

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)」

平成29年度成果報告

平成31年2月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

目次

1. 全体概要、研究の進め方
2. 性状把握
3. 処分前管理に関わる検討
4. 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
5. 研究開発成果の統合(廃棄物ストリームの検討)
6. 実績スケジュール及び体制

1. 全体概要、研究の進め方

全体概要

－ 研究開発の位置付け－

- ◆ 「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止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以下、「中長期ロードマップ」とする)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}(以下、「技術戦略プラン2017」とする)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).

全体概要

- 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。

* 平成29年9月26日改訂。

全体概要

－ 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).

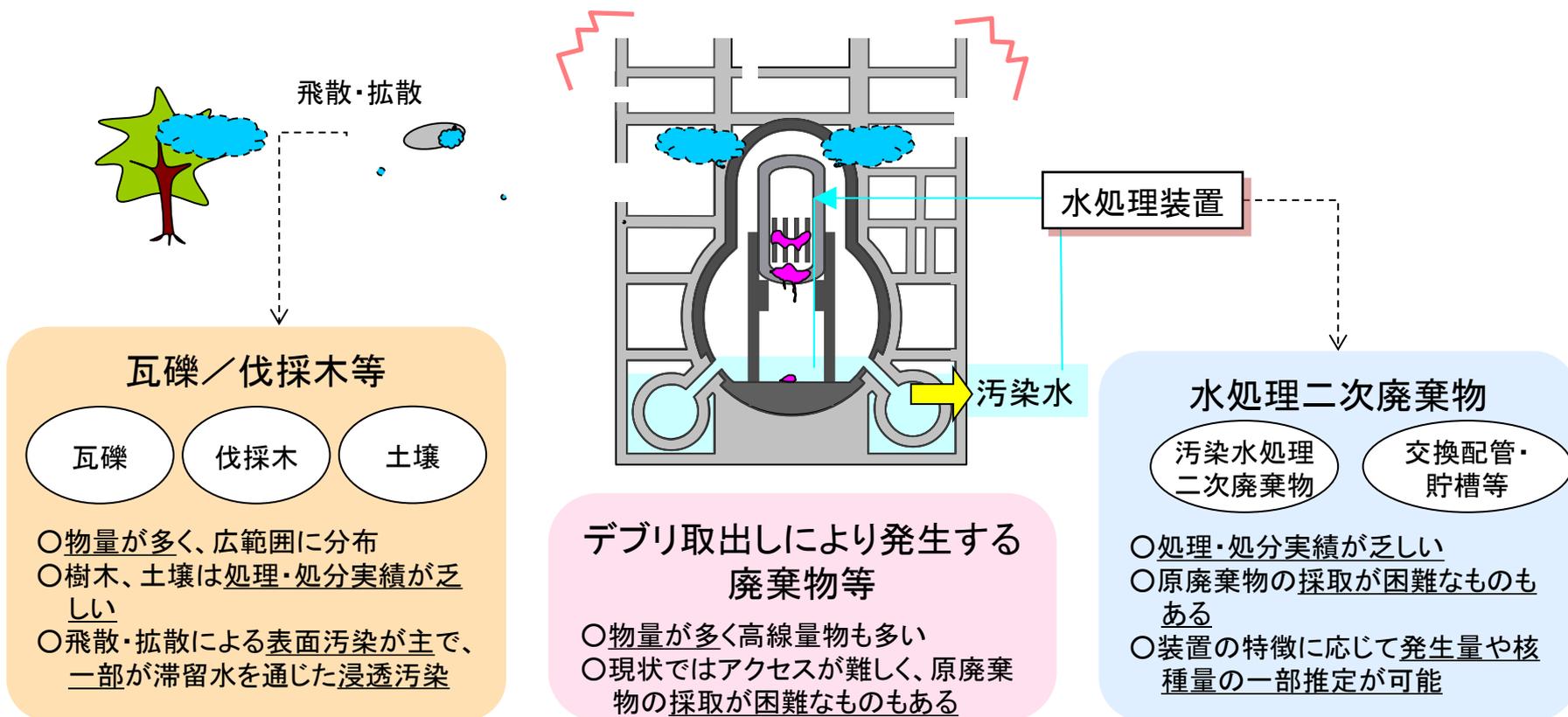
研究開発の進め方 － 計画の具体化と実施 －

- ◆ 研究開発の主要な4つの項目〔①性状把握、②処分前管理（保管・管理の徹底）、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（処分概念を念頭に置いた先行的処理方法選定手法の構築）、④研究開発成果の統合（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）〕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。

研究開発の進め方

- 考慮した福島第一事故廃棄物の特徴(推定) -

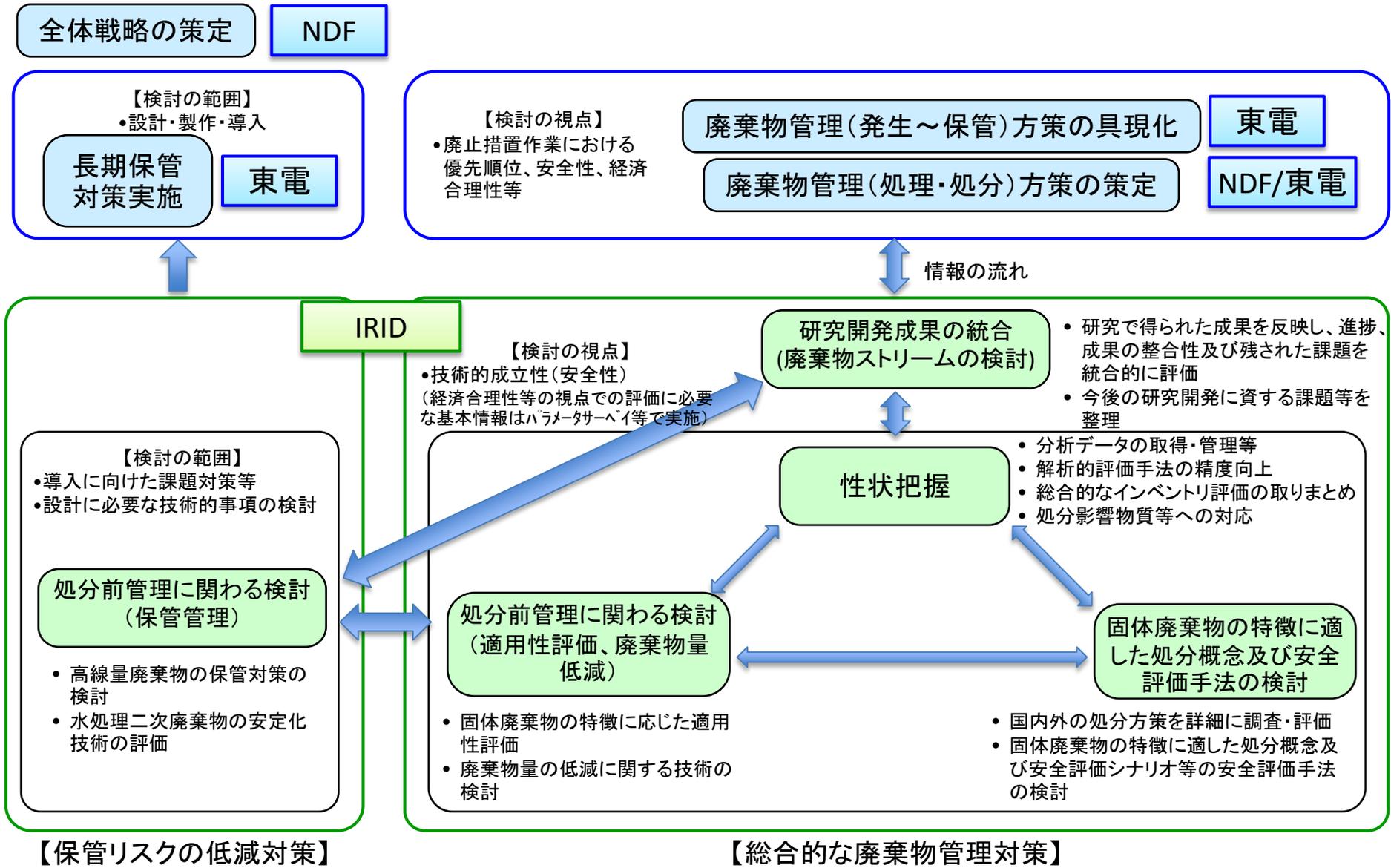
- ◆ 事故により管理できない状態で発生
- ◆ 1～3号機の炉心燃料を起源とした汚染*
- ◆ 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、それに応じ廃棄物の発生量が変化
- ◆ 現状ではアクセスが難しく、試料の採取が限定的



* 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

報告内容

(ア) 分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握

- (a) 分析計画の立案
- (b) 試料採取と輸送
- (c) 分析の実施
- (d) 分析データに基づく廃棄物分類の検討

b. サンプルング技術の開発等

- (a) スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取
- (b) 原子炉建屋内試料等の採取方法の検討

c. 分析方法の効率化

- (a) 汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討
- (b) 分析データの代表性に関する検討
- (c) 分析対象核種の再選定
- (d) 分析方法の効率化・合理化に関する検討

d. 分析データの管理

- (a) 分析データベースの構築
- (b) 廃棄物データの整理・更新

(イ) 解析的評価手法の精度向上

「総合的なインベントリ評価の取りまとめ」は2018年度に実施

(ウ) 処分影響物質などへの対応

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、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)).

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (a) 分析計画の立案

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<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、汚染水処理二次廃棄物、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。
H30	<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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度												備考	
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
ア. 性状把握															
(ア)分析データの取得・管理等															
a. 汚染分布の把握															
・分析計画の立案															

* 分析計画は必要に応じて適宜見直す。

(ア) 分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (a) 分析計画の立案

- 分析は、廃棄物管理(保管、処理と処分)の方法を検討するためのツールであり、廃棄物管理の各段階について廃棄物を分類するための情報を提供する。廃棄物管理の各段階の目的を検討し、分析に対するニーズを整理した。
- 分析項目は廃棄物管理の各段階で異なる。(図1)
 - 保管や処理(廃棄体化、安定化)に関してリスクが高いとされる廃棄物は優先度が高い。
 - 処分区分や廃棄体の放射能濃度決定方法の検討には、難測定核種を含む放射能の分析が必要であり、また、放射性物質だけではなく化学的な有害物も対象となることから分析量が膨大となる。(図2)

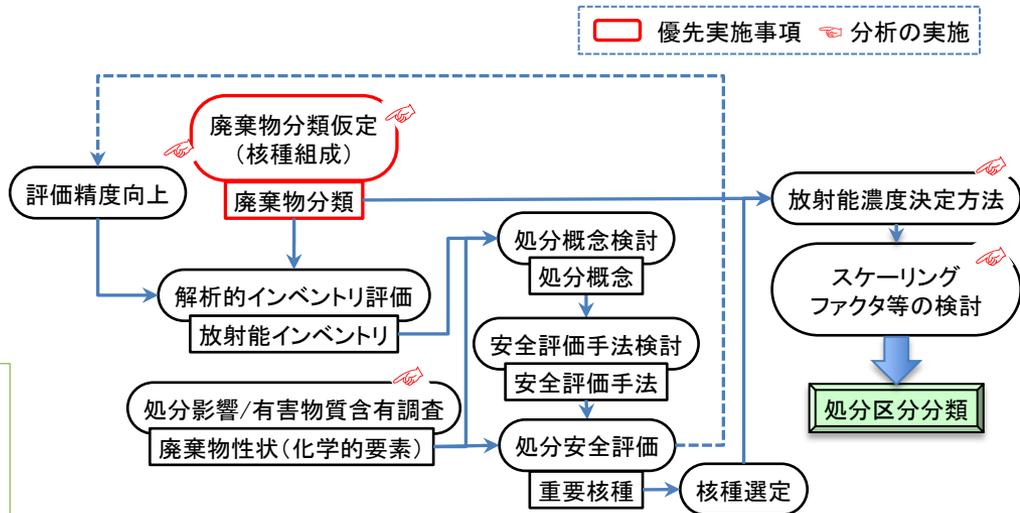
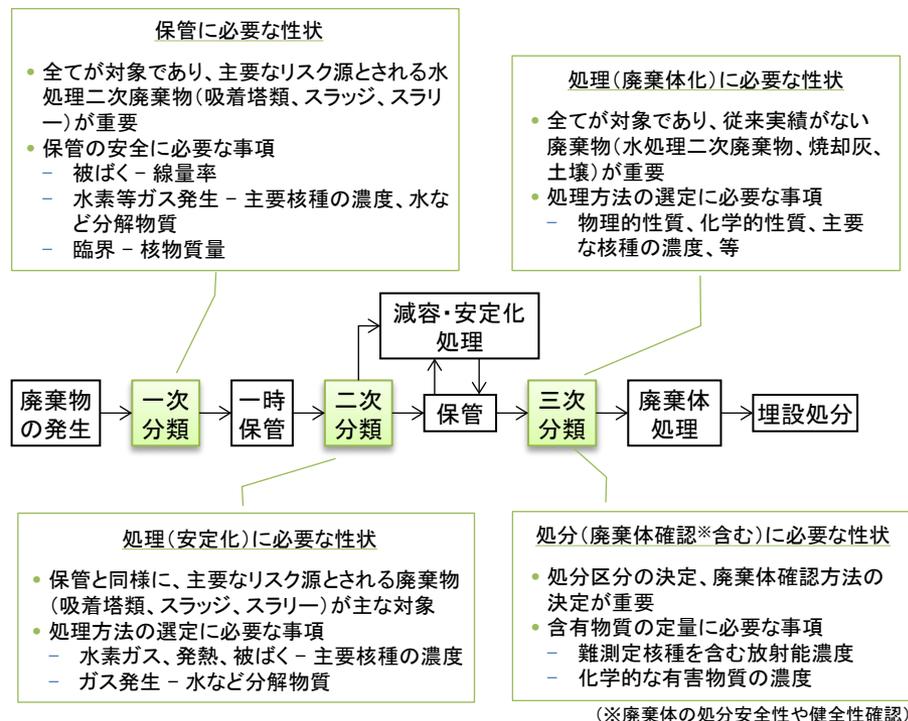


図1 分類設定の検討に必要な性状把握の課題

図2 処分段階を見据えた放射能濃度の分析に関する整理

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (a) 分析計画の立案

- 分析の目的に関する検討から、2021年までを想定した中期的な優先度を整理した。(表1)
- 目的ごとに点数を設定して半定量的に優先順位を設定し、分析試料を採取する時期を想定し、試料の採取と分析の実施に関する展開をまとめた。(表2)

表1 中期的に優先度が高い分析に対する要求

表2 分析の年次展開

分類	目的	対象廃棄物	分析項目	分析の期限
保管	核物質質量(臨界)	燃料デブリを含む廃棄物	全α濃度	保管方法の検討、決定に合わせる。
	放射エネルギー(水素ガス対策等)	スラリー、除染装置スラッジ、燃料デブリ取り出し廃棄物	全α濃度、全β濃度	
	化学形態	全て	元素濃度(必要に応じて)	
処理	スラッジ安定化	除染装置スラッジ	密度、乾燥質量、粒径分布、pH、化学組成、主要核種濃度、熱伝導度、電気伝導度、有機物(TOC)	処理方法の検討、決定に合わせる。
	焼却灰の固型化	焼却灰	元素組成、成分分析	
	土壌の分級	土壌	粒径分布に対する主要放射能濃度	
処分	廃棄物分類	瓦礫、焼却灰、格納容器外解体廃棄物、炭酸塩・鉄共沈スラリー、除染装置スラッジ、デブリ取り出し廃棄物、セシウム吸着塔	核種別の放射能濃度(分布)	処分方法の検討、決定に合わせる。

分類	対象廃棄物	採取試料点数					分析試料点数					
		2017*	2018	2019	2020	2021	計	2018	2019	2020	2021	計
瓦礫	既発生(覆土保管槽等)	135	20	20	20		195	20	20	20	20	80
	既発生(容器保管)	10	10				20					0
	格納容器内金属・コンクリート(下部)					5	5					0
	格納容器外金属・コンクリート(水接触)				20	40	60					0
	格納容器外噴出近傍・その他(水非接触)	40	40				80	20	20	20	20	80
水処理二次廃棄物	セシウム吸着装置(KURION・SARRY)吸着材				20	20	40					0
	除染装置スラッジ				20		20				10	10
	多核種除去設備(炭酸塩スラリー)		20				20		10	10		20
	多核種除去設備(鉄共沈スラリー)	3	3	15			21	3	3	5	10	21
汚染水(滞留水)	多核種除去設備(吸着材)	5	5	5	5	5	25	5	5	5	5	20
	原子炉建屋											0
	タービン建屋											0
汚染水(処理水)	集中廃棄物処理施設											0
	セシウム吸着装置	10					10					0
可燃物	多核種除去設備	40					40					0
	焼却灰(タイベック等)	5					5					0
土壌	土壌(気体系)	44					44					0
	土壌(汚染水漏洩)	6					6					0
植物	枝葉、落葉等	31					31					0
	計	329	98	40	85	70	622	48	58	60	65	231

* 既存の保管試料を含む。

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (a) 分析計画の立案

- 分析の中長期計画は数年ごとに見直すことが適当と考えられ、将来の改訂のために分析計画の立案における課題を整理した。(表3)
- 継続して対策を検討すべき課題(試料の採取、分析資源の活用、分析データの活用)、新たに着手すべき課題(分析の品質保証)を含む。

表3 分析の実施における課題と今後計画に取り入れるべき課題

分類		課題	該当廃棄物・試料
継続して対策を検討すべき課題	試料の採取	<ul style="list-style-type: none"> • 格納容器の内外など高線量の環境における試料の採取、セシウム吸着塔など高線量の対象物からの試料の採取に関して、採取方法の確立。 • 廃炉に伴う工事や他のPjと連携し、効率的に試料を入手。 	<ul style="list-style-type: none"> • 除染装置スラッジ、デブリ取り出しに伴う廃棄物 • セシウム吸着塔
		<ul style="list-style-type: none"> • 限られた試料から分析データの代表性を考慮し、対象廃棄物のインベントリを推定する方法の確立。また、それを利用した具体的な採取計画への展開。 	<ul style="list-style-type: none"> • 炉内状況把握Pj等の試料 • デブリ取り出しに伴う廃棄物
		<ul style="list-style-type: none"> • 大熊分析・研究施設が稼働するまで、試料保管場所・方法の整備。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃棄物
		<ul style="list-style-type: none"> • 大熊分析・研究施設が稼働するまで、既存施設の合理的な利用。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃棄物
	分析資源の活用	<ul style="list-style-type: none"> • 大熊分析・研究施設が稼働するまで、既存施設の合理的な利用。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃棄物
	分析データの活用	<ul style="list-style-type: none"> • 研究開発者が利用できるデータベースの構築。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃棄物
新たに着手すべき課題	分析の品質保証	<ul style="list-style-type: none"> • 将来分析データを規制制度の下で活用するため、分析の品質保証体系の構築、それに基づく分析手法の標準化。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃棄物

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (b) 試料採取と輸送

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<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。 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。
H30	<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、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。 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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア)分析データの取得・管理等													
a. 汚染分布の把握 ・試料採取と輸送													
<p>△(10/4) △(11/21) △(12/15) △(追加;11/10) △(追加;3/29)</p>													
* 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。													

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (b) 試料採取と輸送

赤文字は本プロジェクトで試料を採取

表4 平成29年度に実施した試料輸送の概要と分析の状況

分類	種類	試料	点数	輸送			分析状況
				発地※1	着地※1	月日	
瓦礫類	床	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	1F	NDC	H29/12/15	実施中
	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)	22	JAEA 大洗	JAEA 原科研	H30/3/29	実施予定
	瓦礫類	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	1F	JAEA 大洗	H29/2/27※2	実施予定
汚染水	滞留水	1～3号機原子炉建屋滞留水	8	1F	JAEA 原科研	H29/10/4	報告(H30.3)
		原子炉建屋滞留水、HTI滞留水、RW滞留水、KURION 工程水、SARRY工程水等(ウラン分析)	19	JAEA 核サ研	NFD	H29/11/10	報告予定
	処理水	既設ALPS工程水	11	1F	JAEA 原科研	H29/10/4 H29/2/27※2	実施中
		増設ALPS工程水	12	1F	NDC	H29/12/15	実施中
水処理二次廃棄物	吸着材	既設ALPS 酸化セリウム、活性炭、キレート樹脂2	3	1F	JAEA 核サ研	H29/10/4	実施中
		既設ALPS キレート樹脂1、銀ゼオライト	2	1F	JAEA 核サ研	H29/11/21	分析待ち(保管)
	スラッジ	除染装置スラッジ、上澄み液	2	1F	JAEA 核サ研	H29/11/21	一部報告(H30.3)
		除染装置スラッジ(元素分析等)	1	1F	NFD	H29/11/21	実施中
土壌		F、H、J、Kエリア 表層、H4タンクエリア(測定点A、B)	6	1F	NDC	H29/12/15	実施中
		K、Pエリア、H4タンクエリア(測定点A)(粒径-放射能濃度)	3	1F	JAEA 原科研	H29/10/4	実施中

※1 1F: 福島第一原子力発電所 JAEA: 日本原子力研究開発機構 JAEA原科研: JAEA原子力科学研究所 JAEA核サ研: JAEA核燃料サイクル工学研究所
 JAEA大洗: JAEA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 平成26年度補正予算事業にて輸送済み

