

東京工業大学廃止措置技術・人材育成フォーラム／IRIDスモールワークショップ

福島第一原発事故廃棄物の処理・処分研究

2017年1月20日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

／国立研究開発法人 日本原子力開発機構(JAEA)

廃棄物処理処分ディビジョン 廃棄物処分技術開発グループ リーダー

大井 貴夫

本件は、経済産業省／平成26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）」で得られたものの一部を含む。

内容

1. 研究開発の目的
2. 放射性廃棄物対策の全体概要
3. 福島第一事故廃棄物の特徴
4. 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
5. 研究開発の進め方
6. 研究開発の現状
7. 今後の課題

1. 研究開発の目的

本研究は、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に資する技術の開発を支援する事業を行うことで、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、我が国の科学技術の水準向上を図ることを目的とする。

東京電力福島第一原子力発電所の事故により発生した事故廃棄物は、破損した燃料に由来した放射性核種を含んでいること、津波や事故直後の炉心冷却に起因する海水成分を含む可能性があること、高線量であり、汚染のレベルが多岐にわたりその物量も大きいこと等、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物と異なる特徴がある。このため「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」においては、これらを安全に処理・処分するために必要とされる研究開発を実施する。

平成26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)」中間報告 平成28年4月

2. 放射性廃棄物対策の全体概要

中長期ロードマップ(平成27年6月12日改訂)

4-5. 廃棄物対策

(2) 処理・処分

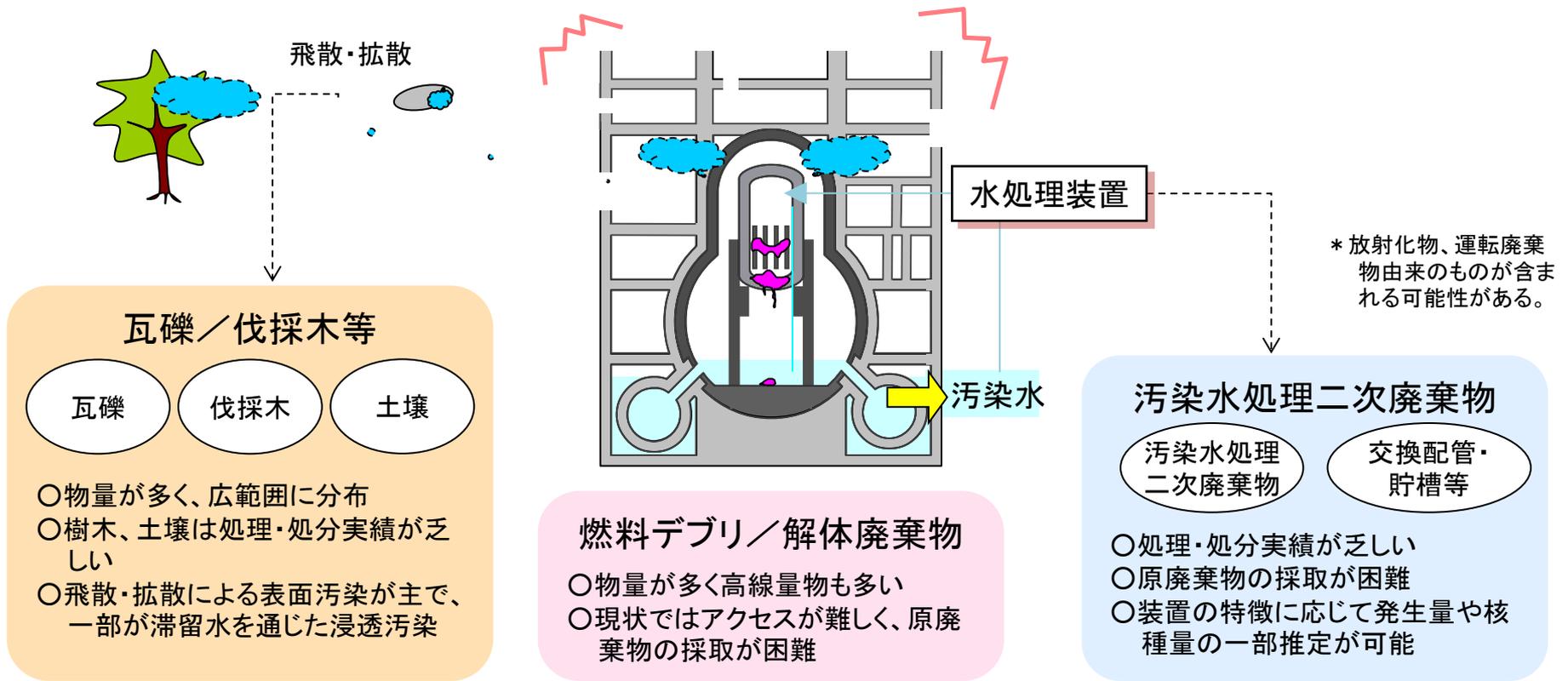
固体廃棄物の性状把握、幅広く抽出した処理・処分技術の適用性の検討、難測定核種等の分析手法やインベントリ評価技術の開発等を実施し、原子力規制委員会の意見も聴きつつ、2017年度(平成29年度)内に、「廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方」を取りまとめる。

その上で、現在設計を行っている放射性物質分析・研究施設を活用し、固体廃棄物の性状把握等を通じた研究開発を加速し、2021年度(平成33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得る。

平成26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)」中間報告 平成28年4月

3. 福島第一事故廃棄物の特徴

- ◆ 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)



