

# スラリー、スラッジの安定化処理にむけた検討状況

2017年7月25日



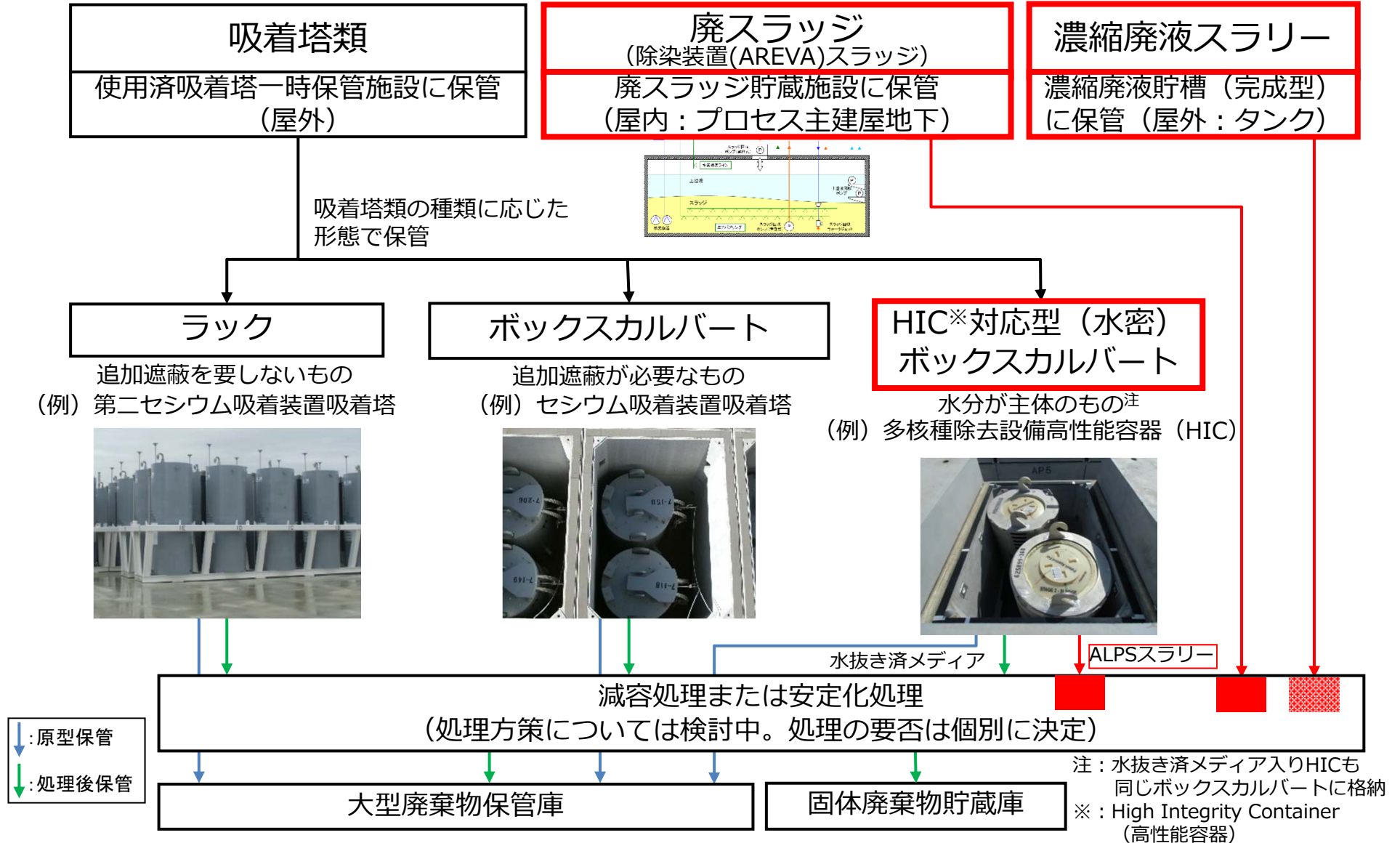
東京電力ホールディングス株式会社

1. スラリー、スラッジの種類と発生状況
2. スラリー、スラッジの保管・処理
  - 2-1.スラリー、スラッジに係るリスク認識
  - 2-2.スラリー、スラッジの安定化処理の目標設定
3. 多核種除去設備(ALPS)スラリーの処理に関する状況
4. 除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況

参考資料

# 1.スラリー、スラッジの種類と発生状況(1)

- 水分が主体のスラリー、スラッジ(赤枠部)の安定化処理の方針を優先的に検討



# 1.スラリー、スラッジの種類と発生状況(2)

発生元	内容物、主要成分	代表核種の濃度	発生量※	貯蔵形態・保管場所
除染装置 (AREVA)	硫酸バリウム(66%) フェロシアン化物	$^{90}\text{Sr}$ : 約 $2 \times 10^7 \text{Bq/g}$	$597 \text{m}^3$ (上澄み水含)	プロセス主建屋 - 造粒固 化体貯槽D(標高10m)
(既設)多核種 除去設備 (既設ALPS)	鉄共沈スラリー : $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (75%)	$^{90}\text{Sr}$ : 約 $1 \times 10^6 \text{Bq/cm}^3$	HIC366基 $955 \text{m}^3$	高性能容器(HIC)・ セシウム吸着塔一時保管 施設(第二施設、第三施 設)(標高>30m)
	炭酸塩スラリー : $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (比は原水の成分に依存)	$^{90}\text{Sr}$ : 約 $4 \times 10^7 \text{Bq/cm}^3$	HIC931基 $2,493 \text{m}^3$	
増設 多核種 除去設備 (増設ALPS)	炭酸塩スラリー : $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (比は原水の成分に依存)	$^{90}\text{Sr}$ : 約 $4 \times 10^7 \text{Bq/cm}^3$	HIC957基 $2,430 \text{m}^3$	
【参考】 蒸発濃縮装置	炭酸カルシウムスラ リー	$^{90}\text{Sr}$ : 約 $1 \times 10^7 \text{Bq/cm}^3$	$68 \text{m}^3$	横置きタンク(完成型)・ H2西(標高>30m)

