

「平成28年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」、及び「平成29年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発（先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発）」

（性状把握、保管・管理、処分、及び廃棄物ストリームに係る検討）

平成30年度実施分成果報告

令和元年7月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

1. 全体概要及び研究の進め方 (P.2～9)

2. 性状把握に係る研究 (P.10～55)

- ・性状把握 (H28年度補正予算事業)
- ・簡易・迅速な分析方法の検討 (H29年度補正予算事業)

3. 保管・管理に係る研究 (P.56～95)

- ・水素発生への対策 (H28年度補正予算事業)
- ・燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (H28年度補正予算事業)
- ・固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発 (H29年度補正予算事業)

4. 処分に係る研究 (P.96～148)

- ・固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討 (H28年度補正予算事業)
- ・処分影響物質などへの対応 (H28年度補正予算事業)
- ・固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法 (H29年度補正予算事業)

5. 廃棄物ストリームに係る研究 (P.149～168)

- ・研究開発成果の統合 (廃棄物ストリームの構築) (H28年度補正予算事業)

6. 実施スケジュールと体制 (P.169～177)

- ・スケジュールと実施体制 (H28年度補正予算事業及びH29年度補正予算事業)

1. 全体概要及び研究の進め方

研究開発の位置付け

- ◆「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」及び「研究開発プロジェクトの進捗状況及び次期計画の方向性」*1に基づき、廃炉・汚染水対策の事業が進められている。
- ◆廃炉・汚染水対策に資するよう、中長期ロードマップや「東京電力ホールディングス(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2017」*2に基づいて、固体廃棄物の処理・処分に関する技術の研究開発を実施した。

*1 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議, 第39回(2017).

*2 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, 東京電力ホールディングス(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2017(2017).

中長期ロードマップの方針

- ◆ 廃棄物対策の基本的考え方*（研究開発に係る箇所抜粋。一部修文）
 - 固体廃棄物の処理・処分の検討を進めていくために、核種組成、放射能濃度等の性状を把握することが必要。
 - 発生した固体廃棄物については、その性状を踏まえて安全かつ合理的な保管・管理を行う。
 - 固体廃棄物をより安全に保管・管理するため、処分の技術的要件が決定される前に、安定化・固定化するための処理（先行的処理）の方法を合理的に選定する手法を構築し、先行的処理の方法を選定する。
 - 固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発を効率的に進めていくため、性状把握、処理、処分の研究開発の各分野の連携を密にする。各分野の検討状況や課題を共有し、固体廃棄物の管理全体を俯瞰した上で、必要な研究開発課題を確認しながら進めていく。



2021年度頃までを目処に処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを示す。

* 2017年9月26日改訂。

技術戦略プラン2017の方針

- ◆ 固体廃棄物の処理・処分に係る戦略的提言* (一部修文)
 - － 処分の見通しを得るまでの間は、処分前管理のうち性状把握、保管・管理、先行的処理等に重点

項目	研究開発内容
性状把握の推進	<ul style="list-style-type: none">• 分析データと移行モデルに基づく評価データを相補的に組み合わせた性状把握方法の構築• 分析試料数の最適化や分析方法の簡易・迅速化等
保管・管理の徹底	<ul style="list-style-type: none">• 保管・管理期間中に水処理二次廃棄物等から発生する水素ガスの発生量の評価方法、対策について検討• 燃料デブリ取出しに伴って発生する固体廃棄物の保管・管理方法等の検討
処分を念頭に置いた先行的処理方法の選定手法の構築	<ul style="list-style-type: none">• 複数の処分方法に対して、暫定的な廃棄体の安全性の評価を実施し、処理方法を選定する手法を構築
固体廃棄物の管理全体を俯瞰した効率的な研究開発の推進	<ul style="list-style-type: none">• 各分野の検討状況や課題を共有し、固体廃棄物の管理全体を俯瞰し、必要な研究開発課題を確認しつつ推進

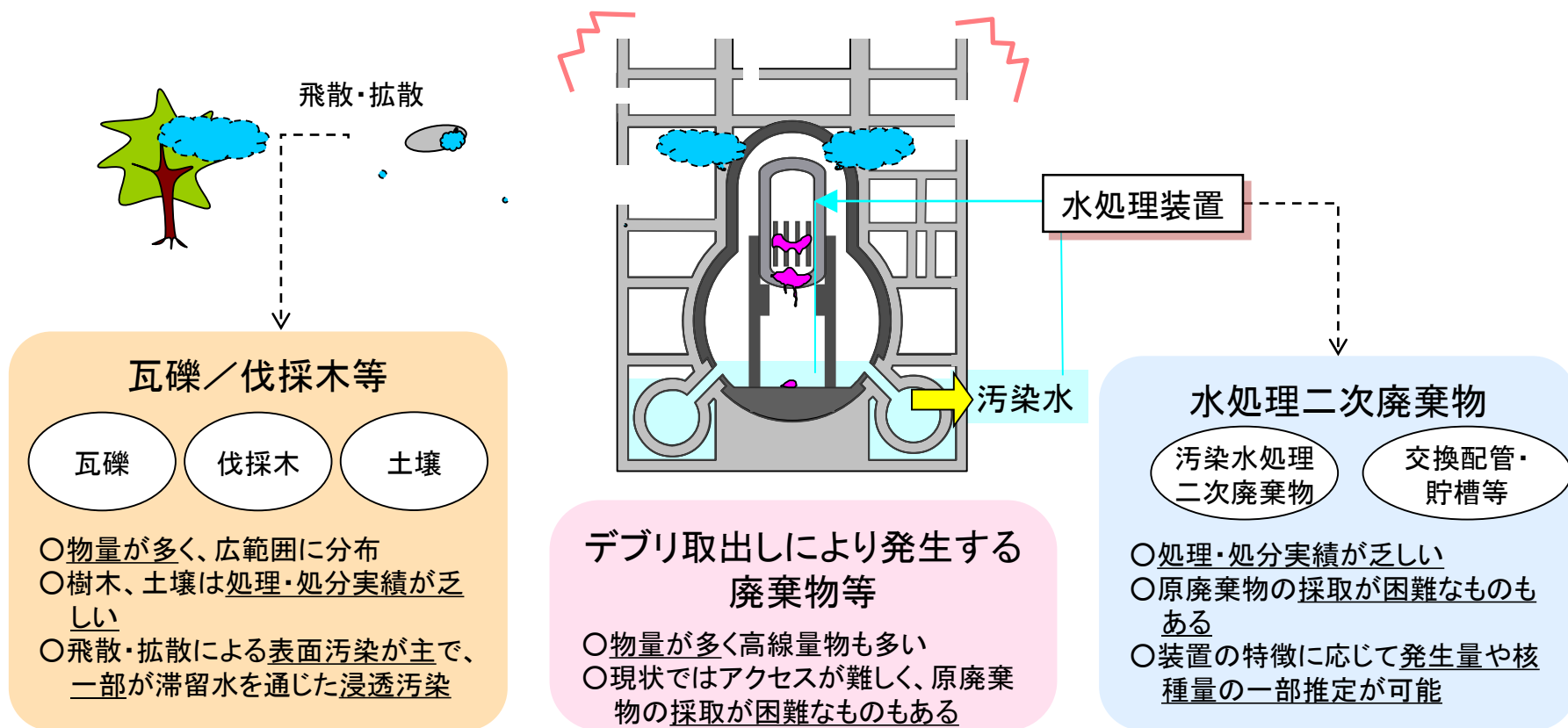
* 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017 (2017).

計画の具体化と実施

- ◆ 研究開発の主要な4つの項目(性状把握、処分前管理、固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法、研究開発成果の統合)のそれぞれについて具体化した。
 - 廃棄物の特徴を踏まえて計画を検討した。
 - 技術戦略プラン2017の工程表を参考に、これを着実に実施、達成するよう計画した。
 - 各項目の検討を並行して進めるため、適切な分担を考慮するとともに、情報を共有しつつ進めた。
- ◆ 目標達成を判断する指標を設定し、実施した。

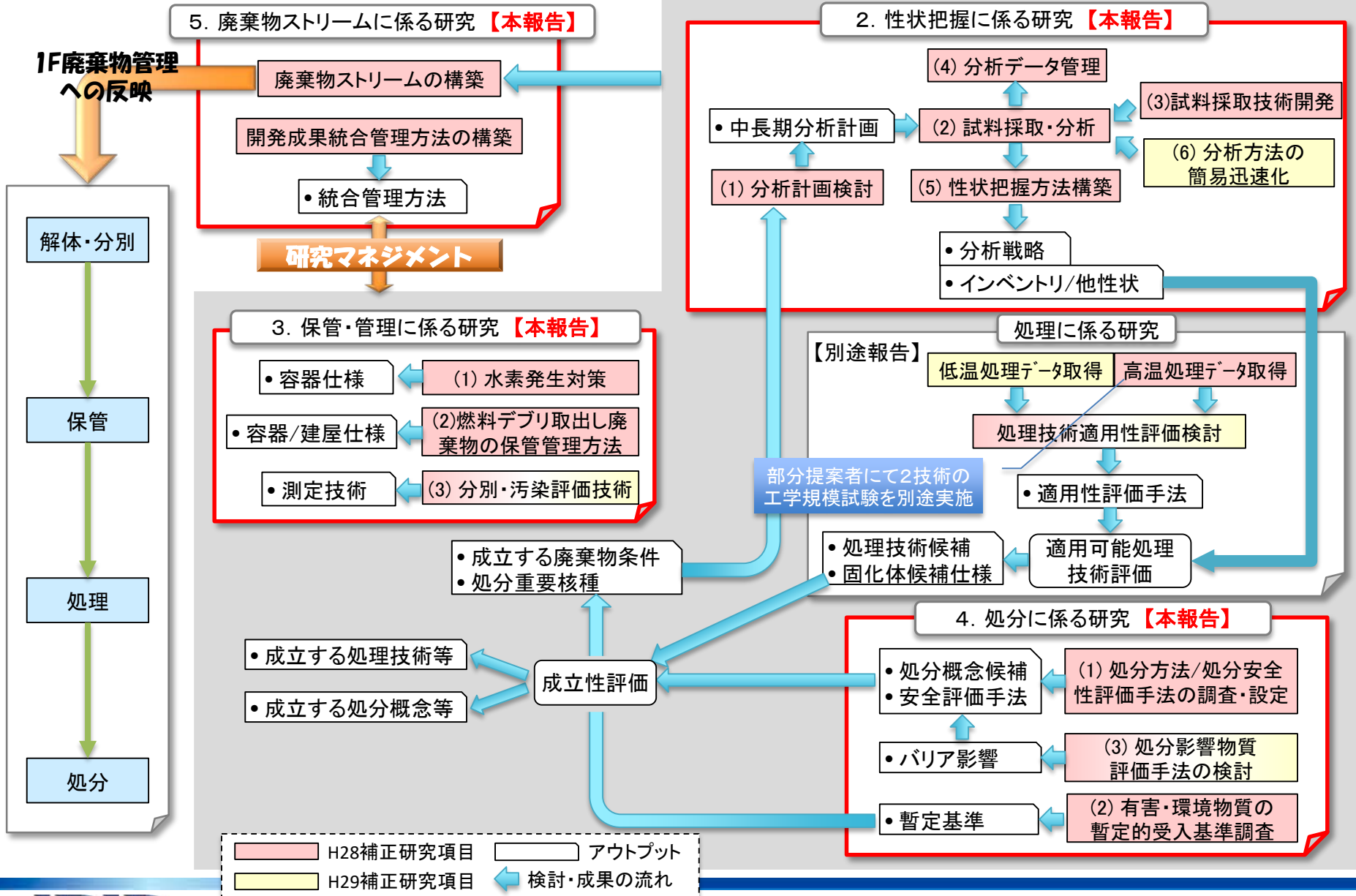
考慮した福島第一事故廃棄物の特徴(推定)

- ◆ 事故により管理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)



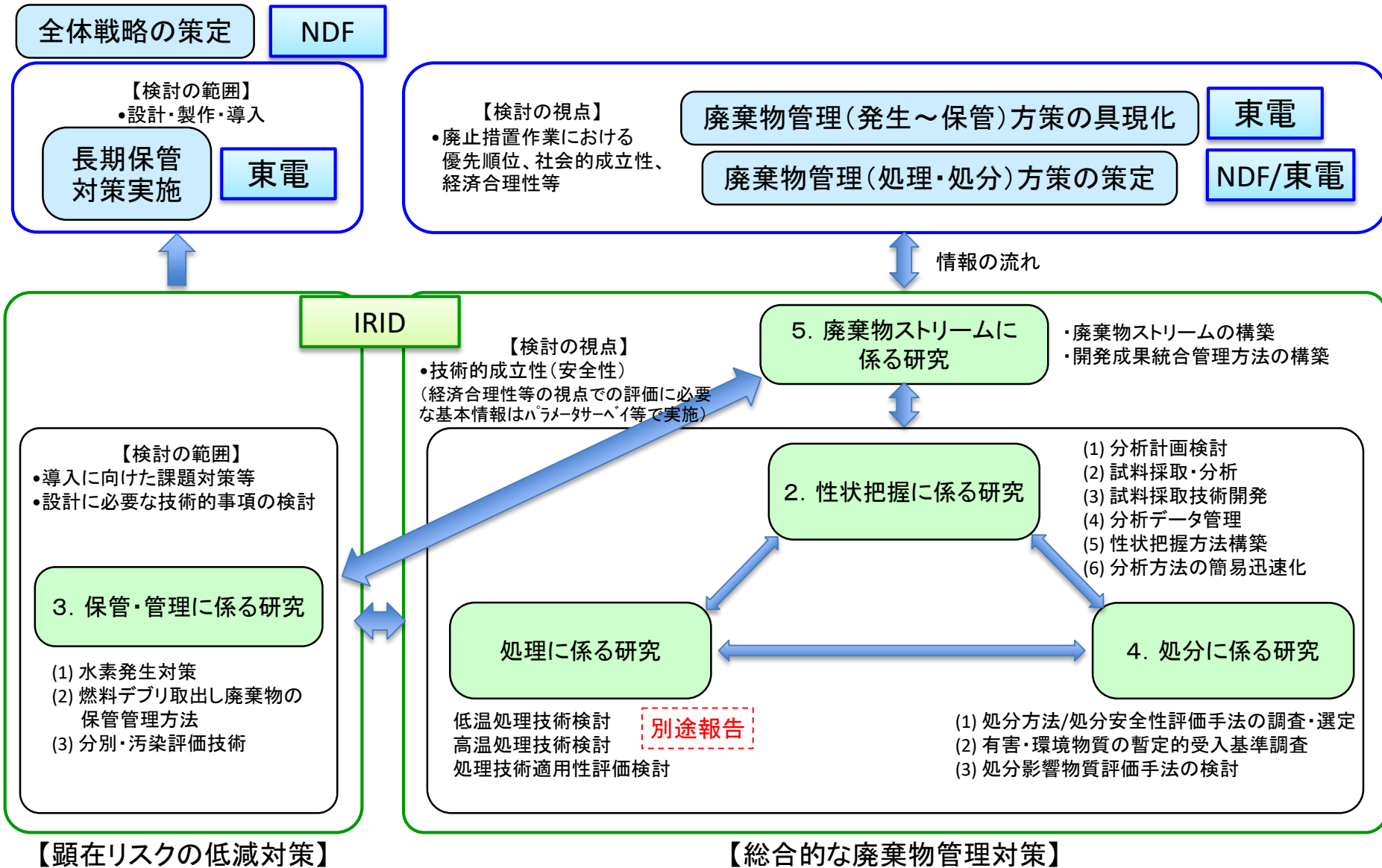
* 放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。

研究開発項目と検討・成果の流れ



1. 全体概要、研究の進め方

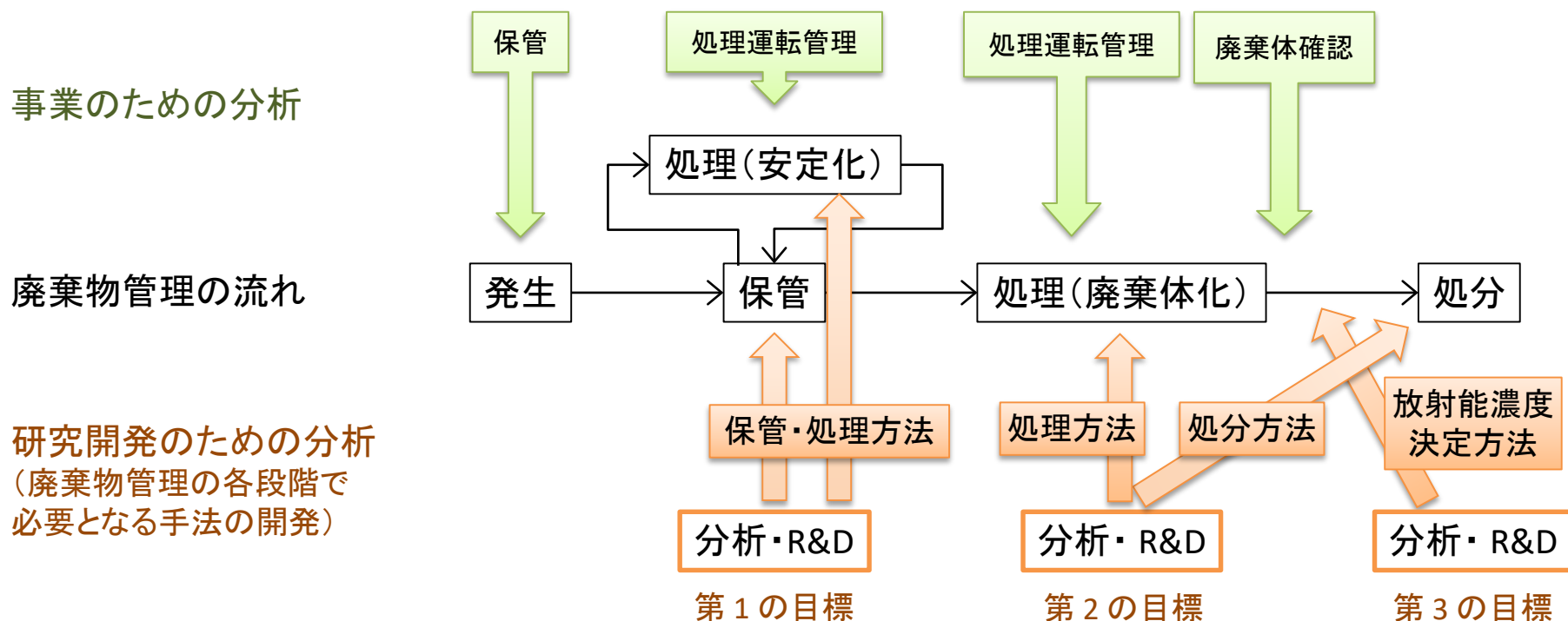
— 関係機関の役割分担と検討の範囲・視点 —



2. 性状把握に係る研究

分析の目的

- 分析は、廃棄物管理を含む廃炉事業の実施とそのための研究開発に必要である。
- 廃棄物管理では、保管、処理、処分に大別される各段階に対して、異なる目的の分析が求められる。主な目標は、保管・処理方法、処分方法、放射能濃度決定方法の確立である。
- 本事業では、水処理二次廃棄物の安定化(先行的処理)と処分に係る安全確保を主な目的として分析を実施した。



報告内容

(1) 分析計画検討

(2) 試料採取・分析

- ① 試料採取と輸送
- ② 分析の実施

(3) 試料採取技術開発

- ① スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取
- ② 原子炉施設建屋内試料等の採取方法の検討

(4) 分析データ管理

(5) 性状把握方法構築

- ① 汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討
- ② 分析データに基づく廃棄物分類の検討
- ③ 分析データの代表性に関する検討
- ④ 解析的評価手法の精度向上
- ⑤ 総合的なインベントリ評価の取りまとめ
- ⑥ 精度向上に資するデータの収集

(6) 分析方法の簡易・迅速化

- ① 分析方法の効率化・合理化に関する検討
- ② 簡易・迅速な分析方法の検討

技術戦略プラン2017* との対応

事項/年度	第2期（燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間）					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ△			処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し△		
I. 性状把握	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、高線量試料採取準備、データの公開					
1. 分析データの取得・管理等	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、高線量試料採取準備、データの公開			瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、原子炉建屋内試料、高線量試料採取、分析手法の効率化、データベース構築		試料採取・分析の進展への対応
2. 解析的評価手法の精度向上	水処理二次廃棄物・瓦礫・伐採木・土壌に対する評価手法開発			分析結果のばらつきを反映した解析的インベントリ評価の精度の向上		評価手法の高度化
3. 総合的なインベントリ評価の取りまとめ	分析計画の立案、更新			分析データと放射能インベントリの推定値の総合的評価、インベントリの推定、更新する流れの構築		
4. 処分影響物質等への対応				処分前管理及び処分施設における暫定的受け入れ濃度等に係る考え方の整理		影響の解析評価の準備

* 東京電力ホールディングス(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2017(原子力損害賠償・廃炉等支援機構(2017)).

(1) 分析計画検討 (1/2)

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 中長期ロードマップに示されている目標工程や判断ポイント、これまでに得られた分析データや各種の汚染挙動に関する知見、入手し得る分析試料の見通しなどをもとにして、中長期の分析計画を立案する。瓦礫、土壌、焼却灰、水処理二次廃棄物、建屋の地下に滞留する汚染水等を対象として含める。 年間の分析計画を立案する。 	<ul style="list-style-type: none"> 中長期分析計画を策定する。 年間分析計画を策定する。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 年間の分析計画を立案する。 	<ul style="list-style-type: none"> 年間分析計画を策定する。

- 年間の計画として、瓦礫類、汚染水、水処理二次廃棄物及び土壌を対象として試料の採取、輸送、分析を進めることとし、昨年度より継続して実施した(表1)。
- 分析データは事務局会議にて2回(第56回、60回)報告した。また、分析が終了したもののについて、報告の準備を進めている。

赤文字は本プロジェクトで採取した試料

表1 2018年度分析計画(輸送と分析の状況) (1/2)

分類	種類	試料	点数	分析施設*1	輸送	分析状況
瓦礫類	床・盤類	4号機原子炉建屋 1~5階 コンクリートのボーリングコア	8	NDC	2017.12.15	第60回報告
	除染試験試料	1~3号機 床・壁の除染資材(ネル布、ストリッパブルペイント、ボーリングコア、他)	17	JAEA原科研	2018.3.29	第65回報告
	瓦礫類	2号機 TIP 配管内閉塞物、1号機PCV堆積物		NFD	-*2	第65回報告
		原子炉建屋内・周辺瓦礫、覆土保管瓦礫(放射能分布)	5	JAEA大洗	2017.2.10	第56回報告
		原子炉建屋瓦礫、覆土保管瓦礫、タービン建屋砂礫(放射能分布)	5	JAEA大洗	2018.2.27	分析中
		覆土第4槽コンクリート等(放射能分布)	12	JAEA大洗	2019.2.14	分析中

*1 JAEA: 日本原子力研究開発機構, 原科研: 原子力科学研究所, 大洗: 大洗研究所, NDC: ニュークリア・デベロップメント株式会社, NFD: 日本核燃料開発株式会社.

*2 他のプロジェクトで以前に輸送されたもの.

(1)分析計画検討 (2/2)

表1 2018年度分析計画(輸送と分析の状況) (2/2)

分類	種類	試料	点数	分析施設*1	輸送	分析状況
解体	瓦礫類	2号機原子炉建屋(ルーフブロック、笠木、敷砂)	9	NDC	2018.9.14	終了(報告予定)
		2号機原子炉建屋(外壁ボーリングコア)	12	JAEA原科研	2018.12.12	分析中
	スラッジ	2~4号機タービン建屋スラッジ	10	NDC	2018.9.14	終了(報告予定)
汚染水	滞留水	1~3号機原子炉建屋、集中RW滞留水	8	JAEA 核サ研	2018.12.12	分析中
	処理水	既設多核種除去設備 (ALPS) 工程水	11	JAEA 原科研	2017.10.4, 2018.2.27	第56回報告
		増設ALPS 工程水	12	NDC	2017.12.15	第60回報告
		第二セシウム吸着装置 (SARRY) 工程水	3	JAEA原科研	2019.2.14	分析中
	滞留・汚染水	原子炉建屋滞留水、集中RW滞留水、セシウム吸着装置 (KURION) 工程水、SARRY工程水等(ウラン分析)	19	NFD	2017.11.10	第56回報告
		原子炉建屋滞留水、集中RW滞留水、KURION 工程水、SARRY工程水等(Np分析)*2	10	NFD	同上	終了(報告予定)
水処理二次廃棄物	スラッジ	除染装置スラッジ、上澄み液	2	JAEA 核サ研	2017.11.21	第56回報告
	吸着材	既設ALPS 酸化セリウム、活性炭、キレート樹脂2	3	JAEA 核サ研	2017.10.4	分析中
		既設・増設ALPS 酸化チタン	2	JAEA 核サ研	2018.12.12	分析中
土壌	↑	F、H、J、Kエリア 表層、H4タンクエリア(測定点A、B)	6	NDC	2017.12.15	第60回報告
		K、Pエリア、H4タンクエリア(測定点A)(粒径-放射能濃度)	3	JAEA 原科研	2017.10.4	第56回報告

赤文字は本プロジェクトで採取した試料

*1 JAEA: 日本原子力研究開発機構, 原科研: 原子力科学研究所, 核サ研: 核燃料サイクル工学研究所, NDC: ニュークリア・デベロップメント株式会社, NFD: 日本核燃料開発株式会社. *2 原子炉建屋滞留水及び集中RW滞留水の一部.

(2) 試料採取・分析 ① 試料採取と輸送 － 処理水試料の採取 －

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> 既設/増設多核種除去設備の運転に伴い発生するスラリー及び吸着材並びに運転中のセシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、既設/増設多核種除去設備からの処理水について、採取方法や採取時の被ばく線量評価等を検討したうえで、分析計画に基づき採取可能な箇所から順次試料採取を行う。加えて、現場作業と調整の上、取得可能な試料を採取し、これら取得した試料を分析施設に輸送する。 	<ul style="list-style-type: none"> 年間分析計画に基づき試料を採取し、分析施設へ輸送する。

- 水処理二次廃棄物は、高い線量率のために試料の採取が困難であり、インベントリ推定のために運転中の水処理設備から水の試料を採取した(表1)。

表1 水処理設備からの水試料の採取実績

採取対象	採取計画	実績(2017年度)		実績(2018年度)	
		採取日	数量	採取日	数量
KURION	年3回	2017.9.4	4	2018.8.29	3
		2017.12.12	3	—	—
		2018.2.20	3	—	—
SARRY	年3回	2017.7.25	2	2018.6.13	2
		2017.11.15	2	2018.10.10	2
		2018.3.15	2	2019.1.29	2
既設ALPS	A・B・C系のいずれか年3回	—	—	2018.6.15	10
		—	—	2018.11.22	10
		—	—	2019.3.15	10
増設ALPS	年2回	2017.8.30	11	—	—
		2017.12.1	10	2018.6.15	10
	B・C系のいずれか年1回	—	—	2019.1.22	10
		2017.8.30	11	2018.6.15	11

(2) 試料採取・分析 ① 試料採取と輸送 - ALPS スラリーと吸着材試料の採取 -

- 多核種除去設備の水処理二次廃棄物(スラリー、吸着材)の試料を採取した。運転中の工程から排出された物を採取するとともに、第2・第3保管施設に保管されている物を高性能容器(HIC)から採取した。(図1)
- 鉄共沈スラリー(27点)、炭酸塩スラリー(9点)、吸着材(24点)を採取した。(表1、2)
 - ✓ 本事業で得たスラリー分析データ(含水率等)に基づき作業設計のための被ばく線量を計算。

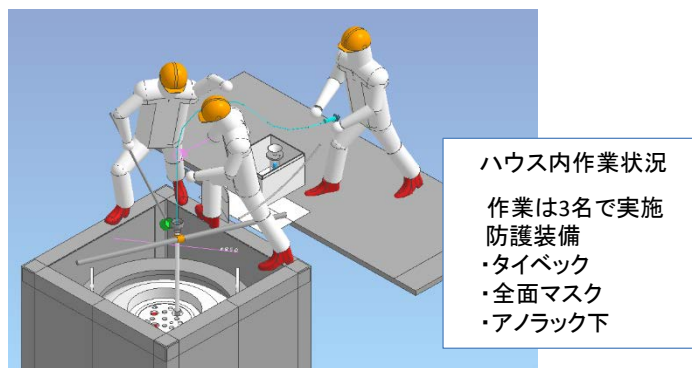
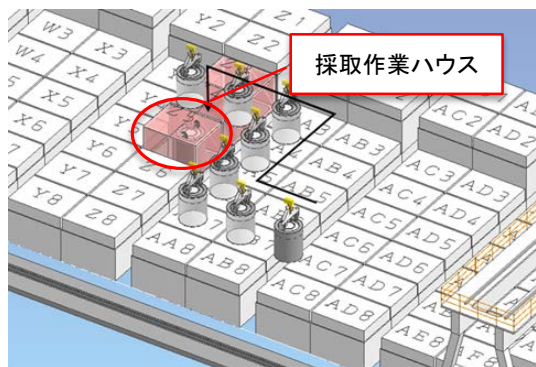


図1 第2保管施設での保管容器(HIC)からの採取作業

表1 運転中の水処理設備からの二次廃棄物の採取実績

採取対象		実績	
水処理施設	種類	採取日	数量
既設ALPS A・B・C系	銀ゼオライト	2017.09.05	3
	酸化チタン	2017.08.29	3
増設ALPS	A系 炭酸塩スラリー	2018.05.28	9
	B・C系 酸化チタン	2017.11.27	3

表2 保管容器(HIC)からの二次廃棄物の採取実績

採取対象		実績	
水処理施設	種類	採取日	数量
既設ALPS A・B・C系	鉄共沈スラリー	2018.10.12	3
		2018.10.15	3
		2018.10.16	1
		2018.10.17	1
		2018.10.18	1
		2018.10.26	9
		2018.10.29	9
	チタン塩酸1	2018.10.25	3
	チタン塩酸2	2018.10.19	3
	酸化チタン	2018.10.22	3
増設ALPS	A系 チタン塩酸1	2018.10.24	3
	B・C系 酸化セリウム	2018.10.23	3

(2) 試料採取・分析 ①試料採取と輸送 - 4号機からの試料採取 -

- 4号機原子炉建屋1～4階から建屋の床面塗装コンクリート試料や分電盤から塗装鋼板試料を採取した。(表1)(図1)
- 採取方法は、2017年度に開発した、遠隔採取を想定した専用のコア刃を使用し、建屋内の床面コンクリートをコア抜き、コア回収が行えることを確認した。(図2)

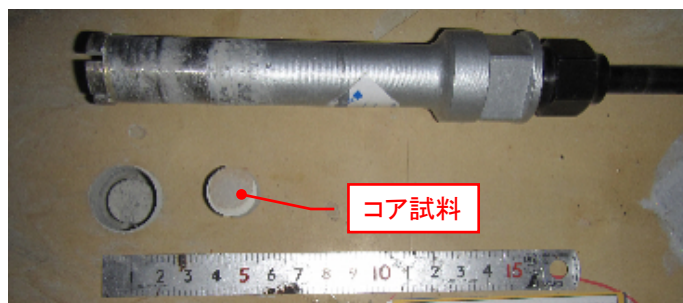


図1 遠隔操作を考慮して製作した穿孔刃と採取した床面塗装コンクリート試料



(a) 床面塗装コンクリート

(b) 分電盤塗装鋼板

図2 採取した試料

表1 4号機原子炉建屋内からの試料採取実績

採取場所	種類	実績	
		採取日	数量
1階	床面塗装コンクリート	2017.07.05 2017.07.06	5箇所×2個
	分電盤塗装鋼板	2017.07.05	1箇所×2個
2階	床面塗装コンクリート	2017.07.04 2017.07.05	5箇所×2個
	分電盤塗装鋼板	2017.07.05	1箇所×2個
3階	床面塗装コンクリート	2017.07.07	2箇所×2個
	分電盤塗装鋼板	2017.07.07	1箇所×2個
4階	床面塗装コンクリート	2017.07.10	2箇所×2個
	分電盤塗装鋼板	2017.07.10	1箇所×2個

(2) 試料採取・分析 ①試料採取と輸送 - 輸送の実績 -

- 茨城地区に所在する分析施設へ分析試料を3回に分けて輸送した(表1)。
- 分析後に残った試料を茨城地区分析施設から 1F へ返却する輸送を計画していたが行わなかった。

表1 分析試料の事業所外(1F)運搬実績

輸送	2018年度												輸送物	到着地 (分析施設*1)			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月					
第1回			試料測定・輸送量決定													瓦礫等	NDC
					輸送準備												
第2回				試料測定・輸送量決定													
					輸送準備												
第3回						試料測定・輸送量決定											
						輸送準備											

*1 JAEA: 日本原子力研究開発機構, 原科研: 原子力科学研究所, 核サ研: 核燃料サイクル工学研究所, 大洗研: 大洗研究所, NDC: ニュークリア・デベロップメント株式会社

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> 分析計画に基づいて、試料の分析を実施する。 放射能濃度ともに、保管管理などで必要とされる事項の分析を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 年間分析計画に基づき分析を実施し、分析データを報告する。

- 主に処理(安定化)と処分(核種の汚染挙動)の観点から、瓦礫、汚染水、水処理二次廃棄物や土壌を分析した(表1)。

表1 分析の実施概要(次ページ以後に結果を示す)

分類	試料	分析項目	
		処理(安定化)に関する分析	処分(核種の汚染挙動)に関する分析
瓦礫類・解体廃棄物	4号機ボーリングコア	—	<ul style="list-style-type: none"> 核種組成の場所依存性
	スラッジ(滞留水に含まれる)	—	<ul style="list-style-type: none"> 核種組成
汚染水	多核種除去設備	—	<ul style="list-style-type: none"> 吸着材等の核種組成
	滞留水	—	<ul style="list-style-type: none"> ウランとNpの挙動
水処理二次廃棄物	除染装置スラッジ	<ul style="list-style-type: none"> 元素組成、粒径など 	<ul style="list-style-type: none"> 核種組成
	多核種除去設備吸着材	—	<ul style="list-style-type: none"> 核種組成
土壌	土壌	—	<ul style="list-style-type: none"> 核種組成の粒径依存性、場所の依存性

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 4号機原子炉建屋ボーリングコア(1/2) -

- 4号機の1から4階の床面ボーリングコア試料を分析した* (図1)。
- ^{137}Cs は全ての試料から、また、 ^3H と ^{238}Pu は1階から4階まで全ての階で検出された。汚染のレベルは管理区域の基準を下回っている(図2)。
- 汚染源は3号機であり、1から4階の汚染は同様とみられる。



図1 コンクリート
コア外観
(4RB-1F-C-E2)

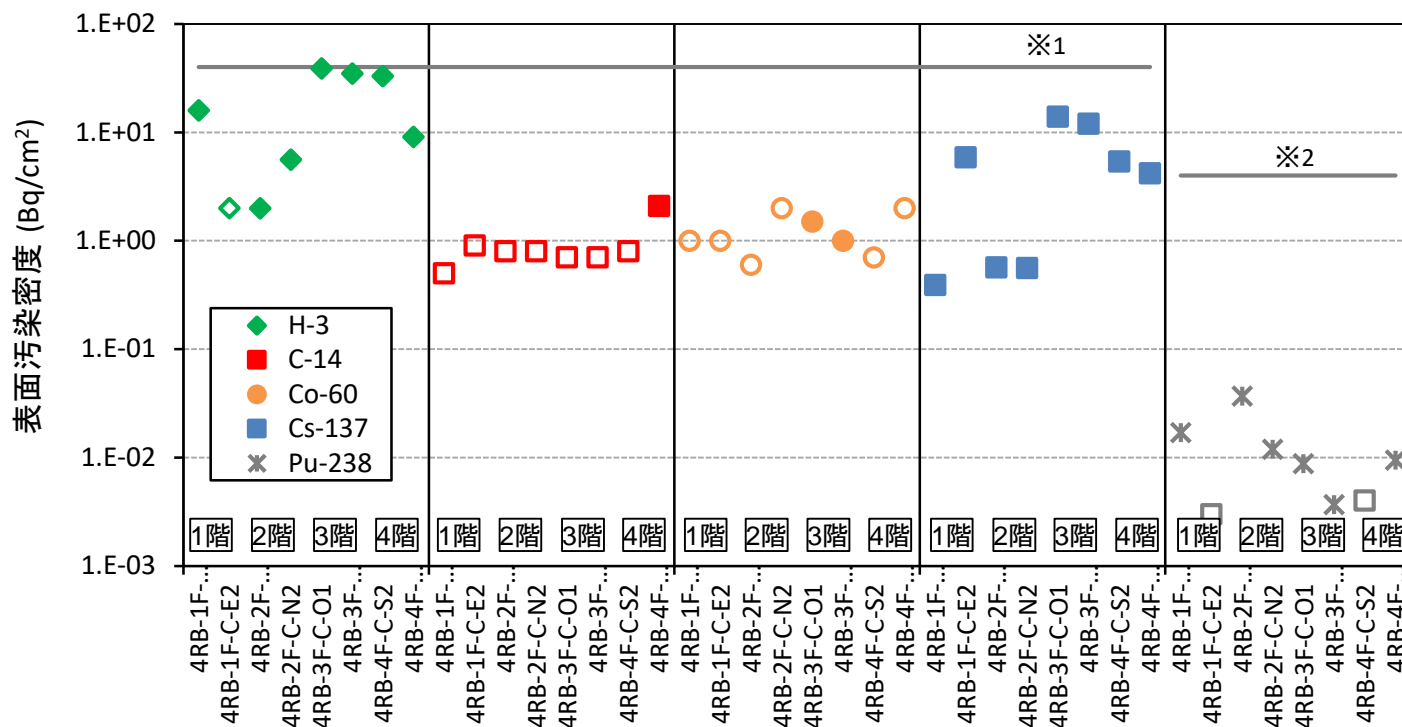


図2 検出された核種の濃度

注) 2011年3月11日に減衰を補正した値。白抜きプロットは検出下限値未滿を示す。直線※1と※2は、法令で定められている管理区域の壁等の人の触れるおそれのある物の表面密度限度(アルファ線を放出しない、あるいは放出する放射性同位元素についてそれぞれ 40、4 Bq/cm²)を示す。

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施

- 4号機原子炉建屋ボーリングコア (2/2) -

- 4号機の汚染は、 ^{137}Cs との相関について1から3号機原子炉建屋から得られた試料と異なる傾向がみられる(図1)。

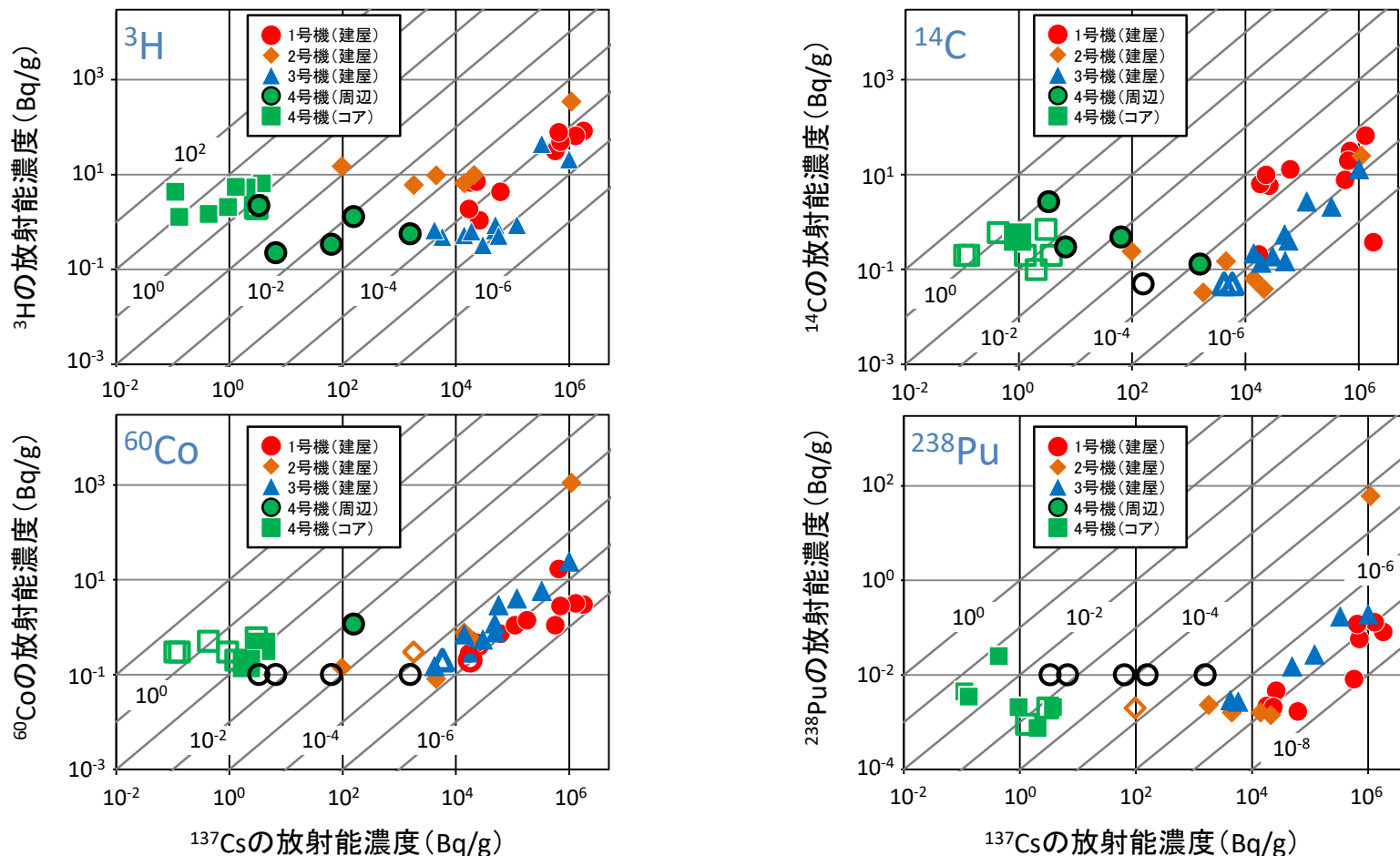


図1 原子炉建屋内及び周辺で採取した瓦礫(ボーリングコア)試料から検出された核種の濃度(^{137}Cs に対するプロット*)

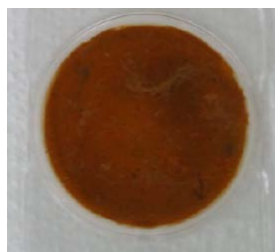
* 白抜きのプロットは縦軸に示す核種の検出下限値。斜線は2つの核種の濃度比を表す。

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 滞留水に含まれるスラッジ -

- 汚染水との接触に伴う汚染を把握するため、滞留水に含まれるスラッジを分析した(図1)。
- α 核種は滞留水に比べてより多くのスラッジ試料中に検出された。3号機タービン建屋スラッジでは ^{154}Eu も検出されたが、 α 核種濃度が他のスラッジよりも高い傾向が見られた(図2)。
- スラッジの元素組成は、鉄、アルミニウム、ケイ素の比率が高く、水酸化鉄や粘土状の成分に α 核種が取り込まれている可能性がある。



滞留水試料



水から分離したスラッジ

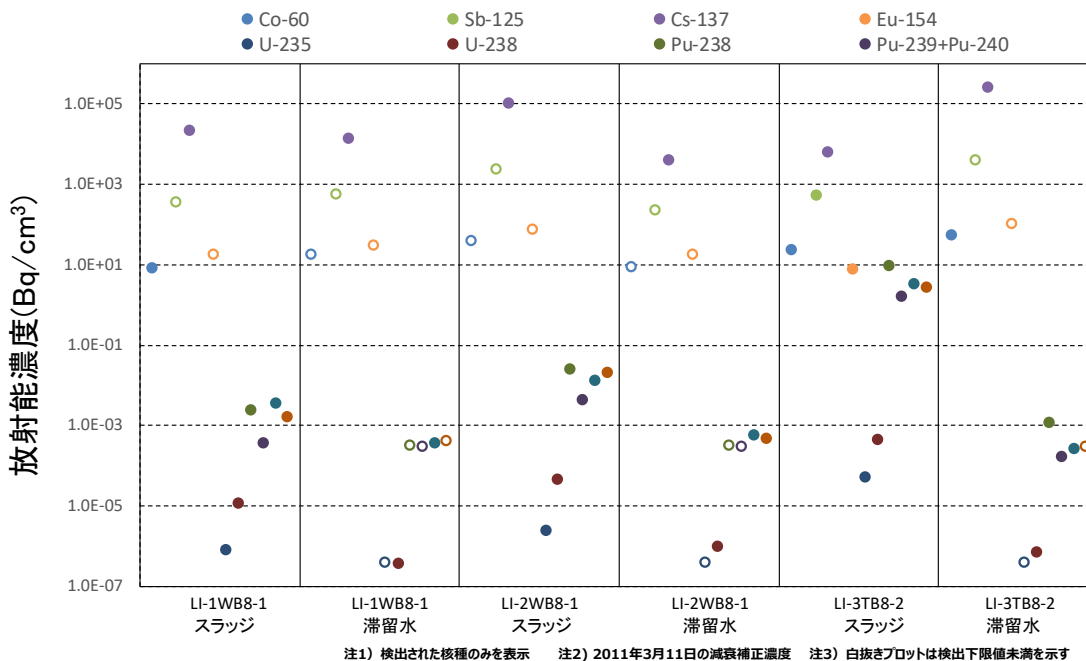


図1 滞留水及びスラッジ試料の外観
(LI-1WB8-1)

図2 各建屋の地下階から採取した滞留水
及びスラッジから検出された核種の濃度

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 多核種除去設備処理水 -

■ 多核種除去設備からの二次廃棄物の放射能を推定するため、工程から採取した水を分析した* (図1)。

■ 各工程、吸着材で除去、吸着が見られる主な核種は以下のとおり。

- 炭酸塩沈殿 : ^{63}Ni , ^{90}Sr
- 活性炭(前段) : ^{60}Co
- チタン酸塩 1 : ^{90}Sr
- 酸化チタン : ^{90}Sr , ^{125}Sb
- 銀ゼオライト : ^{90}Sr
- チタン酸塩 2 : ^{137}Cs
- 活性炭(後段) : ^{60}Co , ^{99}Tc

■ 吸着塔出口濃度が入口濃度よりも高い場合がある。検証には、データをさらに蓄積する必要がある。

■ ^{106}Ru 、 ^{129}I 、 ^{154}Eu 、 ^{235}U 及び $^{239+240}\text{Pu}$ は全ての試料で不検出であった。

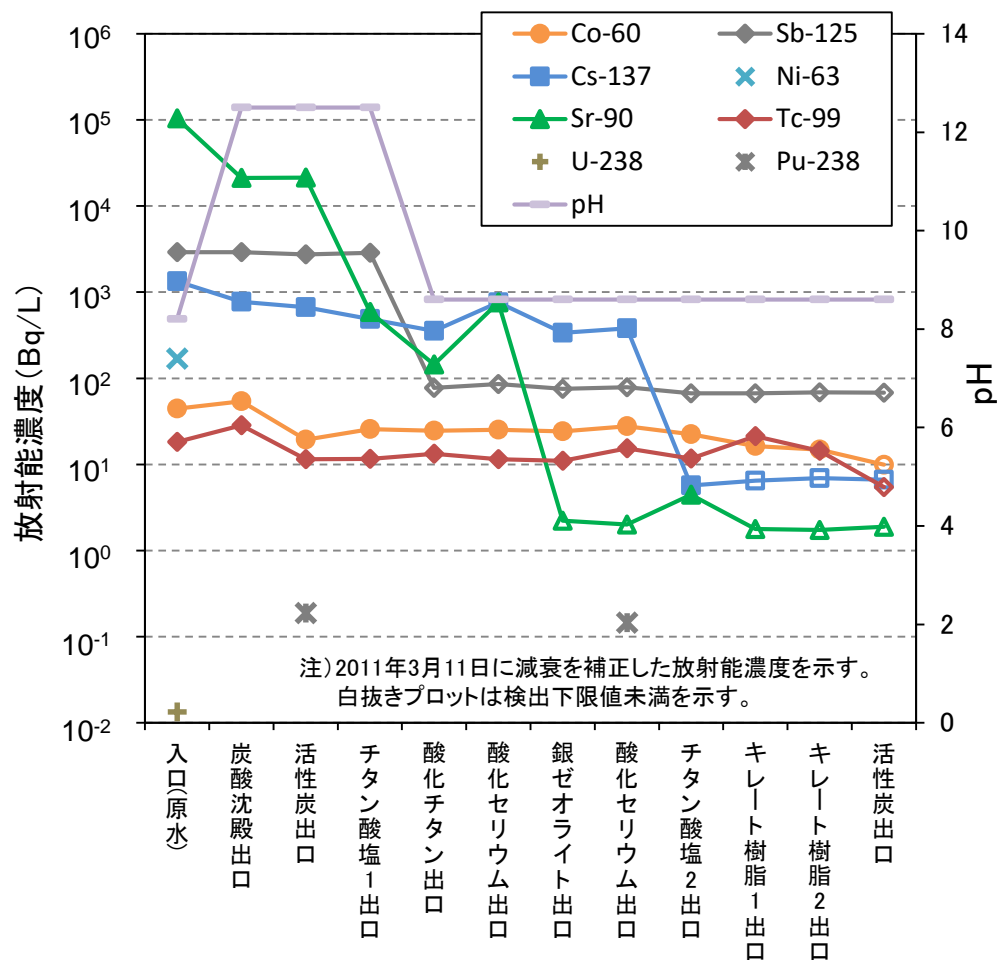


図1 多核種除去設備(増設B系)の主要機器出口の放射能濃度

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 汚染水中のウランの分析 -

- ウランの汚染挙動を把握するため、種々の汚染水についてU同位体組成を分析した*。
- 2及び3号機PCV滞留水の $^{235}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比は、R/B滞留水、T/B滞留水、集中RW滞留水に比べて1桁程度大きい(図1)。
- $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比は、多くの場合で天然ウランの比より燃料の計算値に近い。1号機R/B及びT/B、2号機T/Bで比が小さく、天然ウランの寄与が相対的に大きい(図2)。
- $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比には採取場所による差異が見られ、損傷燃料と天然ウランの比の間の値である。滞留水中のウランの起源としては、損傷燃料や各種材料等に含まれる天然の成分の寄与が考えられる。

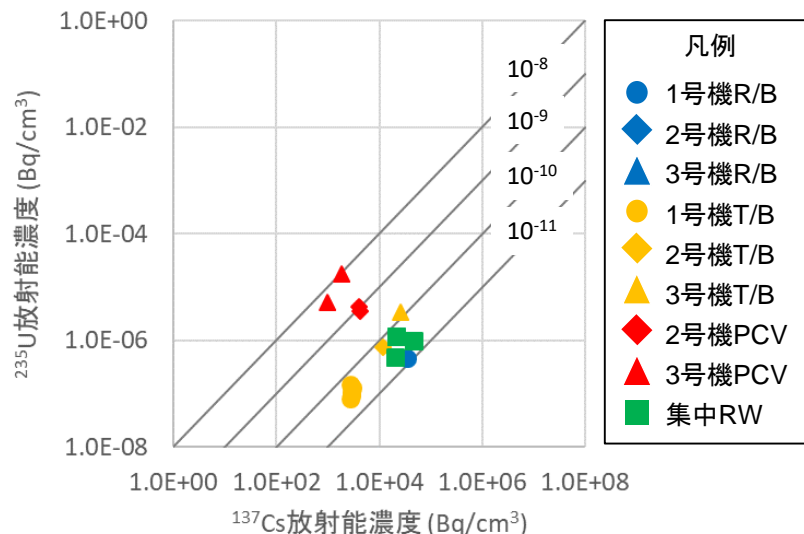


図1 種々の汚染水の ^{235}U と ^{137}Cs 放射能濃度比

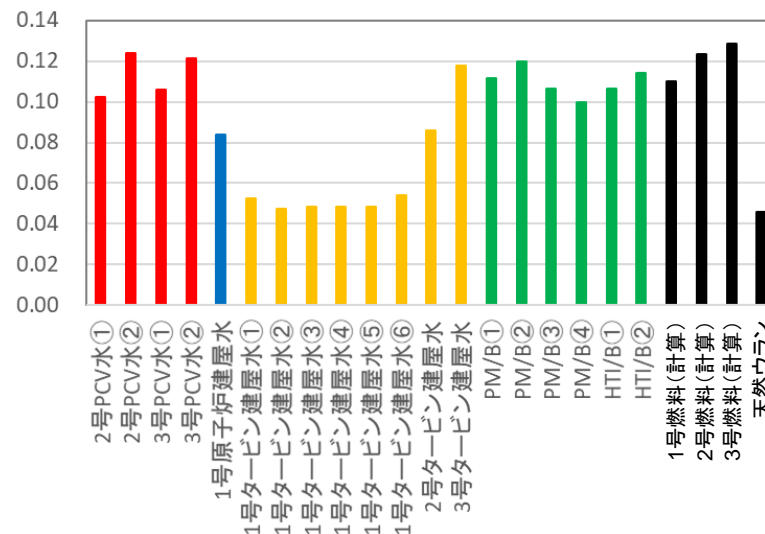


図2 種々の汚染水の ^{235}U と ^{238}U 放射能濃度比

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 汚染水中の Np の分析 -

- Np の汚染挙動を把握するため、種々の汚染水中の Np 濃度を分析し、U および Pu との違いを検討した(表1)。
- 2及び3号機のPCV内の滞留水では、U、Pu及びCmはほぼ同等の輸送比である。一方、2及び3号機内の Np は、他のα核種と比較し約一桁高い輸送比を示しており、Np は他のα核種に比べ溶解性が高いことが示唆される(図1)。
- タービン建屋以降の滞留水では、Pu については輸送比が約 1/100 に減少している。タービン建屋において Pu は沈降又は吸着により除去されていることが推察される(図1)。

表1 ^{237}Np を分析した汚染水試料

No.	汚染水採取場所	採取日	試料名
①	2号機PCV	H25.8.7	LI-2RB5-1
②	2号機PCV	H25.8.7	LI-2RB5-2
③	3号機PCV水面近傍	H27.10.22	LI-3RB5-1
④	3号機PCVグレーチング近傍	H27.10.22	LI-3RB5-2
⑤	1号機原子炉建屋	H28.12.8	LI-1RB-1
⑥	2号タービン建屋	H27.9.25	LI-2TB7-1
⑦	3号タービン建屋	H27.10.15	LI-3TB7-1
⑧	集中RW地下	H25.7.9	LI-RW2-1
⑨	集中RW地下	H26.9.3	LI-RW3-1
⑩	セシウム吸着装置入口	H26.11.25	LI-RW4-1
⑪	HTI建屋	H27.9.8	LI-HTI6-2
⑫	SARRY入口	H25.8.13	LI-HTI2-1
⑭	Cs吸着装置入口	H26.8.5	LI-HTI3-1
⑯	KURION SMZスキッド出口	H28.7.25	LI-KU7-1
⑰	KURION H2-4出口	H28.7.25	LI-KU7-2
⑱	第二セシウム吸着装置入口	H25.8.13	LI-SA2-1
⑲	SARRY S-4A出口	H26.8.5	LI-SA3-1
⑳	SARRY S-2B出口	H28.7.25	LI-SA-7-1