平成26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)」中間報告 平成28年4月

4. 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発

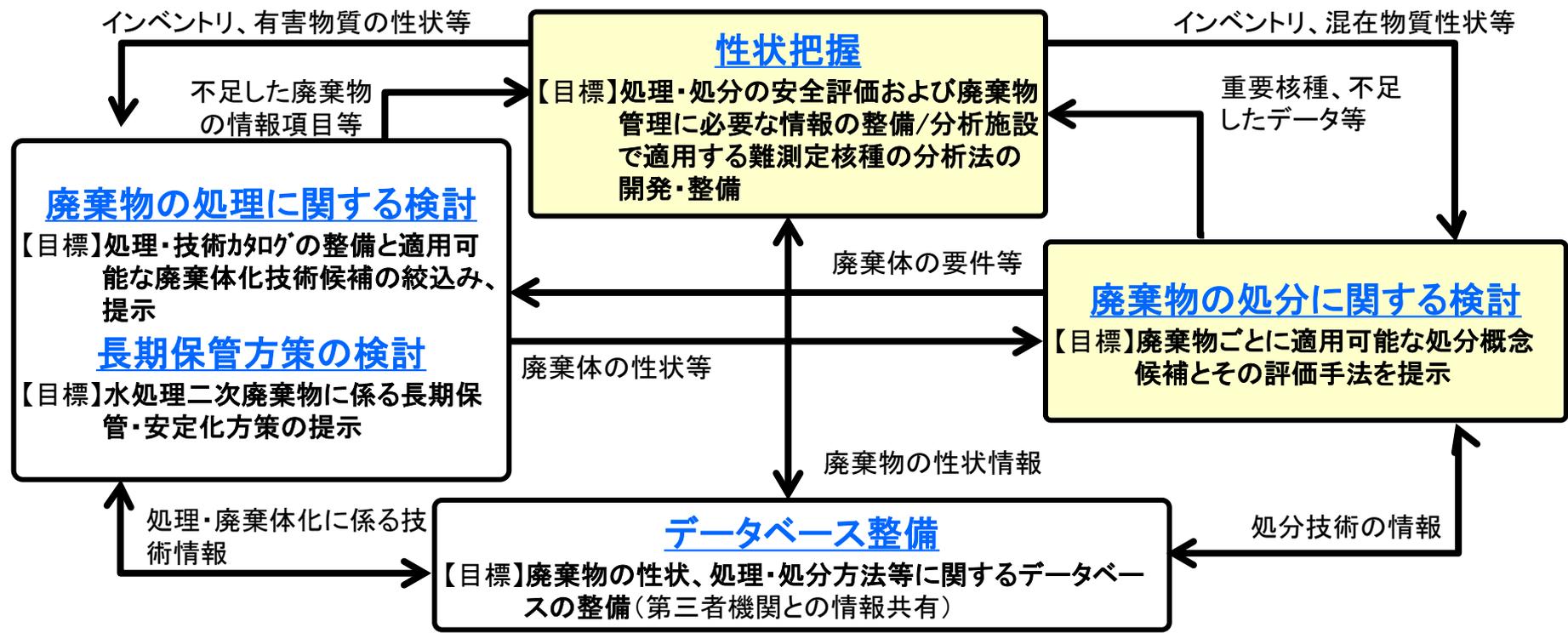
廃棄物ストリームに関する検討

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

処理・処分等に関する技術情報(前提条件を含む)、政策・制度等に係る情報

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

個別研究開発項目(廃棄物ストリームの構築に必要な知見を与える基盤研究開発)



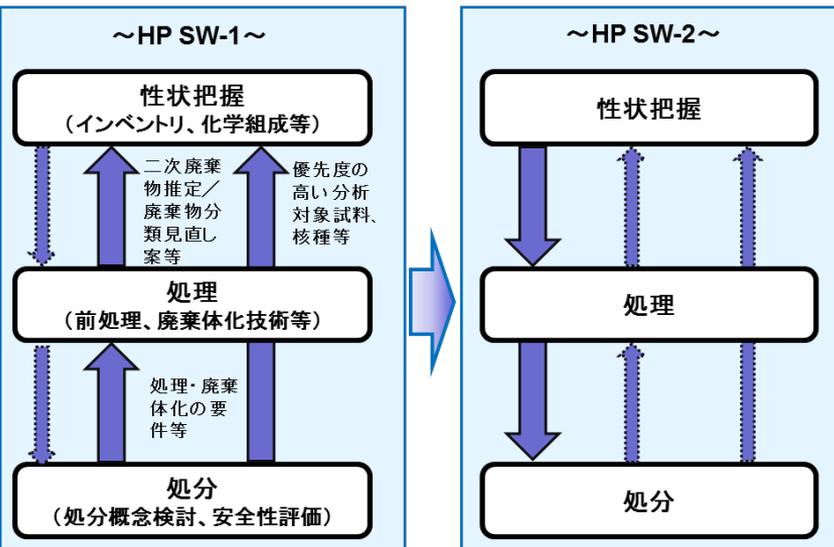
5. 研究開発の進め方

福島第一事故廃棄物

廃止措置等に向けた作業・研究の進展、情報の拡充

特徴

- ・ 発生状況： 事故によりコントロールできない状態で発生。
- ・ 性状： 現時点では性状に関する情報が限定的。
- ・ 処理技術： 処理実績のない廃棄物が多く、技術の検討が必要。
- ・ 処分技術： 処分実績のない廃棄物が多く、技術の検討が必要。
- ・ 規制： 整備されていない。



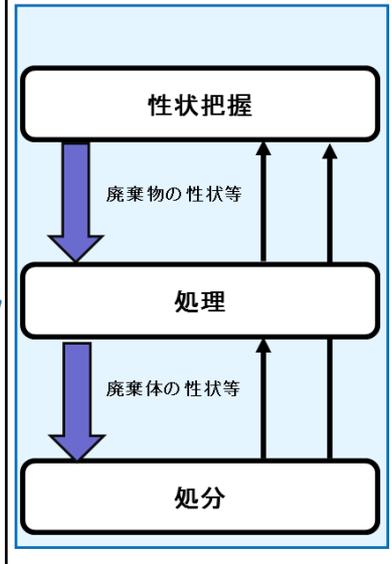
性状に関する情報量増加、精度向上

処理技術、処分概念の段階的な絞り込み

原子力発電所から発生する通常の放射性廃棄物

特徴

- ・ 発生状況： コントロールされている。
- ・ 性状： 把握されている。
- ・ 処理技術： 適用技術あり。
- ・ 処分技術： 適用技術あり。
- ・ 規制： ほぼ整備されている。



- ↓ : 廃棄物・廃棄体の性状に関する情報の流れの量及び精度
- ↑ : 処理・処分からのフィードバックの相対的な重要性

[検討方法]

データの蓄積を待つことなく、これまで蓄積された処理処分の技術や知識を用いて廃棄物の処理処分方法を幅広く評価し、廃棄物の性状把握の進展に合わせてそれらを繰り返し実施し、処理・処分方策を絞り込んでいく。

