

福島第一原子力発電所 廃炉の現状紹介

～汚染水処理廃棄物等ならびに燃料デブリに関する取組～

平成30年3月20日

東京電力ホールディングス株式会社

實重 宏明

1. 汚染水処理二次廃棄物の保管に向けた検討について

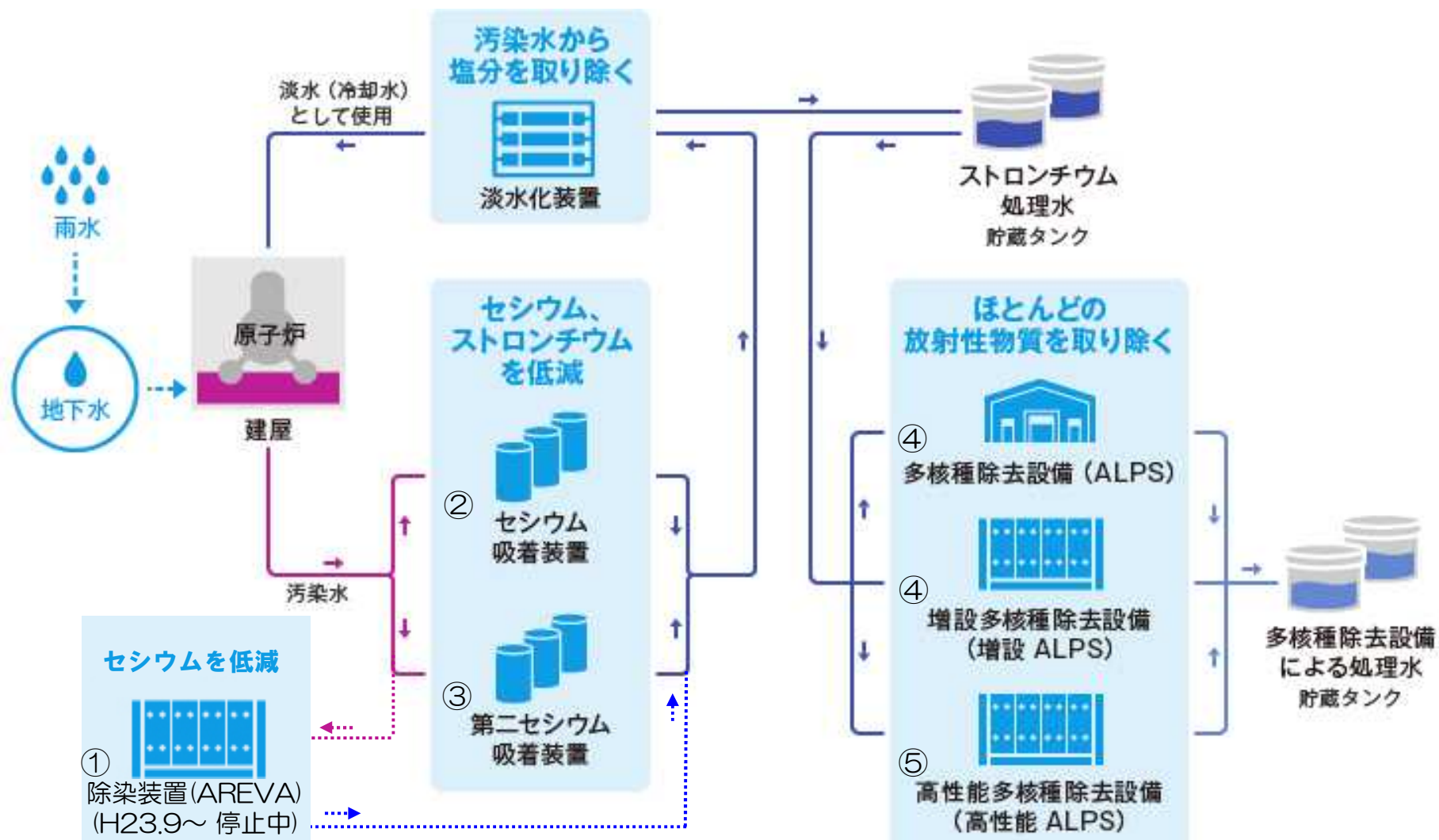
- ① 汚染水処理の概要
- ② 水処理二次廃棄物の概要
- ③ 水処理二次廃棄物に係るリスク認識
- ④ 安定化・固化処理の検討状況
- ⑤ 水処理二次廃棄物保管フロー
- ⑥ 安定化・固化処理に向けた検討方針
- ⑦ 安定化・固化処理技術の例
- ⑧ 安定化・固化処理技術検討状況の具体例（固化処理）
- ⑨ 処理技術の評価上の視点
- ⑩ 固化技術の基礎データと評価