⑬及び⑰はそれぞれ、H26.11.25にHTI建屋、H27.3.9にKURION出口で採取された汚染水試料である。これらについては ^{237}Np 分析を実施していない。

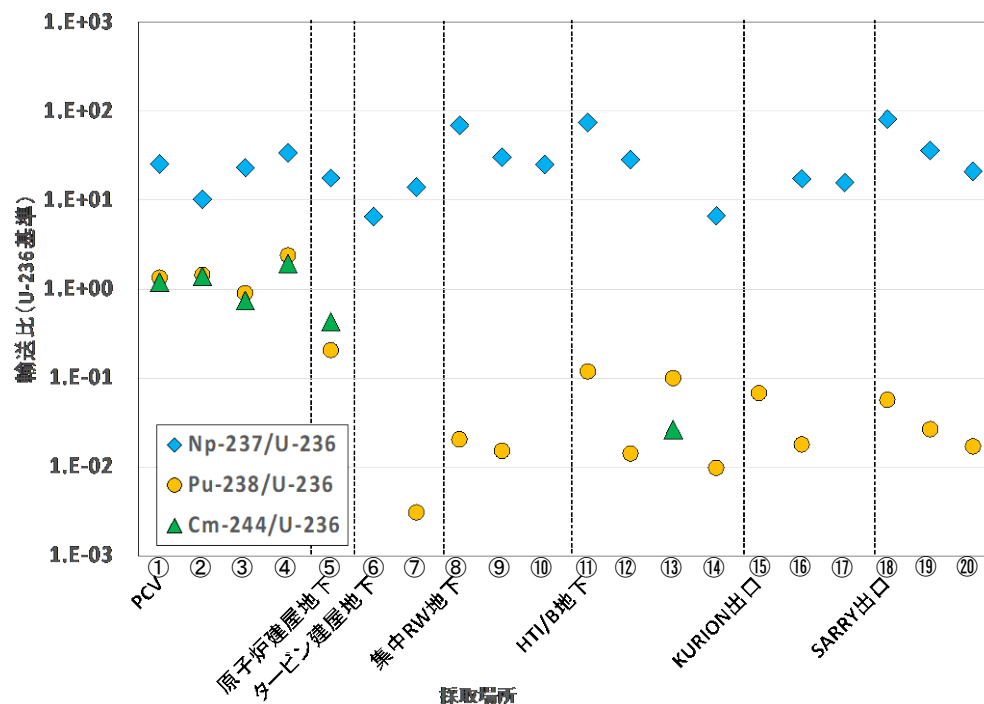


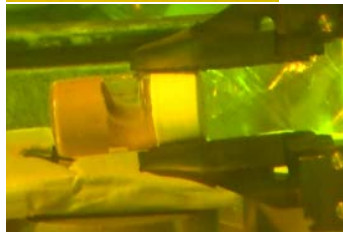
図1 種々の汚染水の ^{237}Np と ^{236}U 放射能濃度比
(燃料組成で規格化した輸送比)

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 除染装置スラッジの分析 (1/3) -

- 水処理二次廃棄物の一つである除染装置スラッジについて、処分前管理(脱水、移送方法)の検討に資するため、流動性(図1)や放射能を分析した*(28ページ表1)。
- 沈降性に関して、有栓メスシリンダー(10 mL、内径約 11 mmΦ、高さ約 11 cm)に固液混合したスラッジ試料1 mL と上澄み10 mLを入れ、メスシリンダーの横倒を繰り返して攪拌し、静置して観察した。界面の高さの時間変化を測定した。(図2)



① 静置によりスラッジが沈降し、上澄みの層が現れる。



② バイアルを横に倒してもスラッジは流れない。



③ バイアルを攪拌すると徐々に固形分と上澄みが混合された。

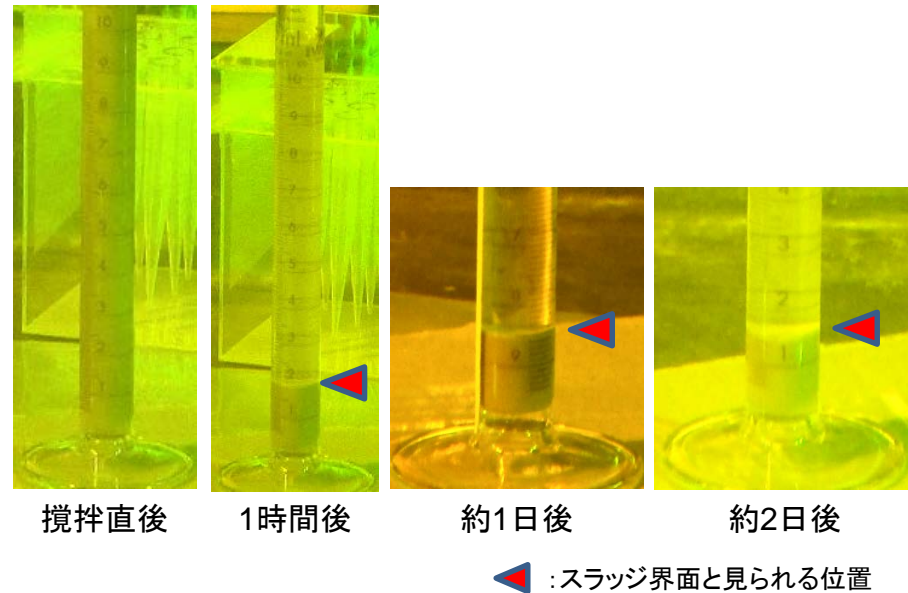


図1 バイアルの中での流動

図2 スラッジが沈降する様子

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 除染装置スラッジの分析 (2/3) -

- 除染装置スラッジについて、処分前管理(脱水、移送方法)の検討に資するため、SEM-EDXにより粒子の形状を観察するとともに、元素組成を測定した*。
- スラッジを入れたバイアルに純水1 mLを加えて攪拌し、分散させた。この一部を分取しフィルターに滴下、乾燥後、白金蒸着して、SEM-EDXの試料を得、測定した。スラッジを構成する粒子は、複数の形状を示しており、組成の異なる成分の混合物であることが確認された(図1)。
- EDX面分析結果から、BaとSが多く存在し、BaSO₄が6~7割を占めるものと考えられた。次いでフェロシアン化物が多いものと推定された。また、Znが検出された(図2)。

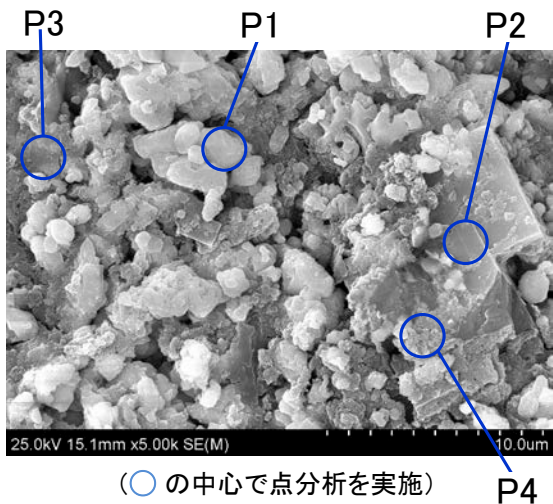


図1 除染装置スラッジのSEM像
(観察倍率5000倍)

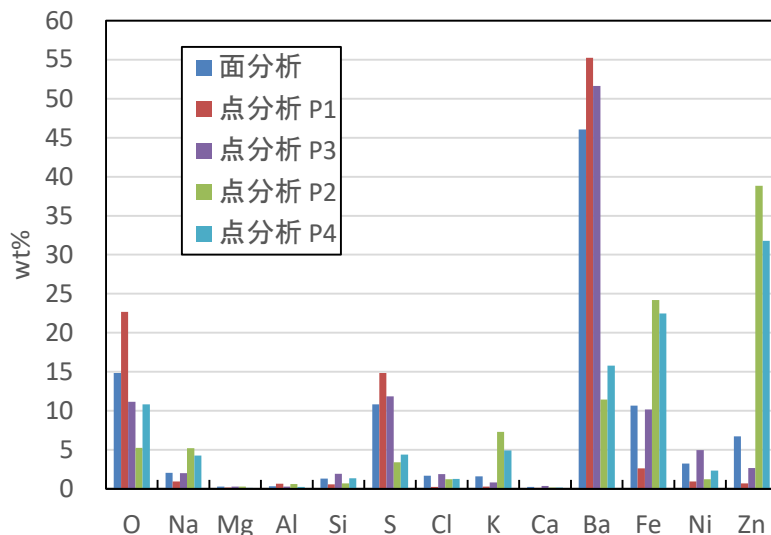
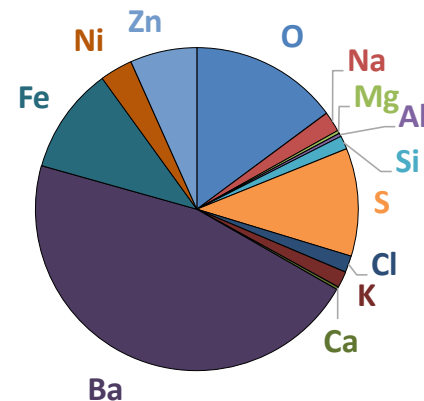


図2 除染装置スラッジの元素分析結果
(EDXによる面分析及び点分析)



(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 除染装置スラッジの分析 (3/3) -

- 処分方法等の検討に資するため、除染装置スラッジの放射性核種濃度を分析した。スラッジが難溶性であるため、これを段階的に溶解して分析した* (図1)。
- 主な核種はβ線を放出する⁹⁰Srであり、主要なγ線放出核種として¹³⁷Cs(娘核種^{137m}Ba)、¹³⁴Cs及び¹²⁵Sbを、また、α線放出核種として²³⁸Puを含むことを明らかにした(表1)。データは東京電力が移送や処理方法の検討に利用している。

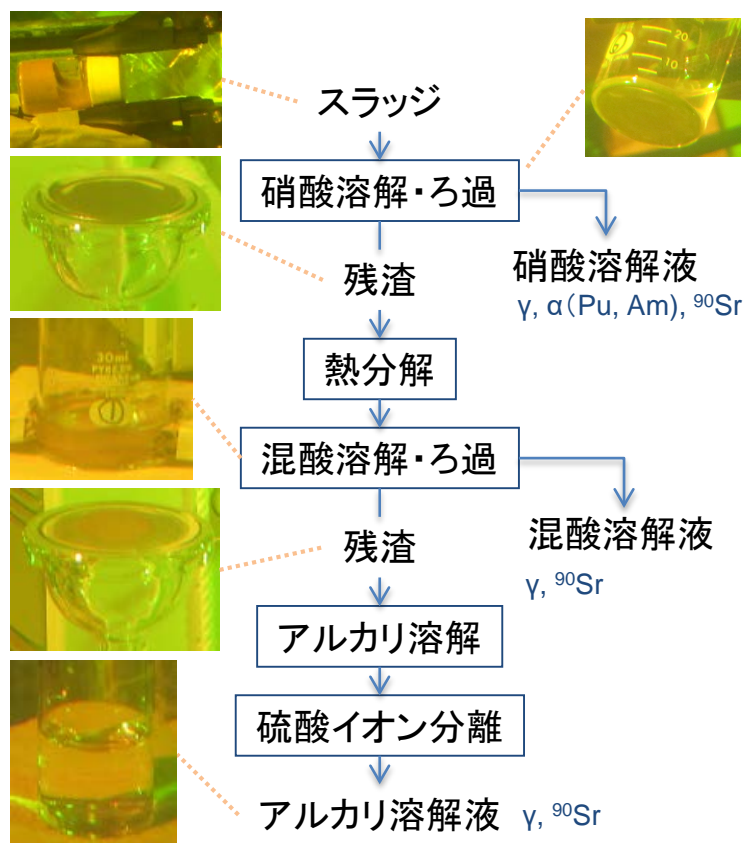


表1 除染装置スラッジの放射能濃度分析結果

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³] ^{※1}		
	⁵⁴ Mn (約312日)	⁶⁰ Co (約5.3年)	¹²⁵ Sb (約2.8年)
LI-AR-SL1 ^{※2} (硝酸溶解液)	$(4.1 \pm 0.3) \times 10^4$	$(4.1 \pm 0.1) \times 10^3$	$(2.6 \pm 0.1) \times 10^4$
同上 (混酸溶解液)	$< 1 \times 10^4$	$(1.8 \pm 0.2) \times 10^3$	$< 4 \times 10^4$ $(1.1 \times 10^3)^{※3}$
同上 (アルカリ溶解液)	$< 4 \times 10^4$	$< 2 \times 10^2$	$< 5 \times 10^3$
LI-AR-SL1	$(4.1 \pm 0.3) \times 10^4$	$(5.9 \pm 0.2) \times 10^3$	$(2.6 \pm 0.1) \times 10^4$

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³] ^{※1}		
	¹³⁷ Cs (約30年)	⁹⁰ Sr (約29年)	²³⁸ Pu ^{※4} (約88年)
LI-AR-SL1 (硝酸溶解液)	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^4$	$(3.6 \pm 0.1) \times 10^6$	$(1.4 \pm 0.4) \times 10^{-2}$
同上 (混酸溶解液)	$(6.5 \pm 0.1) \times 10^6$	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^6$	—
同上 (アルカリ溶解液)	$(6.3 \pm 0.1) \times 10^5$	$(5.8 \pm 0.1) \times 10^7$	—
LI-AR-SL1	$(7.1 \pm 0.1) \times 10^6$	$(6.6 \pm 0.1) \times 10^7$	$(1.4 \pm 0.4) \times 10^{-2}$

※1 放射能濃度は、2011.3.11時点に補正済み。分析値の±の後の数値は計数誤差。合計は定量値の合算。放射能濃度は、スラッジ 1 cm³あたりの値。 ※2 LI-AR-SL1-3を分析。 ※3 Cs除去処理での収率を補正していないため参考値。 ※4 LI-AR-SL1-2を分析。

図1 除染装置スラッジの前処理方法と試料外観

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 多核種除去設備吸着材の分析 -

- 処分方法等の検討に資するため、多核種除去設備(増設)の吸着材のうち、酸化セリウムと活性炭の γ 線放出核種の分析を行った(表1、図1)。
- 主要な γ 線放出核種として ^{60}Co 、 ^{106}Ru (娘核種 ^{106}Rh)、 ^{125}Sb 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs (娘核種 $^{137\text{m}}\text{Ba}$)を検出した※(図2)。
- α 線、 β 線放出核種を含めて分析するため、試料の溶解を進めている。溶解に伴い残渣が発生するので、その溶解方法を検討し適用した。

表1 多核種除去設備吸着材の分析試料

試料名	試料番号	採取場所	質量 (g)
酸化セリウム	ADCe-AAL8-1	増設ALPS BC系統	23
活性炭	ADC-AAL8-2	増設ALPS BC系統	16



図1 分析試料の外観

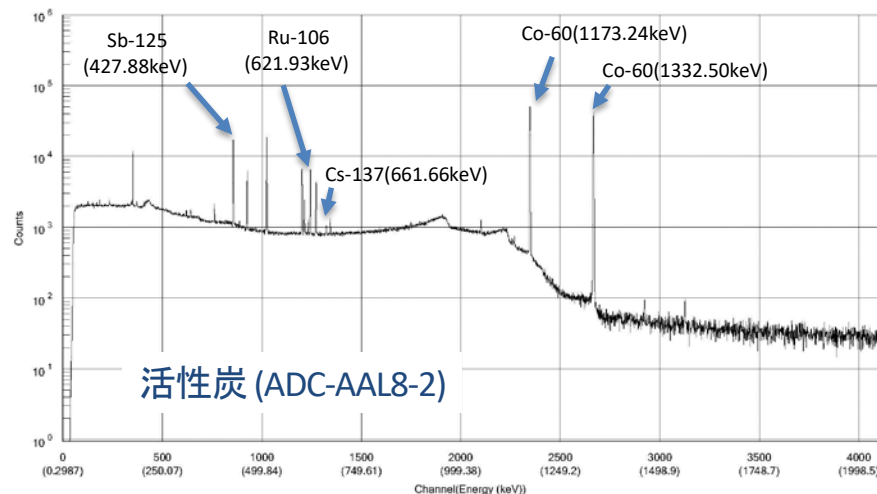
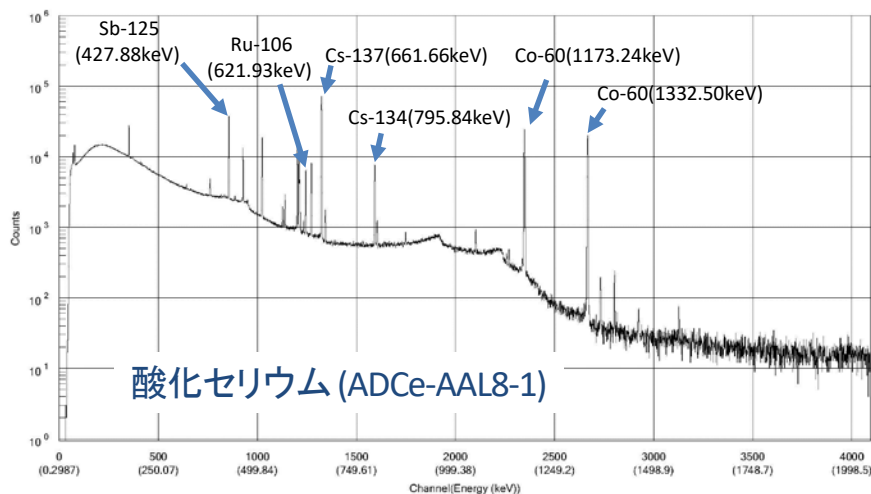
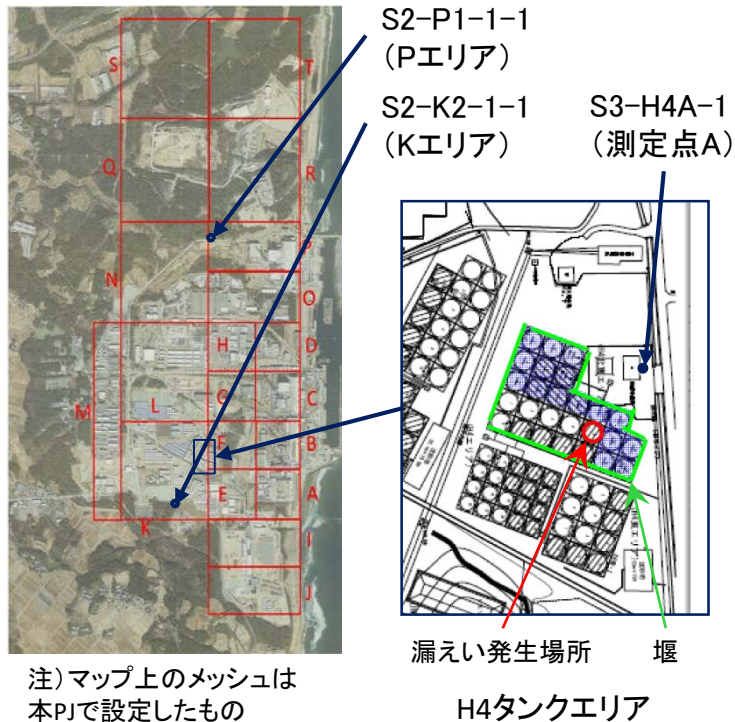


図2 吸着材の γ 線スペクトル

※ 50mLバイアルに入れた試料を測定した。固体試料であるため、このデータをもとにした定量は難しい。

(2) 試料採取・分析 ②分析の実施 - 土壌の分析 -

- 土壌について、その処理方法の検討に資するため、主要な核種濃度の粒径との関係を調べた。
- 構内で採取した土壌を(図1)、湿式法により試料を分級し、乾燥質量を測定した(図2)。
 - ✓ JIS規格公称目開き 2.8 mm及び 90 μm のふるいを使用。粒径2.8 mm以上の粒子は含まれていなかった。
- 分級した土壌中の全 α 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 濃度を分析した。 ^{137}Cs と ^{90}Sr は粒径にかかわらず同じように移行し、粒径の小さい土壌に濃縮される(表1)。



注) マップ上のメッシュは本PJで設定したもの

図1 土壌試料の採取場所

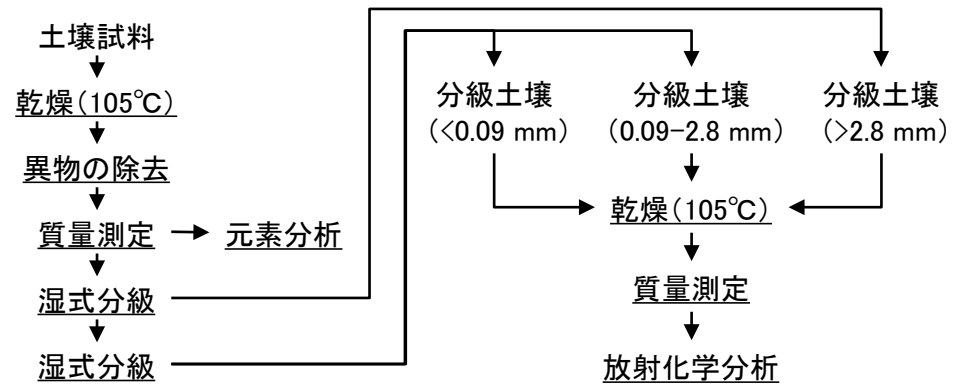


図2 土壌の分析フロー

表1 湿式分級した土壌試料の粒度分布と放射能物質収支

試料番号	重量 [g]	粒径 [mm]	乾燥重量 [wt%]	放射能物質収支 [%]	
				^{90}Sr	^{137}Cs
S2-K2-1-1	50	<0.09	79	89	90
		0.09~2.8	21	11	10
S2-P1-1-1	50	<0.09	57	94	95
		0.09~2.8	43	6	5
S3-H4A-1	35	<0.09	45	88	93
		0.09~2.8	55	12	7

(3) 試料採取技術開発

- ①スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取(1/2) -

年度	実施計画	目標とする指標
(セシウム吸着材等の採取)		
2017	<ul style="list-style-type: none"> 概念検討により明確になった課題(吸着材の固着等)について検討を行い、採取方法を具体化する。 	<ul style="list-style-type: none"> セシウム吸着材等の採取・吸着材の試料採取方法案を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 2017年度の具体的検討結果に基づき、試料採取装置の開発計画を策定し、モックアップ装置の設計に着手する。 	<ul style="list-style-type: none"> 開発計画を策定し、モックアップ装置の設計を行う。

- セシウム吸着材の採取に関し、要素試験機を製作し、吸着材(ゼオライト)の採取性の確認試験を実施した。(図1)
- 採取深さにより採取性が安定しないことから、回転方向を切替えると可動式のベーンが突出し、サンプリングヘッド内部にかき集めることで、安定して採取できるサンプリングヘッドの構造、形状を確定した。(図2)
- 試料採取装置の主要要素であり、モックアップ装置の一部となるサンプリングヘッド、ロッドの設計を実施した。(図3)



図1 ゼオライト採取性確認試験

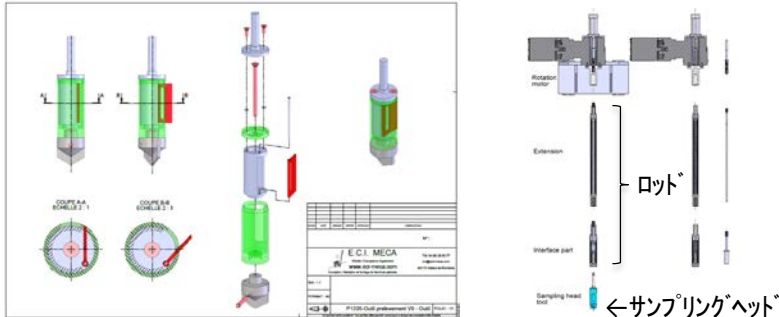


図3 サンプリングヘッドの設計例



図2 改良前後のサンプリングヘッド

(3) 試料採取技術開発

- ①スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取(2/2) -

- 試料採取装置の開発に必要なコスト、工程を検討し開発計画を策定した。(図1)(表1)
- 2016年度研究で実施した、KURION吸着塔からの試料採取装置の概念設計を基に、SARRY吸着塔への適用を検討した。
 - KURION/SARRYの寸法の違いに対応するため、作業スタンド等、構成機器の形状の見直しと、スペーサを挿入することで、両方の吸着塔に対応する。(図2)
 - 吸着塔内部にアクセスするため、穿孔、採取後の閉止を行うため、SARRY吸着塔の上部構造に対応した、穿孔、閉止の概念設計を実施。(図3)

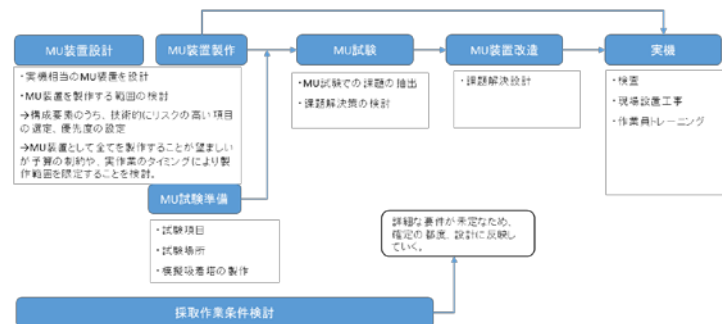


図1 開発フロー
表1 開発工程案

	期間 (月)	2019年度					2020年度					2021年度								
		4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	
MU基本設計	2	■																		
作業スタンド設計	3		■	■	■															
メカアンプ設備設計	3			■	■	■														
作業デッキ設計	4.5				■	■	■	■												
No.1GB(穿孔装置設計)	4.5				■	■	■	■	■											
No.2GB(採取装置設計)	5					■	■	■	■	■										
作業デッキ製造	6						■	■	■	■	■									
No.1GB(穿孔装置設計)製造	5						■	■	■	■	■									
No.2GB(採取装置設計)製造	8									■	■	■	■	■						
作業スタンド製造	6										■	■	■	■	■					
MU準備(模擬吸着塔製作等)	3											■	■	■						
モックアップ試験	3																			
モックアップ改造設計	2																			
モックアップ改造	3																			
検査	1																			

設計・製造
約18カ月

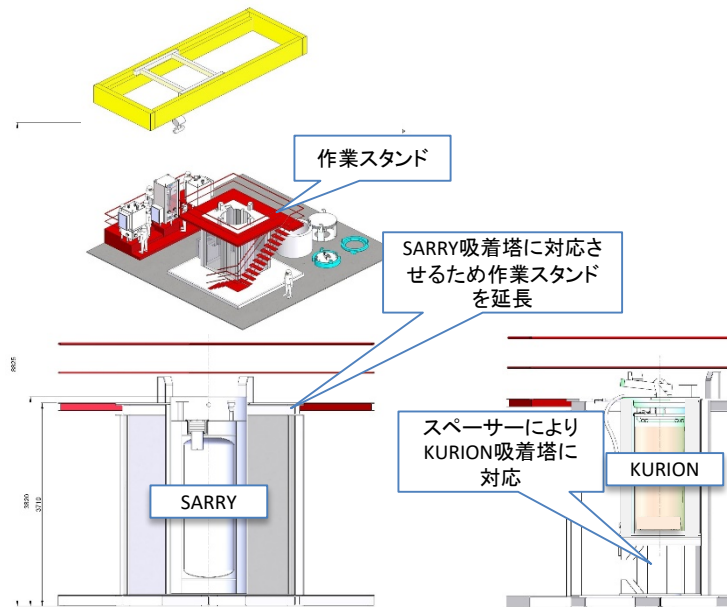


図2 SARRY/KURIONの配置検討

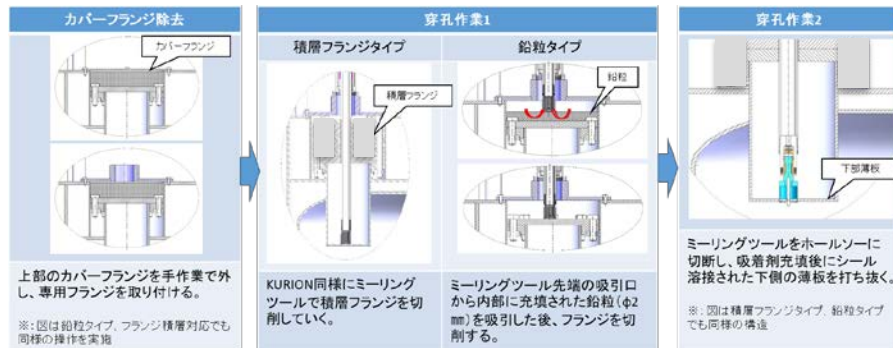


図3 SARRY吸着塔に対応した穿孔方法の検討

(3) 試料採取技術開発

- ② 原子炉施設建屋内試料等の採取方法の検討(1/2)-

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 目的や優先度に応じた採取箇所、採取技術等について検討を行う。分析計画に基づき採取可能な箇所から順次試料を採取する。 	<ul style="list-style-type: none"> 目的や優先度に応じた採取箇所、採取技術等を示す。試料の採取方法が明確になったところから、順次、試料を採取する。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 引き続き採取箇所、採取技術等について検討を行うとともに、分析計画に基づき採取可能な箇所から順次試料を採取する。 	<ul style="list-style-type: none"> 順次、試料を採取する。

- 2016年度の研究において、遠隔採取用のコア刃を開発した。本コア刃の有効性の確認を目的に、4号機原子炉建屋1～4階で実施した手作業による試料採取作業において、本コア刃を使用した。
 - 通常のコア穿孔作業では、穿孔後のコア折りと回収が必要であるが、内部のクサビにコアが噛み込むことにより、穿孔と同時にコア回収までできるコア刃を開発。(図1)
 - 原子炉建屋内の床面のコンクリート(塗装面含む)を対象として、試料を採取した。(図2、図3)



※: 開発中の写真でありコア刃の寸法は実物と異なる

図1 遠隔採取用コア刃の開発状況

穿孔径	φ24mm
採取コア寸法	約φ17×30
採取コア質量	約15g
穿孔時間	約4分
穿孔押付け力	20kg以下
回転速度	1050rpm(無負荷時)



図2 採取試料



図3 4号機原子炉建屋内での採取作業

(3) 試料採取技術開発

- ② 原子炉施設建屋内試料等の採取方法の検討(2/2)-

- 遠隔採取装置の試作機をPackbotに搭載し、原子炉建屋を模擬した環境を設定し、遠隔採取性の確認試験を実施した。
- 試験の結果、段差乗り越え時の干渉、走行バランスの問題が確認されたため、装置の改造を実施。(図1)再度、遠隔採取性の確認試験を実施した。
- 採取位置までの走行、コア採取、帰還の一連の遠隔採取作業が行えることを確認した。(図2)
- 原子炉建屋内の状況から、採取場所可能な場所の制約はあるが、遠隔で床面コア試料を採取できる技術を確立した。



遠隔採取装置 試作機仕様(単体)	
外形寸法	528 × 300 × 638mm
質量	22kg
穿孔ストローク	125mm
穿孔回転数	1050rpm(無負荷時)
集塵機流量	250L/min(カタログ値)
各部出力	エアシリンダ、タンク容量0.75L 駆動用バッテリー運転時間:約30分 制御バッテリー運転時間:2時間
通信仕様	通信距離:60m(屋内) 電波形式:2.4GHzスペクトル拡散

図1 遠隔試料採取装置 試作機(単体)

走行距離	80 m
25° スロープ通過回数	2カ所
70mm段差通過回数	2カ所
所要時間	40 分
採取試料	φ17 × 30mmコア × 1個

図2 遠隔採取性の確認試験

(4) 分析データ管理 - 分析結果のデータベース (1/2) -

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 分析に係る作業を効率的に進めるため、分析の実施に係る関係者が共通のデータを共有するデータベースを構築し、運用する。 得られた分析データを廃炉等に有効に活用するため、公開を前提としたデータベースを構築し、運用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 分析データベースを作成し、運用を開始する。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 運用における課題を抽出し、機能を改善、充実させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 運用の中で抽出された課題に対応し、データベースを改良する。

- 分析データベース「FRAnDLi」*を構築し、2018年3月にインターネット上で公開し(図1)、情報を順次、拡充している。
- 試料採取場所及び格納件数の表示(図2)、英語版コンテンツの作成(図3)を行った。

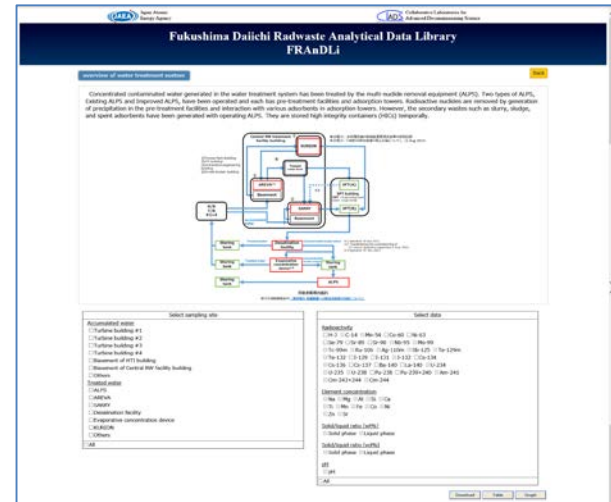
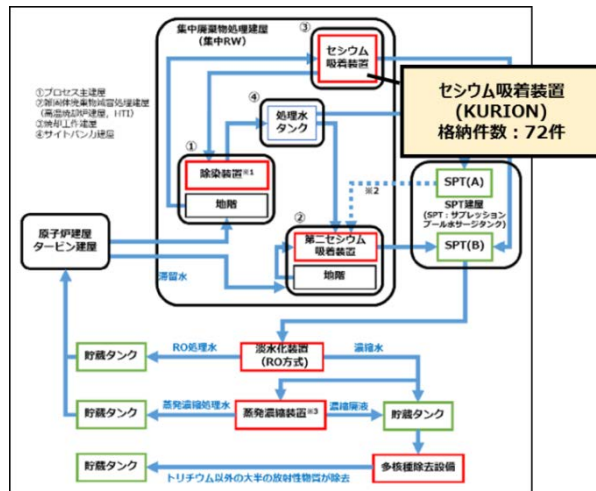
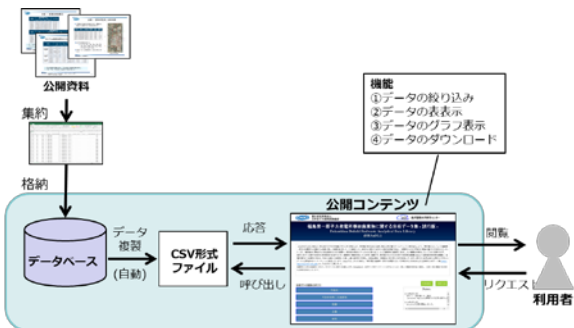


図1 分析データベースの構成

図2 試料採取場所のマップ及び格納件数の表示例

図3 英語版コンテンツの表示例

* 福島第一原子力発電所事故廃棄物に関する分析データ集. <https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/>

(4) 分析データ管理 - 分析結果のデータベース (2/2) -

- 汚染水、処理水や水処理二次廃棄物等の保管量に関する公開データを追加し、閲覧を可能とした(図1)。

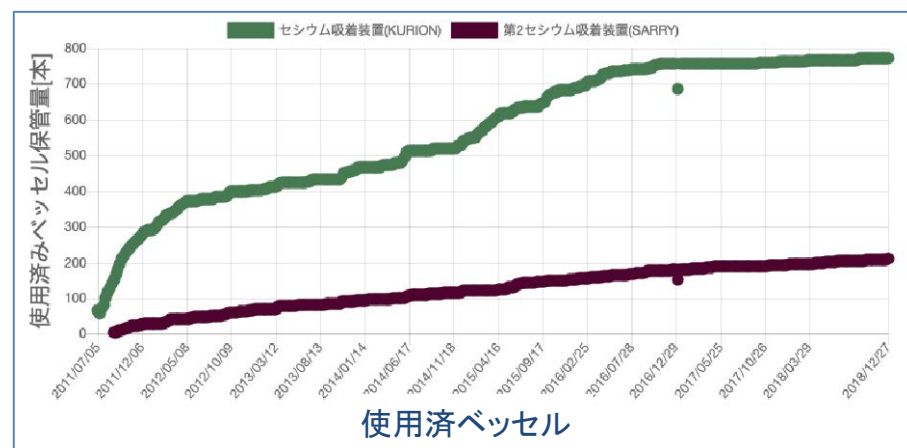
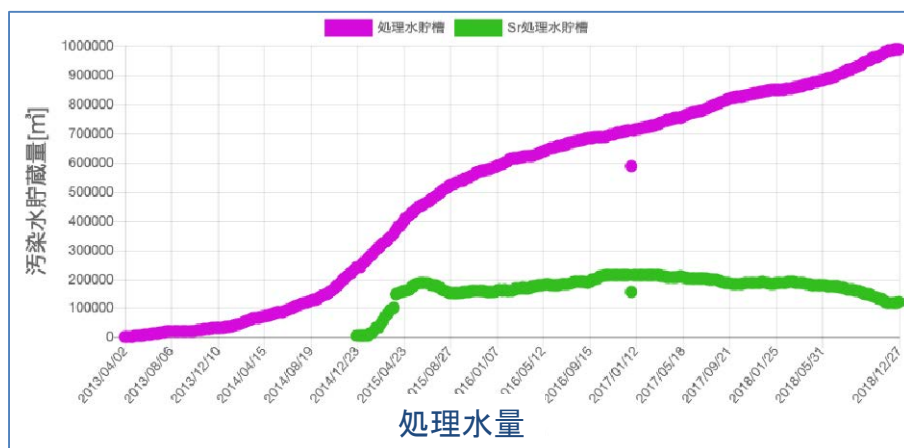
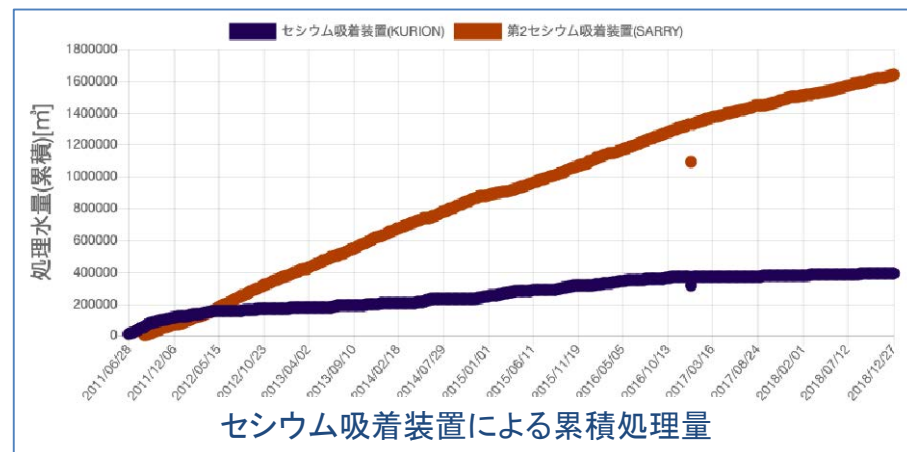
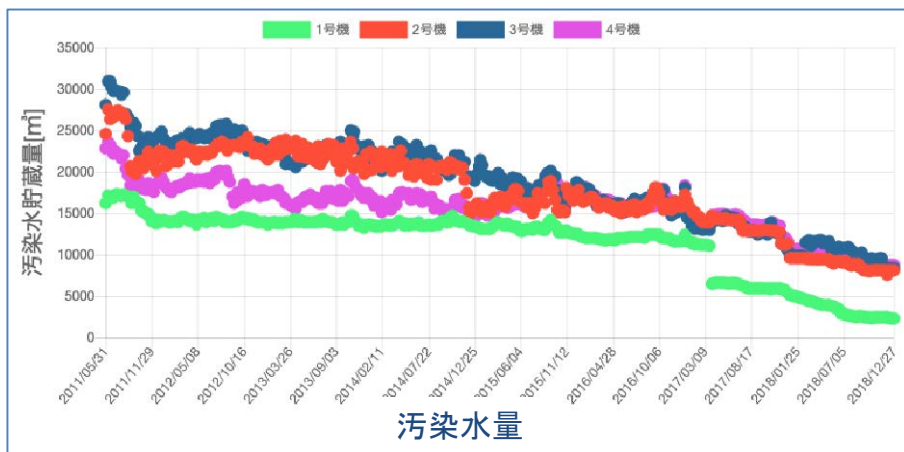
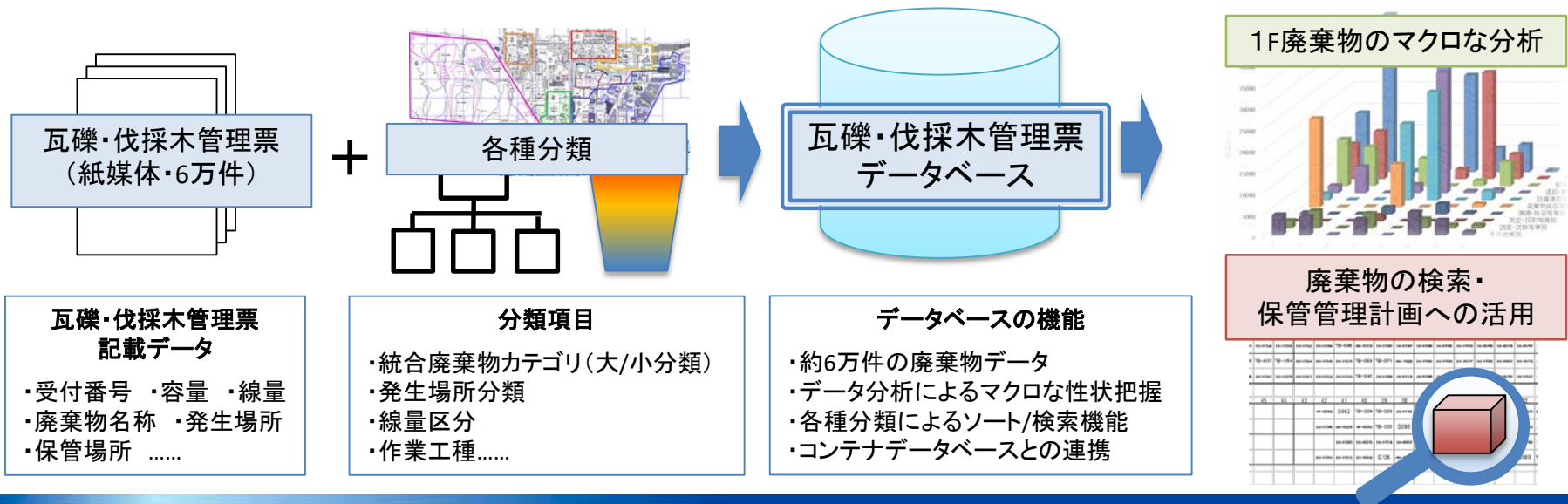


図1 保管・貯蔵量の表示例

(4) 分析データ管理 - 廃棄物情報のデータベース (1/2) -

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> 最新の廃棄物の分析結果等を収集し、2016年度データを再整理する。また、適宜データの蓄積等を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> 最新の廃棄物のデータ、分析結果等を反映した廃棄物リストを更新する。

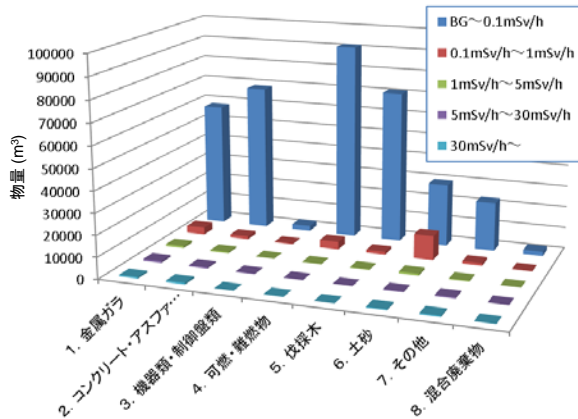
- 従来より紙媒体で管理されていた「瓦礫・伐採木管理票」を電子データベース化した。以下に示す検討等に活用する。
 - ・ 保管量(体積)や線量率などの特徴をマクロに捉えた分析などへの利用
 - ・ 処分影響物質の抽出
 - ・ 廃棄物保管管理・サンプリング計画への活用
- 約6万件の「瓦礫・伐採木管理票」(2012.4～2018.12)の廃棄物データを入力した。約6万件の廃棄物データそれぞれに対し、統合廃棄物カテゴリ(大分類8種、小分類23種)、発生場所分類(8種)、線量区分(5種)、作業工種分類(10種)などで新たに分類し、廃棄物の詳細なデータ分析を可能にした。
- また、コンテナに収納され固体廃棄物貯蔵庫に保管されている廃棄物データに対して、コンテナ番号と紐付ける事により、別途作成したコンテナデータベースと組み合わせる事で、廃棄物の保管場所を特定する事が可能となった。



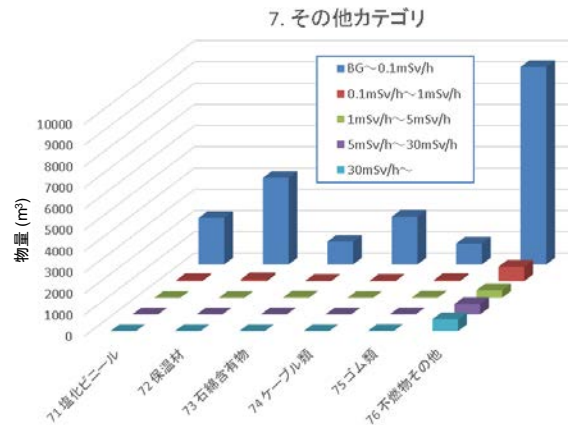
(4) 分析データ管理 - 廃棄物情報のデータベース (2/2) -

■ 1F廃棄物のマクロな分析の事例

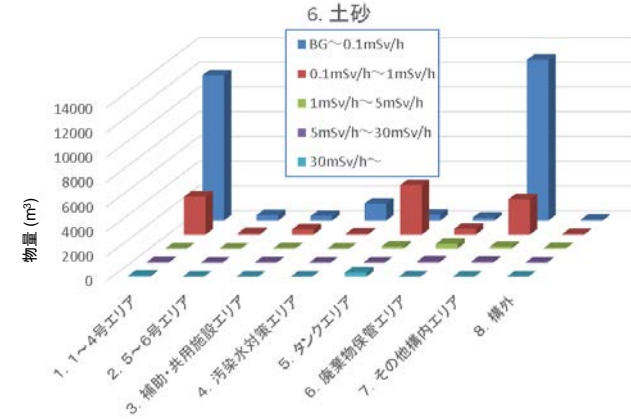
✓ カテゴリ小分類や発生場所分類を用いた廃棄物の詳細なデータ分析が可能。



全廃棄物の統合カテゴリ大分類



「7. その他」のカテゴリ小分類



「6. 土砂」の発生場所分類

■ 廃棄物の検索・保管管理計画への活用

✓ 分類項目を利用した廃棄物の検索、およびコンテナデータベースとの連携により保管場所の特定が可能。

検索条件

- ・統合カテゴリ小区分: 75(ゴム類)
- ・発生場所分類: 3
(補助・共用施設エリア)
- ・保管場所: 固体廃棄物貯蔵庫

廃棄物
検索

1件該当



検索結果 (瓦礫・伐採木DB内容)

- ・受付番号: 2017-05-329
- ・発生場所: サイトバンカ建屋
- ・保管物名: 難燃物(ゴム類).....
- ・表面線量: 10 mSv/h
- ・コンテナ番号: **TB-021**, TB-014
-

コンテナ
検索

1件該当



検索結果 (コンテナDB内容)

- ・コンテナNo: TB-021
- ・容積: 6 m³
- ・重量: 3,300 kg
- ・現状保管アドレス: **7-B2-5-27-A-2**
-

(5) 性状把握方法構築

— ①汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討 —

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物分類(廃棄物に特徴的な放射性核種組成)に関する知見に加え、廃棄物が汚染した位置(場所)や過程に関する情報、事故事象の進展に関する情報を参考として、放射性核種の汚染機構を推定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 分析データ等に基づいて検討した汚染機構を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 分析データの蓄積に伴い、検討の結果の見直しを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 同上

- 汚染の機構として経路(空気、水)とともに複数のソースタームからの汚染の重畳も重要である。ウラン同位体の起源は、損傷燃料とともに天然ウランが考えられることから、ウランの移行挙動を輸送比を用いて検討した。
- 従来、ウランの輸送比が同位体ごとにばらついていたため(図1)、輸送比の計算に用いる燃料組成を検討した。ウラン同位体の輸送比はU-234、235と238が相関し、一方で、U-236には差異が見られた(1号機瓦礫の例では天然ウランの寄与が大きい)(図2)。輸送比を指標とするこの方法は、ウランのソースタームを検討する上で有用であると考えられる。

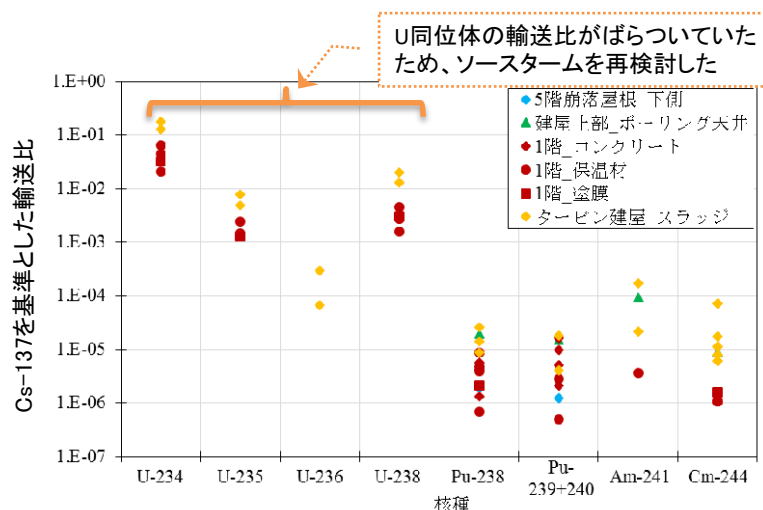


図1 1号機の種々の試料へのU同位体の輸送比(従来の燃料組成計算値に基づく)

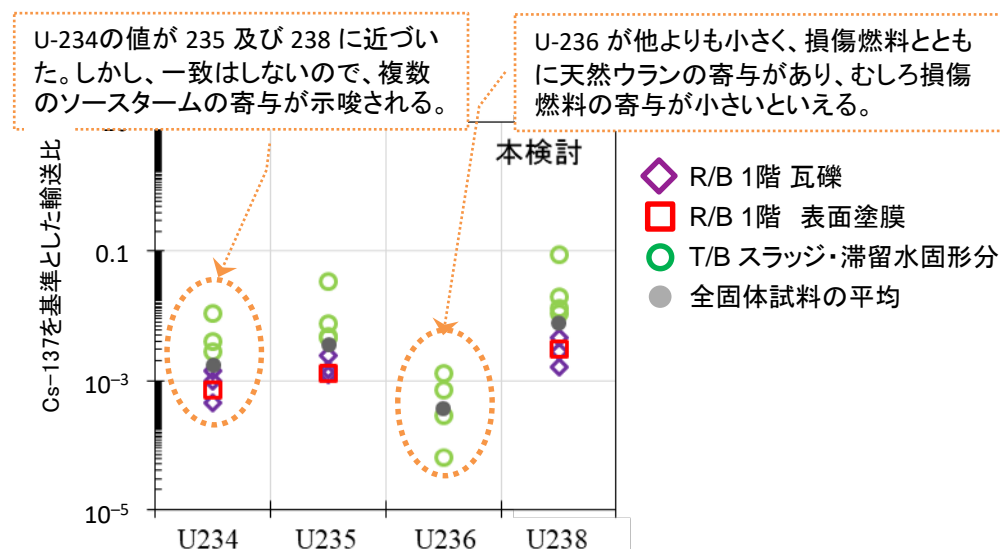


図2 ソースターム(損傷燃料)を再計算して求めた輸送比

(5) 性状把握方法構築

－ ②分析データに基づく廃棄物分類の検討 －

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物を特徴付ける放射性核種の組成を整理する。 放射性核種の濃度の相関や、ソースタームの核種組成により規格化した量(輸送比)を用いて進める。 	<ul style="list-style-type: none"> 得られた分析データに基づいて検討した廃棄物分類を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 分析データの蓄積に伴い、検討の結果の見直しを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 同上

- 分析データから算出した輸送比は対数正規分布に似た曲線をとることから、確率紙プロットを利用して、廃棄物の分類を決定する作業が考えられた(図1)。
 - ✓ この方針は有望と思われ、以下、次ページの成果に基づいてベイズ統計を利用した方法を検討した。
 - ✓ 2017年度に検討した分類を変更する知見は認められなかった。

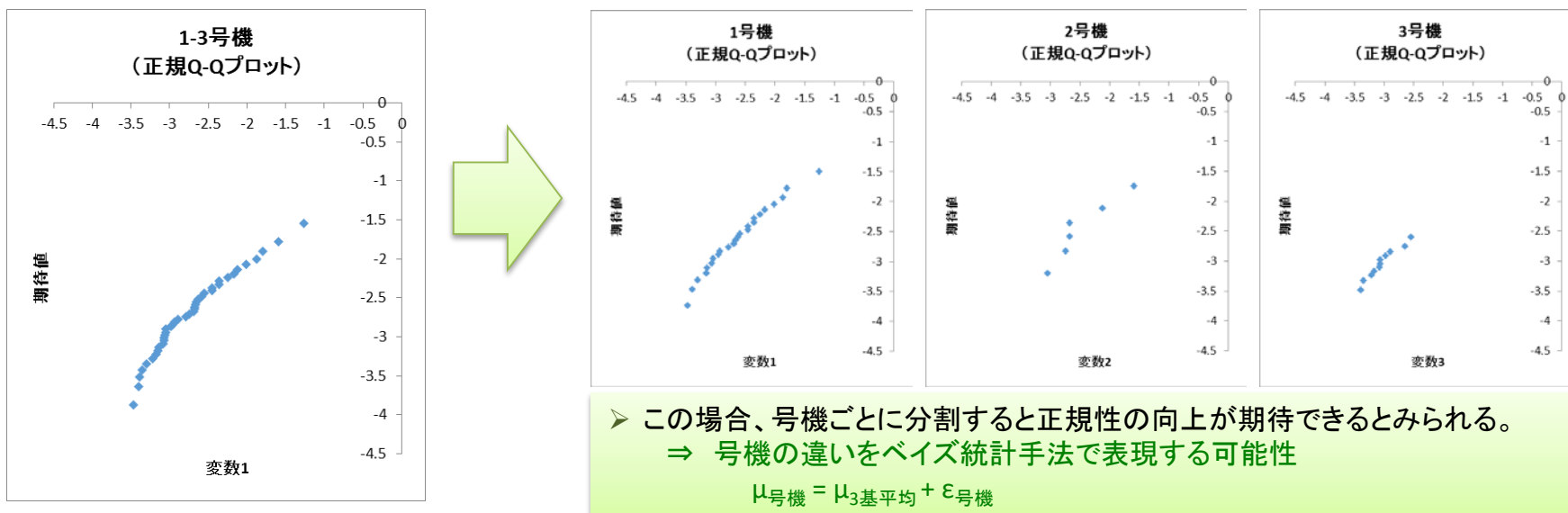


図1 号機の依存性を検討する作業のイメージ(アルカリ土類金属の輸送比分布を例にして)

