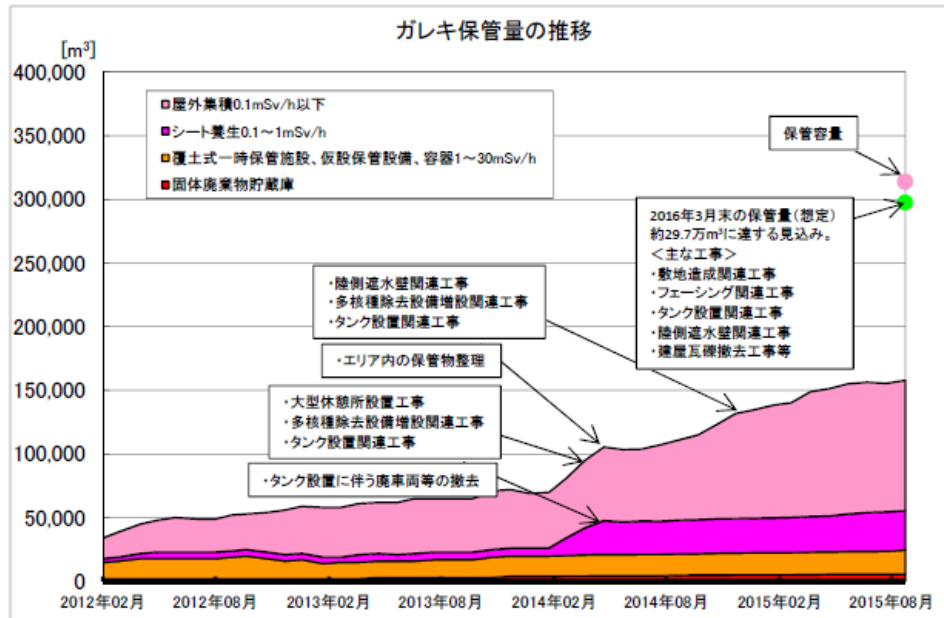
分類	保管場所	保管方法	エリア境界 空間線量率 (mSv/h)	保管量 <sup>※1</sup>	前回報告比 <sup>※2</sup> (2015.7.31)	変動 <sup>※3</sup> 理由	エリア 占有率	保管量／保管容量 (割合)	トピックス			
ガレキ	屋外集積 (0.1mSv/h以下)	C	屋外集積	0.01未満	56,400	m <sup>3</sup>	+1,200	m <sup>3</sup>	①②③④	100 %	102300 / 168100 (61%)	・主なガレキは、工事で発生した廃材。 ・エリアP1造成完了、運用準備開始(2014年10月24日) 瓦礫受入開始(2015年1月19日) ・エリアN瓦礫受入開始(2015年4月16日)
		F	屋外集積	0.01	6,000	m <sup>3</sup>	+300	m <sup>3</sup>	⑤	80 %		
		J	屋外集積	0.02	0	m <sup>3</sup>	-300	m <sup>3</sup>	⑥	0 %		
		N	屋外集積	0.01	300	m <sup>3</sup>	微増	m <sup>3</sup>	—	3 %		
		O	屋外集積	0.02	26,200	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	95 %		
		P	屋外集積	0.01未満	12,700	m <sup>3</sup>	+100	m <sup>3</sup>	②	21 %		
	シート養生 (0.1~1mSv/h)	U	屋外集積	0.01未満	700	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	100 %	30600 / 48300 (63%)	・主なガレキは、工事で発生した廃材、建屋内に設置していた搬去機 器、水処理で使用したホース類及び廃車両。 ・今後発生量の増加が見込まれるため、廃棄物発生量の抑制や既保管物 の減容処理を進めていく。 ・エリアP2造成完了、運用準備開始(2014年10月24日)
		D	シート養生	0.01	2,600	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	88 %		
		E	シート養生	0.06	7,000	m <sup>3</sup>	微増	m <sup>3</sup>	—	44 %		
		P	シート養生	0.01未満	0	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	0 %		
	覆土式一時保管施設、 仮設保管設備、容器 (1~30mSv/h)	W	シート養生	0.03	21,000	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	72 %	19100 / 27700 (69%)	・主なガレキは、原子炉建屋上部等で搬去されたガレキ。 ・1号機ガレキ搬去に向けて、覆土式一時保管施設3,4槽設置 (8,000m <sup>3</sup> )の安全協定に基づく事前了解(2014年8月12日)。 ・エリアE2造成完了、運用準備開始(2014年10月24日) 保管容器 <sup>※4</sup> 受入開始(2014年12月9日) ・覆土式一時保管施設3槽受入開始(2015年6月23日)
		L	覆土式一時保管施設	0.01未満	12,000	m <sup>3</sup>	+600	m <sup>3</sup>	⑦	100 %		
		A	仮設保管設備	0.35	500	m <sup>3</sup>	+400	m <sup>3</sup>	⑧⑨	6 %		
		E	容器	0.01未満	300	m <sup>3</sup>	+100	m <sup>3</sup>	⑩	14 %		
		F	容器	0.01	600	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	99 %		
	固体廃棄物貯蔵庫	Q	容器	0.12	5,700	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	93 %	5700 / 12000 (48%)	・主なガレキは、原子炉建屋上部等で搬去された高線量ガレキ。 ・第9槽設置(ドラム缶 約11万本)に向けて安全協定に基づく事前了 解(2014年8月12日)。 ・第9槽設置に伴う実施計画変更認可(2015年7月17日)
		固体廃棄物 貯蔵庫	容器	0.03	5,700	m <sup>3</sup>	微増	m <sup>3</sup>	—	48 %		
合計(ガレキ)				157,800	m <sup>3</sup>	+2,500	m <sup>3</sup>	—	62 %			
伐採木	屋外集積 (幹・根・枝・葉)	H	屋外集積	0.01	14,700	m <sup>3</sup>	-900	m <sup>3</sup>	⑪	83 %	63700 / 79200 (80%)	・主にエリアP1造成により伐採した幹・根を受入。 その他工事で発生した幹・根を随時受入中。
		I	屋外集積	0.01	10,500	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	100 %		
		M	屋外集積	0.01	38,500	m <sup>3</sup>	微増	m <sup>3</sup>	—	86 %		
		V	屋外集積	-	0	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	0 %		
	一時保管槽 (枝・葉)	G	伐採木一時保管槽	0.01未満	7,300	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	27 %	18400 / 50100 (37%)	・当面受入を計画していた枝葉については、チップ化した後、エリアT の伐採木一時保管槽へ受入。
		T	伐採木一時保管槽	0.01	11,100	m <sup>3</sup>	0	m <sup>3</sup>	—	48 %		
合計(伐採木)				82,100	m <sup>3</sup>	-900	m <sup>3</sup>	—	64 %			

※1 端数処理で100m<sup>3</sup>未満を四捨五入しているため、合計値が合わないことがある。

※2 100m<sup>3</sup>未満を端数処理しており、微増・微減とは100m<sup>3</sup>未満の増減を示す。

※3 主な変動理由: ①フェーシング工事 ②タンク設置関連工事 ③陸側排水壁設置工事 ④焼却対象物の集約作業 ⑤焼却対象物の受入 ⑥エリア整理のため一時保管エリアCへ移動 ⑦仮設保管設備からの受入  
⑧覆土式一時保管施設(3槽)への搬入 ⑨1~4号建屋周辺瓦礫搬去関連工事 ⑩水処理二次廃棄物(小型フィルタ等)の保管 ⑪エリア整理 等

※4 水処理二次廃棄物(小型フィルタ等)を含む。





## 5. 福島第一原子力発電所の廃棄物対策 に係る研究開発

## 廃棄物対策 廃棄物の処理・処分方策の検討

### ◆既存の廃棄物処理・処分方策プロジェクト（実施段階または、その 目途が立った段階での放射性廃棄物の処理・処分方策の検討）

- 「把握された廃棄物に関する性状等に関する情報に基づき，“意図した処理・処分方法により，対象とする廃棄物を現実的に安全に処理・処分できること”を提示すること」を主要な目的として実施。



### ◆福島第一原子力発電所廃棄物の処理・処分方策プロジェクト

- 廃棄物の性状，発生量が十分把握されていない。
- 処理・処分の方法が想定できていない検討の初期段階

### ◆検討の進め方

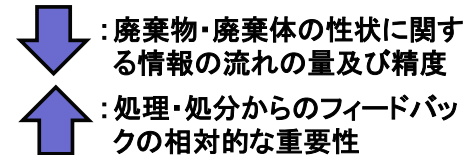
- データの蓄積を待つことなく，これまで蓄積された処理処分の技術や知識を用いて廃棄物の処理処分方法を幅広く評価し、廃棄物の性状把握の進展に合わせてそれらを繰り返して実施し，処理・処分方策を絞り込んでいく。
- ✓ 2017年度目標：「廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方」を取りまとめる。
- ✓ 2021年度目標：処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを得る。

## 福島第一事故廃棄物

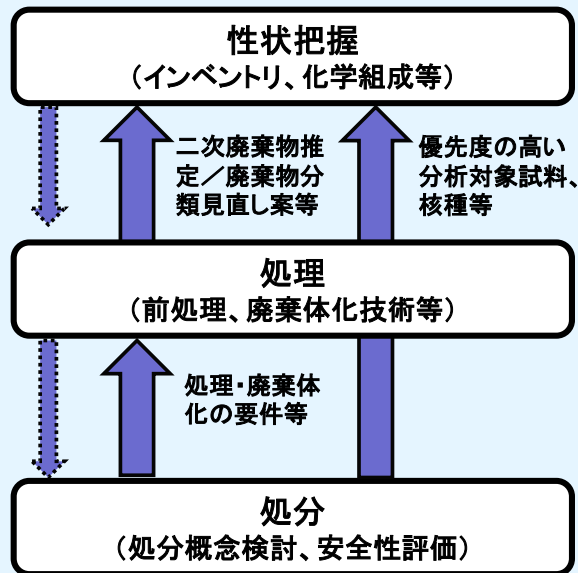
廃止措置等に向けた作業・研究の進展、情報の拡充

### 特徴

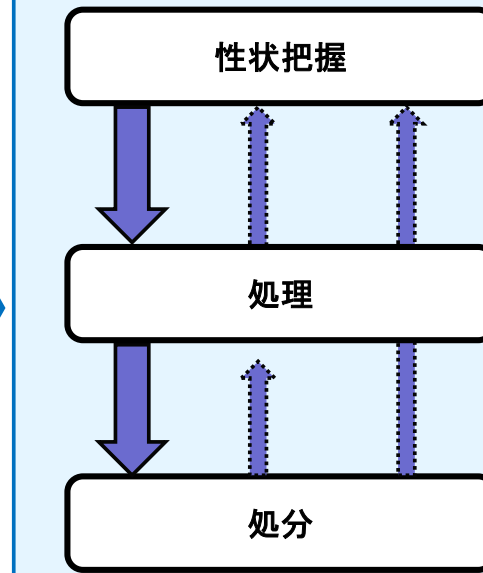
- ・ 発生状況 : 核種汚染の過程が解明されていない。
- ・ 性状 : 現時点では性状に関する情報が限定的。
- ・ 処理技術 : 処理実績のない廃棄物が多く、技術の検討が必要。
- ・ 処分技術 : 処分実績のない廃棄物が多く、技術の検討が必要。
- ・ 規制 : 整備されていない。



～HP SW-1(～2017年度まで)～



～HP SW-2(2021年度ごろまで)～



性状に関する情報量増加、精度向上

処理技術、処分概念の段階的な絞込み

## 廃棄物管理に係る国際的な考え方 IAEAの廃棄物の分類スキーム (IAEA GSG-1)

廃棄物の分類を明示するための

一般的な枠組みを提供

◆ 廃棄物中の核種の半減期と放射能レベルを重大度の目安として、廃棄物を右図のように分類。

- 廃棄物分類の主要な考慮事項→長期間の安全性
- 廃棄物は、閉じこめと隔離の程度に応じて分類される
- 分類には処分オプションが付随して与えられる。( )は付随する処分オプション)
- このような処分の観点に基づき廃棄物の分類を示すことは、以下の検討等において有用。
  - 廃棄物管理戦略の考案
  - 廃棄物管理施設の立案と計画
  - 処理技術の適用
  - 法令の策定
  - 規制上の要件と基準の策定

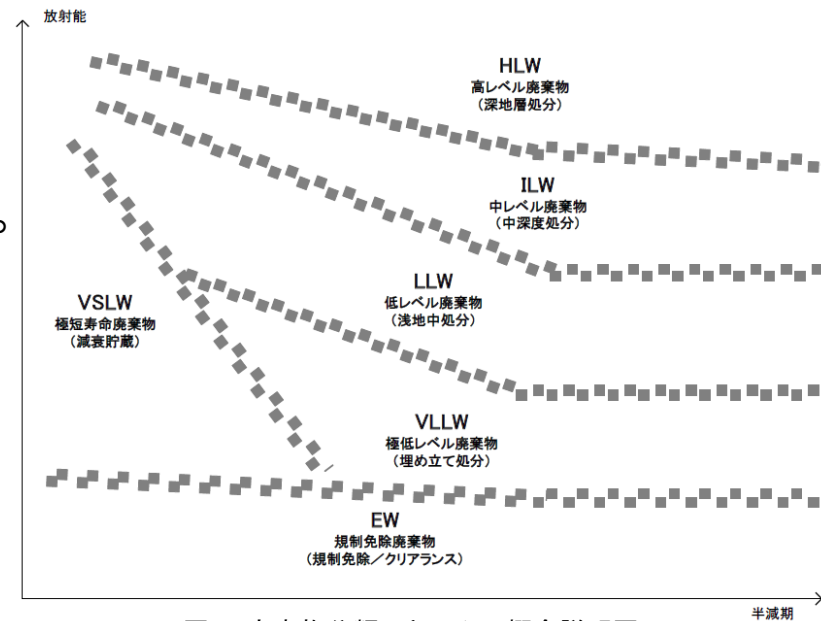


図1. 廃棄物分類スキームの概念説明図  
( IAEA GSG-1 日本語翻訳版, 公益財団法人 原子力安全研究協会,p7より)