処理・処分の検討を効率的に進めるためには性状に関する情報が必要不可欠



"Chicken or the egg problem"

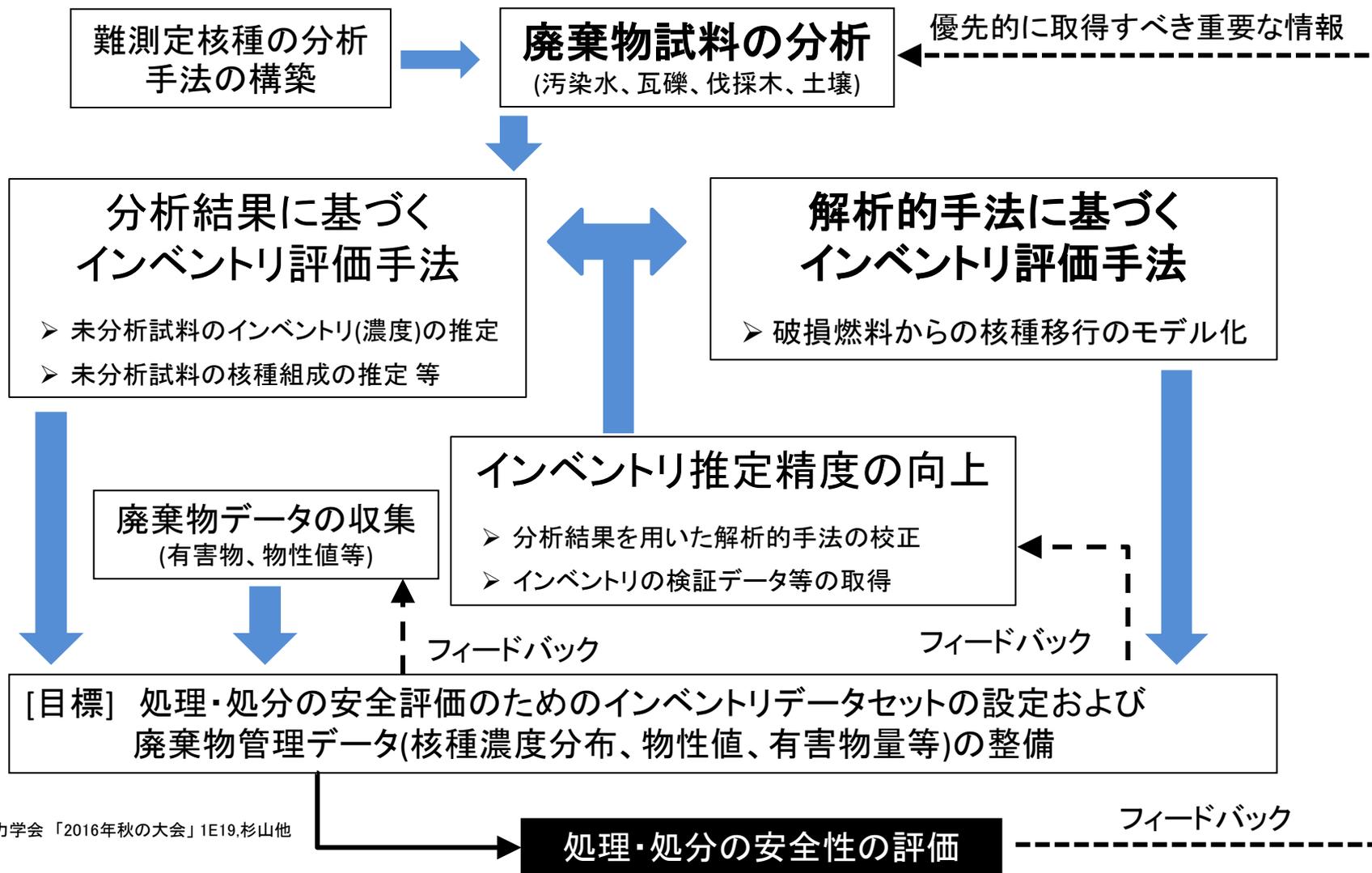
日本原子力学会「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会 平成25年度報告書 図2-2」

不確実性を認識した上での検討からスタート、その不確実性に対して如何に取り組み、どのように処理するか？

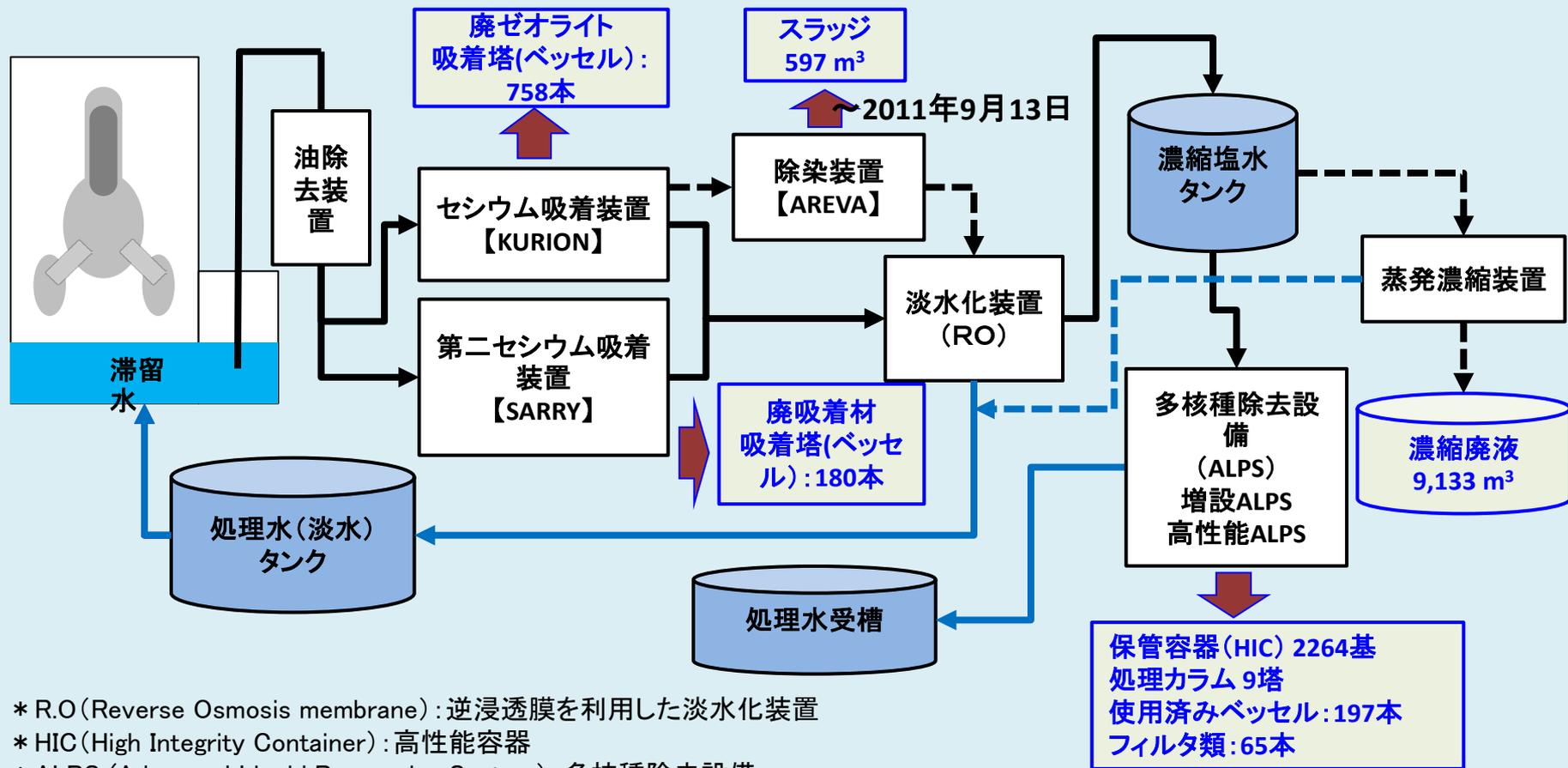
性状把握に関する検討を効率的に進めるためには、処理、処分からのフィードバック情報(重要物質、核種)が必要