※：2017/7/5集約の発生数・量。ALPSスラリー量はHICの容量 $2.61 \text{m}^3/\text{基}$ で換算。



炭酸塩スラリー



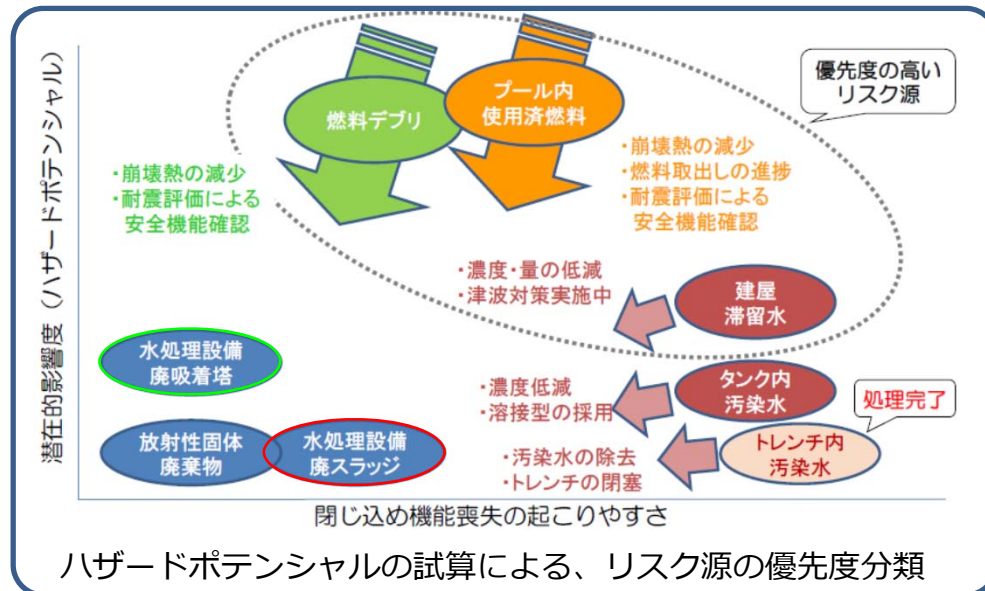
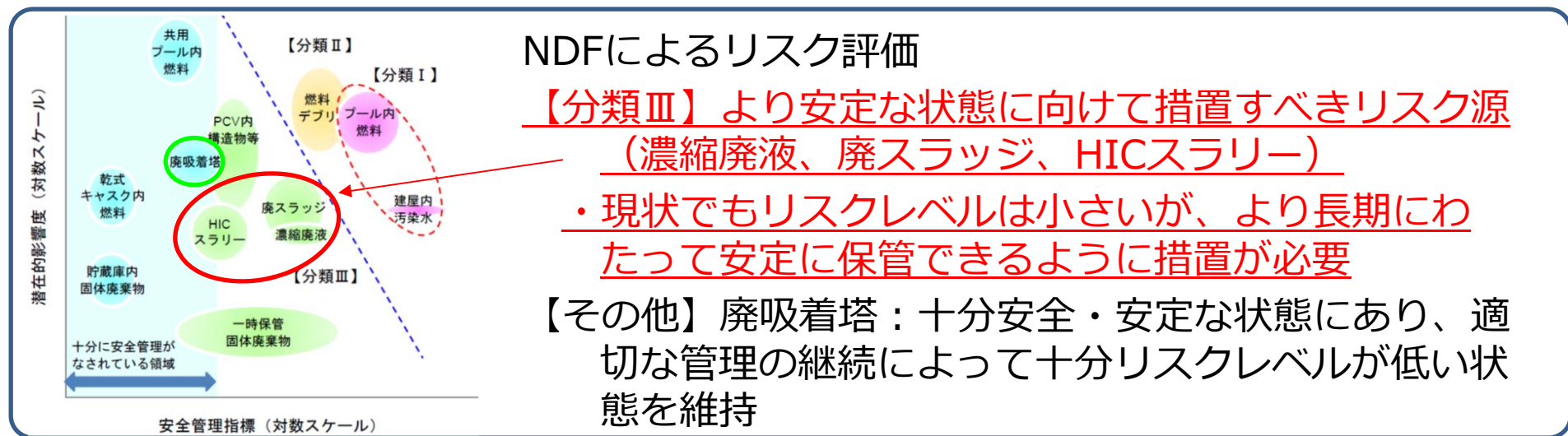
鉄共沈スラリー



AREVAスラッジ(模擬物)

ALPSスラリー(模擬物)

## 2-1.スラリー、スラッジに係るリスク認識(1)



### 原子力規制委員会(H29/7)

#### 『中期的リスクの低減目標マップ』

- 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
- 大型保管庫の運用開始

- 液体状のスラリー(沈殿処理生成物)、スラッジの保管を高リスクと認識。

### 課題

- 水処理によって発生した二次廃棄物のうち、スラリー、スラッジは水分主体の状態で一時的に保管されており、放射性物質の漏えいリスクや、水素の発生リスクが残っているものと考えられる。
- 処分までの期間、保管中の廃棄物の安全が維持された状態で管理する必要がある。