2. 燃料デブリの保管に向けた検討について

- ① 燃料デブリ取出しのフロー（イメージ例）
- ② 技術開発の目標
- ③ 1FとTMI-2における燃料デブリの比較
- ④ 収納缶検討における燃料デブリの基本条件設定
- ⑤ 収納缶検討上における要求事項（例：安全評価上の要求）

1-① 汚染水処理の概要

3



汚染水の処理に伴い、**水処理二次廃棄物**が発生

1-② 水処理二次廃棄物の概要

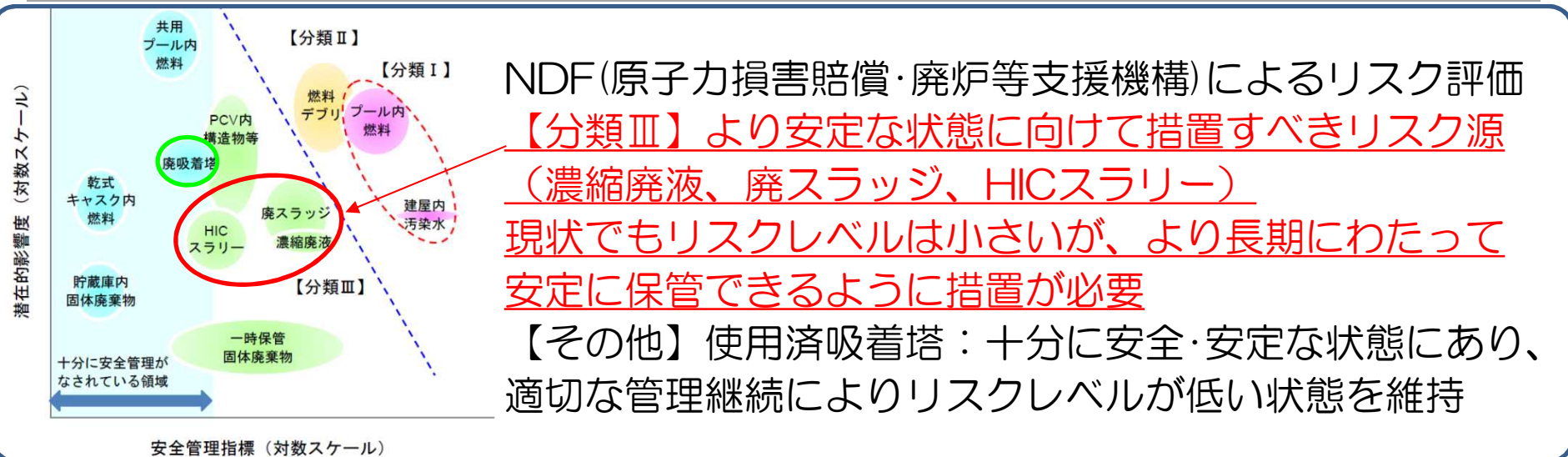
4

分類	発生元設備	形態(貯蔵形態)	数量※1	主要成分	性状	運用状況
汚染水処理設備	① 除染装置(AREVA)	スラッジ※2 (建屋内貯槽)	約597m ³	硫酸バリウム＋ フェロシアン化物	液体	停止中
	② セシウム吸着装置 (KURION)	ろ過材(吸着塔)	計763基	珪砂	固体	稼働中
		吸着材(吸着塔)		ゼオライト 珪チタン酸塩	固体	
	③ 第二セシウム 吸着装置(SARRY)	ろ過材(吸着塔)	計194基	砂	固体	稼働中
		吸着材(吸着塔)		ゼオライト 珪チタン酸塩	固体	
	④ 多核種除去設備 (既設・増設ALPS)	スラリー※2 (高性能容器)	計2651基	鉄共沈沈殿物 炭酸塩沈殿物	液体	稼働中
その他	蒸発濃縮装置	吸着材 (高性能容器)		ゼオライト (珪)チタン酸塩 フェロシアン化物 活性炭 (キレート)樹脂 その他	固体	
		吸着材(吸着塔)	計74基	既設・増設ALPSの 吸着材類似品	固体	稼働中
	その他の汚染水処理設備	吸着材・ろ過材	計196基	ゼオライト 珪チタン酸塩 等	固体	一部停止中
	その他	廃液(溶接タンク)	9319m ³ (スラッジ込)	濃縮塩水	液体	停止中
		スラリー (横置タンク)	—	炭酸カルシウム	液体	