6. 研究開発の現状

性状把握



汚染水処理システムのフロー



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

東京電力株式会社、“特定原子力施設の設計、設備”、福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画、“平成25年8月14日認可。 <http://www.nsr.go.jp/activity/erathquake/25/08/0814-1.html>

物量情報

福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について(第286報)(2017.1.13時点)より <http://www.tepco.co.jp/press/release/2017/pdf1/170113j0101.pdf>

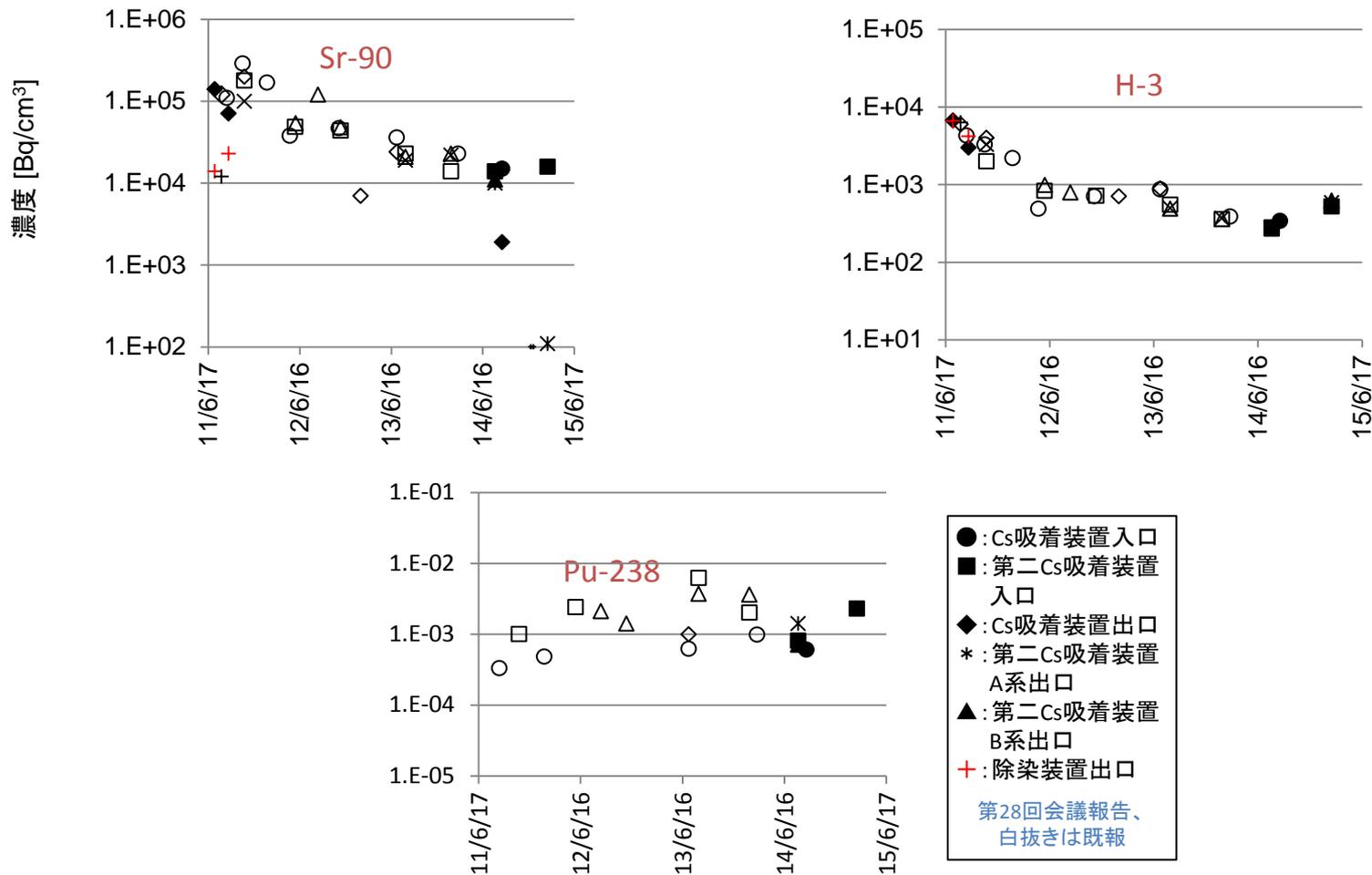


図1 汚染水（滞留水とセシウム吸着処理水）中の主な核種濃度の変化

* 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第20回 平成27年7月30日、第28回 平成28年3月31日)にて報告。