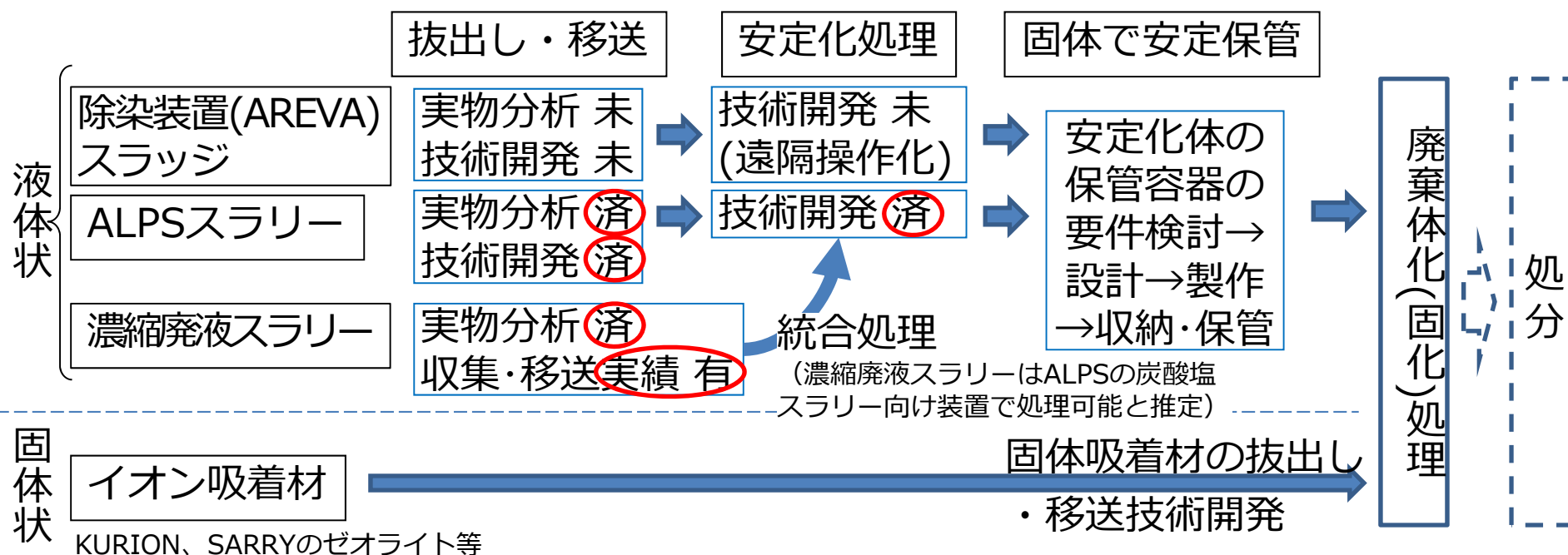
### リスクへの対応方針

- 環境に有害な影響を与えないよう、廃棄物中の放射性核種を管理された保管場所に閉じ込めた状態を継続する。具体的には、廃棄物中の放射性核種が容器から飛散・漏えいしにくい状態、あるいは飛散・漏えいしたとしても堰や保管施設外へ汚染が拡大しない状態を維持する。
- 将来を見越してリスク評価を行い、リスクが高い状態が長く継続すると見込まれるものに対しては、安定化処理など、適切なリスク軽減策を検討・適用していくこととし、必要な技術開発を進める。



## 2-2.スラリー、スラッジの安定化処理の目標設定

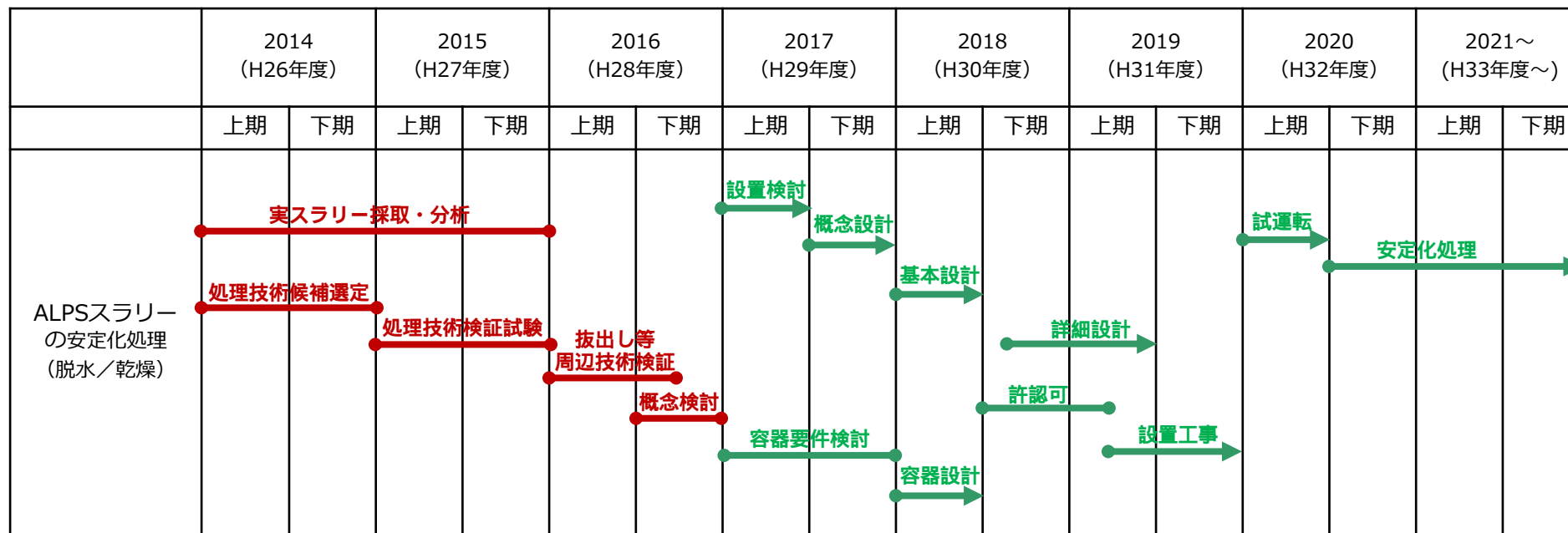
- 処分概念が確立し、廃棄体要件が定まるまでには長期間を要すると想定
- 固化処理まで進めた場合、将来定められる廃棄体要件に対応するため、再処理が必要になる可能性あり
- 液体状廃棄物の保管中のリスクを早期に軽減するためには、**固体廃棄物化**することが有効
  - 将来の固化においても、予備脱水あるいは水分調整は必要になり、**水分を減らす安定化処理まで進める**ことは合理的



### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

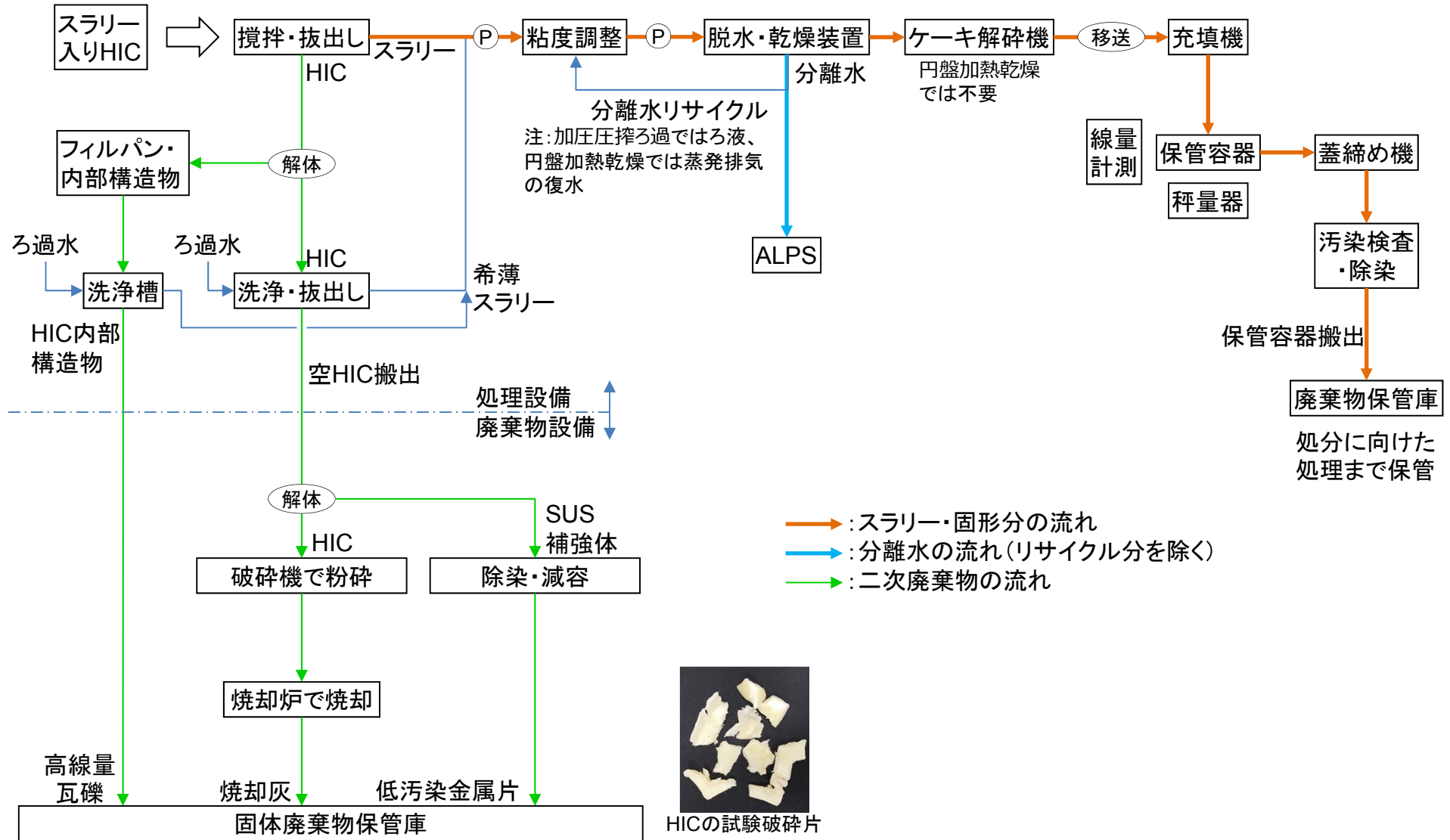


### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 ALPSスラリー安定化処理スケジュール（案）



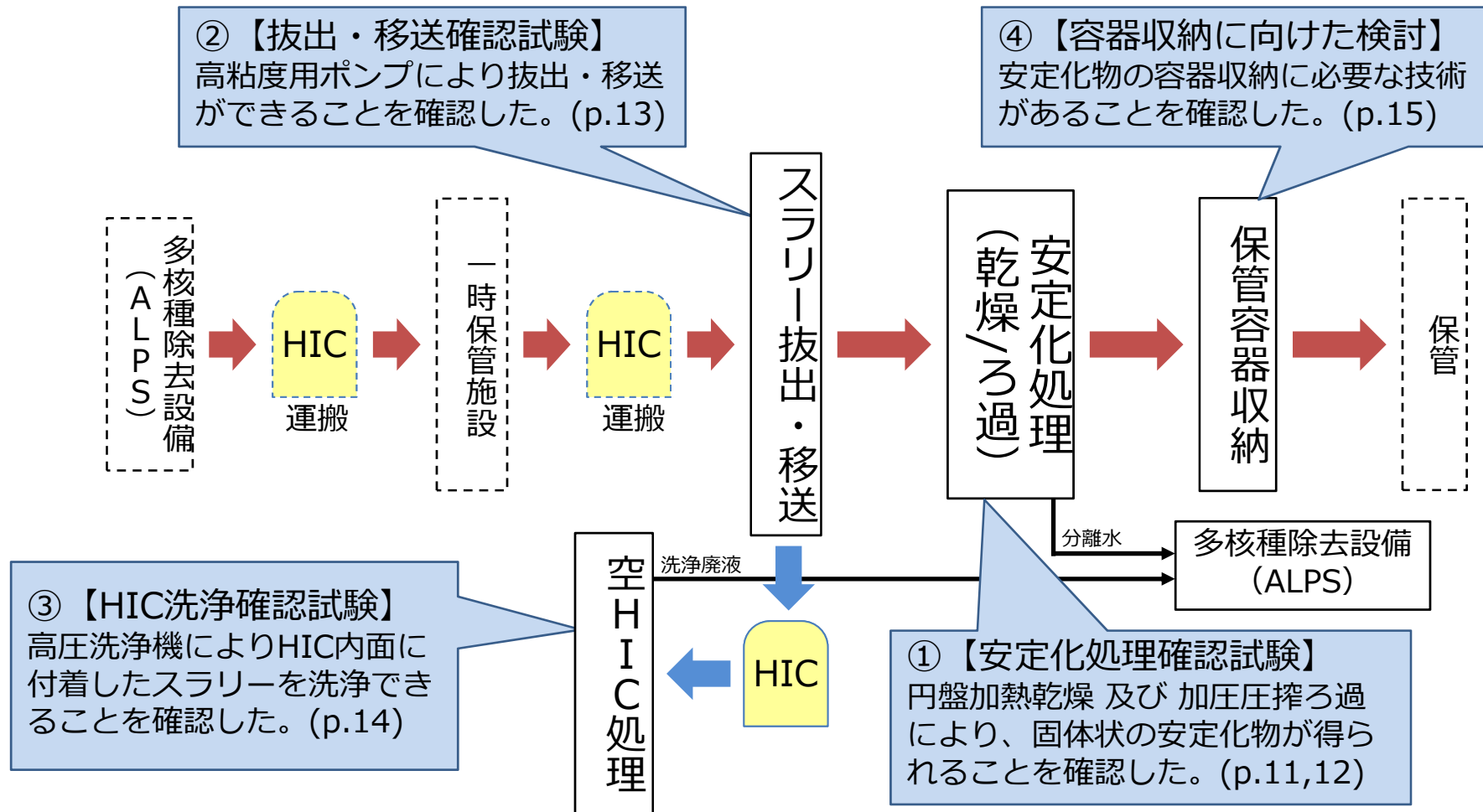
- これまで、スラリー安定化処理の主要部の技術開発が進捗し、処理速度と必要な設備規模感がつかめる状況となってきた。(本日までご説明)
- 今後は構内で適切な設置可能場所を選定のうえ、その制約条件下での概念設計を進め、具体化を図る。
- 並行して、安定化物を処分までの相当期間、安定に保管するための容器の設計を進める。