※1：2018年2月1日時点 ※2：一般に、懸濁液状の物をスラリーといい、特に濃厚で沈殿する物をスラッジという。

1-③ 水処理二次廃棄物に係るリスク認識

5



『中期的リスクの低減目標マップ』 原子力規制委員会(H29/7)

- ・ 沈殿処理生成物貯蔵容器等 → 二次廃棄物の安定的な管理への移行（固化等）
- ・ 除染装置スラッジの安定化・固化処理

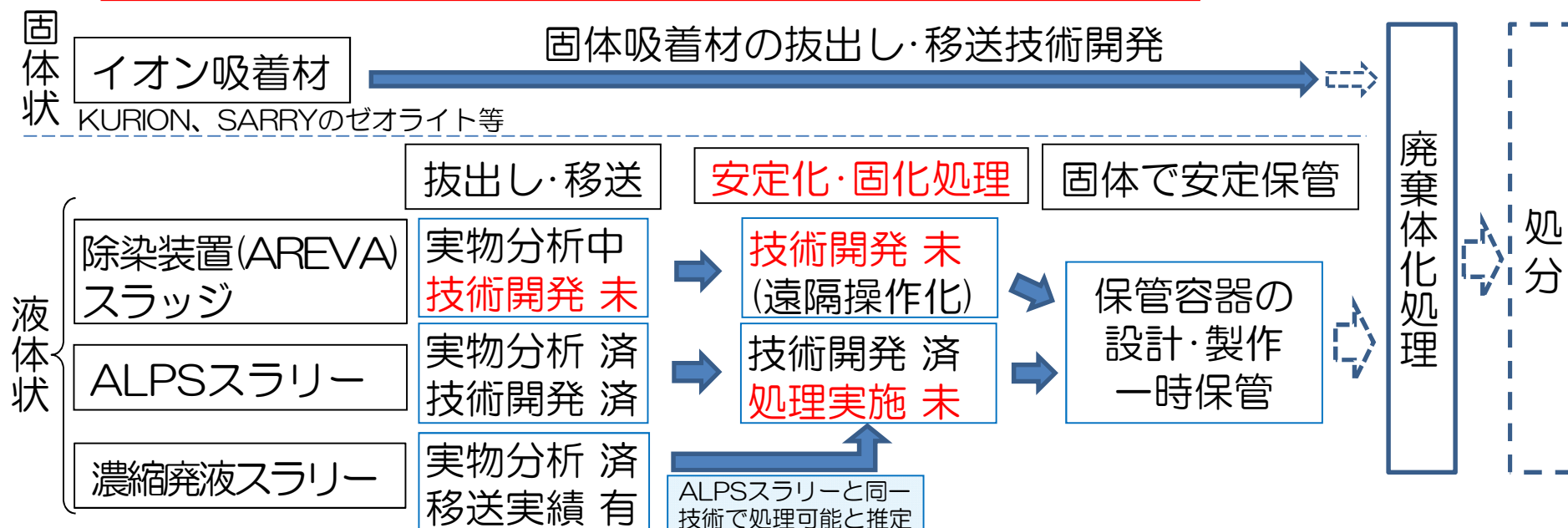


- ・ 液体状の水処理二次廃棄物の保管を高リスクと認識
⇒ 安定化・固化処理（脱水・乾燥・固化等で安定な形態にする）

1-④ 安定化・固化処理の検討状況

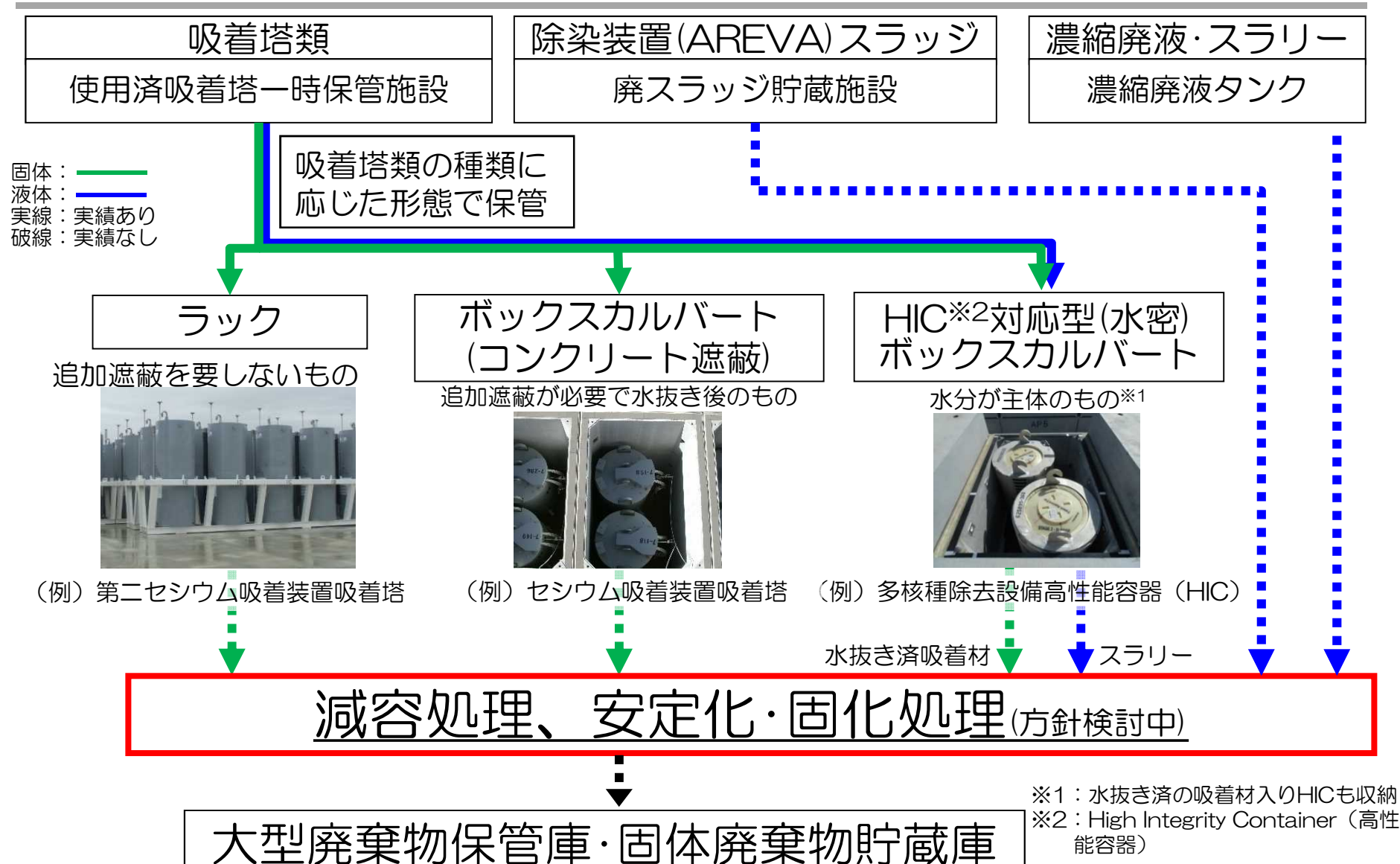
6

- 固体状廃棄物の吸着材 → 安定化・固化処理は不要
- 液体状の水処理二次廃棄物の保管中リスクの早期低減が必要
→ 安定化・固化処理がリスク低減に有効
- 廃棄体への要求要件が決定するには長期間を要すると想定
- 廃棄体化処理まで進めると、将来の廃棄体要件と合致しない可能性
将来の廃棄体化処理においても、予備脱水・水分調整は必要なため、
水分を減らすような安定化・固化処理の実施まで進めるのが合理的



1-⑤ 水処理二次廃棄物保管フロー

7



1-⑥ 安定化・固化処理に向けた検討方針

8

カテゴリー	性状	主要成分	線量 ※1	物量 ※2	検討状況・方針
吸着塔/HIC内吸着材・ろ過材	固体	ゼオライト 珪チタン酸塩 珪砂、etc.	中～高	大	- 高線量率であり処理の確実性が重要 - 各種吸着材を一括処理できる設備を志向 - 多様な容器からの取出し、二次廃棄物処理も含めて検討
除染装置スラッジ	液体	硫酸バリウム	高	小	- 高線量率であり、処理の確実性を重要視し技術調査中 - 取出し技術を検討中
多核種除去設備 HIC内スラリー		鉄共沈沈殿物 炭酸塩沈殿物	低～中	大	固体化を目標とした脱水／乾燥にむけた技術開発が進展中
蒸発濃縮装置 スラリー		炭酸 カルシウム	低	小	- HIC内スラリー(炭酸塩沈殿物)と同技術で処理可能と想定 - 取出し、移送の実績あり