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (c) 分析の実施

年度	実施計画	目標とする指標
H29 H30	<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。 放射能濃度と共に、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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア)分析データの取得・管理等													
a. 汚染分布の把握													
・分析の実施													
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。													

(ア) 分析データの取得・管理等

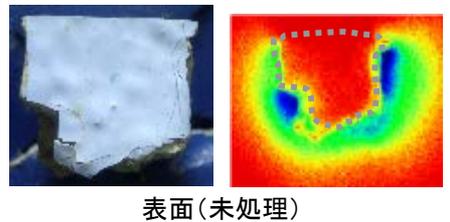
a. 汚染分布の把握 (c) 分析の実施

- 4号機原子炉建屋で得られたボーリングコアの分析を進めている。
- 分析試料の代表性を検討するため、種々の瓦礫を対象としてイメージングプレート (IP) 撮影を行い、局所的な汚染分布を調べている。(図3、図4)
- 瓦礫(コンクリート)について分析したところ、汚染は一般に不均一であり、事故当時の経緯により分布が異なる。
- 放射エネルギーの推定においては、不均一な汚染分布を前提とし、代表性を考慮した方法を検討する必要がある。



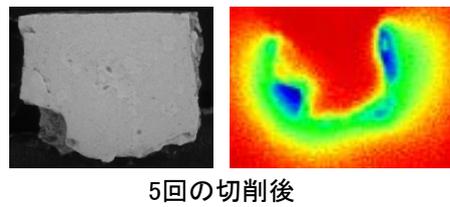
- ①試料
 - ②IP撮影
 - ③IP画像の例
 - ④試料の面切削作業
- ・試料①をイメージングプレート (IP) に載せ②、画像を得る③。
 - ・受けた放射線量に応じて色を変えて表示する。IPと接していない面からも放射線を受けるため、一般に画像の形状は試料と異なる。
 - ・IPに載せた試料面に対して平行に切削し④、撮影を繰り返す。

図3 IP分析の方法



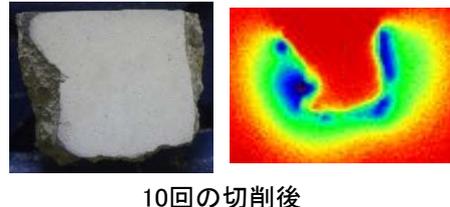
表面(未処理)

- ・水色塗膜は汚染が軽微である(灰色の点線は試料のおおよその形を表す)。
- ・側面の汚染が映り込んでいる。



5回の切削後

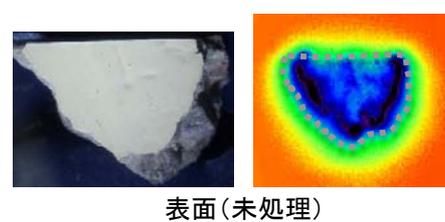
- ・塗膜とコンクリートの境界に汚染は見られず、浸透していない。



10回の切削後

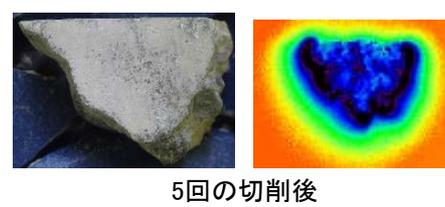
- ・内部に汚染は見られなかった。11回以後の切削においても同様の画像が得られた。

3号機周辺で採取された瓦礫 (試料番号 3U-01)



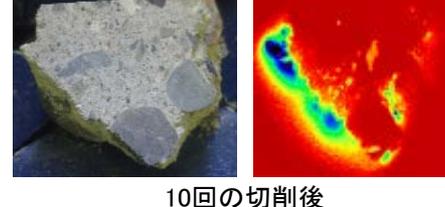
表面(未処理)

- ・白色塗膜は明らかに汚染している(灰色の点線は試料のおおよその形を表す)。



5回の切削後

- ・5回の切削後のIP撮影結果から、境界に汚染が浸入していると見られる。



10回の切削後

- ・内部に汚染は見られなかった。11回以後の切削においても同様の画像が得られた。

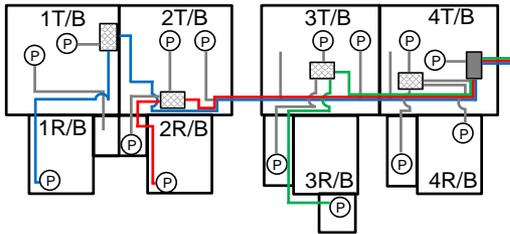
3号機オペフロで採取された瓦礫 (試料番号 3RB-OP-C1)

図4 瓦礫の局所的な汚染分布(それぞれ、左が外観の写真、右がIPによる撮影像)

(ア) 分析データの取得・管理等

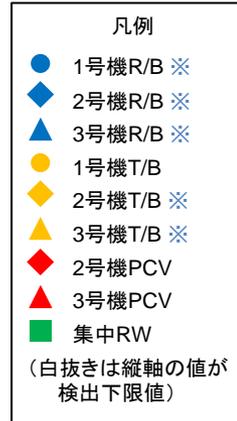
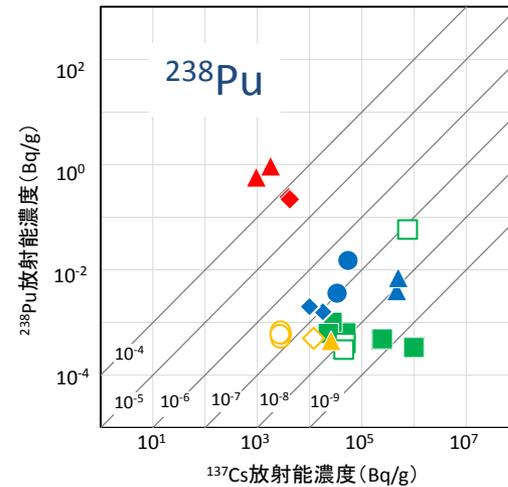
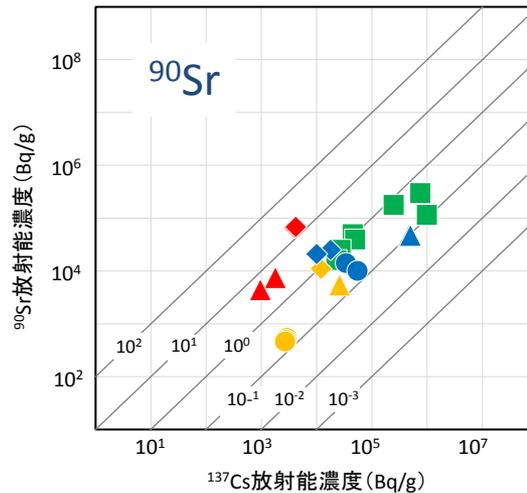
a. 汚染分布の把握 (c) 分析の実施

- 滞留水から採取した水の分析を進めている。
- 1から3号機原子炉建屋 (R/B) 滞留水の分析を実施した(図5、6)。
- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比に関して、1、2及び3号機R/B滞留水は1桁ほどの範囲($10^{-1} \sim 10^0$ 程度)でばらつくが、それぞれタービン建屋 (T/B) 滞留水と同程度である。昨年(H29年)3月頃に実施された原子炉注水量の変化による影響は見られない。
- $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比に関して、原子炉格納容器(PCV)滞留水で高いが、それ以降のR/B、T/B及び集中廃棄物処理建屋(集中RW)では同程度となる。1及び2号機R/B滞留水は、3号機R/Bに比べて1桁程度大きい。
- 核種、号機、流れ(上流:原子炉建屋側、下流:高温焼却炉建屋側)により検出される放射能濃度に違いが見られることから、汚染水との接触による汚染を推定する上で、特に上流側での汚染挙動を継続して調べることが望まれる。



1号機R/Bは青、2号機は赤、3号機は緑のラインをそれぞれ利用して、高温焼却炉建屋にて滞留水が採取された。^{*1}

図5 R/B滞留水試料の採取



※ 今年度報告データ

図6 種々の滞留水中の ^{90}Sr と ^{238}Pu 濃度 (^{137}Cs 濃度との相関)

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (c) 分析の実施

- 汚染水の処理により発生する二次廃棄物の分析を進めている。
- 除染装置スラッジの分析を実施した(図7)。
 - スラッジの移送や処理の方法を検討する上で重要と考えられる 物理的な特性(密度、固形物の割合、粒径分布、流動の性質)を先行して分析した。
 - 粒径は5 μm以下の粒子がおおよそ90%を占める。放射能は⁹⁰Srが主要な核種とみられる。
- 多核種除去設備からの炭酸塩スラリーの分析を実施した(図8)。
 - 以前に分析した試料*1と比べ、⁹⁰Sr濃度が低いなど、処理対象の汚染水の性状による影響がうかがわれる。



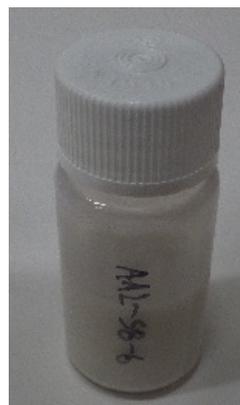
静置した状態



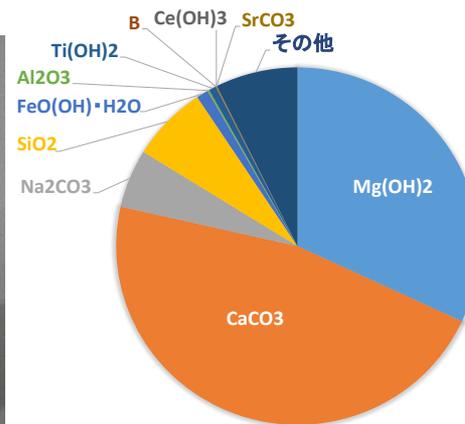
分散させた粒子の外観

図7 分析した除染装置スラッジ

(試料番号LI-AR-SL1-3)



外観



化学組成 [wt%]	
Mg(OH) ₂	31.9
CaCO ₃	46.6
Na ₂ CO ₃	5.29
SiO ₂	6.85
FeO(OH)・H ₂ O	1.06
Al ₂ O ₃	0.16
Ti(OH) ₂	0.6
B	0.06
Ce(OH) ₃	0.04
SrCO ₃	0.03
その他	7.3

図8 多核種除去設備炭酸塩スラリーの分析

(試料番号AAL-S8-6)

(ア)分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (d) 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
H29	<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。
H30	<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"> 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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度																	
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3						
ア. 性状把握																			
(ア)分析データの取得・管理等																			
a. 汚染分布の把握																			
<ul style="list-style-type: none"> 分析データに基づく廃棄物分類の検討 																			
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px;">検討</td> <td style="width: 100px;">まとめ</td> <td style="width: 20px;">▽</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0000FF; height: 10px;"></td> <td style="background-color: #FF0000; height: 10px;"></td> <td></td> </tr> </table> </div> <div style="margin-left: 10px;">* 検討の結果は分析方法に関する検討に反映する。</div> </div>														検討	まとめ	▽			
検討	まとめ	▽																	

(ア) 分析データの取得・管理等

a. 汚染分布の把握 (d) 分析データに基づく廃棄物分類の検討

- 当初、米国 NRC によって設定された元素グループを用いてモデルの検討を開始した。汚染の状態をより正確に表現するため、蓄積した分析データを利用して元素グループの再設定を試みた。
- 輸送比の頻度分布を用いて、グループの統合を検討した。同様のばらつきを持つデータの核種を統合することにより、以後の検討の合理化(少ないグループでの検討が可能となる)を図るとともに、データの頻度が増加することによる確からしさの向上が期待される。(図9)
- 空気と水の汚染に対して新しく設定した元素グループを以後のインベントリ推定等に用いていく。(表5)

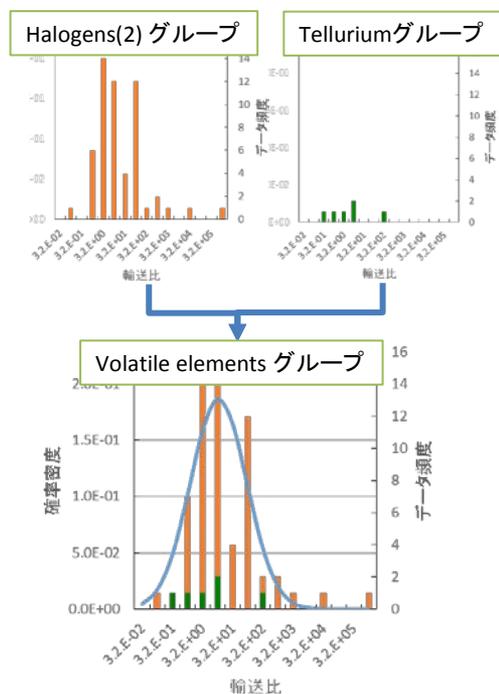


図9 分析データに基づく元素グループの整理

表5 分析データに基づいて設定した便宜的な元素グループ

No	空気経由の汚染	水経由の汚染
1	Noble gases	同左
2	Semivolatile Elements	H
3	Volatile Elements	Soluble Elements
4	Alkali Metals	H, C, Cl, I
5	Alkali Earth Metals	Chalcogens
6	Transition Metals	S, Se, Te
7	Lanthanides, Actinides	同左

(空気経由汚染と水経由汚染が異なる元素を赤字で示す。)

(ア)分析データの取得・管理等

b. サンプルング技術の開発等 (a) スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取

年度	実施計画	目標とする指標
H29	i) セシウム吸着材等の採取 ・平成28年度の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。 ii) 除染装置スラッジの採取 ・Dピットの現場調査を行い、採取方法を具体化して、廃スラッジ採取用治具の設計・製作並びに工事計画を策定する。	i) 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。 ii) 除染装置スラッジの採取 ・スラッジの採取方法を策定し、採取用治具を製作する。
H30	i) セシウム吸着材等の採取 ・平成29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。 ii) 除染装置スラッジの採取 ・製作した採取用治具を用いて、Dピットから廃スラッジを採取する。	i) セシウム吸着材等の採取 ・開発計画を策定し、モックアップ装置の設計を行う。 ii) 除染装置スラッジの採取 ・Dピットからスラッジを採取する。

実施内容	凡例 青: 計画 赤: 実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア) 分析データの取得・管理等													
b. サンプルング技術の開発等													
・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 (4-5月) ▽ セシウム吸着塔吸着材の採取設備具体的検討 (6-11月) ▽ まとめ (12月) ▽													
調査計画立案 (4-5月) ▽ Dピット周辺及び内部調査 (6-11月) ▽ サンプルング治具製作及び工事計画策定 (12月) ▽													

(ア)分析データの取得・管理等

b. サンプルング技術の開発等 (a)スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取

■ セシウム吸着塔からのゼオライトの遠隔操作による試料採取の方法

- 前年度までに実施した事業において、サンプルング装置の概念設計を行い、サンプルングヘッドの性能・実用性を調べるための要素試験装置を検討した。
- 要素試験装置を製作し(図10)、9条件の組合せ(穿孔速度、回転数、先端形状)で試験を実施し、採取量を測定した。フラット形状のサンプルングヘッドが、良好な採取性を示したが、いずれの条件でもゼオライト層の浅い領域で採取量が少ない傾向であり、サンプルングヘッドの形状を見直していく。

■ 保管中の容器(HIC※1)からの多核種除去設備スラリーの採取の方法

- スラリーの性状(線量率、塩素濃度、発生の時期)は幅広く、発生数も多いことから代表性のある試料の選定を行った。(図11)
- 第二、第三保管施設に保管中の容器(HIC)を対象とし、20点を目途として第二保管施設で採取する計画を検討した。水抜き作業と連携して試料採取を効率的に実施していく。

※1高性能容器(High Integrity Container: HIC)

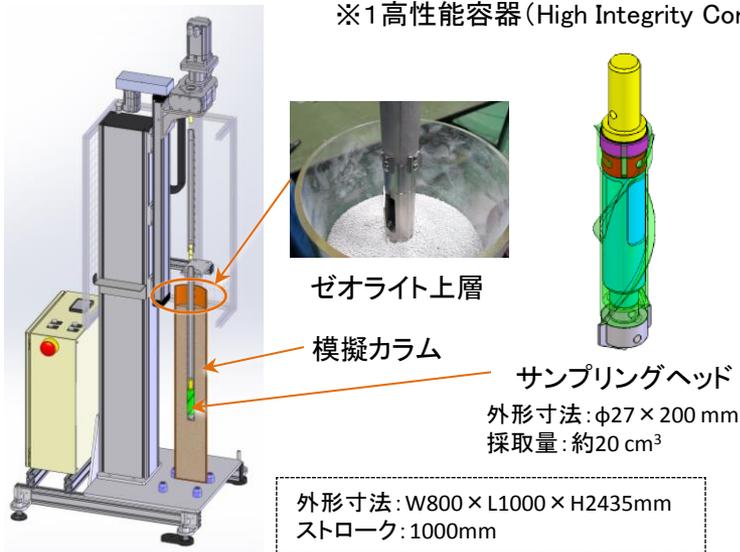


図10 セシウム吸着塔からゼオライトを採取する要素試験装置

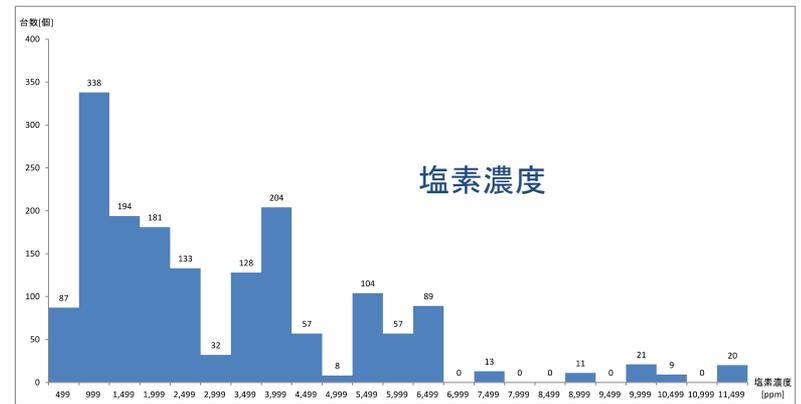
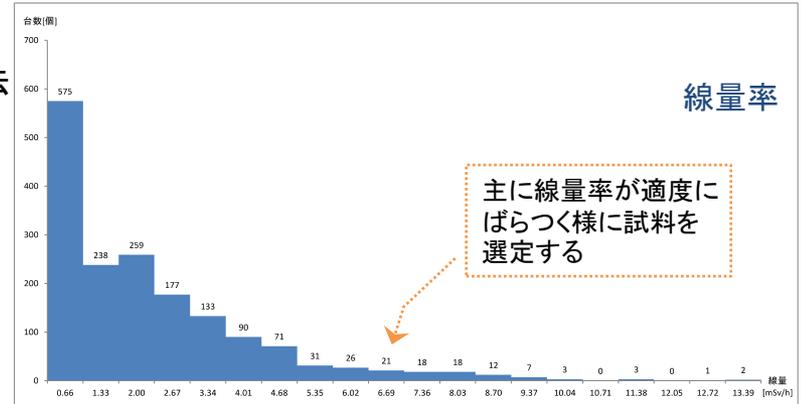


図11 炭酸塩スラリーの発生頻度(上 線量率、下 塩素濃度)

(ア)分析データの取得・管理等

b. サンプルング技術の開発等 (a) スラッジ等水処理二次廃棄物試料の採取

■ 除染装置スラッジの採取方法とその実施

- 保管場所(Dピット)の現地調査として、水中カメラを投入し、スラッジの沈降分離状況や上澄み水の濁り具合等を調べた(図12)。
- 水中カメラによる観察より(図13)、沈降したスラッジ層の厚さが約40 cmであることが分かった。体積は約37 m³弱と見積もられた。
- 調査用治具を製作して、現場で実際にスラッジ層に挿入し、スラッジの圧密の様子を調べ、スラッジをサンプルングした。調査用治具がDピットの底部まで到達したことから、スラッジには強固な圧密は生じていないと推定される。調査用治具の先端に取付けたバイアル瓶にスラッジを採取した。(図14)
- 採取したスラッジ試料をJAEA核サ研、NFDに輸送し、分析を進めている。当初の目標(平成30年度採取)を前倒して達成できた。



図12 現地調査(Dピット)の概況*



図13 スラッジ(黄色)の沈降状況*



図14 10mLバイアル瓶の取付け状態(右)と回収されたスラッジ(左)*

* 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第6回), 資料2, 2017年7月25日.