# 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 ALPSスラリー及びHICの処理フロー概念



### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 安定化処理の技術開発状況（概要）

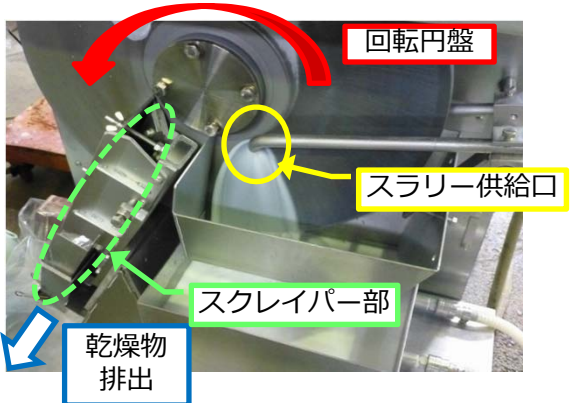
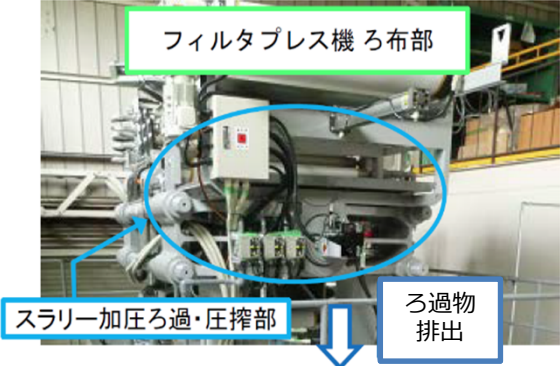
- 下記のプロセスフローを想定し、主要なプロセスについて模擬スラリーを用いて確認試験を実施した。



### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

#### ①安定化処理確認試験（1）

- 一般産業界で実績のある「円盤加熱乾燥」(CDドライヤ)と「加圧圧搾ろ過」(フィルタプレス)の実規模装置を用いて安定化処理確認試験を実施した。(既報)

処理技術	用いた処理装置	原理・特徴
<p>円盤加熱乾燥</p>	<p>「CDドライヤ」による処理</p> 	<p>&lt;原理&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ゆっくり回転している加熱円盤の表面にスラリーを塗布し、一回転以内で乾燥させる。円盤表面の乾燥物をスクレイパーで剥離し、粉末状で排出</li> <li>○分離水は蒸気として排出</li> </ul> <p>&lt;特徴&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スラリーの粒径に関係なく処理が可能</li> <li>・スラリー供給時、粘度調整（希釈）が必要</li> </ul>
<p>加圧圧搾ろ過</p>	<p>「フィルタプレス」による処理</p> 	<p>&lt;原理&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ろ布によりスラリーをろ過し、さらに加圧してろ過物を搾る。ろ過物は、装置下部から固形板状で排出</li> </ul> <p>&lt;特徴&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・処理速度が速い</li> <li>・ろ布の洗浄が必要</li> </ul>

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「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。

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

#### ①安定化処理確認試験 (2)

- 模擬スラリーを用いた安定化処理確認試験により、固体状の脱水物(安定化物)が得られることを確認した。(既報)

処理技術	得られた脱水物	脱水物性状
円盤加熱乾燥	<p>含水率：5%未満</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○粉末状</li> <li>○加熱条件の設定で含水率を調整可能 (1%未満～20%程度)</li> <li>○含水率1%未満となると飛散しやすくなる</li> <li>○スラリー中の塩分は乾燥過程で脱水物内に残存</li> </ul>
加圧圧搾ろ過	<p>含水率：50%未満</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○固形(板)状</li> <li>○含水率50%程度であっても、液等の浸出しは無い</li> <li>○スラリー中の塩分は大部分がろ液側に排出</li> </ul>

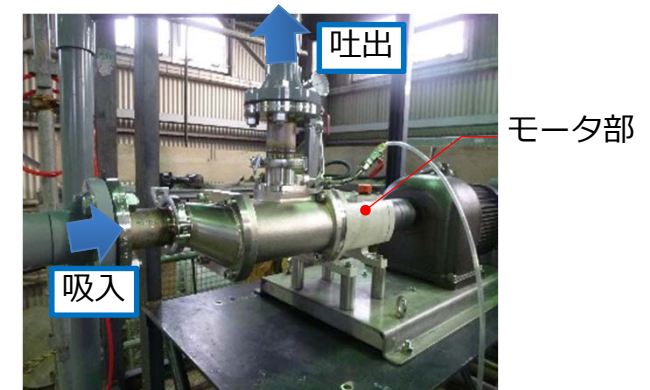
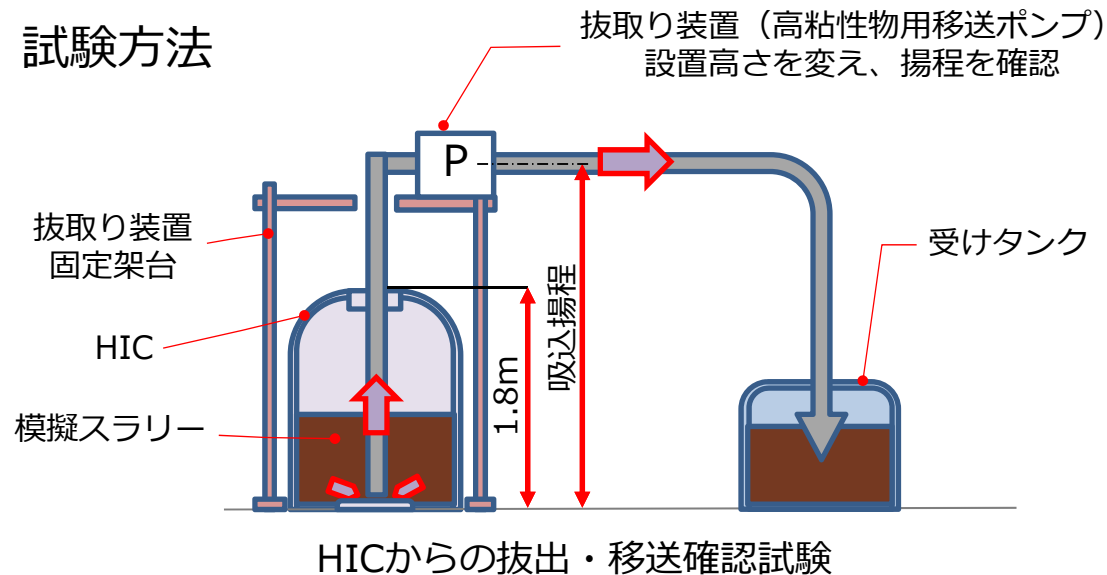
本資料は、国際廃炉研究開発機構(IRID)が補助事業者として実施している平成26年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」の成果の一部を含む。