長期的な安全性(処分)の観点を考慮して廃棄物を、より定量的に分類すること



福島第一原子力発電所の廃棄物対策の目標である「廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方」、「処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し」の提示が可能になると考える。

- IAEAの廃棄物の分類スキームは、分類間の大まかな境界を提供
  - ➡ 廃棄物の**一般的な分類**のためのスキーム
- シナリオやパラメータの変動を考慮したより詳細な定量的境界は、それぞれの国のプログラムや要求事項に従って、安全評価等の実施により整備される
  - ➡ 廃棄物の**詳細な分類**

## 福島第一原子力発電所廃棄物の処理・処分方策プロジェクト

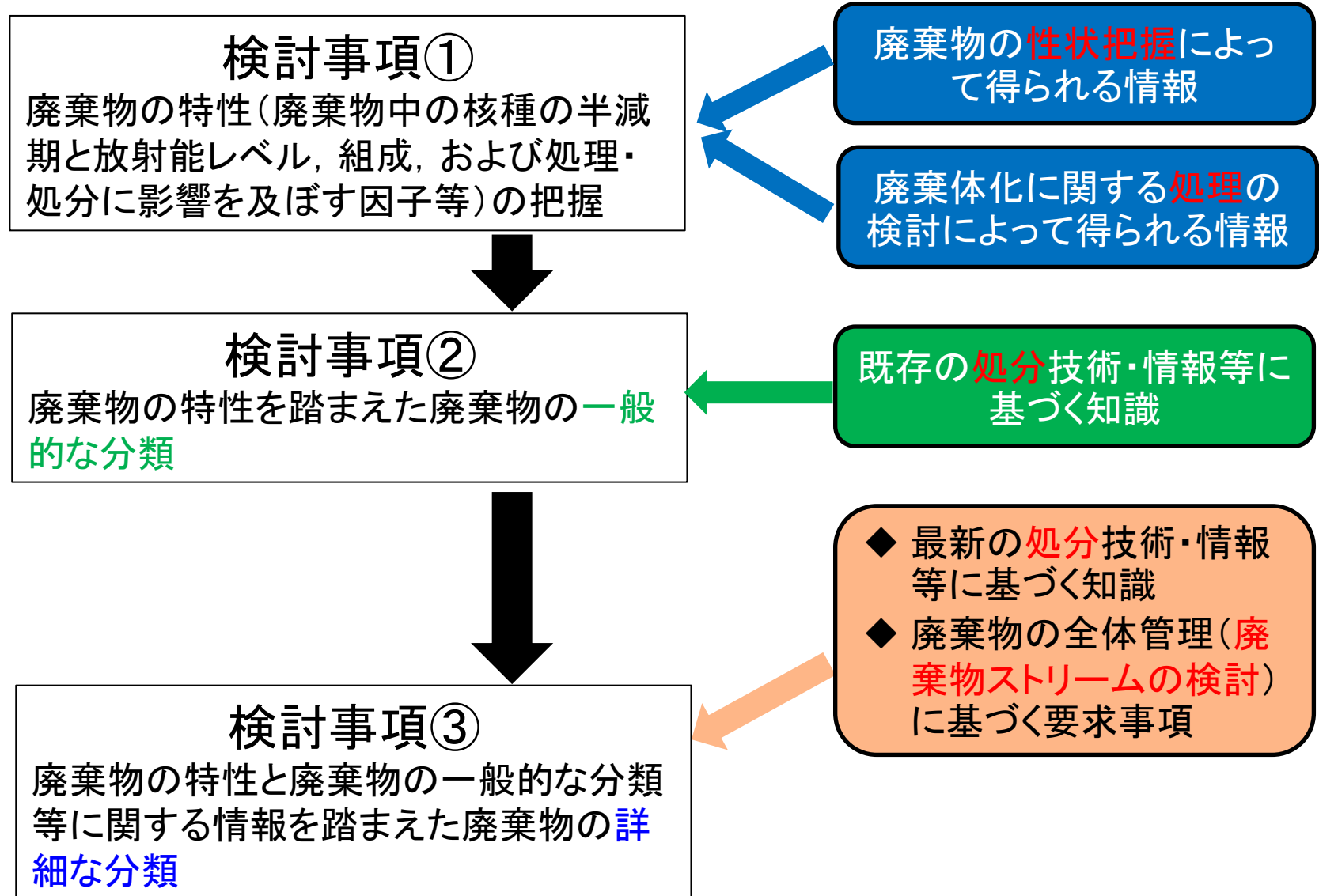


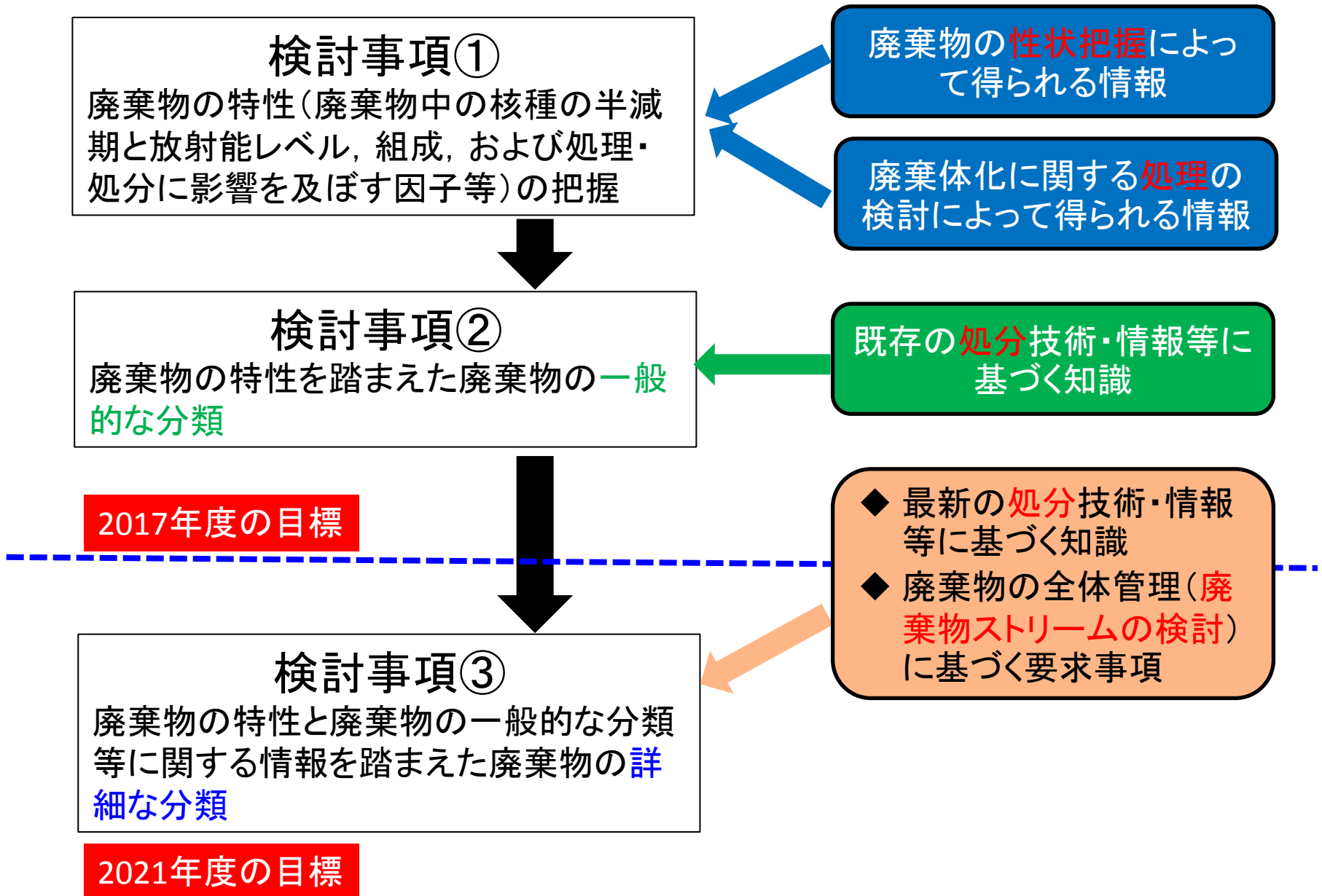
廃棄物の**一般的な分類**をスタートとして、より定量的な**詳細な分類**を行う

- 我が国での廃棄物の**一般的な分類**に関する検討
  - ➡ 例えば、昭和57年 放射性廃棄物対策専門部会報告書 低レベル放射性廃棄物対策について
- 我が国での廃棄物の**詳細分類**に関する検討
  - ➡ •原子力安全委員会，“低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（中間報告）”，昭和62年2月26日（ピット処分の政令濃度上限値）  
（第2次中間報告）”，平成4年6月18日（トレンチ処分の政令濃度上限値）  
（第3次中間報告）”，平成12年9月14日（余裕深度処分の政令濃度上限値）
  - 原子力安全委員会，“低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値基について”，平成19年4月26日（濃度上限値 の推奨値）

\* 留意点:「濃度上限値は、処分の安全性を保障するものではなく、埋設申請の許可申請にあたっての目安であり、安全性については、個別の安全審査で詳細に行われることを前提としているものである。」