※1 高：廃棄物への接近が困難（Csが主）、中：時間・量を限れば接近可能、低：遮へいなしで接近可能

※2 大：1000トンオーダー、小：10トンオーダー

⇒ 廃棄物の性状に応じて、処理技術を選定

1-⑦ 安定化・固化処理技術の例

9

技術	脱水	乾燥	セメント固化	ガラス固化
概要	遠心分離・ろ過等により脱水	加熱等により乾燥	セメントを混練して固化	溶融してガラス体にして固化
長所	スラッジ・スラリーで減容効果大	- スラッジ・スラリーで減容効果大 - 容器腐食の可能性減少	- 多様な廃棄物に適用実績あり - 原料が安価 - 容器腐食の可能性減少	- ゼオライトで減容効果大 - 安定性が高い - 高放射性廃棄物への実績あり - 保管時の水素対策不要 - 容器腐食可能性なし
短所	- 保管時水素対策要 - 処分時固化処理要 - 容器の耐食性評価	(絶乾以外は)保管時の水素対策要 - 処分時固化処理要 - 容器の耐食性評価	- 体積増加 - 保管時水素対策要 - 混合比検討要 - 容器の耐食性評価	- 高温プロセス - 排ガス対策 - 混合比検討要
二次廃棄物	- 分離水 - ろ材（ろ布など）	- 前処理分離水 - 排ガス凝縮水 - 排ガスフィルタ	前処理分離水	- 前処理分離水 - 排ガス凝縮水 - 排ガスフィルタ

注：候補技術は例示であり、実際に適用する技術を限定するものではない

1-⑧ 安定化・固化処理技術検討状況の具体例（固化処理）

10

- 処理実績のない水処理二次廃棄物を対象として、廃棄物性状、既存の処理技術および廃棄体要件に基づき、可能性のある廃棄物処理フローを検討した。
- 適用可能性が高いと推定される複数の既存固化技術を選定し、模擬廃棄物の固化体を用いた基礎固化試験により適用可能性を評価した。

- 廃棄物性状
- 物理的/化学的な性状
 - 水分の含有
 - 熱分解する有害物（天然有機物/シアン化合物）の含有

- 既存の処理技術
- 減容・前処理技術
 - 固化技術

- 廃棄体要件
- 技術的に可能な範囲で減容されていること
 - 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質を含まないこと
 - 放射性物質を容易に飛散・漏洩させない、物理的・化学的に安定な性状であり必要な強度をもつ固化体であること

製作した固化体の特性（一軸圧縮強度、水への浸出率、水素ガス発生量）を評価した。

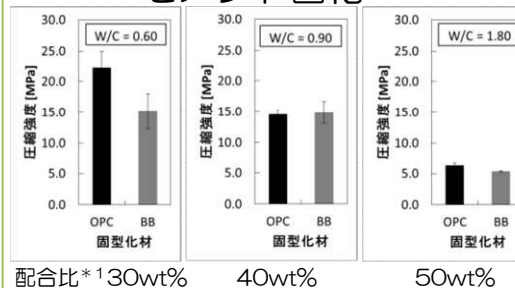
前提条件の検討

廃棄物処理フローの検討

基礎固化試験

適用候補技術の評価

セメント固化*2

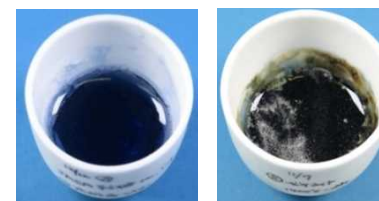


ジオポリマー*3



チタン酸塩固化試料 (配合比 40wt%)

ガラス・溶融



炭酸塩スラリー・ガラス 固化試料 (配合比 20wt%) ゼオライト 溶融固化試料

焼結・ペレット



チタン酸塩固化試料
成型圧 : 150 MPa
焼結温度 : 900℃

*1 配合比：固化体重量に対する廃棄物の重量割合。ただし、ガラス固化の場合はすべての成分元素を酸化物として重量換算した場合の廃棄物の重量割合。

*2 OPC 普通ポルトランドセメント、BB 高炉セメントB種。 *3 主にAlとSiで構成されるアモルファス状の無機系材料

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成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）」の成果の一部を含む

