

平成26年度 技術研究組合国際廃炉研究開発機構シンポジウム

放射性廃棄物の 処理・処分に係る研究開発

平成26年7月18日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

※本発表内容は、経済産業省受託事業「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備(事故廃棄物処理・処分概念構築に係る技術検討調査)」及び平成25年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金(事故廃棄物処理・処分技術の開発)の成果を含む。

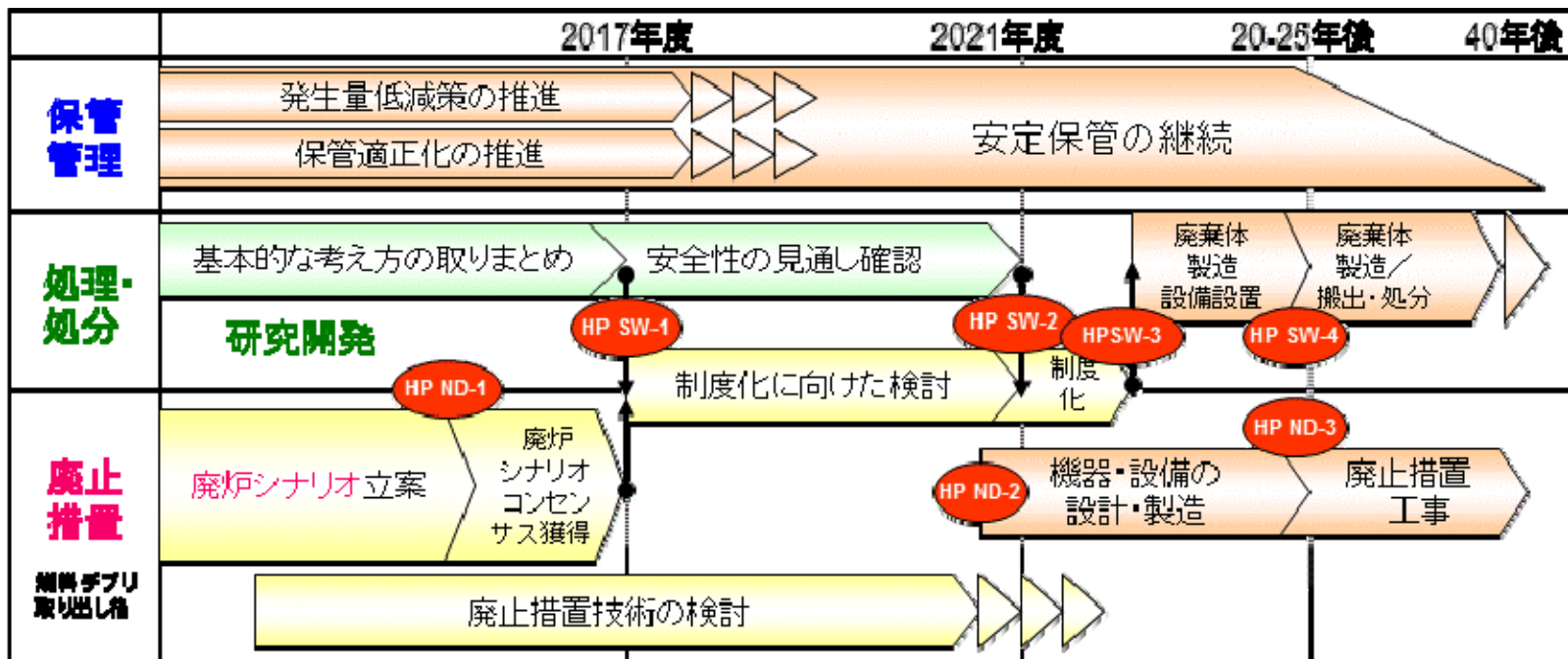
発表内容

1. 放射性廃棄物対策の全体概要
2. 福島第一事故廃棄物の状況
3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要
 - 3-1 性状把握
 - 3-2 長期保管方策の検討
4. 課題及び対策案

1. 放射性廃棄物対策の全体概要

(1) 中長期ロードマップにおける放射性廃棄物対策の位置付け

廃棄物の発生 → 保管管理 → 処理(廃棄体化) → 処分
廃炉シナリオに依存 分別・減容・長期貯蔵 事故廃棄物の特徴を踏まえた一連の研究開発が必要



HP 次工程へ進む判断のポイント。追加で必要な研究開発や工程又は作業内容の見直しも含めて検討・判断する。

HP SW-1: 固体廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ(2017年度)
 HP SW-2: 固体廃棄物の処理・処分における安全性の見通し確認(2021年度)
 HP SW-3: 廃棄体仕様・製造方法の確定(第3期)
 HP SW-4: 廃棄体製造設備の設置及び処分の見通し(第3期)

HP ND-1: 廃止措置シナリオの立案(2015年度)
 HP ND-2: 除染・機器解体工法の確定(第3期)
 HP ND-3: 廃棄物処分の見通し・必要な研究開発の終了(第3期)

1. 放射性廃棄物対策の全体概要

(2) 研究開発の実施体制

経済産業省資源エネルギー庁

基金設置法人

平成25年度廃炉・汚染水対策事業
費補助金(事故廃棄物処理・処分技
術の開発)

国際廃炉研究開発機構(IRID)

日本原子力研究開発機構(JAEA)

東京電力(TEPCO)

協力関係の確立

国内外の多種多様な叡智を結集

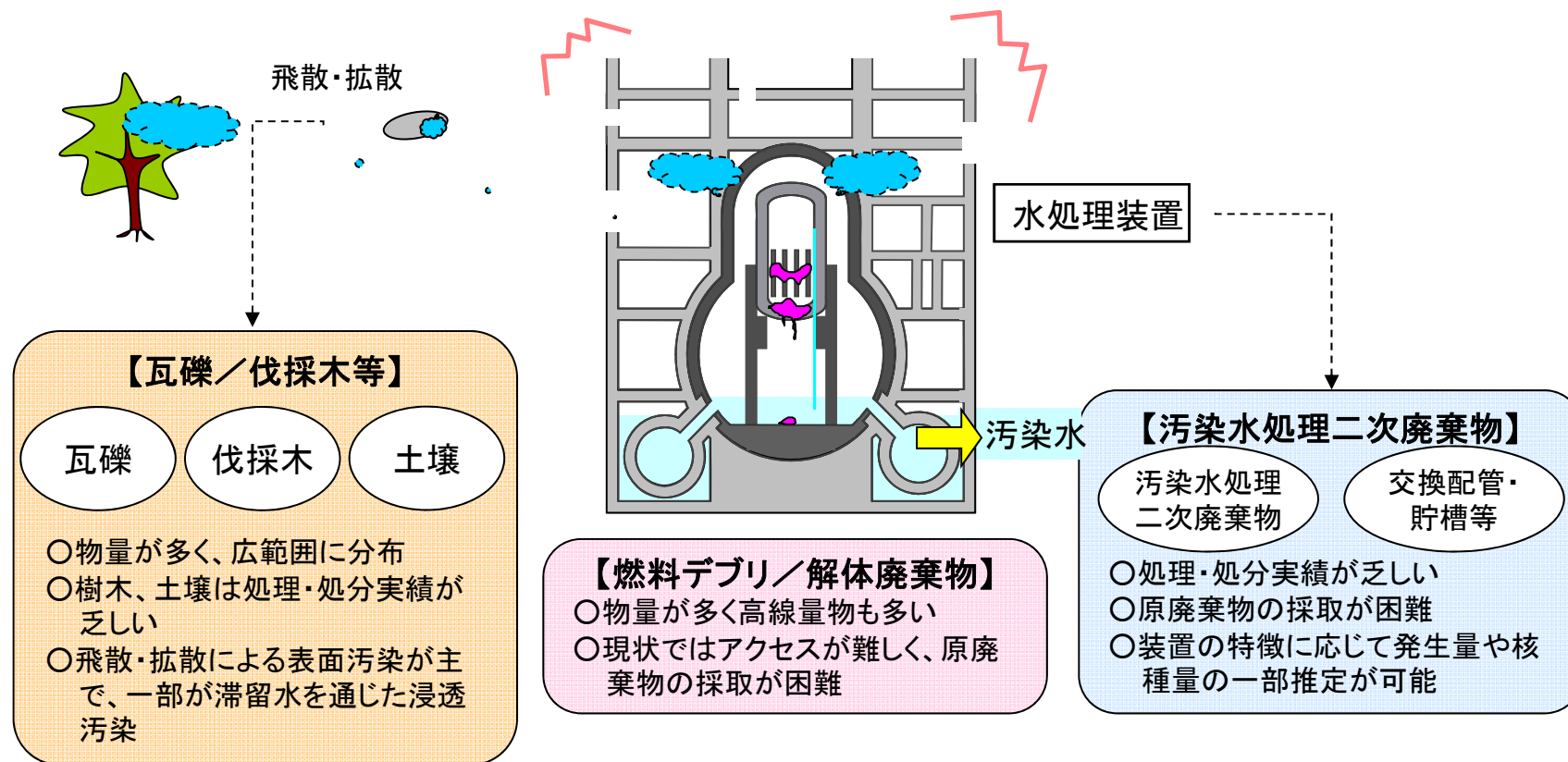
- 国内外の大学、メーカー、関係機関、等
 - 情報共有
 - 共同研究等の実施

- 国内外の学会、国際機関、等
 - 日本原子力学会に特別専門委員会を設置
 - OECD/NEAに専門家会議を設置

2. 福島第一事故廃棄物の状況

(1) 福島第一事故廃棄物の特徴

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



* :放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。

2. 福島第一事故廃棄物の状況

(2) 福島第一事故廃棄物と操業廃棄物の比較

不確実性の項目	対策の度合い	
	操業廃棄物	事故廃棄物
廃棄物発生【量、種類、時期】	◎	△
ハンドリング(取り出し・区分)【困難性】	◎	△
性状把握【情報の充分性、サンプルの困難性、サンプルの代表性】	○	△
処理・廃棄体化技術	○	? ~ △
埋設・処分方法及び安全評価	△ ~ ○	?
規制・技術基準、ガイドライン、サイティング	△ ~ ○	?