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

#### ② 抜出・移送確認試験

- 高粘性スラリーに適応できるポンプを用い、模擬スラリーを入れたHICからタンクへの抜出・移送確認試験を実施した。速度と吸込揚程結果より、HICからスラリーを抜出・移送できることを確認した。

#### ➤ 試験方法



高粘性用ポンプ外観写真 (例)

#### ➤ 試験結果

- 速度：70 l /分以上を確保可能 (HIC1本のスラリーを約1時間で抜出し)
- 最大吸込揚程：4.5m

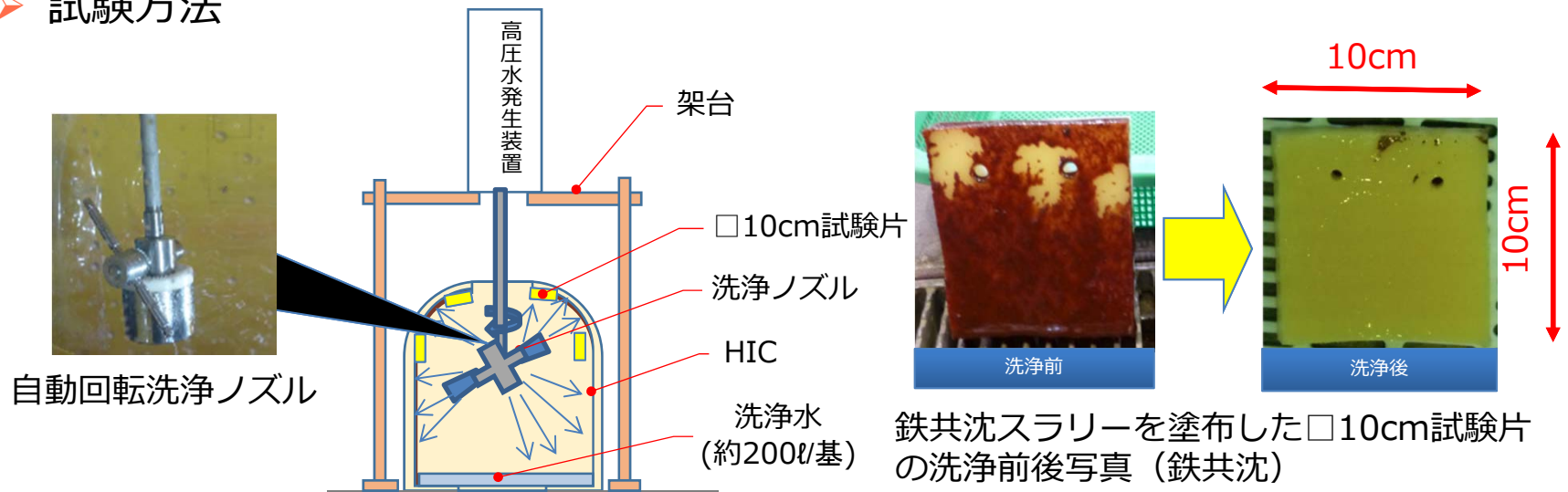


### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

#### ③HIC洗浄確認試験

- HIC内面の各所に模擬スラリーを塗布した試験片を設置し、高圧水発生装置と自動回転洗浄ノズルを用いて洗浄試験を実施した。洗浄後のスラリーの残存状況から、スラリーを除去できることを確認した。