(ア)分析データの取得・管理等

b. サンプルング技術の開発等 (b) 原子炉建屋内試料等の採取方法の検討

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 平成28年度の成果をベースとして、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。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 平成29年度に続き採取箇所、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"> 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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
ア. 性状把握															
(ア)分析データの取得・管理等															
b. サンプルング技術の開発等															
・原子炉建屋内試料等の採取方法の検討															
検討計画立案				建屋内試料の採取目的等検討				周辺状況等の整理				まとめ			
[赤]				[赤]				[赤]				[赤]			

(ア)分析データの取得・管理等

b. サンプルング技術の開発等 (b) 原子炉建屋内試料等の採取方法の検討

■ 原子炉建屋内での遠隔操作による試料採取の方法

- 昨年度検討の成果である、遠隔操作を考慮した工具を用いて建屋内試料を採取できることを確認した。(図15)
- 1～3号機原子炉建屋内の状況について、過去の調査データを整理し(図16)、アクセス可能な経路、採取場所や被ばく量等を検討した。
- 遠隔採取装置の試作機を設計、製作した。既存ロボット(Packbot)に搭載し、採取性能や遠隔操作性の評価試験を実施している。



図15 遠隔操作を考慮した工具(左)と4号機原子炉建屋(2階南西側通路)におけるコンクリートの採取作業(右)

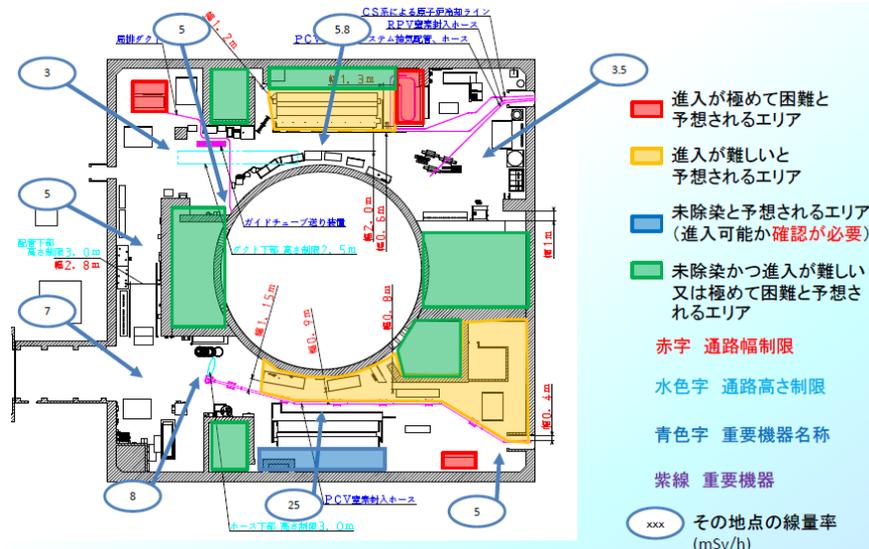


図16 原子炉建屋内の採取場所を整理した例

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (a) 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
H29	<ul style="list-style-type: none"> (ア)a. 項で検討した廃棄物分類(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。
H30	<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"> 分析データ等に基づいて検討した汚染機構を示す。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア)分析データの取得・管理等													
c. 分析方法の効率化													
・汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討													
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"> <p>汚染機構の検討</p> </div> <div style="width: 40%;"> <p>まとめ</p> </div> </div>													

(ア) 分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (a) 汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討

- 廃棄物のインベントリを推定するために、汚染を表現するモデルの確立が必要である。放射性核種濃度の分析データを取り扱う上で、分布の様式を知ることが重要である。
 - 一般に、汚染は対数正規分布を仮定して事象を再現できることが多く、放射性廃棄物についても用いられている。
 - 輸送比を指標とすると、化学的に似たふるまいをする核種をまとめて取り扱うことができるので便利である。
- 汚染の経路や、化学的に似た元素群を仮定して輸送比の頻度分布を求め、対数正規分布を当てはめると、適合する場合が多い。(図17)
 - 適合しない場合は、元素の汚染挙動が異なる可能性がある。このことを利用して、逆に汚染の類型化(グループ化)を検討できる。

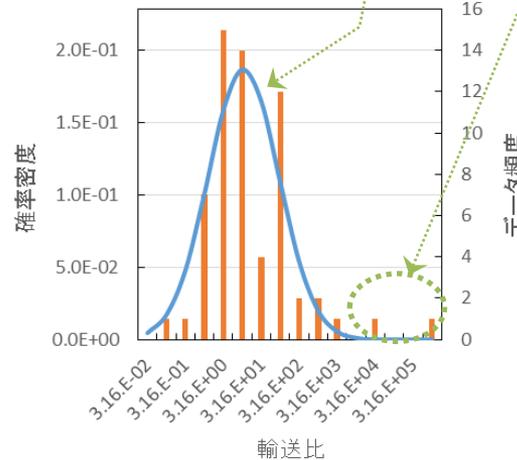
輸送比 T の定義

- 元素 X がソースターム (source) から試料 (sample) へと移行した割合を、基準とする核種に対する比として求める。

$$T_X = \frac{N_{X, \text{sample}} / N_{X, \text{source}}}{N_{\text{std, sample}} / N_{\text{std, source}}} = \frac{c_{X, \text{sample}} / c_{\text{std, sample}}}{A_{X, \text{source}} / A_{\text{std, source}}}$$

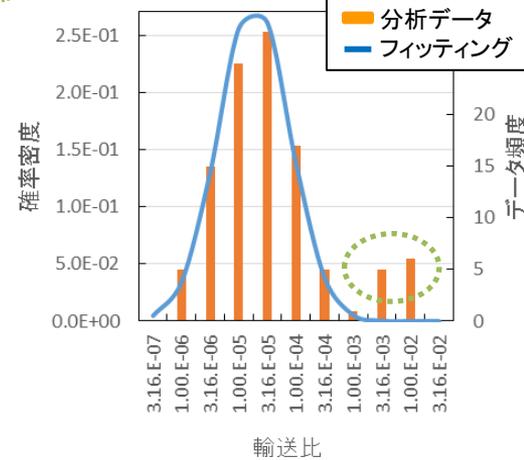
- N は原子数、 c は濃度 (Bq/g)、 A は放射能 (Bq)、 X は対象とする核種、std は基準とする核種 (^{137}Cs) である。 A は半減期補正して適用する。
- 移行の中間過程についての情報を提供しない。 Cs の輸送比は 1 である。

輸送比の分布を対数正規分布で近似
(コルモゴロフ-スミルノフ検定により確認)



揮発性元素

異なるグループにすると
良いと考えられるデータ



希土類・アクチニド元素

図17 輸送比の頻度分布と対数正規分布の適合性
(原子炉建屋内部の汚染に係る分析データの整理)

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (b) 分析データの代表性に関する検討

年度	実施計画	目標とする指標
H29 H30	<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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア)分析データの取得・管理等 c. 分析方法の効率化 ・分析データの代表性に関する検討													
										▽データ代表性の検討		▽まとめ	▽

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (b) 分析データの代表性に関する検討

- 廃棄物の発生が継続していることに加え、発生した全ての廃棄物からのサンプリングが困難であることから、廃棄物の分類が明確にならず、また、分析データの代表性を確保するよう考慮してサンプリングすることが困難であるものと考えられた。(図18)
 - 難測定核種の破壊分析では代表性が十分得られないことを前提として、インベントリを推定する必要がある。
 - 容器に保管される廃棄物の非破壊分析や線量率測定は、相対的に容易であり代表性のある分析・測定の実施が期待されるので、これらを組み合わせた方法を確立することを目標に置いた。(図19)
- そのような観点のもとで、分析の中長期計画を検討した。

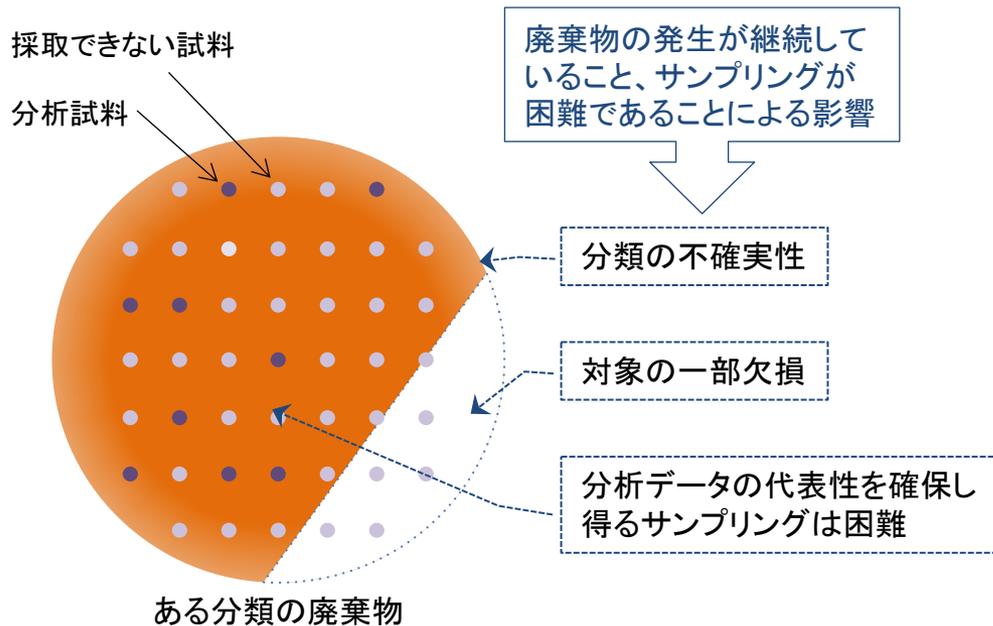


図18 分析試料の代表性を確保することの困難

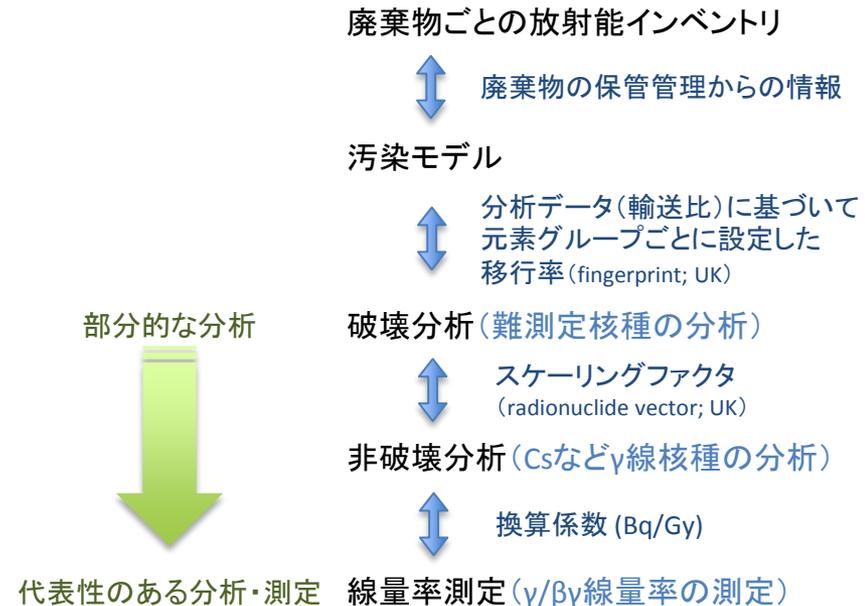


図19 分析の代表性とインベントリ推定の流れの関係

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (c) 分析対象核種の再選定

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> これまでに得られた分析データ、分析手法が有する限界、廃棄物管理における重要性を考慮して、分析の対象とすべき放射性核種を改めて選定する。選定の結果は、分析計画に反映する。 	<ul style="list-style-type: none"> 分析すべき放射性核種の選定結果を示す。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
ア. 性状把握														
(ア)分析データの取得・管理等														
c. 分析方法の効率化														
・分析対象核種の再選定														
	核種検討													

▽* 分析計画と並行して検討を進め、計画に反映する。

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (c) 分析対象核種の再選定

- 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6)、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20)。
- 分析対象を 38 から 30 核種に減らし、計算により 23 核種を推定した。(表7)

表6 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

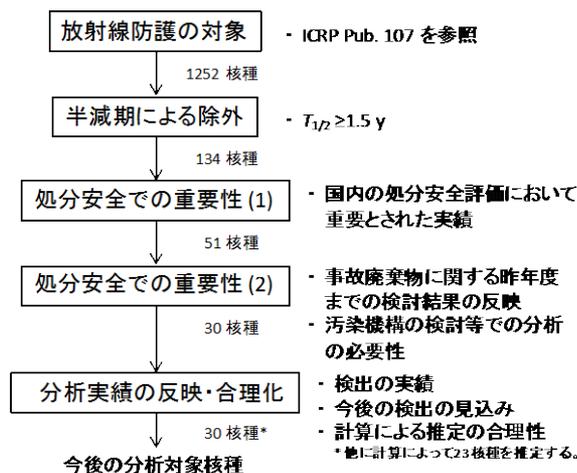


図20 処分安全の重要性を考慮した分析対象核種を選定する流れ

表7 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

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (d) 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
H29	<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。
H30	<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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア)分析データの取得・管理等													
c. 分析方法の効率化													
<ul style="list-style-type: none"> 分析方法の効率化・合理化に関する検討 													
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 合理化の観点 ▽分析法合理化の検討 ▽技術開発計画検討 </div>													

(ア)分析データの取得・管理等

c. 分析方法の効率化 (d) 分析方法の効率化・合理化に関する検討

- 複雑な分析を実施する上位の要件として、コストの低減、作業者の被ばく量の低減、データ品質の確保の観点から分析方法の効率化、合理化が期待される技術を抽出した。(図21)
- 測定原理の転換(放射能測定からICP-MS分析へ)、化学分離操作のロボットによる自動化、品質保証システムの導入等が有望な研究開発項目として抽出された(表8)。これらの導入の検討を進めた。

表8 効率化・合理化に関する研究開発項目の評価

研究開発項目	期待される効果	研究開発の資源 費用	時間	優先度の 評価	取り組み 方
固体試料の直接分析	○	多	長	中	基礎
検出における高度な弁別	×	少	中	低	なし
測定原理の転換	◎	中	短	高	実用
化学分離での高濃縮	△	中	長	低	基礎
一連の操作の結合	○	中	中	中	基礎
化学分離操作のロボットによる自動化	◎	多	中	高	実用
品質保証システムの導入	◎	中	中	高	実用

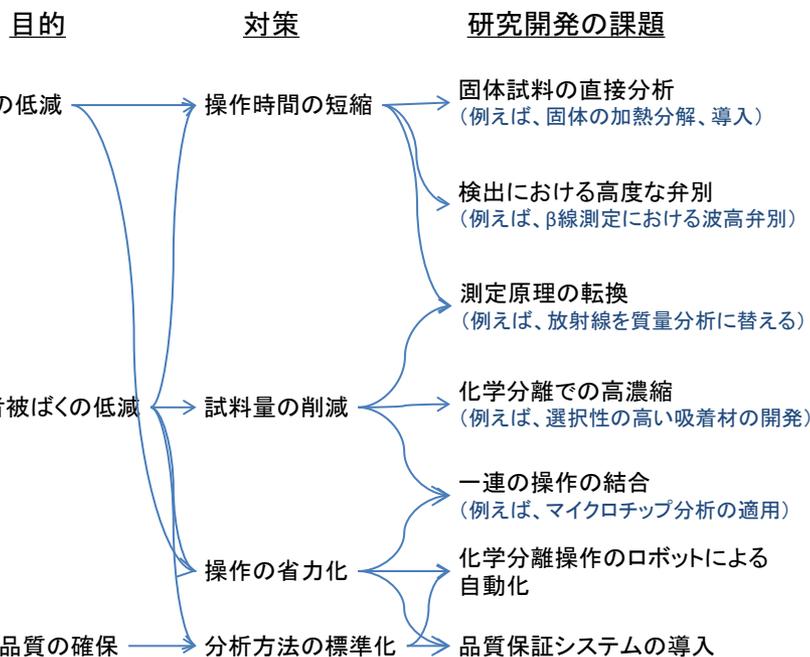


図21 分析に求められる改良と必要な研究開発課題

(ア)分析データの取得・管理等

d. 分析データの管理

年度	実施計画	目標とする指標
H29	i) 分析データベースの構築 <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。 ii) 廃棄物データの整理・更新 <ul style="list-style-type: none"> 最新の廃棄物の分析結果等を収集し、平成28年度事業で得られたデータを再整理する。また、適宜データの蓄積等を図る。 	i) 分析データベースの構築 <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。 ii) 廃棄物データの整理・更新 <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。
H30	i) 分析データベースの構築 <ul style="list-style-type: none"> 運用における課題を摘出し、機能を改善、充実させる。 ii) 廃棄物データの整理・更新 <ul style="list-style-type: none"> 最新の廃棄物の分析結果等を収集し、平成28年度事業で得られたデータを再整理する。また、適宜データの蓄積等を図る。 	i) 分析データベースの構築 <ul style="list-style-type: none"> 運用の中で摘出された課題に対応し、データベースを改良する。 ii) 廃棄物データの整理・更新 <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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
(ア) 分析データの取得・管理等													
d. 分析データの管理													
・分析データベースの構築		仕様検討	▽				データベースの作成	▽				運用・課題抽出	▽
・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	▽

(ア)分析データの取得・管理等

d. 分析データの管理 (a) 分析データベースの構築

- 従来、公開されている分析データを報告書*1として発行してきた。ユーザーの利便性向上を図るため、インターネットを利用した公開の方法を検討した。また、試料や分析作業の管理に係わるデータを関係者が共有する方法を合わせて検討した。(図22)
- データベースのセキュリティを考慮して、公開データを抽出して公開のコンテンツを作成した。(図23)
- 現在、構築したコンテンツの脆弱性を確認しており、完了次第関係者に周知、公開していく*2。
- データの拡充を継続するとともに、英訳を進める。

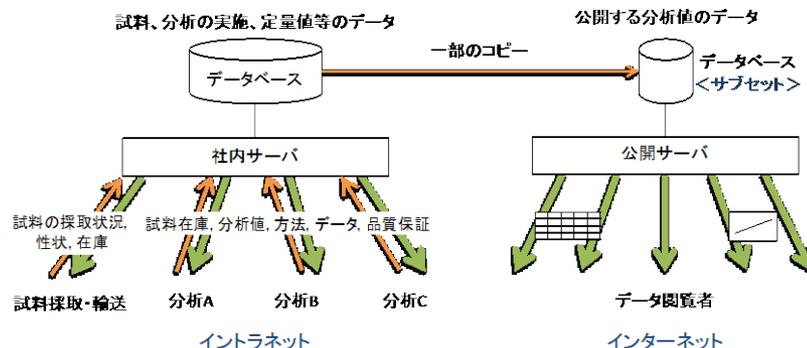
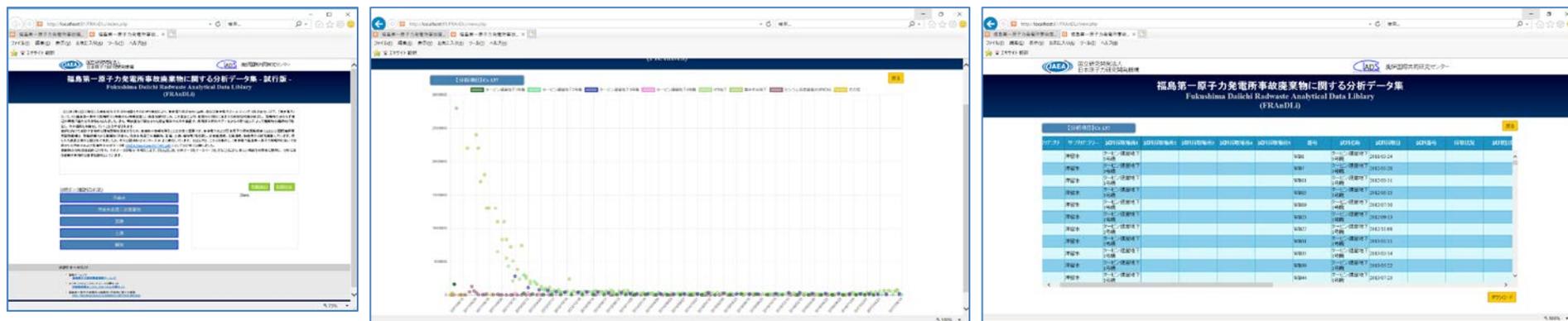


図22 分析データベースの構成



トップページ

グラフ表示(時間に対する変化)

表の表示(データのダウンロードが可能)

図23 データベースのコンテンツの例

*1 “東京電力福島第一原子力発電所において採取された汚染水および瓦礫等の分析データ集” JAEA-Data/Code 2017-001 (2017).