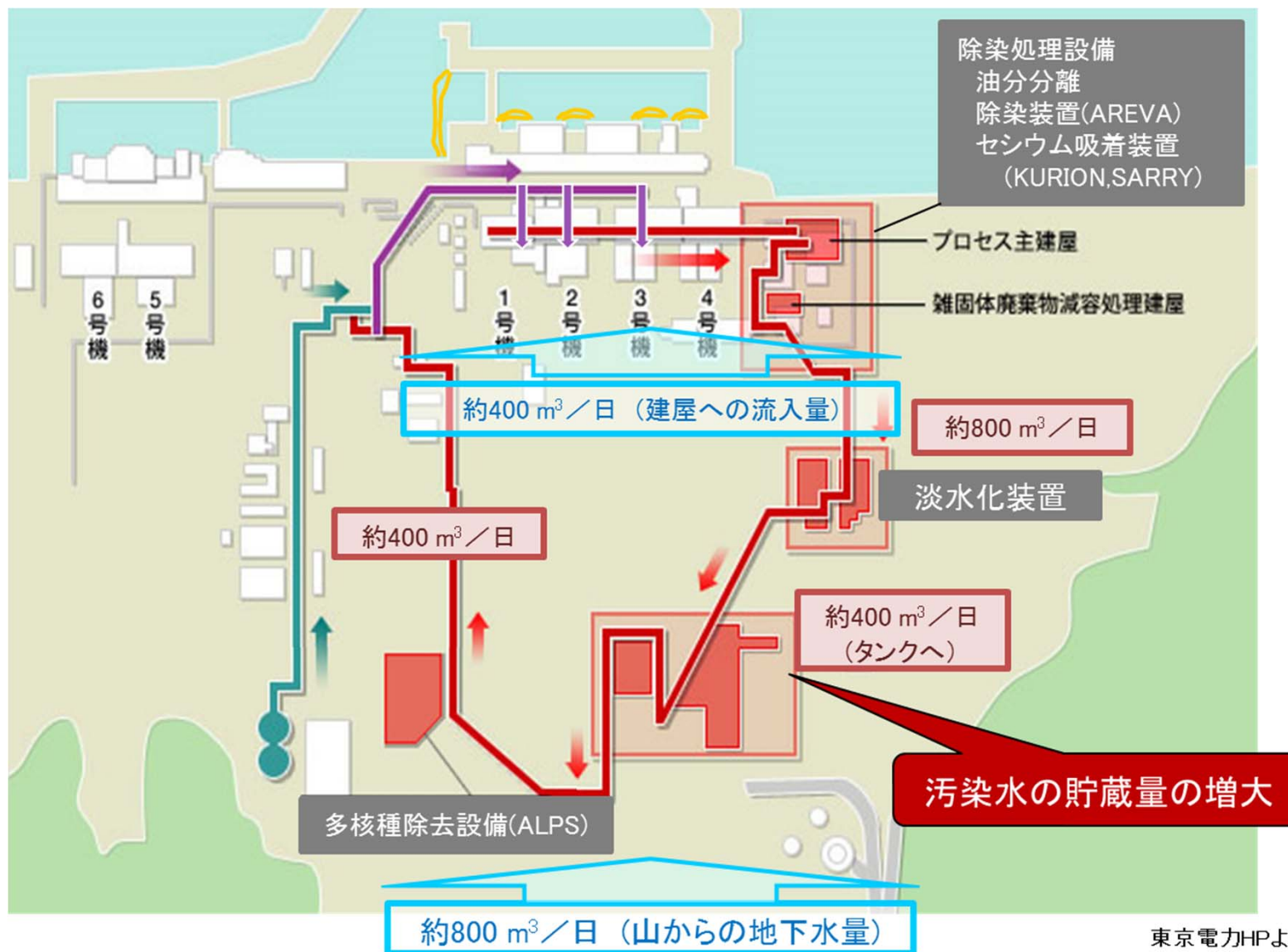
◎:把握している、あるいは充分見通しがある。○:概ね見通しがある。△:限定的である。

? :論じられる段階ではない。

- 操業廃棄物は、課題があるものの比較的管理された状態にある。
 - ・ 現時点の発生量はもとより今後の推移、個別の廃棄物中の含有放射エネルギーや化学物質等の基本的な廃棄物性状に係わる情報は把握されている。
 - ・ 未処理・処理済の双方とも現行の規制に基づく保管管理等が適切に行われている。
 - ・ 処分方法や安全評価方法に加え対応する規制・基準についても整備されてきている。
- 福島第一事故廃棄物は、多数の不確実性が技術的に重要な課題となる。それら不確実性を解消し、管理された状況に置くことが対策並びに技術開発の大きな目標となる。

2. 福島第一事故廃棄物の状況

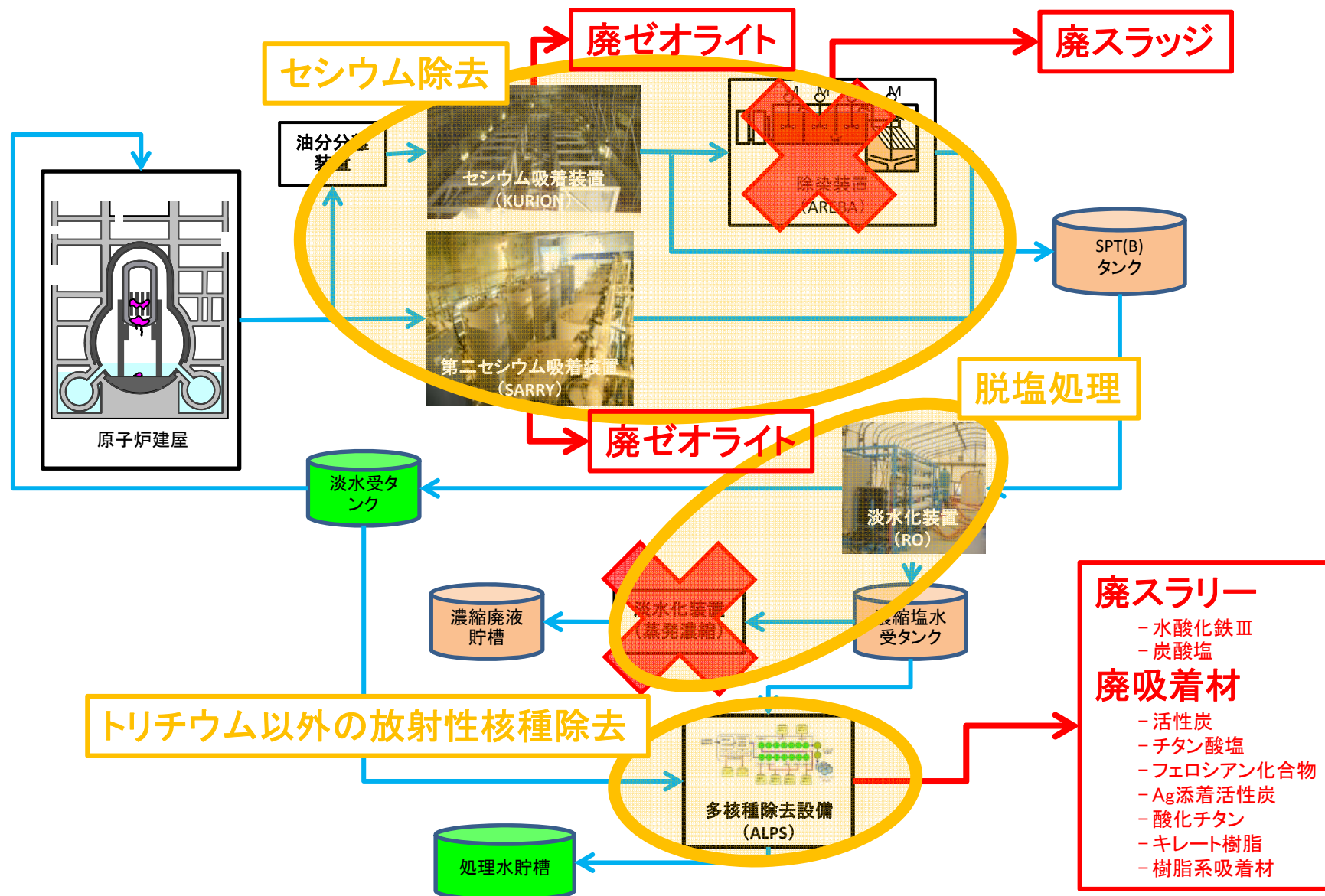
(3) 福島第一原発サイトにおける汚染水処理の状況



東京電力HPより加工

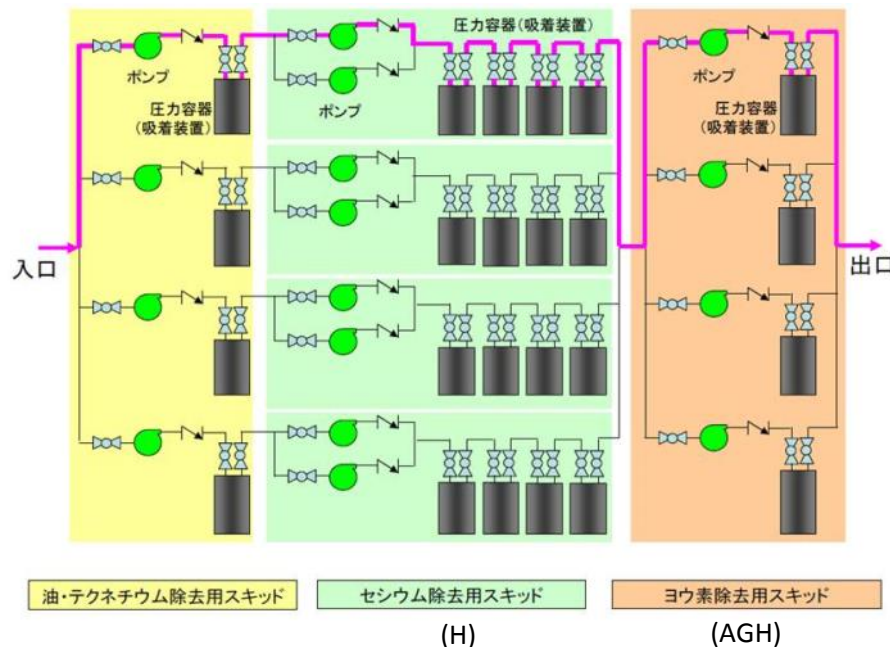
2. 福島第一事故廃棄物の状況

(4) 汚染水処理設備の概要と発生する廃棄物



2. 福島第一事故廃棄物の状況 (5) セシウム吸着装置 (KURION) の概要

セシウム吸着装置 (KURION) 概略系統図



セシウム吸着装置外観



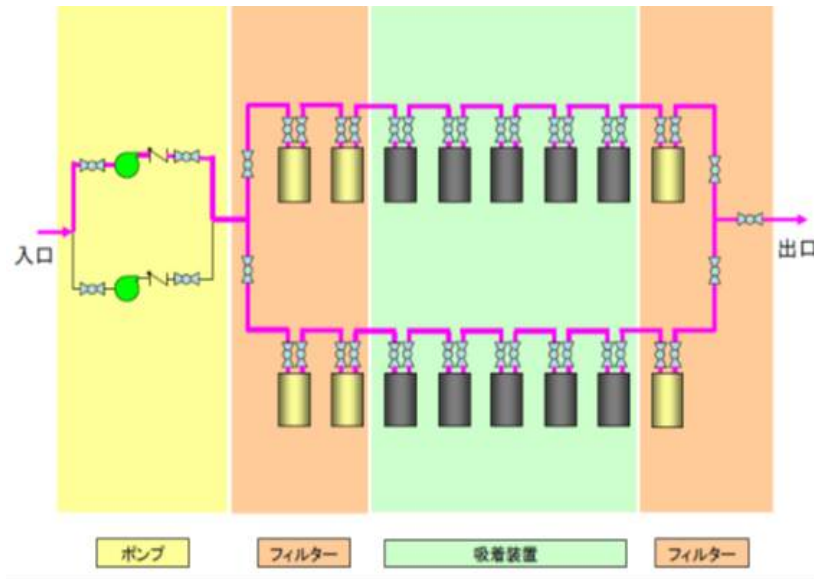
- 外寸: 約1.4mφ × 約2.4mH
- 重量: 約15t
- ゼオライトを充てんしたステンレス容器を炭素鋼性の遮蔽容器が覆う構造