(5) 性状把握方法構築

－ ③分析データの代表性に関する検討 (1/4) －

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> 採取が可能な場所やデータ点数が限られる制約条件において、分析データの代表性を評価する方法、また、それを元にして、廃棄物の汚染分布を推定する方法を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 分析データの代表性を検討する方法及び汚染分布を推定する方法を示す。

- 廃棄体の放射能濃度を決定する従来法*1の適用は困難であるとみられる。
- このために、新たな方法の開発、確立が必要である。廃棄物の情報や分析データは長期間にわたり漸増するので、データの増加により統計的な性質が変化することを推定できる方法を導入する。
- そこで、従来の頻度分布的な方法ではなく、ベイズ (Bayes) 統計の援用を検討していく(図1)。

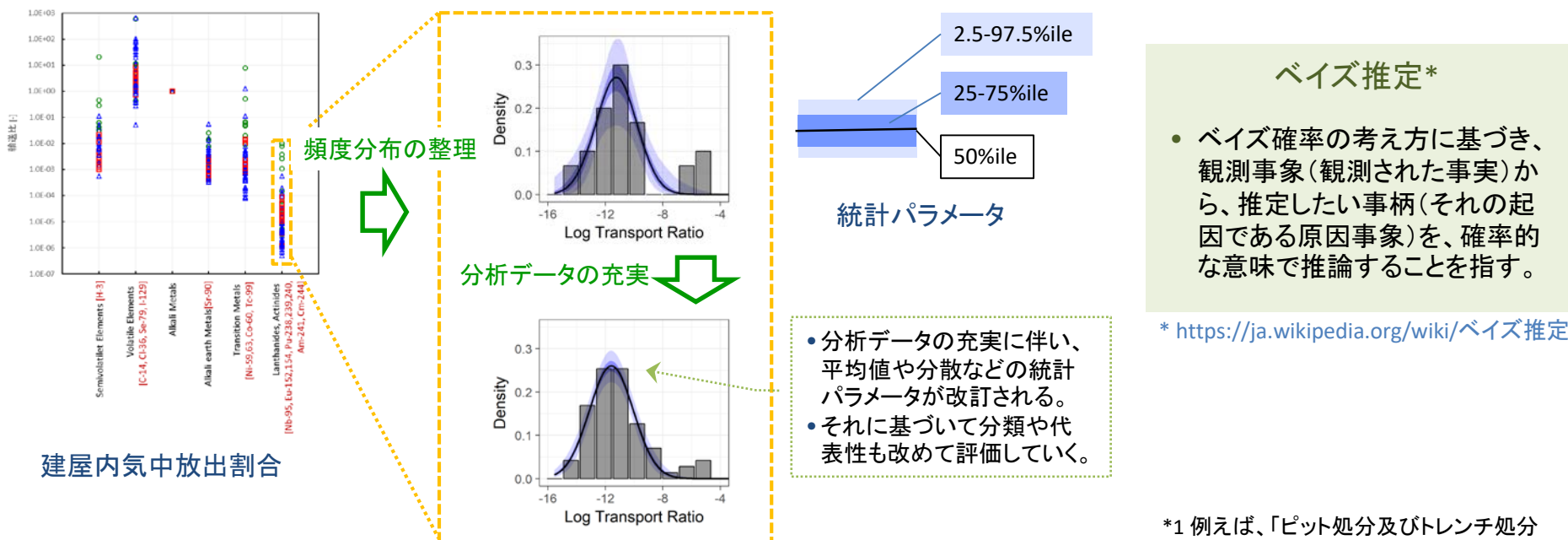


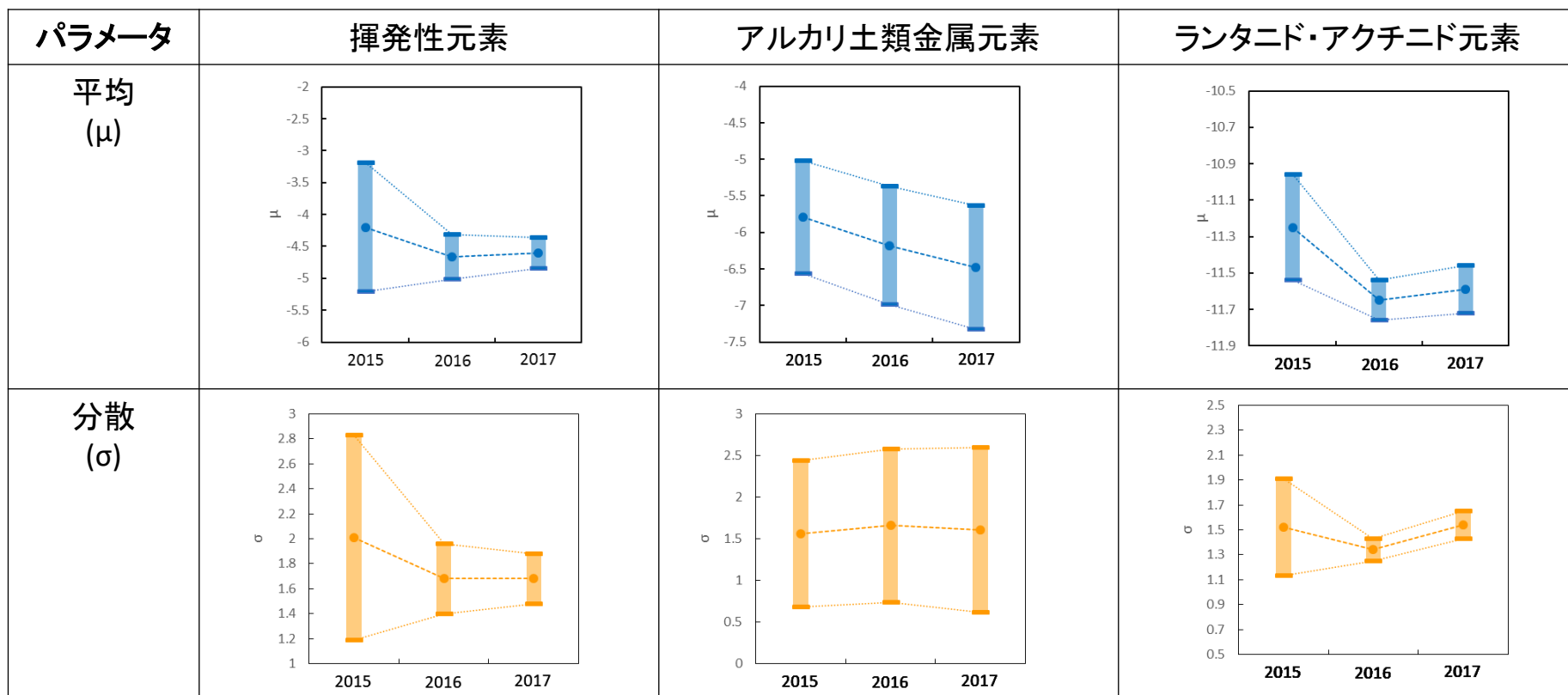
図1 分析データの統計的取り扱い方法に関する検討

(5) 性状把握方法構築

－ ③分析データの代表性に関する検討 (2/4) －

- 精度の向上に関し、放射性核種輸送比の頻度分布を求め、そのパラメータ(対数正規分布を仮定した平均と分散)がデータの増加に伴い変化する様子を調べた(表1)。
- データの蓄積に伴い概ねパラメータが改善し、従来の分類が核種組成の観点から妥当であることを確認した。Srを主体とするアルカリ土類金属元素は平均値が変化するとともに分散が改善しておらず、検討を要する。

表1 データ増加に伴う原子炉建屋内への輸送比の頻度分布(対数正規分布)に関するパラメータの変化



(5) 性状把握方法構築

－ ③分析データの代表性に関する検討 (3/4) －

- インベントリは廃棄物情報、分析データや事故事象進展を元にした汚染モデルを用いて計算する(図1)。ここで、分析データの代表性は、ベイズ統計に基づき確率密度を評価して検討する。汚染モデルには従来と同様に次ページのものを適用する。

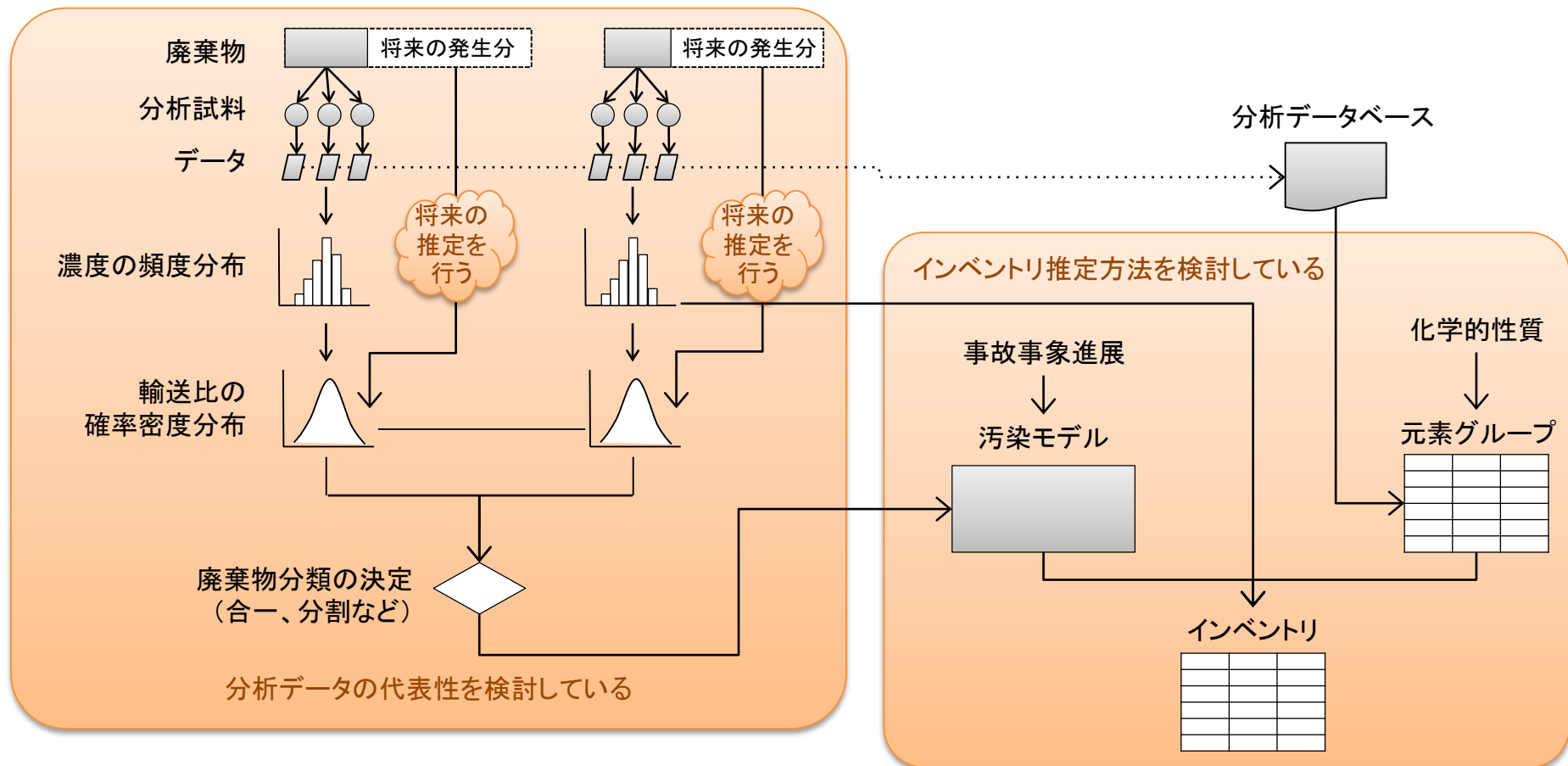


図1 分析データに基づいて廃棄物のインベントリを推定する概念的な流れ

(5) 性状把握方法構築

— ③分析データの代表性に関する検討 (4/4) —

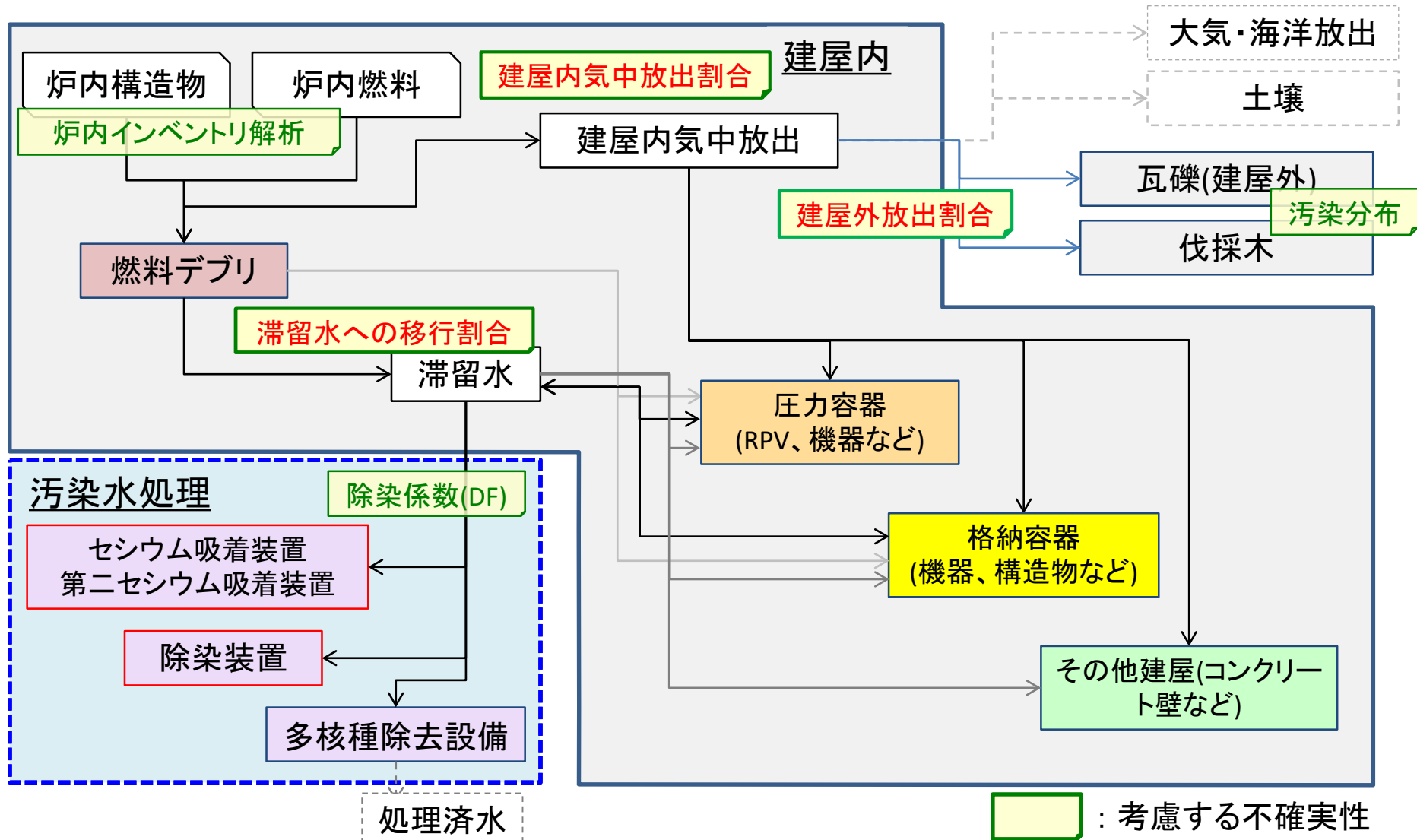


図1 廃棄物のインベントリを推定する汚染モデル(物質の流れ)

(5) 性状把握方法構築

－ ④解析的評価手法の精度向上 －

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物分類(廃棄物に特徴的な放射性核種組成)、放射性核種の汚染機構、分析データの代表性に関する検討の結果を踏まえ、インベントリ評価の精度を向上する上で必要な手法を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 解析的評価の精度向上方策を示す。
2017	<ul style="list-style-type: none"> インベントリ評価精度の向上に必要な手法を取り込んだ解析的評価を行う環境(計算に用いるツールを含む)を整備する。 	<ul style="list-style-type: none"> 解析的手法を行うツールを整備する。

- 分析データに基づいて設定した汚染核種の分類や、ベイズ統計に基づいて求めた対数正規分布のパラメータを利用して、モンテカルロ計算を援用して核種移行割合を求める手法を検討した(図1)。
- 核種移行割合を確率密度分布として表現することができた。この方法を利用して、種々の廃棄物の放射能インベントリを求め、その確からしさを評価することが可能となる。

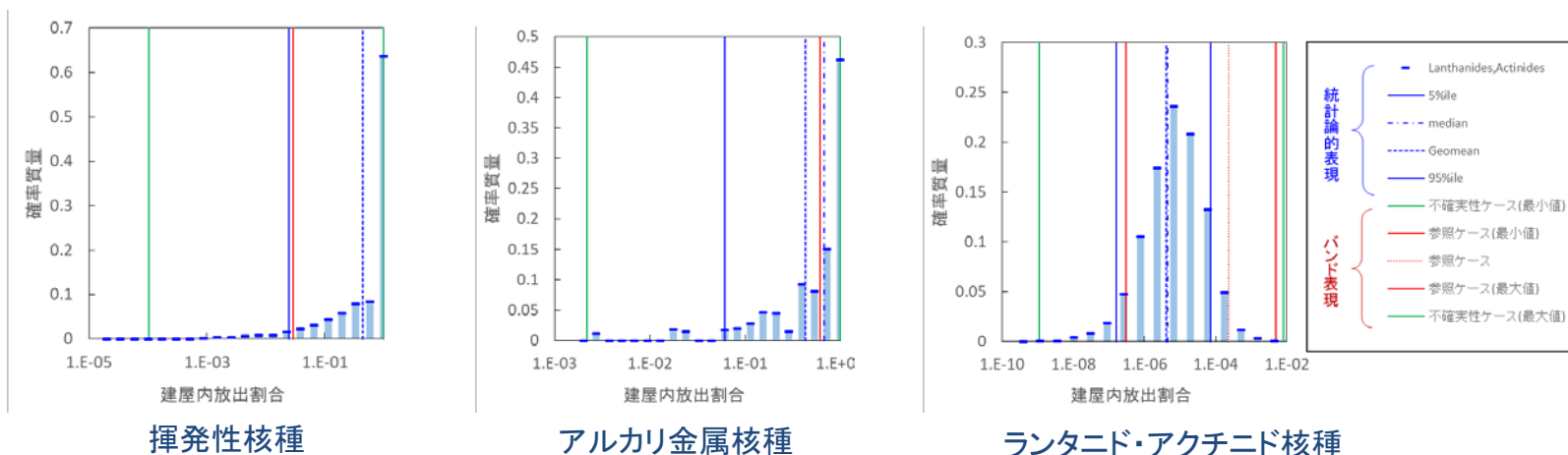


図1 ベイズ統計に基づきモンテカルロ計算を援用して求めた核種移行割合(確率密度分布としての表現)

(5) 性状把握方法構築

⑤ 総合的なインベントリ評価の取りまとめ

年度	実施計画	目標とする指標
2018	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物管理の検討に用いられる廃棄物のインベントリを、前項で整備した環境及びデータを用いて評価し、設定する。併せて、分析データと解析手法が有する不確実性を考慮し、得られた結果の不確実性を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物のインベントリを推定して示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 前項までに求めた評価方法を簡便に再評価できるよう、環境(計算に用いるツールを含む)を改良し、手順書を作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> インベントリ推定の手順を示す。

- ベイズ統計を組み入れたモデルを用いて、種々の廃棄物の放射能インベントリを統計論的に推定するとともに、計算ツールを整備した(図1、図2)。

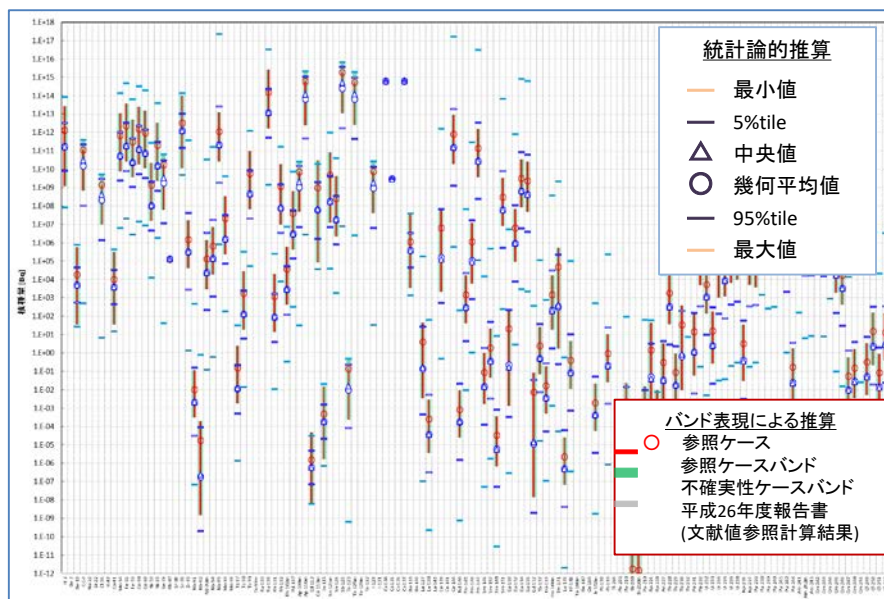


図1 統計論的に求めたインベントリ(低線量瓦礫の例)



図2 表計算ソフトをベースに整備した計算ツール

(5) 性状把握方法構築

- ⑥精度向上に資するデータの収集 -

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> これまでの検討において得られた知見に基づき、必要なデータを収集する。 	<ul style="list-style-type: none"> 精度向上に資するデータを収集する。

- 水処理二次廃棄物の一つであるゼオライトは、高線量のために採取が困難である。難測定核種には処理工程水に検出されていないものがあり、インベントリ推定の精度を高めるために、難測定核種の分配挙動を調べた。
- 競争する陽イオンが存在する条件(図1)、pHに対する依存性(図2)について分配データを取得した。
- また、Puと同様に4価が安定であるThのデータを収集するとともに、AmやCmと同様に3価が安定であるEuとCsの競争を検討した。

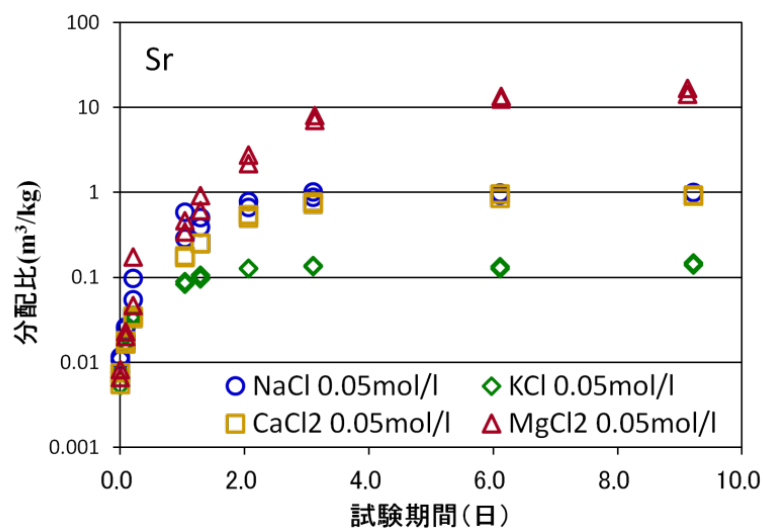


図1 ゼオライトへのSrの分配比の時間変化

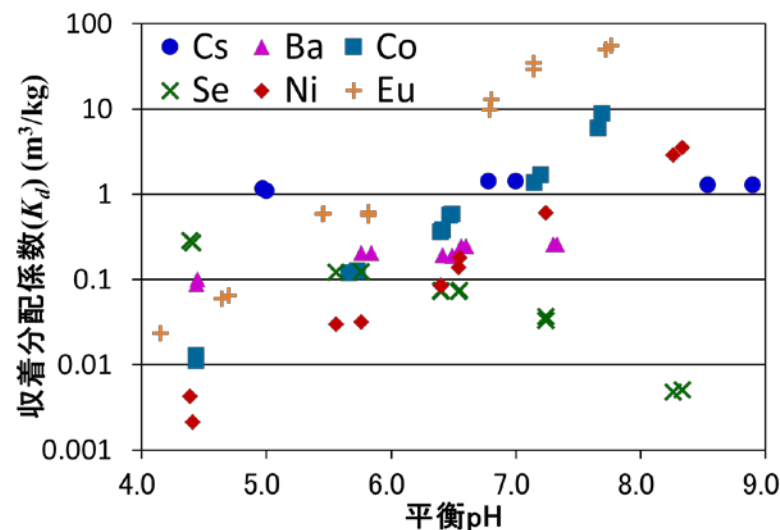


図2 種々の元素の分配係数のpH依存性

分析対象核種の再選定

[参考 H29年度成果]

- 難測定核種の分析は通常の核種測定に比べて多くの資源(人、施設、時間)を要することから、合理化しなければならない。これまでに得られた分析実績、分析データに基づく汚染挙動(元素グループ)を基にして、核種の再選定を検討した。
- 従来不検出であった核種には(表1)、同位体や化学的な類似性の観点から、必ずしも分析によらず燃料の燃焼計算を基にして濃度を推定できるものがある。また、処分安全における重要性を考慮して分析・計算の必要性を確認した(図1)。
- 分析対象を従来目安としていた38から30核種に減らし、計算により23核種を推定することが妥当であると考えられた(表2)。

表1 不検出核種の実績

元素	検出	不検出
H	³ H	
C	¹⁴ C	
Cl		³⁶ Cl
Ca		⁴¹ Ca
Ni	⁶³ Ni	⁵⁹ Ni
Tc	⁹⁹ Tc	
Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁵ Cs
Eu	¹⁵⁴ Eu	¹⁵² Eu
U	^{234,235,236,238} U	
Np		²³⁷ Np
Pu	^{238,239+240} Pu	^{241,242} Pu
Am	²⁴¹ Am	^{242m,243} Am
Cm	²⁴⁴ Cm	^{245,246} Cm

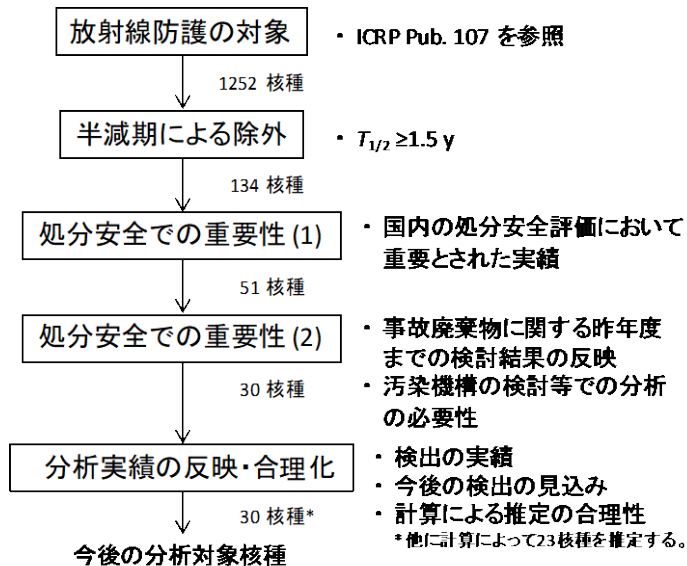


図1 処分安全の重要性を考慮した分析対象核種を選定する流れ

表2 分析並びに計算の対象核種

元素	分析対象核種	計算対象核種
H	3	
C	14	
Cl	36	
Ca	41	
Co	60	
Ni	63	59
Se	79	
Sr	90	
Zr	93	
Nb	94	93m
Mo	93	
Tc	99	
Ru	106	
Pd	107	
Ag	108m	
Sn	126	
Sb	125	
I	129	
Cs	137	135
Sm		151
Eu	154	152
Pb		210
Po		210
Ra		226, 228
Ac		227
Th		228, 229, 230, 232
Pa		231, 233
U	234, 235, 236, 238	233
Np	237	
Pu	238, 239, 240	241, 242
Am	241	242m, 243
Cm	244	245, 246
核種数	30	23

(6) 分析方法の簡易・迅速化

- ① 分析方法の効率化・合理化に関する検討 -

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 分析計画に基づき、迅速化や省力化によって効率化・合理化しうる分析方法を抽出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 効率化・合理化の対象とする分析方法を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 期待される効率化・合理化技術に関して、その応用を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 抽出された分析方法の適用範囲を示す。

- 吸着材の分析において、前処理として分析試料を溶解するが(図1)、残渣の発生が課題であった(図2)。溶解の過程で揮発性の¹²⁹I、¹⁰⁶Ruなどが揮発して損失してしまうため、定量するために標準物質を添加して、損失の割合を求め補正する必要があるが、溶解の条件が吸着材により異なり、また、核種ごとに定める必要があり、煩瑣である。
- 残渣に放射性核種が有意に含まれていないことを確認した上で定量を行い、¹³⁷Cs濃度が低い場合には、固体標準線源を用いた定量を導入した(図3)。適用に当たっては、標準線源と体積が同等となるようにあらかじめ調整する。

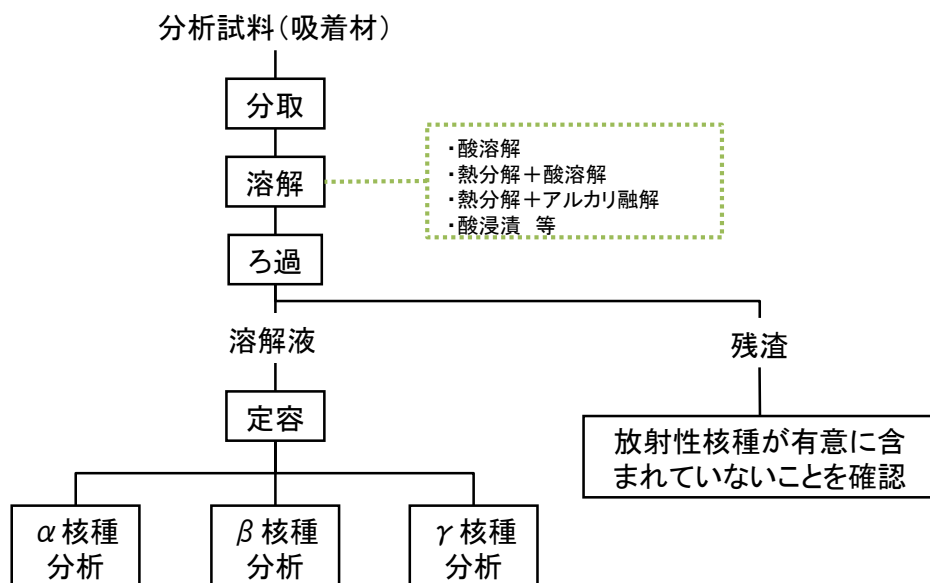


図1 吸着材の破壊分析法のフロー



図2 酸化セリウム吸着材の不溶解残渣

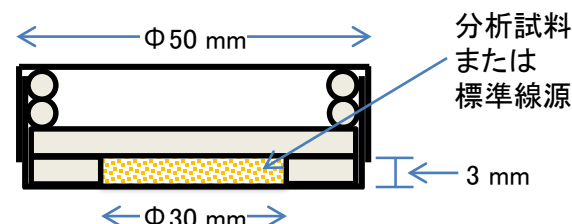


図3 固体試料の非破壊測定のための容器(案)

(6) 分析方法の簡易・迅速化

② 簡易・迅速な分析方法の検討

- 事故廃棄物の分析において定常的に用いる分析方法を確立することを目標として、現在の分析方法の簡易・迅速化を検討した(図1)。

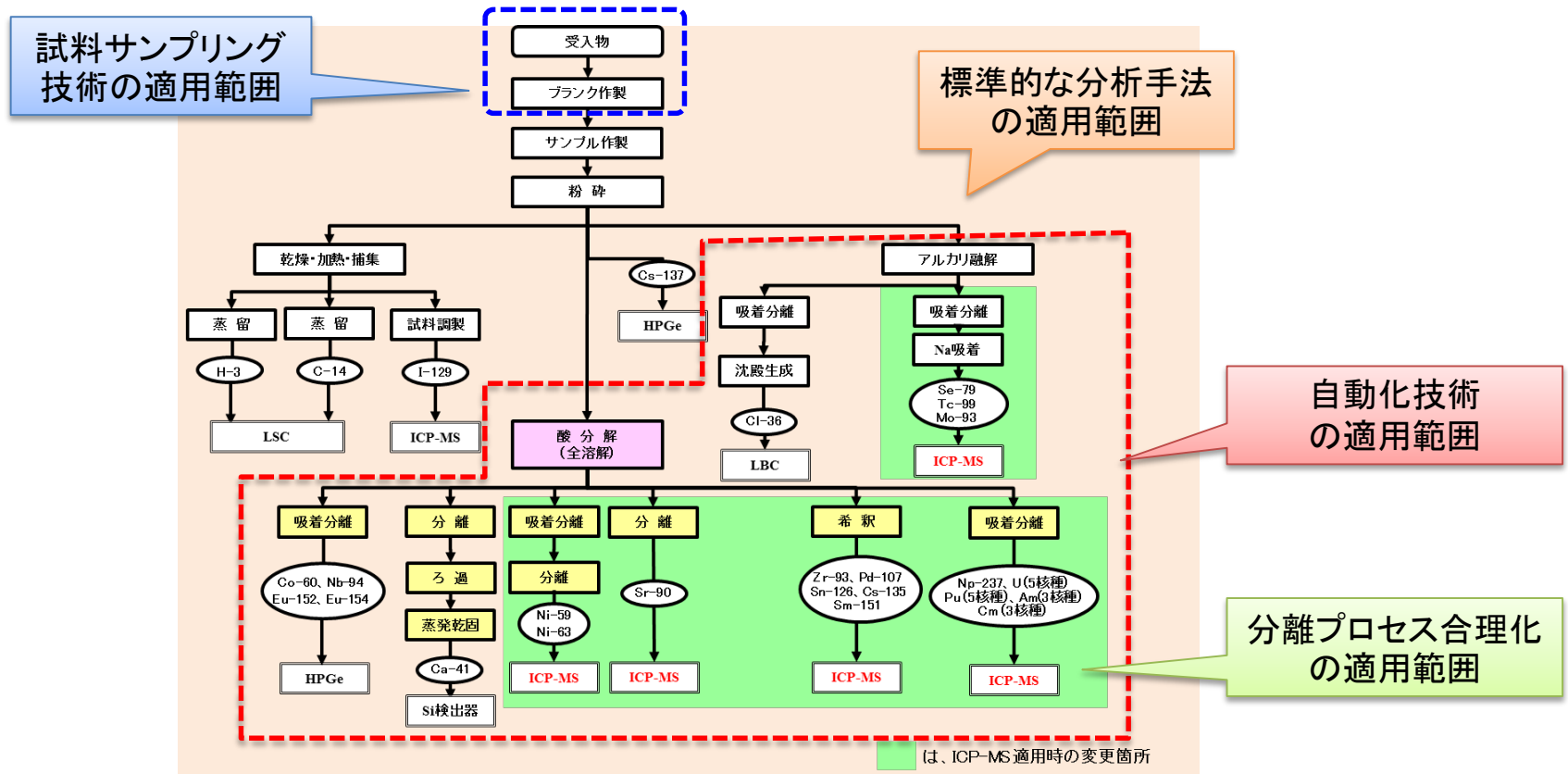


図1 分析方法の改良を図る対象とその方策

(6) 分析方法の簡易・迅速化 ②簡易・迅速な分析方法の検討 - 試料のサンプリング技術開発 -

年度	実施計画	目標とする指標
2018	<ul style="list-style-type: none"> 非破壊分析による「試料表面物質の分布」を評価することにより、試料に対する分析値の代表性を確保しつつ、最小限の試料量となるような採取方法の策定を行う 試料のサンプリング装置の試作検討を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 分析試料のサンプリングの合理的な方法案の提示

- 分析対象とする試料は一般に汚染が不均一であり、あらかじめ分析やデータの評価に適した位置でのサンプリングをする必要がある。そこで、試料表面の汚染を調べ、採取すべき部位を特定する手法を検討し、また、目的とする部位を採取するためのサンプリング装置の検討を実施した。
- 試料の汚染状態をマッピングするため、試料表面の γ 線放出核種の分布を計測できる装置を試作し、 ^{137}Cs 線源を埋め込んだ試料を測定した(図1)。その結果、試料表面の放射能濃度の差異を計数値として計測できることを確認し、基本的な装置の成立性を確認した(表1)。今後は、高濃度部と低濃度部の差異をより明確に識別できるように、試料と検出器の位置関係やコリメータの大きさ等の設計を最適化すると共に、測定部以外の影響(バックグラウンド)を低減するような装置改良を検討していく必要があると考えられる。
- サンプリング装置を試作し、任意の場所を電動ドリルで切削するとともに、試料粉体を吸引しフィルターにトラップすることで、必要な部分を切り出すことなく、粉体試料として簡便に試料表面をサンプリングできる見通しを得た(図2)。今後、定量的な採取、遠隔操作への適用に関する検討が必要と考えられる。

表1 試料表面の汚染濃度測定結果

回転角度 (Deg)	横方向距離 (mm)				
	-20	-10	0	10	20
60		25	109	26	
50		33	127		
40		77	165		
30	19	65	284	93	36
20	92	48	435	85	43
10	90	81	759	81	57
0	71	96	1067	127	36
-10	75	69	612	121	76
-20	43	50	208	99	58
-30	22	73	136	48	49
-40		56	79	55	
-50		19	55	49	
-60		49	61	31	
	-20	-10	0	10	20

・数値は計数(測定時間300秒)

ダイアフラム真空ポンプ 電動ドリル

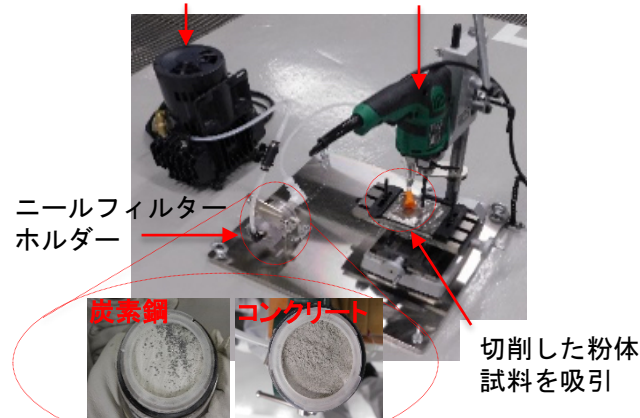


図2 サンプリング装置試作機

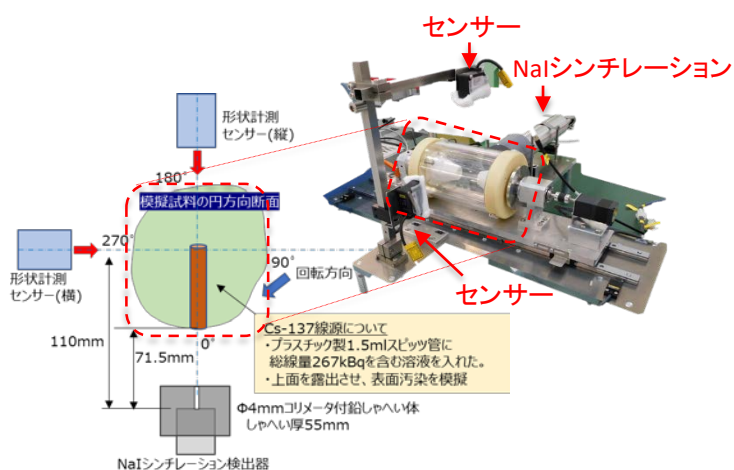


図1 マッピング装置試作機と汚染濃度分布測定方法

(6) 分析方法の簡易・迅速化 ②簡易・迅速な分析方法の検討 - 分離プロセスの合理化検討 -

年度	実施計画	目標とする指標
2018	<ul style="list-style-type: none"> 現状の分離技術の整理を行うとともに、γ線スペクトロメトリあるいはICP-MSを想定し、最新の知見を反映した合理的な分離手法を検討する 放射性標準物質を用いない測定装置とその校正方法について検討する 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の分析手法のリストの提示 合理的な分離手法案の提示 装置の校正の方法案の提示

- トリプル四重極ICP-MS (ICP-MS/MS) は、同じ質量数の核種(同重体)の影響を、ガスとの反応により軽減でき、合理化の観点から有用と考えられる。そこで、ICP-MS法を用いた分析に関する最新の知見(検出下限値、有効な固相抽出剤および有効な反応ガスに関する情報等 (表1))を整理した。これにより、前処理工程を簡素化した分離プロセスを提案することができた(図1)。
- 標準試料の入手が困難な ^{59}Ni , ^{79}Se , ^{93}Zr , ^{93}Mo , ^{126}Sn , ^{135}Cs は、ICP-MS法による質量分析が可能と考えられる。このため、入手の容易な安定同位体標準試料を用いた検量線より得られた分析値に対して、質量数の違いに伴う質量差別効果を補正することで放射性標準物質を用いない定量が可能と考えられる。今後、実際に取扱う性状を模擬した試料(模擬試料)を用いた実証が必要である。

表1 ICP-MS測定における同重体の影響除去に有効な反応ガス

選定核種	同重体	有効な反応ガス	反応ガスとの反応
^{59}Ni	^{59}Co	N_2O	同重体を反応させることにより除去
^{79}Se	^{79}Br	O_2	同重体を反応させることにより除去
^{93}Zr	^{93}Nb , ^{93}Mo	NH_3	$\text{Zr}^+ + 6\text{NH}_3 \rightarrow \text{Zr}(\text{NH}_3)_6^+$
^{93}Mo	^{93}Zr , ^{93}Nb	NH_3	同重体を反応させることにより除去
^{99}Tc	^{99}Ru	(※)	
^{107}Pd	^{107}Ag	NH_3	$\text{Pd}^+ + 3\text{NH}_3 \rightarrow \text{Zr}(\text{NH}_3)_3^+$
^{126}Sn	^{126}Te , ^{126}Xe	(※)	
^{129}I	^{129}Xe	O_2	同重体を反応させることにより除去
^{135}Cs	^{135}Ba	N_2O	同重体を反応させることにより除去
^{151}Sm	^{151}Eu	NH_3 , O_2	$\text{Sm}^+ + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Sm}(\text{NH}_2)^+ + \text{H}$ $\text{Sm}^+ + \text{O}_2 \rightarrow \text{SmO}^+ + \text{O}$

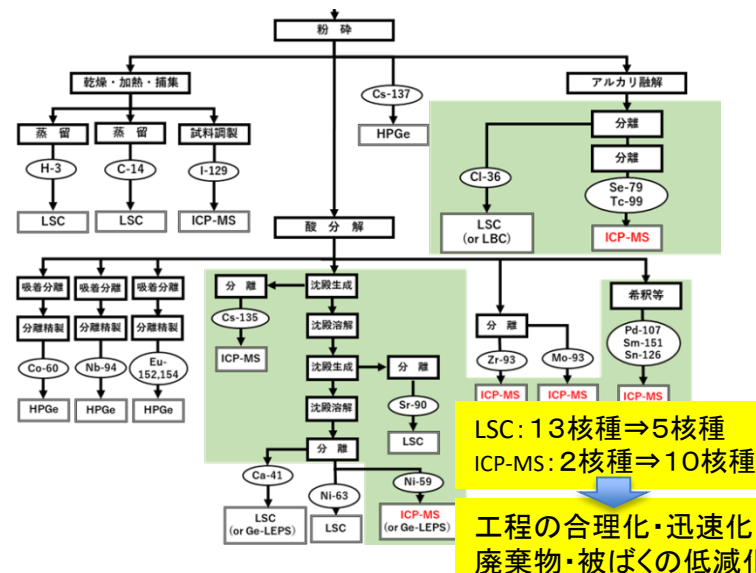


図1 新たにICP-MS法を導入した分離プロセスの概要

※ 今後の調査・試験により有効なガスを検討する必要がある

ICP-MS: 誘導結合プラズマ質量分析計, LSC: 液体シンチレーションカウンター

(6) 分析方法の簡易・迅速化 ②簡易・迅速な分析方法の検討 - 自動化技術の開発 -

年度	実施計画	目標とする指標
2018	<ul style="list-style-type: none"> 既存の分離手法において、自動固相抽出装置を適用するための改良を実施 最も分離操作の複雑なNi核種分離操作の成立性を評価 	<ul style="list-style-type: none"> Ni核種における一連の分離操作の成立性評価結果の提示

- 近年、化学分離操作のために分離能の高い固相抽出法が、抽出剤や溶離液を変えることにより様々な分離に適用できることなどから広く用いられている。しかし、分離に長時間かかり、分析員が長時間拘束されていた。一方で、旧来の溶媒抽出法と比べて、カートリッジを用いたシステムであることから、比較的容易に自動化が可能となると考えられた。そのため、自動固相抽出装置を中心とした分析操作の自動化システムを検討した。
- 様々な水溶液や固相抽出カラムを用いることを想定し、[図1](#)に示すような改良を加えた装置を製作した。
- 試作した自動化システムの性能に関して、熟練者による操作と比較した。⁶³Niの分離を想定してNiに関する[図1](#)に示す一連の分析操作を行い、回収率を比較したところ、同等の回収率、精度を達成し、改良した装置の有用性を実証した([表1](#))。試薬の通液を重力により行っているため、更なる精度および迅速性の向上には、通液速度の制御が望まれる。

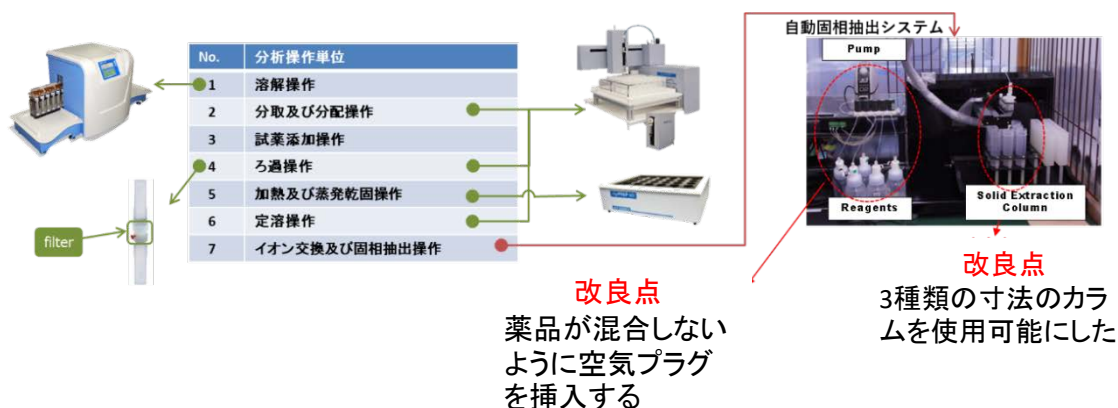


表1 自動化システムの性能評価
(Ni-63分析における回収率の比較)

操作	Ni回収率	標準偏差 (分析精度)
自動化システム	89.8%	2.9%
熟練分析者	87.0%	2.2%

図1 自動化技術の構成と改良した固相抽出装置

(6) 分析方法の簡易・迅速化 ②簡易・迅速な分析方法の検討 -標準的な分析手法の確立-

年度	実施計画	目標とする指標
2018	<ul style="list-style-type: none"> β核種5種(³⁶Cl,⁴¹Ca,⁵⁹Ni,⁶³Ni,⁹⁰Sr)について、分析プロセスの合理化の検討を踏まえた分析手法の成立性評価 分析値の信頼性確保のための手法を検討・整理 分析値の信頼性確保のため、分析精度管理や分析者の力量維持などを目的とした訓練方法を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 測定対象核種の元素分離に係る成立性評価結果の提示 分析値の信頼性確保可能な、現場実証レベルの要領書案を作成 教育訓練方法案の提示

- 提案した分離プロセスの成立性を評価するため、対象核種の元素の分離・精製試験を実施し、廃棄物分析へ適用できる見込みを得た。またβ核種は一般に計測の前に複雑な化学分離操作を必要とすることから、これを題材として、新たに分析を開始する技術者の訓練のための手法を検討した(図1)。
- 技術者の訓練プログラムは、分析原理の理解だけでは判断しにくい事項(試料分解の成否の判断基準等)を可能な限り明確化したプログラムに改善した(図2)。
- ISO9001規格に準拠した体系に反映でき、1F放射性廃棄物の特徴である多種多様な分析試料に対する迅速な標準分析法の検認を考慮した品質保証要領書案を作成した(図3)。

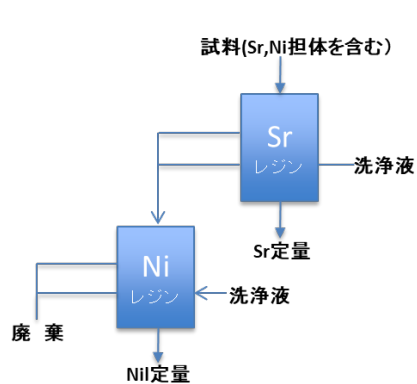


図1 検討対象の例 (Sr、Ni核種の分析)

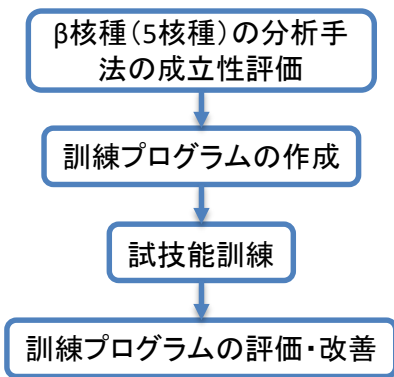
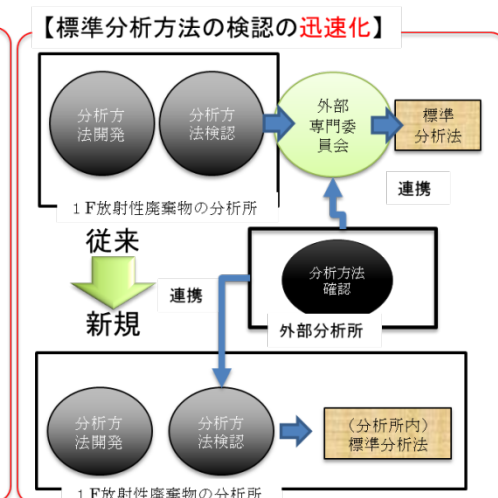


図2 訓練方法検討の流れ

【標準分析方法の検認の合理化】

試料 (マトリクス)	元素 (核種)	溶解 (溶液化)	分離	測定
コンクリート	12,14C	酸溶解	イオン交換	ICP-AES
灰	59Ni, 63Ni	アルカリ融解	カラム分離	HPGe
土壌	...	灰化	沈殿分離	LSC
...	
分析方法の検認の条件	選択性及び 特異性	○	○	○
	測定範囲		○	○
	校正及びトレーサビリティ			○
	かたより	○	○	○
	直線性			○
	検出限界値/定量下限値			○
	堅牢性	○	○	○
	精度	○	○	○

図3 1F放射性廃棄物標準分析法の検認の考え方



結果のまとめと今後の課題

	結果のまとめ	今後の課題
(1)分析計画検討	<ul style="list-style-type: none"> • 年間の分析計画を立案し、輸送と分析を実施した。 • 中長期的に取り組む事項を次年度に備え検討した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 中長期の分析計画を改定する。
(2)試料採取・分析	<ul style="list-style-type: none"> • 汚染水や水処理二次廃棄物の採取を進めた。 • 1Fから分析施設への輸送を3回実施した。 • 瓦礫類、汚染水、水処理二次廃棄物や土壌を分析し、データを蓄積し、処理や処分の検討に提供した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 水処理二次廃棄物の採取を継続する。 • 大熊分析・研究施設の竣工に備え、分析試料の確保を進める。
(3)試料採取技術開発	<ul style="list-style-type: none"> • 除染装置スラッジの採取方法を検討し、実施した。ゼオライト採取の要素装置を製作、試験した。 • 原子炉建屋内採取の要素装置を実地に試験した。 	<ul style="list-style-type: none"> • ゼオライトの採取技術の見通しを得る。
(4)分析データ管理	<ul style="list-style-type: none"> • 分析結果のデータベースを作成し、公開した。 • 東京電力が管理している廃棄物情報を電子化した。 	<ul style="list-style-type: none"> • データベースを着実に拡充する。 • 廃棄物情報の利用を図る。
(5)性状把握方法構築	<ul style="list-style-type: none"> • 分析データに基づき、原子炉建屋内部の汚染、ウランやネプツニウムの汚染等の情報が蓄積された。 • 分析データに基づき元素の汚染分類、廃棄物分類を設定した。 • 分析データの代表性やインベントリ推定の確からしさを評価する手法としてベイズ推定が有用であることを確認した。 • インベントリの解析的な評価手法を改良し、ツールを整備した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 汚染機構のモデル化を着実に進める。 • ベイズ統計を導入した分析計画の手法は確立しておらず、中長期の分析を計画するにあたり検討を要する。 • 汚染挙動の検討は、分析データの蓄積に合わせ進めるとともに、事故進展等の成果を取り込む。
(6)分析方法の簡易・迅速化	<ul style="list-style-type: none"> • 分析試料のサンプリング手法、ICP-MSの適用による分析、化学分離操作の自動化を検討し、それぞれ有望であることを確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 大熊分析・研究施設の竣工に備え、分析方法の標準化を進める。

3. 保管・管理に係る研究

報告内容

- (1) 水素発生への対策
- (2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策
- (3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

(1) 水素発生への対策 —実施計画と目標とする指標—

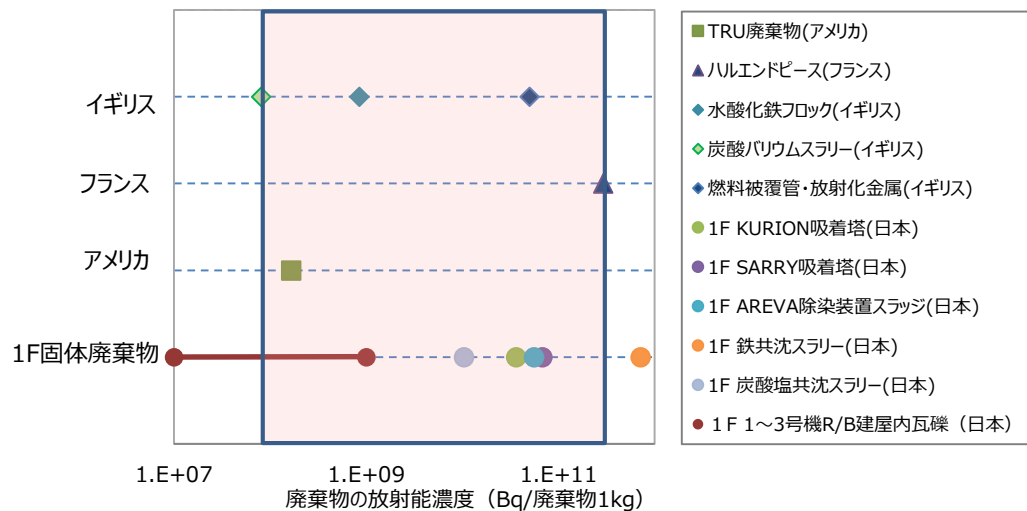
年度	実施計画	目標とする指標
29	<ul style="list-style-type: none"> 線量が高く、水分を含有する固体廃棄物の保管時における水素ガス発生評価手法及び発生する水素ガスに関わる保管容器のベント等の要件について、国内外（英国、米国、仏国）の知見を調査する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水素ガス発生評価手法及びベント等の要件に係る知見を示す。
30	<ul style="list-style-type: none"> 平成29年度の水素ガス発生に関わる国内外の知見の調査結果を踏まえ、1Fへの適用性を検討し課題を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fへの適用性と課題を示す。

2017年度は発生水素ガスに関する考え方、水素ガス発生評価手法、容器の仕様、水素ガス発生への対策等について、日本との相違点を理由を含めて調査した。

各国の廃棄物のうち、水素ガス発生対策が必要と想定される1F固体廃棄物に放射能濃度が近いものを選定

【2017年度の調査項目】

- 発生水素ガスに関する各国の考え方（規制や技術要件）の調査
 - 各国の水素ガス発生に対する考え方（規制や技術要件）について、保管、処理、処分、及び移送の各フェーズで調査した。
- 水素ガス発生評価手法の調査
 - 主にG値の設定値と考え方を調査した。
- 固体廃棄物を収納する容器に求められる機能の調査
 - 水素ガス発生対策を中心に容器の種類や材質等を広く調査した。
- 水素ガス発生への対策
 - 水素ガス発生を低減する方策を調査した。



1F廃棄物放射能濃度：平成27年度の「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」知見より

(1) 水素発生への対策

— 水素ガス発生に関する各国の考え方(規制や技術要件)の調査 —

諸外国では、法律による具体的な規制はないものの、処分場におけるマニュアル、ガイダンスや廃棄物仕様書を満たすことで保管、輸送、処分の要件を満たすことができる。

なお、輸送については各国ともIAEAの放射性物質安全輸送規制(SSR-6)に基づいて規制されている。

	米国	英国	仏国
保管	DOE ^{*1} が制定する「放射性廃棄物取扱いマニュアル」にてTRU廃棄物のすべてに対してベント機構を要求している。	水素ガスに関しては、英国の法律では具体的な規定はない。但し、RWM社 ^{*6} が廃棄体仕様やガイダンスを定めており、これに従うことで処分場への輸送、処分に係る要件に対応することができる。また、これはRWM社のLoC ^{*7} と呼ばれる評価プロセスを用いて体系的に実施される。	水素ガスに関しては、仏国の法律では具体的な規定はない。但し、フランス原子力施設安全局(DSIN)はCIGEO(深地層処分場)の仕様書パッケージ(specifications package)を容認する決定をした ^{*8} 。これによりCIGEO処分場で受け入れるために満たさなければならない要件が定められている。
処理	特になし (処理システムにおける換気空調により対応している)		
処分	特になし (閉鎖前は換気システムで換気し、閉鎖後は換気しない)		
輸送	DOT ^{*2} がIAEAの放射性物質安全輸送規制(SSR-6)と同等の規制を行っている(LSA ^{*3} 、SCO ^{*4} 、タイプ ^{*5} A、タイプB、タイプCなど)。さらにNRCはタイプBの輸送容器について規制している。	IAEAの規制に基づいて原子力規制局(ONR)が規制している。	IAEAの規制に基づいて原子力規制局が規制している。

*1 : United States Department of Energy; アメリカ合衆国エネルギー省

*2 : United States Department of Transportation; アメリカ合衆国運輸省

*3 : Low Specific Activity (核燃料物質を含まないか、濃度が低いものを指す) 詳しい定義は49CFR173.403に示されている。

*4 : Surface Contaminated Objects (表面汚染しているもの)

*5 : 廃棄物の分類(クラスA、B、C)とは別のものであることに注意。

*6 : Radioactive Waste Management limited (規制機関ではなく、地層処分施設(GDF処分場)を運営する会社)

*7 : Letter of Compliance (RWM社によって構築された処分性評価プロセス)

*8 : 環境規約(Code of Environment) L542-12で報告されている。

(1) 水素発生への対策

－水素発生評価手法 評価パラメータ－

各国の水素ガス発生評価式は共通している。
また、水素ガス発生速度は放射能濃度とG値によって評価されることを確認した。

	米国	英国	仏国	
評価式	廃棄物単位重量あたりの水素ガス発生速度 = $\sum_{i,j}$ 核種 <i>i</i> の崩壊熱 × 線種<i>j</i>のG値 × 線種 <i>j</i> の吸収効率 核種 <i>i</i> の崩壊熱 = \sum_j 線種<i>i</i>の放射能濃度 × 線種 <i>j</i> の放出率 × 線種 <i>j</i> の放出エネルギー (赤字：変動値、黒字：固定値)			
パラメータ	線種 <i>i</i> の放射能濃度	<ul style="list-style-type: none"> 書類検査 例.AK(Acceptable Knowledge) 場合によりサンプリング測定 不均一な廃棄物の場合、最大放射能濃度で評価 	<ul style="list-style-type: none"> データベースUKRWI*1で管理 場合によりサンプリング測定 不均一な廃棄物の場合、最大濃度で評価 	<ul style="list-style-type: none"> 書類検査 場合によりサンプリング測定 不均一な廃棄物の場合、最大濃度で評価
	線種 <i>j</i> の放出率	含有核種に依存	含有核種に依存	含有核種に依存
	線種 <i>j</i> の放出エネルギー	含有核種に依存	含有核種に依存	含有核種に依存
	備考	<ul style="list-style-type: none"> 崩壊熱はRadCalc*2などのソフトウェアを使用し評価 	<ul style="list-style-type: none"> データベースでは英国内の廃棄物種類、廃棄物量、保管場所、発生履歴、放射能等の情報が一括で管理されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 崩壊熱は認証済のコードにより算出 α線：CESAR *3 β線：MCNP*4 γ線：MCNP*4

* 1 UK Radioactive Waste Inventory * 2 RadCalc® (Lifeline Software Inc.)