*2 <https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDli/>

(ア)分析データの取得・管理等

d. 分析データの管理 (b) 廃棄物データの整理・更新

- 保管されている廃棄物の情報は、廃棄物管理の検討において不可欠である。従来より発生した廃棄物毎に「管理票」が作成、保管されているが、紙を媒体としているため廃棄物の情報を活用することが困難であった。そこで、情報を電子的なデータベースとして利用するため、データ項目等を検討し、入力の作業を実施した。
 - 廃棄物の分類と運用時期により複数の書式の「管理票」が使用されてきた。データベースの基盤となるデータ項目を漏れがない様に検討し、新たなデータベースフォーマットを作成した。
 - 約 4.7 万件の全ての「管理票」の入力を終えた。(表9)
- 管理票に記載されている体積や線量率のデータを集約し、データを利用する基盤が整備できた。以下のような活用方法を想定している。
 - 保管量(体積)や線量率などの特徴をマクロに捉えた保管計画の検討などへの利用。(図24、図25)
 - 処分影響物質の抽出。
 - 合理的な保管管理計画への活用。

表9 対象とした「管理票」

分類	管理票運用期間	廃棄物種類	管理票件数
瓦礫類・伐採木	平成24年4～7月	区分なし	374
	平成24年7月～平成26年1月	8	5,282
	平成26年1月～平成27年9月	21	17,144
	平成27年9月～平成29年11月	19	23,830
	平成29年11月～	22	208
汚染水処理設備廃棄物	平成24年4月～平成29年11月	8	241

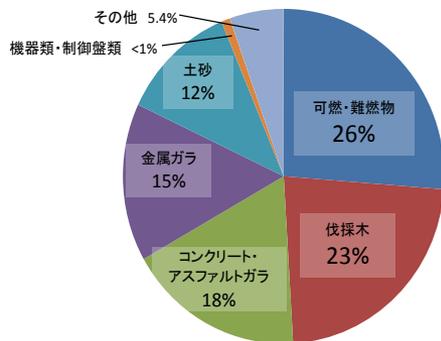


図24 廃棄物の種類毎の保管量(体積)の内訳

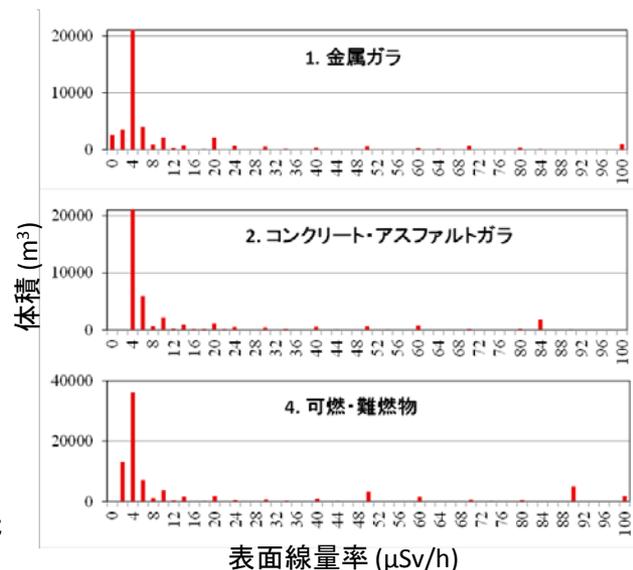


図25 廃棄物の線量率と保管量の関係(例)

(イ) 解析的評価手法の精度向上

a. 精度向上に資する手法の検討 b. 精度向上に資するデータの収集 c. 解析的評価手法の整備

年度	実施計画	目標とする指標
H29 H30	<p>i) 精度向上に資する手法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> (ア) 項にて検討した廃棄物分類(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。 <p>ii) 精度向上に資するデータの収集</p> <ul style="list-style-type: none"> これまでの検討において得られた知見、また、(ア) 項にて得られた知見に基づき、必要なデータを収集する。 <p>iii) 解析的評価手法の整備</p> <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。 	<p>i) 精度向上に資する手法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 解析的評価の精度向上方策を示す。 <p>ii) 精度向上に資するデータの収集</p> <ul style="list-style-type: none"> 精度向上に資するデータを収集する。 <p>iii) 解析的評価手法の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> 解析的手法を行うツールを整備する。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
ア. 性状把握															
(イ) 解析的評価手法の精度向上 ・精度向上に資する手法の検討、及び 解析的評価手法の整備			計画検討											まとめ	▽
・精度向上に資するデータの収集			計画検討											まとめ	▽

(イ) 解析的評価手法の精度向上

- 廃棄物の分類は、保管、処理、処分でのそれぞれの取り扱いに対して決定するが、処分安全は核種組成と密接に関連する。分類にあたっては、処分安全評価を行い、基準線量相当濃度との比較が必要であると考えられた。(図26)
- 解体廃棄物の汚染状態は不明であるが、通常原子炉の廃止措置における分類、空気を經由しての汚染、滞留水との接触や燃料デブリが付着することによる二次的な汚染の過程を考慮して、廃棄物への核種移行パラメータの設定を更新した。(図27)

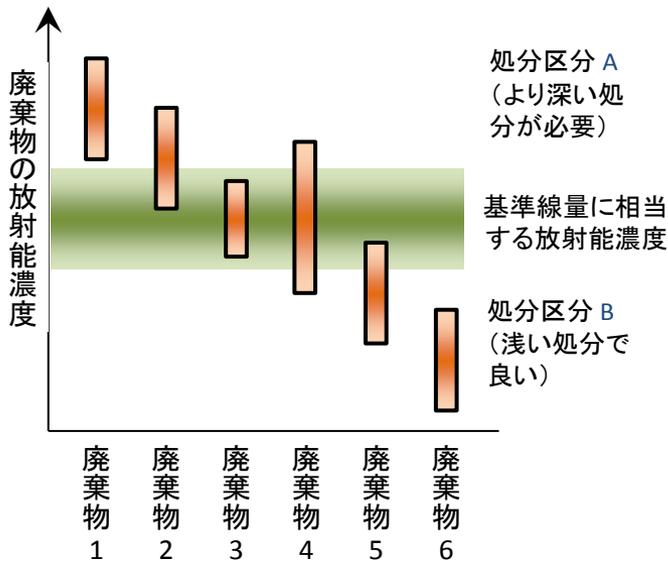


図26 廃棄物分類を設定するための処分安全における基準線量相当濃度との照合(イメージ)

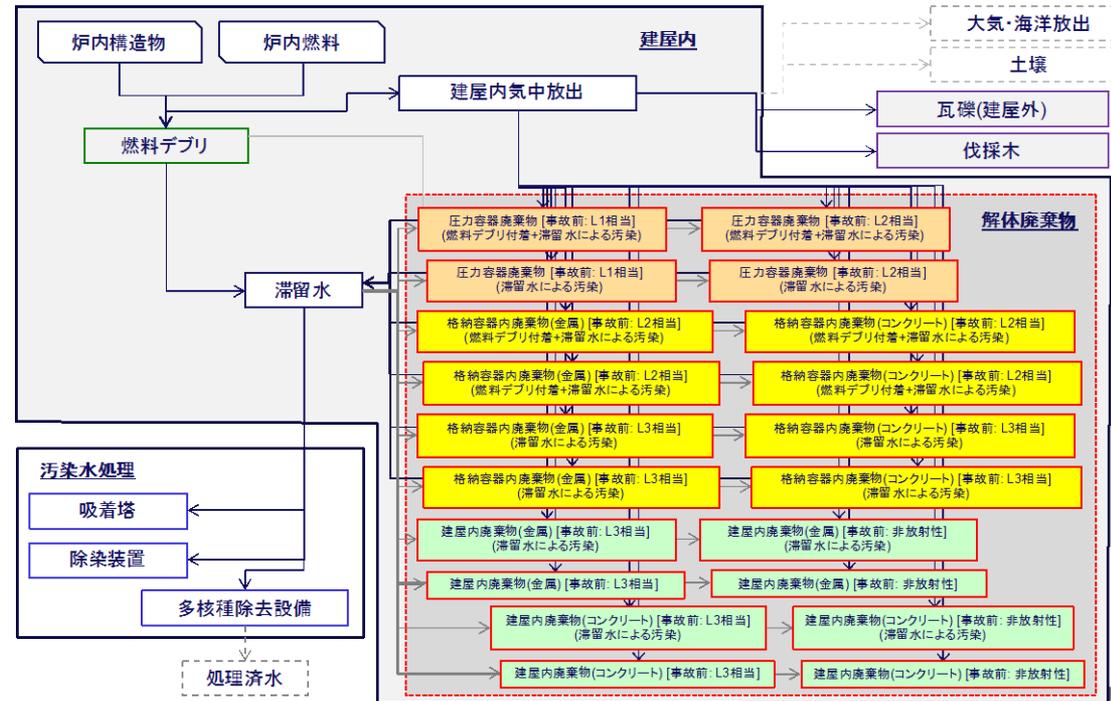


図27 解体廃棄物のインベントリを推定するための汚染の過程、分類

(ウ) 処分影響物質などへの対応 実施計画及び目標とする指標

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<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。 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。
H30	<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。 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、これら影響を定量評価するための手法を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 福島第一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。 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。

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
ア. 性状把握														
(ウ) 処分影響物質などへの対応 ・国内外の実例調査	計画検討				▽									
	実例の調査												▽	
	まとめ													▽
・処分安全への影響検討	計画検討				▽									
	性能への影響を表す指標と定量評価方法の検討												▽	
	まとめ													▽

(ウ) 処分影響物質などへの対応

- 事故廃棄物は、環境への放出が規制される物質をあらかじめ分別・除去されていない可能性がある。また、処理や処分の安全性に影響を及ぼす可能性のある物質についても同様である。国内、英国と米国における取り組みを調べた。(表10)
- 処分時や固化時に影響を及ぼす可能性のある代表的な物質の整理、抽出を行った。(表11)
- 処分への影響は、核種の移行に直接的な効果(錯形成による収着性の低減等)、媒質の性状を変化させる間接的な効果に着目しなければならない。
- 物質の影響評価や濃度限度の検討と並行して、廃止措置の工程に反映すべき事項を検討する必要がある。

表10 英国の廃棄物受け入れ基準の一例(LLWR*1)

表11 処分時や固化時に影響を及ぼす可能性のある物質

区分	概要	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、溶液等

分類	概要	代表物質
環境有害物	環境に有害な影響を及ぼす可能性のある物質	鉛(遮へい材)、ホウ素
処分影響物質	核種閉じ込め性能に影響を及ぼす可能性のある物質	有機物、ホウ素、酸化性物質(硝酸等)
固化時影響物質	固化時等に腐食によりガス等を発生する物質	アルミ、亜鉛(足場材等)

*1 LLWR.....Low Level Waste Repository Ltd社の運営する英国の低レベル放射性廃棄物処分場

3. 処分前管理に関する検討

報告内容

- (ア) 固体廃棄物の特徴に応じた適用性評価
- (イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価
 - a. 高線量廃棄物の保管対策の検討
 - (a) 水素ガス発生への対策
 - (b) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策
 - b. 水処理二次廃棄物の安定化技術の評価
 - (a) インドラム式ガラス固化処理技術の適用性評価
 - (b) 除染装置スラッジ安定化検討
- (ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討

(ア) 固体廃棄物の特徴に応じた適用性評価

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 事故廃棄物に特徴的な廃棄物を抽出し、従来、放射性廃棄物の処理において実績のある固化技術(セメント系の固化技術、高温処理技術等)を対象とし、線量や発熱の影響を考慮してそれらの適用性を評価し、継続して確認すべき課題を特定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 従来技術の高線量廃棄物への適用する場合の課題を示す。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 新たな固化技術を調べ、先に抽出した課題を解決する可能性を評価し、必要に応じて試験等によって期待される効果を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 抽出した課題を解決する方法を提案する。

■ 実施状況

- 既存の放射性廃棄物の分類との比較により事故廃棄物に特徴的な廃棄物に関する検討を行った。
- H28年度までに実施した基礎試験で対象とした6つの技術について、処分を見据えた処理実績がある処理方法(廃棄体化)と、保管時等の安全性を改善する処理方法(安定化)の2つに分類した。
- 従来技術の高線量廃棄物への適用性検討結果から、廃棄物に含有する核種の放射線量と固化体の材料性能を左右する崩壊熱との関係性の把握に加え、適用可能な廃棄物処理技術を比較評価するための評価軸と、その評価値(範囲)の情報を収集し整理することが課題として挙げられた。
- 整理した課題から、先行的処理として適用できる処理技術の絞り込みを行うためのアプローチ自体の検討の必要性を示した。

■ 今後の予定

- 抽出した課題について、解決するための調査・試験等の計画を立案し、提案実施する。

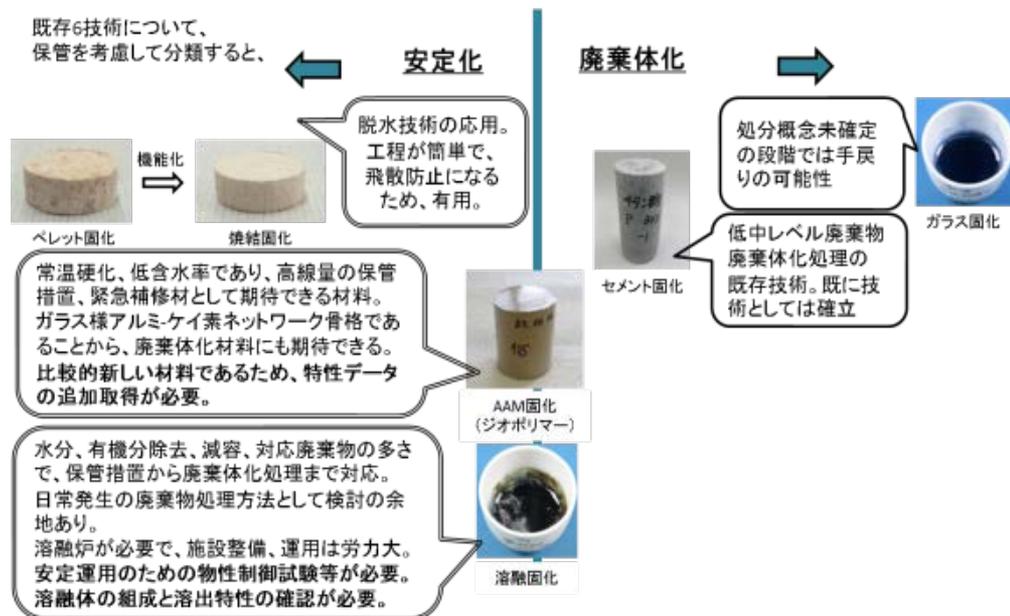


図1 H28年度までに実施した基礎試験で対象とした6技術の分類

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(a) 水素ガス発生への対策

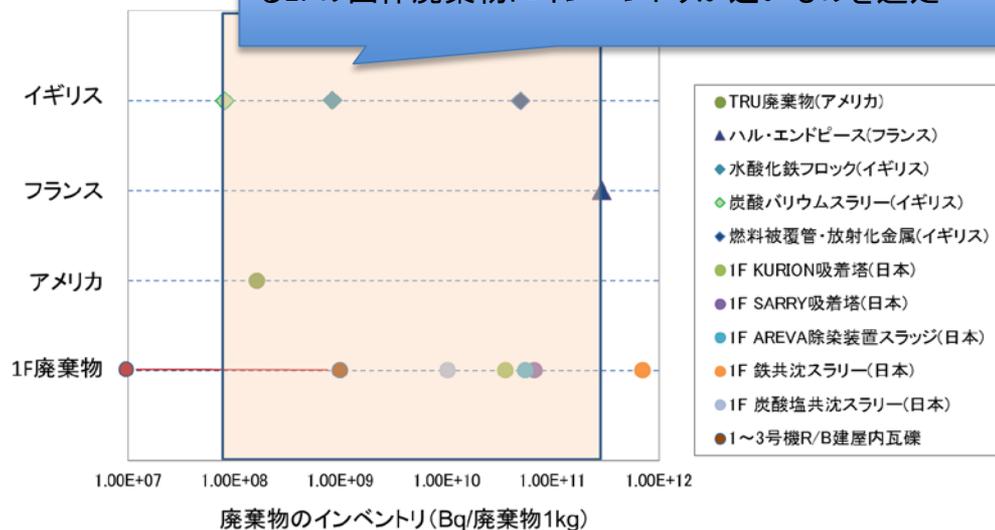
年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 線量が高く、水分を含有する固体廃棄物の保管時における水素ガス発生評価手法及び発生する水素ガスに関わる保管容器のベント等の要件について、国内外（英国、米国、仏国）の知見を調査する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水素ガス発生評価手法及びベント等の要件に係る知見を示す。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 平成29年度の水素ガス発生に関わる国内外の知見の調査結果を踏まえ、1Fへの適用性を検討し課題を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fへの適用性と課題を示す。

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。

【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。

各国の廃棄物のうち、水素ガス対策が必要と想定される1Fの固体廃棄物にインベントリが近いものを選定



1F廃棄物のインベントリの出典：
 H26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 研究報告書（中間報告）付録4.4.3-1 インベントリおよび核種移行パラメータ
 但し、1F-1~3号機R/B建屋内瓦礫については、国際廃炉研究開発機構HP（2018年）から引用。

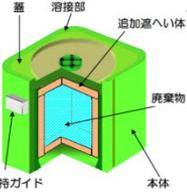
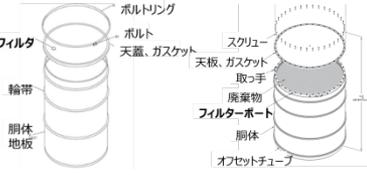
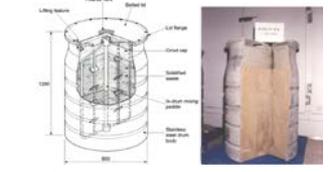
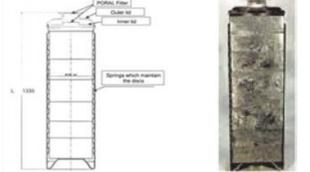
(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(a) 水素ガス発生への対策 ～成果概要～

日本と海外との比較調査の結果、水素ガス発生対策に関して

①自由水量の低減、②G値の使い分け、③ベント付容器に関して知見を得た。

	日本	米国	英国	仏国
調査対象 廃棄物	水素ガス発生を考慮する発電所廃棄物、再処理廃棄物 ・放射化金属 ・樹脂等のL1廃棄物 ・再処理施設廃棄物 使用施設廃棄物	受入実績から処分場視点 ・TRU廃棄物 (WIPP処分場) ・クラスC廃棄物 (WCS処分場)	水素ガス発生を考慮するILW廃棄物 ・水酸化鉄、炭酸バリウム ・酸化燃料被覆管 ・プルトニウム汚染物 ・マグノックス燃料再処理 ・レガシー混合廃棄物	水素ガス等発生が懸念される廃棄物及び1F類似性のある廃棄物 ・ハル・エンドピース(CSD-C) ・廃液処理施設乾燥汚泥(DSC)
容器の外観(例)	 放射化金属廃棄物	 含水率1vol.%以下の固体廃棄物	 炭酸バリウムスラリー廃棄物	 CSD-C: ハル・エンドピース
水素ガス発生 評価	・水の放射線分解 G値(H ₂): γ線: 0.45	・水の放射線分解 G値(H ₂): α線: 1.6 βγ線: 0.5 ・廃棄物性状ごとにα線G値 設定	・水の放射線分解 G値(H ₂): βγ線: 0.4 ・セメント固化体のG値 G値(H ₂): βγ線: 0.15	・水の放射線分解 G値(H ₂): α線: 0.044* γ線: 0.0021* *MoZr沈殿物の結晶水の値 ・腐食性ガス発生を評価
水素ガス発生 対策	・密封容器に収納 (ガスを容器外に漏らさない) ・水切りおよび乾燥	・ベント付容器に収納 (但し、移送時は密封容器に 収納) ・含水率1%以下	・ベント付容器に収納 (但し、移送時は密封容器に 収納)	・ベント付容器に収納 (但し、移送時は密封容器に 収納) ・水素ガス濃度1vol%以下に 換気

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(a) 水素ガス発生への対策 ～成果まとめ～

本年度の調査から、水素ガス発生への対策に関し、自由水量の低減、G値の使い分け、ベント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 自由水量の低減

- 水素ガス発生量評価は、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量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ガス発生量を評価
仏国 :MoZr沈殿物の結晶水についてもG値を設定し、水素ガスの発生源として評価

② G値の使い分け

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

③ ベント付容器による保管

- 今回調査対象とした廃棄物(例、米国のTRU廃棄物、英国の水酸化鉄、仏国のCSD-C等)では、各国ともにベント付き容器で保管し、保管施設にて換気等の水素ガス対策を実施していた。
- 水素ガス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。

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(b) 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の対策 1/3

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 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、燃料デブリ取出し作業等の工程を考慮し、燃料デブリ取出し作業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、燃料デブリ取出し作業等の工程を考慮し、燃料デブリ取出し作業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。

■ 実施状況

- 燃料デブリ取出しプロジェクト、収納・移送・保管プロジェクトに対し、現状で発生が見込まれる廃棄物の種類、物量の調査を実施し、燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物リストの一次案を作成した。(図2)
- 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物の保管管理における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(フィルタベント付保管容器ケース等)を作成した。

■ 今後の予定

- 燃料デブリ取出し作業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。

廃棄物		種類	物量 (t)	廃棄物密度 (t/m ³)	物量 (m ³)	線量 (mSv/h)
廃棄物として発生	DSPスロットプラグ	コンクリート	不明	2.5	(>100)	4.0E+3
	保温材	金属	不明	7.8	—	—
	PCVヘッド	金属	50	7.8	6.4	4.0E+3
	シールドプラグ	コンクリート	600	2.5	240.0	4.0E+3
	RPVヘッド	金属	70	7.8	9.0	3.0E+4
	ドライヤー	金属	28.0	7.8	3.6	4.0E+5
	セパレータ	金属	17.2	7.8	2.2	2.0E+5
燃料デブリ含有廃棄物として発生	トップガイド	金属	3.4	7.8	0.4	1.0E+6
	シュラウド	金属	25.1	7.8	3.2	3.5E+5
	コアプレート	金属	4.0	7.8	0.5	3.5E+5
	CRガイドチューブ	金属	11.2	7.8	1.4	3.5E+5
	CRD	金属	28.9	7.8	3.7	3.5E+5
	RPV下鏡	金属	50.0	7.8	6.4	3.5E+5
合計	—	887.8	—	276.9	—	

図2 燃料デブリ取出しに伴い発生する廃棄物リストの一次案 (1号機)

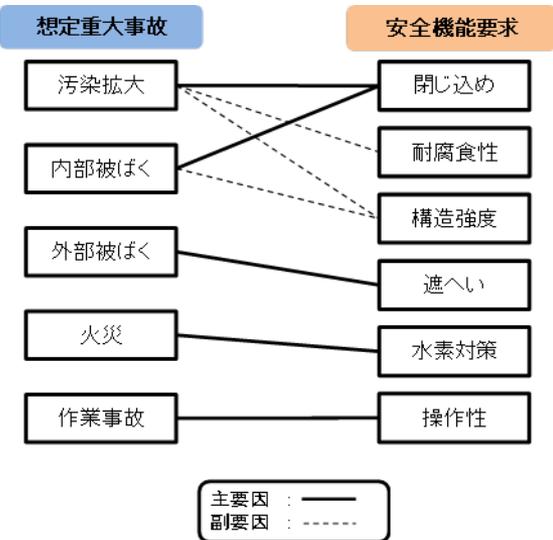
(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(b) 燃料デブリ取出し時に発生する廃棄物の対策 2/3