1-⑨ 処理技術の評価上の視点

11

以下のような視点を踏まえながら研究開発を実施

項目	考え方の概要
放射線安全	設備の複雑さに伴う保守作業量の違いに伴う作業被ばく量の差で評価
閉じ込め性	処理後の水分・流動性による容器の腐食・漏えいリスクで評価
潜在的リスク	保管中の水素発生量、処理中の環境への漏えいリスクで評価
技術的成熟度	原子力への適用実績で評価
経済性	処理に必要な施設、容器、運用の費用
廃棄物量	処理後の廃棄物発生量（二次廃棄物発生を含む）で評価
設備の共用性	他の廃棄物の処理への適用性で評価
処分適合性	最終処分のための処理が別途必要と仮定し、処理の容易さを評価
時間的制約	設備納期（実機検証等の検討時間も含む）で評価
社会的受容性	処理・保管中の健全性（外部漏えい、放散）、設備信頼性（原子力施設への適用実績有無）で評価
必要な敷地面積	処理後の廃棄物量で必要な敷地面積を求め評価

注：記載順は優先順位を表わすものではない

1-⑩ 固化技術の基礎データと評価

12

- 模擬廃棄物を用い、既存固化技術による固化体の適用可能性を検討した。
- 対象とした廃棄物の固化処理に、適用可能性のある技術があることを確認した。

多核種除去設備から発生する鉄共沈スラリーに対する基礎固化試験の結果と評価（例）

固化技術	廃棄物の配合比		一軸圧縮強度		放射性核種の水への浸出率		放射線分解による水素ガス発生量（G値）	
セメント (OPC: 普通ポルトランドセメント、 BB: 高炉セメントB種)	40wt%で固化可能	○	OPC: 4.5 MPa BB: 4.8 MPa (配合比：40wt%)	○	OPC: Co 0.28%、Ni、Eu <0.14% BB: Co、Ni、Eu <0.14% (配合比：40wt%)	○	OPC: 0.20 BB: 0.16 (配合比：40wt%)	△
			OPC: 15.5 MPa BB: 14.0 MPa (配合比：30wt%)	◎	OPC: Co 0.38%、Ni、Eu <0.19% BB: Co、Ni、Eu <0.19% (配合比：30wt%)	○	-	-
ジオポリマー	40wt%で固化可能	○	16.9 MPa (配合比：40wt%)	◎	Co、Ni < 0.01% Eu < 0.02% (配合比：40wt%)	◎	0.12 (配合比：40wt%)	△
ガラス	35wt%で固化可能	△	- (*2)	-	Cs、Sr、Eu、N、Co <0.2% (配合比：35wt%)	○	- (*4)	◎
溶融 (*1)	溶融不可 (100wt%)	×	-	-	-	-	-	-
焼結	80wt%で固化可能	◎	- (*2)	-	Co 0.003%、Ni 0.01%、 Eu 0.001% (配合比：80wt%)	◎	- (*4)	◎
ペレット成型	80wt%で固化可能	◎	- (*2)	-	- (*3)	-	- (*4)	◎
適用可能性 (*5)	廃棄物をより多く配合できることが良く、40wt%を超える場合を優、40wt%を良、40wt%未満を可の目安とする。		固化体自体の強度が高いことが良く、5MPa以上を優、1.47MPa以上を良の目安とする。		浸出率が小さいことが良く、0.1%以下を優、1.0%以下を良の目安とする。		G値が小さいことが良く、水を用いない場合を優、0.1以下を良、0.1を超える場合を可の目安とする。	

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成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・処分に係る研究開発）」の成果の一部を含む