* 3 CESAR (Simplified Evolution Code Applied to Reprocessing)。CEAとCOGEMAが開発したコード。

* 4 Monte Carlo Neutron and Photon Transport Code System。モンテカルロ法による放射線の輸送計算コード。

(1) 水素発生への対策

— 水素ガス発生評価手法 水素発生評価に用いられるG値 —

G値は、廃棄物分類や水の状態に応じて設定していることを確認した。

		米国	英国	仏国
G値 (H ₂)	炭酸塩スラリー	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥時 (5~20wt%) : 1.6 セメント固化時 : 0.6~0.85*1 	規制との交渉により設定 (初期設定例は自由水の0.4または0.45)	<ul style="list-style-type: none"> 自由水、セメント水和水 : 0.452(文献値) Mg(OH)₂:0.051 (文献値)
	鉄共沈スラリー	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 自由水、セメント水和水 : 0.452(文献値) Fe(OH)·H₂O : 0.00529(実測値)
	炉内構造物	<ul style="list-style-type: none"> 付着水 : 1.6 (乾燥後 : 0) 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 付着水 : 0.45
G値 (H ₂) の考え方		<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物性状 (有機物の有無、固化の有無、含水率等) に応じて整理されている。*2 α核種を含まない廃棄物であっても保守的にα線G値をベースとする。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント固化による水の状態変化を考慮してG値0.05-0.5を設定した実績がある。 文献値を採用するか実測値を採用するかは規制との交渉事項。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント固化後も自由水のG値を使用。 実測した場合はより低いG値を設定可能。(DSC*3乾燥スラッジでは0.032) 発生源の質量分率と各G値の積和により廃棄物のG値を算出。

*1 固化条件 (セメント材の種類に依存) により設定。Type I (OPC) の場合、水/セメント重量比0.45でG値は0.6を使用。

Type V(超微細グラウト)の場合、水/セメント重量比0.8でG値は0.85を使用。

*2 CH-TRU Payload Appendices (図書)

*3 乾式貯蔵用容器 (Dry Storage Container)

(1) 水素発生への対策

— 固体廃棄物を収納する容器に求められる機能の調査 —

今回の調査範囲では、諸外国では保管、処分と同じ容器を使用していた。そのため、保管容器は処分場からの要求を満たしていた。また、輸送はいずれも密封容器を用いていた。

	米国	英国	仏国
保管	米国では廃棄物を保管する容器が処分されるまで使用される。	RWM社が作成した処分施設の安全運転に関する要件（廃棄物パッケージ仕様（WPS : Waste Package Specifications））が体系化 ^{*2} されており、これが英国の基準となっている。	【CSD-C ^{*6} 】 ・外寸：Φ430×h1335[mm] ・材質：壁及び底部：SUS316L相当
処分	・外寸：円筒状で様々ある （Φ460×h680[mm] ～Φ2080×h2740[mm]） ・材質：炭素鋼、ステンレス鋼、高密度ポリエチレン（HDPE）など ・容器内に廃棄物以外の様々なもの（凝固剤、粒状または粉末樹脂、セメント遮へい）を入れて廃棄体としている。また、WIPP処分場では容器に合わせて認可されたベントフィルタのリストがある ^{*1} 。	が体系化 ^{*2} されており、これが英国の基準となっている。 WPSにて機械的強度、遮へい、熱的性能、劣化耐性等の発生ガス対策以外の要件が大きく占める。また、輸送及びGDF ^{*3} での地層処分を可能にするために寸法が細かく決められている ^{*4} 。	【DSC】 ・外寸：Φ約580×h約1000[mm]（約250L） ・材質：SUS316L相当 ・どちらの場合にも、150年間 ^{*7} 水素濃度を4Vol%未満に保つために、CSD-Cと同じ焼結金属フィルタ ^{*8} が設置されている。
輸送	密閉輸送キャスクはタイプA、LSA(Low Specific Activity)、タイプBにクラス分けされる。	放射性廃棄物の輸送にはタイプBを使用し、ガス発生の管理に関する要件を定めている ^{*5} 。	【CSD-C】 トランスニュークリア社のTN81、TN843、TN28Tなど複数種類の輸送容器が認可されている。また、輸送シナリオ（通常条件で120℃で1年、事故条件で150℃で7日間）に従った場合、輸送容器内の水素ガスが4 vol%未満に維持されることを書類確認する。

*1 : CH-TRAMPAC (図書) にて容器 (例えば55ガロンドラム) に対する最小の水素拡散係数を要求しており、認定されたフィルタリストから性能を比較して選定する。

*2 : 例えば「廃棄体仕様」はWPS/300番系列に記載されており、WPS/300/03では500リットルドラム缶の技術要件が定められている。

*3 : 地層処分施設 (Geological Disposal Facility)

*4 : 輸送時は全体寸法は6.058 m×2.438 m×高さ2.591 mを超えないようにする。また、鉄道の場合には幅2.67 mまたは高さ2.40 mを超えてはならない。

*5 : 最大内圧(7 Bar)、通常及び事故時の放射能含有量の累積損失 (10⁻⁶A₂/1h、A₂/1W)等を定めている。

*6 : エンドピース及び雑固体廃棄物を圧縮処理し、ステンレス鋼製容器に封入した固形物収納体

*7 : フランスの最終処分場における仮の運用期間として仮定している。

*8 : Sintertech社が販売するPORALフィルタが型式認定されており、CSD-C、DSCともに使用されている。

(1) 水素発生への対策

－ 水素ガス発生対策の調査 －

諸外国では、乾燥やセメント固化等により、できる限り水分（自由水）を低減した上で、発生した水素ガスをフィルタを通してベントから放出して建屋側にて管理している。

	米国	英国	仏国
水素ガス発生対策	<ul style="list-style-type: none"> ・WCS処分場、WIPP処分場ともに含水率1vol%以下のものを受入れる。 （処分場では書類の確認を行う） ・ベントフィルタの設置が義務づけられている。 （過去にはTRU廃棄物を密封容器で処分していたが、その後ベントフィルタを後付した例もある） 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>水酸化鉄スラッジ</u> セメント固化して廃棄体表面をグラウトでキャップした後、ネジ山を通じて水素を拡散できるように設計されたカバーで蓋をする。 ・<u>炭酸バリウムスラリー</u> 水酸化鉄スラッジとほぼ同様。フィルタと一体になった蓋を設置する。 ・<u>レガシー混合廃棄物</u> 3m³容器（膨張リスク緩和のために二重壁で、腐食予防のためにコンクリート内張りされており、ガス放出のために蓋にフィルタが設置）に入れて数十年間中間保管する。 ・<u>プルトニウム汚染物質</u> 超圧縮（super-compaction）した200リットルドラム缶を500リットルドラム缶に数個収容し、グラウトを詰める。フィルタと一体になった蓋を設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥により含水量低減している （CSD-C：ハル・エンドピース圧縮体で含水率5%以下で運用実績がある） また、DSC（スラッジ状の廃棄物）についても、実施は未定であるものの、含水率5%以下となるような乾燥方法を研究開発中）

(1) 水素発生への対策

－ 2017年度の調査結果のまとめ －

本年度の調査から、水素対策に関し、自由水の低減、G値の使い分け、ベントフィルタ付容器による保管の観点でまとめたものを下記に示す。

なお、各国とも処理・保管・処分については、事業者にて合理的な方法を決定し、規制側と調整を行っていた。

① 自由水の低減

- 水素発生評価は、基本的に自由水の分解が支配的として扱っており、各国とも乾燥やセメント固化等の処理により自由水を低減することを考慮していた。
- 自由水とそれ以外の水（例；セメント結晶水）について、国によって扱いが異なっていた。
例)
米国および英国：セメント固化等による自由水の減少や水の状態変化を考慮して水素発生評価
仏国：結晶水についてもG値を設定し、水素の発生源として評価

② G値の使い分け

- 各国ともに水素発生評価におけるG値は、廃棄物の性状（水の状態、有機物の種類、放射線種類）に応じて分類して設定していた。

③ ベントフィルタ付容器による保管

- 今回対象とした廃棄物では、各国ともにベントフィルタ付き容器で保管し、保管施設にて換気等のガス対策を実施していた。
- 水素以外に核分裂生成物（H-3、Kr-85等）の公衆の被ばくについても考慮していた。

(1)水素発生への対策

－ 2018年度 実施内容 －

2018年度は、1 F 固体廃棄物としてスラリー状廃棄物と炉内構造物について、諸外国メーカーと共に、一時保管から処分までの各フェーズでの諸外国の規制や過去の実績に基づく水素発生対策を検討した。また、その結果に基づき1F固体廃棄物への適用性と課題を整理した。

No.	選定した廃棄物	理由
1	スラリー状廃棄物 (HICの炭酸塩スラリー 及び鉄共沈スラリー)	事業者にて脱水処理が検討されており、脱水処理後の保管時に水素発生対策が至近で必要となるため。また、諸外国で類似実績があり、知見が期待できる。
2	炉内構造物	燃料デブリ取出し時に発生が想定される廃棄物として金属の炉内構造物を選定。廃棄物表面に水分が付着しているものを想定。また、諸外国で類似実績があり、知見が期待できる。

(1) 水素発生への対策

ー 諸外国メーカーの検討結果 スラリー廃棄物 ー

フェーズ	米国	英国	仏国
一時保管 (20~40年)	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥後*1ベントフィルタ付き容器で保管*2 	<ul style="list-style-type: none"> 脱水後、ベントフィルタ付き容器または非密封のタンクで保管 	<ul style="list-style-type: none"> 脱水後、ベントフィルタ付き容器または大型タンク（サイロ）で保管
処理	<ul style="list-style-type: none"> セメント固化 ガラス固化*3 	<ul style="list-style-type: none"> セメント固化 ガラス固化*3 	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥*4 セメント固化
処分前保管 (約100年)	<ul style="list-style-type: none"> 一時保管と同じ (但し、環境漏えい防止のためのオーバーパックを推奨) 	<ul style="list-style-type: none"> 一時保管と同じ 	<ul style="list-style-type: none"> 一時保管と同じ
処分	<ul style="list-style-type: none"> ベントフィルタ付き容器に入れたまま処分 ✓ 浅地中処分の場合：特別な水素対策はされていない*5 ✓ 地層処分の場合：操業時は換気システムにより水素濃度を可燃限界以下に管理 	<ul style="list-style-type: none"> ベントフィルタ付き容器に入れたまま処分 操業時は換気システムにより水素濃度を可燃限界以下に管理 	<ul style="list-style-type: none"> ベントフィルタ付き容器に入れたまま処分

*1 例えば水平薄膜蒸発器（Thin-film-concentrator）で含水率5~20%程度まで乾燥する。但し、これは減容が主な目的。

*2 米国では廃棄物発生後に速やかに処分場に移送する。Generic Letter 81-38およびNRC Info Notice 90-09より5年を超える保管は原則行わないよう規制側が要求している。

*3 ガラス固化した場合には水素対策が不要と評価している。

*4 仏国では薄膜乾燥機で乾燥後、プレス機で圧縮する方法が研究されており、様々な種類のスラッジについて乾燥試験を実施し、いずれも含水率が1~5% になることが確認されている。

*5 発生した水素ガスは覆土中や合成ライナー（synthetic liners）中を拡散し、環境中に放出される。

スラリー廃棄物は一時保管から処分までベントフィルタ付き容器に収納

(1) 水素発生への対策

— 諸外国メーカーの検討結果 炉内構造物 —

フェーズ		米国	英国	仏国
一時保管 (20~40年)	ベントフィルタ付き容器	換気システムによる掃気 または屋外保管 (但し、米国では炉内から取り出し後、すぐに分割して最終処分容器に入れる)	換気システムによる掃気 【実績】有り セメント固化の有無に関わらず実績がある	換気システムによる掃気
	密封容器	乾燥処理 【実績】有り (GTCC*1 ; 使用済み燃料と同じ密封キャスクを使用)	乾燥処理 【実績】無し	乾燥処理 【実績】無し
処理	共通	水素ガス発生対策のための処理は特になし (切断等)		
処分前保管 (約100年)	ベントフィルタ付き容器	一時保管と同じ	一時保管と同じ	一時保管と同じ
	密封容器	一時保管と同じ	一時保管と同じ	一時保管と同じ
処分	ベントフィルタ付き容器	【実績】有り クラスC以下であれば浅地中処分となり、水素ガス発生対策はない (拡散により放出)	【実績】無し 処分場は設計段階	乾燥により、処分場受入れ基準 (10[NL/y/容器]) を満たす
	密封容器	【実績】無し GTCC*1に分類時は密封容器に入れ地層処分される例 : ユッカマウンテン(安全評価中)	【実績】無し (但し、十分に乾燥し、セメント固化しなければ可能性として有り得る)	【実績】無し (但し、十分に乾燥し、セメント固化しなければ可能性として有り得る)

*1 クラスCを超える廃棄物 (Greater than class C) 。密封キャスクに乾燥した状態で収納され、屋外で乾式保管されている。

炉内構造物は、ベントフィルタ付き容器による管理が一般的
密封容器による管理が必要な場合には乾燥処理が必要

(1)水素発生への対策

－ 諸外国メーカーの検討結果 まとめ －

【スリー廃棄物】

- 各国の実績に基づくと、一時保管から処分まで、ベントフィルタ付き容器に収納することで、爆発限界未満に容器内の水素ガス蓄積を抑制していた。
- ベントフィルタは認定品を採用している（米国と仏国の例）。

【炉内構造物】

- 処分場側の要求に応じて乾燥処理の有無を判断している。
 - ✓ 乾燥処理を行う場合：
⇒例えば、密封容器による保管要求がある場合や処分場で許容される水素発生量が小さい場合など

【共通】

- 設定したG値に基づいて水素発生速度を評価し、ベントフィルタを選定していた。
- 保管設備または処分場の作業時には換気システムにて水素ガスを掃気していた。

諸外国では、保管から処分までベントフィルタ付き容器の使用が一般的であった。

(1) 水素発生への対策

－ 1F適用に向けた課題 －

<ベントフィルタ付き容器>

- ① ベントフィルタへの性能要求とその担保方法の確立
 - ベントフィルタは、必要な期間中、容器内の固体廃棄物は放出せずに、水素を含むガスを放出する必要があり、それらの性能要求を策定する
 - 寿命や腐食を含む性能要求を担保する方法を確立する

<保管における水素ガス発生対策>

- ① 乾燥方法と管理値の策定
 - 含水率の管理値とそれを満たす乾燥方法及び管理値の確認方法の策定する
- ② 廃棄物分類に応じたG値の設定
 - 廃棄物分類とG値の設定方法の策定し、合理的な水素ガス発生評価を行う
- ③ 保管施設の換気システムへのフィードバック
 - 保管設備の換気システムに水素ガス発生速度をフィードバックする

<処分における水素ガス発生対策>

- ① 処分場の安全評価へのフィードバック
 - 閉鎖後の安全評価にベントフィルタ付き容器を用いることの影響を評価する

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (1/8)

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ取出しに係る他プロジェクト(燃料デブリ取出しプロジェクト、収納・移送・保管プロジェクト等)の検討を踏まえて、燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物に関する最新の情報を収集・整理する。収集・整理した情報を基に、保管・管理方法案を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ取出しに係る他プロジェクト(燃料デブリ取出しプロジェクト、収納・移送・保管プロジェクト等)の検討を踏まえた、燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物に関する最新の情報を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ取出しに係る他プロジェクト(燃料デブリ取出しプロジェクト、収納・移送・保管プロジェクト等)と協調し、最新の情報を収集・整理する。収集・整理した情報に加えて、燃料デブリ取出し工事等の工程を考慮し、燃料デブリ取出し工事に伴い発生する廃棄物について合理的な保管・管理方法案を取りまとめ、候補を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 収集・整理した情報に加えて、燃料デブリ取出し工事等の工程を考慮し、燃料デブリ取出し工事に伴い発生する廃棄物について合理的な保管・管理方法案を取りまとめ、候補を示す。

■ 実施内容

- 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物を4区分に分類し、想定発生量、想定線量等の廃棄物情報を整理した。
- 炉内構造物を対象に、保管までの各ステップで求められる安全機能要求リストを整理し、成立する可能性のある複数の保管・管理フローを作成した。
- 保管管理フローを基に、容器・保管建屋の要求機能案に関する検討を行った
- 容器・保管建屋の要求機能を基に、概略仕様案を検討した。

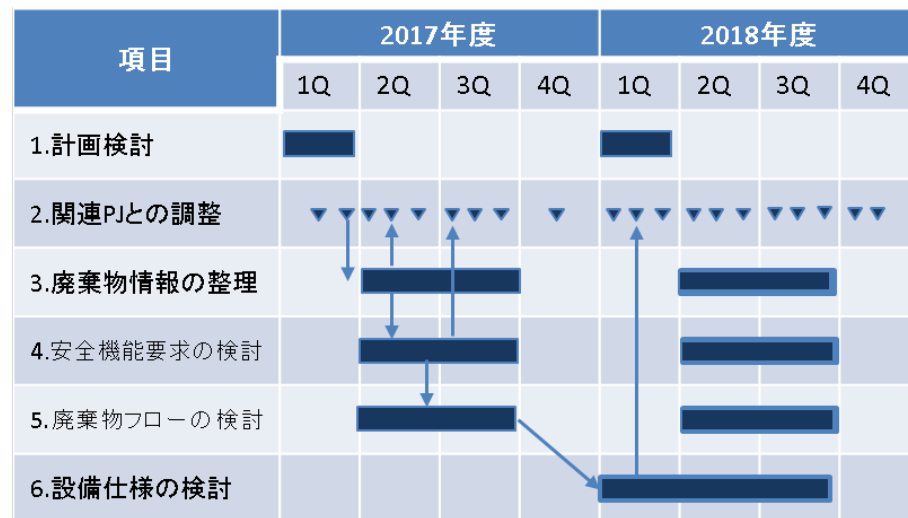


図1 実施スケジュール

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (2/8)

< 廃棄物情報の整理 >

- 燃料デブリ取出し前・取出し中に発生する廃棄物を4区分に分類し、燃料デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物情報を整理した。(表1)

表1 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物種類

廃棄物発生区分	発生廃棄物	想定発生量 (1基あたり)	想定線量
1 FL・オペフロ撤去物	機器・配管 壁・床・柱 等	3700 t	3E+11 Bq/t以下 (L3~L2相当と推定)
炉内構造物	シールドプラグ PCVヘッド RPV保温材 RPVヘッド 蒸気乾燥機 セパレータ 等	・デブリ上取り出し：670 t ・デブリ横取り出し：67 t	3.4E+12 ~1E+16 Bq/t (L1相当が含まれると推定)
取り出し機器	ドリル・マニピュレータ・ カメラ 等	未定 (取り出し工法による)	L3~L1相当と推定
空調・水処理系廃棄物	HEPAフィルタ 水処理フィルタ 廃吸着剤 等	170 t/年 程度	L3~L1相当と推定

従来の保管・管理方法が適用できると想定。今後、廃棄物性状を調査し、適用性を確認する。

高線量廃棄物としての対策が必要な廃棄物

考慮すべき事象と
主な対策

- ・外部被ばく→遮蔽
- ・内部被ばく→閉じ込め
- ・水素対策→ベント等
- ・発熱対策→空冷
(・臨界管理)*

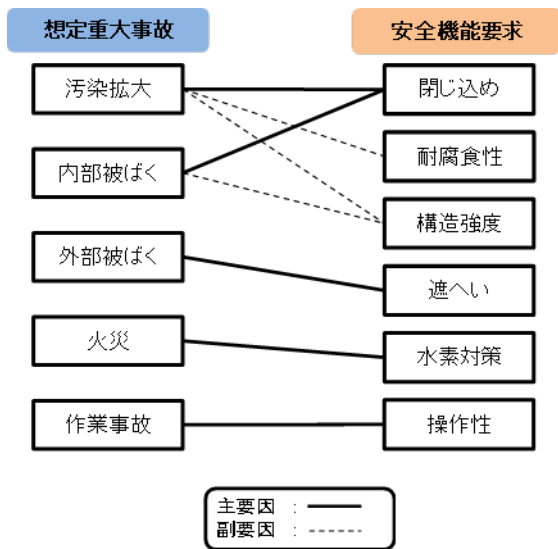
*臨界管理が必要な物は
収納缶に収納されると想定

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (3/8)

< 廃棄物情報の整理 >

「安全機能要求リスト」

重大事故を想定し、各作業ステップにおけるリスクと安全機能要求を検討



安全機能要求リストのうち「移送時」のリスク及び安全機能要求

	重大事故	想定される事例	リスク	対策(一例)	
移送時	汚染拡大	・移送容器が転倒した際に、容器が破損し、内容物が漏れる。	高	・構内に汚染が拡大した場合、影響が大きい。	・転倒時に移送容器が破損しない構造強度を確保する。
	内部被ばく	・α核種が容器から漏れ、作業員が吸い込み被ばく。	高	・α核種を含む粉じんが漏れた場合、内部被ばくする可能性が高い。	・移送容器の閉じ込め性能を確保する。
	外部被ばく	・移送容器の近くにいた作業員が放射線を直接浴び、被ばく。	高	・移送容器が適切な遮へい性能を持たない場合、外部被ばくする可能性が高い。	・移送容器の遮へい厚によって遮へいを確保する。 ・表面線量の高いものは無人輸送を行う。
	火災	・水素ガスが移送容器内に充満し発火。	高	・密閉された容器内に、水分、α核種などが存在すると、水素濃度が高くなる可能性がある。	・水素濃度が爆発下限界未満になるように時間管理を行う。
	作業事故	・移送容器が転倒した際に、作業員が負傷する。	低	・通常の貨物輸送と同程度の作業リスクが伴う。	・移送容器の転倒防止を行う。



最も重要な課題は、以下を両立する方法の検討

- ・核種飛散を防止 (密閉性の確保)
- ・水素ガスを放出 (通気性の確保)

相反する
安全機能要求



具体的な方策を検討

個別の作業ステップ(収納時、移送時、保管時)で求められる安全機能を明確化

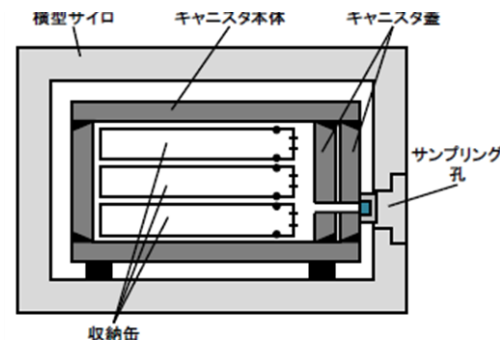
(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (4/8)

<既存技術調査>

- 核燃料、燃料デブリ、炉内構造物の移送から保管までのプロセスに関する過去の事例調査を行った。
- 一時的に湿式保管されている例もあるが、多くの場合、最終的に乾式保管されている。1Fにおいて湿式保管する場合、プールの確保や水処理設備の運用が課題となる。
- 乾式保管時の水素対策としては、フィルタベント付容器、もしくは乾燥処理+密閉容器が用いられている。(表1)
- IAEAは水素対策として、ベント付容器の使用を推奨している。*1
- 核燃料物質を含んでいても、ベント付容器で保管されている例が存在する。特にTMI-2においては、デブリ性状の不確実性により完全乾燥が確認出来なかったため、乾式保管時にベント付容器を使用している。

表1 保管時の水素対策

No.	保管方法	水素対策	主な適用事例	1F適用時の課題
1	乾式 / ベント無し	完全乾燥+密閉保管容器	・Zion(米国)	・完全乾燥技術の開発、および乾燥に伴う設備規模と時間
2	乾式 / ベント有り	フィルタベントによる排気	・TMI-2(米国)	・核種飛散を防止しつつ、かつ水素滞留を防ぐフィルタベントの開発
3	湿式 / ベント無し	冠水+開放保管容器	・1Fシュラウド交換	・核燃料物質によるプールの汚染 ・プールの確保と水処理設備が必要
4	湿式 / ベント有り	ベント管 / Compensator	・Paks-2 (ハンガリー)	・プール水の汚染を防ぐベント構造が必要 ・プールの確保と水処理設備が必要



乾式貯蔵(横型サイロ)
1999年～:乾式貯蔵開始

TMI-2燃料デブリ乾式保管の模式図

(参考:平成27年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発)

*1. IAEA, Containers for Packing of Solid Low and Intermediate Level Radioactive Waste, IAEA Technical Reports Series No. 355, 1993.

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (5/8)

<保管・管理フローの検討>

- 安全機能要求の検討結果を基に、各ステップ(①～④)における安全機能要求を満たす可能性のある保管・管理フロー図を作成した。(図1)
- ベント付保管容器の使用を基本方針とし、移送時は密閉式の移送容器に保管容器を装荷する。

<設備仕様の検討>

- 作成した保管・管理フローを基に、容器・保管建屋の要求機能に関する検討を行った。(表1)

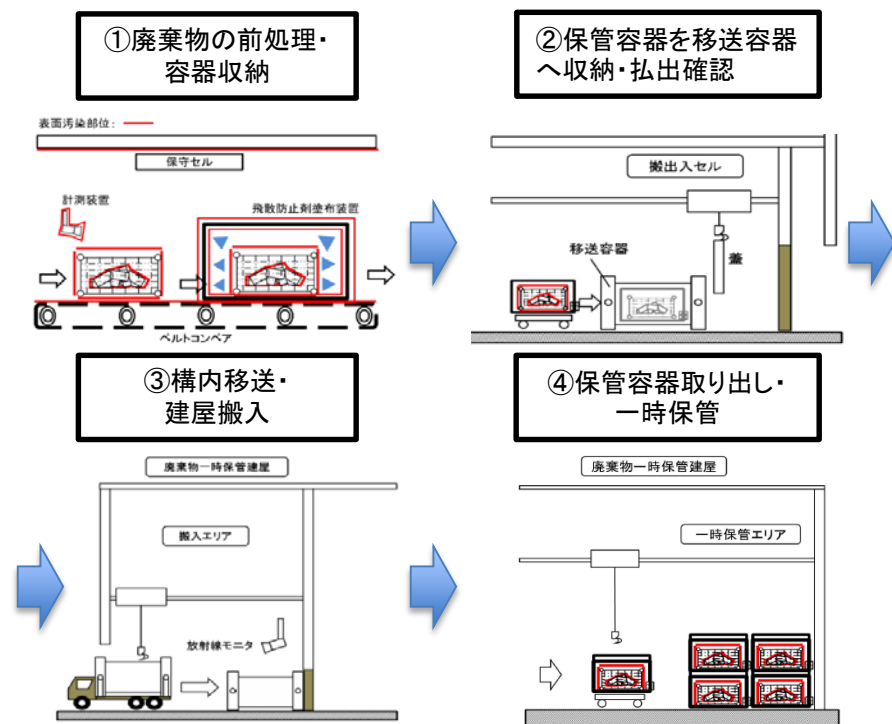


図1 高線量炉内構造物に対する保管・管理フローの例(概略)

表1 廃棄物保管容器への安全機能要求の例(概略)

項目	要求仕様
形状	設備重量制限等を考慮して決定する
材質	耐腐食性材料
閉じ込め機能	閉じ込め機能を有する
遮蔽	保管庫の受入れ基準を満たす遮へい機能を有する
水素対策	フィルタベント機能を有する
操作性	容易に、かつ、安全に取り扱える操作性を有する
構造強度	積み重ね、落下等に対する構造強度を有する

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (6/8)

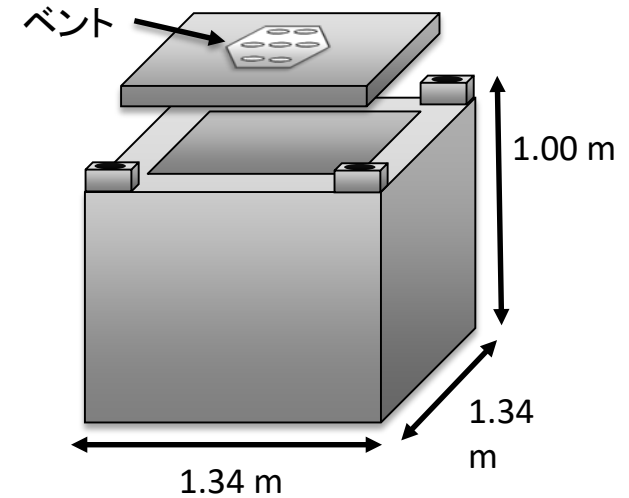
<設備仕様の検討>

■ 廃棄物保管容器 (軽量容器案)

- ・最大遮蔽の容器が、廃棄物収納時にフォークリフトの制限重量(7.5 t)を超えないように寸法を設定
- ・廃棄物の線量レベルに応じて、4つの遮蔽厚を用意
- ・遮蔽厚は、各線量レベルにおける最大線量廃棄物収納時に、表面線量が10 Sv/h未満になるように設定

表1 軽量容器の重量および必要個数試算

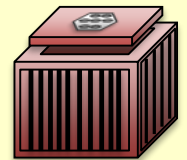
遮蔽厚 (内張り)	容器重量 (t)	内容積 (m ³)	内容物線量 (Sv/h)	総重量(t) (容器+ 廃棄物)	想定必要基数 (3基分)
180 mm	7.1	0.33	400 ~ 1000	7.3	約40
140 mm	6.0	0.46	40 ~ 400	6.4	約400
60 mm	3.2	0.77	10 ~ 30	3.8	約300
0 mm	0.35	1.19	< 10	1.3	約1300



<参考> その他保管容器案

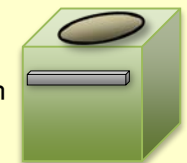
1. 現行1F廃棄物容器寸法タイプ

- ・寸法: 2.1 × 2.1 × 1.49 m
- ・遮蔽厚: 0, 60, 140, 180 mm
- ・最大総重量: 23.7 t
- ・ベント付容器



2. L1処分容器タイプ

- ・寸法: 1.6 × 1.6 × 1.6 m
- ・遮蔽厚: 50, 100, 150, 200 mm
- ・最大総重量: 20.3 t
- ・密閉容器



(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (7/8)

<デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物の物量と必要保管設備規模想定 (3基合計)>

廃棄物発生区分	想定発生量(3基分)	想定線量	保管容器*4	必要容器個数	想定保管建屋線量制限	必要保管建屋延べ床面積
1FL・オペフロ撤去物	11100 t	3E+11 Bq/t以下 (L3~L2相当と推定)	現行1F廃棄物容器(遮蔽なし) (一部高線量配管等はILW容器)	4200 個	30 mSv/h *1 未満	14000 m ² 以上*3
炉内構造物	2010 t	3.4E+12 ~1E+16 Bq/t (L1相当が含まれると推定)	軽量容器	遮蔽厚 / 個数 180 mm/40個 140 mm/400個 60 mm/300個 0 mm/1300個	10 Sv/h *2 未満	3100 m ² 以上*3
取り出し機器	未定	L3~L1相当と推定	軽量容器	-	10 Sv/h*2 未満	-
空調・水処理系廃棄物	510 t/年	L3~L1相当と推定	軽量容器 (一部フィルタ等はデブリとして扱う可能性あり)	-	10 Sv/h*2 未満	-

*1: 固体廃棄物貯蔵庫第9棟地下1階相当

*2: 固体廃棄物貯蔵庫第9棟地下2階相当

*3: 各容器必要個数分を2段積みで隙間無く配置した際の底面積×1.5、有効数字2ケタで切り上げ

*4: 低線量廃棄物は現行1Fで使用されている固体廃棄物容器の使用を想定

(2) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 (8/8)

<成果のまとめ>

- ①燃料デブリ取出しに係る他プロジェクトの検討を踏まえ、燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物を4区分に分類し、最新の情報を整理した。
- ②整理した廃棄物情報および燃料デブリ取出し工法を考慮し、炉内構造物を安全に収納・移送・保管する方法を検討し、保管・管理フローの案を示した。
- ③保管・管理フローの案を基に、保管容器に要求される機能を整理し、安全機能要求を満足する保管容器の候補を例示した。

<課題>

- ①燃料デブリ取出し工法の検討進捗等により、廃棄物情報は徐々に詳細化・具体化すると推測する。今後も継続的な情報整理が必要。
- ②廃棄物情報の整理により、取り出し機器や空調・水処理系廃棄物が発生することが明らかになり、これらを安全に収納・移送・保管する方法の検討が必要。
- ③水素対策(発生量評価、フィルタベント付容器、乾燥設備)の具体化と水素対策に関する設備に要求される機能の検討。
- ④廃棄物の管理項目の整理と、測定・評価方法の検討。

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ 2018年度実施内容 －

公募内容

- 固体廃棄物の分別を確実にできるよう、現場への適用性を踏まえ、 α 線を放出する放射性核種による汚染（ α 汚染）コンクリート等の表面、及び、表面からの浸透の度合い（深さ及び浸透した汚染量）について、測定・評価手法に関する技術開発を行う。

2018年度の実施内容（公募提案書補足資料から引用）

- 表面の α 汚染については、2017年度の廃炉・汚染水対策事業費補助金「固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発」における「廃棄物量の低減に関する技術の検討」の検討結果を踏まえ、表面 α 汚染測定装置の検出器を試作し、要素試験を実施する。試験結果をもとに、1Fへの実機適用に向け、課題を抽出する。
- 表面から浸透した α 汚染については、廃棄物の発生から処分に至るまでの流れの中で、 α 核種の浸透深さや浸透汚染レベルを測定する技術の使用場面を想定する。また、想定した場面に適用可能な技術を選定する。選定した技術に対し、実機適用化に必要な課題を抽出する。

実施スケジュール

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
装置設計、計画立案	■	■							
現場適用範囲の検討	■	■	■						
検出器仕様検討・製作			■	■	■	■			
試験						■	■	■	
現場適用範囲の具体化検討			■	■	■	■	■	■	
実機適用に向けた課題抽出								■	■

（表面 α 汚染について）

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
測定目的、測定対象に係わる検討	■	■	■	■					
国内外における既存技術調査		■	■	■	■	■	■	■	■
現場適用範囲の検討					■				
現場適用範囲の具体化検討					■	■	■	■	■
実機適用に向けた課題の抽出							■	■	

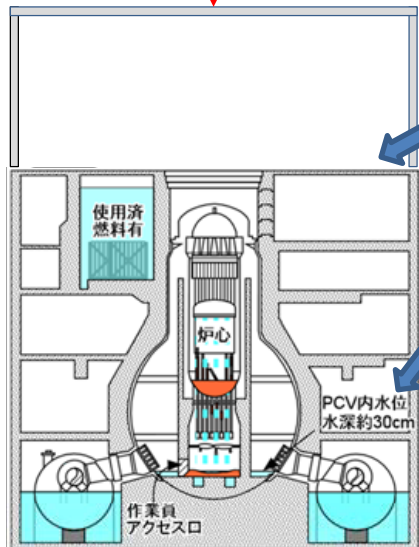
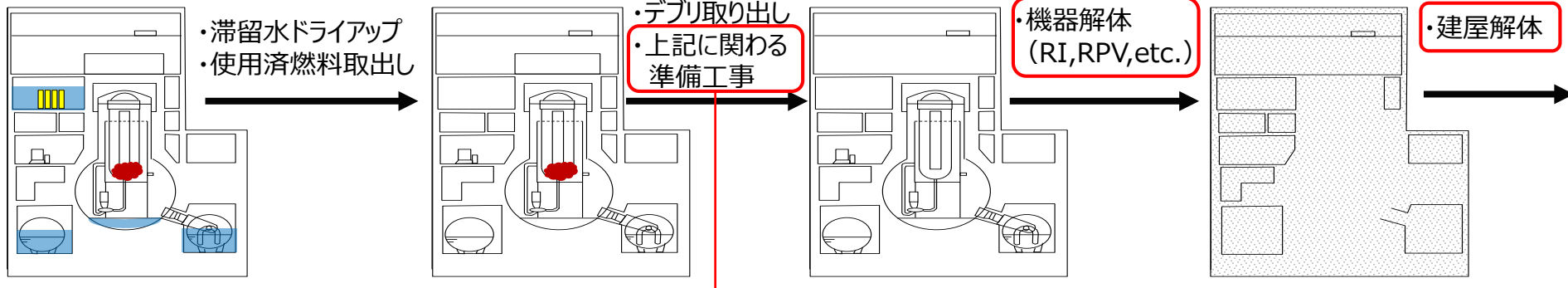
（浸透 α 汚染について）

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 現場適用範囲の検討 —

分別対象廃棄物と測定技術の適用ターゲット

【想定廃炉フロー（例：R/B）】



原子炉建屋断面図（2号機の例）

原子炉建屋5階（オペフロ）
燃料デブリの上取り出し、及びこれらの準備作業の発生エリア

原子炉建屋1階
燃料デブリ横取り出し、及びこれらの準備作業の発生エリア

上記エリアで、PCV貫通部のコンクリートや金属ライニング、PCV内部検査で使用した検査機材等の廃棄物発生が想定される。

今後発生する固体廃棄物（原子炉・建屋の解体廃棄物）を分別対象として検討を行う。

表面 α 汚染測定のターゲット
対象は金属、コンクリートを問わないため、**想定廃炉フロー**を基に最短の適用ターゲットとして燃料デブリ取出し準備工事で発生する廃棄物を想定

浸透 α 汚染測定のターゲット
対象はコンクリートのみであると考え、**建屋コンクリートの解体に伴い発生する廃棄物を想定**

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 本研究の目的 —

α汚染廃棄物管理の現状と課題

● α汚染廃棄物管理の現状

スミア測定により、表面汚染密度 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以上のα核種による汚染が検出された場合、保管容器に収納して保管。

しかし、今後、廃炉作業が本格化し、大量の廃棄物が発生する。このため、解体後に全ての廃棄物をスミア測定により分別することは、測定時間や被ばくを考えると現実的ではない。

● 廃棄物分別技術に係るニーズ

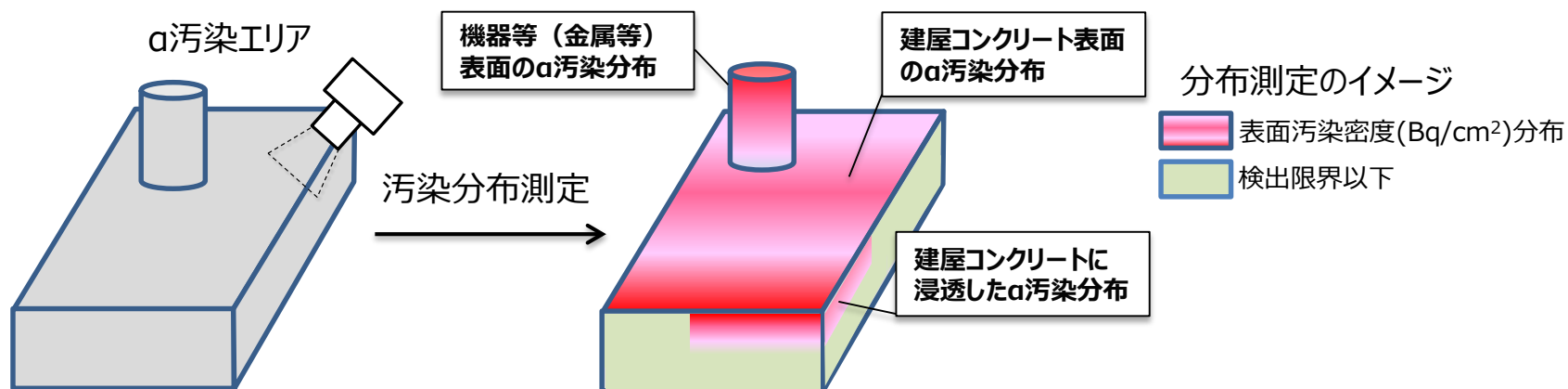
- 解体前に対象物の汚染分布を把握できること。($4^{*1}\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $40^{*2}\text{Bq}/\text{cm}^2$ を廃棄物分別技術に求める基準として設定)
- 測定時間の短縮と測定に係る被ばくを低減できること。

※1: L3相当のα汚染廃棄物の目安として設定

※2: L2相当のα汚染廃棄物の目安

● 本研究の目的

現場への適用性として、測定環境およびアクセス性を考慮し、解体前に解体対象物（または、エリア）を網羅的、かつ短時間に測定できる技術を開発する。



(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

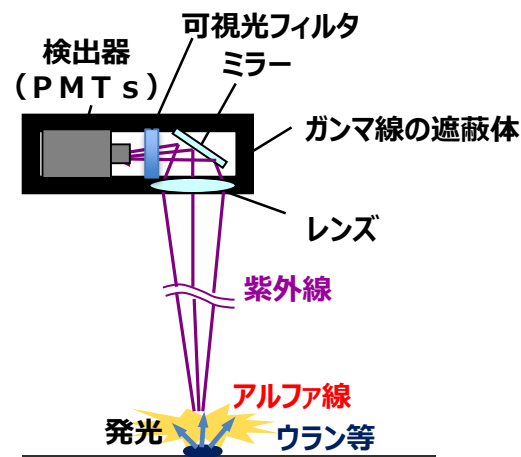
— 表面 α 汚染に係る検討 —

2017年度に選定した技術の概要

現場でのアクセス性や測定環境を踏まえた要求事項の検討結果より、窒素励起による表面 α 汚染測定技術（以下、アルファカメラ）を選定

測定原理

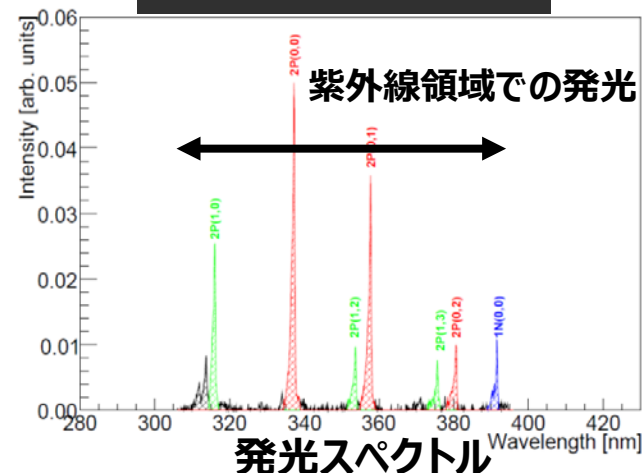
- ① α 線の飛程（数cm程度）の間に窒素と反応し、数100光子の紫外線が発生
- ② この紫外線をレンズで集光し光検出器で到達した光子の数を計測することで α 線の強度を測定



アルファカメラに係る発表実績例

1. Kume N(2013), "Remote Detector of Alpha-Ray Using Ultraviolet Ray Emitted by Nitrogen in Air", IEEE2013 NSS
2. Kume N(2015), "REMOTE DETECTION OF ALPHA RADIATION USING UV PHOTONS EMITTED BY NITROGEN, ICONE-23"
3. 久米直人(2013) " α 放射能の遠隔計測技術", 日本原子力学会2013春の大会
4. 久米直人(2014) " α 放射能の遠隔計測技術-照明環境への適用-", 日本原子力学会2014秋の大会

アルファカメラは現場適用の実績がないため、2018年度は、1Fの測定環境を模擬した要素試験を実施し、実機適用に向けた課題を抽出する。



J.Sand. Remote Optical Detection of Alfa Radiation. IAEA – CN-184/23.より引用

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 表面α汚染に係る検討 —

要求仕様に対する既存アルファカメラの課題

- 測定環境の検討結果を基に装置の要求仕様を想定
- 課題に対応するため、①要求仕様に基づくアルファカメラの改良を実施し、②検出性能の評価に必要な試験（基本性能試験、要素試験）を抽出

	項目	要求仕様	既存アルファカメラ (2017年度の調査結果)	課題	試験項目
アクセス性	測定距離	最大3m	1mまで実施	測定距離3mにおいて既存アルファカメラでの測定距離1mの検出性能	基本性能試験： レンズ評価
	測定対象形状	球面、凹凸、平面	未実施	測定形状に応じたデータの取得	要素試験： 複雑線源の評価
	重量	台車に依存	遮蔽体重量は未評価	アクセス性を考慮し、台車に搭載可能な重量となる遮蔽体の設計	要素試験： 環境線量の影響試験
測定環境	環境線量	50mSv/h程度 (最大約150mSv/h)	一部評価	・環境条件を測定し影響を評価できる環境モニタの試作、性能評価 ・環境線量、温度、湿度、環境光、粉じんの影響に係るデータの取得	要素試験： 温度試験
	環境温度	-5℃~35℃	検出器単体で実施		要素試験： 湿度試験
	環境湿度	最大100%	未評価		基本性能試験： 光学フィルタ評価
	照明	場合によっては照明有	一部（赤色光）実施		要素試験： 粉じんの影響試験
	粉じん	屋外の粉じん量以上	未評価		要素試験： βγ線核種濃度の影響評価試験
	βγ核種濃度	$\alpha/\beta\gamma = 1/10^{6\sim 8}$ *	一部評価		・βγ線に対する感度データ取得

* 本事業の性状把握で得た成果に基づき設定

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ 表面 α 汚染に係る検討 －

2018年度の実施内容

① 要求仕様に基づくアルファカメラの改良

- A) 測定距離の延長をした場合でも、既存アルファカメラと同等の検出性能が得られるよう高感度化、低ノイズ化を実施
- B) さまざまな形状を想定した測定対象までの距離測定を2次元で把握する機能を追加
- C) アクセシ性を考慮した装置重量とするため、可動部の軽量化（遮蔽体の見直し）を実施

② 検出性能の評価

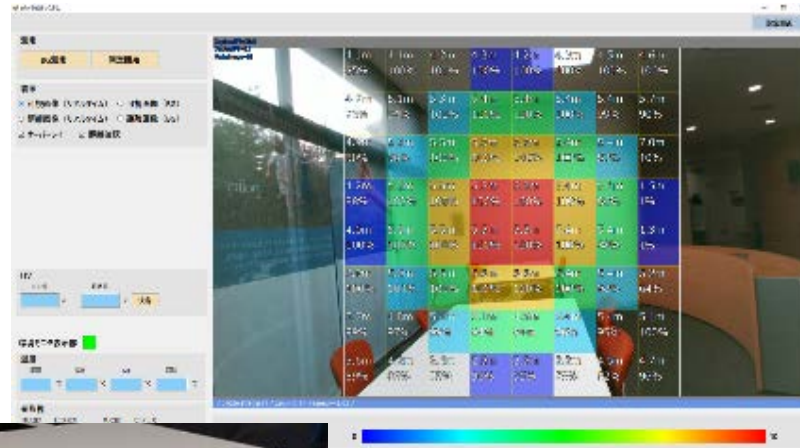
- 光学系などの装置構成を決める基本性能試験と、環境条件に応じた要素試験を実施し、本手法の限界を評価
- 要素試験結果をもとに検出性能の評価を実施し、廃棄物分別技術に求める基準（4Bq/cm²、40Bq/cm²）と比較