「安全機能要求リスト」

燃料デブリ取出し時に発生する廃棄物を対象とした、収納、移送、保管といった各作業ステップにおける重大事故を想定した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	安全機能要求に応じた対策
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閉じ込め性能・構造強度を確保する。
	内部被ばく	・α核種等が容器から漏れ、作業員が吸い込み被ばく。	高 ・α核種等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・構造強度を確保する。
	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。
	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

- ・閉じ込め性の確保
- ・水素対策の確保

水素ガスの放出を想定した場合
相反する
安全機能要求

上記の相反する安全機能要求を満足し、且つ、その他全ての安全機能要求を満たすフローを検討

個別の作業ステップで求められる安全機能を明確化
⇒ 収納時、移送時、保管時

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

a. 高線量廃棄物の保管対策の検討

(b) 燃料デブリ取出し時に発生する廃棄物の対策 3/3

「核種飛散防止（閉じ込め）と水素ガス対策を満たす安全機能分担案」

検討を行った閉じ込めと水素ガス対策に対する安全機能分担

合理的と考えられる
保管・管理フローの
候補案を作成

- ・移送容器使用
- ・フィルタ付き容器使用
- ・密封台車使用
- ・飛散防止材使用
- ・乾燥前処理



H30年度に候補の
絞込みを実施予定

前処理	安全機能分担			
	移送時		保管時	
	閉じ込め	水素対策	閉じ込め	水素対策
なし	密閉移送容器	時間管理	保管建屋	保管建屋
	構内用密閉移送台車	時間管理	保管建屋	保管建屋
	簡易トンネル	トンネル内換気	保管建屋	保管建屋
	密閉袋	時間管理	密閉袋	定期的に処理
	高性能フィルタバント付き密閉保管容器		高性能フィルタバント付き密閉保管容器 +保管建屋	
乾燥処理	密閉移送容器	不要 (乾燥処理を行った為)	保管建屋	不要 (乾燥処理を行った為)
	構内用密閉移送台車		保管建屋	
	簡易トンネル		保管建屋	
	密閉袋		密閉袋	
	密閉保管容器		密閉保管容器	
飛散防止剤塗布 / フェーシング袋	不要(飛散防止剤塗布 / フェーシング袋梱包を行った為)	バント付き保管容器	不要(飛散防止剤塗布 / フェーシング袋梱包を行った為)	バント付き保管容器 + 保管建屋
乾燥処理 + 飛散防止剤塗布 / フェーシング袋	不要(飛散防止剤塗布 / フェーシング袋梱包を行った為)	不要 (乾燥処理を行った為)	不要(飛散防止剤塗布 / フェーシング袋梱包を行った為)	不要 (乾燥処理を行った為)

11ケースの保管・管理フロー図を作成し、ステップごとの安全機能を評価

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

b. 水処理二次廃棄物の安定化技術の評価

(a) インDRAM式ガラス固化処理技術の適用性評価

年度	実施計画	目標とする指標
H29	・ガラス固化の条件を明確にすることを目的として、ガラス組成の検討とるつぼ溶融試験を行い、処理条件や減容率、ガラス物性等のデータを得る。	・ガラス組成の検討とるつぼ規模の溶融試験を行い、ガラス固化のための条件を提示する。
H30	・平成29年度の試験結果から得られたガラス固化条件を用いて工学規模試験を実施し、ジュール加熱によるガラス溶融条件、固化体性状やオフガス系への核種の影響について評価すると共に、装置の耐久性、メンテナンス性等について確認する。	・工学規模のジュール加熱式ガラス溶融試験を行い、固化体性状やオフガス系への核種の影響、装置の耐久性、メンテナンス性に関する検討結果を提示する。

■ 目的

- 水処理二次廃棄物の処分前管理に必要となる安定化技術の一つとして、汚染拡散防止や装置の大きさ等の観点から、インDRAM式ガラス固化技術(GeoMelt ICV)に着目し、ゼオライトをガラス形成材の主成分としてスラリー等を同時に溶融する処理の適用性について検討・評価する。

■ 実施状況

- 基礎試験(ガラス組成の検討とるつぼ溶融試験)

● るつぼ溶融試験(図3)

- 模擬廃棄物: 現地の水処理廃棄物から20種類を選択(表1)
- 配合: 解析により得られた組成でゼオライト(主成分)、模擬廃棄物、添加剤、トレーサを配合(合計40配合比)。
- 溶融手順: 揮発性物質(水分等)を除去(700°C)し、溶融状況を確認しながら1250°Cまで昇温、アニール処理(500°C)の順。

表1 模擬廃棄物及びトレーサ

水処理設備	模擬廃棄物*1)	トレーサ
除染装置(AREVA)	スラッジ(1種類)	Sr, Cs
セシウム吸着装置(KURION)	ろ過材(1種類) 吸着材(4種類)*2)	Sr, Cs
第二セシウム吸着装置(SARRY)	ろ過材(2種類)*3) 吸着材(1種類)*4)	Sr, Cs
多核種除去設備	スラリー(2種類)	Sr, Cs
	吸着材(9種類)	吸着材により異なる*5)

- *1) 模擬廃棄物には添加剤(B_2O_3 , CaO, Na_2O など)を混合
- *2) 吸着材はゼオライト(2種類)、銀ゼオライト(1種類)、珪チタン酸塩(1種類)
- *3) ろ過材(2種類)のうち、1種類のろ過材にはゼオライトを含む
- *4) 吸着材(1種類)は、ゼオライト
- *5) 吸着材の除去対象元素に合わせてSr, Cs, Co, Sbを配合



ゼオライト、スラッジおよび添加剤(B_2O_3 等)を配合

図3 るつぼ溶融したガラスの一例

- ガラスの観察・分析結果

- 流動性

それぞれの配合において、1150°C以上でガラス流動性があることを目視で確認した。

- 減容率, 廃棄物充填率

減容率(ガラス体積/模擬廃棄物体積×100)は、14%から26%であった。廃棄物充填率は70%から80%であった。

- 目視観察

ゼオライトと他の廃棄物は共にガラス化していることを確認した。一部のガラスでは析出物が確認された。

- 分析

析出物等のあるガラスについては元素分析(EDS, 7個), 結晶相分析(XRD, 7個)を行い, 珪チタン酸塩におけるルチルの析出等を特定した。その結果, 1Fで保管量の多い炭酸塩沈殿物は配合比16wt%から21wt%まで, 鉄共沈沈殿物は11wt%から12wt%まで均質なガラスが得られた。なお, ゼオライトを主成分(約65wt%)として, 炭酸塩沈殿物(約16wt%)と鉄共沈沈殿物(約2wt%)を同時に混合しガラス固化できることを確認した。

保管量の多いチタン酸塩は配合比8wt%から18wt%まで均質なガラスが得られた。

ガラス固化において析出物が発生する可能性のあるスラッジは配合比3wt%から6wt%まで硫酸塩層のないガラスが得られた。

- 浸出試験(図4)

模擬廃棄物を7グループに分類し、それぞれのグループから配合を1~3選択した15個のガラスについて浸出試験(MCC-1, 28日間)を実施した。全てのガラスの浸出量 $NL_{(B)}$ は、旧動燃で開発されたP0798ガラス(図4の「←」)と同程度であり、化学的耐久性が高いことが分かった。

- トレーサ保持率

ガラス中のトレーサ保持率は模擬廃棄物の種類・配合比によらず、Sr保持率:72%から128%*, Cs保持率:59%から95%の範囲であった。るつぼ溶融ではCsの揮発抑制効果が小さい。

※分析誤差により、保持率評価値が100%を超過

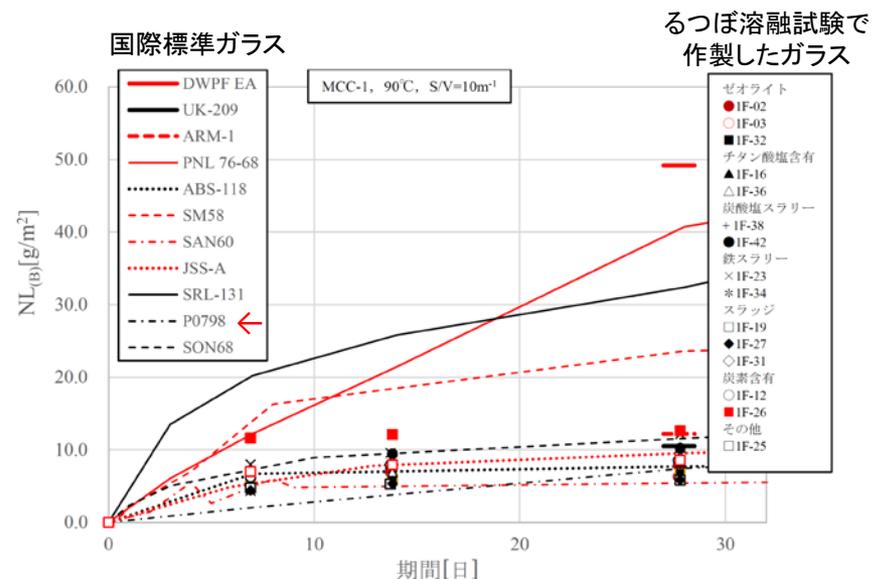


図4 国際標準ガラスの浸出量との比較

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

b. 水処理二次廃棄物の安定化技術の評価

(b) 除染装置スラッジ安定化検討 1/2

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 模擬スラッジを使用して流動性確認試験を行い、スラッジ濃度をパラメータとした流動特性の基礎データを取得する。また、平成30年度に実施する実証試験計画を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 流動特性等の基礎データを取得し、実証試験計画を策定する。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 模擬スラッジを使用し、Dピットの内部構造を模擬したエンジニアリング規模でのスラッジ回収・洗浄・移送試験を行い、スラッジ抽出方法を検証する。 	<ul style="list-style-type: none"> Dピットからのスラッジの抽出方法の成立性を提示する。

■ 実施内容

- 実機のプロセスに合わせて模擬スラッジを作製し、基礎データを取得するための試験計画を策定
- 実スラッジ(特に、ポリマー)の経年変化を考慮し、3種類の模擬スラッジを作製
 - スラッジA: ポリマーあり
 - スラッジB: ポリマーなし
 - スラッジC: スラッジAを照射した試料
- 模擬スラッジを用いて流動特性に係る基礎データを取得
- 実スラッジの分析結果とも比較し、実証試験計画を立案

■ 実施成果

- 実環境での経年変化を考慮した模擬スラッジを作製し、スラッジの回収・移送方法の検討に必要な流動特性を把握したことにより、Dピット内部の調査結果と合わせて、抽出し工法の選定を可能とした。

項目	対象試料と濃度 : g/L	試験 (分析) 内容	
① 密度	60	スラッジの湿潤密度	
② 粒径分布	60	スラッジの粒径分布	
③ 化学組成	スラッジA スラッジB スラッジC	60	スラッジ Fe, Ni, Ba, Na, Si Cl Total C, Total S
		60	上澄水 Fe, Ni, Ba, Na, Si Free CN Cl, SO4 TOC
		60	水中での沈降の進行状況
		75~300	スラッジA
⑤ 粘性	スラッジA	75~300	スラッジ濃度ごとの粘度
	スラッジB	2ケース	
	スラッジC	1ケース	
⑥ 攪拌性	2種類	60	パブリングによるスラッジの攪拌性

(イ) 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

b. 水処理二次廃棄物の安定化技術の評価

(b) 除染装置スラッジ安定化検討 2/2

■ 模擬スラッジの物性(密度、粒径、化学組成: 図5)

- Baが全て硫酸バリウムで存在するとすれば、スラッジの約66wt%が硫酸バリウム。
- スラッジAは、ポリマーによる凝集効果により、スラッジBに比べて粒径が20倍程度大きい。

	湿潤密度 (g/cm ³)	平均粒径 (体積基準) (μm)	スラッジの化学組成 (g/kg)							
			C	Na	Si	S	K	Fe	Ni	Ba
スラッジA	1.15	120	36.4	1.41	6.24	105	22.3	48.8	32.2	391
スラッジB	1.14	6.45	33.9	1.03	4.40	107	19.4	44.0	28.4	400
スラッジC	1.09	10.8	36.8	1.35	3.63	98	22.6	56.6	30.4	396
実スラッジ	1.18	8.89	-	20.5	13.2	108	16.2	107	32.6	461

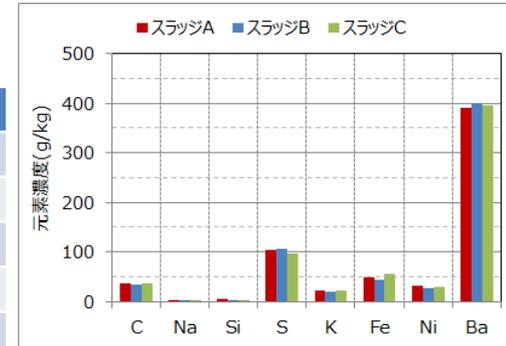


図5 模擬スラッジの化学組成

■ 沈降性(図6)

- メスシリンダー内でスラッジを攪拌し、静置後の沈降状況(スラッジの界面高さの変化)を観察。
- 実スラッジは、スラッジAとスラッジBの中間的な沈降挙動を示した。また、スラッジC(照射試料)と実スラッジは同等の沈降挙動となった。

■ 粘性(図7)

- スラッジ濃度を変えて粘度を測定し、濃度の影響を確認。
- スラッジA・Bともに、高濃度では、せん断速度の増加に伴って粘度が低下した。一方、低濃度では、せん断速度によらず、ほぼ一定の粘度を示した。

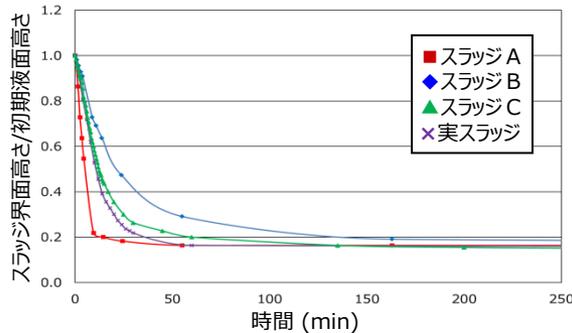


図6 沈降性の確認試験結果

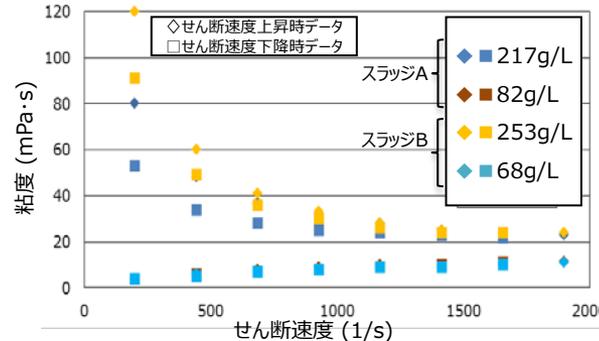
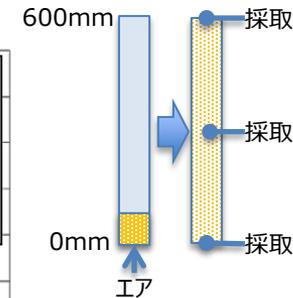


図7 粘性の測定結果

■ 攪拌性(図8)

- ガラス管(Φ40mm×600mm)にスラッジを1週間沈降させ、下部からエアを流入して攪拌した後、高さ方向に3点でスラッジ濃度を測定。
- スラッジ濃度は初期濃度(60g/L)とほぼ等しく、概ね均一に再攪拌・混合できた。



	採取高さ (mm)	濃度 (g/L)
スラッジA	600	55
	300	56
	0	58
スラッジB	600	48
	300	49
	0	50

図8 攪拌性の確認試験結果

【凡例】スラッジA: ポリマーあり, スラッジB: ポリマーなし, スラッジC: 照射試料

(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物量の低減及び廃棄物区分に資する分別方法に適用するため、高線量環境下におけるα汚染等の測定・評価に適用可能な技術について調査・検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fへ適用可能な技術を示す。

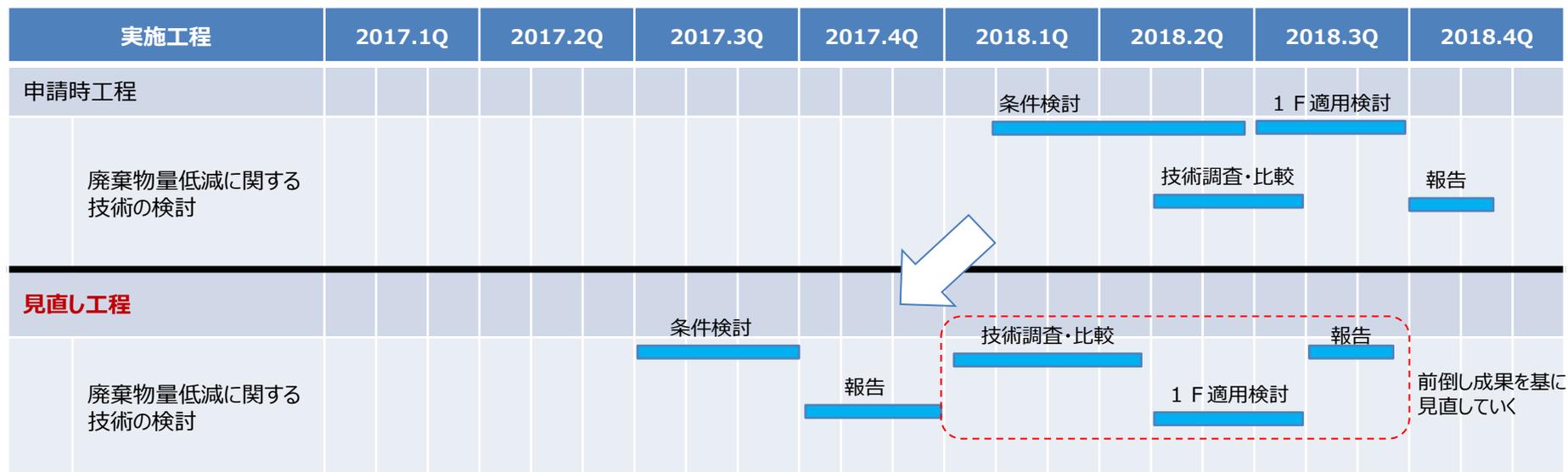
■ 実施状況

- 平成30年度に検討着手予定であった計画を半年間前倒しし、測定目的や測定対象廃棄物、測定環境などの条件を検討することとした。

■ 今後の予定

- 平成29年度は、測定目的や測定対象廃棄物、測定環境などの条件を検討する。平成30年度は、原理別に α 汚染等の測定・評価に可能な技術について調査・検討し、有望な技術を提示する。

実施スケジュール



(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討 ～1Fサイトにおける α 核種測定技術の要求事項～

- 以下の3つの観点から α 核種測定技術の要求事項を整理した。
 - 1Fサイトにおける測定環境(作業スペース、現場線量率、 $\beta\gamma$ 核種混在の影響)
 - 廃棄物管理における α 核種測定技術の運用(測定対象)
 - 廃棄物を保管容器収納した後の α 核種測定は難しいため、以下のタイミングでの測定を想定。
 - ・廃棄物が解体される前に測定(現場測定)
 - ・廃棄物が解体され、ビニール袋等に収納される前に測定
 - ・廃棄物が解体され、ビニール袋等に収納された後に測定
(ビニール上から測定、あるいは部分的にビニールを切断して測定。)
 - 測定性能(感度、測定速度、分布測定)

α 核種測定の要求事項の例

	作業スペース	現場線量率	$\beta\gamma$ 核種混在の影響	測定対象	感度	測定速度	汚染分布測定
想定測定条件と要求事項	建屋の通路: 幅1.5m程度(R/B)で障害物等も存在 ⇒通路幅で障害物があっても測定可能(密着測定不要)	R/B1階通路: 1.9~36mSv/h 2号オヘフロ: 最大800mSv/h ⇒高線量であり作業員による測定は困難	$\alpha/\beta\gamma = 1/10^{6\sim 8}$ ⇒ $\beta\gamma$ 核種の影響を受けずに測定可能	ビニールでの養生を想定 ⇒養生外からの測定が可能	管理区域表面汚染密度限度: 4Bq/cm ² (α) 物品搬出基準: 0.4Bq/cm ² (α) ⇒上記基準を暫定の目標値とする。	⇒作業員の被ばく低減の観点から、測定時間、測定準備時間が短いほうが望ましい。	汚染拡大防止の観点と廃棄物低減の観点 ⇒ホットスポット位置の特定や汚染分布が測定可能

1Fサイトでの測定環境や運用方法を踏まえ、 α 核種測定技術の原理別に適用性の比較検討を実施し、適用技術を選定することとした。

(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討

参考 1Fサイトでの測定環境と装置運用方法の検討

● 想定される測定環境

- 高線量であり、作業員による測定は困難
- 障害物が存在し、遠隔装置が近接困難
- 壁面、配管、機器等、測定対象物の形状が様々

[1]平成27年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発)」2017/2/14IRIDデザインレビュー資料より引用