- 吸着塔は吸着装置スキッド内に収容
- 作業者の被ばく低減の観点から、スキッド表面の線量当量率4mSv/h程度を交換の目安
- 処理量: 1,200m³/日/4系統
= 12.5m³/h/系統
- 吸着材: KURION-H
KURION-AGH

2. 福島第一事故廃棄物の状況

(6) 第二セシウム吸着装置 (SARRY) の概要

第二セシウム吸着装置 (SARRY) 概略系統図



第二セシウム吸着装置外観



- 2011年8月稼働
- 外寸: 約1.4mφ × 約3.6mH
- 重量: 約24t
- 内部にゼオライトを充てんしたステンレス製の容器を炭素鋼性の遮へい容器が覆う構造。遮へい容器は二重構造となっており、アニュラス部に鉛を装填
- 作業者の被ばく低減の観点から、吸着塔表面の線量当量率4mSv/h程度を交換の目安
- 処理量: 20~25m³/h/系列x2系統
= 40~50m³/h
- 吸着装置構成
 - 前処理フィルター
 - 前段: 低除染 合成ゼオライト
 - 後段: 高除染 チタンケイ酸塩^(*)
 - 後塵フィルター

(*) 呼称: 結晶性ケイチタン酸塩、CST、チタノケイ酸塩

2. 福島第一事故廃棄物の状況 (7) 多核種除去設備 (ALPS※1) の概要

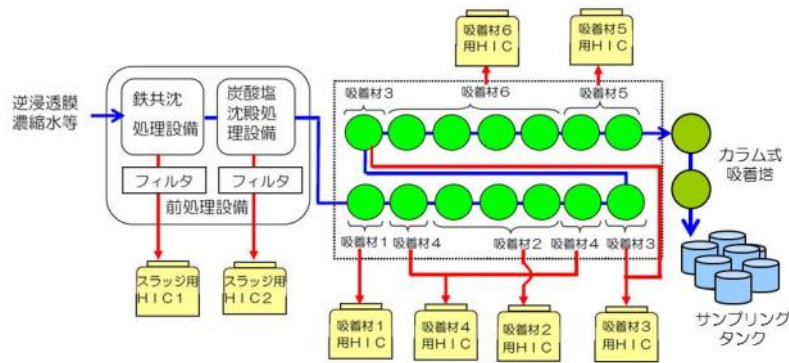
◆ 多核種除去設備の目的

既設水処理設備は主にセシウムを除去するが、処理水の放射性物質の濃度をより一層低く管理するため、その他の核種についても告示※2濃度限度以下を目標として除去する。

※1: Advanced Liquid Processing System

※2: 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規制の規定に基づく線量限度を定める告示

◆ 多核種除去設備の設備構成



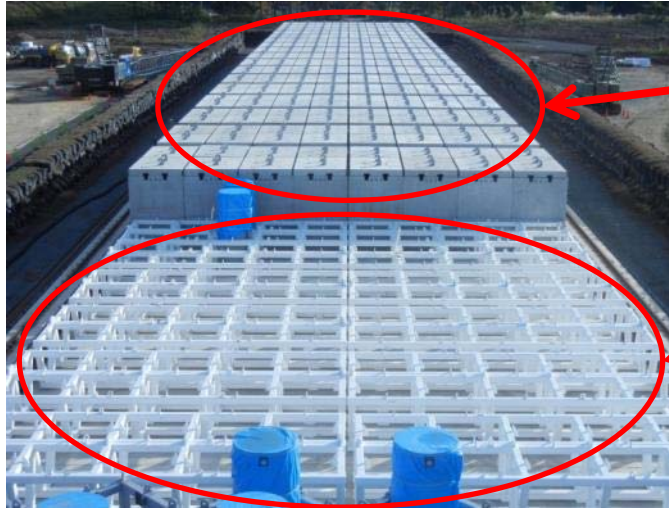
- A, B, C系列構成
- 1系列(50%流量運転)処理量: 250m³/日
- 3系列運転(750m³/日)

◆ スラリー及び吸着材の主な成分

		主な成分	主な除去対象元素
前処理	鉄共沈処理	水酸化鉄Ⅲ	有機物、α核種、Co、Mn
	炭酸塩沈殿処理	炭酸塩	Sr、Mg、Ca
吸着材交換式	吸着材1	活性炭	コロイド
	吸着材2	チタン酸塩	Sr
	吸着材3	フェロシアン化合物	Cs
	吸着材4	Ag添着活性炭	I
	吸着材5	酸化チタン	Sb
	吸着材6	キレート樹脂	Co
カラム式	吸着材7	樹脂系吸着材	Ru等 負電荷コロイド

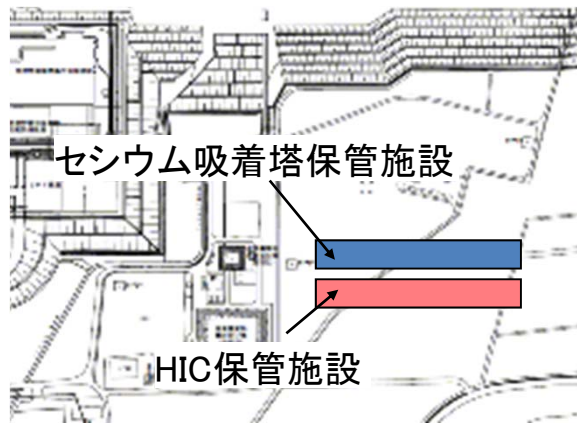
2. 福島第一事故廃棄物の状況

(8) セシウム吸着塔及びHIC一時保管施設

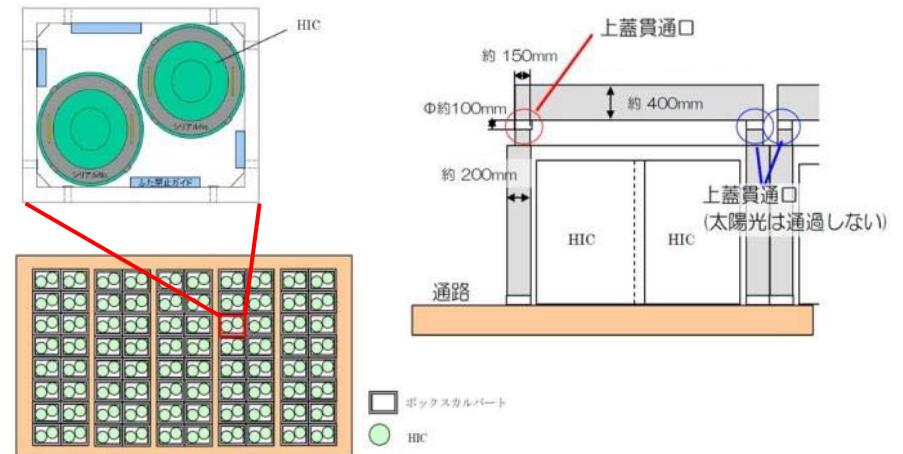


KURION(セシウム吸着装置)吸着塔格納部
(コンクリート製のボックスカルバート内に入れ、保管)

SARRY(第二セシウム吸着装置)吸着塔格納部



HICタイプ1(補強体無)の外観



HICの一時保管イメージ

2. 福島第一事故廃棄物の状況

(9) 瓦礫・伐採木の特徴

瓦礫の特徴

- 原子炉建屋周辺に散逸した鉄筋コンクリート
- 残存建屋から撤去された鉄筋コンクリート
- 原子炉建屋周辺に散逸、残存建屋から撤去された金属類
 - 低濃度～高濃度の主に気体状の放射性物質による汚染
 - 表面汚染に加え、一部内部に汚染浸透
 - 塩分や飛散防止剤成分が付着
 - SUS、炭素鋼、アルミニウム合金、鉛(遮蔽体)
 - ケーブル類等のPVCの被覆物(有機物)

伐採木の特徴

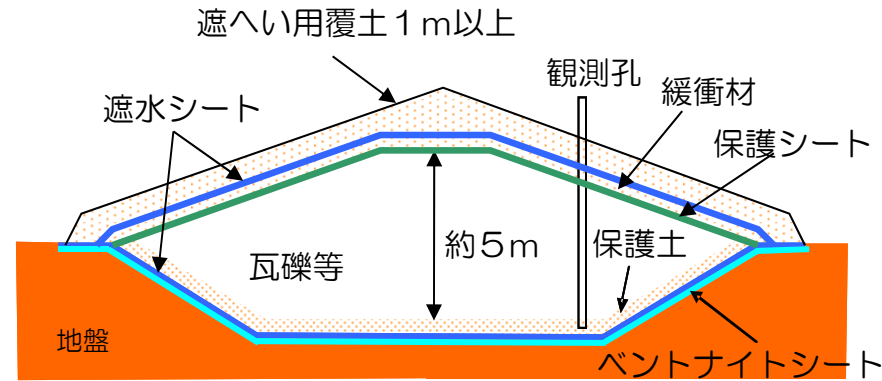
- 有機物(セルロース)廃棄物
- 幹の線量は低い
- 表面汚染と一部内部に汚染浸透
- 塩分や飛散防止剤の混入
- 枝葉はチップ化による減容が図られる
- 腐植が進行し、土壌との分別が困難

2. 福島第一事故廃棄物の状況 (10) 瓦礫・伐採木の一時保管状況(1/3)



2. 福島第一事故廃棄物の状況 (11) 瓦礫・伐採木の一時保管状況(2/3)

◆ 覆土式一時保管施設の状況



覆土式一時保管施設の構造



保護土

緩衝材

瓦礫



内部の状態

2. 福島第一事故廃棄物の状況 (12) 瓦礫・伐採木の一時保管状況(3/3)