従って、濃度上限値による廃棄物の分類は、処分の観点に基づく廃棄物の定量的な**詳細な分類**ではあるものの、必ずしも十分なものではない。







## HP SW-1 廃棄物の処理・処分に関する基本的考え方の提示(2017年) ～廃棄物発生から処理処分までの廃棄物ストリーム候補の提示～

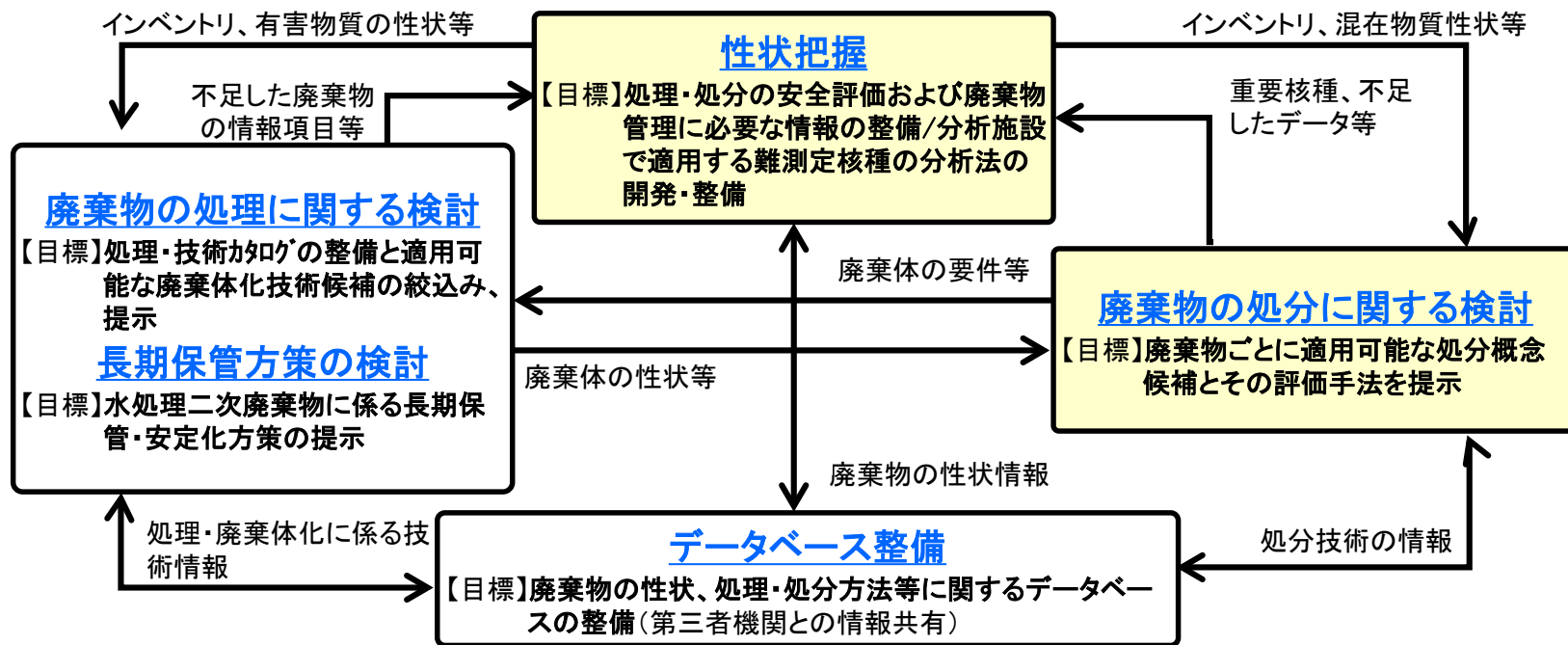
### 廃棄物ストリームに関する検討

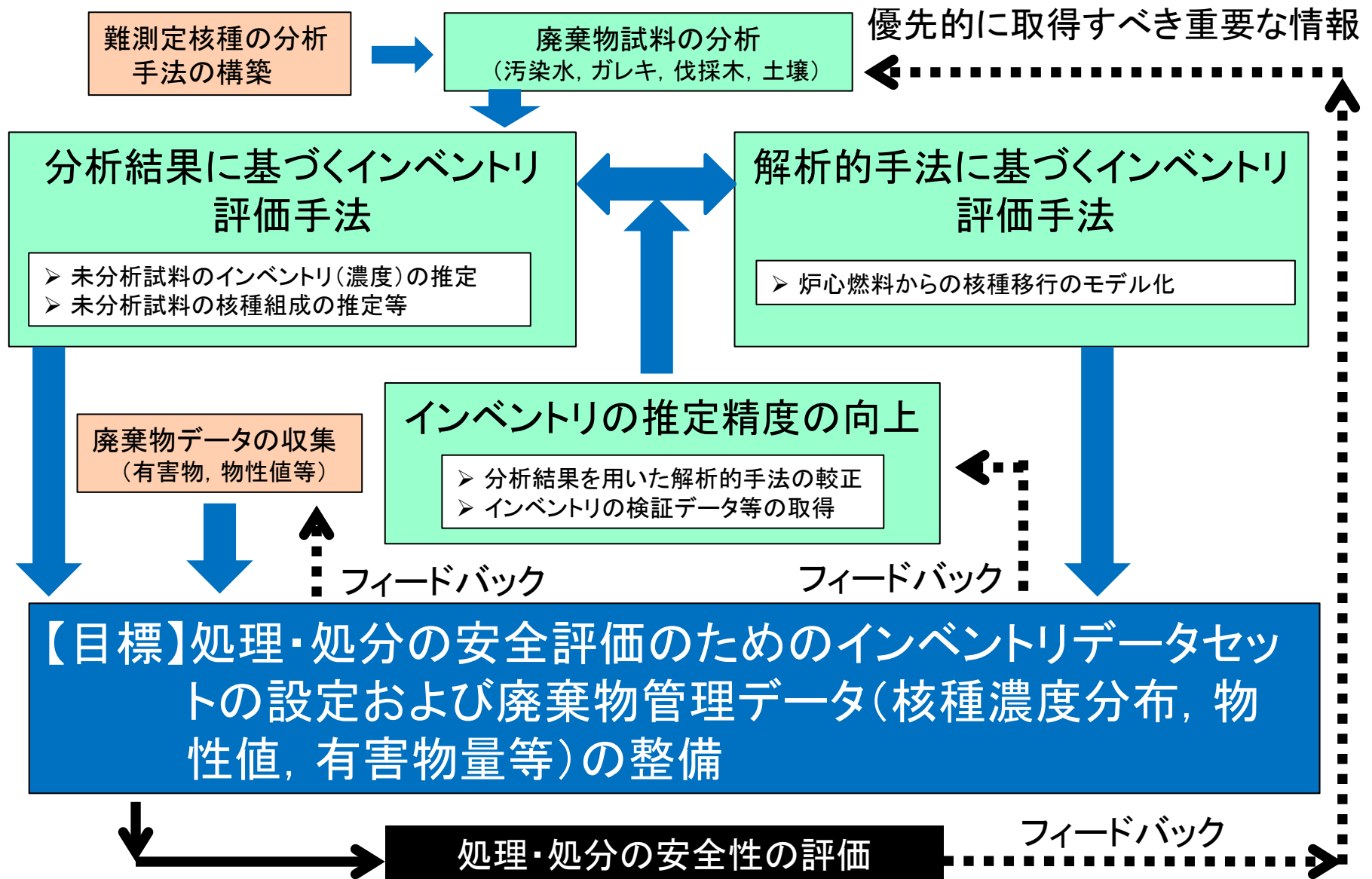
廃棄物ストリーム: 事故廃棄物の発生・保管から処理・処分までの一連の廃棄物の取り扱い

処理・処分等に関する技術情報(前提条件を含む)、政策・制度等に係る情報

個別の研究成果の総合的な判断と調整、安全かつ合理的な処理・処分の実現に向けて必要な検討課題等の提示

#### 個別研究開発項目(廃棄物ストリームの構築に必要な知見を与える基盤研究開発)





瓦礫試料を分析し、主要な核種の相関や、発生場所による影響を調べた。

- 原子炉建屋内の瓦礫(コンクリート、保温材)とボーリングコア(表面塗膜)の試料を分析した(図1)。
- $^{137}\text{Cs}$ と $^{90}\text{Sr}$ の濃度に比例関係の傾向が見られた(図2)。
  - ✧ 比率は、2号機5階、1号機1階、3号機1階の順序であった。
  - ✧ 汚染状況を詳しく(建屋、階などの領域ごとに)調べることが重要である。
- $^{14}\text{C}$ と $^3\text{H}$ は建屋外4号機周辺の試料が $^{137}\text{Cs}$ 濃度と相関しない(図2)。
  - ✧ 一方で、 $^{14}\text{C}$ と $^3\text{H}$ が相関する傾向がみられ、Cs-Srと区別して取り扱いが適当と思われる。



1号機コンクリート  
(1RB-AS-R4)



2号機コア表面塗膜  
(2RB-DE-C2)

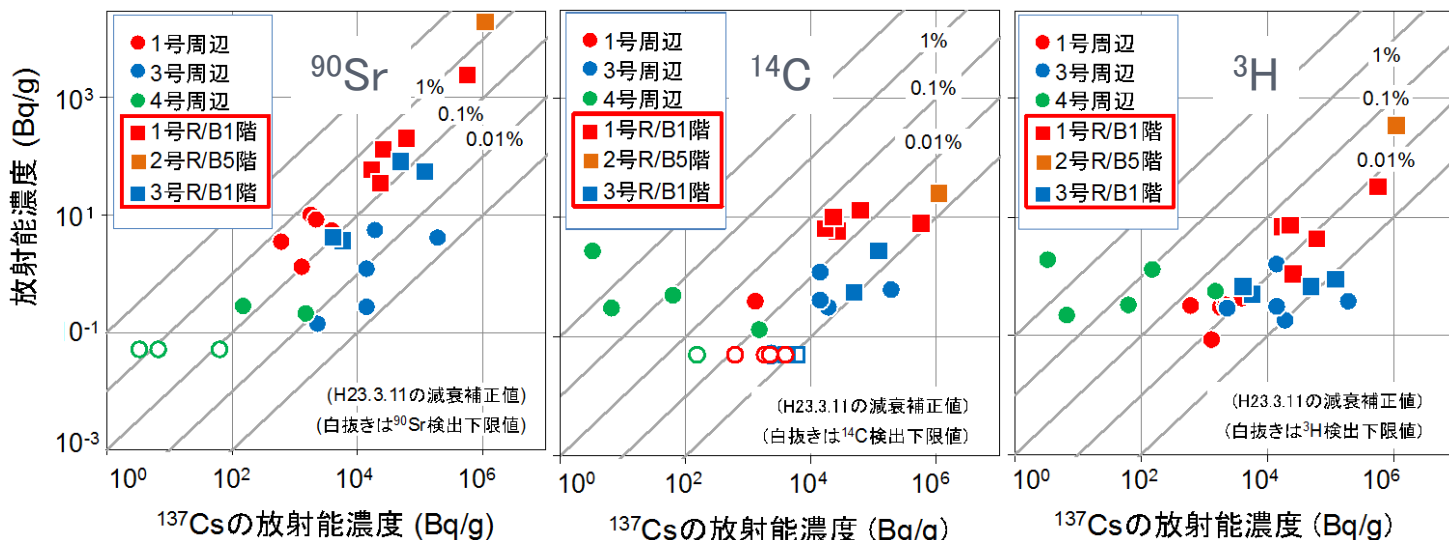


図2 建屋内部で採取した瓦礫の $^{137}\text{Cs}$ と $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 並びに $^3\text{H}$ 放射能濃度の相関  
(原子炉建屋周辺で採取した瓦礫をともに示す)

図1 試料の外観

立木試料を分析し、構内の場所に関する分布や、局所的な分布(枝葉、落葉等)を調べた。

- 構内を対象として立木の試料(枝葉、落葉、土壌)を分析し、構内の分布(図1)と個体の分布(枝葉から、落葉や土壌への移行)を調べた。
- 原子炉建屋周辺で濃度が高い。 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{79}\text{Se}$  は原子炉建屋の近傍でのみ検出された。
- 濃度は、枝葉に比べて落葉や土壌で高い。時間の経過とともに、枝葉から落葉、土壌へと移行している様子を確かめた。
- Dエリアの落葉に Pu が検出され( $10^{-3}$  Bq/g 程度)、同位体比より事故由来とみられる。

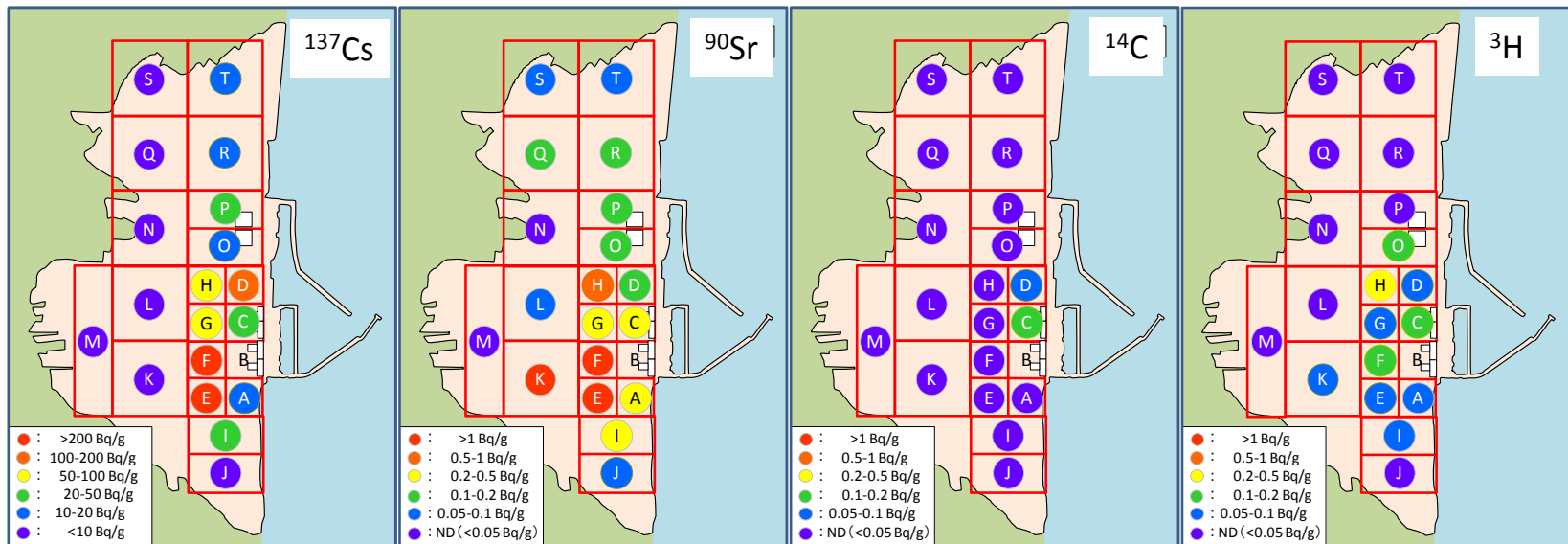
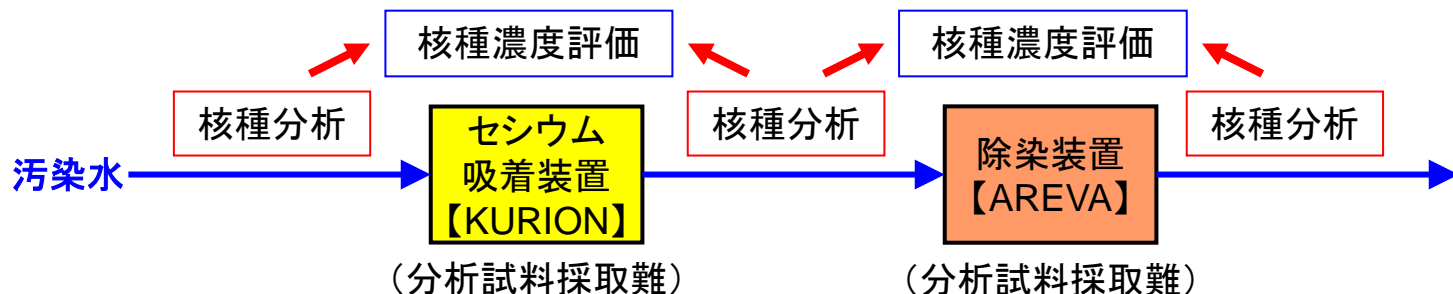