#### ➤ 試験方法



#### ➤ 試験結果

- 主成分の除去率 : 炭酸塩（カルシウム、マグネシウム） 約97%  
: 鉄共沈（鉄） 約99%

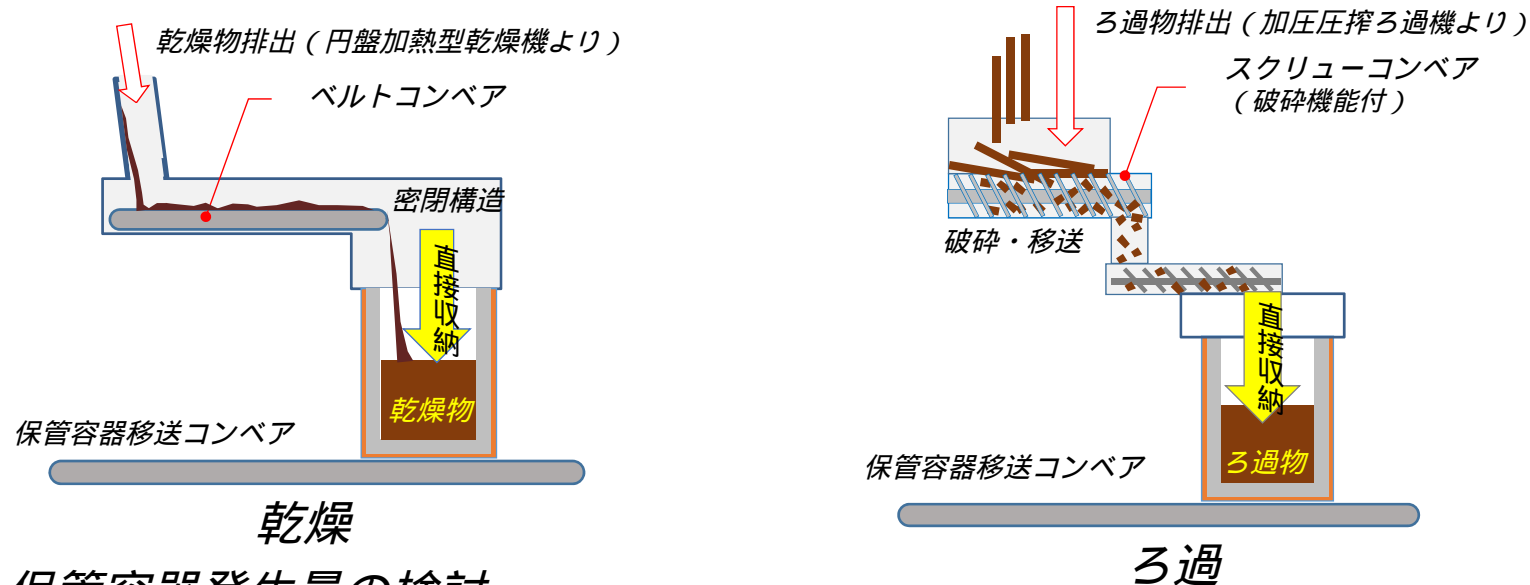


### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況

#### ④ 容器収納に向けた検討

- 乾燥・ろ過物の直接容器収納技術調査

- 乾燥物は低含水率のため飛散しやすく、密閉構造下で直接収納すると想定し、これに適した機器があることを確認した。
- ろ過物は、固形板状で排出されるため、破碎(解砕)して容器収納効率を向上させるものと想定し、これに適した機器があることを確認した。

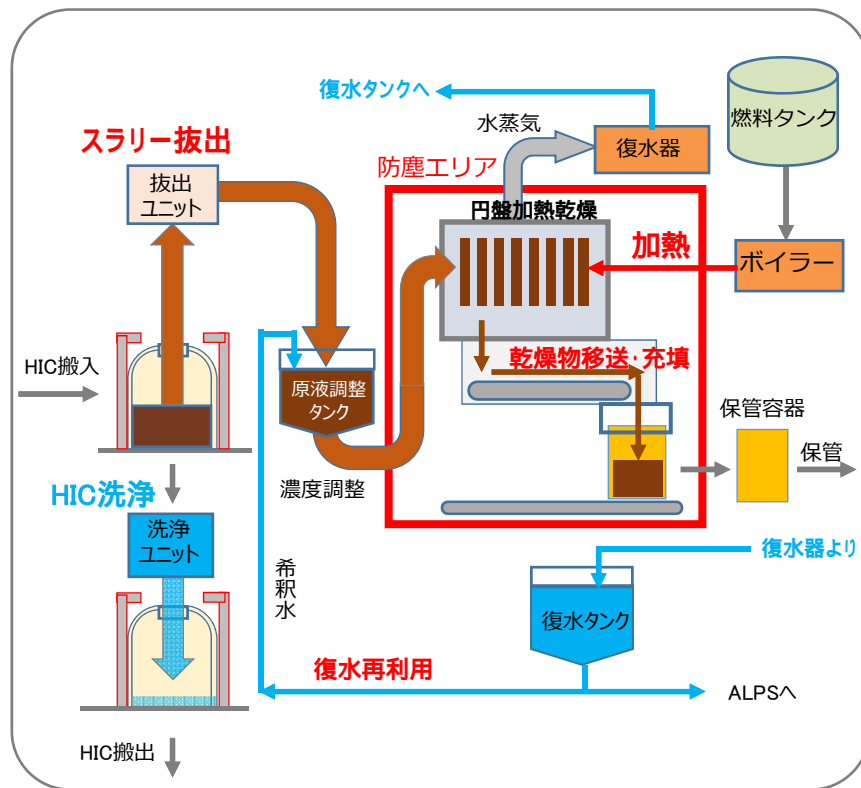


- 保管容器発生量の検討

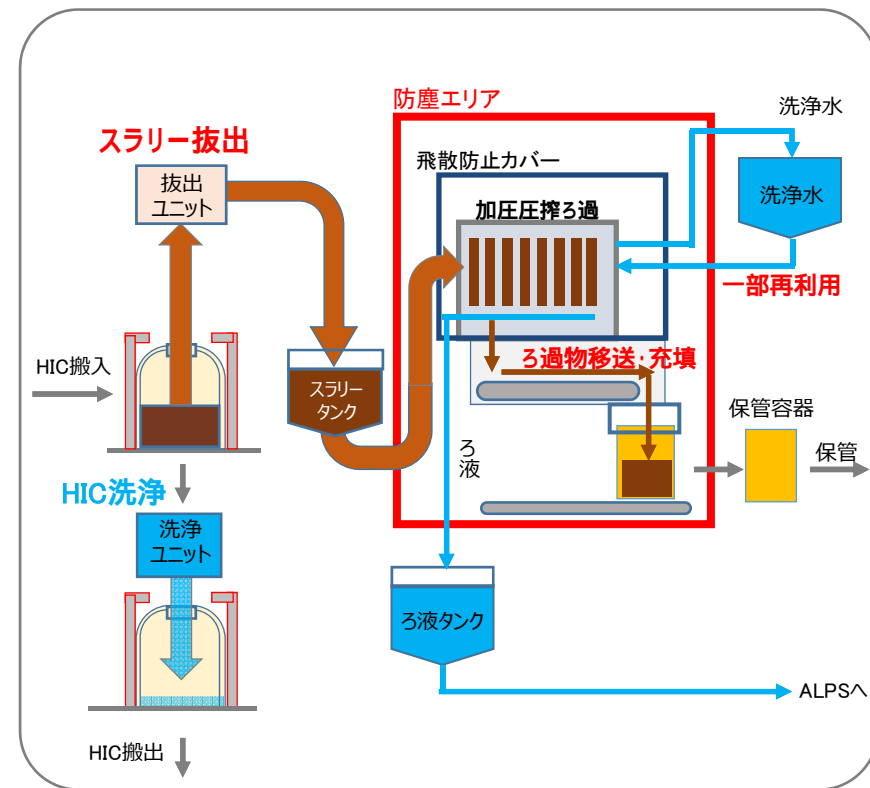
- 保管容器として、200ℓドラム缶の内側にコンクリートライニングを施したものの使用を想定して発生物量の検討を行った。内容量125ℓ、充填率80%とした。
- 脱水物（乾燥・ろ過物）の長期保管中に想定されるリスクについて、線量低減、崩壊熱除去、水素ガス滞留対策等のために容器に必要な要件は、今後、海外を含めた先行事例を調査のうえ、検討を進めることとする。