◆ 伐採木の一時保管状況

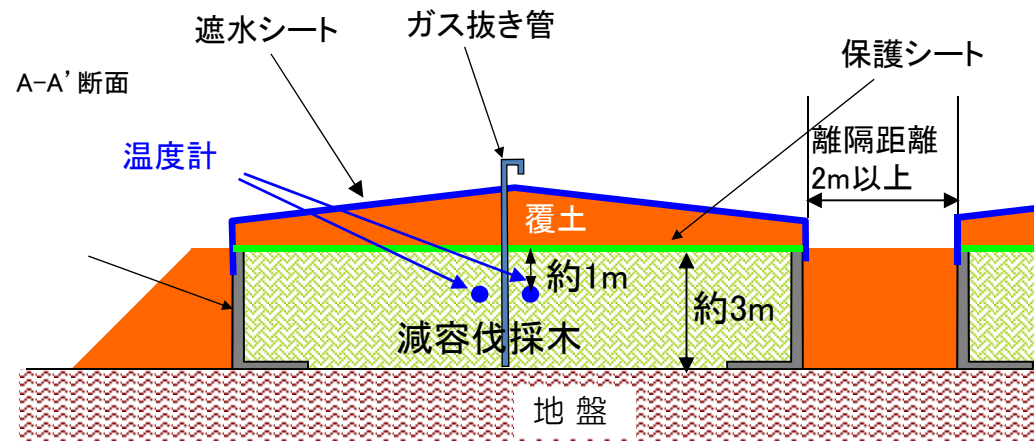


伐採木(幹)の一時保管



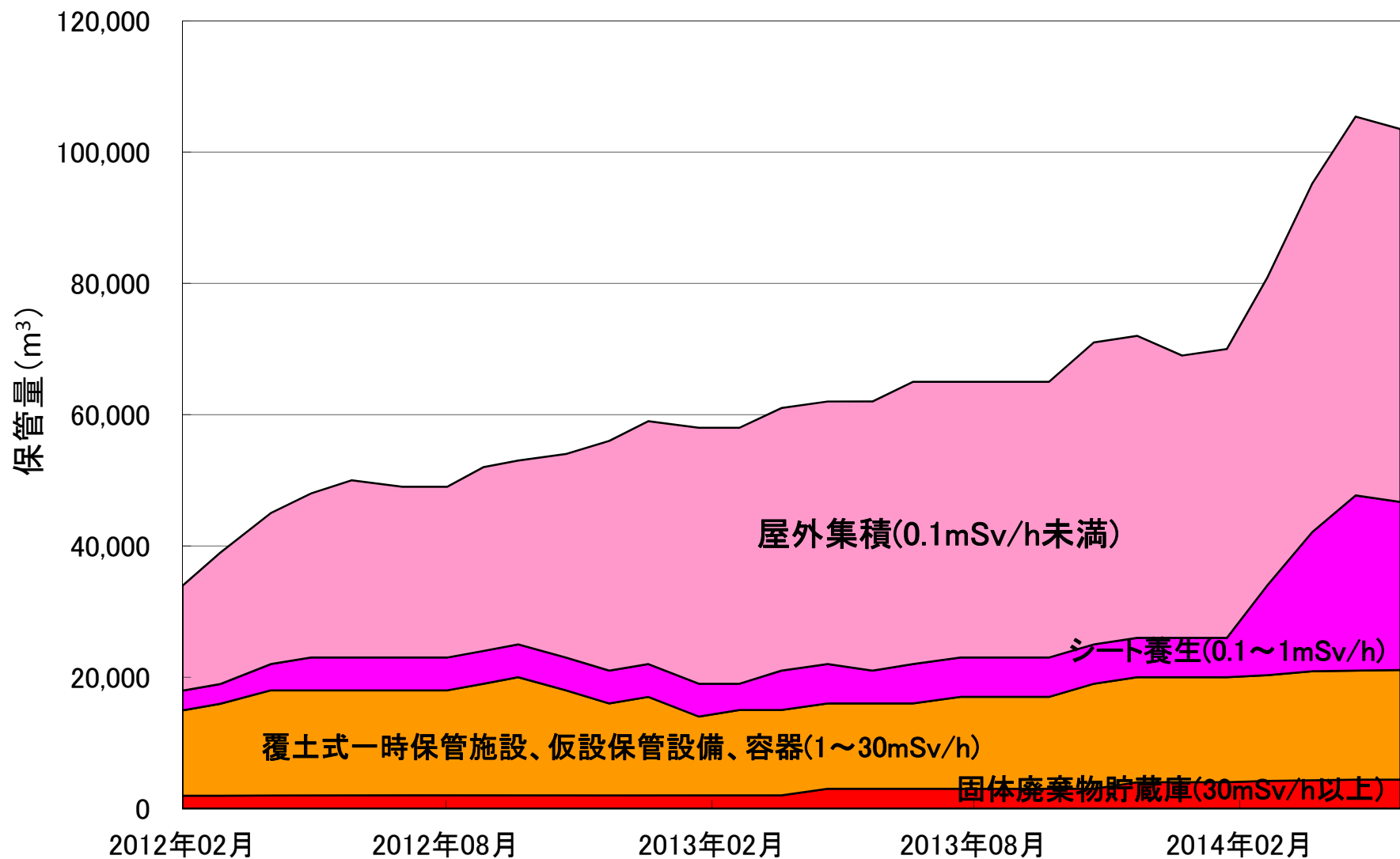
伐採木(枝葉)の一時保管

- 伐採した樹木は、幹と根・枝葉に分け、敷地内に場所を決め一時保管
- 枝葉については、線量低減対策及び、火災発生リスクへの対処として覆土式の一時保管槽に保管(定期的に温度管理を実施)