図1 構内における立木(枝葉)中の放射能濃度分布

- ・ **廃ゼオライト・スラッジ**等に含まれる**放射性核種濃度の評価**  
「廃ゼオライト・スラッジ等の分析試料採取が困難：高線量、遠隔操作難」  
⇒ 各汚染水処理装置前後の水試料の核種分析から評価

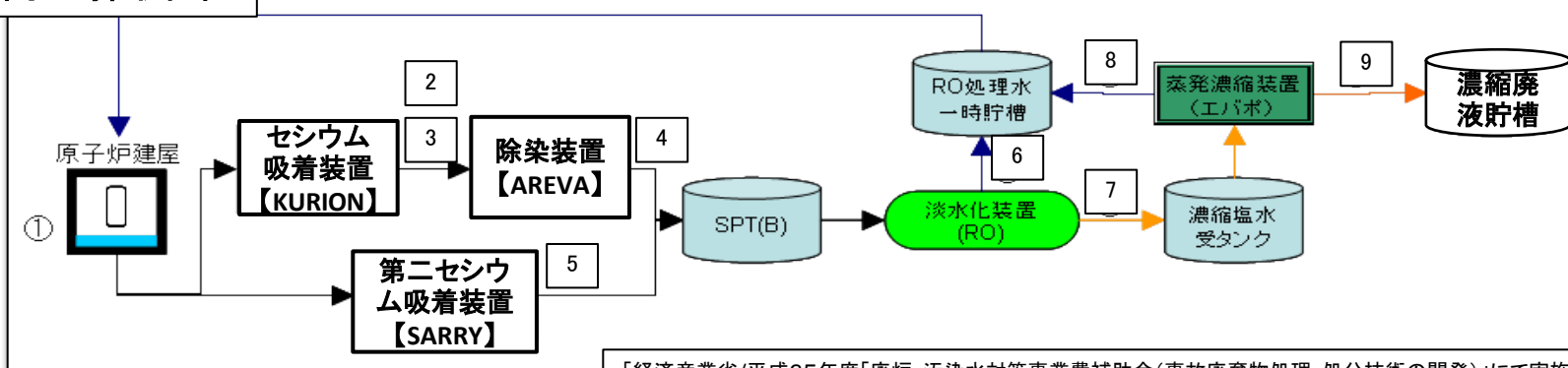


**分析対象核種：廃棄物の処分を検討する上で重要となる核種(38核種)**

$\gamma$  核種:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$   
 $\beta$  核種:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{93}\text{Zr}^*$ ,  $^{93}\text{Mo}^*$ ,  
 $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{107}\text{Pd}^*$ ,  $^{126}\text{Sn}^*$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{135}\text{Cs}^*$ ,  $^{151}\text{Sm}^*$ ,  $^{241}\text{Pu}$   
 $\alpha$  核種:  $^{233,234,235,236,238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238,239,240,242}\text{Pu}$ ,  $^{241,242\text{m},243}\text{Am}$ ,  $^{244,245,246}\text{Cm}$

\* 分析技術の確立が必要であり、研究開発を実施中

試料水の採取位置



実廃棄物の分析が困難である汚染水処理二次廃棄物について、汚染水の分析データを用いてインベントリを評価した。

- セシウム吸着塔 (KURION) のインベントリを滞留水・処理水の分析データを用いて評価した(図1)。
- ✧ 装置入口で不検出であった核種は、保守的な評価とするために、入口濃度が検出下限値であるとして算出した。
- 同様にして第二セシウム吸着装置廃吸着塔及び除染装置のスラッジの評価も行った。
- 処分区分の検討において、処分概念の基準線量相当濃度と比較することが可能となる。

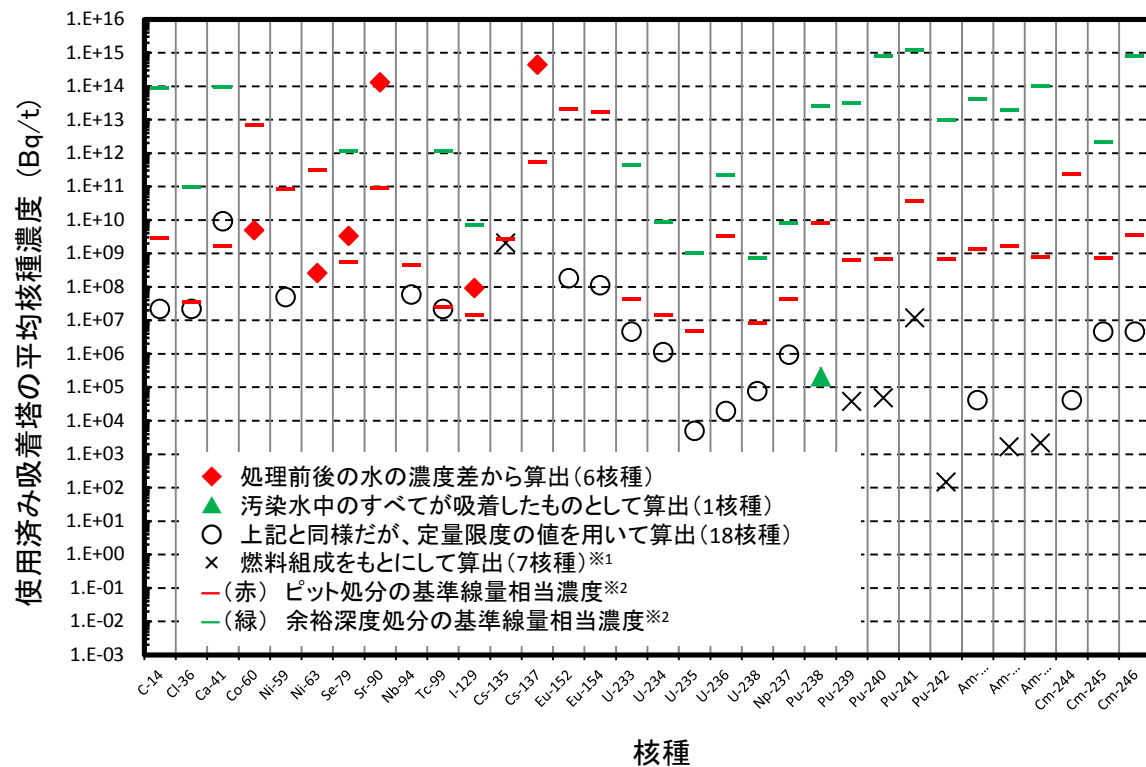
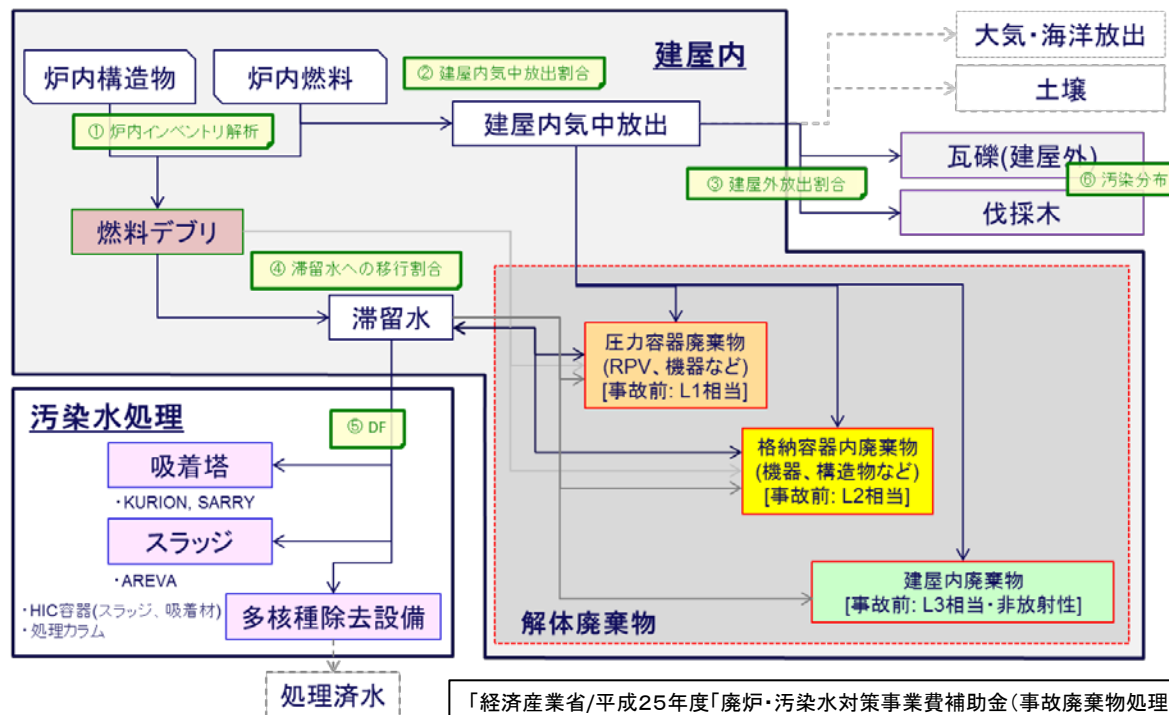


図1 セシウム吸着装置吸着塔の放射能量(インベントリデータセット)  
(水分析データを用いて推算)

※1 燃料中核種組成(JAEA-Data/Code 2012-018)の比から算出した値。

※2 原子力安全委員会、低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について、平成19年5月21日。

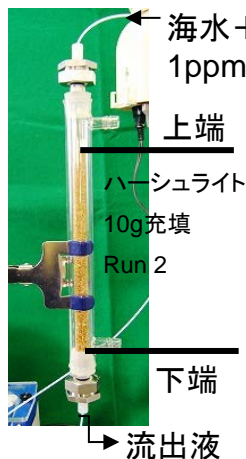




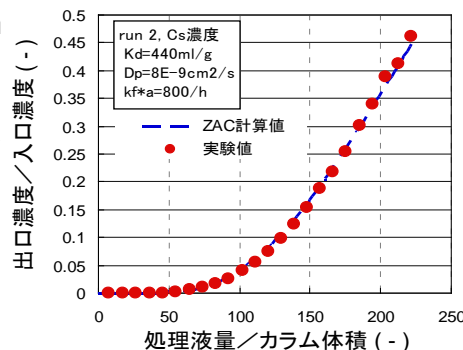
「経済産業省/平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(事故廃棄物処理・処分技術の開発)」にて実施, 提供IRID」

- ◆ 解析的手法に基づくインベントリの推算値は, ORIGEN等を用いて算出した3炉心分のインベントリを起源として, 廃棄物の生成までに想定される複数のプロセスでの移行率を設定したインベントリ評価モデルに基づいて推算。
- ◆ 滞留水への移行割合: 文献値 (Johnson et al, 2004, 西原ほか, 2012等) の最大値から設定
- ◆ 滞留水への移行量 (参照ケース):
  - ① Csの移行割合(a)と他の元素の移行割合(b)を設定。
  - ② 汚染水の分析値(時間変化するCs-137濃度)を用いてCs-137の移行量を算出(c)
  - ③  $a:b=c:x$  から核種ごとの移行量を算出
- ◆ 滞留水への移行量 (不確実性ケース):
  - ① 汚染水の分析値(Cs-137濃度最大値, 最小値)からCs-137の移行量を算出(d)
  - ②  $a:b=d:Y$  から核種ごとの移行量を算出
- ◆ DF設定 (除去対象元素は1000, 共沈等の可能性のある元素は, 10, 類似性がある元素は, 1000または10, その他は1)(参照ケース)
- ◆ 廃棄物中のインベントリの推算: 装置入口での核種移行量の算出結果 × DF

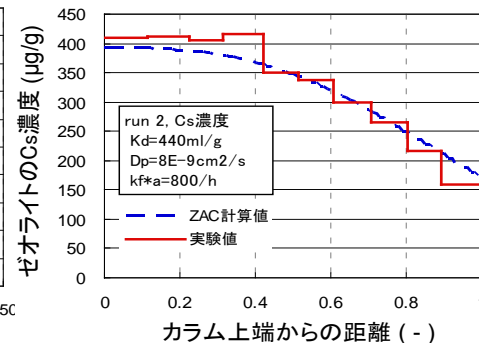
- ゼオライト及びスラッジの性状調査
  - 吸着塔内のセシウムの吸着分布の推定(図1)やゼオライトの熱的安定性等(図2)の廃ゼオライトの性状把握の試験を継続した。
  - 実スラッジ及び周辺区域の線量率が高く、試料採取と分析を計画通りに実施できなかった。