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 表面 α 汚染に係る検討 —

① 要求仕様に基づくアルファカメラの改良

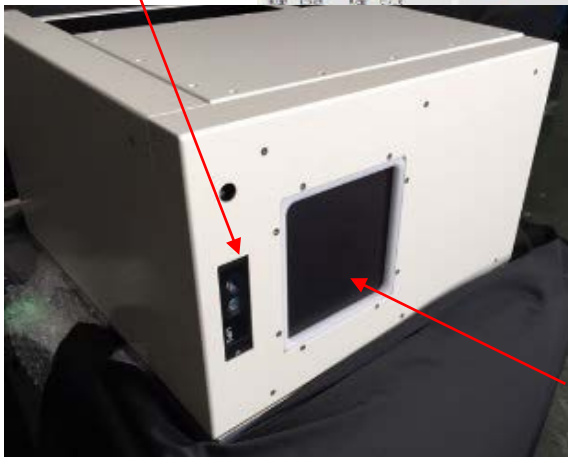
- 現場適用を想定したアクセス性等からくる要求仕様を基に、既存のアルファカメラを改良



主な改良点

	必要機能	項目	改良点
A	<ul style="list-style-type: none"> 高感度化 低ノイズ化 	測定環境を想定した検出下限 4Bq/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> a) レンズの大型化 ・レンズ口径φ50mmをφ100mmに変更 b) 遮蔽構造の検討 ・タンガステン(3cmt) c) 温調機能による熱ノイズ削減 ・常に25℃以下になるよう制御
B	対象までの距離を2次元で把握	対象物表面の汚染分布測定	画像、距離情報が取得できる距離センサ付きカメラを採用
C	可動部の軽量化	アクセス性	電源部を台車固定部におけるよう分離

距離センサ付きカメラ



カメラ映像に α 汚染分布を合成

α 線の信号 (紫外線) 受光部

改良アルファカメラの概要

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ 表面α汚染に係る検討 －

② 検出性能の評価：改良アルファカメラの基本性能試験、要素結果の概要

	項目	要求仕様	試験項目	結果概要
基本性能試験	測定距離	最大3m	基本性能試験： レンズ評価	<ul style="list-style-type: none"> 感度は距離の2乗に反比例 表面α汚染がない位置のピーク（ゴースト）が発生するケースを確認 Φ100mmのレンズ、測定時間を延ばすことで4Bq/cm²も測定できるケースあり
	照明	場合によっては照明有	基本性能試験： 光学フィルタ評価	光学フィルタにより感度が78%に減少
要素試験	測定対象形状	球面、凹凸、平面	要素試験： 複雑線源の評価	<ul style="list-style-type: none"> 測定方向（球面）は0～90°で影響小 深さ25mmの凹部の汚染測定時、感度が71%に悪化。深さ50mmで67%。
	重量	台車に依存		
	環境線量	50mSv/h程度 (最大約150mSv/h)	要素試験： 環境線量の影響試験	γ線感度3.3[s ⁻¹ /mSv/h]を確認。 ※一部入射角で遮蔽効果が薄い場所を確認。 要改良
	環境温度	-5℃～35℃	要素試験：温度試験	温調機構を使うことでノイズへの影響無し。
	環境湿度	最大100%	要素試験：湿度試験	最大95%でも感度低下は3%以下 ※線源に水をつけると感度は低下傾向
	粉じん	屋外の粉じん量以上	要素試験： 粉じんの影響試験	屋外環境でも感度変化は1%以下。 屋外環境より2桁粉じん密度が多い環境でも2%以下の感度変化
βγ核種濃度	α/βγ = 1/10 ^{6~8} *	要素試験： βγ線核種濃度の影響評価試験	α線に対する相対感度を取得 β線 (Co-60) : 0.36% γ線 (Cs-137) : 0.009%	

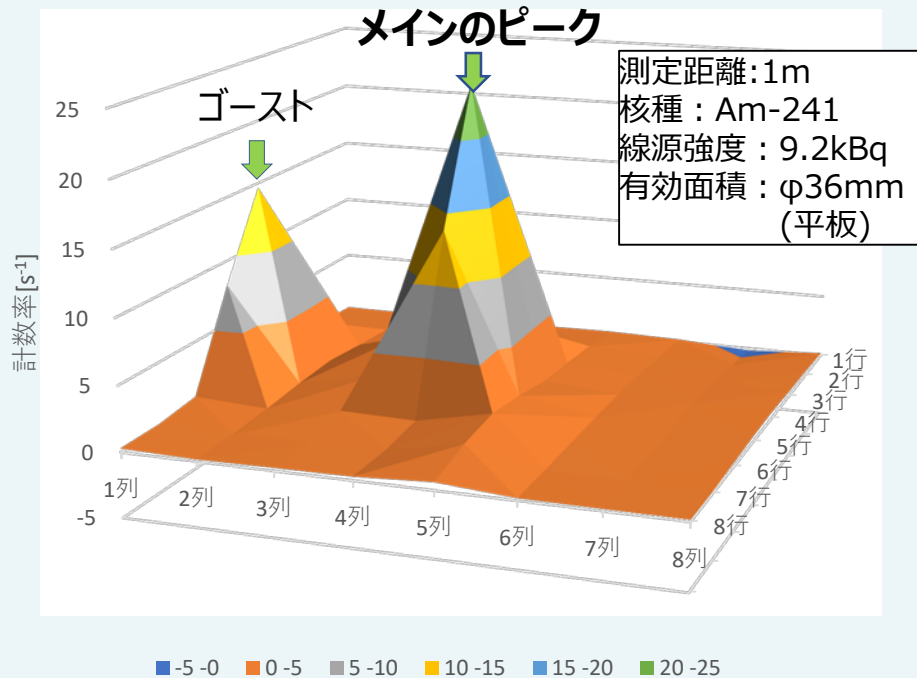
(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 表面 α 汚染に係る検討 —

② 検出性能の評価：試験結果（例）

基本性能試験（レンズ評価）

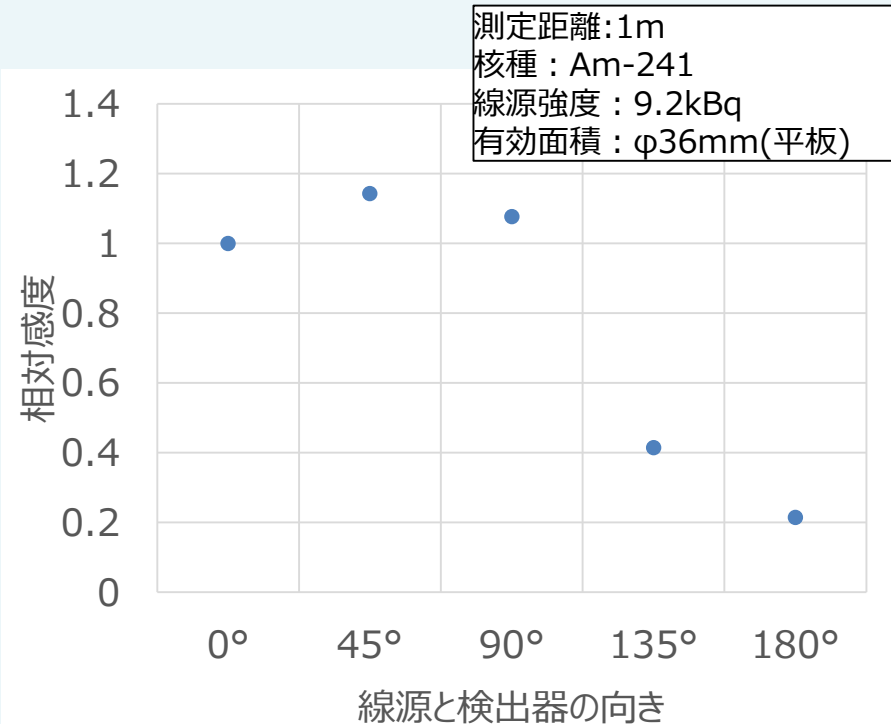
- α 線由来のピークを確認。ただし、ゴーストが絶えず存在。(今後原因の調査が必要)



口径φ100mm、焦点距離f45.5mm
のレンズ使用時の分布

測定対象形状の影響確認試験

- 0°（正対）～90°（真横）まで測定しても相対
- 90°より大きくなると、線源自身が陰になり感度悪化



α 線に対する測定感度の線源向き依存性

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ 表面α汚染に係る検討 －

② 検出性能の評価：測定性能の評価

現地適用が想定される条件における検出下限をCurrieの式で算出
 (検出感度はダミーのピークを正しく集光できた場合を見込んで評価)

● 検出下限

α線由来の信号 $S [s^{-1}/(Bq/cm^2)]$ *と、それ以外の信号 N から算出

* 表面汚染密度(Bq/cm^2)を算出する基準面積は $100cm^2(10cm \times 10cm)$

検出下限 X はCurrieの式で評価

$$X = \frac{\sigma^2 + 2\sigma\sqrt{2N \cdot t}}{S \cdot t}$$

t : 測定時間(s)

$\sigma = 1.65$ (95%信頼度)

検出性能に影響するパラメータ

(温度、湿度、粉じんは影響がないため含まず)

- 測定距離
- アルファカメラ設置位置の環境線量
- アルファカメラ測定視野内の $\beta\gamma$ 表面汚染密度

測定距離	想定環境線量	$\beta\gamma$ 表面汚染密度	測定時間	検出下限
1m	3 mSv/h	1 kBq/cm ²	30sec	2.6 Bq/cm ²
3m	3 mSv/h	1 kBq/cm ²	1000sec	4 Bq/cm ²
0.5m	15 mSv/h	31 kBq/cm ²	1000 sec	0.4 Bq/cm ²
1m	15 mSv/h	31 kBq/cm ²	1000 sec	1.8 Bq/cm ²
1m	50 mSv/h	31 kBq/cm ²	1000 sec	2.3 Bq/cm ²

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 表面α汚染に係る検討 —

② 検出性能の評価：性能評価結果の詳細

- 測定距離を1mに固定し、測定時間、環境線量、表面汚染密度をパラメータとして検出下限を評価
- 検出下限は、光学系や遮蔽体の構造見直しにより改善できる可能性有り

		測定時間 [sec]	アルファカメラ設置位置の環境線量						
			1mGy/h	5mGy/h	10mGy/h	20mGy/h	50mGy/h	100mGy/h	150mGy/h
アルファカメラ 測定範囲内の 表面汚染密度 [kBq/cm ²]	0.1	60	1.2	2.3	3.9	5.5	7.1	10.0	12.2
		300	0.5	1.0	1.7	2.4	3.2	4.4	5.4
		1000	0.3	0.6	1.0	1.3	1.7	2.4	3.0
	1	60	1.6	2.5	4.0	5.6	7.1	10.0	12.2
		300	0.7	1.1	1.8	2.5	3.2	4.5	5.5
		1000	0.4	0.6	1.4	1.7	2.4	3.0	
	10	60	3.6	4.1	5.2	6.5	7.9	10.5	12.7
		300	1.6	1.8	2.3	2.9	3.5	4.7	5.7
		1000	0.9	1.0	1.3	1.6	1.9	2.6	3.1
	100	60	11.0	11.1	11.6	12.2	13.0	14.8	16.3
		300	4.9	5.0	5.2	5.4	5.8	6.6	7.3
		1000	2.7	2.7	2.8	3.0	3.2	3.6	4.0
1,000	60	34.4	34.5	34.6	34.8	35.1	35.8	36.5	
	300	15.4	15.4	15.5	15.6	15.7	16.0	16.3	
	1000	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.8	8.9	
10,000	60	108.6	108.7	108.7	108.8	108.9	109.1	109.3	
	300	48.6	48.6	48.6	48.6	48.7	48.8	48.9	
	1000	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.7	26.8	

凡例：検出下限

0.4Bq/cm ² 以下
4Bq/cm ² 以下
40Bq/cm ² 以下
それ以上

2号R/B 1階※1

2号R/B 5階※2
(ウエル以外)

2号R/B 5階※2
(ウエル中央)

環境線量が増え
ても検出下限の
変化少ない

測定時間を延ばすことで想定した対象範囲（2号R/B1階、5階）で適用可能な見込みを得た。
今後、光学系や遮蔽体構造の見直し等の改良を進め、検出下限の改善を図る。

※1：東京電力ホールディングス（2016）、「2号機原子炉建屋1階ダクト内除染の実施報告と1～3号機原子炉建屋1階線量低減の進捗報告」より引用
 ※2：東京電力ホールディングス（2019）、「2号機原子炉建屋オペフロ内残置物移動・片付後調査の結果について」より引用

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 表面 α 汚染に係る検討 —

現場適用に向けた課題

<アルファカメラ本体>

1. 今年度取得した基本データ（感度のレンズ口径の依存性等）を活かした装置の改良
 - 光学系（レンズ、フィルタ等）の改良による感度向上
 - 光学系（レンズの焦点距離、口径）に合わせた検出器の選定
2. 改良アルファカメラで確認された課題の改良
 - ゴースト（線源位置以外で発生するピーク）の対策
 - 遮蔽効果が低い方向からのノイズの低減
3. 複雑形状の α 線源の測定時による分布計測性能（分解能）等の評価
4. 測定距離、測定環境の補正方法の実装、評価

<測定システム（遠隔操作装置との組み合わせ）>

1. 複数の測定地点の結果を比較評価するアルゴリズムの実装・評価（位置合わせ、環境の補正等）
2. 測定システムに必要な機能（3自由度走行台車、チルト機構、昇降機能）の実装、性能評価

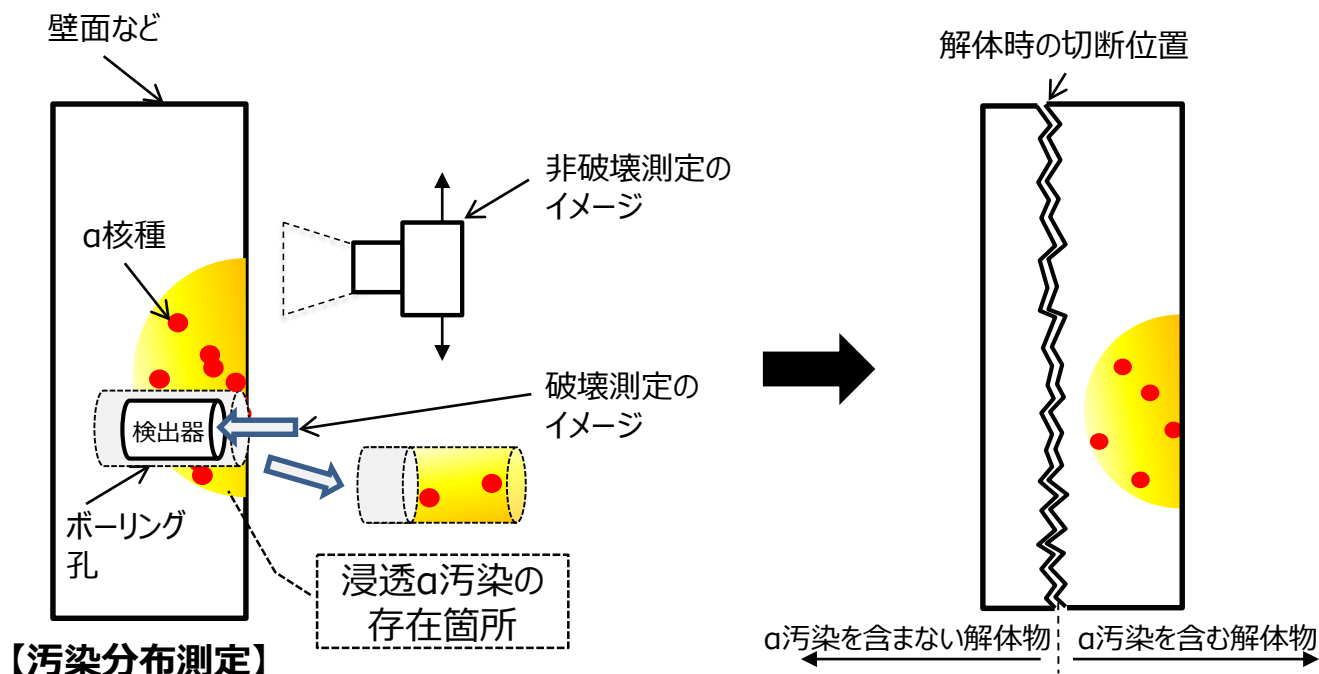
(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 浸透 α 汚染に係る検討 —

測定目的と技術調査方針

● 測定目的

建屋コンクリート解体を伴う場面において、解体前に浸透 α 汚染深さを把握し、汚染と非汚染を分別して α 汚染廃棄物を削減する。



● 技術調査方針

- 破壊測定 : ボーリング孔内表面、ボーリングコア外表面等による測定技術を調査
- 非破壊測定 : α 線はコンクリート表面まで透過できないため、直接測定は困難であり、間接的な測定技術を調査

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

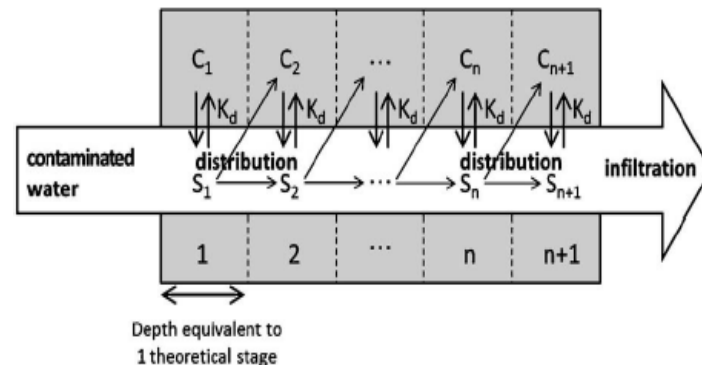
— 浸透 α 汚染に係る検討 —

核種の浸透挙動の評価

浸透 α 汚染の直接測定は困難なため、 α 核種より浸透しやすい γ 核種で評価することを検討

● 核種の浸透モデル

核種は、液相（汚染水等）への溶解と固相への吸着を繰り返してコンクリート内部へ浸透し、浸透度合いは核種のコンクリートに対する分配係数 K_d に依存することが知られている。^{*1}



核種の浸透モデル

コンクリート成分に対する分配係数 K_d

● 核種の浸透挙動

1Fにおける代表的な α 核種(U,Pu)、 β 核種(Sr)、 γ 核種(Cs)のコンクリートに対する分配係数は、U,Puの方がCs,Srより2桁以上大きいことが報告されている。^{*2}

コンクリートに対する分配係数より、Cs等の核分裂生成物は、 α 核種に比べてコンクリート内部に浸透していると想定できる。

	NaO,KO	Ca(OH) ₂	CSH,AfM,AfT	CaCO ₃
U	U(IV): 2E+03 U(VI): 3E+04	U(IV): 3E+04 U(VI): 3E+04	U(IV): 3E+04 U(VI): 3E+04	U(IV): 5E+01 U(VI): 3E+04
Pu	Pu(IV): 5E+03 Pu(VI): 2E+03	Pu(IV): 3E+04 Pu(VI): 3E+04	Pu(IV): 3E+04 Pu(VI): 3E+04	Pu(IV): 3E+02 Pu(VI): 5E+01
Cs	—	2E+00	2E+01	—
Sr	1E+02	3E+01	1E+02	1E+00

コンクリート内部の浸透 α 汚染は、より深くまで浸透したCs（Cs-137）等の核分裂生成物からの γ 線等を測定することで保守的に浸透深さを評価可能。

*1 木下他、様々な核種が浸透したコンクリートにおける各元素の浸透分布の推定、日本放射線安全管理学会誌 第15巻1号、2016年

*2 Michel Ochs et al, "Radionuclide and Metal Sorption on Cement and Concrete" (2015)

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 浸透 α 汚染に係る検討 —

測定技術の調査内容

● 技術調査の概要

サンプリング分析が一般的であるが、コストや時間がかかること、サンプルの代表性を示すことが困難といった課題がある。現場測定（In Situ測定）のための代替技術として以下の手法を調査。

- ① ^{235}U やその他随伴 γ 核種から放出される γ 線を測定し、浸透深さを推定
 - ・散乱線／直接線比を用いる手法
→浸透が深くなると直接線は減衰し、散乱成分が増加する。直接線とコンプトン散乱の比から浸透深さを算出。
 - ・複数 γ 線比を用いる手法
→エネルギーの異なる γ 線（またはK-X線等）の透過率の違いから、各 γ 線の比は浸透深さに依存。
- ② ボーリング測定
→代表点をボーリングし、ボーリング孔内の分布を測定（検出器挿入）

● 調査技術の適用性評価の観点

- 破壊測定、非破壊測定共通
 - ・ 運用手順によっては複複数の技術を使い分ける可能性もあるため、技術の一つに絞らず、個々の技術を定性的に評価した。
 - ・ 主に原子力施設の廃止措置に適用されている技術を調査。1 F（～数mSv/h）へ適用する場合は、遮へい体、コリメータ等の再設計を要することを前提（課題）とした。
 - ・ 浸透深さは、健全なコンクリート表面の浸透だけでなく、ひび割れや埋設物（配管等）も想定し、表面～20cm以上の幅があると想定した。
- 破壊測定
 - ・ 従来手法を適用した場合の、サンプリング点の代表性や掘削面のクロスコンタミなどの課題を評価した。
- 非破壊測定
 - ・ 浸透拳動の評価結果から、主にCs-137の浸透汚染測定技術を対象とした。

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

— 浸透 α 汚染に係る検討 — 技術調査の比較

- 建屋内機器解体撤去後のコンクリート床、天井、壁等の広い面の浸透汚染測定を想定。
- 非破壊法、破壊法の測定技術について、国内*1および、ロシアを中心とした海外技術*2を調査。



非破壊法は、散乱線/直接線比率を用いた手法が最も適用性がある。
破壊法は、深い浸透や、サンプリング分析と組み合わせた補助的な使用が可能。

*1 主に実用発電用原子炉廃炉設備確証試験等に関する調査報告書、汚染浸透測定技術(H7~H15)に基づく。

*2 ロシアに依頼した浸透汚染測定技術の調査報告書による。

分類	手法	α 核種評価	測定対象	測定手順	測定原理	装置例	検出器・装置構成例	適用事例	1F適用課題等	適用性
非破壊測定	CORAD法 (散乱線/直接線比率)	間接	対象物内部で散乱した γ 線と、対象物内部からの直接 γ 線。	コリメートした γ 線検出器を対象物に向けて配置し、スペクトル測定する。	散乱領域の計数率とピーク計数率の比率から浸透深さを算出	 CORAD-M (LaBr3)	<ul style="list-style-type: none"> • γ線検出器 (測定対象で異なる) <ul style="list-style-type: none"> • NaI (Tl), CsI, • HPGe, LaBr3 • コリメータ • 波高分析装置 • 架台 (三脚等) • PC+専用ソフト 	<ul style="list-style-type: none"> • ロシア国内汚染調査廃止措置 • 仏EDF及びCEAでも評価 	<ul style="list-style-type: none"> • γ核種とα核種の濃度及び、浸透度 (拡散) の比率。 • ジオメトリ変更に伴うモデルと、ソフトの修正。 	<p>コンクリートへの実績があり (表面~数10cmの深さ)、複数の検出器にも対応しているの で、Cs-137を対象とすれば適用性有り。(技術としては成熟)</p> <p>○</p>
	散乱線/直接線比率 γ 線/ β 線比率法	間接	対象物内部からの直接・散乱 γ 線と、対象物表面から放出される β 線。	コリメートした γ 線検出器と、薄型の β 線検出器を対象物に密着し、 β 線及び γ 線スペクトルを測定する。	γ 線の散乱領域の計数率とピーク計数率の比率から浸透深さを算出し、 β 線と γ 線スペクトルの比較で、表面、内面、浸透を判定する。		<ul style="list-style-type: none"> • ホスイッチ型β/γ線検出器 (NaI/PLS検出器) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nupec確証試験 (H4~15年度) 	<ul style="list-style-type: none"> • γ核種とα核種の濃度及び、浸透度 (拡散) の比率。 • 対象面への密着が必要となる。 	<p>密着型で感度は良好。機器撤去後で、数cmの範囲であれば確証試験での実績があり、Cs-137を対象とすれば適用性有り。</p> <p>○</p>
	複数 γ 線比率法	間接	対象物内部からの異なる複数のエネルギーの直接 γ 線 (または蛍光 X 線)。	コリメートした γ 線検出器を対象物に向けて配置し、スペクトル測定する。	γ 線のエネルギー毎の透過率の違いから、浸透深さを算出	 ISOCsシステム	<ul style="list-style-type: none"> • ISOCsシステム <ul style="list-style-type: none"> • HPGe • コリメータ • 架台 (キャンベラ製) 	<ul style="list-style-type: none"> • SCK-CEN BR3廃止措置 (ベルギー) 	<ul style="list-style-type: none"> • γ核種とα核種の濃度及び、浸透度 (拡散) の比率。 • Cs-137のX線エネルギーが小さく、深い浸透には対応できない。 • Ba同位体をもつ材質には適用できない。 	<p>市販の実績あるシステムがベースなので、Cs-137を対象とした場合、表層近くは良好であるが、深い浸透には適用できない。また、Baを含む重コンクリートにも適用できず、制限有り。</p> <p>△</p>
	蛍光 X 線法	直接	γ 線で励起されたUまたはPuから放出される蛍光 X 線。	外部線源または、同時に存在するCs-137等の γ 線で励起しK β - X 線を測定する。	X線のエネルギー毎の透過率の違いから、浸透深さを算出	 UWTRシステム	<ul style="list-style-type: none"> • CdZnTi検出器 • ビデオカメラ • 速へい/コリメータ • MCA/PC 	<ul style="list-style-type: none"> • ロシアMR炉プール (ただし、濃度は、185keVγ線による。また、浸透は評価していない。) 	<ul style="list-style-type: none"> • プール内の使用済燃料が対象、励起線源の強度、精度等に依存するため定量性に課題。 • エネルギーが小さいので、深い浸透には対応できない。 	<p>使用済燃料を対象とした手法で感度が不足しており、エネルギーも小さいため、深い浸透には適用できない。(将来のデブリ探索には適用可能性あり)</p> <p>×</p>
破壊測定	ボーリング孔挿入法	直接/間接	ボーリング孔内表面から放出される α 線または β 線、 γ 線。	ボーリング孔にコリメートした検出器を挿入し、直接表面を走査測定する。	予め標準線源等で校正された検出器で測定された測定単位 (深さ) 毎の計数率分布を算出。更に、校正定数で表面汚染密度または濃度に換算する。	 ホスイッチ型  γ スペクトル型 (ロシア)	<ul style="list-style-type: none"> • Nupec <ul style="list-style-type: none"> • CsI検出器 (γ) + PLS検出器 (β) • ホスイッチ型 • ロシア <ul style="list-style-type: none"> • CsI検出器 • コリメータ • α線直接計測 • ZnS検出器 	<ul style="list-style-type: none"> • Nupec確証試験測定ステップ1mm • ロシア空間分解能5cm 	<ul style="list-style-type: none"> • サンプリングポイントの選定と、掘削面のクロスコンタミ。 • 深さ方向はスキャン距離分の測定回数が必要となる。 • α線用挿入型検出器は開発が必要。 	<p>挿入測定自体は従来法である。サンプリングの代表性と断面のクロスコンタミの可能性が常にあり対策 (開発) が必要となる。</p> <p>△</p>

○ : 適用可
△ : 制限有り
× : 適用不可

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ 浸透 α 汚染に係る検討 －

現場適用に向けた課題の抽出

<技術的な課題>

◆ Cs-137を用いた間接測定

実際の適用にあたり、 α 核種の浸透深さ推定値の妥当性を証明するためには、Cs-137等の γ 核種と α 核種の濃度の比率及び、浸透度の比率について、文献から得られている核種毎の浸透挙動のデータだけでなく、コンクリート条件毎等の多くの測定値が必要

◆ 1 F特有の環境に合わせた装置開発

Cs-137等の γ 核種と α 核種の濃度の比率や環境線量その他、測定場所の構造、寸法等に合わせた装置（ソフト、ハード）の変更が必要

<運用上の課題>

◆ 運用方法の具体化

測定時（主に建屋解体時）の環境条件は、現状の想定と顕著に異なる可能性があり、条件に応じた検出器の選定や構造の検討が必要

また、非破壊法だけでなくサンプリング分析やボーリング等の破壊法との使い分けについての詳細な手順の検討も必要

(3) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発

－ まとめ －

● 表面 α 汚染に係る検討

- 現場適用範囲の検討結果からまとめた装置要求仕様に従い、検出器を試作した。
- 現場環境を想定した試験を実施し、目標とする検出下限（0.4Bq/cm²、4Bq/cm²、40Bq/cm²）が得られる条件を評価した。
- 現場適用に向け、測定対象物の形状の影響等の再評価を今後の課題として抽出した。

● 浸透 α 汚染に係る検討

- α 核種の浸透挙動を調査した上で、 α 核種の浸透深さを評価できる技術を調査した。
- 測定技術の現場適用への適用性を評価し、非破壊／破壊法それぞれについて有望な技術を絞り込んだ。
- 調査技術の現場適用に向け、1 Fでの浸透核種組成のデータの蓄積や固有の環境に合わせた装置の変更（ジオメトリ変更に伴うモデルと、ソフトの修正）を課題として抽出した。

4. 処分に係る研究

実施項目

- (1) 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討
- (2) 処分影響物質などへの対応
- (3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出 / 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

(1) 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討 — 実施計画と目標とする指標 —

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 諸外国の廃棄物処分場から代表例を抽出し、技術面、制度面など複数の観点から処分概念および安全評価手法の調査を行う。調査結果に基づき、2018年度の調査計画(調査範囲、調査方法等)を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2018年度の調査計画(調査範囲、調査方法等)を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 2017年度の計画に基づき、諸外国の廃棄物処分場について、技術面、制度面など複数の観点から処分概念および安全評価手法の調査を行う。調査結果に基づき、1Fの固体廃棄物の特徴を踏まえた安全かつ合理的な処分概念および安全評価手法を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fの固体廃棄物の特徴を踏まえた安全かつ合理的な処分概念および安全評価手法の案を示す。



■ 成果の概要

- 海外処分場で着目すべき事例リストを作成し、1F固体廃棄物への適用性・課題を整理した。
- 廃棄物の特徴を考慮した処分概念を検討するための手法を整備した(図1)。
- 本手法により複数の処分概念のケーススタディを行い、廃棄物の特徴に応じた廃棄物処理・処分方針の検討が可能となることを確認した。

■ 今後の予定

- 今後は、廃棄体イメージを明確化し、1F廃棄物毎の複数の処分方法の設定と、処分方法毎の安全評価手法の設定が必要。

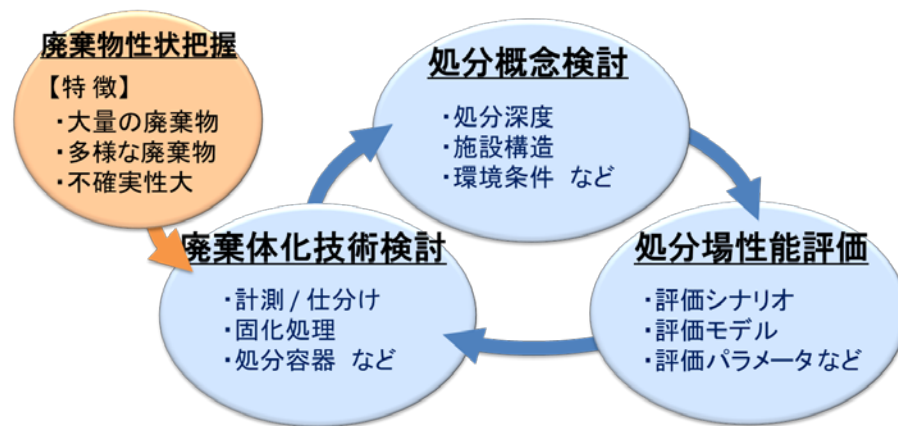


図1 廃棄物の特徴を考慮した処分概念検討プロセス

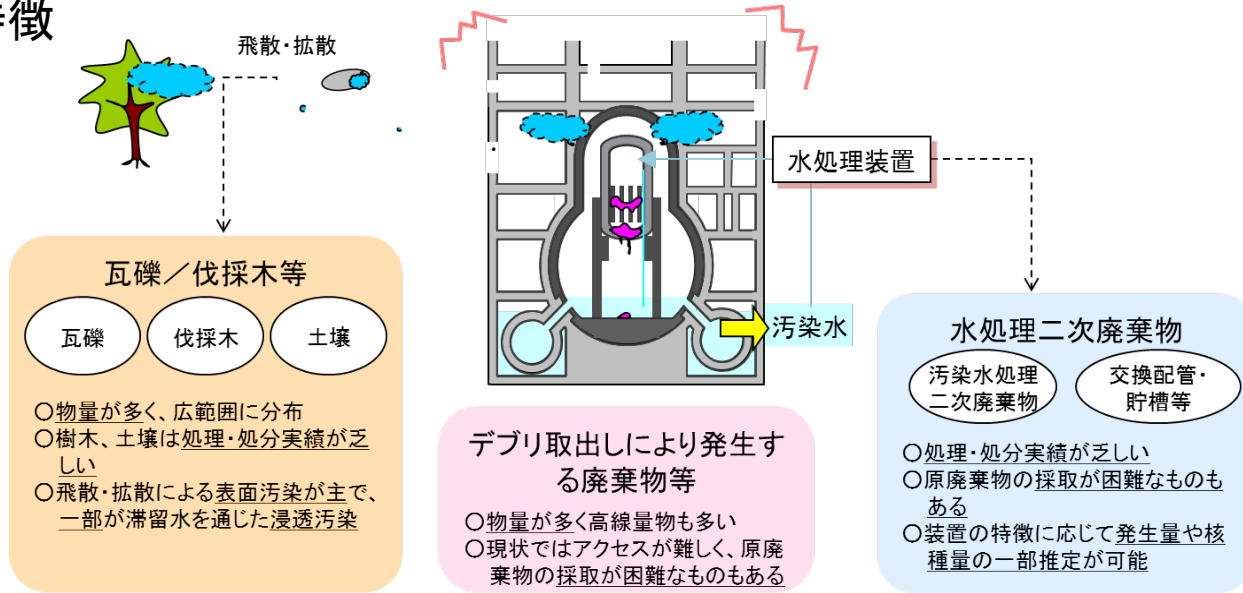
(1) 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討

－実施内容－

- | | |
|--------------------------|-----------|
| a. 海外事例調査結果 | P100～P111 |
| b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス | P112～P118 |
| c. 複数の処分概念に対するケーススタディ | P119～P133 |
| d. 成果のまとめ | P134 |

a. 海外事例調査結果 — 1F固体廃棄物の特徴の抽出 —

■ 1F廃棄物の特徴



■ 廃棄物の特徴を踏まえた安全かつ合理的な処分のためのニーズ

廃棄物の特徴を考慮して、右の3つの観点で調査・検討を実施



a. 海外事例調査結果 — 海外事例調査の概要 —

多様な廃棄物を処分対象とし、詳細なデータが公開されている海外の低レベル廃棄物処分場の事例調査を実施



LLWR *1 処分場 (英)

*1: Low Level Waste Repository



SFR *2 処分場 (スウェーデン)

*2: Final Repository for Short-lived Radioactive Waste



WCS *3 処分場 (米テキサス州)

*3: Waste Control Specialists

■ 調査内容

- | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| ① 処分場の概要に関する調査 | ⑤ 廃棄物の処理に関する調査 | ⑨ 安全評価手法に関する調査 |
| ② 廃棄物性状に関する調査 | ⑥ 廃棄物の保管に関する調査 | ⑩ セーフティケースに関する調査 |
| ③ 廃棄物の前処理に関する調査 | ⑦ 廃棄物の処分受入性に関する調査 | ⑪ 経済性最適化プロセスに関する調査 |
| ④ 廃棄物容器に関する調査 | ⑧ 処分概念に関する調査 | |

体系的な調査を実施

■ 調査結果の検討

- ・国内既往事例との比較
- ・1F廃棄物ニーズに基づく重要性判断

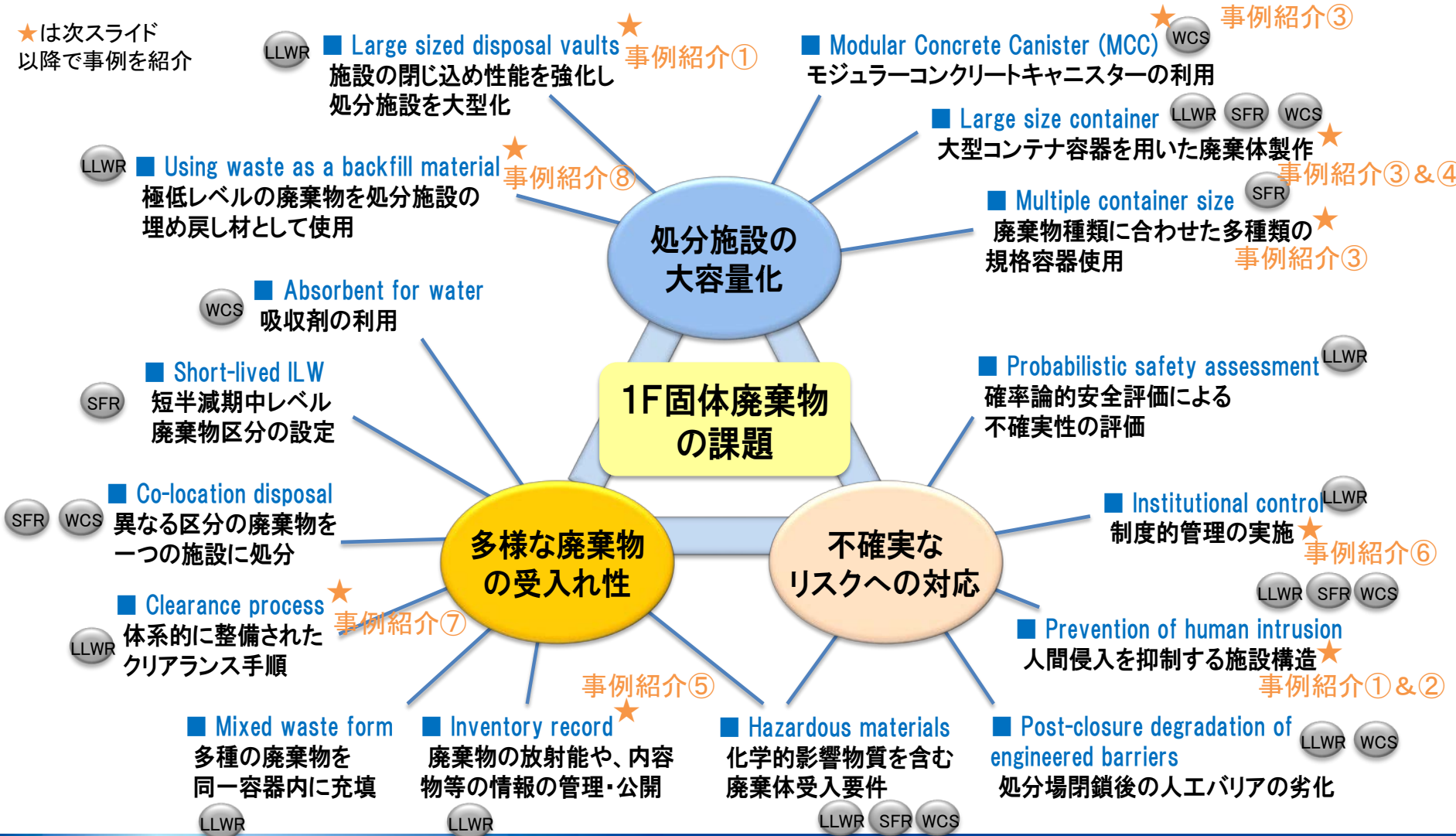
重要事例リストを作成 (LLWR・SFR: 25事例、WCS: 16事例)

a. 海外事例調査結果

— 着目した重要事例と1F廃棄物ニーズへの反映例 —

海外処分場で着目すべき、有用な技術・評価方法を抽出

★は次スライド以降で事例を紹介

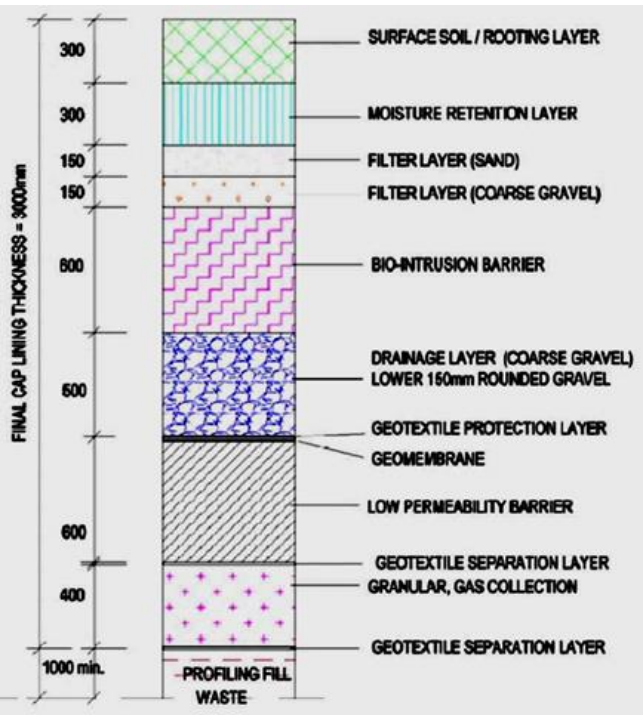


■ 事例紹介①

a. 海外事例調査結果

ーキャップシステムを持つ処分施設(英国LLWR)ー

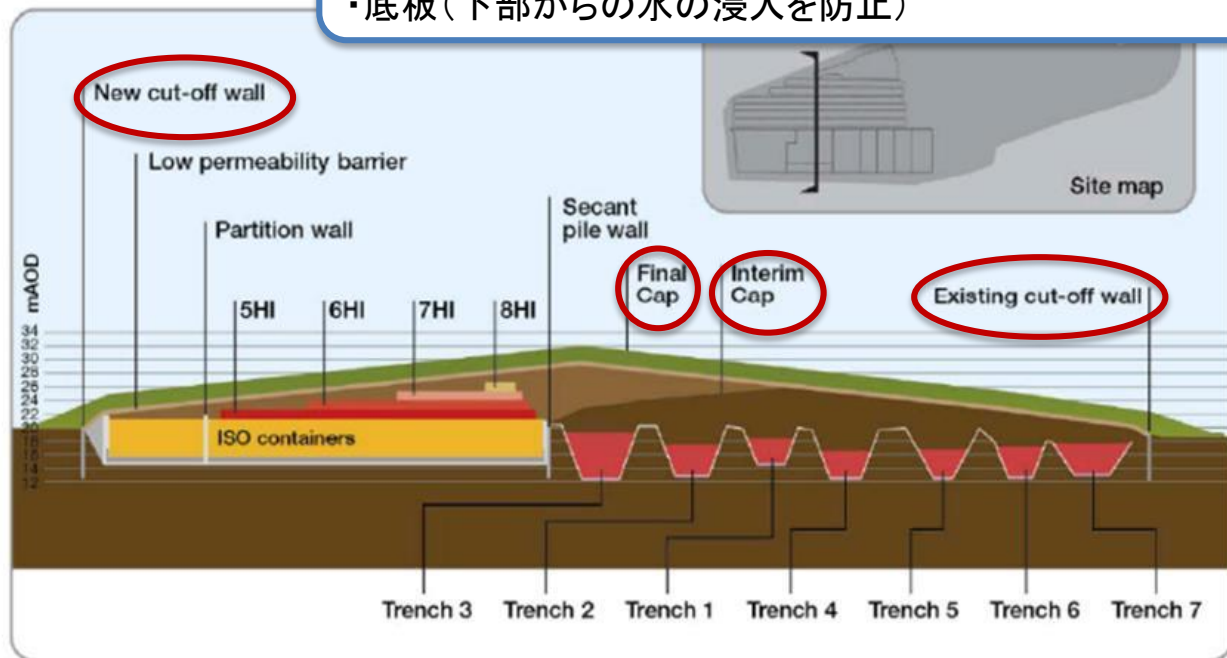
キャップの構成



キャップシステムにより、水の侵入や人間侵入を抑制
 ⇒ 施設の核種閉じ込め性能を強化
 (但し、施設を地下水面より上に建設する必要あり)

全体の構造

- ・キャップ(上部からの水の浸入を防止、人間侵入防止)
- ・ウォール(施設内の横方向の水の移動を抑制)
- ・底板(下部からの水の浸入を防止)



ジオメンブレンの外観
 (アスファルトシート)



Figure 4.7: The preliminary design of the final cap for the LLWR at closure. *1

*1: LLWR, The 2011 ESC: Engineering Design, LLWR/ESC/R(11)10020, May 2011.

■ 事例紹介②

a. 海外事例調査結果 — 人間侵入を抑制する施設構造 —

英国 LLWR

- 600 mm丸石を敷き詰めた生物侵入バリア (Bio-intrusion Layer) を含むキャップにより、掘削による人間侵入への抵抗性を高める対策をとっている。
⇒ 規制要求に基づき人間侵入への抵抗性を向上



米国 WCSテキサス

- テキサス州規則により、意図しない侵入者の保護のため、クラスC廃棄物は地表から5 m以深に埋設される。
- WCSで用いられるMCC (モジュラーコンクリートキャニスター) は、クラスC廃棄物に対する人間侵入を防ぐ構造強度を有する。
⇒ 人間侵入を300年間抑止



スウェーデン SFR




- 沿岸海底下への設置により、人間侵入を阻止。
- 1000年間の隆起を想定し、海底から60m以深に施設を建設。
⇒ 人間侵入を1000年間抑止



■ 事例紹介③

a. 海外事例調査結果
— 大型処分容器 —

大型処分容器の採用により、限られた処分場の空間を有効に活用

項目	英国 LLWR	スウェーデン SFR	米国 WCSテキサス
外観	 <p>ISOまたは半高ISO (HHISO) コンテナ</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶 ・モールド ・コンクリートタンク ・ISOコンテナ 	 <p>モジュラーコンクリートキャニスター (MCC)</p>
寸法	高さ1.32m × 幅2.5m × 長さ6.06m (HHISO)	様々な寸法	内径2m × 内部高さ2.8m
強度	9段積みを想定	最大42段積みを想定	34.5 MPa (最大6段積み)
固化材	超可塑剤を含むPFA +ポルトランドセメント	アスファルト コンクリート	高強度グラウト (28日圧縮強度2000psi)
備考	操作性の観点からHHISOが使用されることが多い。	サイロ内に定置された廃棄体(廃棄体化された容器)は、順次グラウト化される。	MCCは1段毎に流動性の砂か土壌で埋められる。

■ 事例紹介④

a. 海外事例調査結果 — 大型コンテナ固化 (英国LLWR) —

《大型コンテナ固化の特徴》

- 特別に調合された流動性の高いセメント系固化材を使用
- コンテナの隅々までセメントを注入するため、コンテナを傾斜させて複数の注入孔から注入
- コンテナの利用により、性状の異なる複数の廃棄物が一緒に廃棄体化されるが、各廃棄物は発生の初期段階からUKRWI(次スライド参照)によりインベントリが管理されており、混合された廃棄物形態となってもインベントリの把握が可能。

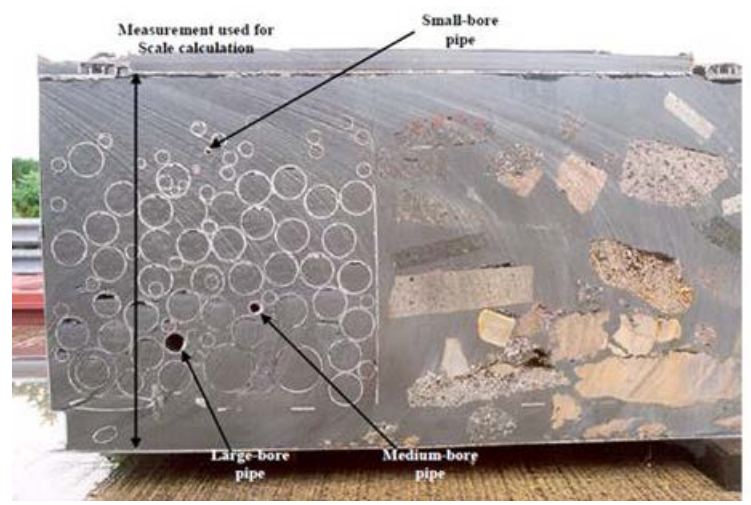


固化済みコンテナの切断



圧縮されたドラム缶を含むコンテナの断面

大型容器での固化を行うには、
・**固化体を製作する技術**
・**廃棄体中のインベントリの決定手法**
が必要となる。

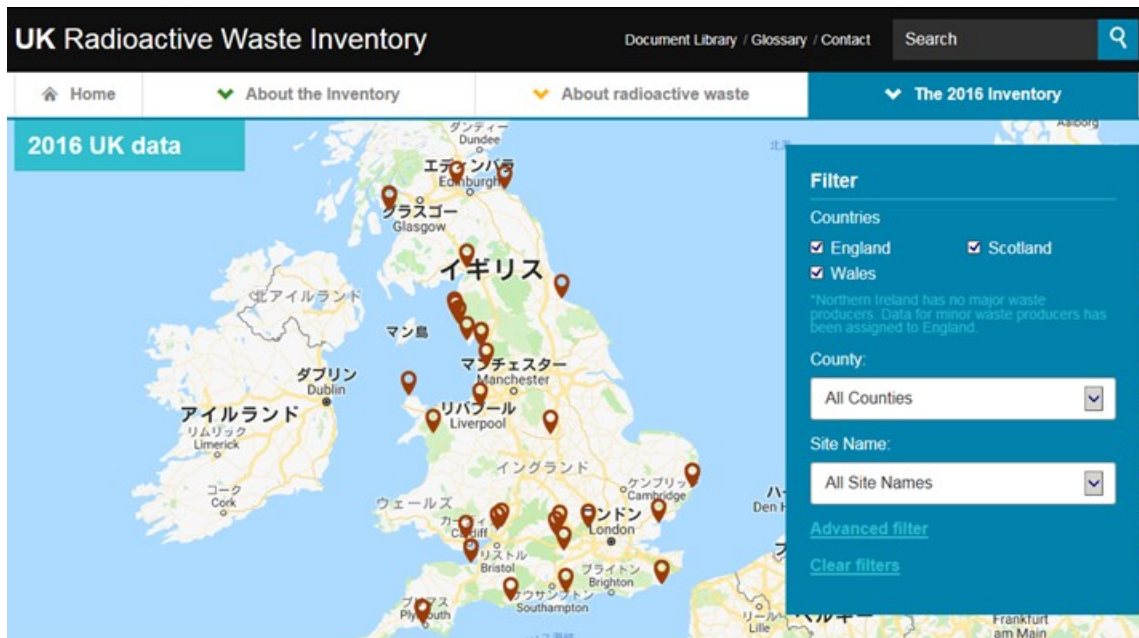


複数の廃棄物を固化したコンテナの断面

■ 事例紹介⑤

a. 海外事例調査結果

ーインベントリ管理システム(英国;UKRWI*1)ー



- 各発電所の全ての廃棄物ストリームのインベントリを追跡可能
- 長期的な発生量予測、発生量の変動幅、核種、化学物質質量なども総合的に管理
- インベントリが明確なので、混合された廃棄物形態としての処分などが容易



**処分までの長期的な
廃棄物管理に有用**

⇒ 但し、1F廃棄物の実態に
合わせる必要あり

《英国の廃棄物発生量予測》

Waste category	Volume (m ³)		
	Reported at 1 April 2016	Estimated future arisings	Lifetime Total
HLW	1,960	-820	1,150
ILW	99,000	191,000	290,000
LLW	30,100	1,320,000	1,350,000
VLLW	935	2,860,000	2,860,000
Total	132,000	4,360,000	4,490,000