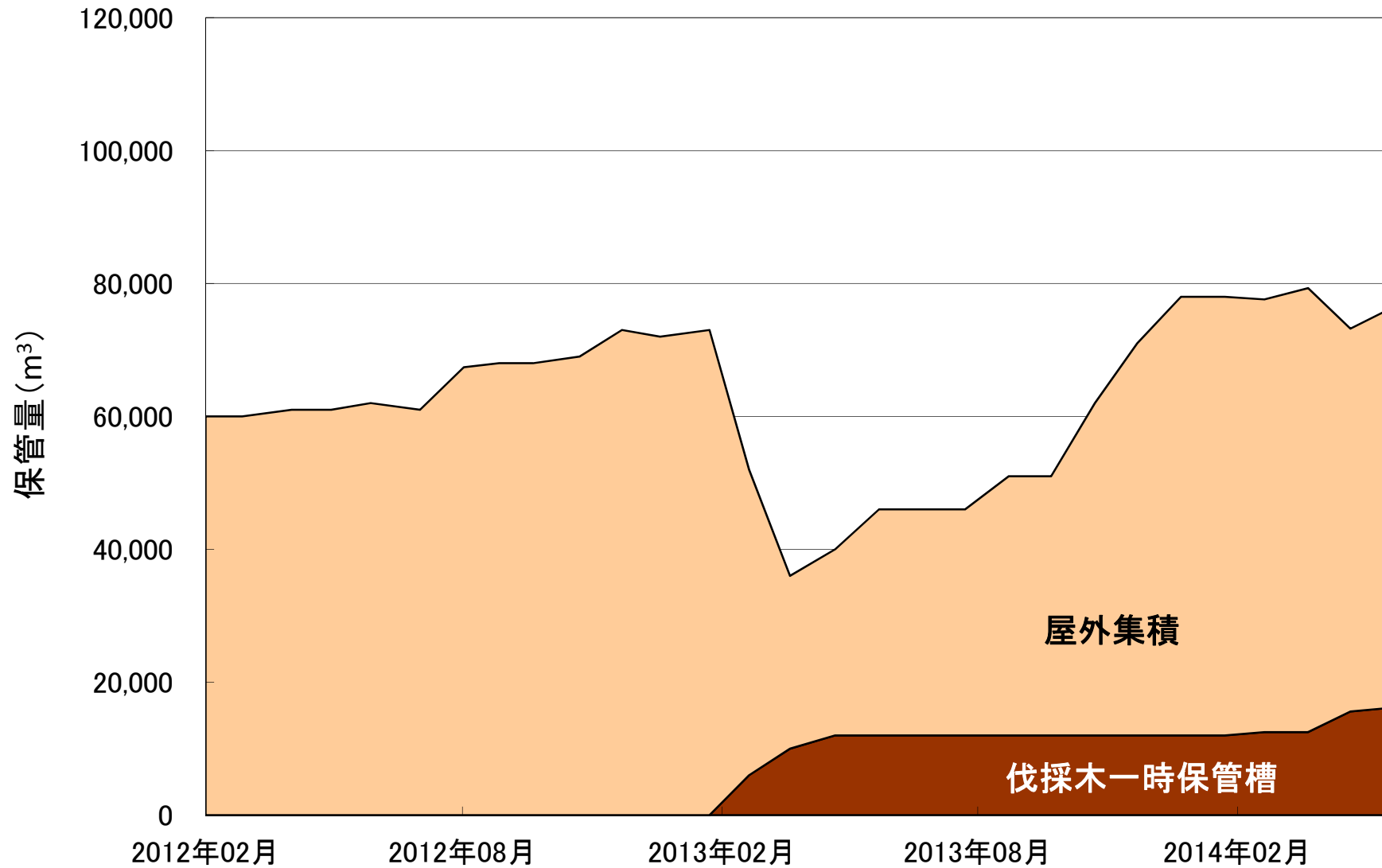


伐採木一時保管槽の構造

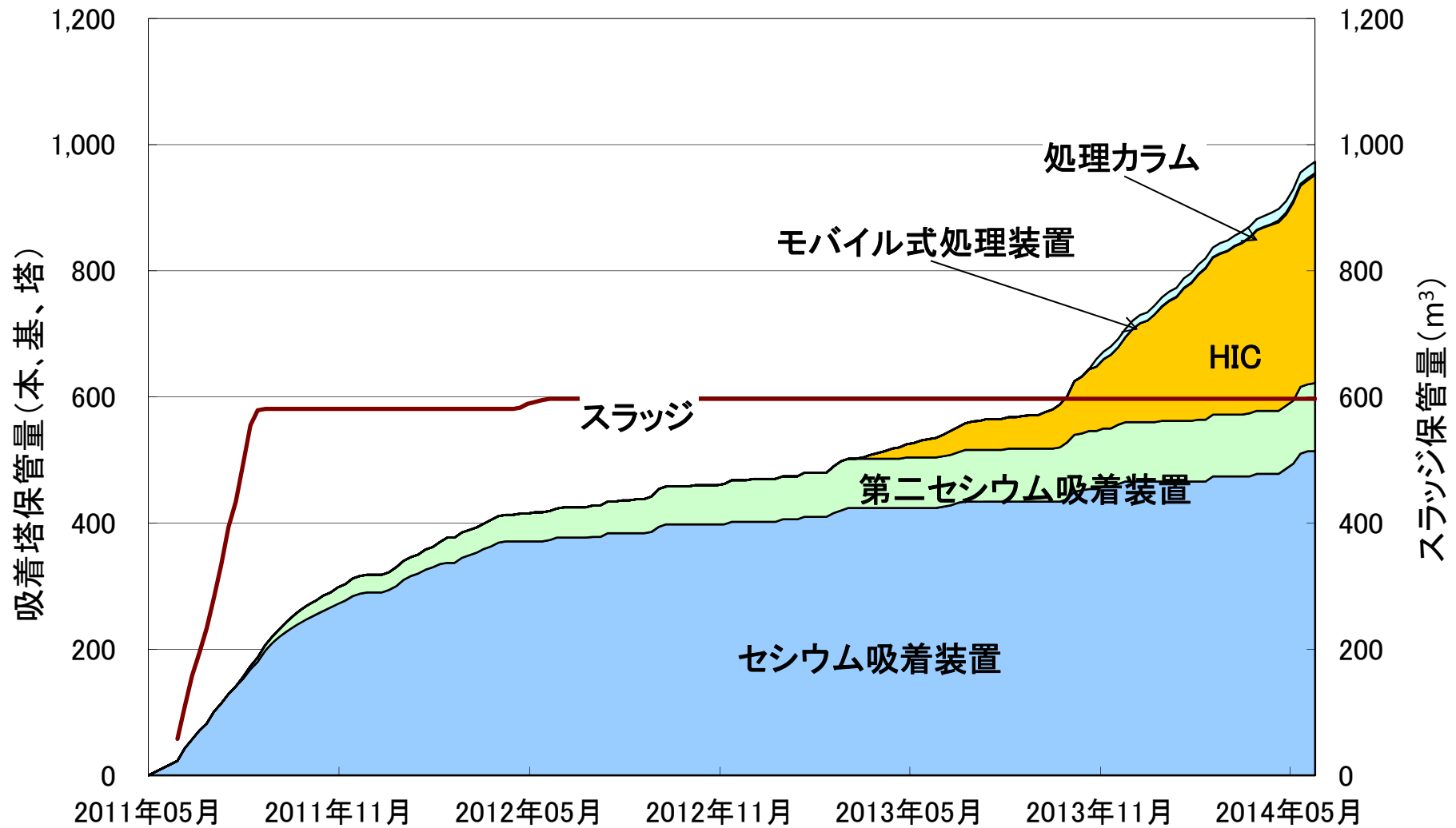
2. 福島第一事故廃棄物の状況 (13) ガレキ保管量の推移



2. 福島第一事故廃棄物の状況 (14) 伐採木保管量の推移



2. 福島第一事故廃棄物の状況 (15) 水処理二次廃棄物保管量の推移



2. 福島第一事故廃棄物の状況 (16) 減容処理とリサイクルの方策案

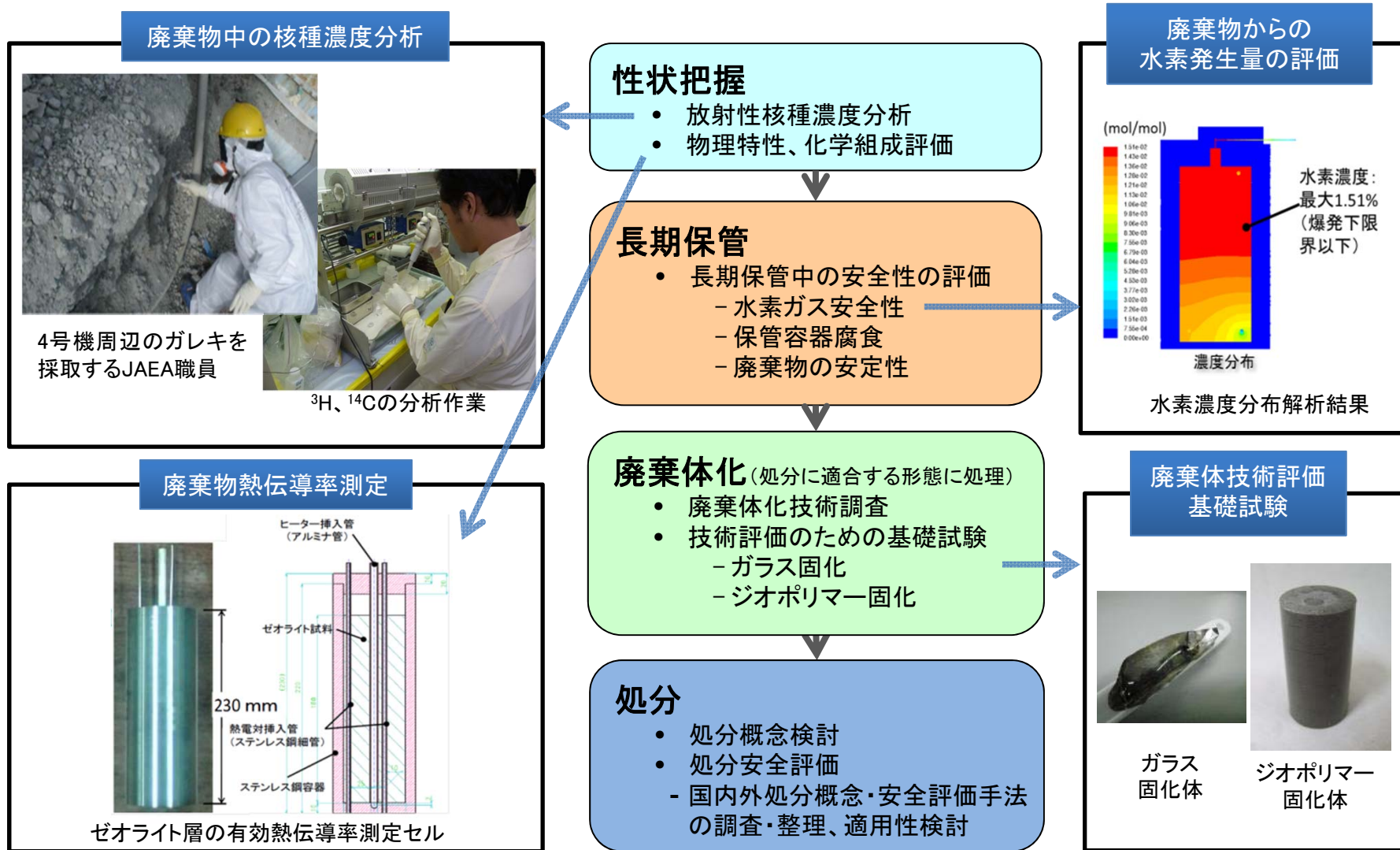
廃棄物の種類	当面の処理	将来の計画
コンクリートくず	<ul style="list-style-type: none"> • 破碎により減容 • 並行して路盤材としてリサイクルできるものは積極的にリサイクル 	再生コンクリートとしてのリサイクルも検討
金属くず	<ul style="list-style-type: none"> • 切断により減容 	溶融・インゴット化による減容及び鑄造品へのリサイクルも検討
伐採木	<ul style="list-style-type: none"> • 表面線量率の低い幹は屋外での原型保管を続けながら焼却により減容 • 表面線量率の高い枝葉は遮蔽を目的とした覆土保管を続けながら焼却により減容 	ニーズがあればリサイクルも検討

※ リサイクルの基準となる汚染レベルは作業者の被ばく、使用者・利用者の被ばく、環境への放出量についての詳細評価を行い、設定することが必要。

※ 鋼製円筒型タンク(フランジ接合)が多数あり、これらを将来的に溶接型タンクに置き換えるため大量の金属廃棄物が発生する。

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(1) 廃棄物の処分までの流れと研究項目



3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(2) スケジュール

事項/年度	第1期			第2期							第3期		
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	20~25 年後	30~40 年後
				(前)			(中)			(後) 10年後以内▽			
中長期ロードマップのHP							▲HP SW-1					▲HP SW-2	▲HP SW-4 ▲HP SW-3
1. 性状把握													
(1)放射性核種分析 ・放射性核種分析、化学組成・物性性状の把握 ・分析データ蓄積、性状の評価精度向上													
(2)核種分析技術開発 ・難測定核種等分析技術開発													
(3)インベトリ評価 ・評価手法の開発 ・インベトリ推定確度の向上													
2. 長期保管方策の検討													
(1)長期保管方策検討													
3. 廃棄物の処理に関する検討													
(1)技術調査 ・廃棄体化技術の調査 ・適用性評価のための基礎試験 ・適用性の検討													
(2)処理技術候補の選定 ・基礎試験結果を踏まえた技術絞り込み													
4. 廃棄物の処分にに関する検討													
(1)既存の処分概念・安全評価手法の適用性評価 ・既存処分概念・安全評価手法の調査 ・適用性検討 ・有望候補による処分概念検討 ・候補手法による安全性評価													
(2)処分概念・安全評価手法の確立 ・処分概念・安全性評価手法の合理化・高度化 ・処分概念・安全性評価手法の信頼性向上													
5. データベース開発													
・試作・試運用 ・運用・段階的高度化 ・データベースの運用・改良													

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(3) 廃棄物管理戦略の検討の実施内容

HP SW-1の目標

廃棄物の発生、保管から処理・処分までの一連の取り扱い(廃棄物ストリーム)の候補を論拠とともに提示する。

実施内容

1) 廃棄物ストリームの検討方針立案

- 廃棄物ごとに汚染起源や汚染経路を考慮し、その後の処理、処分方法を含めた廃棄物ストリームの作成・見直しに関する検討方針をまとめる。

2) 性状把握, 長期保管, 処理, 処分のそれぞれの検討における関連事項の抽出

3) 各廃棄物の処理, 処分が成立する廃棄物ストリーム候補の検討

- 各廃棄物について, 関連事項の影響を調査・把握することにより, 各廃棄物の処理, 処分が成立する廃棄物ストリームの候補を検討する

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(4) 性状把握の実施内容

HP SW-1の目標

主要な廃棄物の性状に関する情報を集約して提示

実施内容

1) 廃棄物試料の分析

- 主要な廃棄物として、ガレキ(建屋内試料含む)、土壌、水処理二次廃棄物等の試料を採取、分析する。50試料/年を目途とする。

2) インベントリの評価

- 廃棄物の分析値や廃棄物の由来等の情報を元にして、発生量、インベントリを評価する。
- 炉からの核種の放出挙動, 汚染水への溶出挙動, 構成材料, 収着材料への核種の収着挙動に基づく核種の移動モデルの構築により, 解析的にインベントリを推定する手法を構築する。
- 分析結果およびモデリングに基づく推定方法を用いて, 各廃棄物のインベントリデータセットを設定する。

3) 二次廃棄物データ収集

- 長期保管方策や処理技術の検討に必要なデータを収集する。
- 第二セシウム吸着装置、多核種除去設備から発生する二次廃棄物である吸着材等に関する物理的・化学的な性状データを収集する。