カラム試験装置



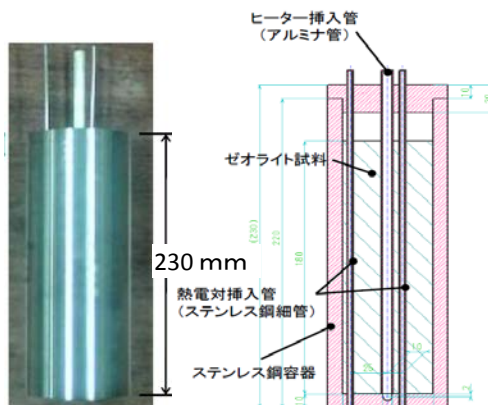
カラム流出液のCs濃度



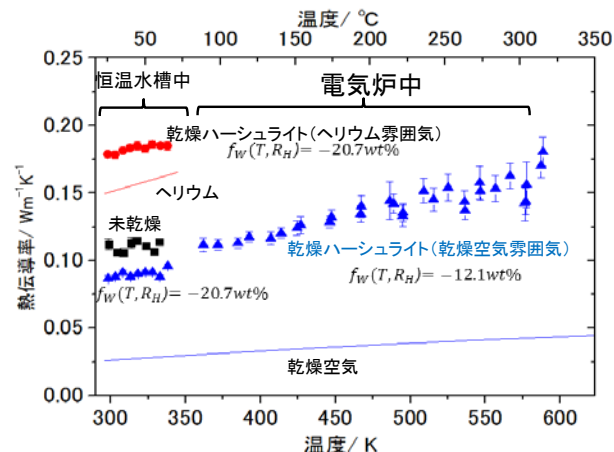
カラム内のCs濃度分布

図1 吸着塔内のセシウムの吸着分布の推定

- その他の廃棄物の性状調査
  - 新たな汚染水処理システム(第二セシウム吸着装置、多核種除去設備)から発生する二次廃棄物の基本的な性状を明らかにするための情報収集を進めた。



ゼオライト層の有効熱伝導率測定セル



ゼオライト層の有効熱伝導率

図2 ゼオライトの熱的安定性

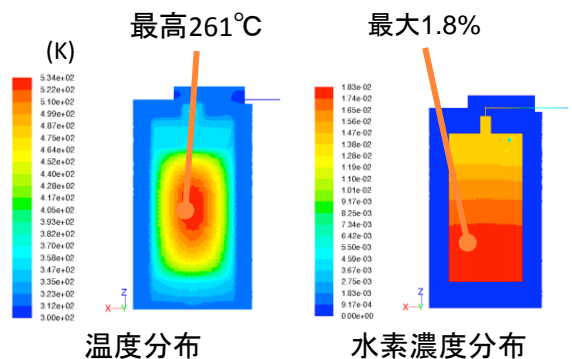
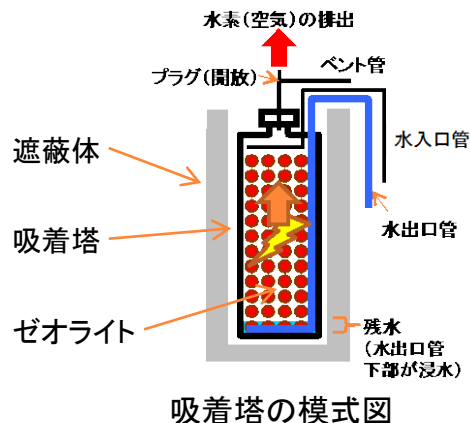
### ◆保管期間中の廃棄物の安定性に係る検討

- 水素等の発生に関する検討
- 容器の腐食に関する検討

### ◆処理・廃棄体化に適用する技術の検討

- 既存技術の調査・整理
- 適用性評価

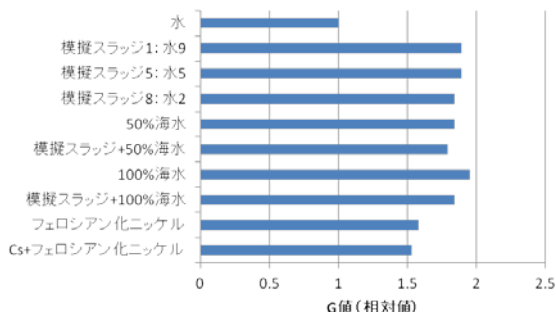
## セシウム吸着塔での水素生成、材料の腐食



解析により求めた温度と水素濃度の分布

- 吸着塔内のセシウム分布、水分量等を設定し水素濃度を評価した結果、**水素濃度は爆発下限に至らない**ものと評価された。
- 材料(ステンレス鋼)の腐食に関しては、**ゼオライトが共存することにより局部腐食のリスクが大幅に低下**することが判明した。
- H26年度以降、上記のリスク低減機構の解明など**局部腐食に関する詳細なリスク評価を実施**し、長期保管の安全性について確認する。

## スラッジ保管容器の水素等生成、材料の腐食



種々の条件について求めた  
水素生成の収率(相対的なG値)



γ線照射試験の様子  
(HCNの生成に関し 6 Mgysを照射)

- 水素の生成は、スラッジの共存により増加する傾向があるが、換気により爆発下限値(4%)以下となり、**安全対策に問題はない**。
- シアン化水素(HCN)は10年間保管相当(6MGy)の照射でも気相中に検出されず。
- 攪拌が停止した場合でも、**約50日後に外気温に対して+20°Cで平衡**となり、フェロシアン化物の分解温度(250~280°C)には達しない。
- 得られた腐食速度は**設計と同じオーダーの範囲**であった\*。

\* 海水飛沫帯の50°Cで想定される腐食速度0.25mm/yを考慮して容器厚さは2.5cmと設定されている。(福島第一原子力発電所1~4号機に対する「中期的安全確保の考え方」に基づく施設運営計画に係る報告書 別紙)

## 処理・廃棄体化技術の調査

文献調査を行い、既存の廃棄体化技術に関する情報を取りまとめた技術カタログを作成する。

### ①技術カタログの整備

- ・カタログフォーマットの作成
- ・検討対象とする処理技術の抽出

### ②仮選定

- ・文献情報等を基に処理技術の絞り込み

## 適用性評価のための基礎試験

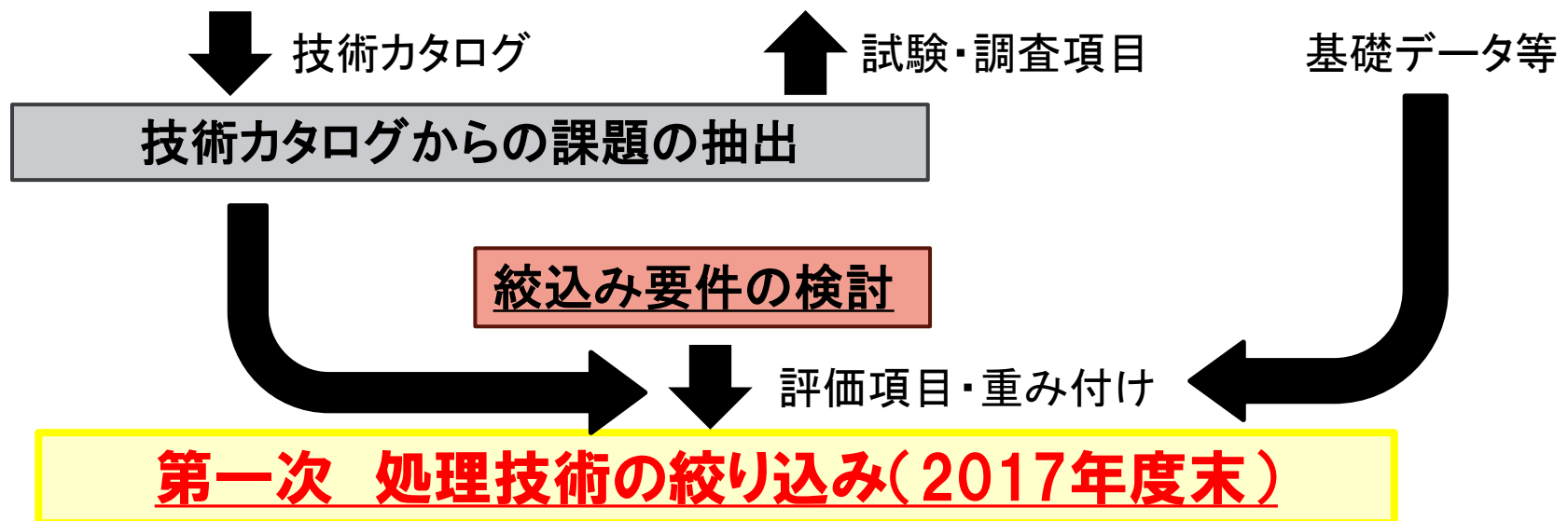
汚染水処理二次廃棄物を対象に、技術カタログから抽出した不足情報を補完するための、試験及び調査を実施する。

### ①廃棄体化基礎試験

- ・基礎データの取得

### ②文献調査

- ・文献データの取得



廃棄物分類	減容技術	固化技術
粉粒体 液体廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱水処理</li> <li>・乾燥処理</li> <li>・焼却処理</li> <li>・ガス化処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント混練固化</li> <li>・ジオポリマー固化</li> <li>・水ガラス固化</li> <li>・アスファルト固化</li> <li>・プラスチック固化</li> <li>・ガラス固化</li> <li>・熔融固化</li> <li>・焼結固化</li> <li>・水熱固化</li> <li>・HIP (Hot Isostatic Pressing) 固化</li> <li>・ペレット成型・圧縮固化</li> </ul>
雑固体廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮処理</li> <li>・熔融処理</li> <li>・切断処理</li> <li>・粉碎処理</li> <li>・焼却処理</li> <li>・ガス化処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モルタル充填固化</li> </ul>

国内外で実績がある技術として8種の減容技術と12種の固化技術を抽出し、その概要を調査、取りまとめた。



## ●多核種除去装置廃棄物の廃棄体化技術

- 普通ポルトランドセメント(OPC), 高炉スラグセメントB種(BB)およびジオポリマー(GP)を用いて、多核種除去設備から発生するスラリーの安定化処理物や廃吸着材(酸化チタン、チタン酸ナトリウム)を固化。
- いずれも1日で硬化し、ひび割れ等が生じない良好な強度の固化体を作製(図1、2)。
- GP固化体は放射性元素の閉じ込め性には優れる。
- $\gamma$ 線照射試験の結果、水素ガス発生G値は固型化材や模擬廃棄物の違いによる影響が大きいことが示された(図3)。

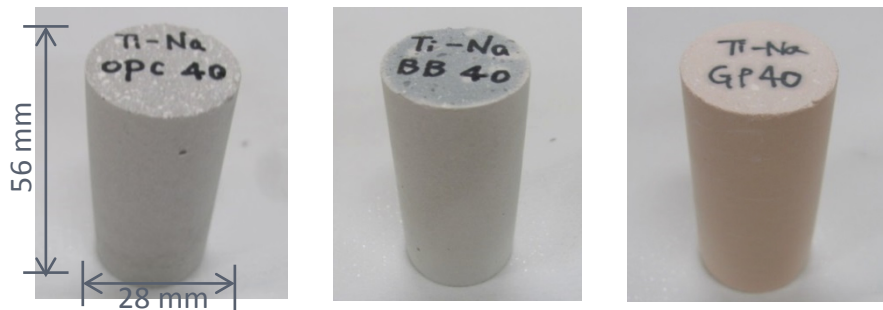


図1 作製した固化体の外観 (TiNa40%充填固化体)

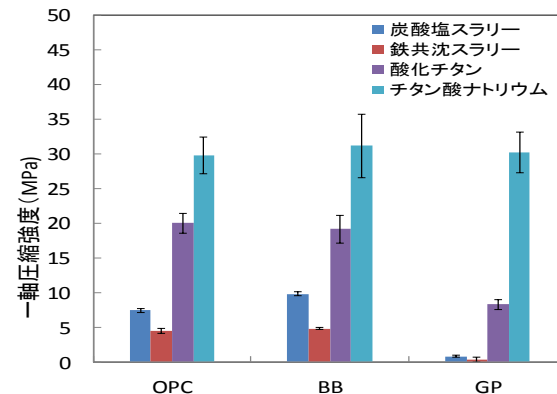


図2 固化体の圧縮強度 (40%充填固化体)