● 測定環境を考慮した運用イメージ

高線量環境での測定を要するため、測定装置は、移動台車等の遠隔装置に搭載することを前提とし、運用方法として下記2ケースを想定した。

- 広域用装置 : 通路を移動し情報を収集(イメージ: 下図9)
- 狭隘部用装置 : 近接困難な箇所での情報を収集(イメージ: 下図10)



図9 中継台車への搭載イメージ



1F建屋内環境イメージ[1]

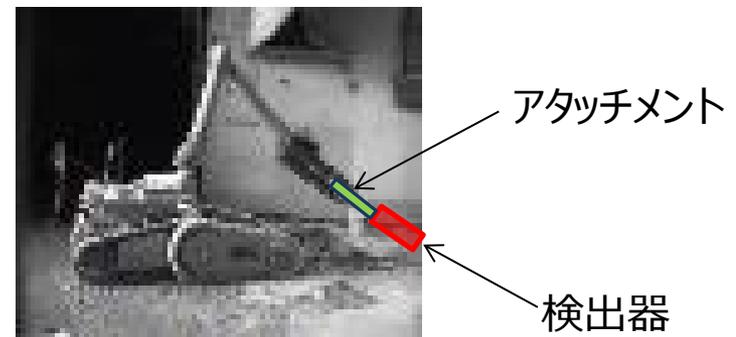
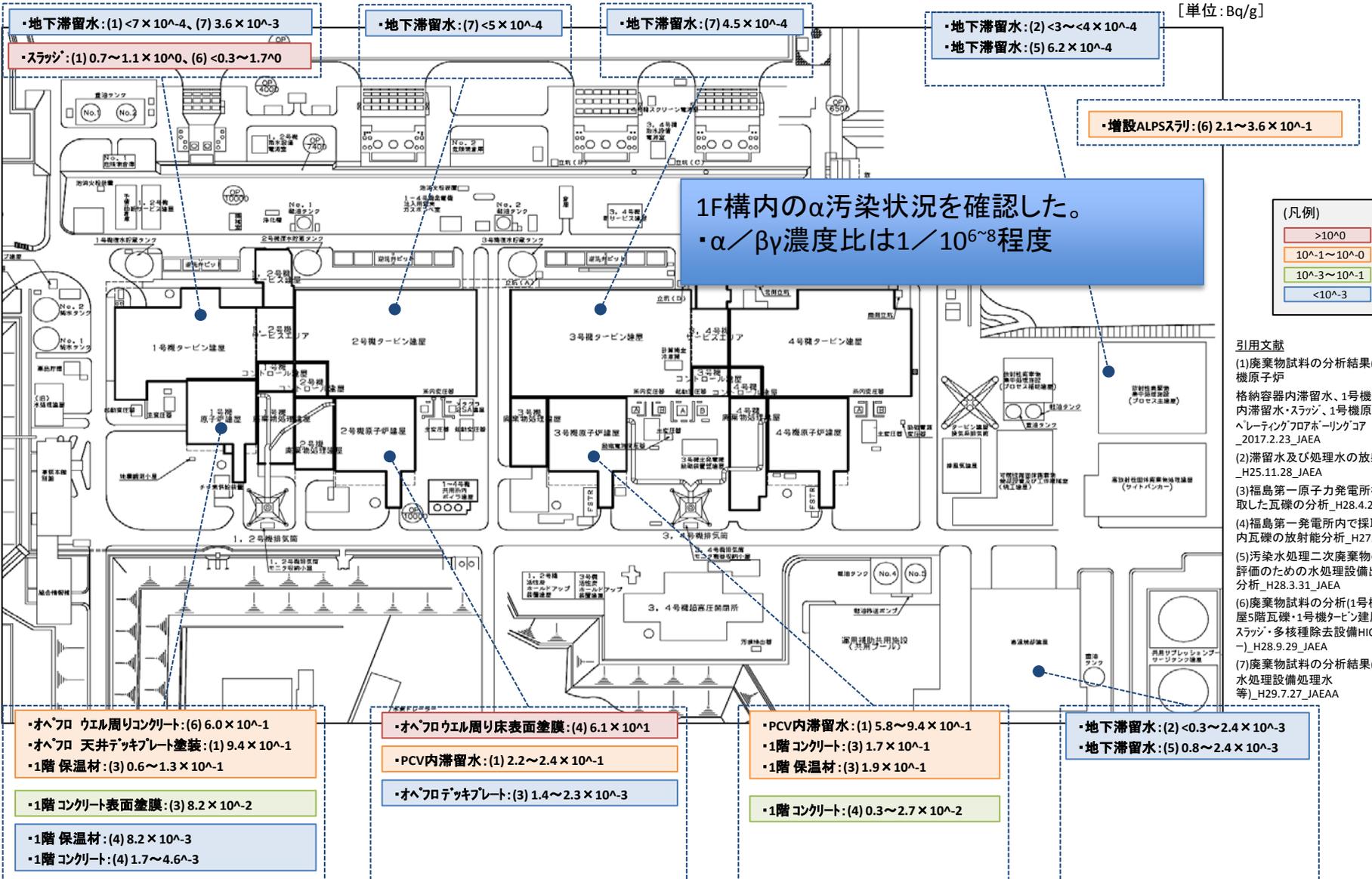


図10 Kobraへの搭載イメージ

(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討

参考 1Fサイトにおける測定環境の整理(α核種濃度)

[単位: Bq/g]



(凡例)

>10 ⁰
10 ⁻¹ ~10 ⁻⁰
10 ⁻³ ~10 ⁻¹
<10 ⁻³

- 引用文献
- 廃棄物試料の分析結果(2及び3号機原子炉格納容器内滞留水、1号機タービン建屋内滞留水・スラッジ、1号機原子炉建屋オヘレーティングフロアボーリングコア)_2017.2.23_JAEA
 - 滞留水及び処理水の放射能分析_H25.11.28_JAEA
 - 福島第一原子力発電所構内で採取した瓦礫の分析_H28.4.28_JAEA
 - 福島第一発電所内で採取した建屋内瓦礫の放射能分析_H27.10.1_JAEA
 - 汚染水処理二次廃棄物の放射能評価のための水処理設備出入口水の分析_H28.3.31_JAEA
 - 廃棄物試料の分析(1号機原子炉建屋5階瓦礫・1号機タービン建屋地下1階スラッジ・多核種除去設備HICスリ_)_H28.9.29_JAEA
 - 廃棄物試料の分析結果(滞留水、水処理設備処理水等)_H29.7.27_JAEA

(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討 ～α核種測定技術の調査 現場適用性のまとめ～

- 1Fサイトでの測定環境や運用方法を踏まえた要求事項の検討結果より、既存測定技術について適用性を評価した。
- 特に、密着測定が不要であり、ホットスポット位置の特定や汚染分布測定が可能な見込みのある窒素励起による遠隔測定が有望と評価した。
- 今後、1Fへの適用へ向け試作機などの詳細検討を行っていく必要がある。

測定技術	全α線測定			γ線スペクトル測定	パッシブ中性子測定	その他	
	直接測定(自動)		遠隔測定(自動スミヤ)			質量分析(LA-ICP-MS)	分光分析(LIBS)
	密着走査	遠隔測定					
原理	α核種のα線を直接計測	α線励起による窒素の発光を測定	ろ紙によるふき取り測定	U-235やデブリ随伴核種等のγ線を評価	Cm-244等からの中性子発生率から推定	レーザーで気化吸引し同位体重量を分析	レーザーでプラズマ化し元素重量を分光分析
作業スペース 幅数10cm～	△ 遠隔装置侵入に制限	○	△ 遠隔装置侵入に制限	△ 遠隔装置侵入に制限	△ 遠隔装置侵入に制限	△ 遠隔装置侵入に制限	△ 遠隔装置侵入に制限
現場線量率 (最大800mSv/h)	○	○	○	△ 要遮へい	○	○	○
βγ核種混在の影響 (α:βγ比 6～8桁)	通常は○ (濃度が高い場合別途要評価)	○	通常は○ (濃度が高い場合別途要評価)	△ 検出下限に影響	○	○	○
測定対象 ビニール養生等	× (特定形状専用)	○ (要α飛程空間)	△ 養生不可	○	○	△ 養生不可	△ 養生不可
感度 0.4Bq/cm ² : 搬出基準 4Bq/cm ² : 密度限度	○	△ (感度向上余地あり)	○	△ 測定距離 γ線BGの影響	× 発生率、効率が低い	○	× 感度が低い
測定速度	△ 密着走査が必須	○	△ ふき取りが必要	△ 環境線量に依存	△ 走査測定が必要	× 位置合わせ等に依存	× 位置合わせ等に依存
汚染分布測定	△ 走査が必要	○ 2次元分布計測可能	△ エリア区画が必要	△ コリメータと走査が必要	△ コリメータ、走査等が必要	△ 走査が必要	△ 走査が必要
その他		暗所で使用					

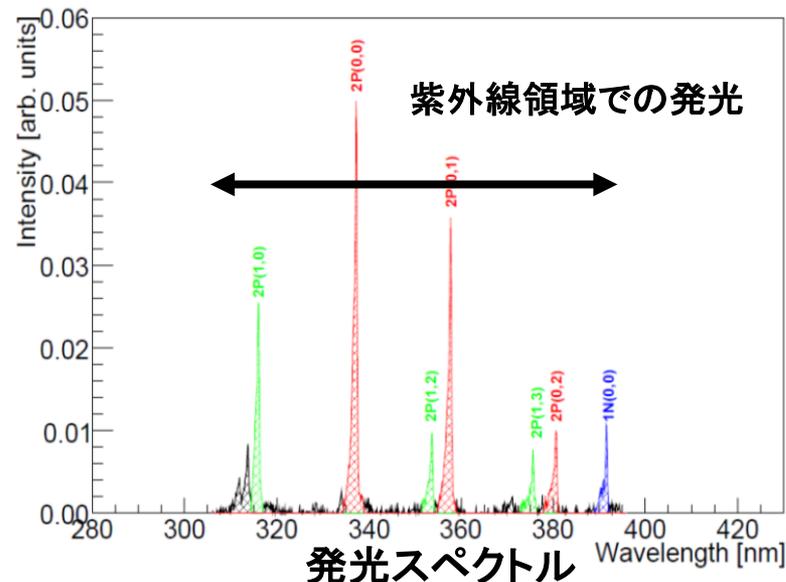
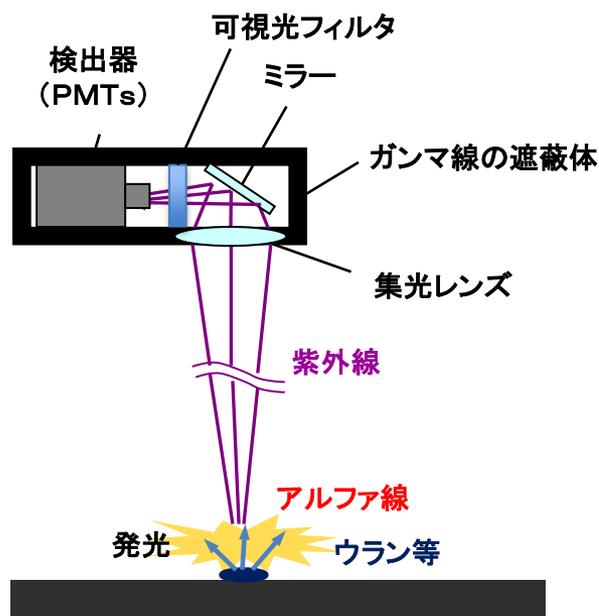
○: 適用可
△: 制限あり
×: 適用不可

(ウ) 廃棄物量の低減に関する技術の検討

参考 選定した α 汚染測定技術の原理

● 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



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

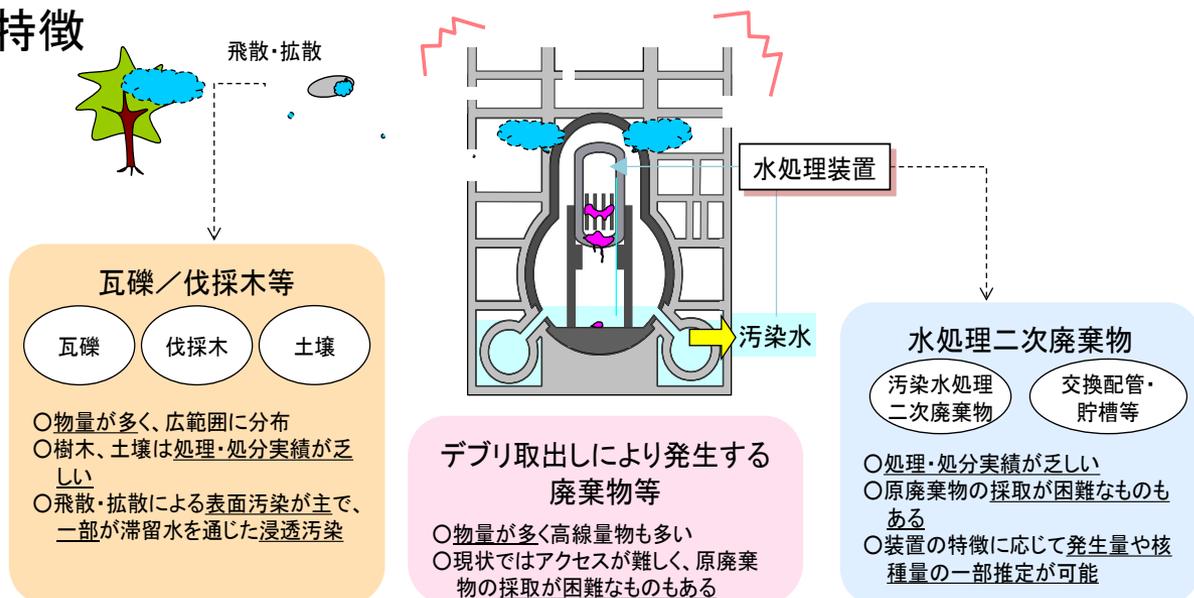
4. 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び 安全評価手法の検討

報告内容

- 1F固体廃棄物の特徴について
- 1F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
- 処分概念及び安全評価手法に関する調査
- 重要事例の抽出
 - 重要事例リスト
 - 着目した重要事例と1Fニーズへの反映例
- 重要事例の背景調査
- 調査結果まとめ
- 平成30年度までの調査・検討計画

1F固体廃棄物の特徴について

■ 1F固体廃棄物の特徴



1F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

諸外国の処分概念および安全評価手法に関する調査

- ・処分概念の構築手法に関する調査
- ・処分場の処分概念および安全評価手法に関する調査

海外の実例に関する
詳細情報

調査
サイクル

重要事例が
成立した背景、根拠の調査

国内外の調査結果に基づく検討

- ・国内の処分概念及び安全評価手法の整理
- ・諸外国の調査結果に基づく重要事例の抽出

・調査課題の検討

重要事例

- 処分概念
- 安全評価手法
- 処分前管理

1F固体廃棄物の
性状把握および処分前管理に
関する最新R&D成果

安全かつ合理的な処分概念および安全評価手法の検討

- ・1F固体廃棄物の特徴の整理
- ・諸外国の重要事例の適用性の検討

・安全かつ合理的な処分概念及び安全評価
手法の検討

処分概念及び安全評価手法に関する調査

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処分場の事例調査を実施*1



Drigg LLWR*2(英)



SFR*3(スウェーデン)



WCS*4(米)

■ 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 コスト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 | |

網羅的な調査を実施

■ 調査結果の検討

- ・国内既往事例との比較
- ・1F固体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

*1ロシアの処分場事例についても部分的な調査を実施
*2英国ドリッグにあるLLWR社が運営する低レベル放射性廃棄物処分場
*3スウェーデンのエストハンマル自治体にあるSKB社が運営する短寿命低中レベル放射性廃棄物処分場
*4米国テキサスにあるWCS社が運営する低レベル放射性廃棄物処分場

重要事例の抽出

<重要事例リスト>

表 2.2-15 LLWR, SFRの合理的評価事例の検討

No.	合理的事例	適用	概略	合理的事例であること理由	福島第一廃棄物処分との関連
1	Inventory records and management system	UK	<p>廃棄物管理と処分のインフラ計画をサポートするために、UK 政府と NDA は公式のプロセス(原子力サイトが現時点のインベントリと将来発生する廃棄物を統一されたフォーマットを用いて報告する)を導入した。報告事項は、材料タイプ、放射能、化学的組成、体積(廃棄物体積と廃棄物体積)、発生時刻、発生場所である。</p> <p>情報は国のインベントリ(UKRWI)で編集される。3年に一度の更新がなされる。</p>	<p>・サイトを跨いだデータの編集や比較を可能にするために、標準フォーマットでデータがまとめられる。</p> <p>・廃棄物が生成された時にインフラが計画されることを可能にする。</p> <p>・廃棄物量に応じた処分場が設計されることを可能にする。</p> <p>・国レベルでのコスト低減効果(規模の経済)、効率の最適化</p> <p>・廃棄物の量と発生時刻の不確実性のよりよい試算が可能となること。</p>	<p>・1Fの廃棄物体積の試算は不確実性を伴う。その為、インフラ要件を計画することは難しい。</p> <p>・よくまとまったインベントリ記録は、デコミと廃棄物管理の統合を可能にする。</p> <p>・大量の廃棄物が発生し、性状把握される前に、1F インベントリ管理システムを設計及び導入することは重要。</p>
2	BPEO/BAT	UK	<p>安全で、効率的で、費用対効果の高い廃棄物管理では、様々な要因のバランスを考慮することが重要である。</p> <p>BPEOは、代替的オプション(例:廃棄物の処理技術、処分概念設計)を考慮するための系統的なアプローチとしてUK 規制当局により導入された。それは、主要な要因や主要な基準が意思決定において考慮されることを可能にしている。例えば、安全性、環境防護、技術実現性、規制の許可、ファイナンスコストが含まれる。</p> <p>BATはEUにより導入された同様なプロセスであり、(安全性と技術及びコストをバランスしつつ)安全性の最適化を推進することが意図されている。</p>	<p>・保守的な方法(defensible way)でコストと安全性がバランスすることを可能にする。そして、様々なサイトにおける決定は共通のアプローチでなされる。</p> <p>・放射線防護の最適化を支援する。</p> <p>・UK 規制当局は、BATの適用はALARAも達成できるということに同意している。</p> <p>・決定理由の正当化を含む、透明性があり監査可能なプロセス。それ故、長期のプロジェクトに対しては有効である。(往々にして決定理由が忘れられる)</p> <p>・提案されている廃棄物管理や処分に対するアプローチの正当化を規制当局示す。</p>	<p>・1Fの計画と意思決定プロセスは操業中サイトと関係し、廃止措置廃棄物管理や処分には適切ではない。</p> <p>・意思決定プロセスや計画プロセスへの規制当局の参加を必要とする。BPEOレポートにより、非公式に、情報がNRAに提出されることになる。</p> <p>・廃棄物管理と1Fの廃炉計画やコスト試算とを統合するのに役に立つ。</p> <p>・1Fサイト全体に対する安全性/コスト決定に統一されたアプローチを提供する。</p>
3	Systematic process to achieve clearance	UK	<p>・クリアランスと廃棄物管理と処分は関係する。基準値以下ならば非放射性として取り扱われる。</p> <p>・クリアランス基準値を満足するかどうかを測定により証明することは難しい。UKでは、廃棄物を統計的に特性把握するための実務的方法(code of practice)を用いてクリアランスを達成するための系統的アプローチを開発した。</p> <p>・この方法を廃棄物に適用し、規制からの事前許可なしで廃棄物を処分している。</p>	<p>・放射性廃棄物の物量を減少する。このことにより、全体的な効率を向上させ、コストを低減させる。(非放射性廃棄物の処分はコスト小である)</p> <p>・Code of practiceは産業界により開発されたが規制当局により承認されている。</p> <p>・IAEA ガイドンスとも整合的</p> <p>・性状把握プロセスの不確実性を除去。Code of practiceは単純なフローチャートと指示で構成されている。</p>	<p>・1Fの大部分の廃棄物はレベルの低い廃棄物であり、規制上、非放射性である可能性がある。</p> <p>・クリアランスはこれらの廃棄物が通常の産業廃棄物として処分されることを許す。潜在的には、処分場のキャップ構成材として利用されてもよい。</p> <p>・プロセスが単純であれば、規制当局の指示を得やすく、導入も早く進む。</p>
4	LLW management strategy	UK	<p>UK 政策NDA 戦略では、LLWRはLLWの高い側の処分場として利用される。</p> <p>・低い側の廃棄物は、VLLWとして産業 landfill 施設に送られる。</p>	<p>・処分への Graded Approachを可能にする。少ない人工バリアで、費用対効果のよい施設をVLLWに用いる。</p> <p>・LLWRサイトの利用、放射能の容量、寿命を最</p>	<p>・1F廃棄物の大部分はVLLWである。そして、規制を満足するための人工バリアシステムを必要としない。</p> <p>・VLLW 処分場はコスト小であり、建</p>

重要事例について、以下の追加調査を実施

- ・事例が成立した背景・根拠
- ・メリット
- ・デメリットと制限事項

1F固体廃棄物のニーズにどのように反映できるかリストを分類

⇒ 重要事例とその概要、メリット、1F適用時の予察検討

LLWR, SFRの重要事例リスト(1/3)