4) 難測定核種分析の検討

- 未検討核種分析フロー検討
- 高線量廃棄物分析法

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(5) 長期保管方策の検討の実施内容

HP SW-1の目標

処理・処分の最適化・合理化を図るために、水処理二次廃棄物について長期保管の方法を提示

実施内容

1) 多核種除去設備スラリー安定化

- 多核種除去設備の前処理スラリーに関し、水分を除去し、安定化する方法を示す。
- その他、現地の状況に応じて対策を講ずる。

2) セシウム吸着装置吸着塔の評価

- セシウム吸着塔 (KURION) の保管における安全性に関し、水素生成と材料の腐食を考慮した見通しを示す。腐食については対策を検討する。

3) 第二セシウム吸着装置吸着塔の評価

- セシウム吸着塔 (SARRY) の保管における安全性に関し、水素生成と材料の腐食を考慮した見通しを示す。

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(6) 廃棄物の処理に関する検討の実施内容

HP SW-1の目標

既存の廃棄物に対する処理・廃棄体化技術のカタログを整備し、ある程度性状が把握できている廃棄物(水処理二次廃棄物、ガレキ、伐採木等)に対して適用可能と考えられる廃棄体化技術の候補を提示するとともに、第一次絞り込みを行う

実施内容

1) 処理・廃棄体化基礎試験

- 廃棄物調査結果及び廃棄物の性状、処分方策の検討状況を踏まえ、各廃棄物の処理・廃棄体化技術の評価に必要なデータを取得する。

2) 処理・廃棄体化技術の調査

- 既存の廃棄物の処理・廃棄体化技術を調査し、技術概要、技術開発状況、実績、処理量、廃棄体性能等を技術カタログとしてまとめる。
- 廃棄物の性状や処分方策の検討状況を加味しながら、技術を評価し、絞り込みに向けて不足する情報等を抽出する。

3) 候補技術の第一次絞り込み

- 1) 及び2) の結果及び廃棄物の性状や処分方策の検討状況を加味しながら、HP SW-2の検討に向けた処理・廃棄体化技術を絞り込む。

3. 放射性廃棄物処理・処分研究の概要

(7) 廃棄物の処分に関する検討の実施内容

HP SW-1の目標

事故廃棄物の個々の廃棄物に適用可能と考えられる処分概念の候補とその評価手法を提示

実施内容

1) 処分概念の特徴整理、調査

2) 重要核種の抽出(既存の処分概念に基づいた事故廃棄物に適した処分概念の検討)

- 事故廃棄物の処分区分の把握
- 事故廃棄物の影響特性の把握
- 処分システムの応答特性の把握
- 適切な処分概念・安全評価手法の候補選定

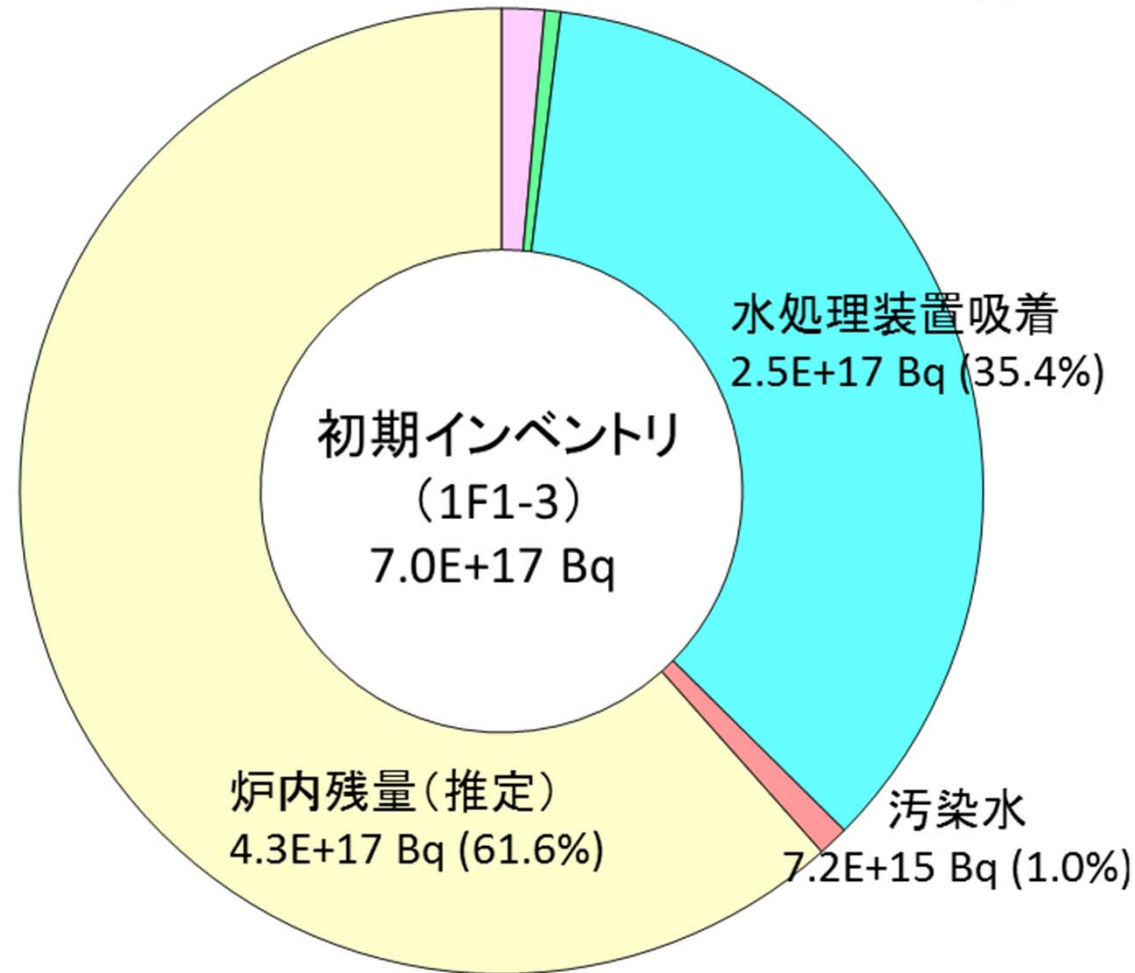
3) 新たな処分概念等の検討

- 膨大な量の発生が見込まれ、既存の処分概念をそのまま適用することが現実的に難しい解体廃棄物について、新たな処分概念を検討するとともに、その適用性を検討する。

3.1 性状把握

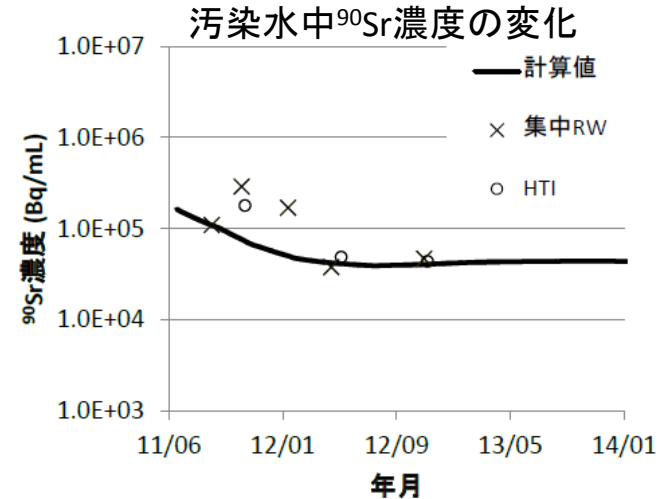
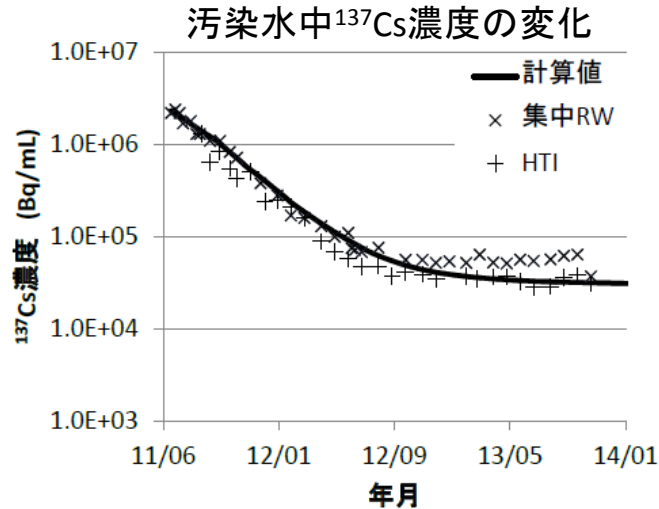
(1) Cs-137の分布状況の推定結果

大気放出 $1.0\text{E}+16$ Bq (1.4%) 海洋放出 $3.8\text{E}+15$ Bq (0.5%)



3.1 性状把握

(2) 主要核種の汚染水への物質移動のモデル評価



	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁹⁰ Sr	¹²⁵ Sb	¹⁰⁶ Ru	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
初期炉心インベントリ(Bq)	7.0E+17	7.2E+17	5.2E+17	4.2E+16	2.2E+18	9.4E+12	2.8E+14
初期濃度(Bq/ml)	2.4E+06	2.2E+06	1.6E+05	1.7E+02	2.3E+01	1.4E+02	5.2E+02
継続的移行率(Bq/d)	2.5E+13	2.6E+13	3.6E+13	1.3E+10	8.8E+09	1.4E+09	1.3E+09
半減期	30.04y	2.065y	28.74y	2.758Y	373.6Y	5.271y	312.1y

- 初期に汚染水に移行したCs-137,Cs-134の99%以上は除染
- 現在は燃料等から継続的に移行する成分が主である(炉内残存量の約2.1%/年に相当)と推定
- Cs以外のFPIについても、初期に汚染水に移行したものの99%以上は既に希釈・移送され、現在は、燃料等から継続的に移行する成分が主であると推定。
- Co-60は、他の核種に比べ分析値の変動が大きく、複数のソース(事故前から保管されていた廃棄物)からの溶出の可能性あり(現在は、継続的に移行している成分が主であると推定)

3.1 性状把握

(3) 放射能濃度評価方法

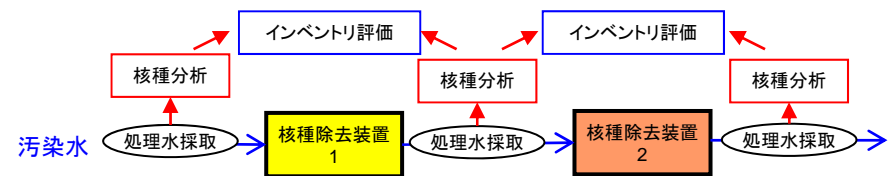
ガレキ、伐採木の放射能濃度評価

- 1,3,4号機周辺の瓦礫類が散乱したエリアからコンクリート、砂礫等を採取して放射能分析
- 伐採木は2カ所の保管エリア、また、3号機周辺の松の枝葉を採取して放射能分析