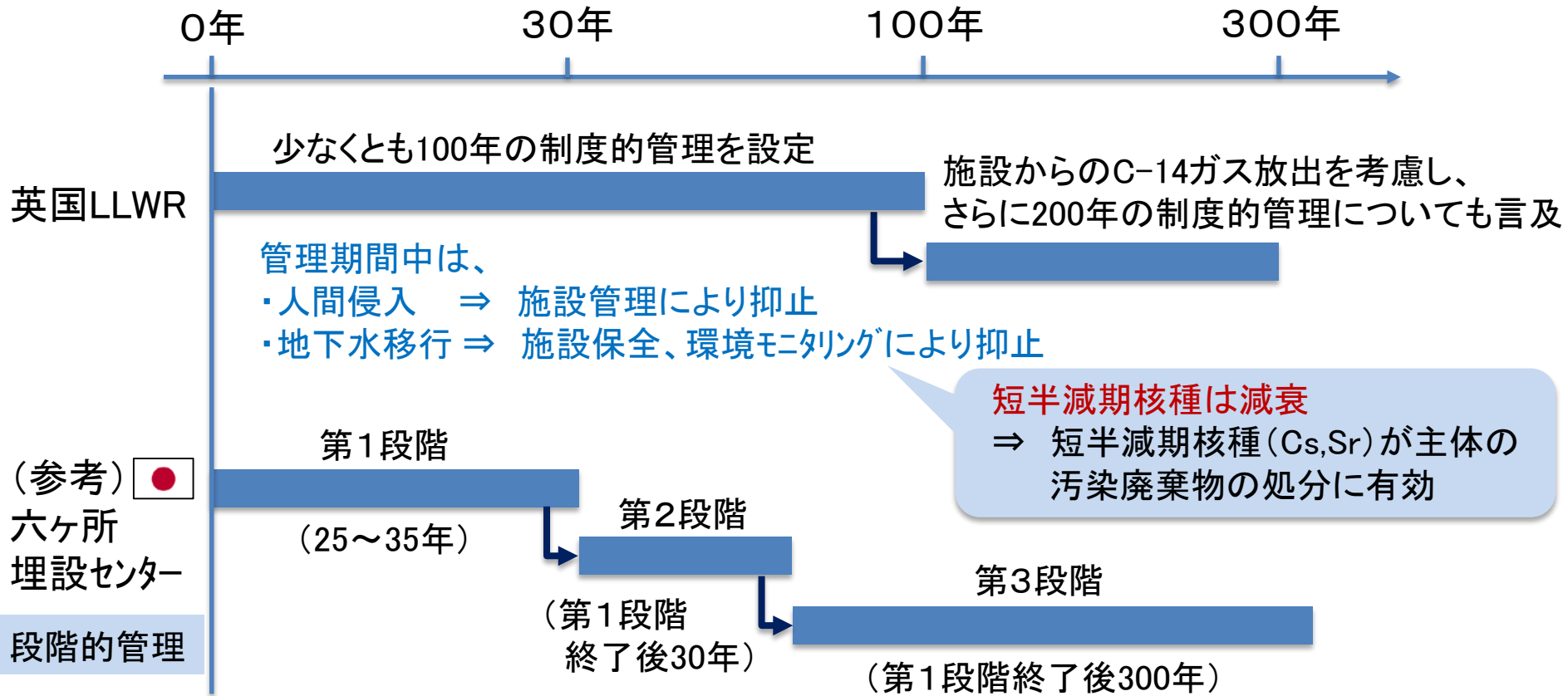
*1: UK Radioactive Waste Inventory

■ 事例紹介⑥

a. 海外事例調査結果 — 制度的管理(英国LLWR) —

「制度的管理」を行う期間を設けることで短半減期核種は減衰

■ 埋設開始後の経過年数



■ 事例紹介⑦

a. 海外事例調査結果 — 英国の廃棄物処分戦略 —

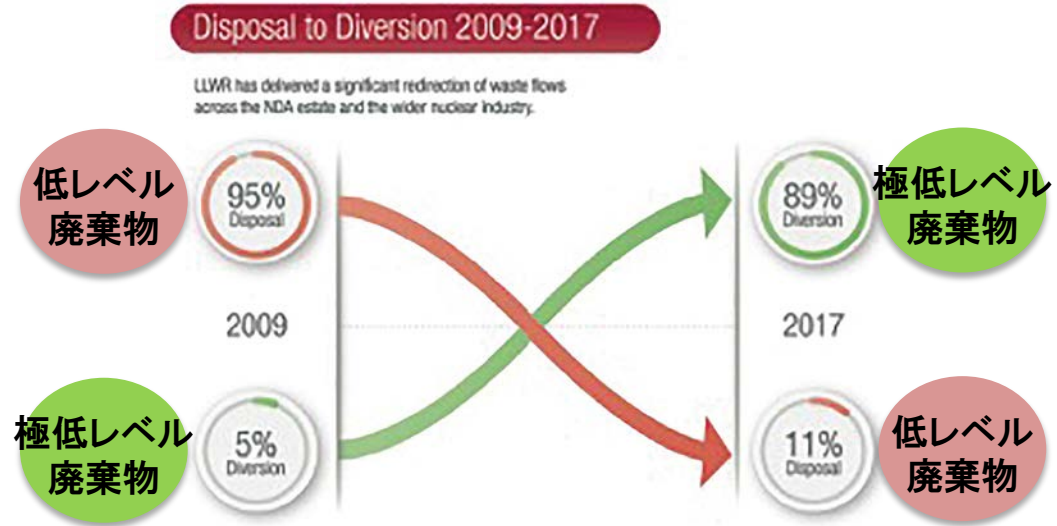
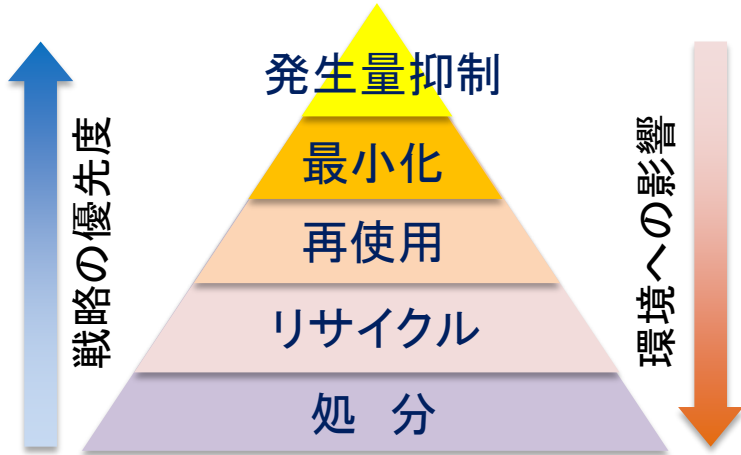
課題

英国では、廃止措置に伴い、今後膨大な低レベル廃棄物が発生



- 廃棄物ヒエラルキーの適用
- 再使用・リサイクルの増大
- VLLW処分場での処分拡大

【廃棄物ヒエラルキーの考え方】



- 廃棄物の発生量抑制: 計画段階での発生量抑制
- 廃棄物の最小化: 物量及び放射エネルギーの最小化 (分別, 分離, 除染, 性状把握等)
- 廃棄物の再使用: 資産の移転、土壌や瓦礫の埋め戻し材としての使用等
- リサイクル: 金属、コンクリート、瓦礫のリサイクル (除染, 溶融, 粉砕等)

■ 事例紹介⑧

a. 海外事例調査結果

— 極低レベル廃棄物の埋め戻し材利用（英国LLWR） —

極低レベル廃棄物の一部をコンテナ間の充填材等として用いる可能性を検討中

- LLWR処分場では、コンテナの充填材として、セメントと骨材（砂や砂利）を使用。
- これらの骨材に、極低レベル廃棄物の砂やコンクリート破砕片などを再利用し、処分場を有効活用する方法を検討。
- コンテナ内の充填材の一部に利用することは、現行の廃棄体受入れ基準に影響を及ぼし、BAT*ではないとの判断。
- 代替案として、コンテナ間の充填材や、キャップ層の埋め戻し材として使用する案を検討中。



LLWR処分場に設置されたコンテナ廃棄体

* BAT; Best Available Technique, 利用可能な最善の手法

a. 海外事例調査結果

－海外重要事例の1F廃棄物処分への適用性－

海外重要事例は、1F廃棄物処分に適用可能
⇒ 1F廃棄物の処分概念の検討に反映



処分概念に影響を及ぼす
様々なカテゴリが存在

No.	対応課題	重要事例	国内の類似実績	1F廃棄物処分への適用性	カテゴリ
1	処分施設の 大容量化	キャップシステムを持つ施設構造	国内実績なし(地下水面下で効果なし)	可能(立地に依存)	処分施設
2		人間侵入を抑制する施設構造	国内実績なし	可能(技術検討要)	
3		極低レベル廃棄物の埋め戻し材利用	国内実績なし	可能(評価要)	
4		大型処分容器	L1 処分容器	可能	処分容器
5		多種類の規格容器	200リットルドラム缶、L1 処分容器ほか	可能	
6		コンクリート製容器	国内実績なし	可能(技術検討要)	
7		英国の廃棄物処分戦略	国内実績なし	可能(技術検討要)	前処理
8		大型コンテナ固化	国内実績なし	可能(技術検討要)	固化
9	多様な 廃棄物の 受入れ性	混合された廃棄物形態としての固化	国内実績なし	可能(インベントリ管理を変更)	管理・運営
10		短半減期中レベル区分の設定	国内実績なし	可能(技術検討要)	
11		インベントリ管理システム	国内実績なし	可能(インベントリ管理を変更)	
12	不確実な リスクへの 対応	制度的管理	六ヶ所低レベル廃棄物埋設センターほか	適用済	評価手法
13		影響物質を含む廃棄体の受入れ	HLW処分、TRU処分、LLW処分	可能(一部適用済)	
14		人工バリアの長期劣化評価	HLW処分、TRU処分、LLW処分	適用済	
15		確率論的安全評価	研究事例あり	可能(技術検討要)	

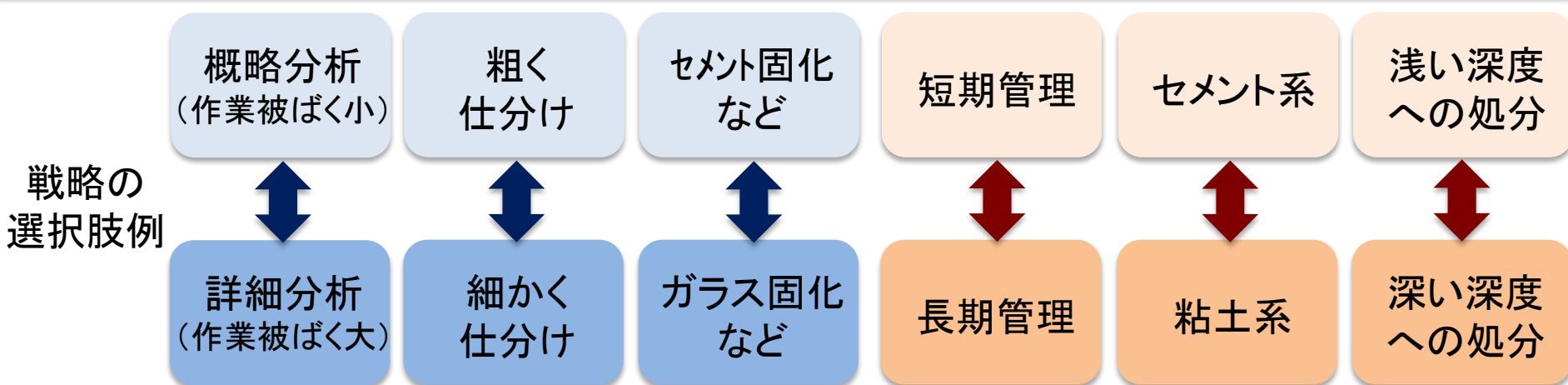
b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 処分概念の選定戦略 —

1F廃棄物の課題

- ① 物量の不確実性大
- ② インベントリの不確実性大
- ③ 廃棄物種類が多種多様



非常に大きい不確実性を
どの段階で吸収するか？



⇒ 処理から処分までの全体プロセスを俯瞰した「廃棄物管理戦略」に活用

b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 廃棄物の特徴を考慮した処分概念検討プロセス —

廃棄物の性状に応じ、処理から処分までの様々な選択肢を
幅広く評価可能な検討プロセスを構築

廃棄物性状把握

【特徴】

- ・大量の廃棄物
- ・多様な廃棄物
- ・不確実性大

処分概念検討

- ・処分深度
- ・施設構造
- ・環境条件 など

廃棄体化技術検討

- ・計測 / 仕分け
- ・固化処理
- ・処分容器 など

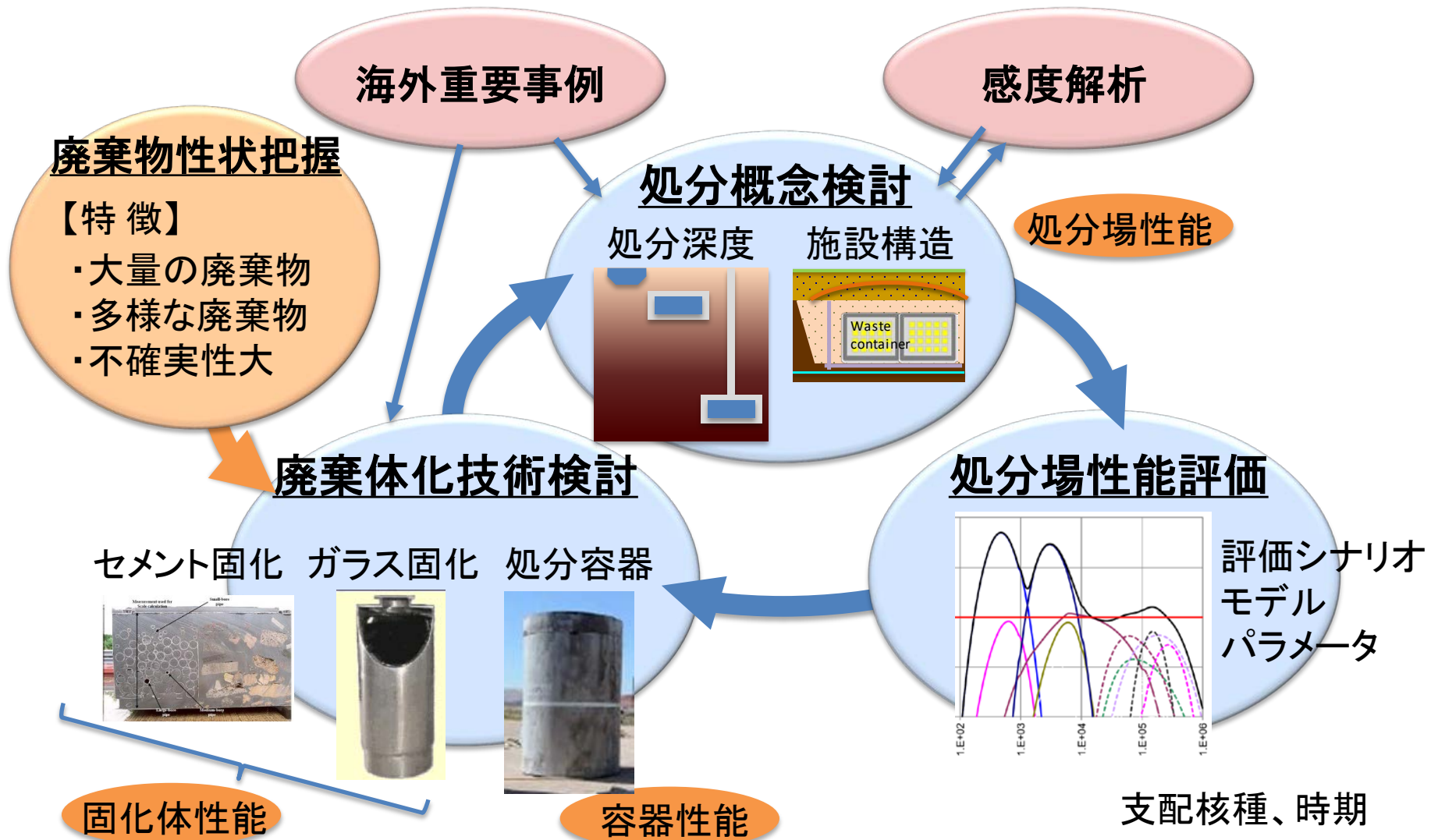
処分場性能評価

- ・評価シナリオ
- ・評価モデル
- ・評価パラメータ など

今回は、検討プロセスの方法論が成立することを確認
⇒ 代表的な処分概念案についてケーススタディを実施

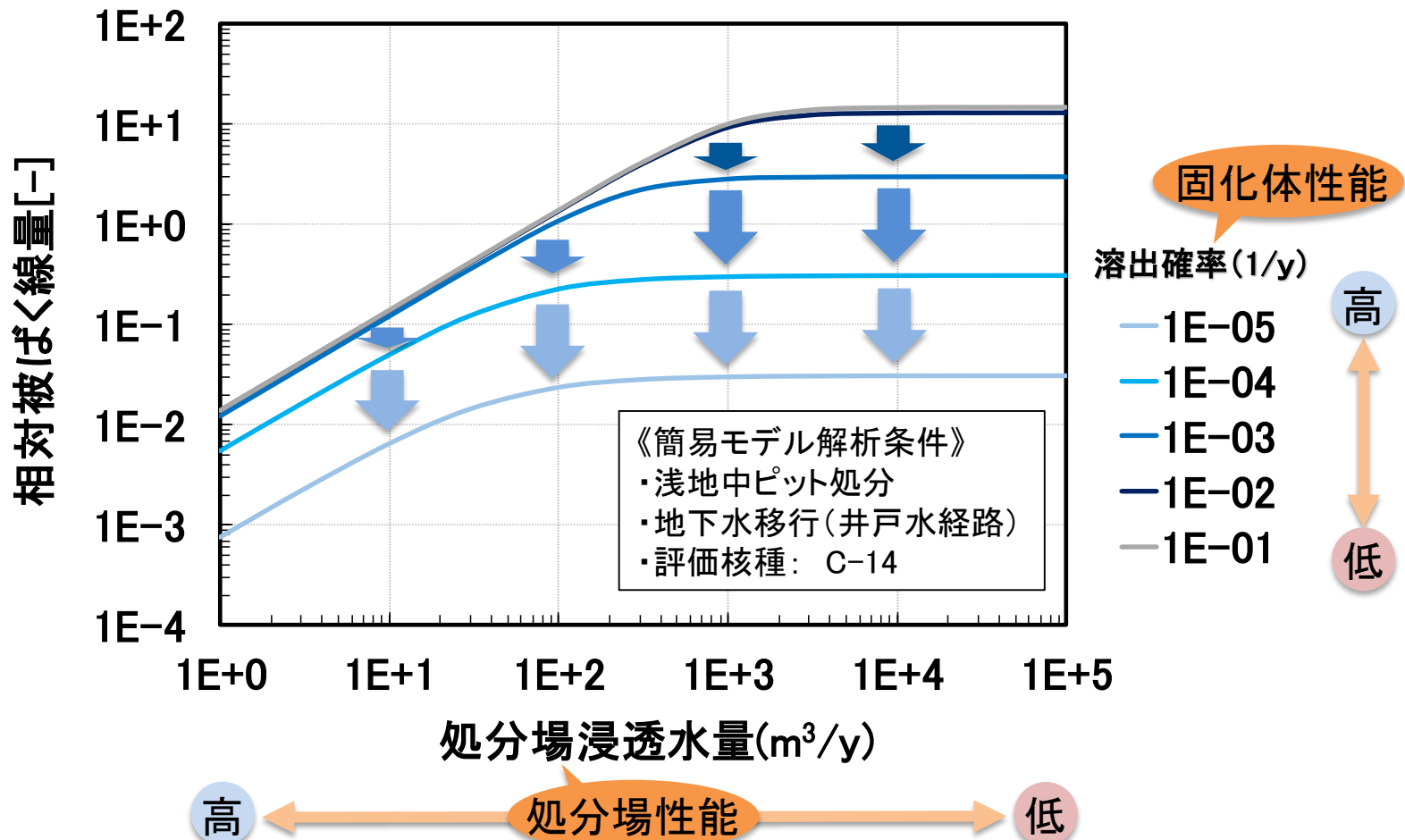
b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 処分概念検討における選択肢の一例 —

有効なケーススタディを行うため、事前に感度解析を実施



b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 感度解析の一例《固化体性能》 —

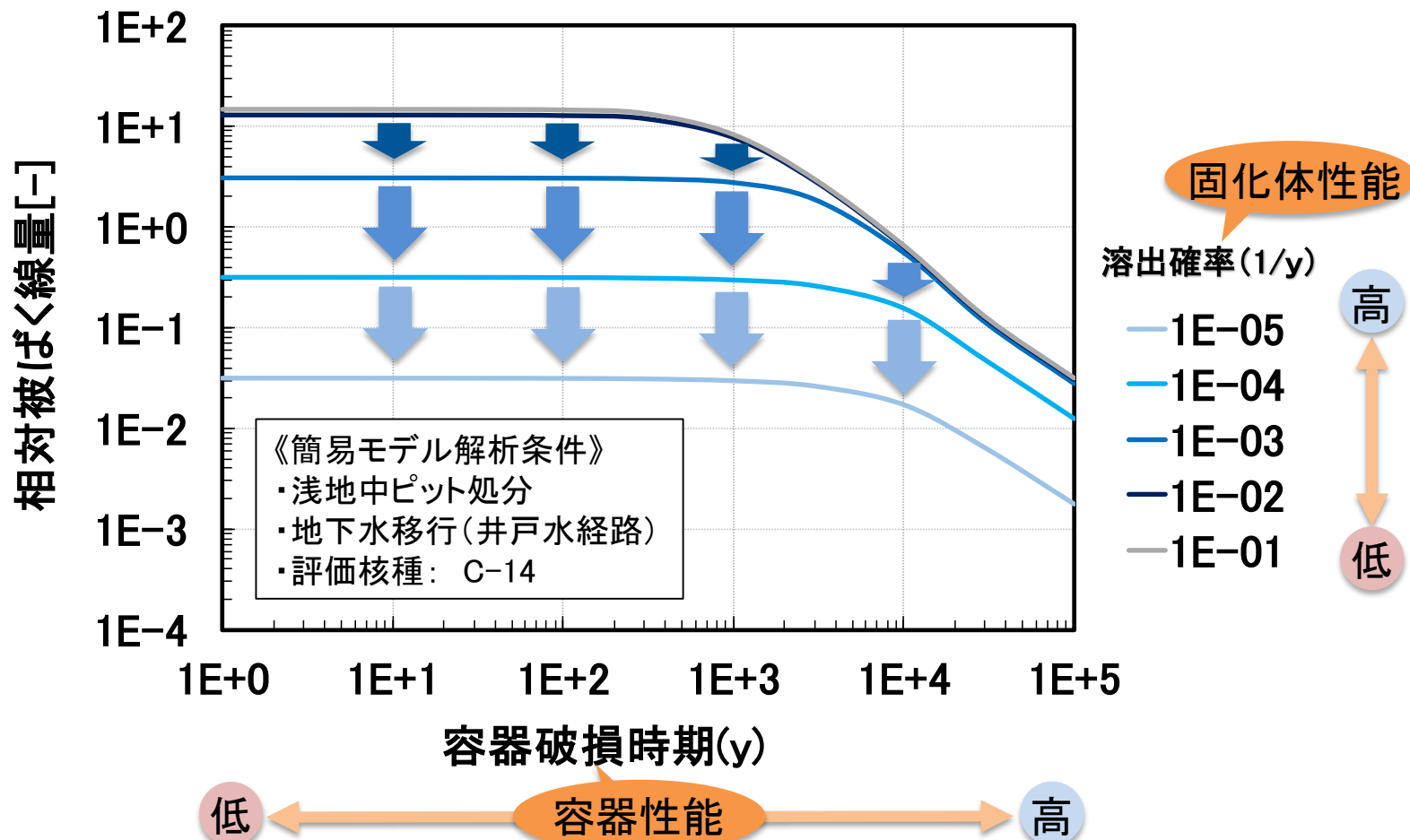
固化体性能の効果は、処分場性能によって変化
→ 処分場概念に応じた固化体性能が求められる



b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 感度解析の一例《容器性能》 —

容器性能の効果も、処分施設、固化体性能等によって変化

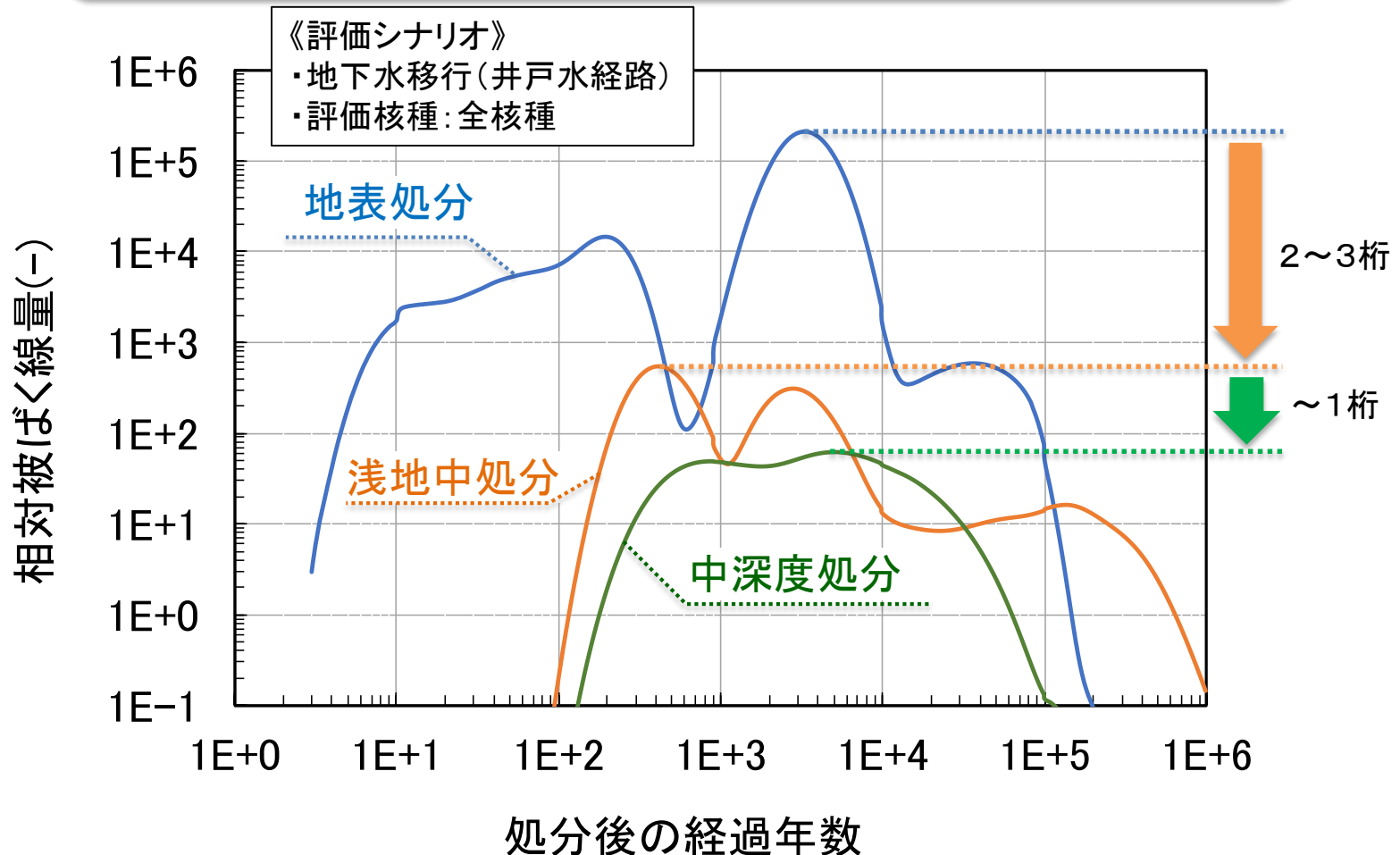
⇒ この例では、容器の健全性が1000年以上保つ場合に効果あり



b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 感度解析の一例《処分場性能》 —

処分深度を深くすることで大きな線量低減効果あり

⇒ 廃棄物の分別などの負荷を軽減



b. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス — 感度解析まとめ —

処理・処分で考慮すべき主要な性能因子と、その効果や制約条件を把握
⇒ ケーススタディの設定に反映し、検討プロセスの有効性を確認

項目	固化体性能	容器性能	処分場性能
短半減期核種 Co-60, Sr-90, Cs-137, Ni-63など	<ul style="list-style-type: none"> 地下水移行シナリオよりも接近シナリオ(建設、居住、農耕等)が支配的 制度的管理や施設・容器などの人間侵入の可能性を低減するバリアが有効 		
長半減期 低収着性核種 C-14, Cl-36, Se-79, Tc-99, I-129など	<p style="text-align: center;">0～2桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶出確率の抑制 施設、容器、天然バリア性能との組合せで効果が決まる 	<p style="text-align: center;">0～1桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 容器閉じ込め 閉じ込め期間の分散 容器内拡散 施設、固化、天然バリア性能との組合せで効果が決まる 	<p style="text-align: center;">0～2桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 浸入水量の抑制 拡散バリア 固化、容器、天然バリア性能との組合せで効果が決まる
長半減期 収着性核種 Ni-59, Nb-94, Sn-126, Cs-135, TRUなど	<p style="text-align: center;"><0～2桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶出確率の抑制 収着、天然バリアの効果が大きく、効果が出にくい 	<p style="text-align: center;"><0～1桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 容器閉じ込め 閉じ込め期間の分散 容器内拡散 収着、天然バリアの効果が大きく、効果が出にくい 	<p style="text-align: center;"><0～2桁^{*1}</p> <ul style="list-style-type: none"> 浸入水量の抑制 拡散バリア 収着、天然バリアの効果が大きく、効果が出にくい

*1: 相対被ばく線量の低減量の目安

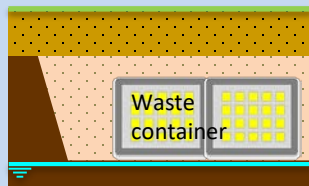
c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ーケーススタディの目的ー

処分概念の一次案の提示と、廃棄物特性を考慮する方法論の検討

浅地中処分で4つの概念を設定

処分概念
の例

基本ケース



固化体性能向上
ケース



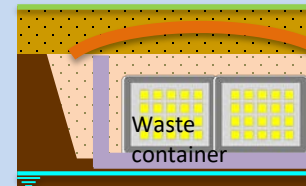
固化処理による
溶出の抑制

容器性能向上
ケース



コンクリート容器による
拡散の抑制

処分場性能向上
ケース



キャップ構造による
浸透水量の抑制

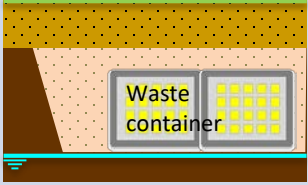
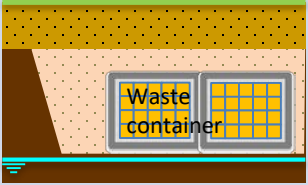
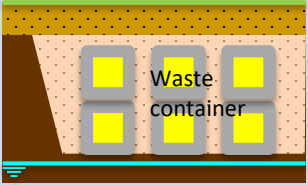
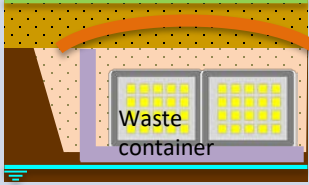
方法論
の
検
討

- 処理・処分概念の効果をどのように評価するか？
 - 被ばく線量の評価(人間侵入／地下水移行シナリオ)
 - 処分区分毎の廃棄物量の評価
 - 重要核種、重要シナリオの特定
- 得られた結果をどのようにフィードバックするか？
 - 処理・処分概念へのフィードバック(海外重要事例の活用)
 - 廃棄物性状把握へのフィードバック(重要核種、重要廃棄物)
 - 処理技術へのフィードバック(廃棄体化技術)

廃棄物管理
戦略への反映

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ーケーススタディを実施した処分概念の特徴ー

- 感度解析で得られた結果に基づき、4つの浅地中処分概念を設定

項目		基本ケース	固化体性能向上 ケース	容器性能向上 ケース	処分場性能向上 ケース
概念図					
特徴	処分施設	ピット構造	ピット構造	ピット構造	ピット構造 +キャップ構造
	処分容器	想定せず	想定せず	コンクリート容器壁の 拡散を想定	想定せず
	固化の有無	想定せず	固化体の溶出確率 $10^{-4}[1/y]$ を想定	想定せず	想定せず

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ーケーススタディにおける解析条件ー

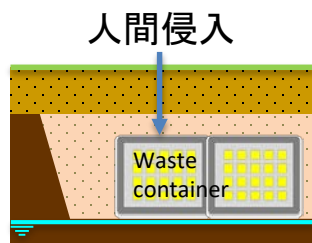
- 線量評価を実施した主要な条件は以下の通り。

設定項目	設定値
① 廃棄物量・インベントリの設定 ⇒ 27種類の廃棄物を設定	<p>事故廃棄物の核種濃度の解析推算値を使用*</p> <p>*2016年度時点の情報を参照した不確実性(核種濃度で数桁以上となる廃棄物もある)を保守的に評価した値であるが、瓦礫類や汚染水等の分析データ等の充実に応じて今後も継続的に更新されることに留意</p>
② 廃棄体容器(処分容器)の設定 (容器性能向上ケースのみ) ⇒ 厚み、拡散係数の設定	<p>コンクリート容器を想定。核種は容器壁を拡散で移行。拡散係数は$1E-12(m^2/s)$、容器厚さは15cm。</p>
③ 廃棄体性能の設定 (固化体性能向上ケースのみ) ⇒ 溶出確率の設定	<p>感度解析の結果に基づき、溶出確率10^{-4} (1/y)を設定</p>
④ 処分環境条件の設定 ⇒ 地下水流速、移行距離の設定	<p>本検討では、地表(流速10m/y、移行距離100m) 浅地中/中深度(流速0.1m/y、移行距離100m)に設定</p>

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ーケーススタディで用いた評価シナリオー

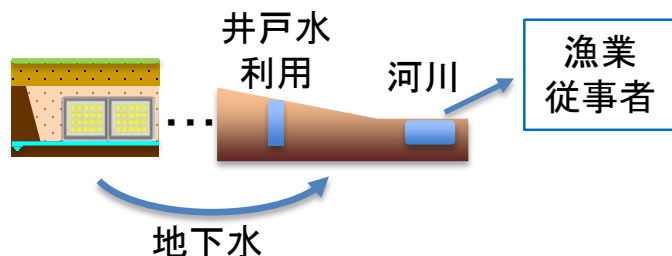
メインシナリオ

① 人間侵入シナリオ



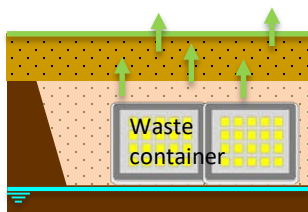
被ばく経路
 ・サイト居住者
 ・掘削作業者
 ・地質工学技術者
 ・実験室分析者

② 地下水移行シナリオ



サブシナリオ

③ ガス吸入シナリオ



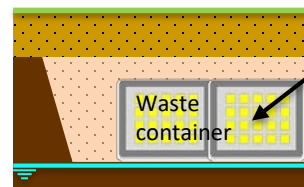
被ばく経路
 ・サイト居住者

インベントリ設定

目的に応じたインベントリを設定

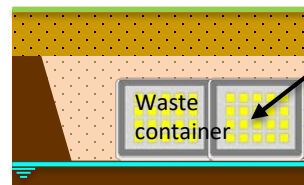


- 人間侵入シナリオなどの
放射能濃度依存の評価



個別の廃棄物の
インベントリを設定

- 地下水移行シナリオなどの
放射能量依存の評価



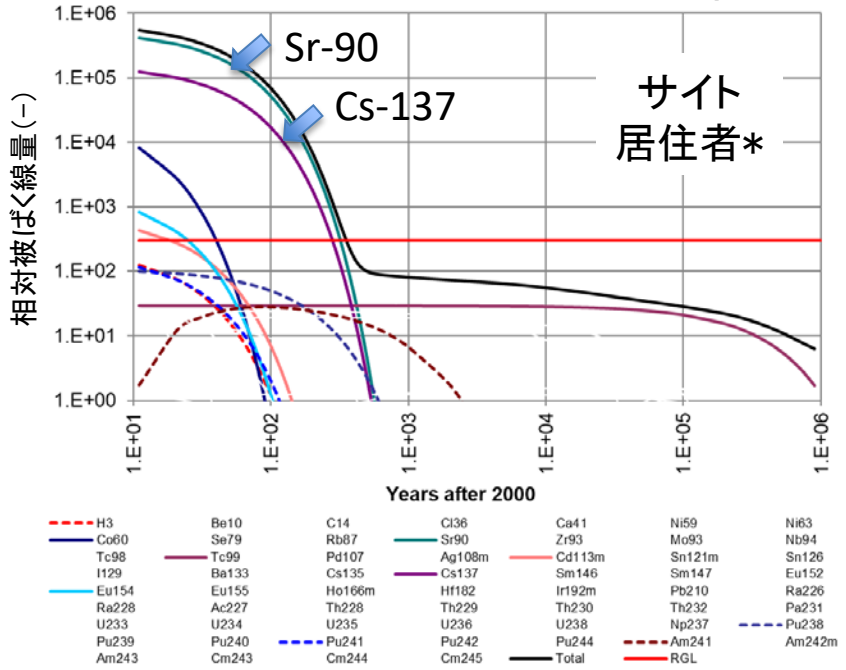
全廃棄物の
インベントリを設定

■ ケーススタディ① c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 支配核種の検討 —

- 人間侵入シナリオでは、短半減期核種のSr-90やCs-137が支配核種
 - 地下水移行シナリオでは、長半減期核種のC-14やI-129が支配核種
- それぞれについて対策が必要

人間侵入シナリオ

基本ケース



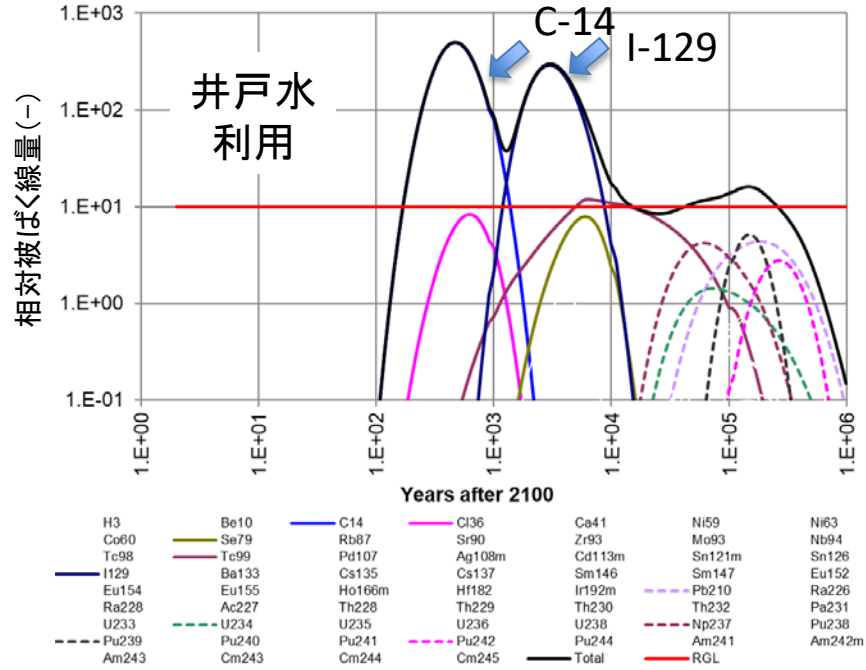
* 農畜産物摂取, 外部被ばく等



Sr-90とCs-137が支配核種

地下水移行シナリオ

基本ケース



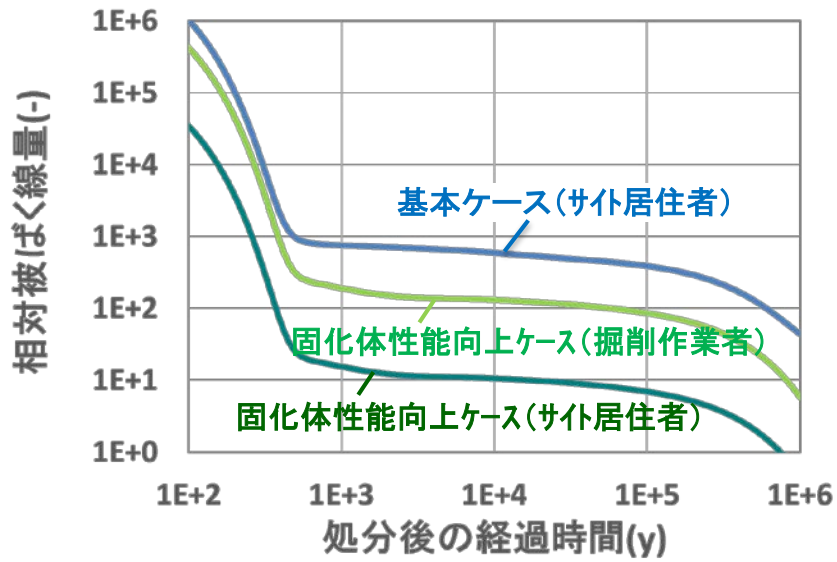
C-14 とI-129が支配核種

■ ケーススタディ② c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 固化体性能の効果 —

● 固化体性能の向上により、いずれのシナリオでも線量が低減
⇒ 固化や前処理などの効果も評価可能

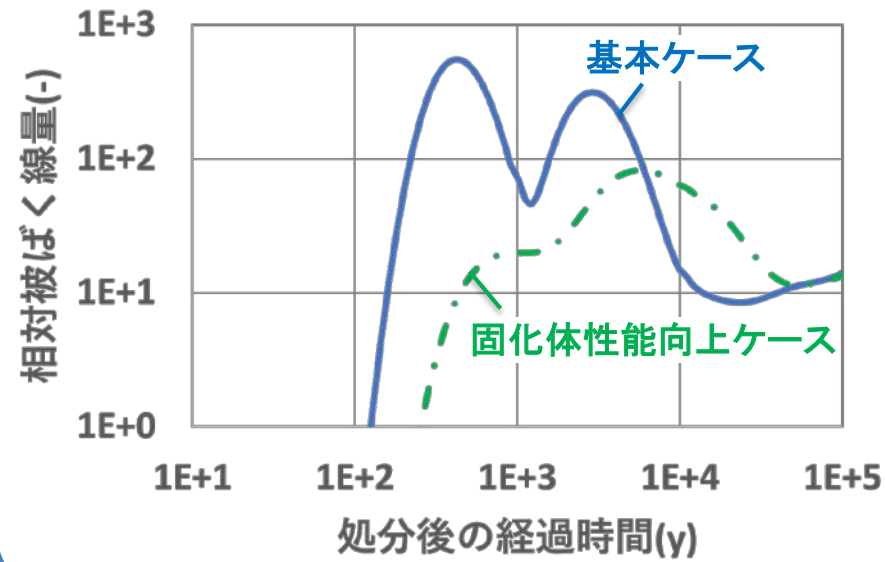
人間侵入シナリオ

- 本ケースでは、固化体製作時に高温加熱を行い、固化体からC-14が揮発すると想定。



地下水移行シナリオ

- 本ケースでは、C-14の揮発は考慮せず、固化体の溶出率(10⁻⁴ 1/y)のみを考慮。
- 固化体性能により線量低減効果あり

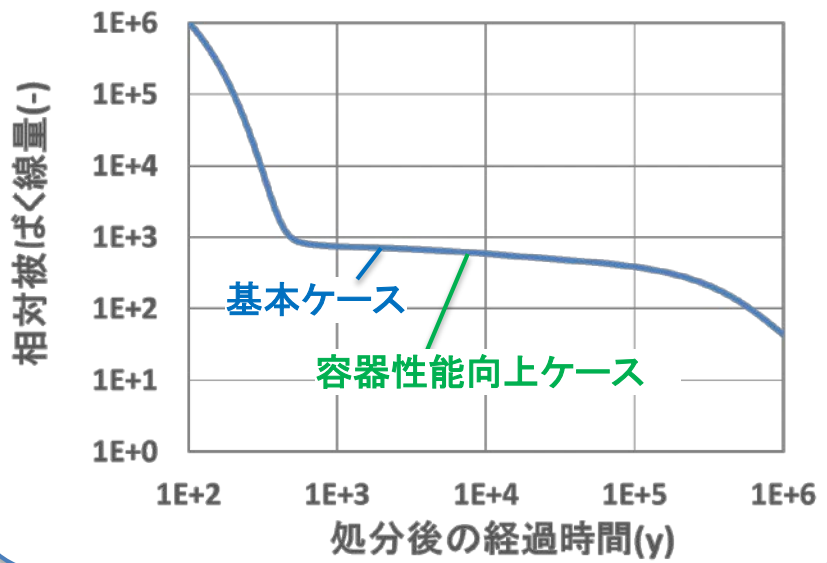


■ ケーススタディ③ c. 複数の処分概念に対するケーススタディ – 容器性能の効果 –

● 容器性能向上により、地下水移行シナリオでは線量が低減
 ⇒ 人間侵入シナリオでは、線量は同じだが侵入の抑止効果はあり

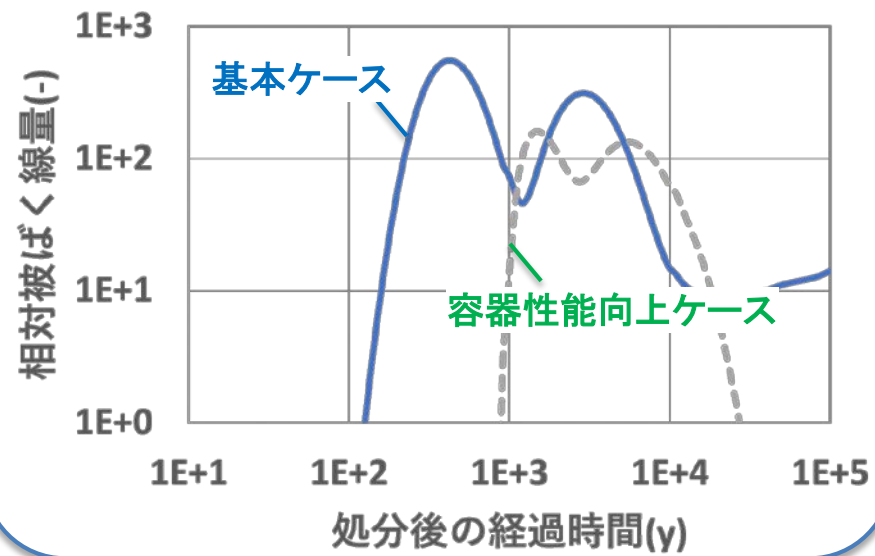
人間侵入シナリオ

- 容器があっても、侵入すると仮定するため、線量への影響なし。
- 但し、容器による隔離効果を考慮して基準線量が引き上げられる可能性あり。



地下水移行シナリオ

- 拡散支配で容器内を核種が移行。
- 拡散係数 10^{-12} m/s、容器厚さ15cm。
- 容器性能により線量低減効果あり。

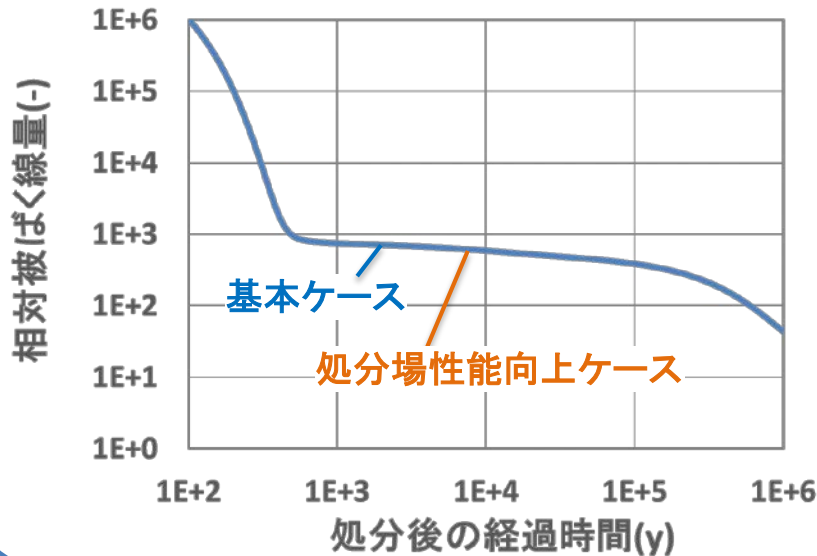


■ ケーススタディ④ c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 施設性能の効果 —

● 施設性能は、天然バリアの性能との比較により効果発現
⇒ 想定する天然バリア条件に応じた処分施設の検討が重要

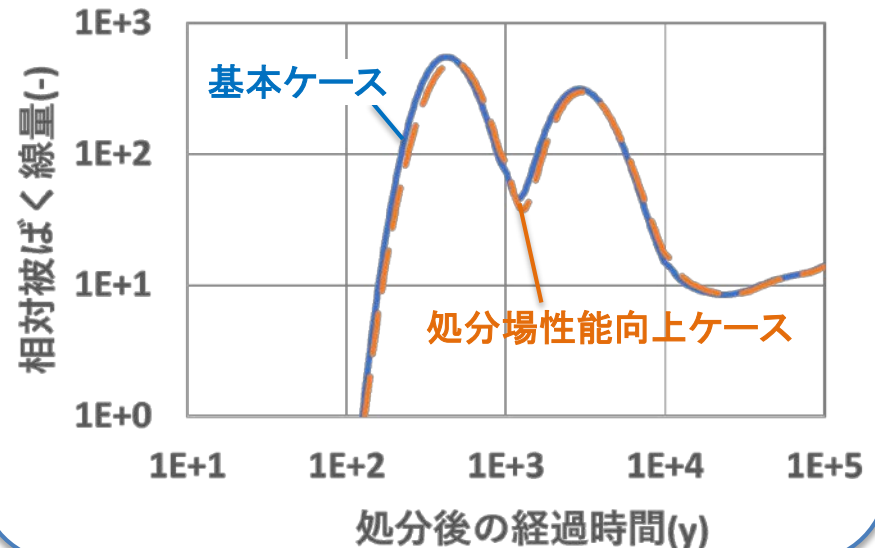
人間侵入シナリオ

- キャップ層があっても、侵入すると仮定するため、線量への影響なし。
- 但し、施設による隔離効果を考慮して基準線量が引き上げられる可能性あり。



地下水移行シナリオ

- 施設性能向上は、浸透水量の違いとして反映。
- 本ケースでは天然バリアの性能が高い設定であったため、施設の効果は見られず。



■ ケーススタディ⑤

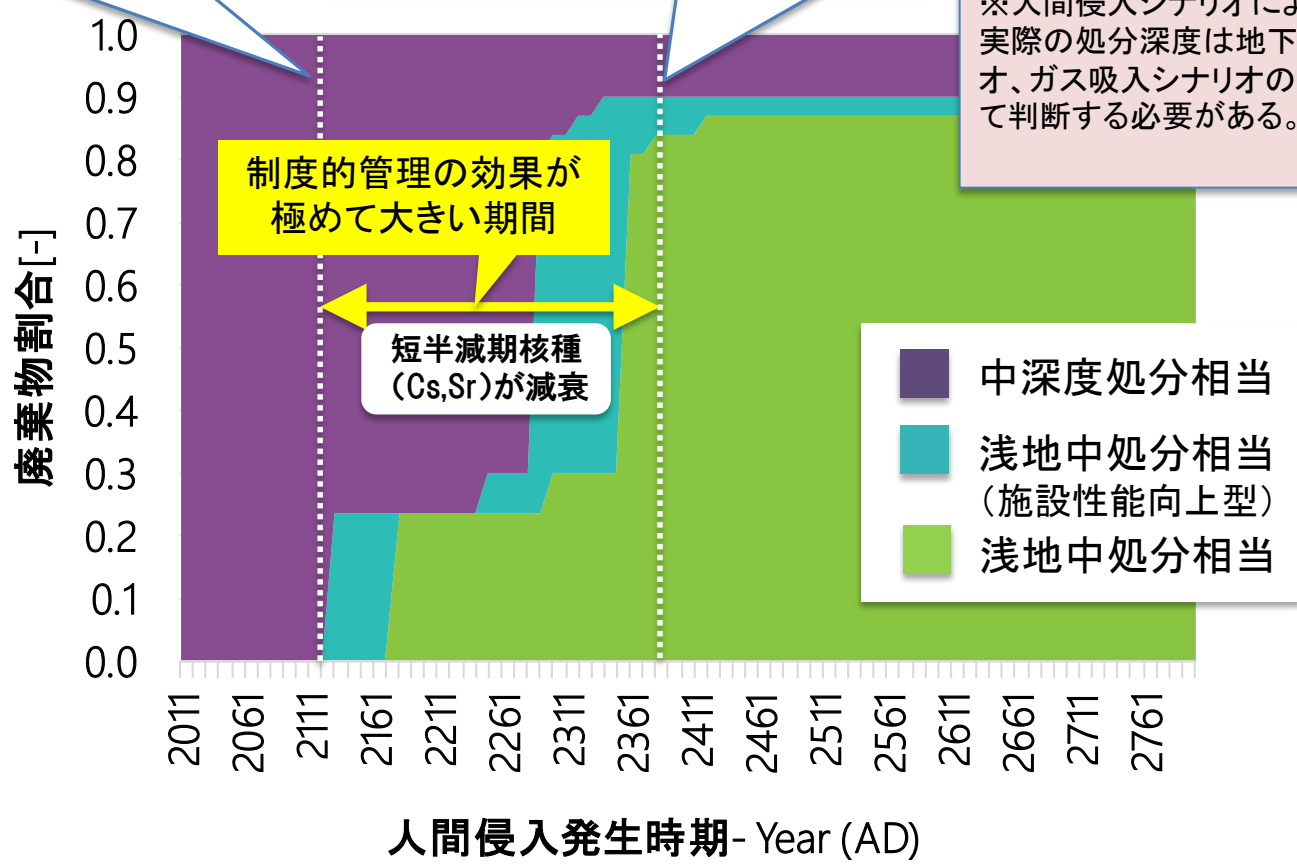
c. 複数の処分概念に対するケーススタディ
 — 処分区分と制度的管理期間の関係 —

● 制度的管理を効果的に用いることで、廃棄物区分の割合が大きく変化
 ⇒ 人間侵入シナリオでの線量低減には最大の効果あり

人間侵入の発生時期を2100年とすると、
 ほぼすべての廃棄物を
 中深度相当にする
 必要がある。

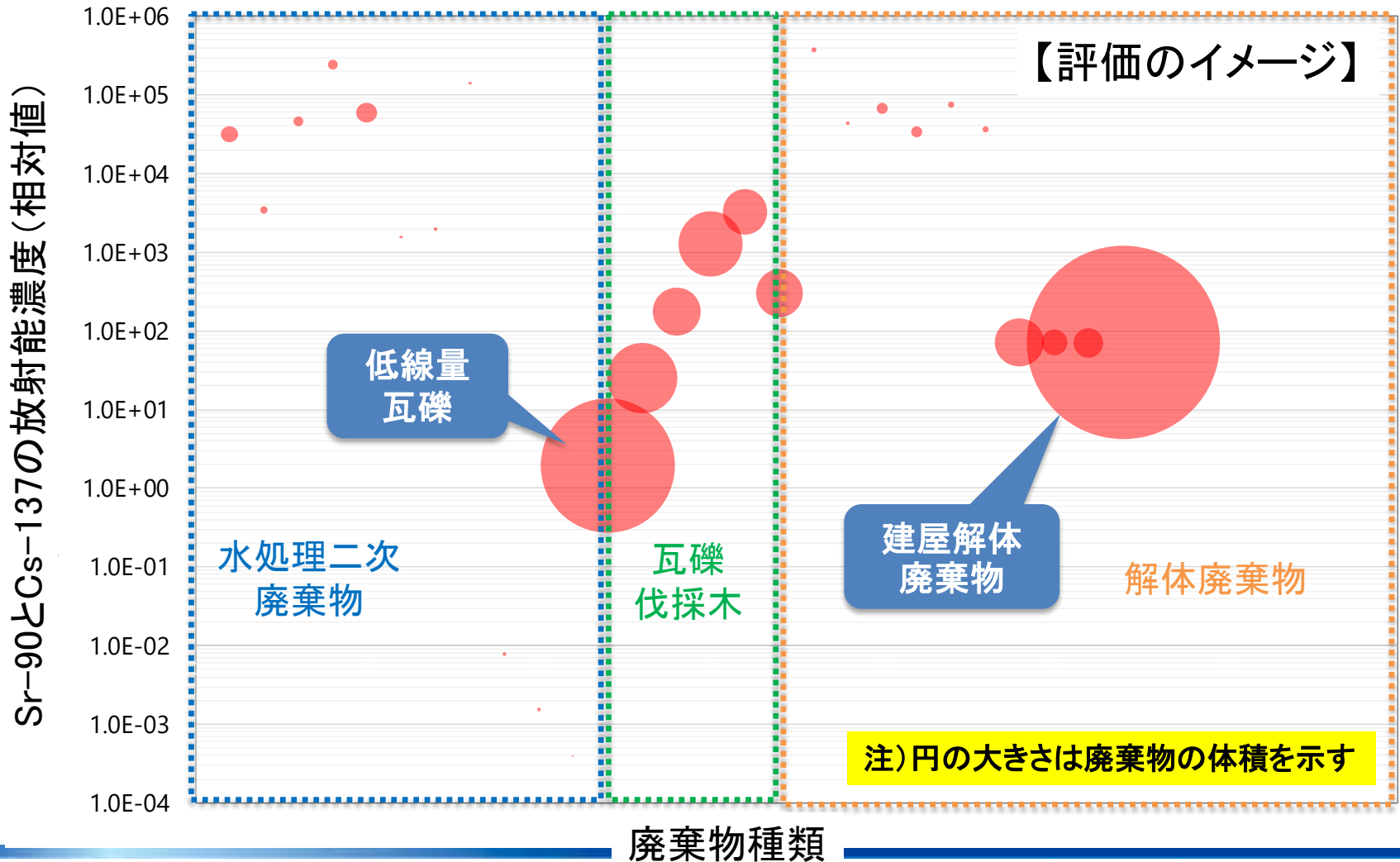
人間侵入の発生時期を2400年とすると、
 約8割の廃棄物が浅地中
 処分相当となる。