瓦礫の分析

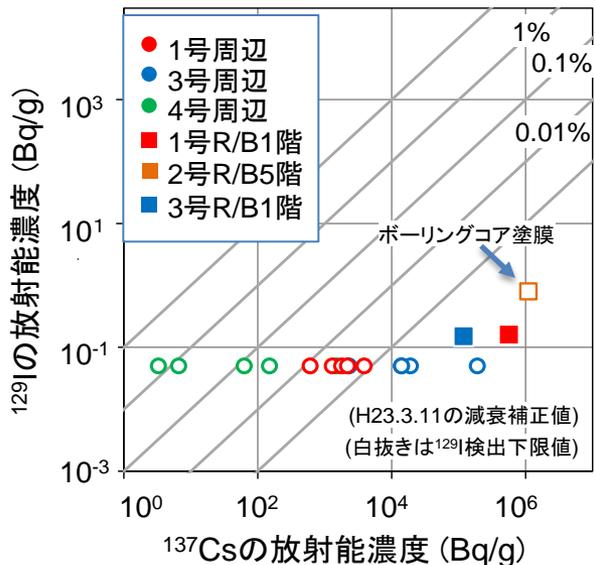


表1 原子炉建屋の内外で採取された瓦礫に係る輸送比*

ユニット	採取場所	³ H	¹⁴ C	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr
1号機	建屋周辺	0.042 (5) ^{*2}	290 ^{*3} (1)	2.6 (2)	0.0046 (5)
	建屋内	0.035 (5)	260 (5)	1.2 (3)	0.0044 (3)
	建屋内(塗膜)	<0.37 (0) ^{*4}	<1,600 (0)	<350 (0)	0.0030 (1)
2号機	建屋内(塗膜)	0.058 (2)	23 (1)	<19 (0)	0.014 (1)
3号機	建屋周辺	0.011 (5)	<33 (4)	2.6 (4)	0.00012 (5)
	建屋内	0.014 (4)	<18 (2)	<2.3 (2)	0.0012 (3)
4号機	建屋周辺	27 (5)	<2.2×10 ⁵ (4)	<560 (1)	<0.0013 (2)
	建屋内 ^{*1}			5.2×10 ⁷ (2)	

*1 燃料プールの砂礫と小石.

*2 検出数.

*3 検出された試料の他に、より検出限界が低い試料がある.

*4 不検出のうち、最も小さい値.

図2 瓦礫(コンクリート、保温材、床塗膜)中の主な核種濃度の変化

* 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第22回 平成27年10月1日)にて報告。

輸送比(T_X)*

元素Xが核燃料 (fuel) 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たもの。

$$T_X = \frac{N_{X,\text{sample}} / N_{X,\text{fuel}}}{N_{\text{std},\text{sample}} / N_{\text{std},\text{fuel}}}$$

N : 原子数、
X : 対象核種、
std : 基準とする核種 (¹³⁷Cs)

【H27年3月までの水分析結果/瓦礫等分析結果のとりまとめ】

◆ 原子力機構技術報告書 (JAEA-Data/Code 2014-016) の公開

- 対象期間: ~平成26年3月31日までの公開情報
- データ数

✓ 水分析結果

・JAEA分析結果: 25件/東京電力分析結果: 313件

・インベントリ評価に係るデータ

(汚染水処理に係る二次廃棄物: 吸着材、スラッジ): 143報*

* 福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵および処理の状況について第0報~第194報



◆ 原子力機構技術報告書 (JAEA-Data/Code 2015-020) の公開

- 対象期間: ~平成27年3月31日までの公開情報
- データ数

✓ 水分析結果

・JAEA分析結果: 25件/東京電力分析結果: 398件

・インベントリ評価に係るデータ

(汚染水処理に係る二次廃棄物: 吸着材、スラッジ): 194報*

✓ 瓦礫等分析結果【新規取りまとめ(図1)】

- ① 建屋内瓦礫: JAEA分析結果: 30件/空間線量マップ: 91公開情報**
- ② 建屋外瓦礫: JAEA分析結果: 15件
- ③ サイト内土壌: 分析結果: 371件