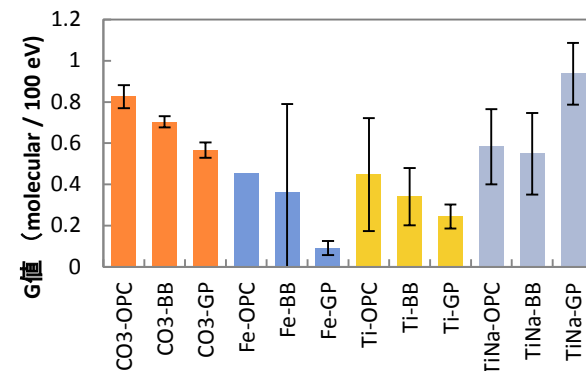
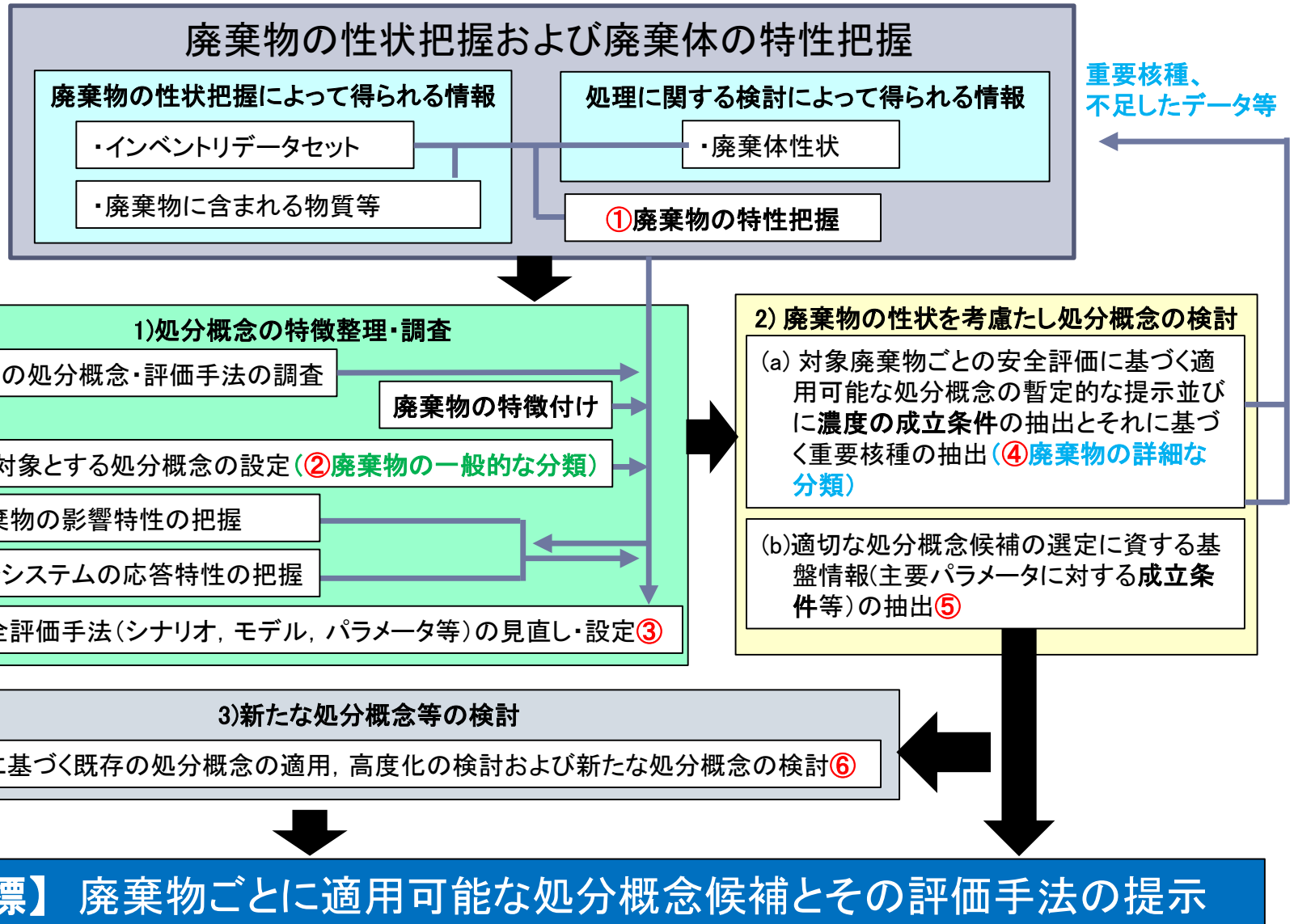


図3 自由水を対象にした水素発生G値 (40%充填固化体)

CO<sub>3</sub>:炭酸塩スラリー Fe:鉄共沈スラリー  
Ti:酸化チタン TiNa:チタン酸ナトリウム

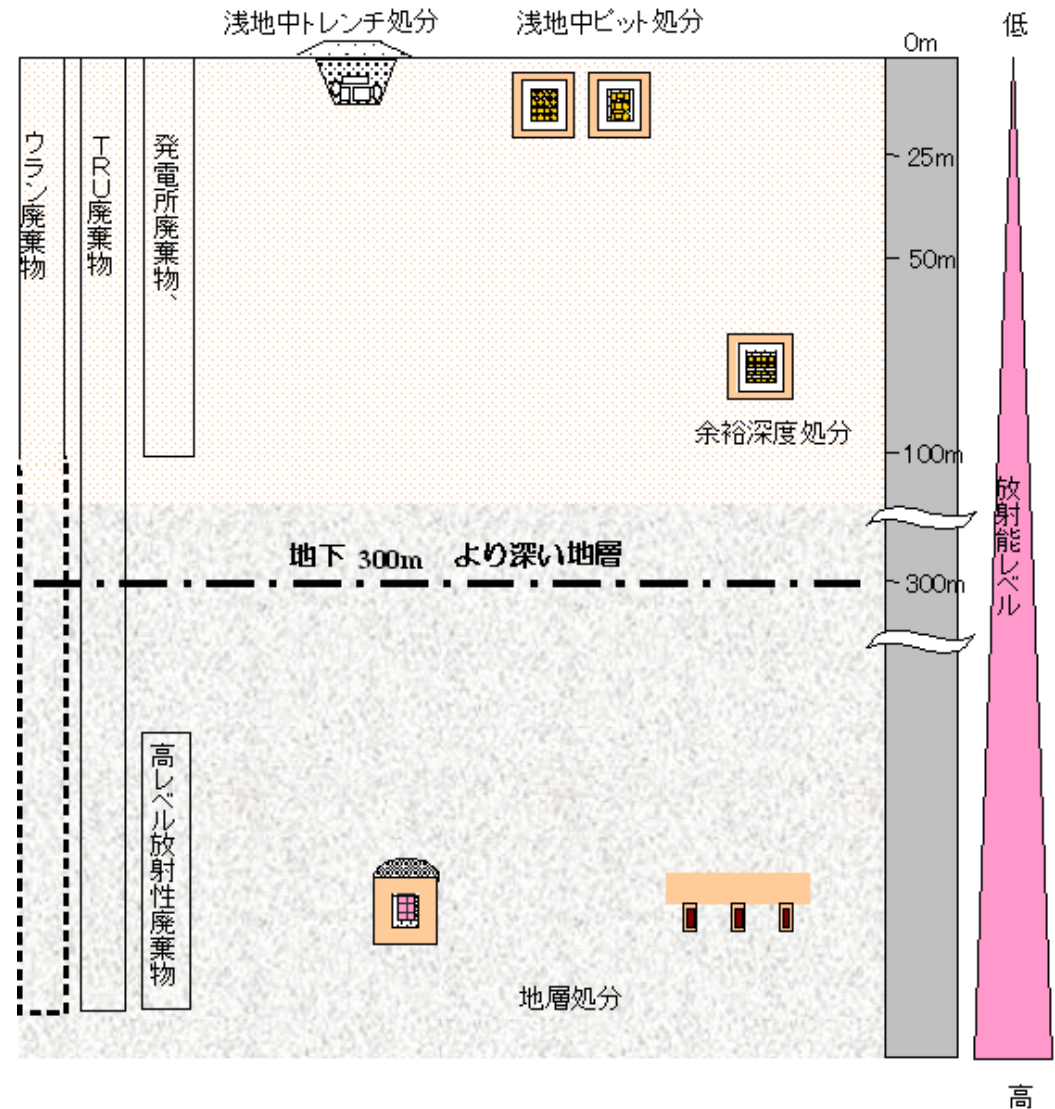


- ①性状把握, 長期保管処理の検討に基づく廃棄物の特性把握
- ②廃棄物の特性および既存の処分概念に関する知見等に基づく廃棄物を特徴づけ  
(評価対象とする処分概念の設定: **廃棄物の一般的な分類**)。
- ③評価手法(シナリオ, モデル, パラメータ, 解析ケース等)の整備  
(既存の4つの処分概念の中から適切な処分方法を選定することが目的の一つ。そのため, 処分方法の適用性を同一の尺度で評価するための整合性が確保された評価手法の整備が重要) ➡ **既存の処分の評価にはない観点での検討**
- ④整備した評価概念を用いた安全評価に基づく, 適用可能な処分概念の暫定的な提示並びに**濃度の成立条件**の抽出とそれに基づく重要核種の抽出(**廃棄物の詳細な分類**)  
\* 既存の基準線量相当濃度に代わり, それに相当する「濃度の成立条件」を提示する。この「濃度の成立条件」は, 廃棄物の詳細な分類のための境界値となる情報である。また, 「濃度の成立条件」を参照することで, 重要核種の抽出が可能になる
- ⑤感度解析を通じた安全確保, 安全裕度の向上に効果的な工学バリアの設計条件等の基盤情報の整備(成立条件の抽出)  
例) 工学バリア等に関連する主要なパラメータに対する成立条件を, 適切な処分概念候補の選定に資する基盤情報として整備する。これらの成立条件に関する情報をフィードバックすることで, 精度の高いデータ取得や効率的な検討に反映させる。
- ⑥基盤情報に基づく既存の処分概念の適用, 高度化の検討および新たな処分概念の検討

\* 2007年の濃度上限値の推奨値は, 代表的に設定されたシナリオ, モデル, パラメータに基づいて求められた基準線量相当濃度に基づいて算出された値である。この基準線量相当濃度は, 主要な核種に対して求められ, 濃度上限値と異なり, 廃棄物中の核種の平均濃度との比較が可能な目安値である。しかし, この基準線量相当濃度は, 安全性を論じるために必ずしも十分なシナリオ等に基づいたものではないため, 処分の観点に基づく廃棄物の定量的な**詳細な分類**として, 必ずしも十分ではない。

放射性廃棄物の処分方法は、深さ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り、4つに分類される。

- ・浅地中トレンチ処分  
人工構築物を設けない浅地中埋設処分
- ・浅地中ピット処分  
コンクリートピットを設けた浅地中への処分
- ・余裕深度処分  
一般的な地下利用に対して十分余裕を持った深度（地下50～100m）への処分
- ・地層処分  
地下300mより深い地層中に処分





- アプローチ①～④は、従来の安全評価プロセスと同じ(図1参照, ①, ②=1., 2., ③=3., 4., ④=5., 6., 7.)
- アプローチ⑤は、処分概念の安全性確保, 安全裕度の向上に関連する工学バリアの設計パラメータ等を対象にして成立条件を抽出する新規のプロセス。
- アプローチ⑤には、従来の基準線量相当濃度の導出プロセス(図2参照)が含まれる。基準線量相当濃度は、線量と濃度との線形性を利用して濃度に関する成立条件を抽出したもの(⑤=図2の6.)。線量との線形性が保証できないパラメータについては、感度解析的な手法に基づく必要がある。複数の廃棄物に対して安全性を確保し、合理的かつ実現可能な処分概念を検討するためには、バリアの有無, 幾何形状の変更等を考慮した逐次的な検討ではなく、成立条件の抽出などの感度解析的な手法が効率的。
- アプローチ⑥は、従来の安全評価の一部として実施されるプロセス。(⑥=8., 9., 10.)
- 事故廃棄物の処分検討は、図1の従来のアプローチの中の1.～7.に基づいて廃棄物の詳細な分類を行いつつ, 8., 9., 10のプロセスにより、適切な処分概念を構築する検討

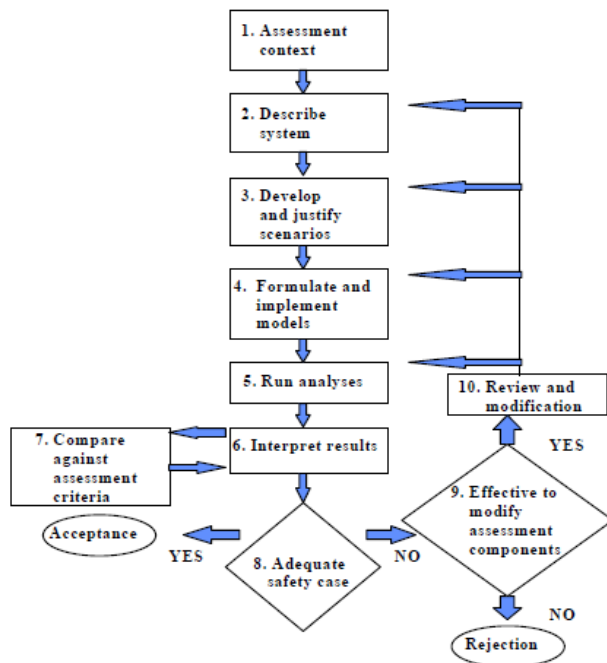


図1 安全評価のプロセス(IAEA-TECDOC-1380 p9, FIG.1より)

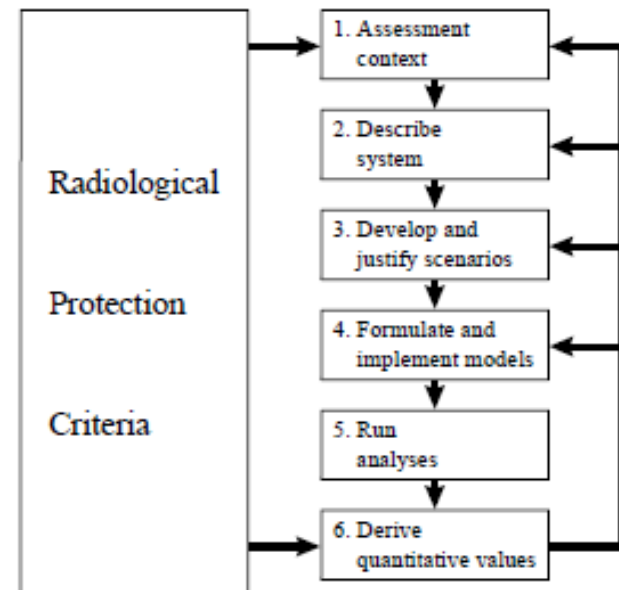
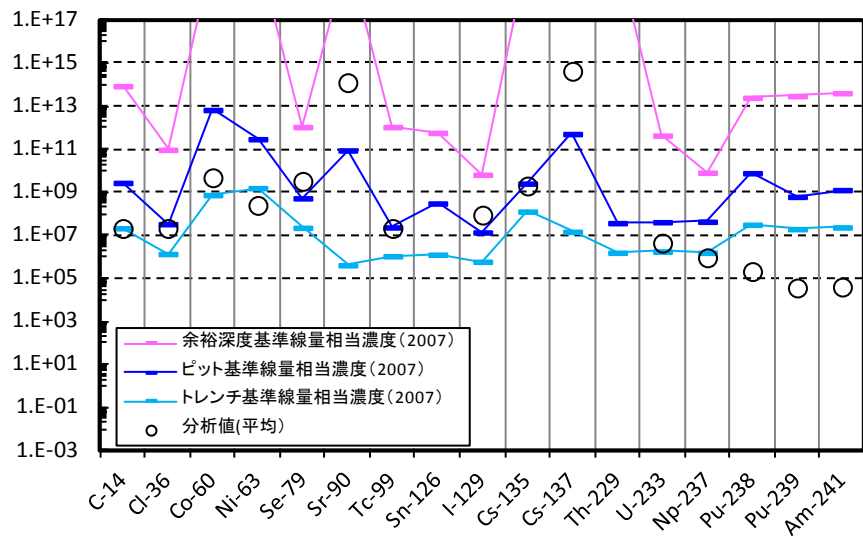