No.	重要事例	適用	概略
1	Inventory records and management system	UK	英国政府とNDAにより整備されたインベントリマネジメントシステム(UKRWI)。3年に一度の更新がなされる。廃棄物管理や処分計画サポートに利用される。
2	BPEO/BAT	UK	安全性, 環境防護, 技術実現性, 規制の許可, ファイナンシャルコスト等の要素を踏まえた意思決定のための系統的アプローチ。安全性と技術及びコストをバランスしつつ、廃棄物管理の最適化を推進することが意図されている。
3	Systematic process to achieve clearance	UK	測定困難な廃棄物を統計的に特性把握するための実務的方法(code of practice)と、これを用いてクリアランスを達成するための系統的アプローチ。同手法により、規制からの事前許可無しでの廃棄物処分を可能にしている。
4	LLW management strategy	UK	従来LLWRで処分していた廃棄物の大半を極低レベル廃棄物(VLLW)とし、一般産業廃棄物と同様の処分を行う事等により、LLWRの負荷を低減する、英国政府の廃棄物マネジメント戦略。
5	Disposability Assessment(DA)	UK	廃棄物や廃棄物パッケージが、廃棄体受け入れ基準に適合するかを確認する評価。操業中廃棄物やデコミ廃棄物への処理要求を決定する指標となり得る。
6	Limitation of short-lived nuclides	LLWR and SFR	全放射能に加え、半減期も考慮した廃棄物の区分。この区分に基づき、長期の制度的管理を前提とした、短半減期ILW浅地中処分の海外事例がある。
7	Development of WAC including for hazardous materials	LLWR and SFR	放射性物質だけでなく、環境に影響を与える、或いは処分に影響を与え得る化学物質に対する制限を含む、廃棄体受け入れ基準。

LLWR, SFRの重要事例リスト(2/3)

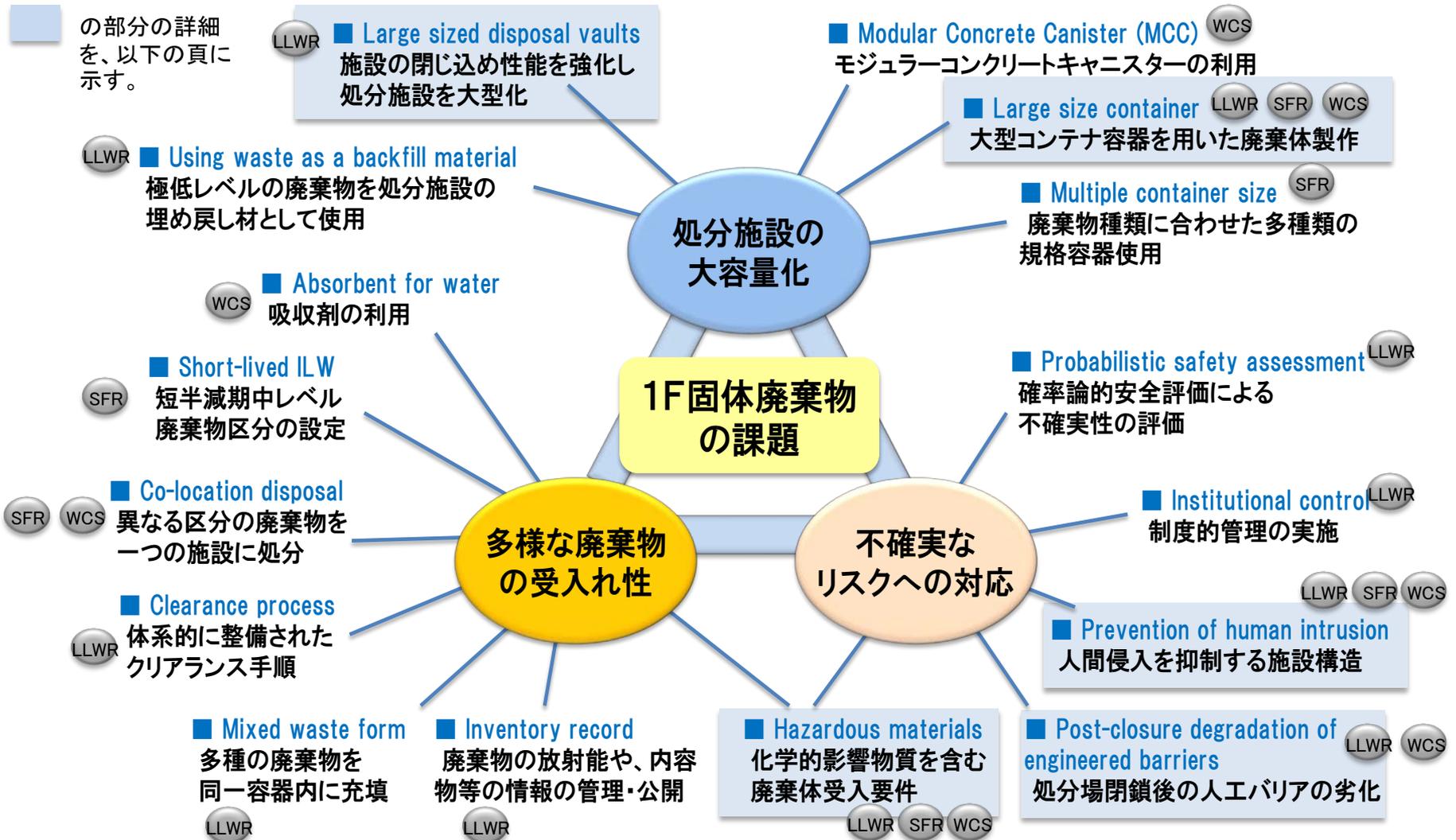
No.	重要事例	適用	概略
8	Large size container	LLWR	LLWRでは、廃棄物容器としてISOコンテナを使用しており、当該容器ごとグラウト固化することにより廃棄物が製作される。ISOコンテナの利用は、輸送効率、処分場での取り扱い、コスト等の面に優れる。
9	Overpacking of super-compacted waste drums	LLWR	LLWRでは、超圧縮機により圧縮されたドラム缶をISOコンテナへ収納している。超圧縮機の利用により、廃棄物容積を大幅に減少させる事ができる。
10	Using waste as a backfill material	LLWR	極低レベル放射性廃棄物等を、処分場の埋め戻し材として利用することが提言されている。最終的な廃棄物容量の低減効果が見込まれるが、性状のばらつき、プロセスの複雑さ等の理由により、英国における実施例は無い。
11	Multiple Container sizes	SFR	SFRで利用されている、異なる形状を有する廃棄物容器群。円筒形状のサイロの体積利用効率を向上させる。
12	Disposal of large items	LLWR and SFR	廃棄物容器に収納できない大型廃棄物に対して、容器収納せずに、直接処分場に固定化する処分方法。
13	Large sized disposal vaults	LLWR	多層バリア構造を有する大型のボルトタイプ処分場。処分容量の増加、及び処分効率の向上が見込まれる。
14	Prevention of human intrusion by capping	LLWR	岩石を敷き詰めた、生物侵入防止層を含む多層バリア構造のキャップ。安全評価上の、人間侵入シナリオにおける被ばく線量低減効果が見込まれる。
15	Prevention of human intrusion by location undersea	SFR	処分場を海底下に建設する事による、偶発的な人間侵入確率の低減。

LLWR, SFRの重要事例リスト(3/3)

No.	重要事例	適用	概略
16	Co-location of disposal concepts	SFR	サイトとボルトを併置することによる、VLLWから短半減期ILWまでの単一サイト処分概念。同じサイトとインフラを共用することにより、建設コスト低減が見込まれる。
17	Institutional control	LLWR and SFR	施設内進入防止、及び処分システムの監視による性能保障からなる制度的管理。長期の制度的管理により、長期間の人間侵入防止、及び短半減期核種の放射能減衰効果が見込まれる。
18	Process by agreement	UK	英国における、合意に基づく規制承認の段階的プロセス。正式な処分申請に先行して行う、規制当局との”早期の対話”を含む。
19	Generic disposal safety case	UK geological repository	サイトが特定する以前の包括的、一般的なセーフティケース。R&D項目の抽出や、処分可能性評価のために利用される。
20	Insight modelling	UK	感度解析、バウンディング解析の為の、予察的、簡易的安全評価モデル。処分に関する重要パラメータの特定等に利用される。
21	Long-term climate change modelling	LLWR and SFR	浅地中処分に対する沿岸部浸食影響の定量化等を含む、長期の気候変動による影響評価。大きな気候変動が予測されるサイトの安全評価に係る。
22	Post-closure degradation of engineered barriers	LLWR and SFR	人工バリアの劣化を考慮した、経時的変化を伴うパラメータを利用した安全評価。制度的管理期間終了後の、バリア性能瞬時喪失といった、過度に保守的な想定を回避する効果が見込まれる。

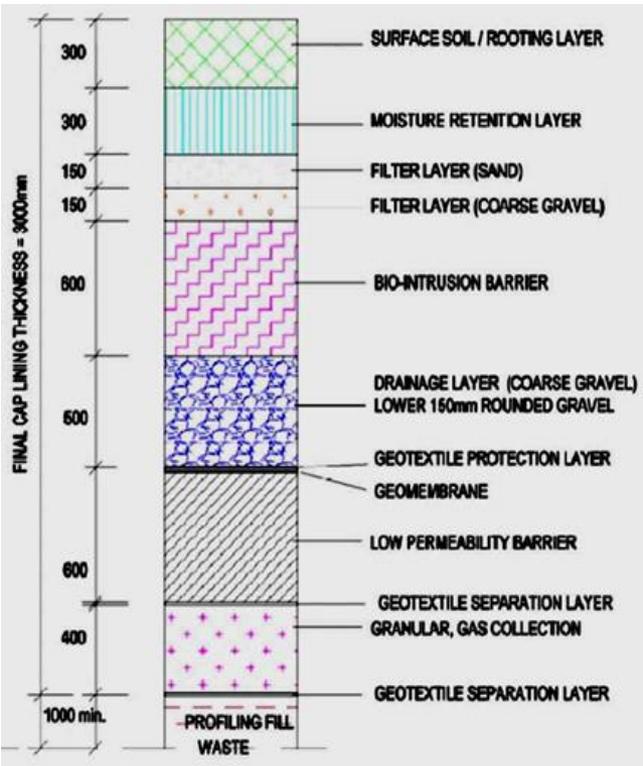
重要事例の抽出

< 着目した重要事例と1Fニーズへの反映例 >



重要事例の背景調査

キャップシステムの構成

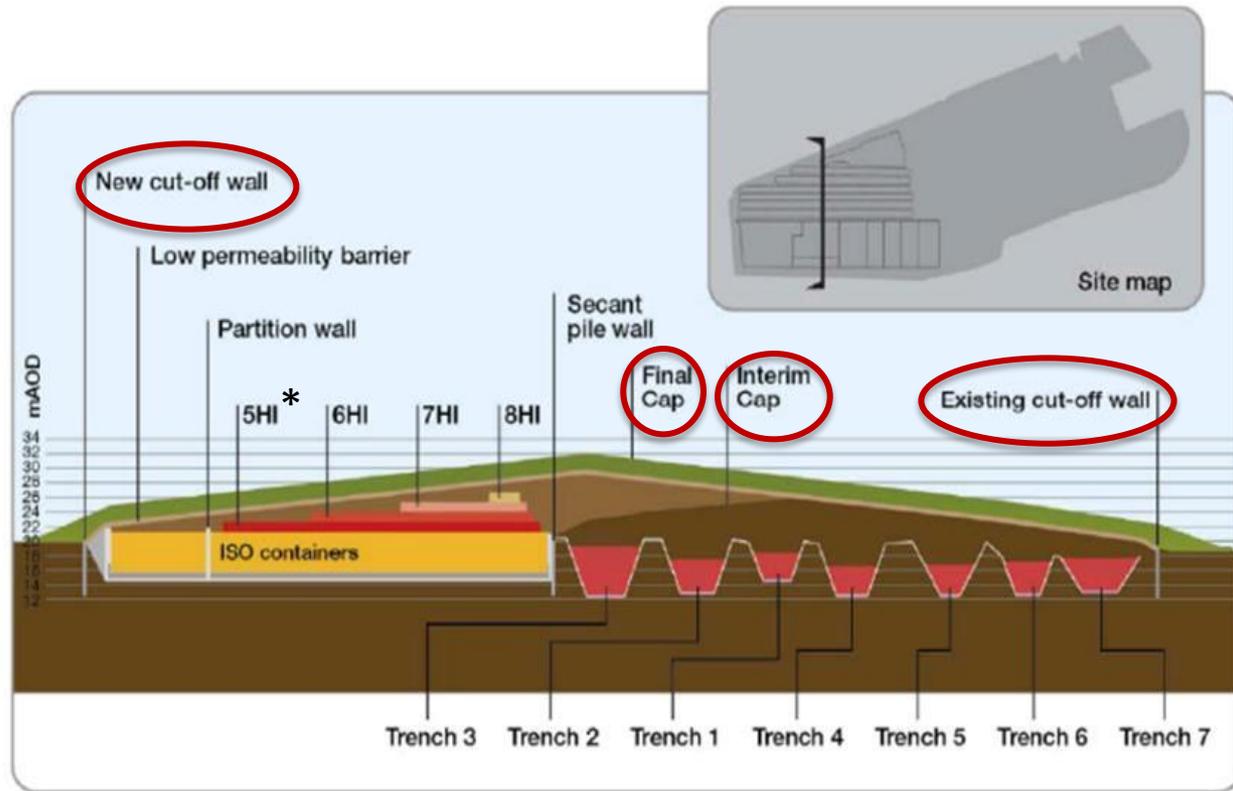


Large sized disposal vaults 施設の閉じ込め性能を強化し処分施設を大型化



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)



* HI.....ISOコンテナの段積み数

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

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を上げる対策をとっている。



米国 WCS

- ・テキサス州規則により、不用意な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。

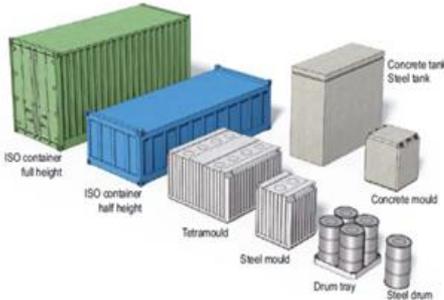


スウェーデン SFR

- ・沿岸海底立地により、人間侵入を阻止。
- ・1000年間の隆起を想定し、隆起後も海底下になるよう、海底下60 mに施設を建設。



大規模処分場の利用、かつ大型容器の利用により収納効率を向上

	LLWR	SFR	WCS
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)
固化剤	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。	サイロ内に入れられた容器はセメント固化される。	MCCは1段毎に砂か土壌で埋められる。

重要事例の 背景調査

■ Large size container 大型コンテナ容器を用いた廃棄体製作

LLWR

SFR

WCS

・コンテナ容器固化時には、整流器を下部に配置したグラウト注入口を用い、コンテナを傾斜させることで均質性を確保する。

・パイプの内部などはグラウトが入り込まず、ボイド (small-bore) となる場合もある。

・異なる性状の廃棄物が混合され、廃棄体となるが、各廃棄物は発生初期段階からインベントリがUKRWI(英国放射性廃棄物インベントリ)により管理されているため、混合廃棄体のインベントリも把握されている。

・大型容器を使用する場合、小型容器を利用するよりも、均質固化が困難であり、技術的課題があると考えられる。

・大型容器の場合、現在国内で主に用いられている小型廃棄体用の測定装置を用いた測定、インベントリの決定法をそのまま適用することは困難である。

大型容器を利用するには、

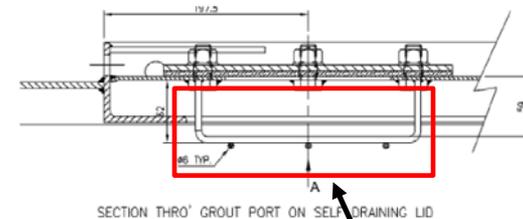
- ・均質な固化体を製作する技術
- ・廃棄体中のインベントリの決定手法
が必要となる。



固化済みコンテナの切断

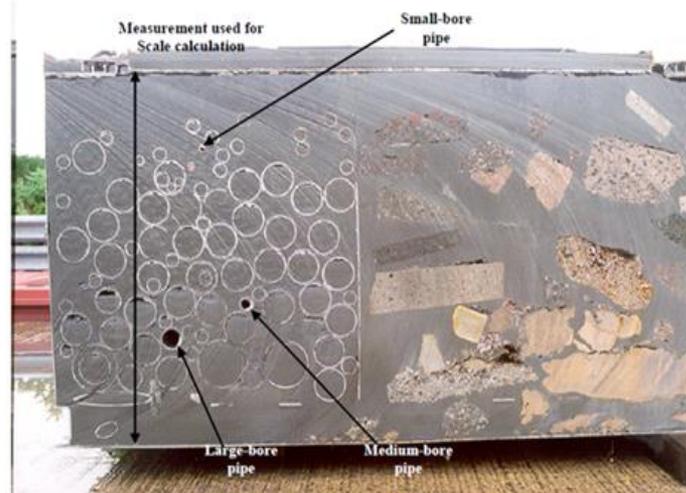
NNL 10694
Issue 3.0

グラウト注入口



整流器 (バツフル)

NNL 10694
Issue 3.0



パイプを含むコンテナの断面

- ・劣化を考慮することで、不確実性を過度に保守的に取り扱うことを回避。
- ・多くのセーフティケースでは、制度的管理期間の終了後、人工バリアの閉じ込め機能が劣化する評価を行っている。(制度的管理期間中は、バリアに対する深刻な欠陥/劣化が修復され、人工バリアの性能が維持されるという前提。)
- ・但し、その評価方法は、国によって大きな違いがある。
- ・LLWR、SFRでは人工バリアの閉じ込め性能は緩やかに劣化すると評価している。

人工バリアの閉じ込め性能劣化に対する国内外の評価の比較

国内(既存事例)	英国	スウェーデン	米国
・既存設備の透水性が埋設直後から砂程度に劣化したものと想定した評価を行う。	・水理パラメータの確率分布関数(pdf)を定め、経時変化を考慮した確率論的評価を行う。	・施設閉鎖後1000年間の閉じ込めを目標とする。 ・経時変化を考慮した異なるパラメータを使用し、決定論的評価を行う。	・コンクリート容器の構造は300年保たれるが、長期(5万年)の評価期間に比べて短く、したがって長期安全評価ではコンクリートの閉じ込め機能は考慮しない。

英国LLWRにおける人工バリアの確率論的水理パラメータ（2011ESC）

水理パラメータ	時点 (西暦)	パーセンタイル					
		0	5	15	50	95	100
コンテナ内の透水係数 (m/s)	設置時	10^{-9}			10^{-6}		10^{-4}
コンテナ間の隙間の透 水係数 (m/s)	設置時	10^{-5}			10^{-4}		10^{-3}
ボルトの透水係数 (m/s)	7000年	10^{-9}			10^{-6}		10^{-4}
キャップの浸透速度 (mm/yr)	建設時	0.0003	0.3		1		3
	2180年	0.003	3		10	30	50
	3180年	3		90	200	450	750
遮水壁の透水係数 (m/s)	建設時, 2180年	10^{-10}			10^{-9}		10^{-8}
	3180年	10^{-9}			3×10^{-8}		10^{-6}
	7000年	10^{-8}			10^{-7}		10^{-5}

- ・これらのパラメータは、英国におけるExpert elicitationにより導出した。
- ・バリアの多くは複合システムであり、例えばボルトの基礎は、ジオメンブレン、ベントナイト、コンクリートからなる。

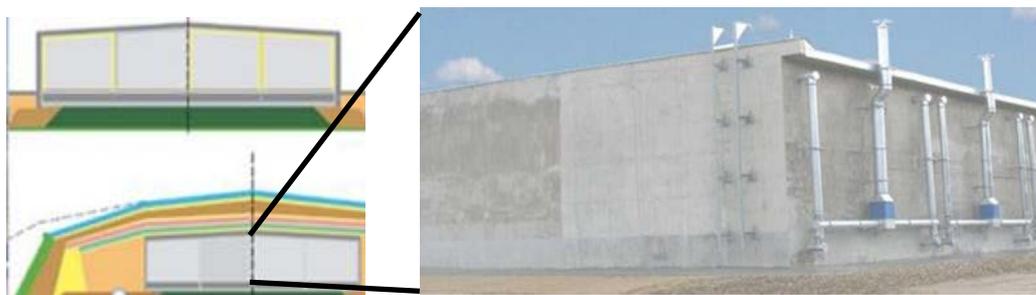
国内外の処分影響物質

課題	国内	英国	米国
①核種移行に 影響を与える物質	<ul style="list-style-type: none"> ・キレート剤 ・有機物(セルロース) ・ゴム類 	<ul style="list-style-type: none"> ・無機リン酸塩 ・有機リン酸塩 ・カルボン酸とポリカルボン酸 ・アミノポリカルボン酸 (EDTA, NTA, DTPA) 	<ul style="list-style-type: none"> ・液体 (容器中1%に制限される)
②バリア性能に 影響を与える物質	<ul style="list-style-type: none"> ・可溶性塩 NaCl, Na₂SO₄, NaNO₃ 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査中 	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物 (有機物総含有量5%に制限される。ただしMCCに入れる場合は制限しない)
備考	<p>硫酸塩:セメントなどと反応することで、閉じ込め性能を低下させる。 塩:ベントナイト透水係数が大きくなる。</p>	<p>最新の知見では、イソサッカリン酸等の影響は小さいと結論されている。(LLWRの処分場環境はpH11であり、微生物活動で有機物が分解)</p>	<p>液体は固化されるか、容器内に、液体の2倍の体積の吸収剤を入れることが要求される。</p>