** 東京電力ホールディングス株式会社
建屋内の空間線量率について

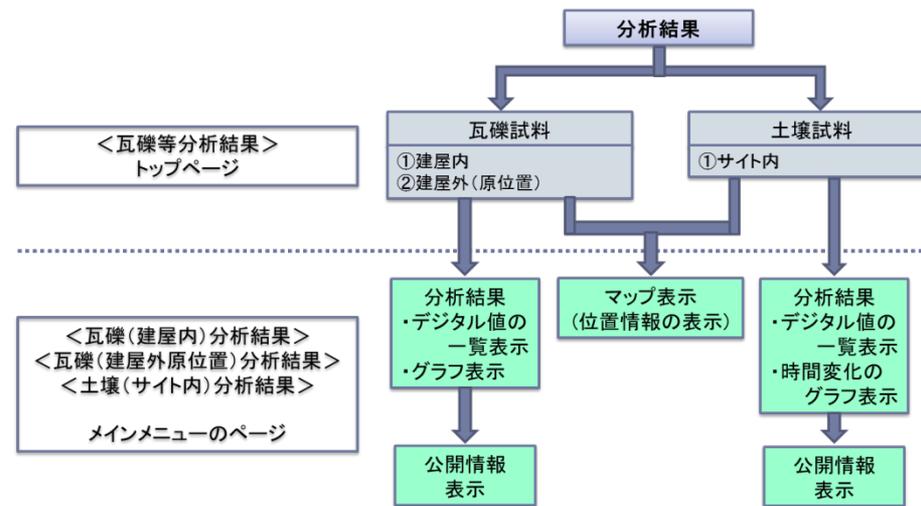
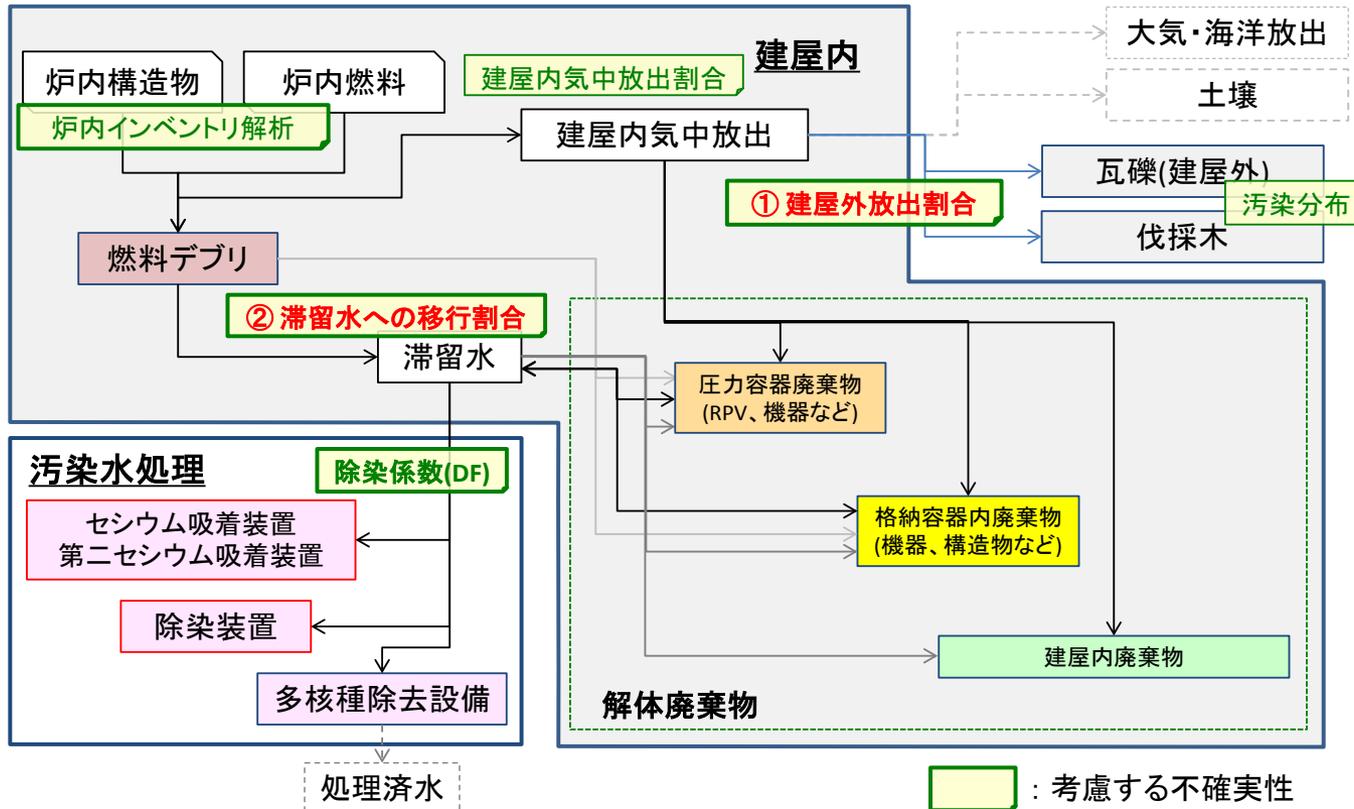


図 瓦礫等分析結果のとりまとめの構造

解析的手法に基づくインベントリ評価手法



日本原子力学会「2016年秋の大会」1E19, 杉山他

インベントリ算出における主要因子と設定の考え方

- ・移行割合: 文献値等を参照して, 不確実性を考慮して設定
- ・核種組成: 文献値および実測値に基づいて算出される輸送比から推定
- ・元素のグルーピング: 輸送比等を適用する元素のグルーピング
- ・核種量: 代表元素の実測値と推定した核種組成から算出



- ・不確実性を低減するため, 実測値に基づく較正を繰り返し実施
- ・較正の対象とする核種の合理的な選定

廃棄物の処分に関する検討

福島第一事故廃棄物の処分に関する検討の特徴

◆ 既存の廃棄物の処分に関する検討(既存の評価レポート)

「廃棄物の性状把握によってほぼ確定されたインベントリや想定・意図された処分概念を用いることで、対象とする廃棄物の処分の安全性等を論拠を持って提示すること」を主要な目的として作成。

➤ 不確実な情報は、基本的に保守的に考慮することで対応



◆ 福島第一原子力発電所廃棄物の処分に関する検討

- 廃棄物の性状、発生量が十分把握されていない(インベントリ,物量情報が不確定)。
- 適用する処分概念が決まっていない。
- 不確実性を考慮しつつ、適切と考えられる処分概念(新たな概念を含む)を選定すること
【処分の安全性を考慮した廃棄物分類(処分区分)の検討】が主要な課題
- ✓ 処分区分の検討においては、特定の概念に対する評価が不適切にならないように、モデル、パラメータ値等の適切な選定が重要。(不確実な情報を無条件に保守的に扱う操作は適切でない)

処分の評価プロセス

評価の目的・内容の決定

処分システムの記述

- ・概念に基づく施設仕様の設定
- ・処分サイトの環境条件の設定

評価シナリオの開発

評価モデルの開発

評価の実施

- ・解析ケースの設定
- ・入力データの設定

評価基準との比較

評価結果の解釈

見直し・修正

yes

修正による改善の見込

No

No

Rejection

yes

Acceptance

評価の十分性の判断 (Safety case)

1F廃棄物の処分
検討の暫定的な
出発点

(IAEA-TECDOC-1380 p9, FIG.1.)