汚染水処理二次廃棄物の放射能濃度評価

- 汚染水処理により発生する廃ゼオライト、スラッジ等は高線量であり、直接放射能分析を行うことが困難
⇒ 汚染水や処理水の放射能分析結果から間接的な評価を実施中
- インベントリ評価の基本的考え方



分析対象核種

- 既存の処分システムにおける評価対象核種を参考に、以下の核種を対象として選定
- γ線核種 : ^{60}Co , ^{94}Nb , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu
- β線核種 : ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{79}Se , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{241}Pu
- α線核種 : ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{242m}Am , ^{243}Am , ^{244}Cm , ^{245}Cm , ^{246}Cm

3.1 性状把握

(4) 核種分析結果

瓦礫・伐採木の核種分析結果
(ガレキ・伐採木:57試料)

核種		放射能濃度 (Bq/g)		
		瓦礫・伐採木	濃度上限値の推奨値 ^{※1}	
			トレンチ処分	ピット処分
γ核種	⁶⁰ Co	ND(<7E-02) ~ 5.6E+00	1E+04	1E+09
	¹³⁷ Cs	2.0E+00 ~ 1.9E+05	1E+02	1E+08
β核種	¹⁴ C	ND(<5E-02) ~ 2.7E+00	-	1E+05
	⁶³ Ni	ND(<5E-02)	-	1E+07
	⁷⁹ Se	ND(<5E-02) ~ 2.1E-01	-	-
	⁹⁰ Sr	ND(<5E-02) ~ 1.0E+02	1E+01	1E+07
	⁹⁹ Tc	ND(<5E-02) ~ 8.9E-02	-	1E+03
α核種	²³⁸ Pu	ND(<5E-03)	-	@Am-241
	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	ND(<5E-03)	-	
	²⁴¹ Am	ND(<5E-03)	-	
	²⁴⁴ Cm	ND(<5E-03)	-	

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

セシウム吸着塔の
インベントリ推定結果

	KURION	SARRY
総吸着量 (Bq)	1.7E+17	8.0E+16
平均吸着量 (Bq/本)	4.0E+14	1.0E+15

ピット処分の濃度上限値を超える濃度であり、処理処分方策を検討する際に考慮する必要がある。

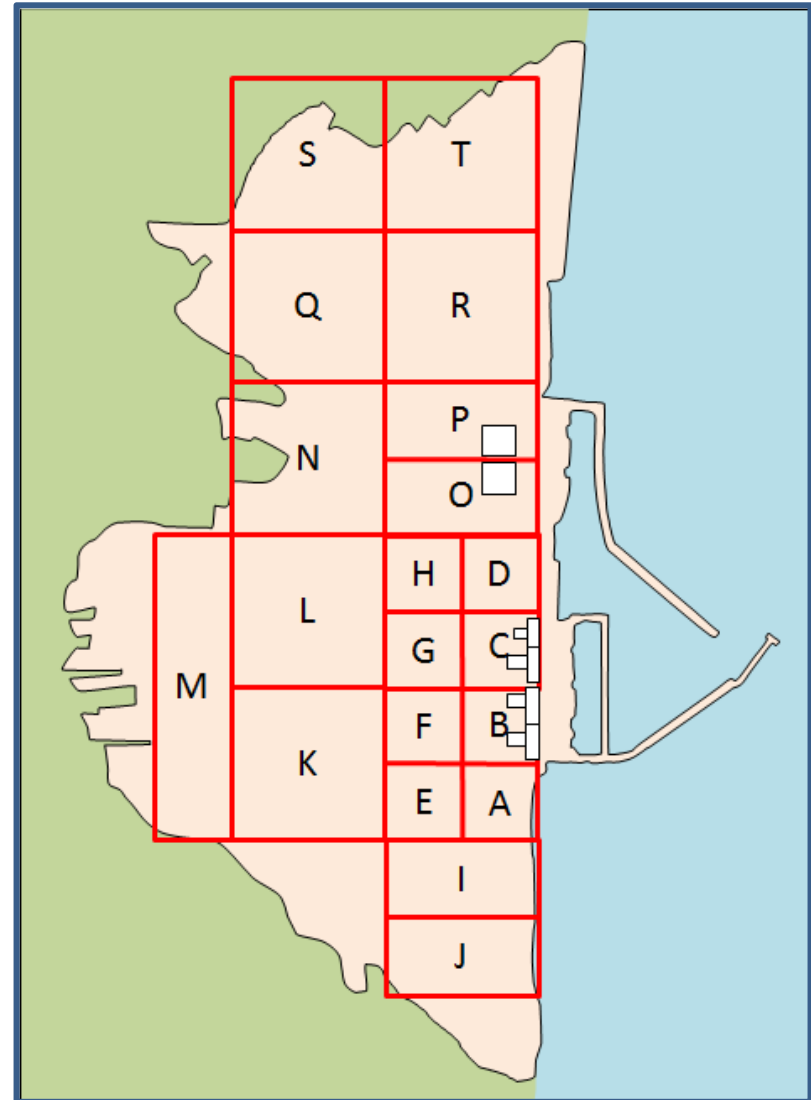
汚染水の分析結果

- ◆ 分析を実施した汚染水:25試料
- ◆ 汚染水(集中RW・HTI/B)から²³⁸Puを2.4E-03Bq/g、²³⁹Pu+²⁴⁰Puを8.3E-04Bq/g検出
- ◆ 同位体組成から福島第一原子力発電所事故に由来するものと考えられるが、フォールアウトに起因する環境中のPu放射能と同程度

3.1 性状把握

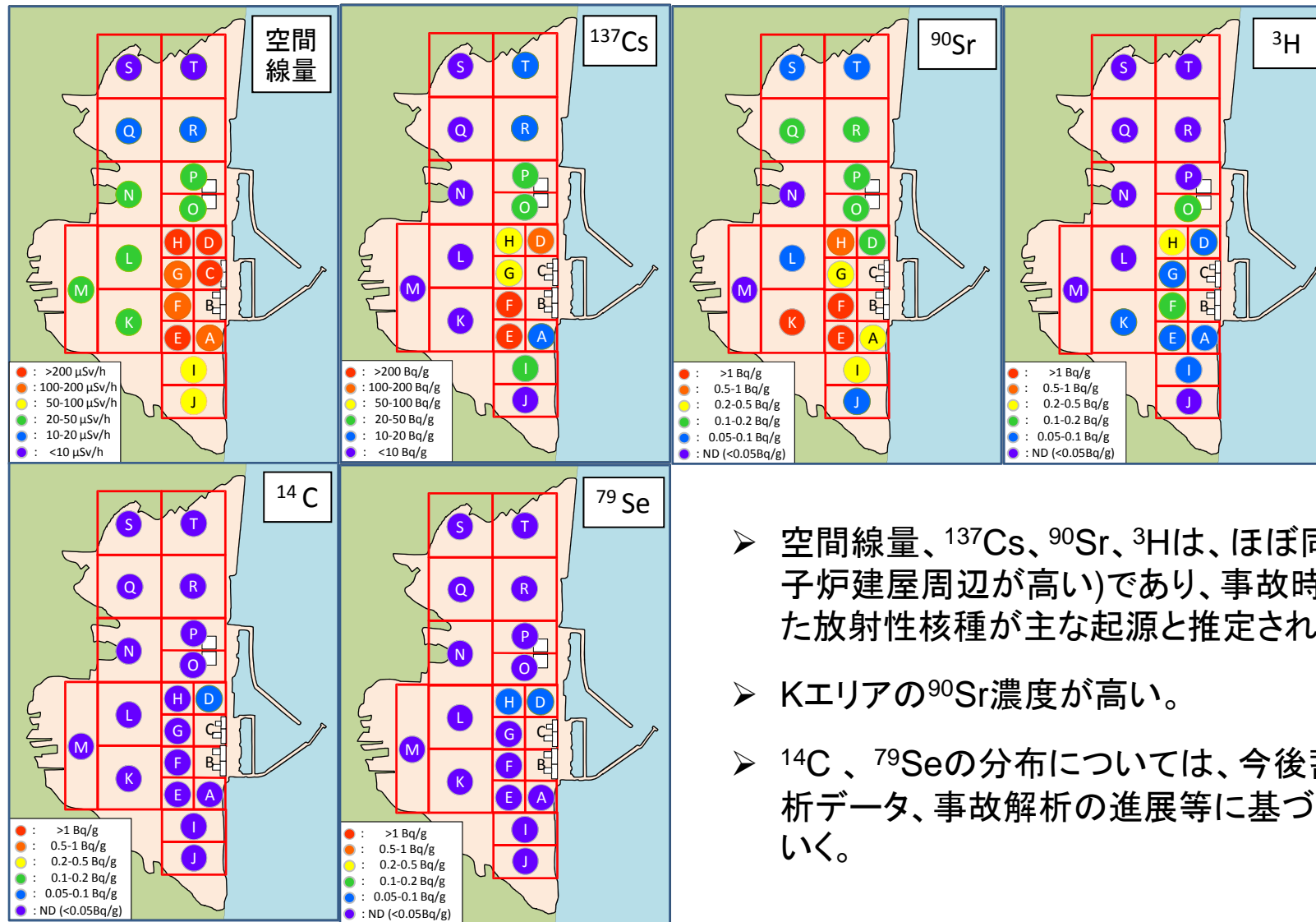
(5) 1F構内の立木の放射能の分布(その1)

- 立木の採取を行うエリアは、発電所構内の空間線量率分布に基づき設定。原子炉建屋周辺の空間線量率の高いエリアは細かく区分(右図参照)。
- 採取する立木は構内の代表的樹木である松とし、採取数は3本/エリア、地上高さ4m程度の位置の枝葉とした。
(なお、現場状況に応じて、樹種、高さは適宜変更。)
- 採取試料の表面線量率測定を行い、線量率の高い試料を中心に、全エリアを含む枝葉(又は草)を分析対象試料として選定(1~3試料/エリア)。