300年程度人間侵入を防ぐことにより、
 浅い深度での処分できる可能性がある。
 ※人間侵入シナリオによる評価であり、
 実際の処分深度は地下水以降シナリ
 オ、ガス吸入シナリオの評価と合わせ
 て判断する必要がある。



■ ケーススタディ⑥ c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 廃棄物の線量と物量 —

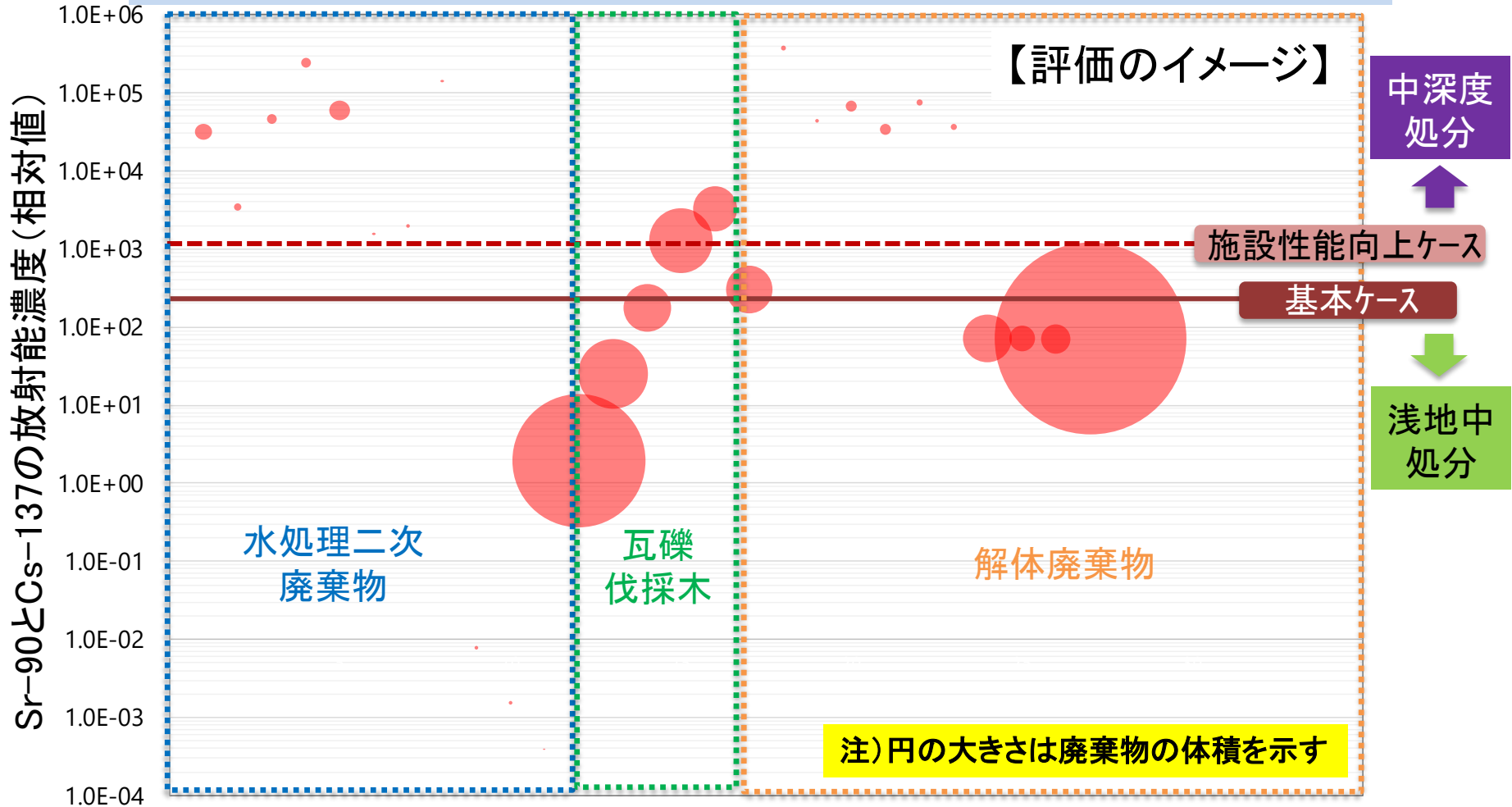
- 線量が高い廃棄物は、物量が比較的少ない傾向
- 線量が高く、物量も多い「建屋解体廃棄物」は廃棄物管理戦略上、特に重要



■ ケーススタディ⑦

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 人間侵入シナリオ評価の一例 —

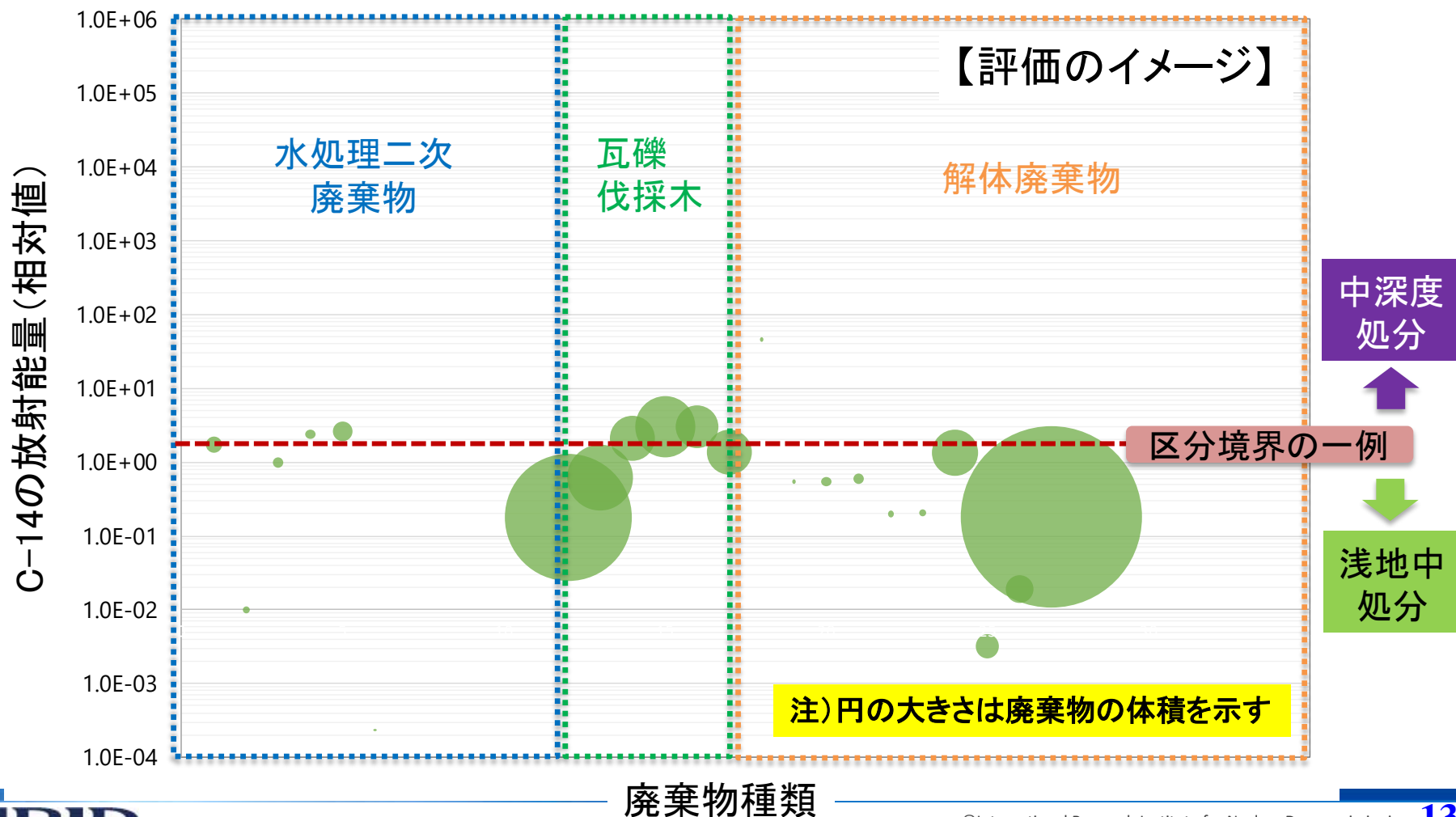
- 施設性能の向上により、浅地中処分の対象廃棄物が増加する傾向。
- 中深度処分も必要となるため、複数の概念検討が必要。



■ ケーススタディ⑧

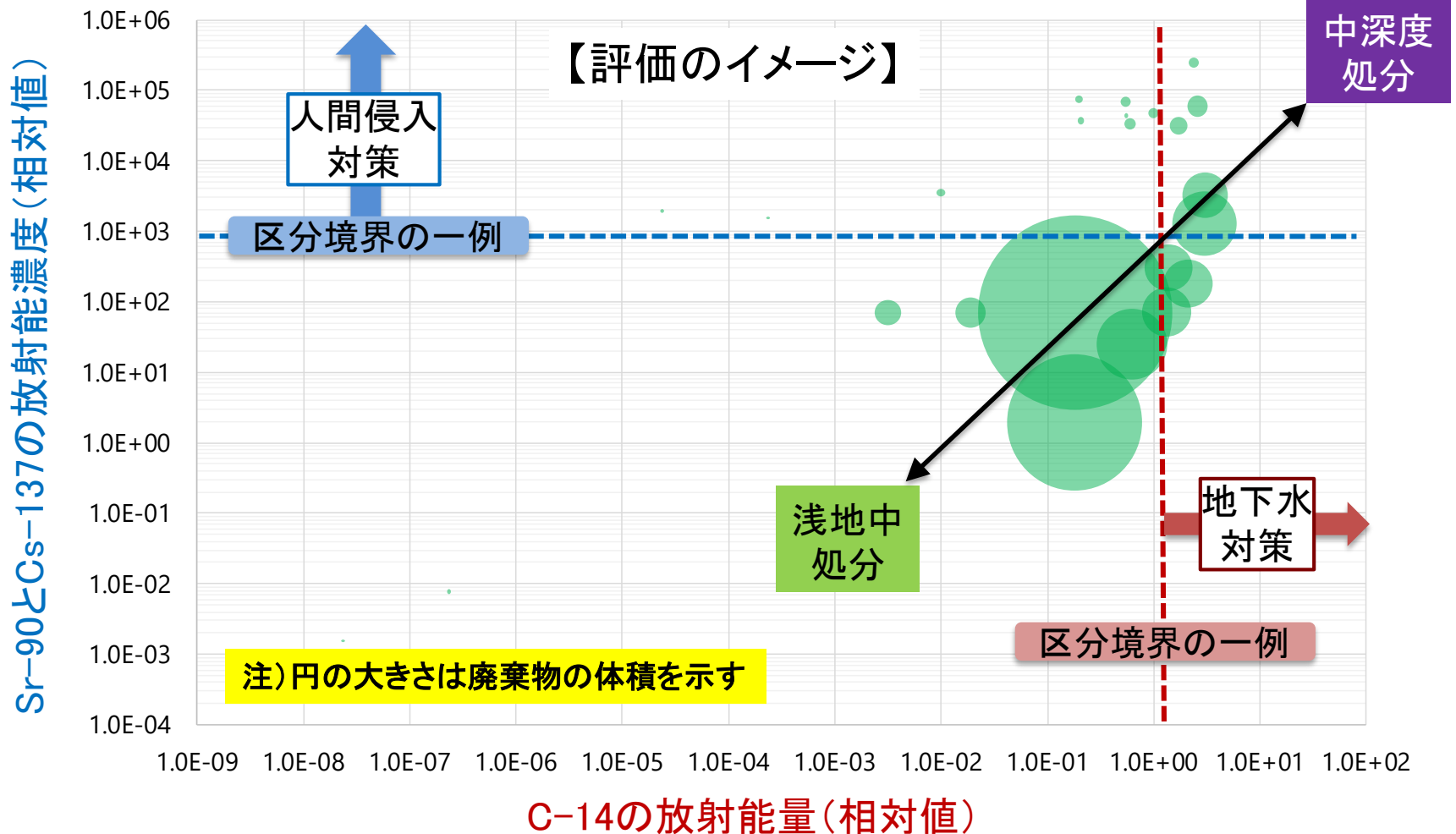
c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ー地下水移行シナリオ評価の一例(C-14)ー

- 地下水移行シナリオでは、放射能濃度ではなく、放射エネルギーが重要。
- 瓦礫廃棄物のうち線量の高いものがC-14で汚染している可能性あり。



■ ケーススタディ⑨ c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 廃棄物区分の考え方 —

- 短半減期核種の濃度と、長半減期核種の量を軸に廃棄物を整理することで、廃棄物毎の対策を検討することが可能(感度解析結果や海外重要事例を活用)。
- また、廃棄物や核種分析の優先度を設定することが可能。



■ ケーススタディ⑩

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ — 海外重要事例を用いた対策案の検討 —

海外重要事例は、それぞれの評価シナリオの対策の検討に活用可能

No.	重要事例	1F廃棄物処分への適用性	カテゴリ	人間侵入シナリオ	地下水移行シナリオ	その他(効率向上など)
1	キャップシステムを持つ施設構造	可能(立地に依存)	処分施設	○	○	
2	人間侵入を抑制する施設構造	可能(技術検討要)	処分施設	○		
3	極低レベル廃棄物の埋め戻し材利用	可能(評価要)	処分施設			○
4	大型処分容器	可能	処分容器			○
5	多種類の規格容器	可能	処分容器			○
6	コンクリート製容器	可能(技術検討要)	処分容器	○	○	
7	英国の廃棄物処分戦略	可能(技術検討要)	前処理			○
8	大型コンテナ固化	可能(技術検討要)	固化	○	○	
9	混合された廃棄物形態としての固化	可能(インベントリ管理を変更)	固化			○
10	短半減期中レベル区分の設定	可能(技術検討要)	管理・運営	○		
11	インベントリ管理システム	可能(インベントリ管理を変更)	管理・運営			○
12	制度的管理	適用済	管理・運営	○		
13	影響物質を含む廃棄体の受入れ	可能(一部適用済)	評価手法			○
14	人工バリアの長期劣化評価	適用済	評価手法		○	
15	確率論的安全評価	可能(技術検討要)	評価手法			○

c. 複数の処分概念に対するケーススタディ ーケーススタディ結果のまとめー

● 処理・処分概念の効果をどのように評価するか？

- 処理・処分の選択肢の効果を線量で評価可能。
- 但し、パラメータは相互に関連するため、結果の評価には注意が必要。
- それぞれの処分概念を、処分区分毎の廃棄物量で評価することも可能。
- 重要核種、重要シナリオを特定可能。
- 制度的管理などの運用方法も考慮可能。

● 得られた結果をどのようにフィードバックするか？

- 評価シナリオに応じた対策は、海外重要事例などの活用による検討が可能。
- 短半減期核種濃度と長半減期核種量を軸に廃棄物を整理可能。
- これらの整理により、検討の優先度の高い重要核種、重要廃棄物を特定可能。
- 廃棄体で求められる性能を評価可能。

d. 成果のまとめ

1. 海外事例調査結果

- 海外重要事例を抽出し、1F廃棄物処分への適用性について評価するとともに、処分概念の検討に反映した。

2. 廃棄物特性を考慮した処分概念の検討プロセス

- 処理から処分までの全体プロセスを俯瞰した「廃棄物管理戦略」を検討するための、処分概念検討プロセスを構築した。

3. 複数の処分概念に対するケーススタディ

- 処分施設、処分容器、固化体のそれぞれについて閉じ込め性能を改善した場合のケーススタディを行い、効果の確認やフィードバックが可能であることを確認した。

(2) 処分影響物質などへの対応

－ 実施計画と目標 －

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 放射性核種のほかに処理・処分方法に影響を与える物質について、国内外の廃棄物の受け入れ基準等に関わる実例調査等を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 処分影響物質等の廃棄物受け入れ基準等に関わる実例を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 国内外の廃棄物の受け入れ基準等に関わる実例調査等を行う。 調査結果を踏まえ、処分前管理施設及び処分施設における、廃棄物の混入が予想される処分影響物質等の廃棄物受け入れ許容濃度及び廃棄物中の含有量に関わる考え方を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fにおける処分影響物質等の廃棄物受け入れ許容濃度及び廃棄物中の含有量に関わる考え方を示す。

(2) 処分影響物質などへの対応 — 許容濃度設定の考え方 —

① 人体や環境に有害な物質

- ・米や英では規制(40CFR261など)により規制物質・濃度等が設定されている。
- ・但し、英国では、対象物質を分類し、管理要求／分別要求を実施している例もあり(表1)。

② 核種移行に影響を及ぼす物質

- ・標準審査指針(NUREG/CR-6758)などで対象物質が示されている例もあるが、それぞれの処分場によって安全評価上の取り扱いは異なる。

表1 英国での区分別の要求レベルの例

区分	要求レベル	代表物質
カテゴリ 1	管理要求のみ。 特定の制限や分別要求なし。物質量はインベントリに記録されなければならない。	ハロゲン化プラスチック、アスファルト、銅、ステンレス鋼等
カテゴリ 2	分別要求あり。 制限値以内の受け入れが許容され、物質の量はインベントリに記録されなければならない。	ヒ素、鉛、水銀、電子部品等
カテゴリ 3	危険物質として扱われるもの。これらは廃棄まで特定の管理対象となる。	アスベスト、オイル、溶液(運転に伴い発生する廃液等)

表2 核種移行に影響を及ぼす物質の規制の例

◆米WCS処分場:

- キレート物質は廃棄体毎に最大でも8%(質量)を超えてはいけない。

◆英LLWR処分場:

- キレート物質により管理要求と分別要求に分類。
- 利用可能な最良の技術(BAT^{*1})を適用。
- 安全評価上は長期的な分解を想定し、影響考慮せず。

◆英RWM処分場(計画段階:HLW^{*2},ILW^{*3},一部LLW^{*4}を対象):

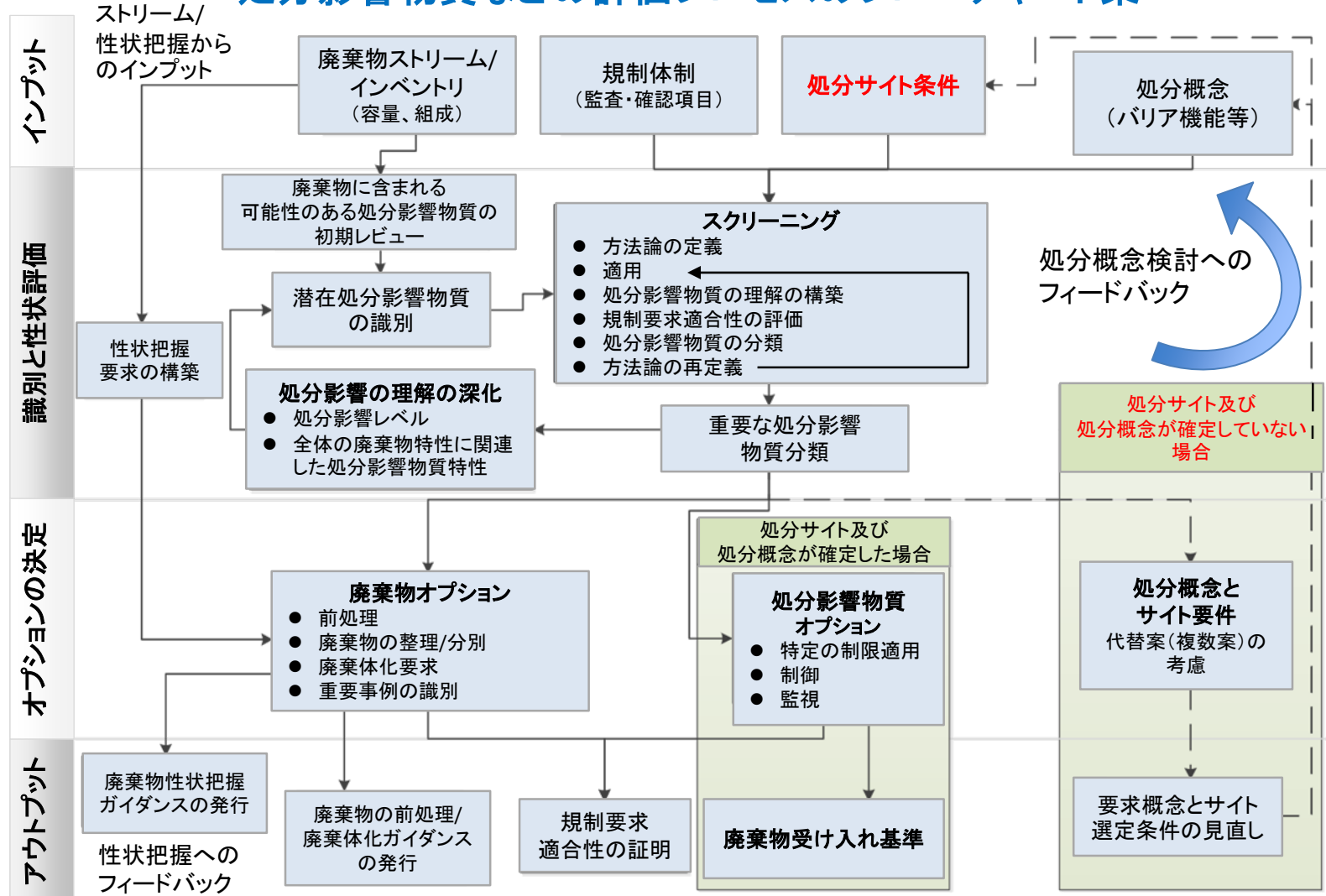
- キレート物質の代表としてISA(イソサッカリン酸)を選定し、溶解度、分配係数を補正して安全評価することを計画中。

*1 Best Available Technique *2 High level waste *3 Intermediate level waste *4 Low level waste

(2) 処分影響物質などへの対応

－ 許容濃度設定の考え方 －

処分影響物質などの評価プロセスのフローチャート案



(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

－ 実施計画と目標 －

年度	実施計画	目標とする指標
2017 2018	<ul style="list-style-type: none"> ● 処分時のバリア性能(構造的、核種移行に係る化学的な変質)や核種移行(核種移行に係る化学的特性の変化)への影響を考慮すべき成分に関して、これらの影響を定量評価するための手法を検討する。 ● 廃棄物の性状と処分への影響物質を整理し、本事業で対象とする影響物質等を抽出 ● 代表的な影響物質等を対象に、その影響プロセスの理解や根拠情報に応じた影響評価手法の案を検討 ● 主要な影響物質と核種との相互作用に関する調査・データ取得を行い、定量的な影響評価手法を検討 ● 構築した影響評価手法を基に、留意すべき仕様項目に関する評価手法を予察的に検討 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処分時のバリア性能や核種移行への影響の定量評価指標を提示する。 ● 影響物質リストの提示 ● 処分影響評価のための共通的な評価手法案の提示 ● 主要な影響物質と核種を対象とした影響評価用データと試行結果の提示 ● 処分において留意すべき仕様項目の予察的評価結果の提示

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

－ 検討の流れ －

表 影響物質リスト(影響の関係整理例)

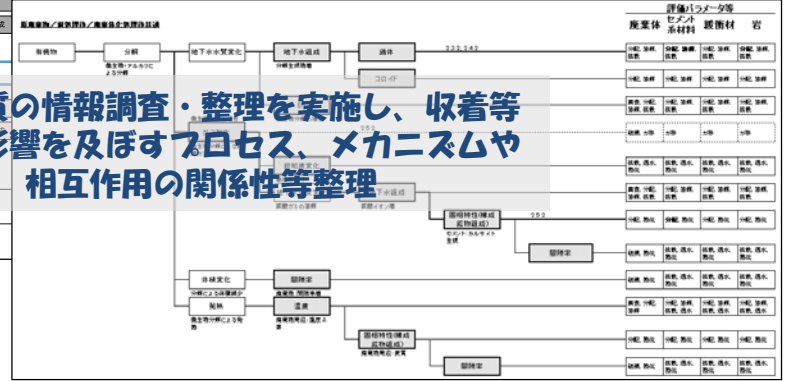
共存物質/廃棄体 処理追加成分	影響
ホウ酸水	・ホウ酸イオンは核種と錯体を形成し、溶解度及び分配係数に影響を及ぼす可能性がある。 ・ホウ酸塩として存在する場合、そのカウンターイオン放出により間隙水イオン強度が増加する可能性がある。
海水成分	・海水成分の陽イオンは、核種の吸着において競合する可能性があるほか、イオン強度増加により溶解度等に影響を及ぼす可能性がある。 ・海水成分の溶出によって間隙水のイオン強度が上昇し、溶解度等に影響を及ぼす可能性がある。
油分	・海水成分によって、セメント中での二次鉱物生成や、ベントナイトのイライタ化が生じる可能性がある。 ・核種による有機物の付着・脱離等により、セメント中の水分とも移行する可能性がある。 ・油分の分解による有機物の生成・付着・脱離等により、セメント中の水分とも移行する可能性がある。
シリカ系 (無機系飛散防止剤)	・無機系の飛散防止剤(シリカ)が溶出してシリカを放出した場合、ベントナイトのセメンテーションやセメント中C-S-H相形成が生じる可能性がある。
有機物 (草木、有機系飛散防止剤)	・有機物により、その分解生成物と核種での錯形成が生じる可能性がある。
金属	・溶出した鉄イオンによって、ベントナイトの変質や鉄系コロイドの形成が生じる可能性がある。 ・腐食時に周辺間隙水のEh変化や腐食生成物によるコロイド形成が生じる可能性がある。
セメント系材料	・高pH間隙水を形成し、ベントナイトの変質や、核種溶解度の変化が生じる可能性がある。 ・セメント水和物起源のコロイドに核種が吸着する可能性がある。

検討対象とする
物質を抽出



図 影響プロセスと核種相互作用に係る情報の関係性整理例

対象物質の情報調査・整理を実施し、収着等挙動に影響を及ぼすプロセス、メカニズムや相互作用の関係性等整理



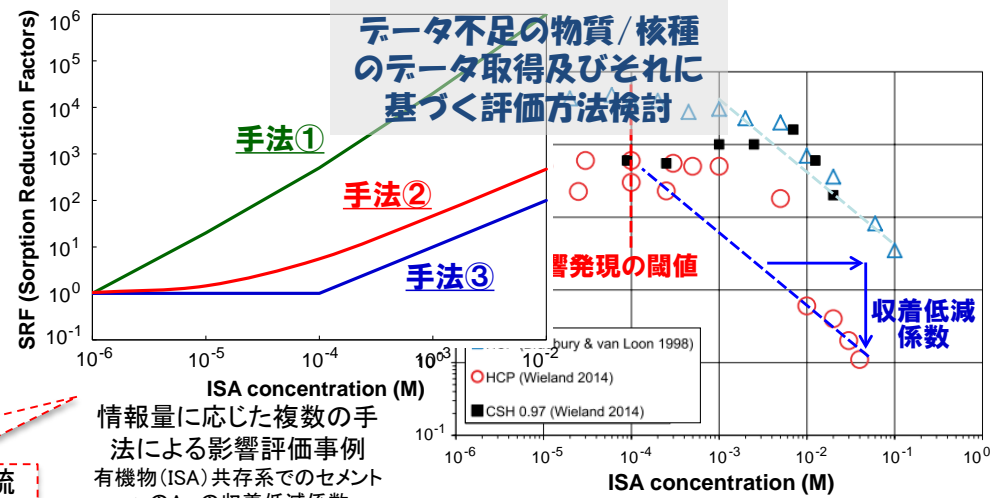
➢ 対象物質: 6物質を抽出
 (有機物、海水成分、ホウ酸、フェロシアン化物、硫酸塩、炭酸塩)

➢ 整理された影響物質に対し、網羅的に情報調査し、一通りの関係性の整理終了



元素群	代表元素	収着低減係数(SRF)					
		物質A	物質B	物質C	物質D	物質E	物質F
アルカリ金属	Cs	1	2	2	1	2	46
アルカリ土類金属	Sr	1	7	3	10	8	31
II価遷移金属	Ni(II)	1	10	36	1	12	1
IV価遷移金属	Zr(IV)	1	10 ³	10 ³	12	109	
V価遷移金属	Nb(V)	1	10 ³	10 ³	1	12	10
III価アクチノイド	Am(III)	1	10 ³	10 ²	10 ²	12	1
IV価アクチノイド	Th(IV)	1	10 ³	10 ⁶	12	1	
V価アクチノイド	Np(V)	1	100	10	10 ²	12	1
VI価アクチノイド	U(VI)	1	100	10	10 ²	12	1
ハロゲン	I	-	-	-	1	-	-
陰イオン種	Se	-	-	-	-	-	-

安全評価に資する処分影響物質の影響評価データの提示



影響因子に対するバリア材への収着低減係数の整理イメージ

➢ データなし/不足のフェロシアン化合物、硫酸塩を中心に収着影響データ取得
 ➢ データ量に応じた評価方法を検討・評価

情報量に応じた複数の手法による影響評価事例
 有機物 (ISA) 共存系でのセメントへのAmの収着低減係数

既存データに基づく評価事例
 AmのKdへの有機物影響

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

－ 調査評価対象とする影響物質の選定 －

表1 影響物質一覧

■ 影響物質の分類

- 事故廃棄物を水処理二次廃棄物、瓦礫／伐採木等、燃料デブリ、解体廃棄物の4つに分類し、それぞれに含まれると想定される影響物質を、原廃棄物成分と共存物質とに分けて整理した(表1)。

■ 調査評価対象の選定

- 多くの事故廃棄物に共通して含まれる共存物質として、有機物、海水成分、ホウ酸水を選定
 - 共通性は高くないが優先度が比較的高い水処理二次廃棄物のうち、影響が懸念される原廃棄物成分として、フェロシアン化合物、硫酸塩、炭酸塩を選定
- ⇒ これら6種類の影響物質を対象に平成30年度の調査評価を実施

原廃棄物	汚染水処理二次廃棄物										瓦礫／伐採木等					解体廃棄物							
	セシウム吸着塔	第二セシウム吸着塔	除染装置スラッジ	鉄共沈スラリー	炭酸塩スラリー	A g 添着活性炭	チタン酸塩	酸化チタン	フェロシアン化合物	キレート樹脂	樹脂系吸着材(カラム)	フィルター	瓦礫(コンクリート)	瓦礫(金属)	瓦礫(その他)	伐採木	土壌	使用済保護衣	燃料デブリ	解体廃棄物(コンクリート)	解体廃棄物(金属)	解体廃棄物(その他)	
ゼオライト	○	○																					
シリカ系物質	○		○																				
水酸化鉄			○	○																			
炭酸塩					○																		
水酸化マグネシウム					○																		
硫酸塩			○																				
活性炭						○																	
有機物			○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○					○
チタン系物質		○						○	○														
フェロシアン化合物			○						○														
金属	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							○	○	○	
コンクリート												○									○		
デブリ																				○			
MCCIデブリ																				○			
ホウ化物・炭化物																				○			
海水成分	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
ホウ酸水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
油分	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
有機物	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
シリカ系物質												○	○	○									
燃料付着物																					○	○	○

○: 原廃棄物に含まれる影響物質

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

調査評価対象とする核種移行パラメータの選定

影響物質が処分時核種移行に及ぼす影響の整理

- 既往の処分概念におけるバリア構成、各バリアに期待される安全機能と核種移行パラメータ、及び影響物質がパラメータに及ぼす影響要因を整理した(図1は余裕深度処分の例)。

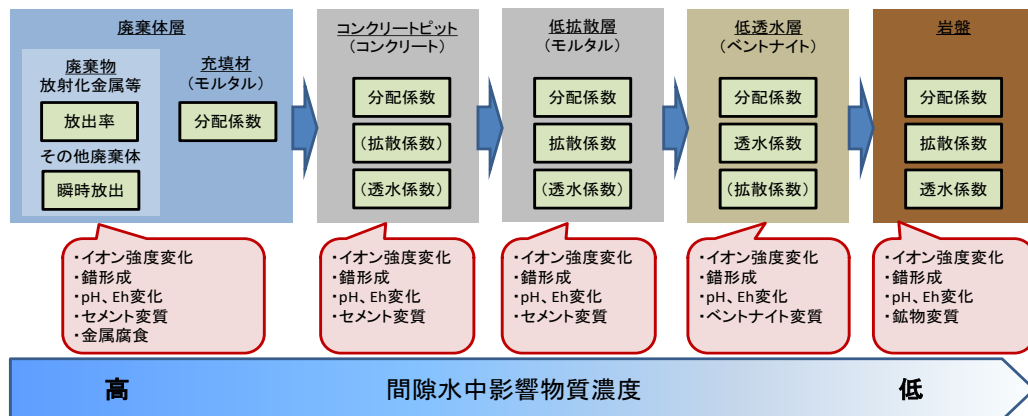


図1 処分バリア構成と影響要因

優先して検討すべき核種移行パラメータとバリア材の選定

- いずれの処分概念においても共通し、かつ、廃棄体に近い領域で影響物質の影響が大きいと想定されるバリア材と核種移行パラメータを選定した(表1)。

■ 収着パラメータ

■ セメント系材料及びベントナイト系材料

表1 各処分概念のバリア材と関連するパラメータ

	廃棄体層 (ガラス固化体、 オーバーパック)	廃棄体層 (充填材、 ピット)	低拡散層	緩衝材／難透水性 覆土	岩盤／土壌
	ガラス／炭素鋼	セメント系材料	セメント系 材料	ベントナイト系 材料	
トレンチ処分	—	(放出率) 分配係数	—	—	分配係数 拡散係数 透水係数
コンクリート ピット処分	—	(放出率) 分配係数	—	分配係数 透水係数 (拡散係数)	分配係数 拡散係数 透水係数
余裕深度処分	—	放出率 分配係数	分配係数 拡散係数 (透水係 数)	分配係数 透水係数	分配係数 拡散係数 透水係数
地層処分 (TRU)	—	放出率 分配係数 溶解度 拡散係数	—	分配係数 透水係数 拡散係数	分配係数 拡散係数 透水係数
地層処分 (HLW)	—	ガラス溶解速度 金属腐食速度	—	分配係数 溶解度 透水係数 拡散係数	分配係数 拡散係数 透水係数

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

影響物質が核種収着に及ぼす影響評価のアプローチ

- 影響物質による核種収着への影響を直接影響と間接影響に区分した(図1)。
- 直接影響の評価手法として「収着低減係数(SRF)」を適用し、3つの手法を利用可能な情報量に応じて採用した(図2)。

手法①: 溶解度上昇等の影響データからの収着低減係数の設定

溶解度や錯形成に関する半定量的かつ限定的な情報が得られている状況において有効

手法②: 熱力学データによる錯形成の定量情報に基づく収着低減係数設定

錯形成の定量的な評価が可能な状況において有効

手法③: 影響物質共存下での収着データに基づく収着低減係数の設定

最も信頼性の高い評価手法であり、最終的にはこの手法での設定が目標

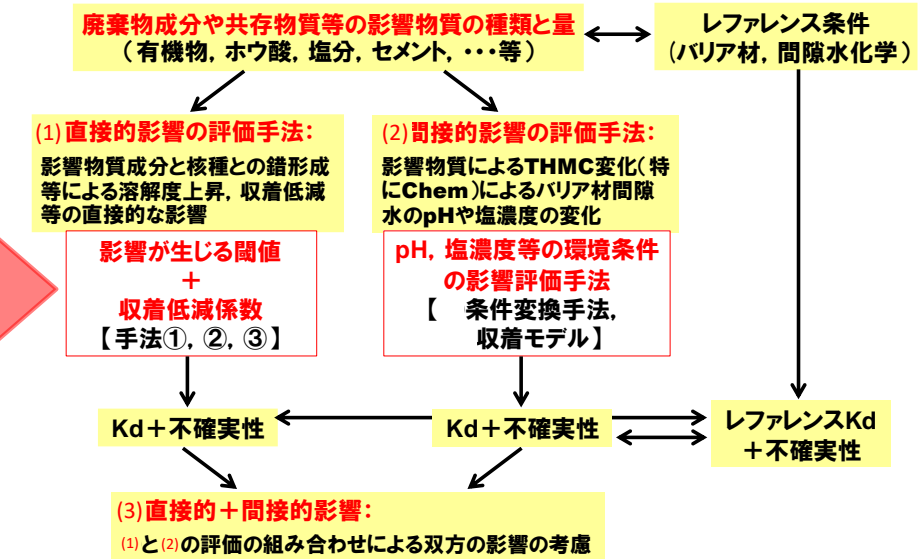


図1 影響評価手法の全体フロー

$$K_d' = K_d^0 / (SRF)^*$$

- これまでに有機物を対象に適用性を確認した(図3: セメント-Am-イソサッカリン酸(ISA)の系の評価例)。

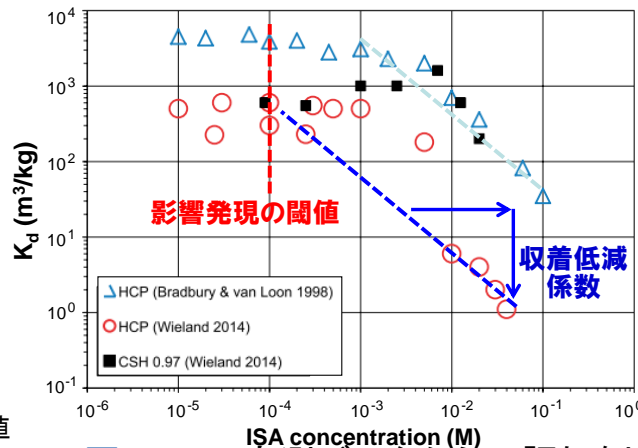


図2 SRFの実測データからの評価例
Am-ISA (手法③)

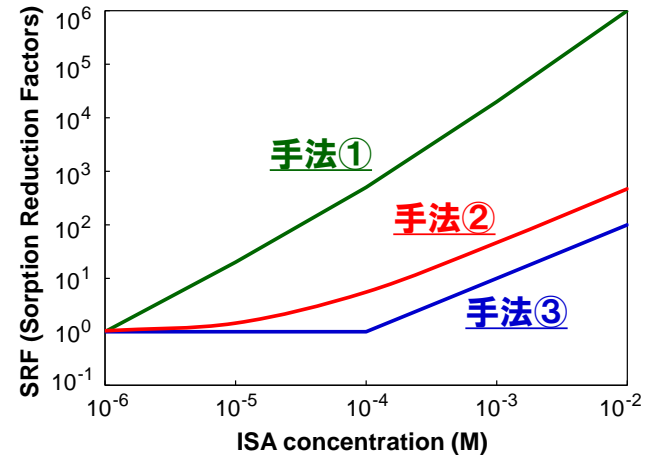


図3 Am-ISAのSRFの手法間の比較

* K_d' : 収着影響を加味した収着パラメータ値
 K_d^0 : 一般地下環境下での収着パラメータ値

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

一 各影響物質による核種収着への影響プロセスの整理 一

■ 影響物質による核種収着への影響プロセス(直接影響と間接影響)を検討した(図1)。

■ 有機物の場合、図1のフロー図に示すように、直接影響として錯形成による影響と、陽イオン/陰イオンとの収着競合を抽出した。

■ 影響物質ごとに影響プロセスを一覧表として整理した(表1)。

⇒ 本事業で焦点をあてる6つの影響物質の“直接影響”の影響プロセスの特定

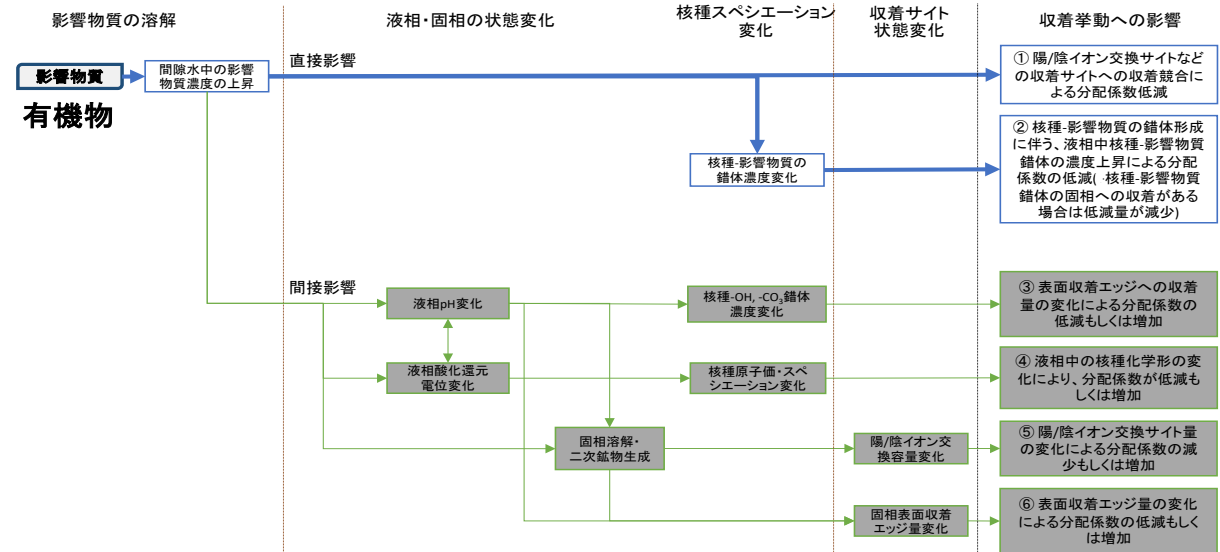


図1 影響物質による核種収着への影響プロセス図(例:有機物)

表1 影響物質による核種収着への影響プロセスの整理表例

影響物質		影響の種類	影響プロセス		核種の収着への影響メカニズム		
影響物質の種類	影響物質の特徴		間隙水液相の変化	バリア材固相の変化	核種スペシエーション変化	固相表面収着サイト状態変化	収着挙動への影響
有機物	ISA他	直接影響	⇒	⇒	⇒	⇒	① 陽/陰イオン交換サイトなどの収着サイトへの収着競合による分配係数低減
					核種-影響物質の錯体濃度変化	⇒	② 核種-影響物質の錯体形成に伴う、液中核種-影響物質錯体の濃度上昇による分配係数の低減(核種-影響物質錯体の固相への収着がある場合は低減量が減少)
海水成分	高NaCl Mg ²⁺ SO ₄ ²⁻	直接影響	⇒	⇒	⇒	⇒	① 陽/陰イオン交換サイトなどの収着サイトへの収着競合による分配係数低減
					核種-影響物質の錯体濃度変化	⇒	② 核種-影響物質の錯体形成に伴う、液中核種-影響物質錯体の濃度上昇による分配係数の低減(核種-影響物質錯体の固相への収着がある場合は低減量が減少)
		間接影響	⇒	固相溶解・二次鉱物生成	⇒	陽/陰イオン交換容量変化	⑤ 陽/陰イオン交換サイト量の変化による分配係数の減少もしくは増加
					⇒	固相表面収着エッジ量変化	⑥ 表面収着エッジ量の変化による分配係数の低減もしくは増加

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

— 影響評価に必要な情報調査とデータ取得 —

■ 各影響物質の支配的な直接影響プロセスを踏まえ、収着低減係数の定量評価に必要な情報の文献調査を実施した(表1)。

■ 不足する収着データとしてフェロシアン化合物等が収着に及ぼす影響に着目して収着データを取得した。

表1 調査対象とした影響物質ごとの調査・データ取得の内容

影響物質	調査分析・データ取得の内容
有機物	<ul style="list-style-type: none"> EDTA-アクチニド核種の錯形成や分配係数に関するデータの拡充 TDB の不確実性検討のための ISA の熱力学データの分析 多様な有機物の特性と影響の整理
海水成分	<ul style="list-style-type: none"> 収着データベース (SDB) からセメント系材料の K_d に及ぼす海水成分の影響を定量的に評価可能なデータの抽出
ホウ酸水	<ul style="list-style-type: none"> 先行事業において取得されたベントナイト及びセメント系材料に対する核種の収着試験データの整理と影響把握
フェロシアン化合物	<ul style="list-style-type: none"> フェロシアン化合物共存下でのセメント系材料及びベントナイト系材料に対する核種の K_d データの取得
硫酸塩	<ul style="list-style-type: none"> セメント系材料及びベントナイト系材料への核種の K_d に関する既存情報の整理 イオン強度一定の条件下での 3 元系収着データの取得
炭酸塩	<ul style="list-style-type: none"> 炭酸共存下でのベントナイト系材料の K_d 実測値の整理 TDB によるスペシエーション計算による炭酸影響の確認

EDTA: エチレンジアミン四酢酸、TDB: 熱力学データベース

核種: U(VI)、Np(V)、
 Th(IV)、Am(III)、Ni(II)、
 Sr(II)、Cs(I)

バリア材: 普通ポルトランドセメント(OPC)、モンモリロナイト

■ 一部のアクチニドで明瞭なフェロシアン化合物濃度依存性を確認(図1、図2) ⇒ 収着低減係数へ反映

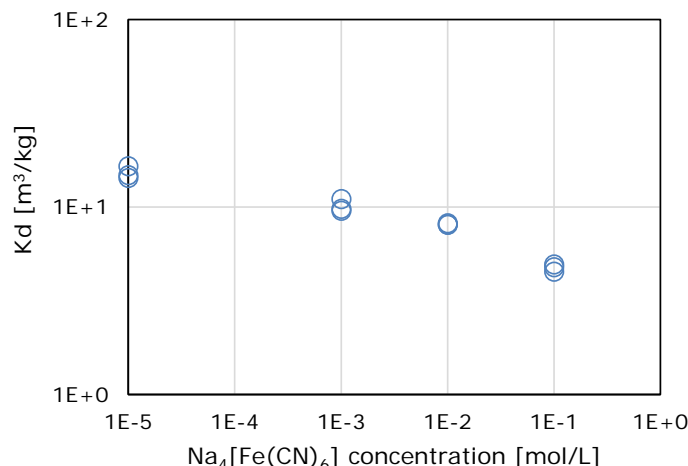


図1 フェロシアン化合物共存下での U(VI)のセメントへの収着試験結果

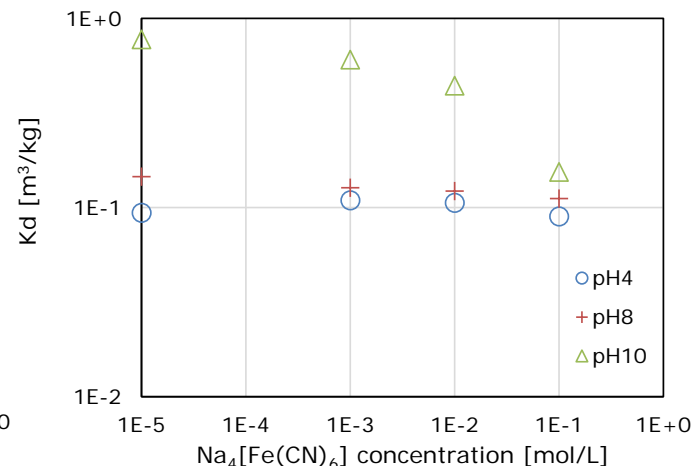


図2 フェロシアン化合物共存下での Np(V)のモンモリロナイトへの収着試験結果

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

一 収着低減係数の評価手法の構築と試行 一

■ 有機物 (EDTA)

- イソサッカリン酸 (ISA) 以外の有機物の収着影響データは限定的だが、データがあればSRFを同様に評価可能 (図1)
- 熱力学データに基づく評価 (手法②) においては、有機物の錯形成の複雑さに関連した熱力学データの不確実性に留意が必要

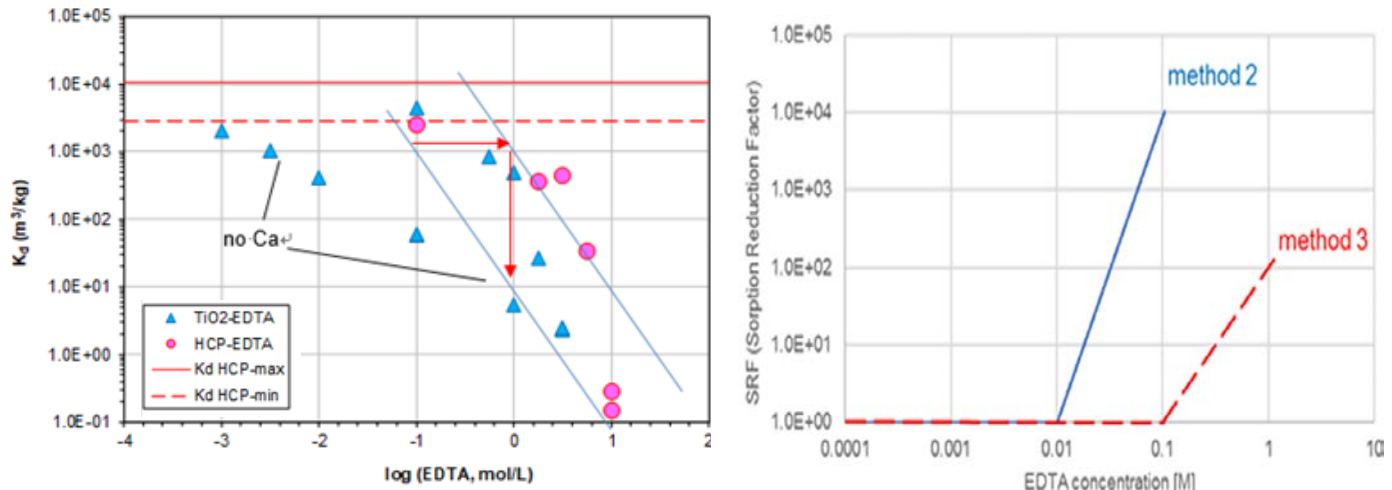


図1 文献情報に基づくEDTA共存下のセメントへのAm(III)/Eu(III)の収着データと収着低減係数評価結果

■ フェロシアン化合物

- 実測データの取得により信頼性の高い収着低減係数を設定可能 (図2)
- ただし、取得データの信頼性、影響プロセス (例えば、右図のpH依存性) の十分な理解が重要

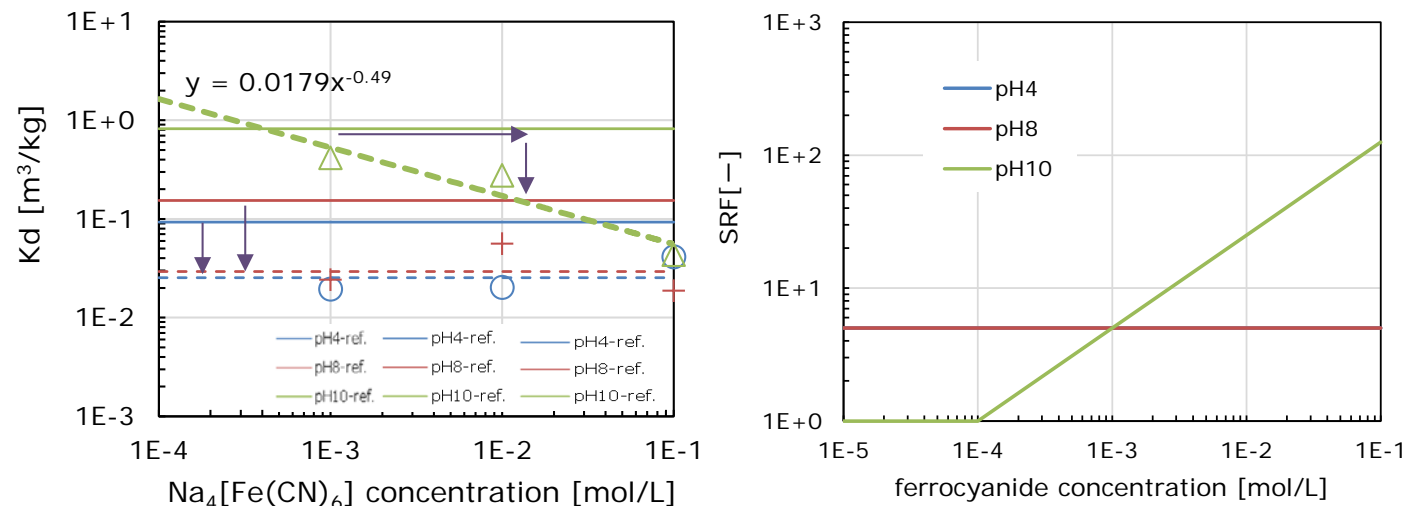


図2 取得データに基づくフェロシアン化合物共存下のモンモリロナイトへのNp(V)収着データと収着低減係数評価結果

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討

一 収着低減係数の現時点での設定試行結果のまとめ(セメントの例) 一

元素群	代表元素	収着低減係数 (SRF)						
		有機物	有機物	海水	ホウ酸	フェロシアン化合物	硫酸塩	炭酸塩
		ISA $1 \times 10^{-2} M^*$	EDTA $1 M^*$	イオン強度 $0.68 M^*$	$Na_2B_{10}O_{16}$ $2 \times 10^{-3} M^*$	$Na_4[Fe(CN)_6]$ $1 \times 10^{-1} M^*$	Na_2SO_4 $1 \times 10^{-2} M^*$	CO_3^{2-} $1 \times 10^{-2} M^*$
アルカリ金属	Cs	1		2			2	1
アルカリ土類金属	Sr	1		7			4	1
II 価遷移金属	Ni	1	1.5×10^4 (EDTA $5 \times 10^{-2} M^*$)	10			4	1
IV 価遷移金属	Sn	10^2		10			1	1
V 価遷移金属	Nb	1		10			1	
III 価アクチニド	Am	10^2	$10^2 \sim 10^4$	10			1	1
IV 価アクチニド	Th	10^6	10^2	10			1	1
V 価アクチニド	Np	10		100		1	1	1
VI 価アクチニド	U	10^2	1	100		8	1	1
ハロゲン	I	1		—**	—**		1	—**
陰イオン種	Se	—**		—**	—**		1	—**

*M: mol/L, ** $K_a = 0 (m^3 kg^{-1})$ を設定。

- : 既往の情報調査結果に基づき設定
- : 収着試験による取得データに基づき設定 (未設定のものは今後設定、あるいはデータ拡充後に設定)
- : 既往の情報調査およびデータ取得を未実施 (調査の結果データなどが無いことを確認したものを含む)