処分を考慮した廃棄物分類(処分区分)の検討の進め方

- ◆ データの蓄積を待つことなく、得られる廃棄物情報に基づき、これまで蓄積された処分技術や知識を用いて廃棄物分類(処分区分)に関する定量的な検討を行う。
- ◆ 廃棄物の性状把握の進展に合わせてこれらの評価を繰り返し実施し、これらの評価の信頼性を向上させながら適切な廃棄物の処分区分を示していく。

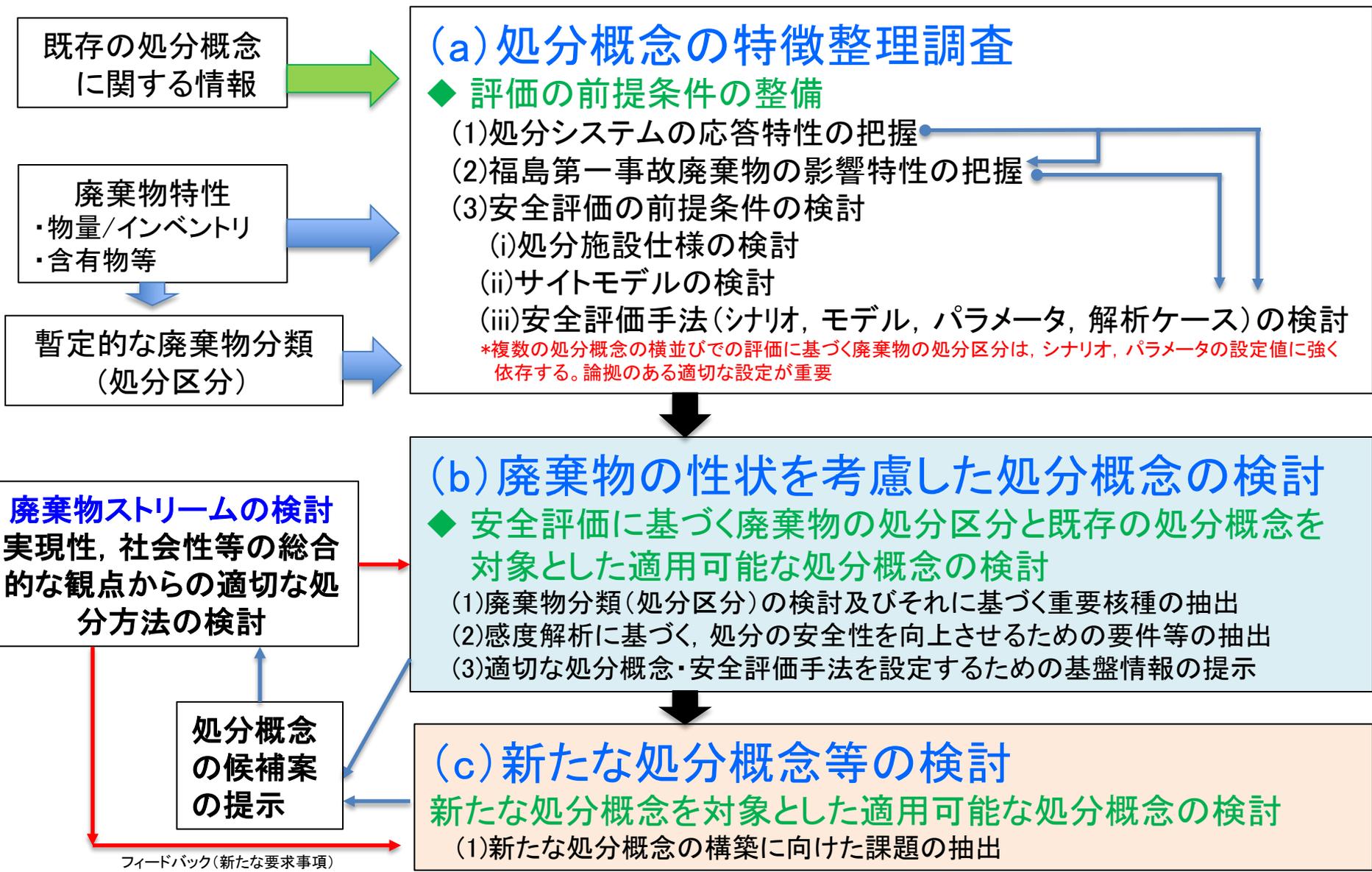


不確実性が高い現段階における処分の検討の役割

- ◆ 処分区分の検討を通じて、廃棄物の管理戦略の構築や廃棄物の管理施設の立案と計画等に影響を与える重要な廃棄物や核種に関する情報を提供する。
- ◆ 処分区分の検討を通じて、評価に影響を与えるシナリオ、パラメータの設定手法、論拠等を整備し、複数の処分概念を横並びで評価するための安全評価手法を整える。

平成26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)」中間報告 平成28年4月

処分区分の検討内容



7. 今後の課題

➤ 性状把握の課題

- ✓ データ数の少なさ(分析結果の代表性)
- ✓ サンプルの不均一性の考慮
- ✓ インベントリ推定方法の精度の向上
- ✓ 効率的なデータ取得のための優先順位の設定
←性能評価からの重要核種に関する情報のフィードバック

➤ 処理, 処分の課題

- ✓ 高線量廃棄物の廃棄体化方法の検討
- ✓ 低線量の多量廃棄物の合理的処分概念の構築
- ✓ 評価におけるインベントリ, シナリオ, パラメータの不確実性の取り扱い方法の検討
- ✓ 諸外国等の事例を参照, 取り入れた合理的な処分概念構築に向けた検討



- ◆ 繰り返し実施に基づく結果の精度の向上
- ◆ 繰り返し実施において抽出される基盤情報等を参考にした総合的な検討, 更なる課題, 方向性の提示(意思決定の実施)

御清聴ありがとうございました。

付録

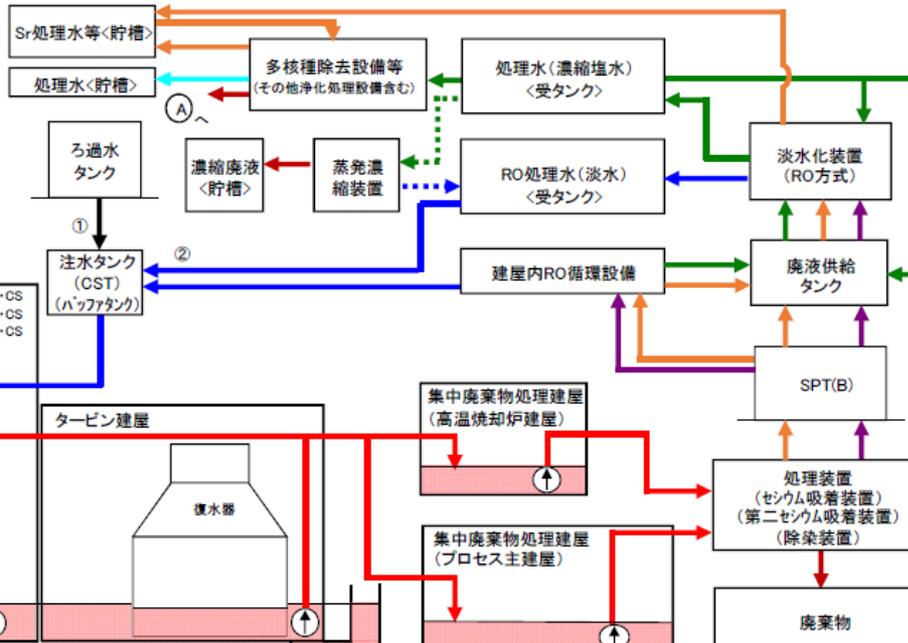
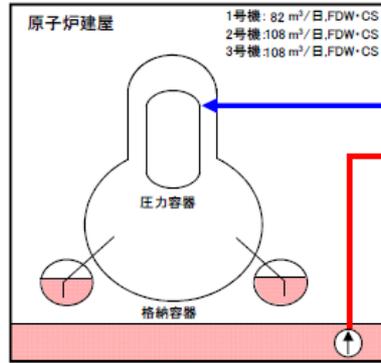
福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について(第286報)(1/2)