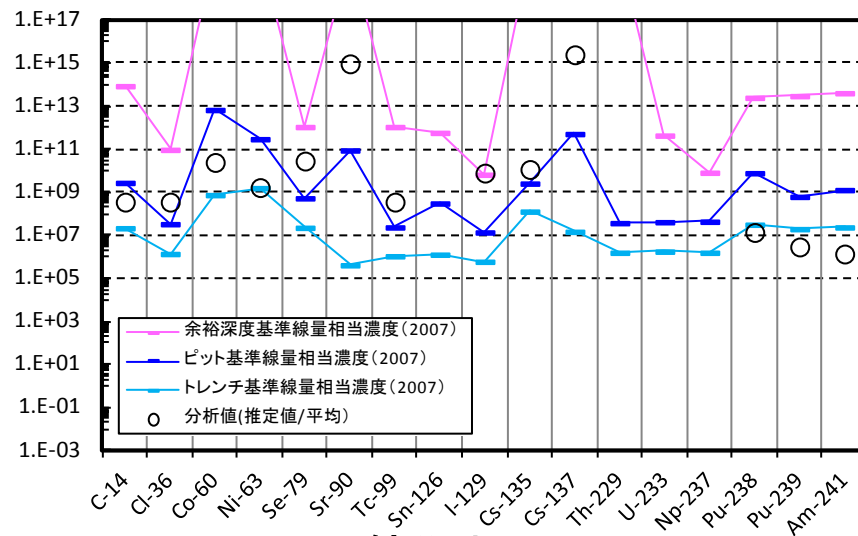
図2 基準線量相当濃度導出のために用いられたアプローチ  
(IAEA-TECDOC-1380 p9, FIG.1より)

## 分析結果等に基づく濃度の推算値(Bq/t)と基準線量相当濃度(2007年)との比較

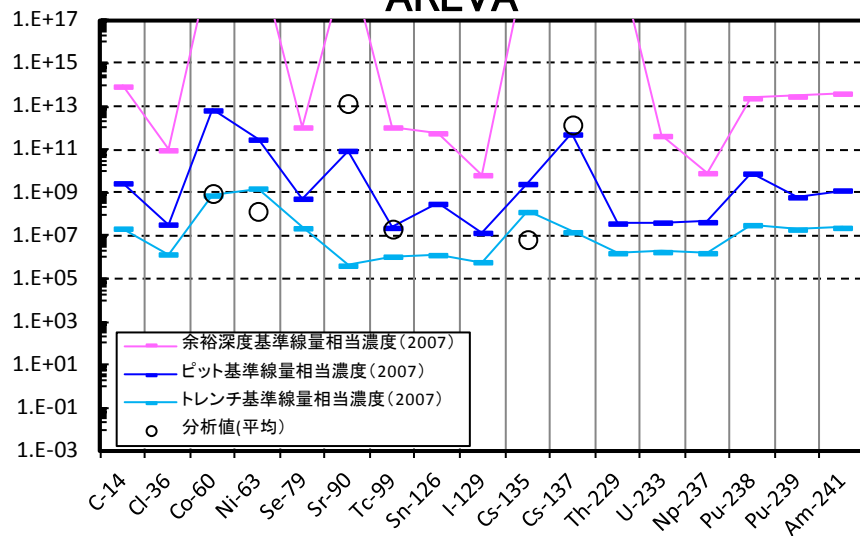
KURION



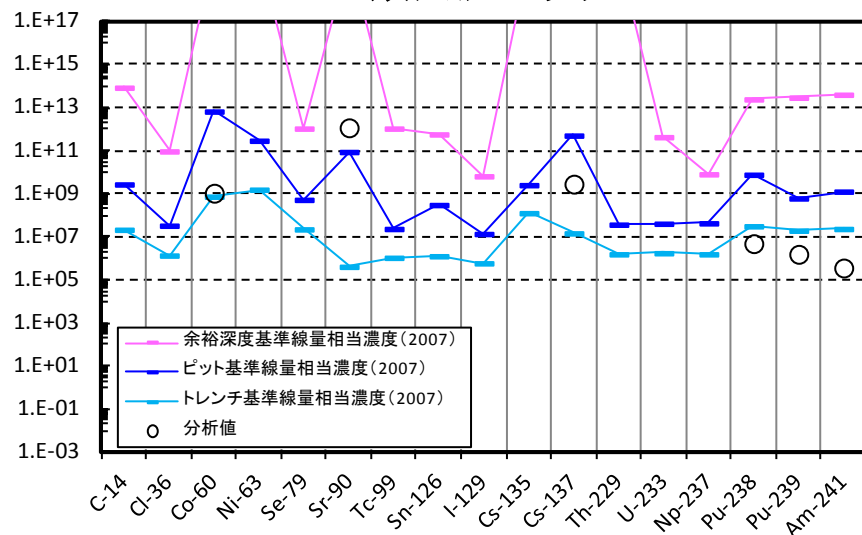
SARRY



AREVA



鉄共沈スラリー



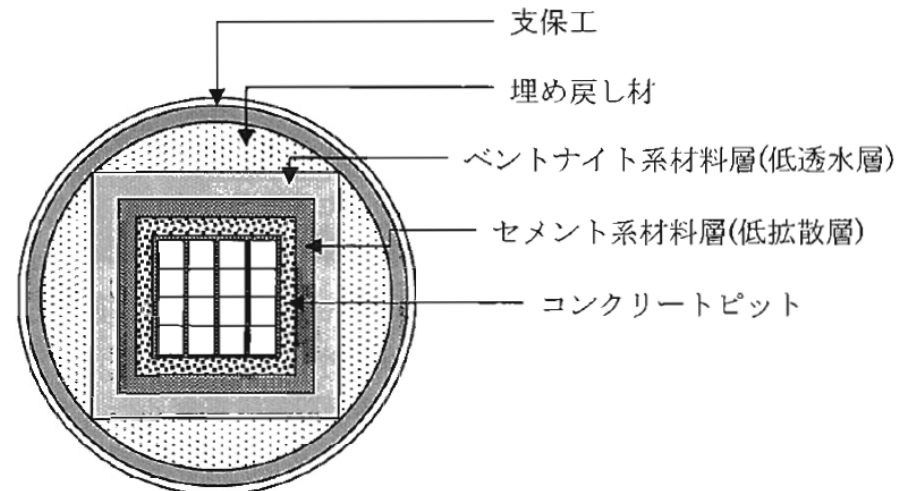
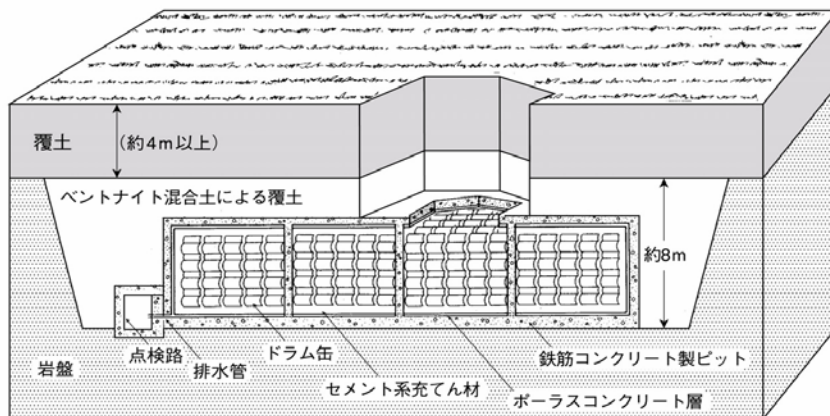
検討対象とする 既存の処分概念	参考とする 文献	評価対象廃棄物				
		燃料デブリ	水処理2次廃棄物	瓦礫	伐採木	解体廃棄物
トレンチ処分	学会標準			○	○	○
ピット処分			○	○	○	○
余裕深度処分		○ (TRU Gr.2の キャニスター及 び角型容器を適 用)	○	○	○	○
地層処分	地層処分第2次 取りまとめ	○ (縦置き)				
TRU地層処分	TRU2次レポート		○ (TRU Gr.1の 坑道設計を適用)			

- \* 個々の廃棄物に適用可能と考えられる処分概念候補を3種類程度選定して、評価を実施。
- \* 水処理二次廃棄物11種について、ピット処分では、一括評価、余裕深度処分では、個別評価とした。



## 評価対象とした処分概念の仕様の設定

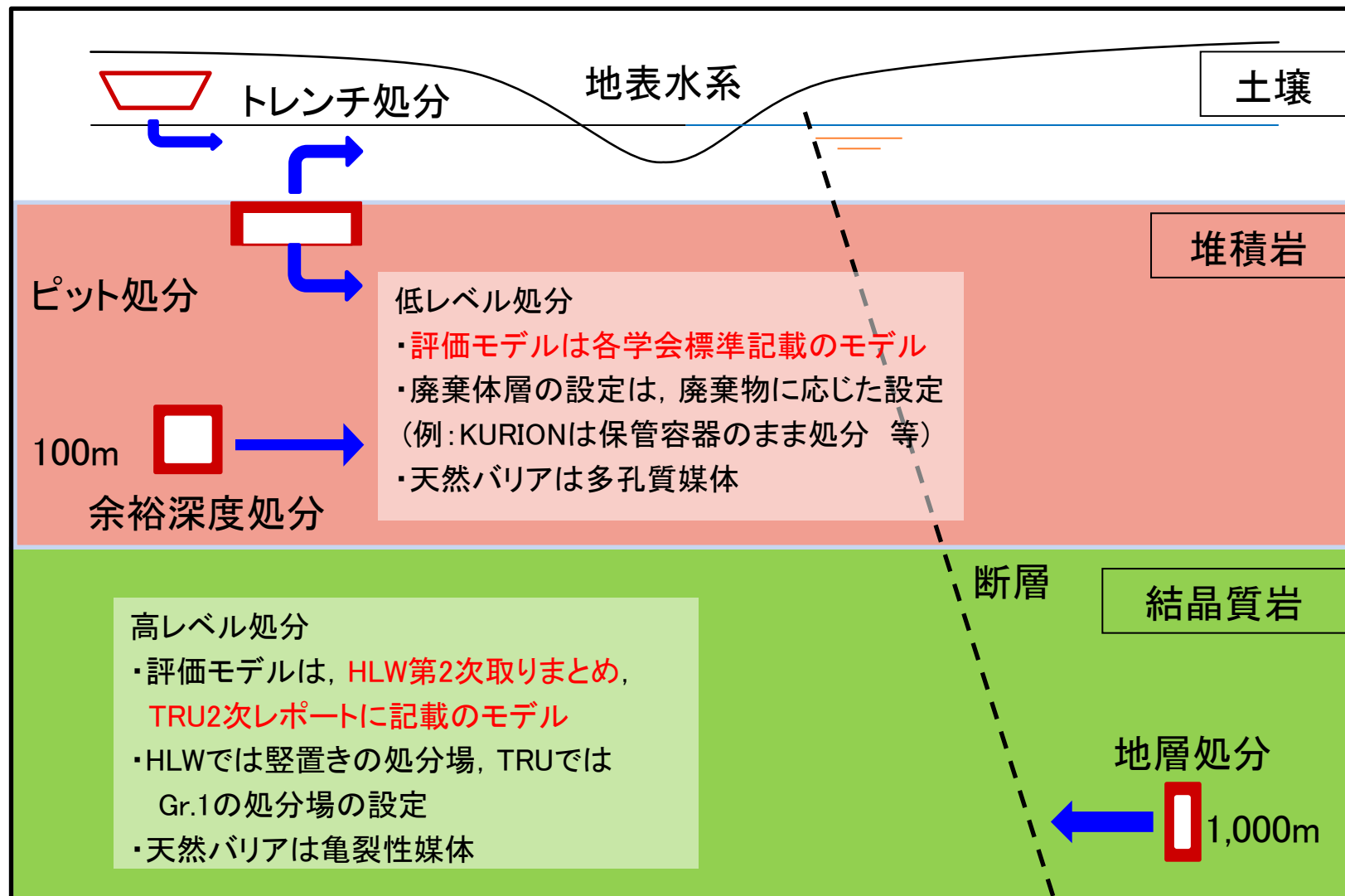
処分概念	処分概念の仕様の参照先
トレンチ処分	学会標準(浅地中トレンチ処分の安全評価手法:2013, AESJ-SC-F024:2013)
ピット処分	学会標準(浅地中ピット処分の安全評価手法:2012, AESJ-SC-F023:2012)
余裕深度処分	学会標準(余裕深度処分の安全評価手法:2008, AESJ-SC-F012:2008)
HLW地層処分	HLW第2次取りまとめ(わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性:JNC TN1400 00-023)
TRU地層処分	TRU2次レポート(TRU廃棄物処分技術検討書:JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02)