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討
 — 処分への影響のまとめと課題(その1) —

影響物質	処分時の収着影響と留意事項
有機物	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物影響については、既往の知見が比較的充実しており、セルロース分解生成物のイソサッカリン酸(ISA)に加え、EDTAによる収着影響を検討した。 ・有機物の種類や核種によって、その影響の程度は異なるものの、その処分への影響は他の影響物質と比較しても重要となる可能性が高い。 ・事故廃棄物に含まれる可能性のある有機物とその分解生成物を想定しつつ、多様な有機物と核種の組合せに対して、熱力学データによる手法を含め評価手法の適用性を検討していく必要がある。
海水成分	<ul style="list-style-type: none"> ・海水成分が核種収着に及ぼす影響については、既往の知見が比較的充実しており、ある程度定量的な評価が可能であり、核種によってはある程度大きな収着低減の影響が想定される。 ・これらの影響は、海水成分との収着競合や錯形成の影響に加え、セメントの場合には、収着相の変化も影響する可能性があり、各核種の収着メカニズムと海水成分の影響の詳細な調査が必要。 ・廃棄物の性状把握に基づく海水成分の付着量の現実的な評価と、高濃度であった場合には廃棄体化の検討の際に留意が必要であり、さらに、海水成分がセメント系材料を変質させる可能性があることにも留意が必要。
ホウ酸水	<ul style="list-style-type: none"> ・ホウ酸の影響については、既往のデータが非常に限られることから、収着への影響データを取得し、その結果をもとに、アルカリ金属、アルカリ土類金属ではホウ酸の影響は小さく、一方で、アクチニドの場合には、ホウ酸がある程度影響することが確認された。 ・アクチニド核種をはじめとする高収着性核種の試験データを十分な精度で取得することが課題であり、ホウ酸による錯形成の影響と収着低減の関係性や、炭酸錯体などの他の配位子との競合の評価、核種間での影響の相関性などにも十分配慮した収着低減係数の評価を引き続き検討する必要がある。 ・ホウ素が環境基準物質であることに加え、廃棄物の性状把握に基づくホウ酸の付着量が高濃度である場合には廃棄体周辺のホウ酸濃度評価と核種移行影響を適切に考慮する必要がある。

(3) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出／
 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討
 ー 処分への影響のまとめと課題(その2) ー

影響物質	処分時の収着影響と留意事項
フェロシアン化合物	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロシアン化合物については、既往の知見がほとんど存在しないため、本事業においてフェロシアン化合物共存下での収着データを取得し、その結果を用いて主にアクチニドのセメント及びベントナイトに対する収着への影響評価を行った。 ・核種やpH等の条件によってその影響は複雑なことが推察され、フェロシアン化合物による錯形成の影響と収着低減の関係性について把握するとともに、核種間での影響の相関性などの知見を拡充し、それらを反映した収着低減係数の評価を引き続き検討する必要がある。 ・全シアンが環境基準物質であることに加え、フェロシアン化合物自体の廃棄体内や処分環境での挙動をあわせて評価し、前処理時の対策を含めた検討が必要。
硫酸塩	<ul style="list-style-type: none"> ・熱力学データに基づく評価からは硫酸錯体は核種収着にほとんど影響を及ぼさないと推定された一方で、本事業で取得した硫酸共存系でのU(VI)のセメント系材料への収着試験では、比較的高硫酸濃度においてK_dの硫酸濃度依存性が確認され、この差異については今後さらに検討が必要である。 ・事故廃棄物中の硫酸塩は主に硫酸バリウムとして存在しており、その溶解度は低く、影響が発現する濃度を下回る可能性が高いことから、データ拡充の優先度は比較的低いと言える。 ・セメント固化の際にセメント成分と硫酸が反応することによりエトリンガイトの生成及びひび割れの発生の可能性があるが、上記と同様、硫酸濃度が低ければ問題とはならないと推察される。
炭酸塩	<ul style="list-style-type: none"> ・炭酸塩の影響については、もともと天然の岩石・地下水環境に含まれる成分であり、その影響評価手法も従来研究において検討されてきたものである。 ・セメント系材料とベントナイト系材料のいずれにおいてもカルサイトが成分として含まれており、間隙水はカルサイトと平衡になっていることから、事故廃棄物由来の炭酸カルシウムの溶解は起こりにくいと想定される。 ・事故廃棄物由来の炭酸塩が存在しない場合においても間隙水中の炭酸濃度の影響は考慮されており、事故廃棄物に含まれる炭酸塩の影響をさらに追加して考慮する必要性は低いと考えられる。

5. 廃棄物ストリームに係る研究

報告内容

(1) 研究開発成果の統合（廃棄物ストリームの構築）

- ・研究成果の統合とは
- ・これまでの廃棄物ストリームの検討の成果
- ・2017～2018年度の実施計画と実施概要
- ・2018年度実施事項
 - （ 廃棄物分類の見直し
研究開発の位置づけ検討
インプット整理表の考え方の検討 ）
- ・廃棄物ストリームへの統合
- ・まとめ

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)
— 研究成果の統合(廃棄物ストリーム)とは —

背景として、

- 1Fの固体廃棄物は、多種多様、性状不明、緊急性の程度(高低)が異なる等の様々なものが存在する(デブリ以外の全てが対象)。
- これらの固体廃棄物は、最終的には全て処分する必要がある。
- 但し、性状把握や処分に係る研究の完了には期間を要する。

以上の背景から、研究成果の統合(廃棄物ストリーム)では、以下に関する具体的な方法論を検討する。

- 固体廃棄物の発生から処理(分別・減容・安定化)、保管を経て処分などにいたる流れ(廃棄物ストリーム)を整備する。
- 全体を俯瞰するとともに、情報を相互(性状把握や処分など)の研究開発にフィードバックすることで研究開発全体を合理的、効率的に進める

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

－ これまでの廃棄物ストリームの検討の成果 －

I. 全ての固体廃棄物をリスト化

固体廃棄物を網羅的に検討するため、認識している1F固体廃棄物を廃棄物リストとしてまとめた。

II. 固体廃棄物を分類

廃棄物リストに記載の固体廃棄物を「性状」、「汚染区分」、「汚染源／汚染履歴」で分類した。

III. 分類毎に処理の選択肢を検討

分類した固体廃棄物の処理の選択肢を検討し、処理フローを構築した。

IV. 処理の選択肢の絞り込み手法の検討

処理フローにおける処理の選択肢の絞り込み手法(BPEO: Best Practical Environmental Option)を検討し、絞り込みに必要な対応を整理した。

V. 研究成果から処理の選択肢を絞り込み全体を統合

研究成果や新たな課題などから処理の選択肢を絞り込んでいき、全体を統合し、廃棄物ストリームを構築。

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2017～2018年度の実施計画と実施概要 —

年度	実施計画	目標とする指標
2017	<ul style="list-style-type: none"> 2016年度に示した有望な廃棄物ストリームについて、既往研究で得られた最新の成果を反映し、進捗、成果の整合性、及び残された課題を統合的に評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 進捗、成果の整合性、及び残された課題を示す。
2018	<ul style="list-style-type: none"> 2017年度で得られた課題や研究成果を取り込んで廃棄物ストリームを繰り返し検討し、それに基づく評価結果を提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 統合的な進捗、整合性及び課題の評価方法等を構築し、それに基づく評価結果を提示する。

- 2017年度及び2018年度の実施概要
 - 研究開発の進捗や課題を統合的に管理する方法を構築し運用を試行した(図)。
 - 対象とする固体廃棄物の網羅性を確保するため、1Fの固体廃棄物を記載したリスト(廃棄物リスト)に基づき作成した処理フローの分類を用いて、必要な情報と課題を整理し、固体廃棄物毎のインプット整理表と課題と成果の整合リストを作成。
 - 時間軸を織り込むため、中長期ロードマップや保管管理計画から固体廃棄物毎に各ステップの検討時期を設定し、時間軸整理表を作成。
 - 優先順位と方法を整理するため、上記の整理結果から、廃棄物管理の全体像を確認し、廃棄物ストリームとして統合。
 - 構築した方法で、進捗、成果の整合性、及び残された課題を示した。

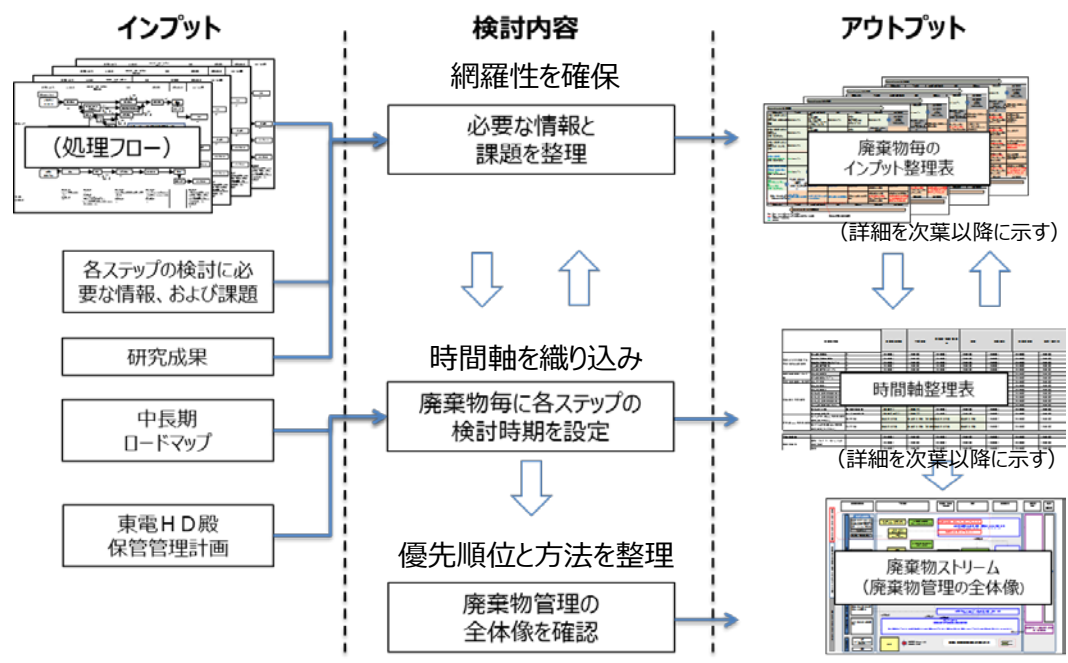


図 廃棄物ストリーム検討の全体像

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2017~2018年度の実施計画と実施概要 —

固体廃棄物ごとの各ステップの開始時期の設定

中長期ロードマップや東電HD殿の保管管理計画から、処理や保管の開始時期を記載した時間軸整理表を作成。
計画に変更が無いことを確認。

廃棄物分類			廃棄物	一時保管					
解体に伴って発生する可能性のある廃棄物	S1_圧力容器	-	(未検討)	(未検討)					
	S2_格納容器金属	-	(未検討)	(未検討)					
	S3_格納容器コンクリート	-	(未検討)	(未検討)					
	S4_建屋内金属	-	(未検討)	(未検討)					
	S5_建屋内コンクリート	-	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
仮設処理装置、タンク類	S6_瓦礫金属	-	(発生継続)	(保管継続)	(計画済み)	(計画済み)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S7_瓦礫コンクリート	-	(発生継続)	(保管継続)	(計画済み)	(計画済み)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
可燃性雑固体、伐採木	S8_可燃物	-	(発生継続)	(保管継続)	(待却処理中)	(待却中)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
水処理2次廃棄物	S9_吸着塔 1	KURION, SAR	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S9_吸着塔 2	モバイル浄化装置	(発生継続)	(保管継続)	(東電HD殿検討中)	(東電HD殿検討中)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S10_多核種除去装置 3-1	スラリー	(発生継続)	(保管継続)	2020年 ^{※1}	2020年 ^{※1}	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S10_多核種除去装置 3-2	吸着材	(発生継続)	(保管継続)	(東電HD殿検討中)	(東電HD殿検討中)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S10_多核種除去装置 4-1	処理カラム	(発生継続)	(保管継続)	(東電HD殿検討中)	(東電HD殿検討中)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S11_除染装置スラッジ	A R E V A	(発生終了)	(保管継続)	2020年 ^{※2}	2020年 ^{※2}	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S12_フィルタb	高性能多核種	(発生継続)	(保管継続)	(東電HD殿検討中)	(東電HD殿検討中)	(未検討)	(未検討)	(未検討)
	S13_濃縮廃液	エバホ濃縮廃液	(発生停止中)	(保管継続)	(東電HD殿検討中)	(東電HD殿検討中)	(未検討)		
デブリ取出し前の発生廃棄物	S14_デブリ取出し前の発生廃棄物(横アクセス)	横アクセス	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	
	S14-1_デブリ取出し前の発生廃棄物(縦アクセス)	縦アクセス	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	
汚染土壌等			(発生継続)	(計画済み)	(未検討)	(未検討)	(未検討)		
保管廃棄物	金属(SFP、サイトバンカ保管物等)		(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)		
	樹脂		(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)	(未検討)

時間軸を整理し、発生中の廃棄物や直近で処理・保管の開始を想定している廃棄物(緑セル)を想定した。

時間軸整理表

白抜：未検討
緑塗：発生継続
計画済み
検討中

※1：東京電力ホールディングス株式会社，特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会（第6回）資料2 スラリー、スラッジの安定化処理に向けた検討状況，2017年7月25日
※2：東京電力ホールディングス株式会社，特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会（第55回）資料4 地震・津波対策の進捗状況，2017年8月30日

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

－ 2018年度実施事項 －

2018年度は、2017年度に確認した運用上の課題に対して、以下を実施し、廃棄物ストリームへの統合を進めた。

① 廃棄物分類の見直し

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発で並行して進めている性状把握に係る研究と足並みを揃え、従来と同様、廃棄物リストを基盤として、汚染経路や廃棄物性状から、固体廃棄物を分類・管理するものとした。また、処理や処分の観点で固体廃棄物を分類する必要がある場合は、選択肢を廃棄物ストリームの処理フロー上で表現し、紐づけられるようにした。

② 研究開発の位置づけ検討

2017年度に、過去の研究開発の位置づけ整理を実施し、構築した手法で課題が適切に抽出できることを確認した。一方、各研究開発の情報を相互にフィードバックするためには、研究の実施主体による研究開発の位置づけ整理が必要であることを認識。そこで2018年度は、本事業においてIRID全体でのインプット整理表上での進捗確認を試行した。

③ インプット整理表の考え方の検討

今後、関係者がインプット整理表を適切にレビュー、改訂できるようにしていくため考え方をまとめた。

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

廃棄物分類の見直し(1/2)

性状把握に係る研究開発と足並みを揃え、解体廃棄物に汚染土壌(S15)を追加するとともに、事故前からサイトに存在する固体廃棄物として運転中廃棄物(S16)を追加。

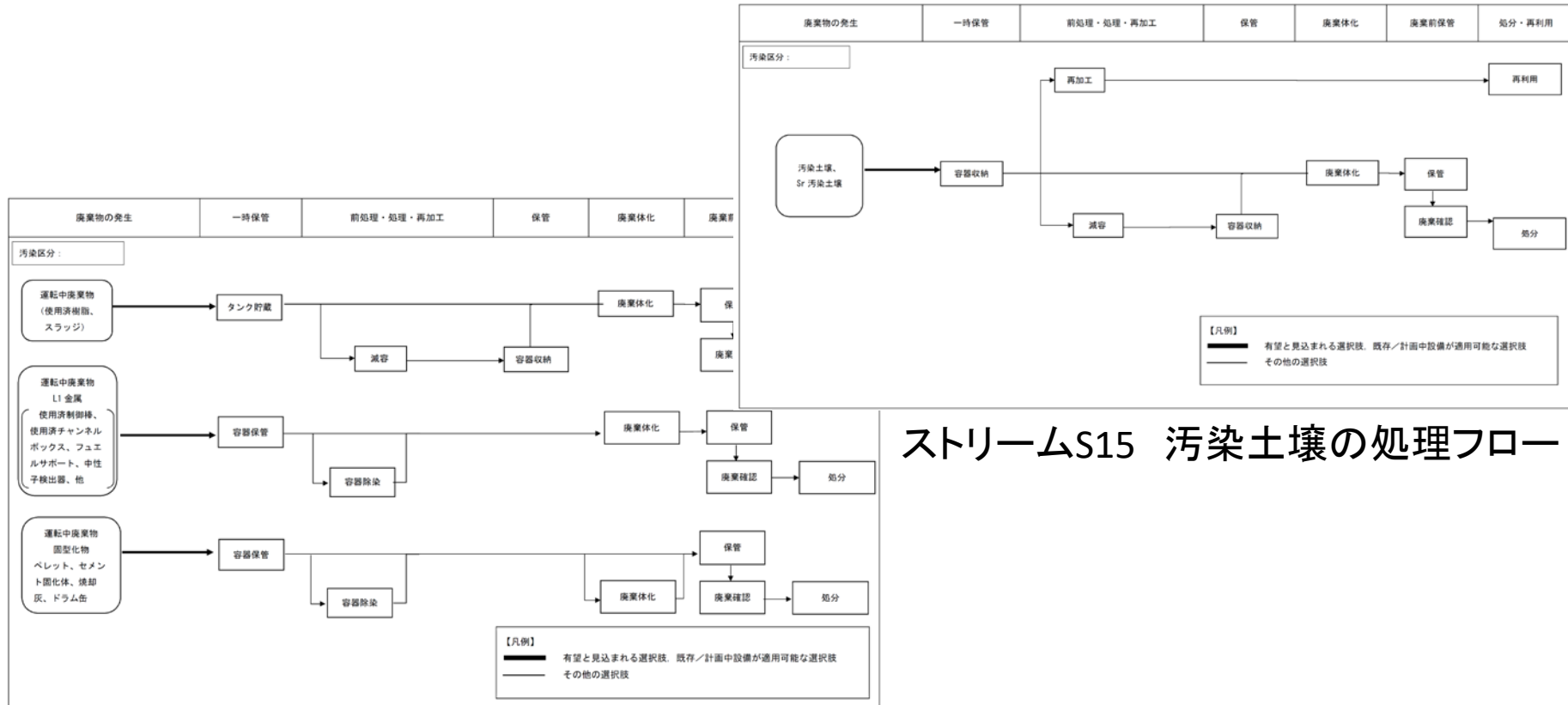
汚染区分		保管・処理フロー															
		解体廃棄物						S15	飛散瓦礫		可燃物	汚染水処理二次廃棄物					事故前
		S1	S2	S3	S4	S5	S14		S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S16
圧力容器	格納容器 金属	格納容器 コンクリート	建屋内 金属	建屋内 コンクリート	デブ取り 廃棄物	汚染土壌	瓦礫 金属	瓦礫 コンクリート	可燃物	吸着塔	多核種 除去装置	除染装置 スラッジ	フィルタ	濃縮廃液	運転中 廃棄物		
0-I	軽微破損燃料																
0-II	燃料デブリ																
0-III	燃料デブリ+ CB/CR																
I	MCCI デブリ																
II	放射化汚染+ 二次汚染	○	○	○			○										
III	炉水汚染+ ベント					○	○										
IV	炉水汚染+ ベント(α)					○	○										
V	炉水汚染+ 滞留水汚染					○	○	○									
VI	二次汚染 (爆発)		○	○	○	○	○	○	○								
VII	二次汚染 (フォールアウト)					○	○	○	○	○							
VIII	油分																
IX	ヘドロ																
X	除染廃液																
XI	汚染水処理 二次廃棄物											○	○	○	○	○	
XII	その他																○

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

廃棄物分類の見直し(2/2)

汚染土壌(S15)および運転中廃棄物(S16)を追加し、処理フローを更新



ストリームS15 汚染土壌の処理フロー

ストリームS16 運転中廃棄物の処理フロー

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

研究開発の位置づけ検討(1/6)

廃棄物分類			廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄体化	廃棄前保管	処分・再利用
解体に伴って発生する可能性のある廃棄物	S1_圧力容器	—	(将来発生)	(将来検討)					
	S2_格納容器金属	—	(将来発生)	(将来検討)					
	S3_格納容器コンクリート	—	(将来発生)	(将来検討)					
	S4_建屋内金属	—	(将来発生)	(将来検討)					
	S5_建屋内コンクリート	—	(将来発生) 研究中	(将来検討)	(将来検討)		(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
仮設処理装置、タンク類	S6_瓦礫金属	—	(発生継続) 研究中	(保管継続) 研究中	(減容設備計画)	(計画済み)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
	S7_瓦礫コンクリート	—	(発生継続) 研究中	(保管継続) 研究中	(減容設備計画)	(計画済み)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
可燃性雑固体、伐採木	S8_可燃物	—	(発生継続) 研究中	(保管継続) 研究中	(焼却処理中) 研究中	(保管中)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
水処理二次廃棄物	S9_吸着塔1	KURION, SARRY	(発生継続) 研究中	(保管継続)	(検討中)	(検討中)	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S9_吸着塔2	モバイル浄化装置	(発生継続)	(保管継続)	(検討中)	(検討中)	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S10_多核種除去装置3-1	スラー	(発生継続) 研究中	(保管継続)	2020年 検討済	2020年 検討済	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S10_多核種除去装置3-2	吸着材	(発生継続)	(保管継続) 研究中	(検討中)	(検討中)	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S10_多核種除去装置4-1	処理カラム	(発生継続)	(保管継続)	(検討中)	(検討中)	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S11_除染装置スラッジ	AREVA	(発生終了)	(保管継続)	2020年 検討済	2020年 検討済	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
	S12_フィルタ	高性能多核種	(発生継続)	(保管継続)	(検討中)	(検討中)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
	S13_濃縮廃液	エバポ濃縮廃液	(発生停止中)	(保管継続)	(検討中)	(検討中)	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)
デブリ取出し前の発生廃棄物(縦、横アクセス)	S14_デブリ取出し前の発生廃棄物	—	(将来発生) 研究中	(将来検討) 研究中	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
汚染土壌等	S15_汚染土壌		(発生継続) 研究中	(検討中)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
保管廃棄物	S16_運転中廃棄物	金属(SFP、サイトバカ保管物等)	(発生終了)	(保管継続)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)
		樹脂	(発生終了)	(保管継続)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)	(将来検討)

発生中の廃棄物や直近で処理・保管の開始を想定している廃棄物(緑セル)から研究着手していることを確認

注1: 「研究中」は、研究に着手している状態を示す。当該ステップの全ての研究項目に着手しているという意味ではない。「検討済」は、当該ステップ全ての研究項目について事業者に移管した状態を示す。

注2: 各ステップのうち、一部検討済みであるが情報が不足している状態で研究が行われていない場合は、研究進捗状況(「研究中」や「検討済」等)を無記載とした。

注3: 廃棄物種類を限定せず概念調査している段階である「水素発生対策」、「処分概念調査」については本表には含めなかった。適用シーンを検討中の「廃棄物量低減に関する技術の検討(アルファ計測)」も本表には含めなかった。

注4: 時間軸は東電HD殿の確認結果による

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 — 研究開発の位置づけ検討(2/6)

各ステップへのインプットする情報

廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄体化	廃棄前保管	処分・再利用
核種組成 放射能濃度	-	処分対象廃棄物の物量 処分対象廃棄物仕様(浸出性、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、発熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-	廃棄体化物の物量 廃棄体化後の廃棄物仕様(浸出性、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、発熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	廃棄前保管物の物量 廃棄前保管後の廃棄物仕様(浸出性、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、発熱性、強度、線量率、ガス発生程度)	処分・再利用 -処分区分(処分シナリオ)
-	-	廃棄前保管対象廃棄物の物量 処理物(固化体)の仕様(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱量、腐食性、飛散性、ガス発生程度、強度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-	廃棄体化物の物量 廃棄体化物の仕様(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、発熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-	-
原廃棄物の発生量 分別程度 原廃棄物の仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱量、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	一時保管物の物量 分別程度 一時保管後の廃棄物仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、ガス発生程度、飛散性、発熱性) 容器仕様(耐用年数、材質、形状、表面線量率)	前処理・処理・再加工物の物量 前処理・処理・再加工後の廃棄物仕様(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、ガス発生程度、飛散性、発熱性) 容器仕様(耐用年数、材質、形状、表面線量率)	保管物の物量 保管後の廃棄物仕様(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、ガス発生程度、飛散性、発熱性) 容器仕様(耐用年数、材質、形状、表面線量率)	廃棄体化 -処理容量(処理対象廃棄物量、処理期間) -処理方法(処理方針、廃棄物受入方法)	廃棄前保管 -廃棄確認項目 -廃棄確認方法	レベル区分の必要性の有無 核種濃度制約 発熱量制約
-	-	前処理・処理・再加工対象廃棄物の物量 処理物の仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱量、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	保管 -保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所) -保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、処理物の受入方法)	廃棄体化 -処理容量(処理対象廃棄物量、処理期間) -処理方法(処理方針、廃棄物受入方法)	-	-
原廃棄物の発生量 原廃棄物の仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱量、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	一時保管物の物量 分別程度 一時保管後の廃棄物仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、ガス発生程度、飛散性、発熱性) 容器仕様(耐用年数、材質、形状、表面線量率)	前処理・処理・再加工 -処理容量(処理期間、対象廃棄物量) -処理方法(処理方針、廃棄物の受入方法、払い出し処理物の仕様)	処理物を保管するのに必要な性状調査要求	前処理・処理・再加工物の受け入れ方法 廃棄体化処理方法	廃棄確認項目 廃棄確認方法	レベル区分の必要性の有無 ガス発生許容量 処分有害と考えられる物質の影響有無検討
原廃棄物の発生量 原廃棄物の仕様(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱量、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	一時保管 -保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所) -保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、原廃棄物の受入方法)	前処理・処理・再加工までの保管期間(前処理・処理・再加工の処理期間)	-	廃棄体化までの一時保管期間(廃棄体化の処理期間)	-	-
廃棄物 -廃棄物の物性把握(代表性、納雑性、○核種の有無)	原廃棄物を保管するのに必要な性状調査要求	原廃棄物を前処理・処理・再加工するのに必要な性状調査要求	-	原廃棄物を廃棄体化するのに必要な性状調査要求	-	処分に必要な性状調査要求

全体を通して、下流から上流へのインプット情報(橙セル)が不足

インプット整理表色塗り結果
(ストリームS10多核種除去装置 スラリーの例)

作成：2018年度
補助事業「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」から以下の通り色分けした。
青字：事業者にて検討中
赤字：本事業で検討中
黒字：未着手、検討中断
※「事業者にて検討中」とした範囲については、事業者と合意するものとする。

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

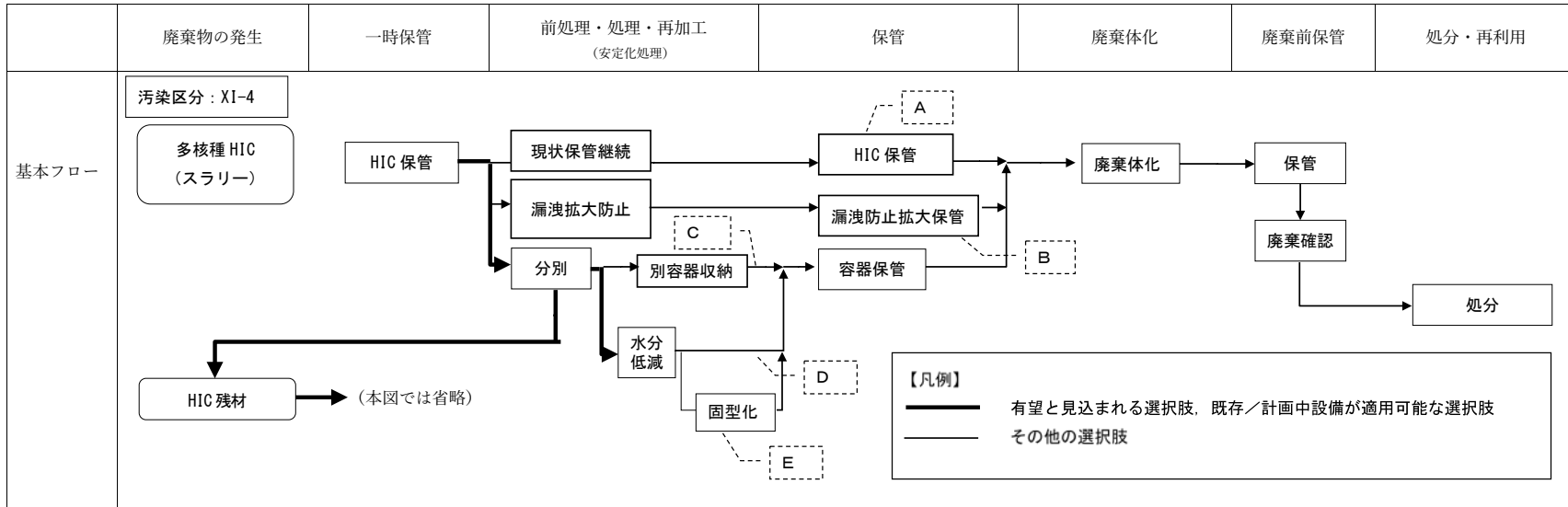
研究開発の位置づけ検討(3/6)

(ストリームS10多核種除去装置スラリーにおける性状把握に係る研究と水素発生対策の例)

(水素発生対策の例)

ストリームS10多核種除去装置スラリーとは、含水率90%程度のSr主体の廃棄物で、高性能容器(HIC)に収納し一時保管施設で保管中の廃棄物である。

2017年度までに廃棄物ストリームにて、前処理・処理・再加工や保管などの選択肢を整備。補助事業にて、水分低減処理(乾燥・脱水など)が有望と示唆。



(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

研究開発の位置づけ検討(4/6)

(ストリームS10多核種除去装置スラリーにおける性状把握に係る研究と水素発生対策の例)

水素発生対策の検討では、性状把握に係る研究で収集した原廃棄物性状から、当該廃棄物を処理した場合とその処理物や廃棄体の水素発生対策の考え方について検討。

廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄体	廃棄前保管	処分・再利用
核種組成 放射能濃度	-	処分対象廃棄物の性状 処分対象廃棄物性状(浸出性、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-	廃棄体化物の性状 廃棄体化物の性状(含有物、化学組成、放射能濃度、熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	廃棄前保管物の性状 廃棄前保管物の性状(含有物、化学組成、放射能濃度、熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-
原廃棄物の発生量 分別程度 原廃棄物の性状(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	一時保管物の性状 一時保管物の性状(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	前処理・処理・再加工物の性状 前処理・処理・再加工後の廃棄物性状(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	保管物の性状 保管物の性状(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	廃棄体の性状 廃棄体の性状(含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	廃棄前保管物の性状 廃棄前保管物の性状(含有物、化学組成、放射能濃度、熱性、強度、線量率、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	-
原廃棄物の発生量 分別程度 原廃棄物の性状(形状、含有物、化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度) 容器の仕様(材質、形状、表面線量率)	一時保管 一時保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所) 一時保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、原廃棄物の受入方法)	前処理・処理・再加工 前処理・処理・再加工の受け入れ方法 前処理・処理・再加工の方法	保管 保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所) 保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、処理物の受入方法)	廃棄体 廃棄体処理の方法	廃棄前保管 廃棄前保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所) 廃棄前保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、廃棄体化物の性状、廃棄体の受入方法) 廃棄確認方法	-

(水素発生対策の例)

インプット整理表上で、研究開発の位置づけと情報の流れを確認(青字:検討済み、赤字:本事業で検討)

原廃棄物の発生量
分別程度
原廃棄物の性状(形状、含有物、**化学組成、核種組成、放射能濃度、含水量、発熱性、腐食性、飛散性、ガス発生程度**)
容器の仕様(材質、形状、表面線量率)

一時保管
一時保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所)
一時保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、原廃棄物の受入方法)

保管
保管容量(保管対象廃棄物量、保管場所)
保管方法(水素対策、熱対策、被ばく対策、建屋仕様、容器仕様、処理物の受入方法)

作成: 2018年度
機密(機密)原廃棄物の処理・処分に関する研究開発計画(以下)の機密内容のため、
機密: 機密(機密)として扱われる
赤字: 本事業(検討中)
黒字: 未着手、検討中
※「事業名」にて検討中とした範囲については、事業名と合致するものとする。

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

－ 2018年度実施事項 －

研究開発の位置づけ検討(5/6)

(ストリームS10多核種除去装置スラリーにおける
性状把握に係る研究と水素発生対策の例)

(水素発生対策の例)

水素発生対策の検討の場合、

- i. 本事業で、固体廃棄物からの水素発生に関する考え方、水素発生評価手法、水素発生への対策等について検討
- ii. 検討に当たり、規制や技術要件などに関する諸外国の知見を調査
- iii. 諸外国の知見を調査するに当たり、1Fの固体廃棄物の性状について概要を提示する必要がある
- iv. 性状の提示に当たり、本事業の性状把握で得た知見(化学組成、核種組成、放射能濃度等)及び事業者からの提示情報(含水量等)を利用
- v. 提示した情報は、代表性等は検討中であるため、個別廃棄物の保管、処理、移送、処分方法を確定する(≡処理フローを絞り込む)には至らないものの、諸外国の考え方が1Fにも適用可能であることを示唆した。

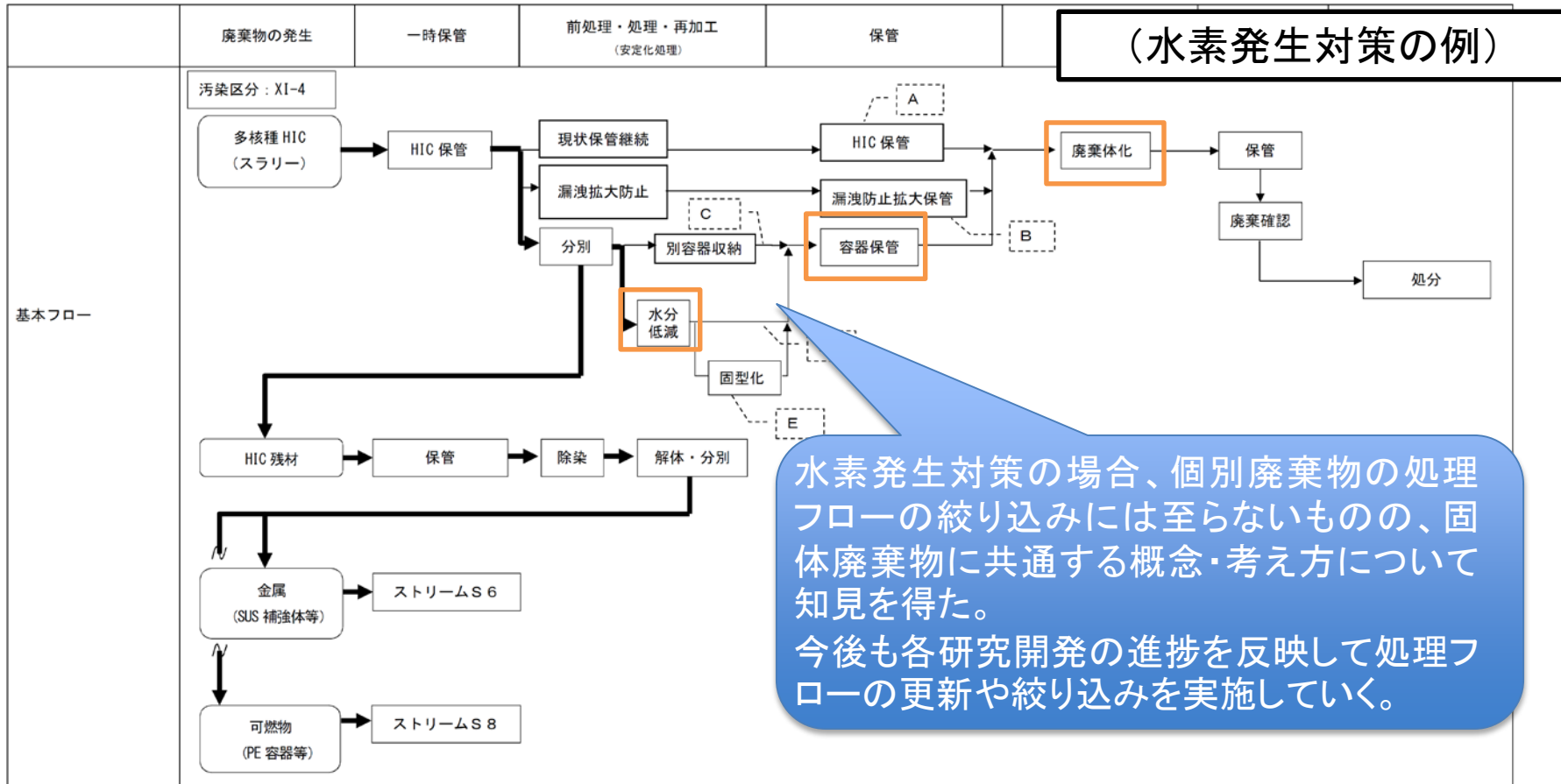
(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

研究開発の位置づけ検討(6/6)

(ストリームS10多核種除去装置スラリーにおける性状把握に係る研究と水素発生対策の例)

適宜、研究開発の進捗に応じて処理フローの更新や絞り込みを実施していく。



(水素発生対策は共通する概念を整理したものであり、2018年度は処理フローの更新なし。今後個別廃棄物の管理方法について具体化していくものとする。)

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

－ 2018年度実施事項 －

インプット整理表の考え方の検討(1/2)

各ステップの作業内容および処理対象を明確化

	廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄体化	廃棄前保管	処分・再利用
主たる作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 原廃棄物の発生 ● 原廃棄物の性状確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● 前処理・処理・再加工までの原廃棄物の一時的な保管 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比較的長期の安定的な保管をするための処理や加工 ● 場合によっては、処分可能な形態に処理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃棄体化までの保管 	<ul style="list-style-type: none"> ● 埋設処分が可能な形態に処理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処分まで廃棄体を保管 ● 廃棄確認(特に内包放射能) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃棄体の埋設処分(又は再利用)
取り扱う対象	<ul style="list-style-type: none"> ● 原廃棄物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 原廃棄物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 原廃棄物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処理物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 原廃棄物 ● 処理物 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処理物(場合による) ● 廃棄体 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処理物(場合による) ● 廃棄体

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

— 2018年度実施事項 —

インプット整理表の考え方の検討(2/2)

各セルの記載について
内容を検討

廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄物	廃棄物	廃棄物
核種組成 放射能 表 3No.6	(一時) 表 3No.11	処分対象廃棄物の物量 表 3No.15	(原) 表 3No.18	表 3No.19	表 2No.6	表 4No.21
(原) 表 3No.5	(一時) 表 3No.10	廃棄前保管対象廃棄物の物量 表 3No.14	(原) 表 3No.17	表 3No.19	表 2No.6	表 4No.21
原廃棄物の発生量 分別程 原廃棄物 成、核種 量、放射性 容器の仕様(材質、形状、表面線量率) 表 3No.4	一時保管物の物量 容器仕様(材質、形状、表面線量率) 分別程 原廃棄物 成、核種 量、放射性 容器の仕様(材質、形状、表面線量率) 表 3No.9	前処理・処理・再加工物の物量 表 3No.13	保管物の物量 表 3No.16	表 2No.5	表 4No.19	表 4No.20
(原) 表 3No.3	(原) 表 3No.8	表 3No.12	表 2No.4	表 4No.16	表 4No.17	表 4No.18
原廃棄物 原廃棄物 成、核種 量、放射性 容器の仕様(材質、形状、表面線量率) 表 3No.2	一時保管物の物量 容器仕様(材質、形状、表面線量率) 分別程 原廃棄物 成、核種 量、放射性 容器の仕様(材質、形状、表面線量率) 表 3No.7	前処理・処理・再加工 表 2No.3	表 4No.12	表 4No.13	表 4No.14	表 4No.15
原廃棄物の発生量 分別程 原廃棄物 成、核種 量、放射性 容器の仕様(材質、形状、表面線量率) 表 3No.1	一時保管 表 2No.2	表 4No.7	(原) 表 4No.8	表 4No.9	表 4No.10	表 4No.11
廃棄物 (表 2No.1)	表 4No.1	表 4No.2	(原) 表 4No.3	表 4No.4	表 4No.5	表 4No.6
廃棄物	一時保管	前処理・処理・再加工	保管	廃棄物	廃棄前保管	処分・再利用

(1) 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの構築)

－ まとめ －

1. インput整理表、時間軸整理表、廃棄物ストリームを用いた、研究開発の統合的な進捗、整合性及び課題の評価方法等を構築した。
2. 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発で、発生中の廃棄物や直近で処理・保管の開始を計画している廃棄物から研究が進められていることを確認した。
3. 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発で、下流(処分側)から上流(廃棄物側)へのインputが不足しているという課題を確認した。

6. 実施スケジュールと体制

凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発 平成30年度の検討経緯(1/6)

実施内容	平成30年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1. 性状把握												
i) 分析データの取得・管理等												
①汚染分布の把握												
・分析計画												次年度計画検討 ▽
												* 分析計画は必要に応じて適宜見直す。
・分析試料輸送		分析試料輸送(1回) ▽				分析試料輸送(2回) ▽			分析試料輸送(3回) ▽			
												* 採取は通年実施する。輸送実施日は試料の準備状況に応じて適宜見直す。
・分析の実施			報告 ▽			報告 ▽			報告 ▽			報告 ▽
												* 四半期末を目安として分析データを報告する。分析データの内容に応じて時期は適宜見直す。
・廃棄物分類の検討		検討(見直し) ▽										
												* 検討の結果は分析方法に関する検討に反映する。
②サンプリング技術の開発等												
・廃スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取 (セシウム吸着材等の採取)	検討計画立案 ▽			採取設備具体化検討・モックアップ装置検討 ▽								まとめ ▽
(第二セシウム吸着塔吸着材の採取)	検討計画立案 ▽			採取設備具体化検討・モックアップ装置検討 ▽								まとめ ▽
(除染装置スラッジの採取)	工事準備 ▽			スラッジ採取 ▽								
・原子炉施設建屋内試料等の採取方法の検討	検討計画立案 ▽			採取装置実機の検討・準備 ▽			試料採取(※) ▽					まとめ ▽
												(※採取作業は分析の必要性に応じて実施)

凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発 平成30年度の検討経緯(2/6)

実施内容		平成30年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
③分析方法の効率化	・汚染機構・データ代表性検討	汚染機構の検討(見直し)		▼データ代表性の検討(見直し)			▼代表性評価方法の検討			▼まとめ			
	・分析法合理化	計画検討		▼			合理化方法の検討			▼まとめ			
④分析データの管理	・分析データベースの作成	仕様検討		▼			データベースの作成(改良)			▼運用・まとめ			
	・廃棄物データの整理・更新	検討計画立案		▼			整備改訂方針の検討、改訂データ集の公開			▼まとめ			
ii) 解析的評価手法の精度向上	・解析的評価手法	計画検討		▼			精度向上の検討・手法の整備			▼インベントリ計算			
	・基礎データの収集	計画検討		▼			実験的な基礎データの収集			▼まとめ			
iii) 総合的なインベントリ評価の取りまとめ		計画検討		▼			インベントリ計算・設定、手順の構築			▼まとめ			
iv) 処分影響物質等への対応	・許容濃度等設定の考え方	計画検討		▼			許容濃度等設定の考え方の検討			▼まとめ			
	・処分安全への影響検討	計画検討		▼			定量評価方法の検討			▼まとめ			

凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発 平成30年度の検討経緯(3/6)

実施内容	平成30年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
2. 処分前管理に関わる検討												
i) 固体廃棄物の特徴に応じた適用性評価		計画検討		既存技術適用性の検討			事故廃棄物への適用課題				まとめ	▽
ii) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価												
①高線量廃棄物の保管対策の検討 ・水素発生への対策(国外の実例調査)		計画検討		▽ベント要件等の海外知見の1F適用性評価・検討							まとめ	▽
・デブリ取出しの伴い発生する廃棄物の対策		計画検討		▽燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の分類・保管検討							まとめ	▽
②水処理二次廃棄物の安定化技術の評価 ・インドラム式ガラス固化処理技術適用性評価		試験計画立案		▽			インドラム式ガラス固化工学的(スケールアップ)試験				まとめ	▽
・除染装置スラッジの安定化検討												
iii)廃棄物量の低減に関する技術の検討		検討計画立案		▽			α汚染廃棄物の低減及び分別方法調査・検討				まとめ	▽
3. 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価 手法の検討		検討計画立案		▽			対象処分場の調査		▽		処分制度の調査・評価	▽
4. 研究開発成果の統合(廃棄物ストリーム)		検討計画立案		▽			進捗、成果の整合性及び残された課題の統合的評価				まとめ	▽

凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発)平成30年度の検討経緯(4/6)

実施内容	平成30年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 実績のある処理技術の固体廃棄物処理への適用性に係る見通しの評価												
(ア) 固体廃棄物処理に係る要素技術の工学規模での適用性評価												
a. 処理技術抽出のためのアプローチの検討	調査計画打合、発注等手続			契約	調査					評価軸案の取りまとめ		
											報告書作成	
b. 評価に必要な不足データの取得												
(a) 固化材料の物性測定法等の調査	調査計画打合、発注等手続			契約	調査					調査結果の取りまとめ		
											報告書作成	
(b) 放射線、発熱等の影響の調査												
	評価計画打合、資機材準備						評価準備完了			発熱影響評価の取りまとめ		
											報告書作成	
(c) 新規材料の適用性評価に必要なデータ取得												
	評価計画打合、資機材準備			評価準備完了						取得データの中間取りまとめ		
					データ取得						報告書作成	
(イ) 固体廃棄物処分の安全評価に影響を及ぼす仕様項目の抽出												
a. 固体廃棄物の特徴と処分への影響に関する既存情報の整理	計画策定、外注手続き			契約	既存情報整理			リスト作成			リスト更新	
											報告書作成	
b. 処分への影響として留意すべき廃棄物の仕様項目の評価	計画策定、外注手続き			契約						評価手法例		
									留意する仕様項目等の評価		報告書作成	

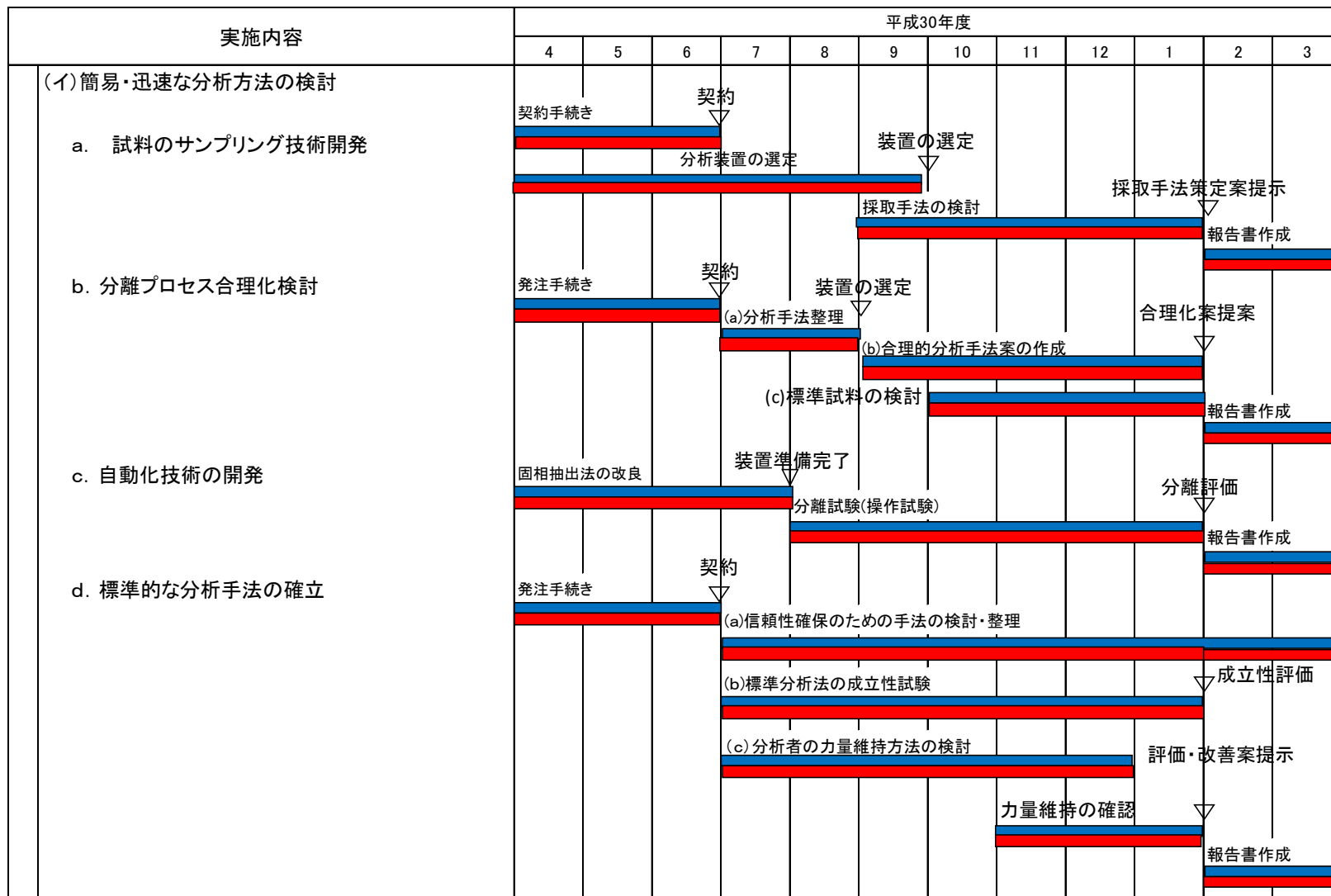
凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発)平成30年度の検討経緯(5/6)

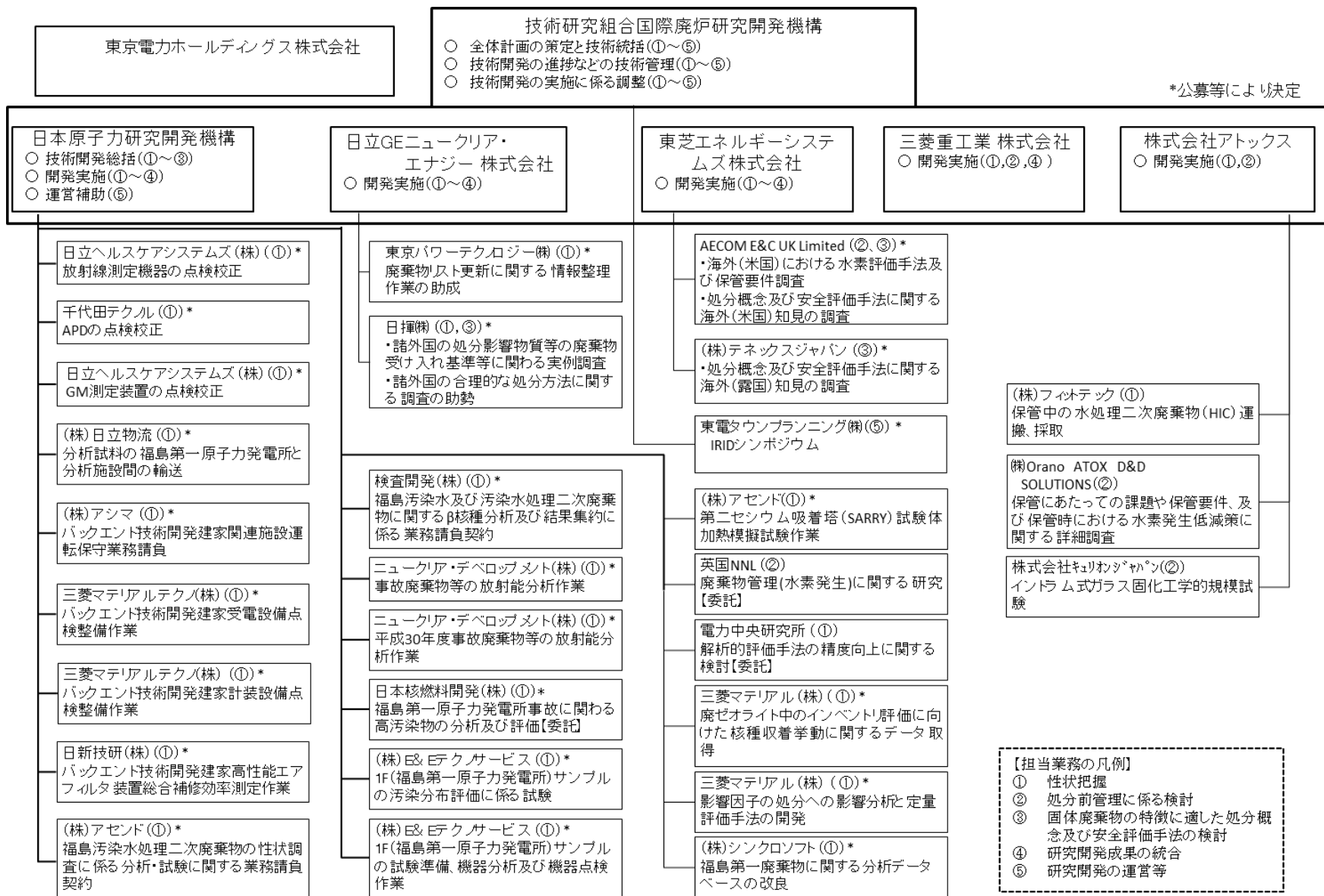
実施内容	平成30年度												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
(ウ) 固体廃棄物に含まれる処分への影響物質等に関する解析評価手法の検討	a. 処分への影響物質等の影響評価手法の検討	計画策定, 外注手続き			契約								
		共通的影響評価手法の検討										評価手法	
		報告書作成											
	b. 影響評価に必要な情報調査及びデータ取得	計画策定, 外注手続き			契約								
		既存データ調査・データ取得										データセット	
		報告書作成											
	c. 定量的影響評価手法の構築と適用性評価	計画策定, 外注手続き			契約								
		影響物質による定量的影響評価手法の構築と試行										評価手法と試行結果	
		報告書作成											
イ. 固体廃棄物の保管・管理関連技術の開発													
(ア) 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術開発	検討計画立案			▽									
	浸透したα核種を測定する技術の調査										調査結果まとめ		
	報告書作成												
	検討計画立案			▽									
表面α汚染測定装置の検出器の試作・試験											試験結果まとめ		
報告書作成													

凡例
青:計画
赤:実績

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発)平成30年度の進捗状況(6/6)



固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(平成30年度) 実施体制



- 【担当業務の凡例】**

 - ① 性状把握
 - ② 処分前管理に係る検討
 - ③ 固体廃棄物の特徴に適した処分概
念及び安全評価手法の検討
 - ④ 研究開発成果の統合
 - ⑤ 研究開発の運営等

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発) (平成30年度) 実施体制