高レベル滞留水の貯蔵及び処理の状況【H29.1.12現在】

添付資料-1

区分	
■	高レベル水/廃棄物、濃縮廃液
■	処理水(塩水)
■	処理水(濃縮塩水)/配管撤去
■	Sr処理水等
■	RO処理水(淡水)/配管撤去
■	多核種除去設備等処理済水
■	ろ過水

原子炉注水水量[m ³](1/5-1/12)	前同報告比[m ³]
①ろ過水	-
②RO処理水(淡水)	2,092 ▲91
累積処理水	759,312



水種別の貯蔵量[m ³]*1.2	前同報告比[m ³]	貯蔵容量[m ³]*3.4
濃縮塩水	0	-
RO処理水(淡水)	15,715 ▲72	18,900
濃縮廃液	9,133 変化なし	10,700
処理水	713,322 +2,270	736,100
Sr処理水等	213,887 +147	239,100

残水量[m ³]*5	前同報告比[m ³]	貯蔵容量[m ³]*3.4
濃縮塩水	約2,700 変化なし	約22,100

貯蔵量[m ³]	前同報告比[m ³]	貯蔵容量[m ³]*3
廃液供給タンク	697 ▲73	1,200
SPT(B)	867 +108	3,100

	塩素濃度[ppm]
淡水化装置処理前/後	210/<1 (10/18採取)
建屋内RO循環設備処理前/後	210/<1 (12/8採取)
蒸発濃縮処理前/後	-

試料採取箇所	試料濃度[Bq/L]*6
プロセス主建屋	2.1E+07 (1/10採取)
セシウム吸着装置出口	5.1E+02 (10/13採取)
除染装置出口	-
高温焼却炉建屋	2.0E+07 (12/6採取)
第二セシウム吸着装置出口	5.2E+02 (1/10採取)

施設	貯蔵量[m ³]	前同報告比[m ³]	T/B建屋内水位※8
1号機	約11,700	変化なし	T.P.1,190 (O.P.2,647)
2号機	約15,900	▲600	T.P.1,424 (O.P.2,876)
3号機	約14,900	+400	T.P.1,204 (O.P.2,641)
4号機	約15,300	▲100	T.P.1,310 (O.P.2,749)
合計	約57,800		

貯蔵施設	貯蔵量[m ³]	前同報告比[m ³]	水位※8	処理量[m ³](1/5-1/12)	累積処理量	廃棄物発生量	前同報告比	保管容量
プロセス主建屋	約12,160	▲510	T.P.1,669 (O.P.3,031)	約4,300 ※7	約1,705,700 ※7	廃スラッジ[m ³]	597 変化なし	700 ※3
高温焼却炉建屋	約3,230	+90	T.P.422 (O.P.1,888)			使用済ベッセル[本]	3,466 ※9	6,239
合計	約15,390						+5	

※1 水移送中の水位は安定しないため参考値強い
 ※2 貯蔵量に下記「タンク底部～水位計0%の水量(DS)」を含んでいない
 RO処理水(淡水): 約0.1万m³、濃縮廃液: 約0.01万m³、処理水: 約0.1万m³、Sr処理水等: 約0.5万m³
 ※3 運用上の上限値
 ※4 「タンク底部～水位計0%の水量(DS)」を含んでいないが、貯蔵量のDS以上の貯蔵容量がある
 ※5 表記載の残水量には、「タンク底部～水位計0%の水量(DS)」を含んでいる
 濃縮塩水の残水量は多核種除去設備等の処理量より算出
 ※6 表記はCe-137のデータ
 ※7 セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の合計処理量
 処理量の内訳: セシウム吸着装置 0 m³
 第二セシウム吸着装置 4,300 m³
 累積処理量の内訳: セシウム吸着装置 370,290 m³
 第二セシウム吸着装置 1,335,410 m³
 ※8 午前7時時点のデータ
 セシウム吸着装置使用済ベッセル 759 本
 第二セシウム吸着装置使用済ベッセル 100 本
 その他: 保管容器 2,257 基
 処理カラム 9 樽
 使用済ベッセル 197 本
 フィルタ類 65 本

【前同報告時(H29.1.5)～現在(H29.1.12)の主なイベント】
 ・1号機原子炉建屋からプロセス主建屋への移送を適宜実施
 ・2号機原子炉建屋からプロセス主建屋への移送を適宜実施
 ・2号機タービン建屋からプロセス主建屋への移送を適宜実施
 ・2号機廃棄物処理建屋からプロセス主建屋への移送を適宜実施
 ・3号機タービン建屋からプロセス主建屋への移送を適宜実施
 ・1/8 1号機タービン建屋から1号機廃棄物処理建屋への移送を実施
 ・11/1 セシウム吸着装置の運転を停止
 ・第二セシウム吸着装置の運転を実施(稼働率51%(前同想定稼働率: 50%))
 ・その他工事等による建屋(1～4号機、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋)への移送を適宜実施

東京電力ホールディングス株式会社 建屋内の空間線量率について

データ採取期間 1号機:2016年10月1日～2016年10月31日

福島第一 原子力発電所	図面名称: 1号機 原子炉建屋 1階	〔 単位: mSv/h 〕
-------------	--------------------	---------------