コンクリートピット処分の施設概念図(原子力安全委員会(編), 2000b)

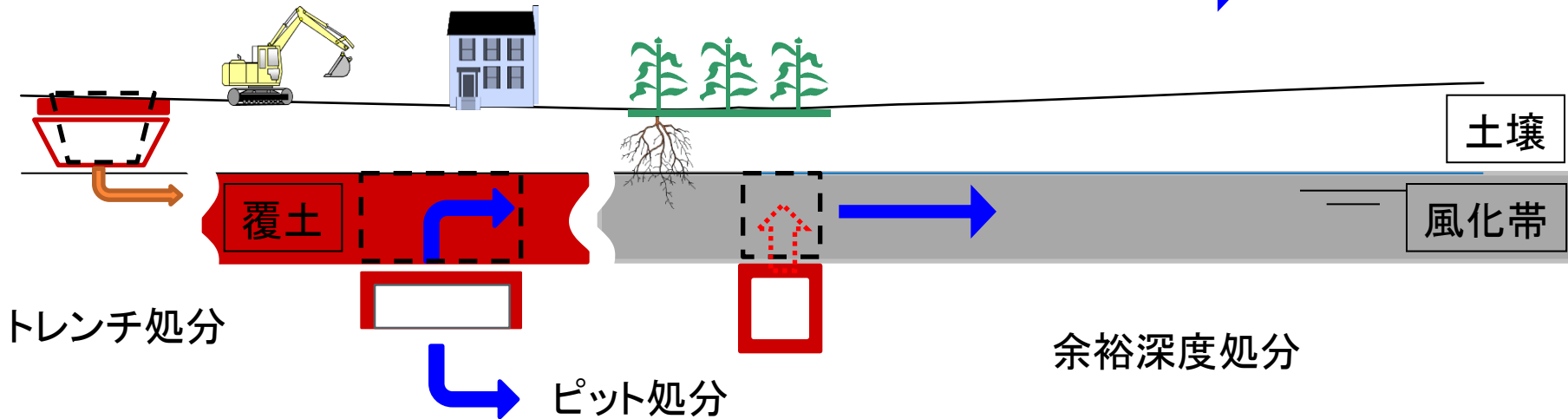
	基本シナリオ			変動シナリオ			稀頻度シナリオ		人為事象シナリオ			
	地下水移行シナリオ	ガスシナリオ	土地利用シナリオ	地下水移行シナリオ	ガスシナリオ	土地利用シナリオ	地震活断層活動による力学的な破壊の影響	火山・火成活動による力学的な破壊及び熱的/化学的な劣化の影響	直接掘削コア観察シナリオ	移行経路短絡シナリオ	ボーリング地下水摂取シナリオ	その他(近接トンネル、貫通トンネル、大開発土地利用)
トレンチ処分		—			—		—	—	—	—	—	—
ピット処分		—					—	—	—			—
余裕深度処分		—					—	—				—
地層処分(HLW)		—	—			—	—	—		—	—	—
地層処分(TRU)		—	—			—	—	—		—	—	—

— 本検討では評価を実施しない(今後の検討項目)
  本検討での評価対象
  試算として実施



- ・建設作業の外部被ばく・内部被ばく
- ・居住の外部被ばく・内部被ばく
- ・農耕の農産物摂取による内部被ばく

- : 風化帯と処分場の混合
- : 地下水の流れ



- ・覆土と廃棄物の混合希釈と覆土からの食物摂取を考慮
- ・基本は学会標準の値
- ・変動では、関連パラメータ(混合希釈割合、植物の根からの吸収率、年摂取量)を保守値に変更
- ・土地利用シナリオの評価は管理期間(50年)終了後
- ・埋設直後核種の漏出開始

- ・廃棄物層から覆土(基本), または、風化帯となる覆土(変動)への核種の移行を考え、その利用による影響を考える。
- ・変動では、関連パラメータ(風化帯の厚さ、埋設施設領域の侵食時間、降雨浸透量)を追加して風化帯となる覆土への核種移行量に基づいて計算
- ・土地利用シナリオの評価は管理期間(300年)終了後
- ・埋設直後核種の漏出開始

- ・隆起侵食による処分場の風化帯への侵入
- ・処分場の侵食速度(30万年後に地表近接)に応じて、人工バリア内残留核種が風化帯に移行。
- ・風化帯濃度による被ばく評価
- ・変動では、関連パラメータ(埋設施設領域の侵食時間、降雨浸透量)を追加して風化帯への核種移行量に基づいて計算
- ・土地利用シナリオの評価は管理期間(300年)終了後
- ・埋設直後核種の漏出開始

## \*解析ケース記号\*\*1がレファレンスケース

解析ケース 記号	瓦礫(R) 伐採木(T)	トレンチ処分(T)					
		TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6
シナリオ・解析ケースの 概要	基本 地下水	基本 土地利用	変動 地下水 (地下水流動増大)	変動 地下水 (収着無視)	変動 地下水 (海水の影響)	変動 土地利用	
	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5	TT6	

解析ケース 記号	水処理2次廃棄物(C) 瓦礫(R) 伐採木(T)	ピット処分(P)										
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
シナリオ・解析ケースの 概要	基本 地下水	基本 土地利用	変動 地下水 (人バリエータ地下水量増大)	変動 地下水 (地下水流量増大 (人バリエータ・天バリエータ))	変動 地下水 (収着無視)	変動 地下水 (海水の影響)	変動 地下水 (分配係数の最大値)	変動ガス	変動 土地利用	変動 土地利用 (分配係数の最大値)	人為	
	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR8	PR9	PR10	PR11	
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9	PT10	PT11	

解析ケース 記号	燃料デブリ(F) 水処理2次廃棄物(C) 瓦礫(R) 伐採木(T)	余裕深度処分(S)									
		SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7	SF8	SF9	
シナリオ・解析ケースの 概要	基本 地下水	基本 土地利用	変動 地下水 (浸透水量増大と移行 経路長短縮)	変動 地下水 (海水の影響)	変動 地下水 (分配係数の最大値)	変動ガス	変動 土地利用	変動 土地利用 (分配係数の最大値)	人為(コア観察)		
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9		
	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9		
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9		

		高レベル地層処分(H)										
解析ケース 記号	燃料デブリ(F)	HF1	HF2	HF3	HF4	HF5	HF6	HF7	HF8	HF9	HF10	HF11
シナリオ・解析ケースの 概要		基本 地下水	変動 地下水 (掘削影響領域 の流量10倍)	変動 地下水 (支保工による間隙水 の変化: 低アルカリ性 コンクリート影響)	変動 地下水 (亀裂の透水量係数 分布1ヶタ増加側に シフト)	変動 地下水 (マトリクス拡散深 さの1/3)	変動 地下水 (分配係数1/100)	変動 地下水 (動水勾配10倍)	変動 地下水 (隆起・侵食)	変動 地下水 (海水の影響)	変動 土地利用	人為(コア 観察)

		TRU地層処分(U)							
解析ケース 記号	水処理2次廃棄物(C)	UC1	UC2	UC3	UC4	UC5	UC6	UC7	UC8
シナリオ・解析ケースの 概要		基本 地下水	変動 地下水 (高pHによる母岩変質影響: マトリクス拡散寄与面積 1/10)	変動 地下水 (天然有機物影響: 母 岩Kd最小値)	変動 地下水 (気候海水準: EDZ 流量10倍)	変動 地下水 (海水の影響)	変動 ガス	変動 土地利用	人為(コア観察)

■ H26年度 被ばく評価解析と基準線量相当濃度の算出を実施したケース

■ H26年度 被ばく線量解析のみを実施したケース

◆  $C > D$  ( $1 > D/C$ ) の場合  
基準線量を超える影響を与えない。  
(安全裕度有)

◆  $D > C$  ( $D/C > 1$ ) の場合  
基準線量以上の影響を与える。  
(安全裕度無)

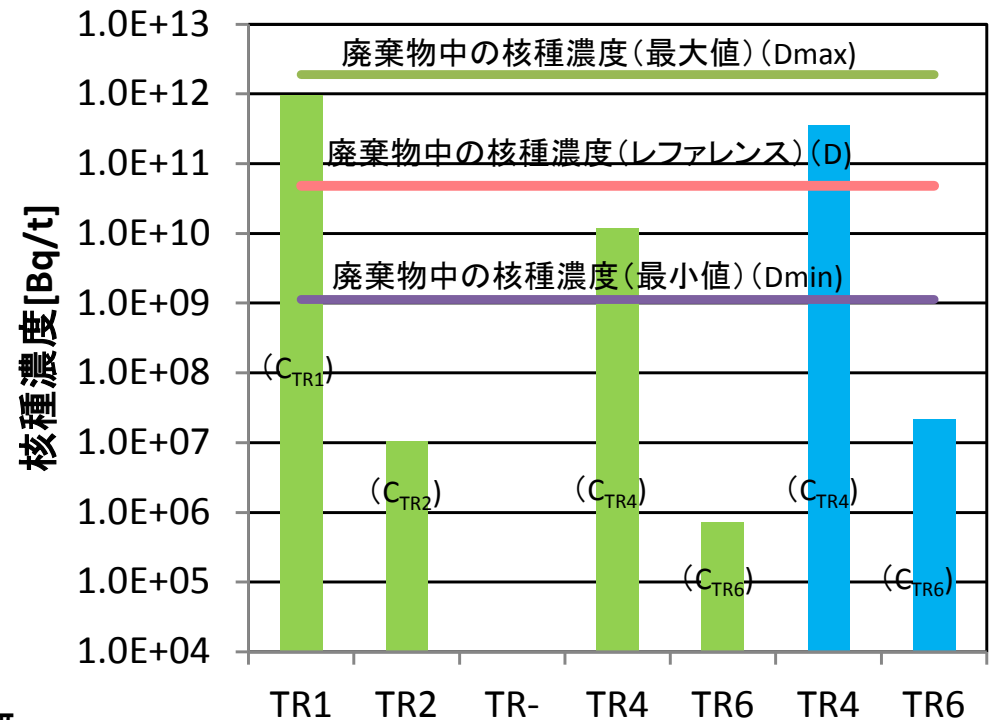
例) 右図の場合, 与えられたCs-137の廃棄体中の濃度(D) が濃度の成立条件(C)よりも高い( $D > C$ )解析ケースが存在する。このことから, 瓦礫をトレンチ処分の場合, 基準線量以上の影響を与える可能性を示唆。

\* 成立条件パラメータと線量が線形の関係にある場合は,  $D/C$ の値が, 直接, 安全性に対する倍率を表す。

◆ 個々の廃棄物ごとに想定した処分概念ごとに, 主要核種に対する濃度の成立条件を算出し, 廃棄物の詳細な分類を実施

◆ 成立条件は, 解析ケースに依存。そのため, シナリオ, 解析ケースの選定が重要

## トレンチ処分(瓦礫): Cs-137



## 濃度の成立条件(C)と廃棄物中の核種濃度(D)の比較

TR1: 基本地下水移行ケース(レファレンスケース) ■  
 TR2: 基本土地利用ケース( $10 \mu\text{Sv/y}$ ) ■  
 TR4: 変動地下水ケース(収着無視:  $10 \mu\text{Sv/y}$  ■ と  $300 \mu\text{Sv/y}$  ■ を考慮)  
 TR6: 変動土地利用ケース(廃棄体層と覆土の混合割合を変更:  $10 \mu\text{Sv/y}$  ■ と  $300 \mu\text{Sv/y}$  ■ を考慮)

## 福島第一原子力発電所の廃止措置(廃棄物対策)の課題

- ◆ 廃棄物の長期安全性(処分後の安全性)を考慮した実現可能な合理的な廃棄物の保管・処理・処分方法の構築
  - 廃棄物の性状に関する情報が必ずしも十分でない状況においては、既存の技術を用いた処理・処分の検討によって得られた情報をフィードバックするなどして、性状把握の効果的な進展を図る。
  - これらの検討を繰り返し実施することで、適切な廃棄物の保管・処理・処分方法を絞り込んでいく。
- ◆ 廃棄物特性の詳細把握
  - 分析精度・効率の向上, インベントリ推定技術の開発
  - インベントリデータセットの信頼性の向上
  - 影響因子の把握
- ◆ 適用可能な合理的な保管・処理技術の開発
  - これまで対象としたことのない種類の廃棄物を処理するための技術開発
- ◆ 適用可能な安全かつ現実的な処分方法の設定
  - 複数の処分概念を横並びにして、適用可能な処分概念を選定するための統合的な評価手法の整備
  - これまで対象としたことのない種類, 量の廃棄物を処分するための検討