<事例紹介>

～ロシア処分場の事例(NZK型処分施設*1)～

- ロシアで現在計画中の、低レベル固体廃棄物、および短寿命中レベル固体廃棄物用の新型浅地中処分場。
- 20個の独立モジュールに分割されており、廃棄物を取り出す可能性を残したまま、廃棄物を長期保管(50年)することができる。
- 廃棄物は長寿命鉄筋コンクリート容器(NZK-150-1.5P)に梱包され、特殊な非収縮性コンクリート混合物によって気密的に固化される。
- ファイナルキャップに用いられる多層防護コーティングには、コンクリート、砕石、粘土、ジオテクスタイル、ジオメンブレン、沈泥、砂、表土からできている生物学的バリア及び対ろ過スクリーンが含まれる。



地表近くの新型処分施設の計画(NZK型)



ロシア処分場についてはH30年度に詳細に検討

*1 現在計画中の新型浅地中処分場(New-type Near-surface disposal facility)

調査結果まとめ

- 3つの海外処分場に関する事例調査を実施
⇒ 11項目について網羅的な調査を完了
- 国内既往事例との比較、1F廃棄物ニーズを考慮して重要事例リストを作成
⇒ 22事例のリストを作成
- 重要事例が成立した背景調査を実施するとともに、1Fニーズへの反映案を検討
⇒ H30年度に重要事例の1F適用性について検討

2018年度までの調査・検討計画

項目	2017年度 (H29年度)				2018年度 (H30年度)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
1. 諸外国の処分概念および安全評価手法に関する調査								
(1) 処分概念の構築手法に関する調査	ジェネリックセーフティーケースの要件調査							
(2) 処分概念および安全評価手法に関する調査	網羅的調査+重要事例の背景調査				深掘り調査			
2. 国内外の調査結果に基づく検討								
(1) 国内の処分概念および安全評価手法の整理	国内事例調査							
(2) 重要事例の抽出								
(3) 調査課題の検討								
3. 安全かつ合理的な処分概念および安全評価手法の検討								
(1) 福島第一発電所固体廃棄物の特徴の整理								
(2) 諸外国の重要事例の適用性の検討								
(3) 安全かつ合理的な処分概念および安全評価手法の検討								

ジェネリックセーフティーケースの要件調査

網羅的調査+重要事例の背景調査

深掘り調査

調査フィードバック

国内事例調査

調査フィードバック

調査フィードバック

調査フィードバック

5. 研究開発成果の統合（廃棄物ストリームの検討）

報告内容

- 実施計画と実施概要
- 研究成果の取り込結果
 - 廃棄物毎のインプット整理表の作成例と効果
 - 処理フローの絞り込みの例
- 廃棄物ストリームの統合結果
- 廃棄物ストリームの検討 まとめ

実施計画と実施概要

年度	実施計画	目標とする指標
H29	<ul style="list-style-type: none"> 平成28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。
H30	<ul style="list-style-type: none"> 平成29年度で得られる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。

■ 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の構築を試行した(図)。
- 対象とする廃棄物の網羅性を確保するため、1Fの全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、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。

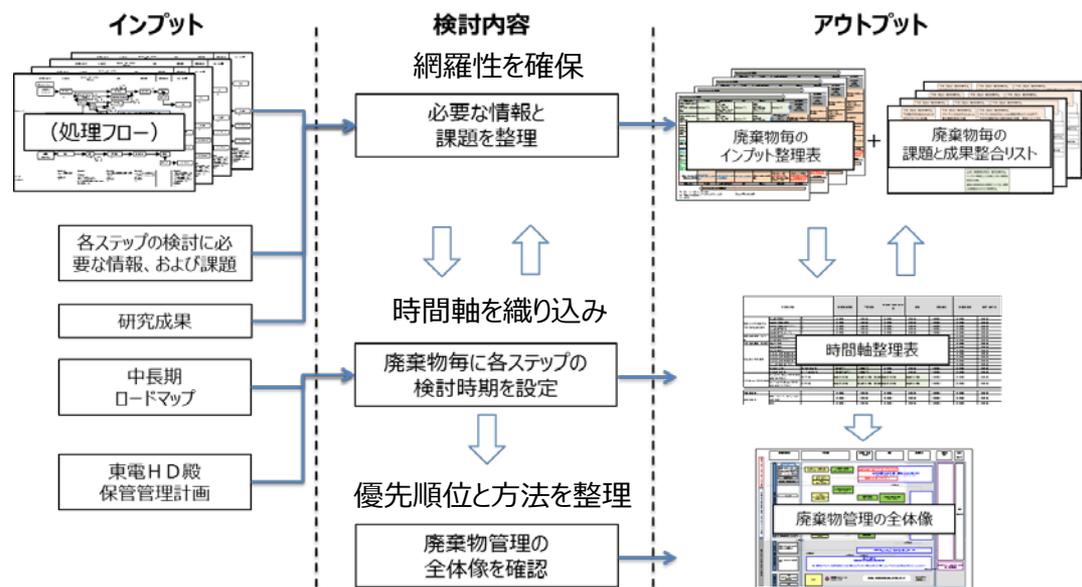


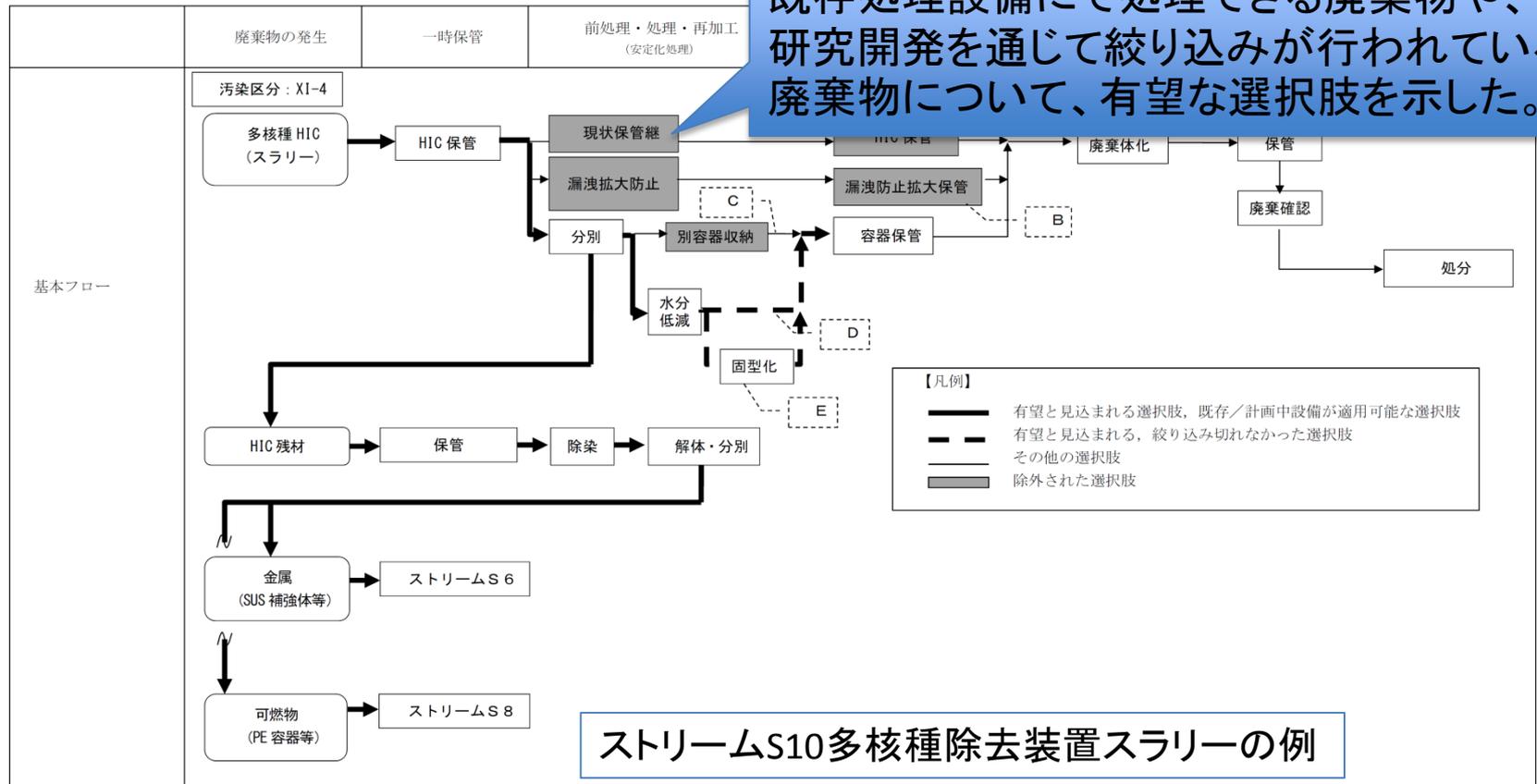
図 廃棄物ストリーム検討の全体像

研究成果の取り込み結果

< 処理フローの絞り込みの例 >

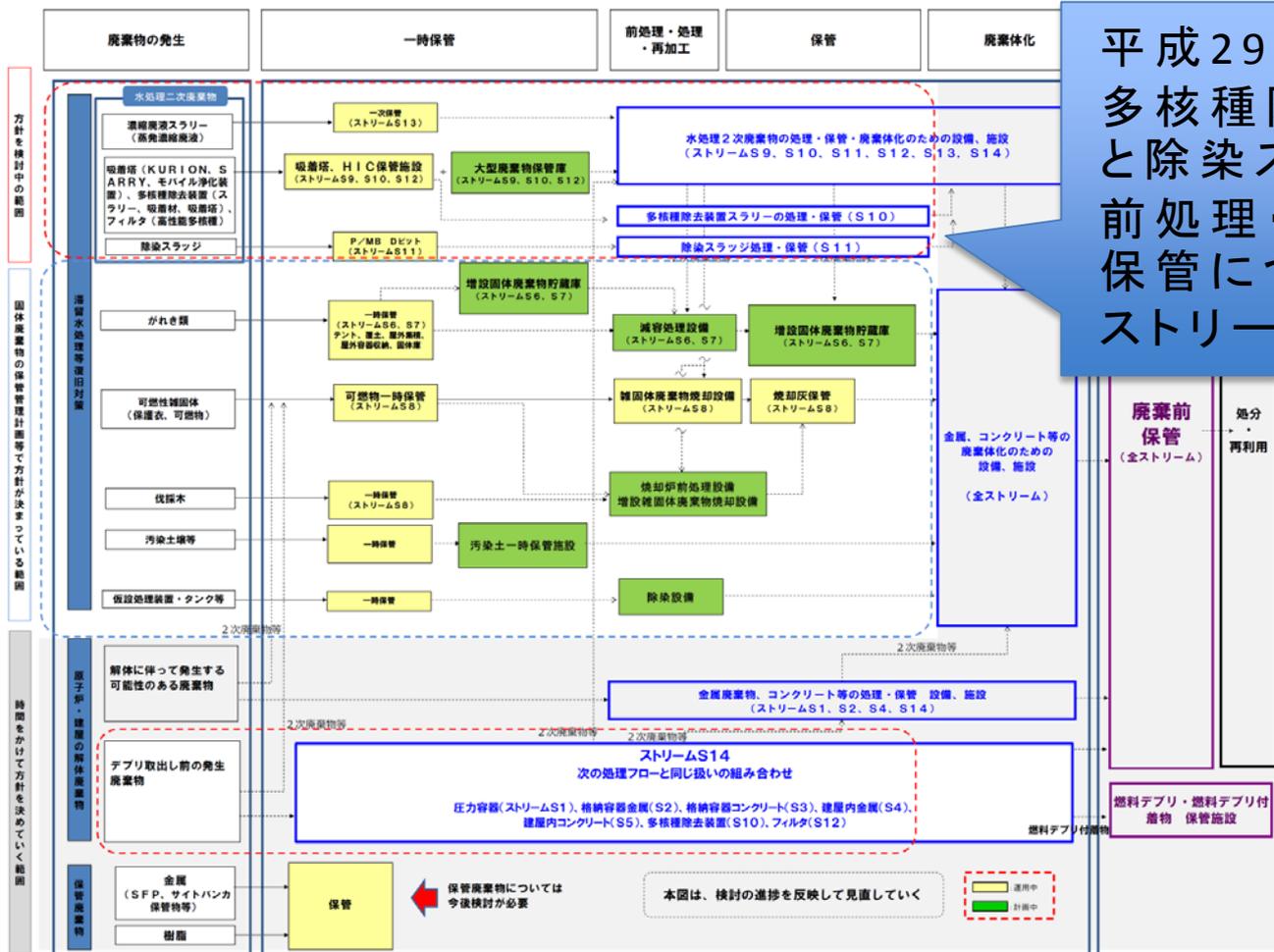
必要な情報と課題を整理するため、
 インput整理表で整理した情報に基づき、絞り込みの進捗を確認

既存処理設備にて処理できる廃棄物や、
 研究開発を通じて絞り込みが行われている
 廃棄物について、有望な選択肢を示した。



廃棄物ストリームへの統合結果

廃棄物管理の全体像を確認するため、
絞り込んだ処理フローを廃棄物ストリームとして統合



平成29年度は、
多核種除去装置スラリー
と除染スラッジの
前処理・処理・再加工と
保管について
ストリームを更新

廃棄物ストリームの検討 まとめ

廃棄物		
ストリーム S1	圧力容器	原廃棄物の仕様(デブ 一時保管容器の仕様) る必要がある。
ストリーム S2	格納容器金属	原廃棄物の仕様(デブ 一時保管容器の仕様) る必要がある。
ストリーム S3	格納容器コンクリート	原廃棄物の仕様(デブ や一時保管容器の
ストリーム S4	建屋内金属	原廃棄物の仕様(含有物、放射能濃度、解体工法に伴った廃棄物形状等)や一時保管容器の仕様の情報等から、前処理・処理・再加工の処理方法(除染や減容、再加工)を検討する必要がある。
ストリーム S5	建屋内コンクリート	原廃棄物の仕様(含有物、放射能濃度、解体工法に伴った廃棄物形状等)や一時保管容器の仕様の情報等から、処理方法(除染や減容、再加工)を検討する必要がある。
ストリーム S6	瓦礫金属	細断による減容処理の計画が進められている。
ストリーム S7	瓦礫コンクリート	破砕による減容処理の計画が進められている。
ストリーム S8	可燃物	伐採木に関しては、減容処理を行っている。保護具に関しては、焼却処理を実施中である。

個別廃棄物毎の研究開発状況と
絞り込みについて確認した。
今後、研究開発を通じて得られる
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
していく計画

6. 実績スケジュール及び体制

実績スケジュール 1/3

平成29年度 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発 実施スケジュール

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ア. 性状把握													
i) 分析データの取得・管理等													
①汚染分布の把握													
・分析計画の立案		年度分析計画検討		中長期計画検討								次年度計画検討	
・試料採取と輸送							(10/4)	(11/21)	(12/15)	(追加;11/10)	(追加;3/29)		
・分析の実施		報告											
・分析データに基づく廃棄物分類の検討		* 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。											
		検討	まとめ										
		* 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													
・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		セシウム吸着塔吸着材の採取設備具体的検討							まとめ		
(第二セシウム吸着塔吸着材の採取)		検討計画立案		第二セシウム吸着塔吸着材の採取設備具体的検討							まとめ		
(除染装置スラッジの採取)		調査計画立案		Dピット周辺及び内部調査				サンプリング器具製作及び工事計画策定					
・原子炉建屋内試料等の採取方法の検討		検討計画立案		建屋内試料の採取目的等検討			周辺状況等の整理				まとめ		

実績スケジュール 2/3

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29年度												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
③分析方法の効率化 ・汚染核種の移行挙動と汚染機構の検討 ・分析データの代表性に関する検討 ・分析対象核種の再選定 ・分析法合理化					汚染機構の検討							▽まとめ		▽
									▽データ代表性の検討			▽まとめ		▽
		核種検討		▽	* 分析計画と並行して検討を進め、計画に反映する。									
					合理化の観点				▽分析法合理化の検討			▽技術開発計画検討		▽
④分析データの管理 ・分析データベースの構築 ・廃棄物データの整理・更新			仕様検討						データベースの作成				運用・課題抽出	▽
				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 ・基礎データの収集			計画検討						精度向上の検討・手法の整備				まとめ	▽
				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		H29実施対象外												
iv) 処分影響物質等への対応 ・国内外の実例調査 ・処分安全への影響検討			計画検討						実例の調査				まとめ	▽
			計画検討						性能への影響を表す指標と定量評価方法の検討				まとめ	▽

実績スケジュール 3/3

実施内容	凡例 青:計画 赤:実績	平成29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		計画検討			保管時の水素管理に関する海外知見の調査							まとめ	
・水素発生への対策(国外の実例調査)													
・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瓦礫類の調査							まとめ	
・セシウム吸着塔の管理方法(JAEA)				試験条件検討・準備			実規模試験体を用いた試験					管理方法検討・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			ガラス固化基礎試験							まとめ	
・除染装置スラッジの安定化検討		試験計画立案			流動特性基礎試験							実証試験計画策定	
iii)廃棄物量の低減に関する技術の検討							α 汚染等の測定・評価技術の検討 ^(注1)					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					まとめ	
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	

注1) 当初は平成30年度実施計画であったが、前倒しで実施。

東京電力ホールディングス株式会社

- 開発調整(①～④)

研究連携のための東電側担当者
・福島第一廃炉推進カンパニー
廃棄物対策グループ

プロジェクト計画部

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

- 全体計画の策定と技術統括(①～⑤)
- 技術開発の進捗などの技術管理(①～⑤)
- 技術開発の実施に係る調整(①～⑤)

実施体制表 (平成29年度)

*公募等により決定

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構

- 技術開発総括(①～③)
- 開発実施(①～④)
- 運営補助(⑤)

日立GEニュークリア・
エナジー 株式会社

- 開発実施(①～④)

東芝エネルギーシス
テムズ株式会社

- 開発実施(①～④)

三菱重工業株式会社

- 開発実施(①,②,④)

株式会社 アトックス

- 開発実施(①,②,③)

(株)日立製作所(①)*
放射線測定機器の点検校正

(株)千代田テクノ(①)*
APDの点検校正

(株)日立製作所(①)*
GM測定装置の点検校正

(株)日立物流(①)*
分析試料の福島第一原子力発電所から分析施設への輸送

(株)日立物流(①)*
福島第一原発分析試料の輸送

(株)アシマ(①)*
バックエンド技術開発建家関連施設運
転保守業務請負契約

三菱マテリアルテクノ(株)(①)*
バックエンド技術開発建家受電設備点
検整備作業

三菱マテリアルテクノ(株)(①)*
バックエンド技術開発建家計装設備点
検整備作業

日進技研(株)(①)*
バックエンド技術開発建家高性能エア
フィルタ装置総合補修効率測定作業

(株)アセンド(①)*
福島汚染水処理二次廃棄物の性状調
査に係る分析・試験に関する業務請負

東京パワーテクノロジー(株)(①)*
廃棄物リスト更新に関する情報整理
作業の助成

日揮(株)(①,③)*
・諸外国の処分影響物質等の廃棄物
受け入れ基準等に関わる実例調査
・諸外国の合理的な処分方法に関す
る調査の助勢

検査開発(株)(①)*
福島汚染水及び汚染水処理二次廃棄物
に関するβ核種分析及び結果集約に係る
業務請負契約

(株)アート科学(①)*
風速計の校正

日本核燃料開発(株)(①)*
汚染水および水処理二次廃棄物の分析

(株)E&Eテクノサービス(①)*
1Fサンプルの汚染分布評価に係る試験
業務

(株)シンクロソフト(①)*
福島第一廃棄物に関する分析データベ
ースの設計・試作

電力中央研究所(①)
解析的評価手法の精度向上に関する検
討

AECOM E&C UK Limited(②,③)*
・海外(英国、米国等)における水素ガ
ス評価手法及び保管要件調査
・処分概念及び安全評価手法に関する
海外(英国、米国等)知見の調査

ココヨ(株)(⑤)
資料・データ整理

三菱マテリアル(株)(①)*
廃ゼオライト中のインベントリ評価に向
けた核種収着挙動に関するデータ取
得

東京ニュークリア・サービス(株)(①)*
異なる液性条件下での核種の吸着材
への収着に関する基礎データの取得

三菱マテリアル(株)(①)*
事故廃棄物の影響因子と影響伝播及
び核種移行パラメータ設定に関する調
査(II)

英国NNL(②)
廃棄物管理(水素ガス発生)に関する研
究

(株)アセンド(②)*
SARRY試験体を用いた塩分濃縮挙動
の実規模試験作業

株式会社かんでんエンジニアリング(①)*
サンプリング治具の設計・製作

MHIニュークリアシステムズ・ソリューションエンジ
アリング(株)(①)
モックアップ試験補助

太平電業株式会社(①)
現場調査補助

ANADEC社(②)
スラッジ流動性確認試験

(株)AREVA ATOX D&D
SOLUTIONS(①)
高線量水処理二次廃棄物試料の採取
方法の検討

(株)AREVA ATOX D&D
SOLUTIONS(②)
水素ガス発生評価手法や発生する水
素に関わるイベント等の要件に関する詳
細調査

株式会社キュリオンジャパン(②)
ガラス固化基礎試験

【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