1. 汚染水処理二次廃棄物の保管に向けた検討について

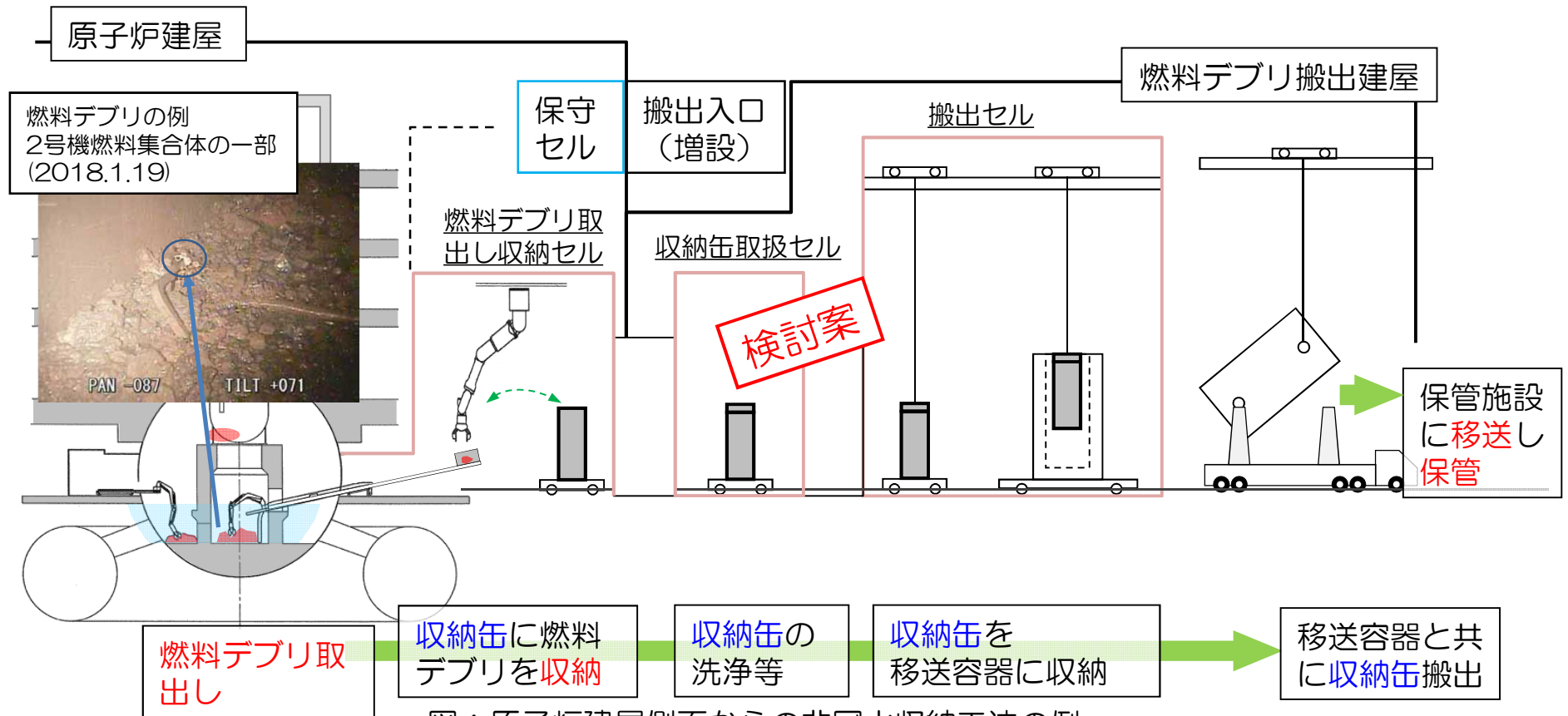
- ① 汚染水処理の概要
- ② 水処理二次廃棄物の概要
- ③ 水処理二次廃棄物に係るリスク認識
- ④ 安定化・固化処理の検討状況
- ⑤ 水処理二次廃棄物保管フロー
- ⑥ 安定化・固化処理に向けた検討方針
- ⑦ 安定化・固化処理技術の例
- ⑧ 安定化・固化処理技術検討状況の具体例（固化処理）
- ⑨ 処理技術の評価上の視点
- ⑩ 固化技術の基礎データと評価

2. 燃料デブリの保管に向けた検討について

- ① 燃料デブリ取出しのフロー(イメージ例)
- ② 技術開発の目標
- ③ 1FとTMI-2における燃料デブリの比較
- ④ 収納缶検討における燃料デブリの基本条件設定
- ⑤ 収納缶検討上における要求事項（例:安全評価上の要求）

2-① 燃料デブリ取出しのフロー(イメージ例)

14



図：原子炉建屋側面からの非冠水収納工法の例

取出し後に**収納・移送・保管**を行うための技術開発が必要

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）」の成果の一部を含む

注：当フローは例示であり、実際に取り出す際の手法を限定する物ではない。

2-② 技術開発の目標

1Fと同様に炉心溶融が発生したプラントとしては、スリーマイルアイランド2号炉（TMI-2）等がある。TMI-2では収納缶（収納容器）を使用し燃料デブリの収納・移送・保管を実施している。

⇒1Fの特徴（TMI-2との違い）

- ・ 燃料デブリが原子炉一次格納容器底部まで広がっていると推定される
- ・ 建屋が損壊し、内部は放射性物質で汚染、高線量率のエリアもある
- ・ 発電所敷地内の収納缶の保管敷地面積が限られる
- ・ 燃料デブリ性状が異なる（炉内に海水が注入されている、MCCI反応（コンクリートと溶融炉心が反応）生成物等がある等）
- ・ 燃料の初期濃縮度、燃焼度が高い