3. 1 性状把握

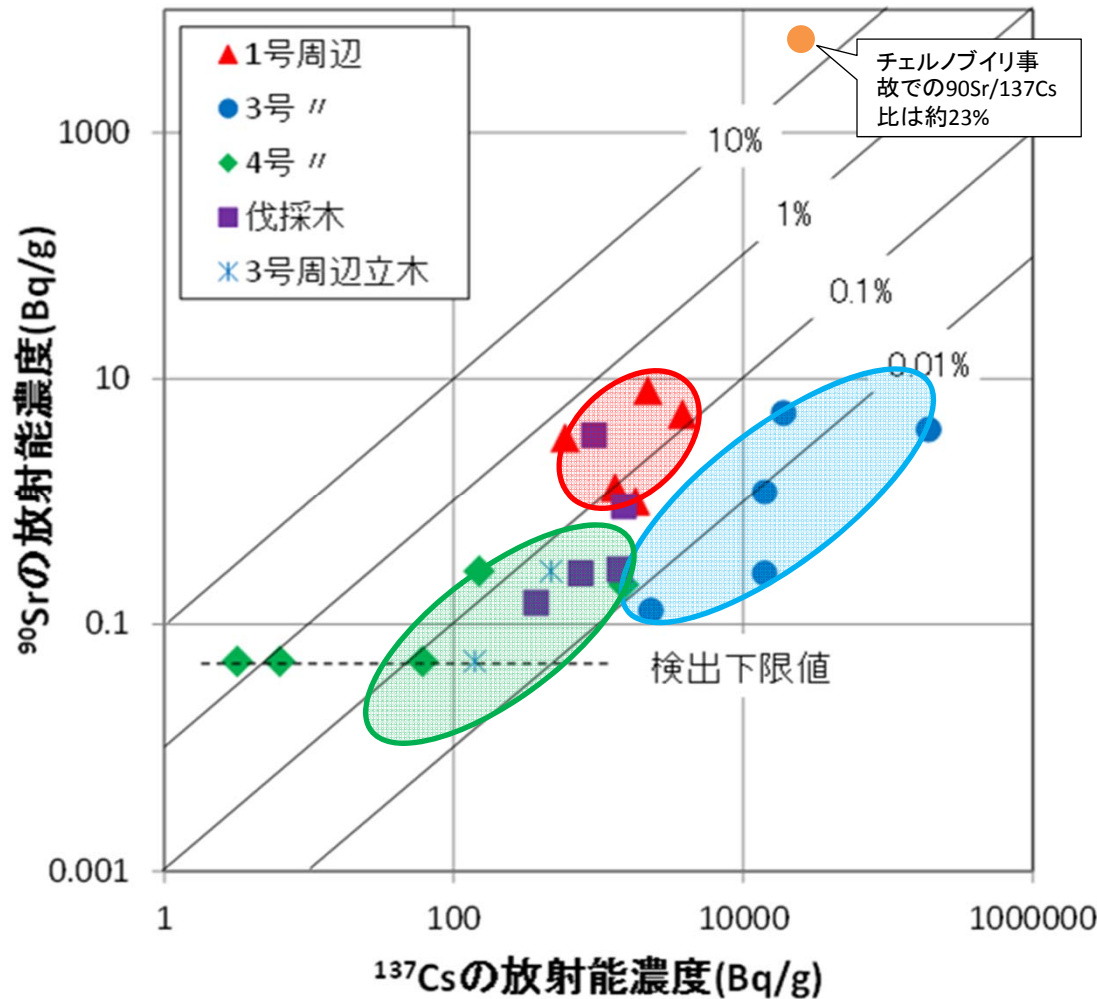
(5) 1F構内の立木の放射能の分布(その2)



- 空間線量、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^3H は、ほぼ同じ分布(原子炉建屋周辺が高い)であり、事故時に拡散した放射性核種が主な起源と推定される。
- Kエリアの ^{90}Sr 濃度が高い。
- ^{14}C 、 ^{79}Se の分布については、今後蓄積する分析データ、事故解析の進展等に基づき評価していく。

3.1 性状把握

(6) 瓦礫等における¹³⁷Csと⁹⁰Sr放射能濃度の関係



- ⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比は、ガレキと伐採木において、大きな差がなく、0.002~0.62%の範囲であった。
- ガレキ・伐採木の¹³⁷Cs濃度と⁹⁰Sr濃度の間には比例関係の傾向が見られる。
- ガレキは採取場所や試料で傾向が異なる。現時点ではデータ数が少ないため、今後、データの蓄積を継続して双方の相関の精度を向上する。
- チェルノブイリ事故で発生した廃棄物⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比(約23%)は燃料中の組成に近い比であり、事故進展の違いが廃棄物中の¹³⁷Csと⁹⁰Srの比に反映されていると考えられる。

3.2 長期保管方策の検討

(1) 廃スラッジ一時保管時の水素・シアン化水素発生評価、貯槽内温度解析



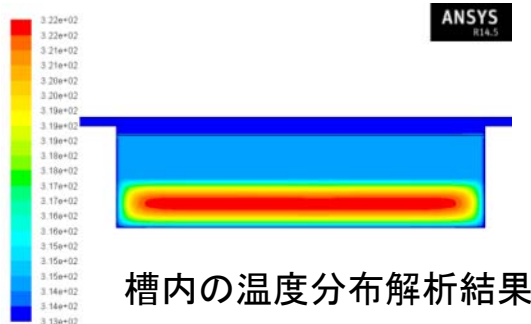
廃スラッジ一時保管施設貯槽

三菱重工ニュース, 第 5131号, 2011年11月14日

水素・シアン化水素発生評価

- ◆ 海水成分やスラッジが共存する条件で照射試験を実施して評価
 - ① 水素の放射線化学収率 (G値)
 - G値は、フェロシアン化物と海水が寄与するが、**最大でも純水の2倍以内**であった。
 - 貯槽は換気されるため、水素濃度は爆発下限界 (4%) に達しないと考えられる。
 - ② シアン化水素 (HCN) の生成
 - 10年間保管相当の照射 (6MGy) において、**気相中のシアン化水素は検出限度未満 (<5ppm未満)**であった。

貯槽内温度解析



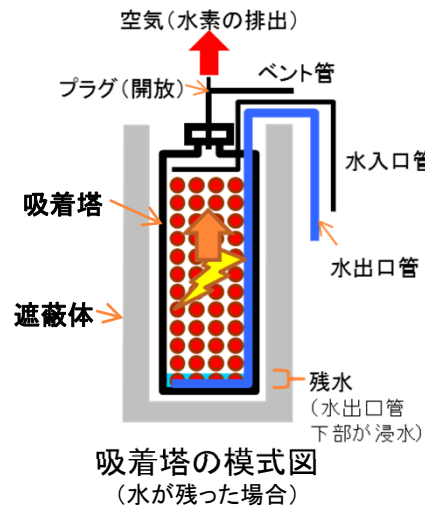
槽内の温度分布解析結果

- ◆ 初期の温度上昇速度は約 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{h}$ であり、徐々に平衡状態へ移行する。また、**約 50 d後に、外気温に対して $+20^{\circ}\text{C}$ で平衡になると評価。**
- ◆ 外気温が 40°C の場合、中心部温度は約 60°C になるが、**フェロシアン化物の分解温度 ($250^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$) に比べて十分に低く、熱分解によりシアン化水素は発生しないと**考えられる。

3.2 長期保管方策の検討

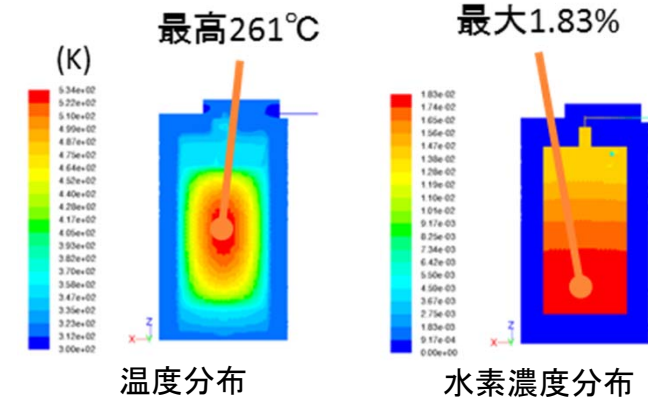
(2) 廃ゼオライト吸着塔内の温度、水素分布解析

- 保管初期には残水により水出口管下部が閉塞し、空気の流入が遮断されることを想定し、廃ゼオライト吸着塔内の温度、水素分布を評価
- 吸着塔内のセシウム濃度は均一ではなく上下方向に分布があることを考慮



解析の結果(例)

- 崩壊熱 : 618 W
- 水素発生量(25°C, 1 atm)
ゼオライト層 : 24.3L/d
水没層表面 : 0.76L/d
- 水没層の熱伝導率は水の1.1倍の値



解析により求めた水素 (H₂) 濃度


Cs吸着	水位	最高温度	H ₂ 濃度
618W 不均一吸着	24cm (水出口管下部が浸水)	261°C	≤1.8%
504W 均一吸着	同上	211°C	≤1.6%
同上	0cm	210°C	≤1.1%

- 618 W のケースは、運転データから吸着解析コード (ZAC) によりCsの吸着量と塔内分布 (軸方向) を求めた。
- 504 W のケースは、汚染水・処理水の分析データと吸着平衡からCs吸着量を求め、均一に吸着したものと想定した。

- 吸着塔に水が残る場合、空気は上部プラグ等を通して排出される。Cs吸着量が最大の場合 (放射線源が最大となる) にも、水素 (H₂) 濃度は爆発下限界 (4%) 以下に抑えられる。ゼオライト層温度も水素の自己着火温度 (約 560°C) 以下と評価される。
- 吸着塔に水がない場合には、水出口管から空気が流入し、上部のVENTプラグ等から排出される体系となり、水素濃度は相対的に低くなる。

4. 課題及び対策案

課題	可能性のある対策案		
	性状把握	処理・廃棄体化	処分
発生廃棄物量が大量	<ul style="list-style-type: none"> 廃止措置シナリオのオプション選択 	<ul style="list-style-type: none"> 減容(有機物焼却、高温溶融等)技術 	<ul style="list-style-type: none"> 処分場容積確保 廃棄体定置方法やレイアウト等の最適化による設置密度向上
インベントリ評価が十分にできない	<ul style="list-style-type: none"> 実測データ充実(現行手法) 革新的核種分析手法開発 現行の核種分析技術の簡易化、自動化 	<ul style="list-style-type: none"> 均一化(含む、ブレンディング)技術 高温溶融技術 	<ul style="list-style-type: none"> 安全評価でのインベントリの幅を保守的に考慮した評価により安全性の確認
原廃棄物の種類や核種組成が従来廃棄物と異なる可能性	<ul style="list-style-type: none"> 同上 	<ul style="list-style-type: none"> 高性能固化剤開発 特定物質の処理方法・技術(フェロシアン化物等)の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 同上
不純物や混合物等の従来廃棄物では想定していない物質の存在	<ul style="list-style-type: none"> 化学成分分析手法開発 	<ul style="list-style-type: none"> 除染技術 分離技術 	<ul style="list-style-type: none"> 安全評価のシナリオ、モデル、パラメータへのインパクトの検討(含む変更)と、それに伴う評価結果の変動を踏まえた安全性の確認 不純物や混合物の影響を抑制する処分システムの開発 影響プロセス等の現象論的理解等によるシナリオ、モデル、パラメータの改良・開発
廃棄物・処分区分のための規制がない	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする廃棄物・廃棄体と区分毎の処分概念の適合性評価(処分場実現性、安全性)



ご清聴ありがとうございました。