⇒ 建屋損壊や建屋内の汚染等により燃料デブリ取出し工法が大きく制約
また、性状の違いから収納缶に要求される性能もTMI-2より高度となる



【開発目標】2021年度の燃料デブリ取り出しへ向け、
合理的な燃料デブリの収納・移送・保管方法を確立

⇒ 1Fの特徴を踏まえた収納缶の研究開発

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）」の成果の一部を含む

2-③ 1FとTMI-2における燃料デブリの比較

16

収納・移送・保管の観点から1FとTMI-2の燃料デブリを比較

		1F燃料デブリ	TMI-2燃料デブリ
燃焼度（炉心平均）		約25.8GWd/t	約3.2GWd/t
濃縮度（バンドル平均（最大））		3.7 wt%	2.96 wt%
冷却期間（最短）		約9年（2020年6月時点）	約6年
デブリ存在位置		圧力容器内及び格納容器内（推定） ⇒燃料構造材・炉内構造物に加え、 コンクリートや計装ケーブル等と の溶融生成物が存在すると推定	圧力容器内 ⇒燃料構造材・炉内構造物との 溶融生成物
収納 物量	デブリ重量	—	134.4t
	（燃料集合体重量）	3基合計で約450t以上	約122t
	（ウラン重量）（未照射）	3基合計で約260t以上	約82t
その他		炉内に海水を注入	—
上記表において1FがTMI-2と大きく異なる点は以下のとおり。 ・ 燃焼度と濃縮度が高い ⇒ 放射線、崩壊熱大及び反応度高 ・ MCCI反応生成物の存在可能性 ⇒ コンクリート中水分の放射線分解による水素発生懸念 ・ 炉内海水注入、計装ケーブル他と溶融 ⇒ 燃料デブリ中塩分の影響、多様な不純物の混入			

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）」の成果の一部を含む

2-④ 収納缶検討における燃料デブリの基本条件設定

17

収納缶の形状設定にあたり、他研究開発からの情報等に基づき、以下の条件を仮定

性状項目	燃料デブリの設定基本条件
燃料デブリ組成 (MCCI生成物除く)	二酸化ウラン（核分裂生成物を含む）、 ジルコニウム合金、ステンレス、低合金鋼、 Ni基合金、コンクリート、炭化ホウ素、海水
MCCI生成物	上記燃料デブリにコンクリートが混合したもの (評価上はコンクリート成分の物理的混濁と仮定)
塩分濃度	最大100ppm程度 (滞留水の塩素濃度10～20ppmを保守的に設定)
ジルコニウム	微量に金属状態で残留（金属火災の可能性を考慮）
デブリの安定性 (-20～300℃、 窒素雰囲気)	燃料デブリが内包する成分の気化等による大幅な体積 変動、腐食物質や放射性ガスの大量放出等は生じない (左記環境において物質は安定と想定)
燃料デブリ形状	塊状・粒状・粉状の固形物
防錆剤/中性子吸収剤	五ホウ酸ナトリウム等

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）」の成果の一部を含む

2-⑤ 収納缶検討上における要求事項（例:安全評価上の要求）18

収納缶の安全評価の観点からの収納缶仕様への要求事項

項目	安全評価からの制約条件	収納缶仕様への要求事項
未臨界	未臨界維持可能な条件を担保する。	収納缶内径及び水体積率の制限
熱	温度上昇による燃料デブリの変質及びFPガス量増加を抑制可能な温度に留める（TMI-2の知見では300℃）	移送容器・空調等の他機器で除熱担保
遮蔽	作業員被ばく及び公衆被ばくの低減の観点から必要な遮蔽性能を有すること	移送容器・建屋等の他機器で遮蔽担保
閉じ込め	放射性物質の閉じ込めが可能なバウンダリを設けること	特段の配慮することなく対応可能な見込み（安全評価上の閉じ込め機能はつけない）
構造	未臨界維持の形状保証のため想定事故に対する強度を有すること	収納缶の胴厚さの確保
水素	水素爆発が発生しない濃度（4vol%以下）に管理する	水素再結合触媒等の水素対策を設置
経年劣化 （材料健全性）	移送・長期保管中に安全評価に影響を与えるような大きな腐食を生じないこと	現実的な収納缶内外環境において安全評価に影響する程度の腐食をしない材料を選定
火災防止	ジルコニウム等の金属火災が起こらないこと	特になし（不活性雰囲気又は冠水状態）

- ・ その他、取出し・収納作業上の要求事項等を考慮し収納缶設計を推進
- ・ 収納缶設計成果の、取出し側等他作業へのフィードバックも実施

本資料は、国際廃炉研究開発機構（IRID）が補助事業者として実施している平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）」の成果の一部を含む

ご静聴ありがとうございました。