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 安定化処理設備のイメージ

- ①～④の試験結果をもとに、スラリー安定化処理設備の概念的な検討を行った。各処理設備のイメージは下記の通り。



乾燥処理設備概要図



ろ過処理設備概要図

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「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。

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 安定化処理設備 概略性能

- スラリー安定化処理試験結果をもとにしたスラリーの処理能力は以下のとおり。

項目		乾燥処理	ろ過処理
主要機器		円盤加熱型乾燥機(伝熱面積32m <sup>2</sup> )×1台	加圧圧搾ろ過装置(ろ過面積60m <sup>2</sup> )×1台
目標含水率		5%以下	60%以下
処理能力	処理スラリー量 ※1	炭酸塩：8.4m <sup>3</sup> /日 HIC 3本/日 鉄共沈：8.4m <sup>3</sup> /日 HIC 3本/日	炭酸塩：27.9m <sup>3</sup> /日 HIC 10本/日 鉄共沈：20.1m <sup>3</sup> /日 HIC 7本/日
	ドラム缶発生量 ※2	炭酸塩：18本/日 鉄共沈：11本/日	炭酸塩：62本/日 鉄共沈：34本/日
	処理日数 (メンテ含まず)	1,000日/HIC3000本 (炭酸塩778日+鉄共沈222日、24h稼働)	327日/HIC3000本 (炭酸塩234日+鉄共沈93日、24h稼働)
設置面積		機器配置に必要なスペースが8m×36m程度であることを確認※3	

※1 HIC 1本2.8[m<sup>3</sup>]として計算

※2 脱水物の嵩密度より算出。遮へい付きドラム缶(内空125ℓ)に80%充填と仮定

※3乾燥処理については、当該エリア以外の屋外に冷却塔、軽油タンク等の設置が必要

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 処理設備の比較

- スラリー安定化処理設備の概念設計結果をもとに乾燥・ろ過処理設備の特徴を整理した。

評価項目	乾燥	ろ過
廃棄物量※1	乾燥物発生量：6缶/HIC(炭酸塩) ：3.6缶/HIC(鉄共沈)	ろ過物発生量：6.2缶/HIC(炭酸塩) ：4.7缶/HIC(鉄共沈)
廃棄物潜在的リスク (水素発生)	含水率が低く水素発生は少ないが 皆無ではない	含水率が高く、水素発生は多い
閉じ込め性	円盤加熱型乾燥機は密閉構造 (メンテナンス時に装置開放するため、 飛散防止対策として防塵エリアが必要)	フィルタープレス機は非密閉構造 (スラリー・洗浄水の飛散防止カバーとダスト 対策のための防塵エリアが必要)
設置面積	機器配置に必要なスペースが8m×36m程度であることを確認	
放射線安全性	定常業務：2.76mSv/HIC(最大) (遮蔽・作業方法の検討が必要) メンテナンス：4.16mSv・人/年	定常業務：2.32mSv/HIC(最大) (遮蔽・作業方法の検討が必要) メンテナンス：7.04mSv・人/年
付帯装置	「設置面積」外に燃料タンクや冷 却塔等の設備が必要	脱水性向上に再凝集化を付加する可 能性あり
経済性(ランニングコスト)	加熱用の燃料費が必要	大きな増要因なし

※1 HIC1基 (2.8m<sup>3</sup>) 処理するのに発生する量を示す。発生量は200ℓのドラム缶に高密度を考慮し、100ℓの乾燥・ろ過物を入れた場合で評価

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「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。

### 3. ALPSスラリーの処理に関する状況 まとめ及び今後の課題

#### 【まとめ】

- スラリー安定化の処理プロセスを想定し、模擬スラリーを用いて安定化処理、抜出・移送、HIC洗浄の確認試験を実施した。
- その結果、これらプロセスの主要段階の成立性が見通しが得られた。

#### 【今後の課題】

- スラリーの脱水物は、放射能濃度が高く、完全に水分を除去できるわけではない。安定保管を検討する上で、海外の知見も踏まえ水素発生の評価および容器のベント機能について検討し、保管容器の設計を今後進める。
- 安定化処理の具体化に向け、福島第一構内における安定化処理設備の設置可能場所の選定と、その制約を考慮したうえでの基本設計を進める。
- 処分を見据えた固化等の廃棄体化処理の要件は、周辺状況の進捗をまって検討することが適切と考えられる。

## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況

# 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 処理技術選定に向けた取り組み(1)

今回ご報告

実施予定事項

目的

・液体状で高線量な廃スラッジを、貯槽Dから**抽出**す  
・抽出し後のスラッジは**低リスクな形**で保管できること

想定される手段

容器保管      分離(脱水)      乾燥      固化

処理装置の抽出

国内: 関連特許をもとに製品化済の36件を抽出  
海外: 文献情報から原子力施設適用済みの14技術を抽出

評価基準

脱水能力      高汚染機器の少なさ

候補選定

容器保管(英)	減圧乾燥(英) 減圧乾燥(仏)	セメント固化(仏) ジオポリマー固化 (スロバキア) ガラス固化(米)
フィルタプレス シュナイダーフィルタ		

成立性評価

プロセスフロー、マスバランス、水素発生率、減容比、etc.

多面的評価

候補技術の順位付け → 選定技術 → 検証試験・基本設計

共通課題

抽出し技術、予備処理要否、サンプリング ← エリア調査



## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 処理技術選定に向けた取り組み(2)

- 除染装置(AREVA)スラッジの処理に向け有望な技術の調査を実施し、候補を抽出した。(前回廃棄物規制検討会にて報告)
- 除染装置(AREVA)スラッジの処理を進めるための共通課題についての取り組み状況についてご報告する。
  - 貯槽D内部状況確認(2017年7月中旬に実施)
  - 現場環境調査(2017年8月上旬に実施予定)
  - 流動性確認試験(2017～2018年度に実施予定)

表 AREVAスラッジ処理に関する共通課題

項目	共通課題	実施事項
処理技術の評価	処理技術の得失を評価するためには実スラッジの現状情報が必要	貯槽D内スラッジの性状調査を実施する。
作業成立性	貯槽D近傍エリアが高線量のため作業時間が非常に限られるため、機器設置には線量低減が必要	現場環境調査を実施し、環境改善方法を検討する。
スラッジ拔出し・移送技術の開発	処理に際しては貯槽Dからのスラッジ拔出し・移送技術が必要	模擬スラッジの流動性確認試験を実施する。

## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 貯槽D内部状況調査について(1)

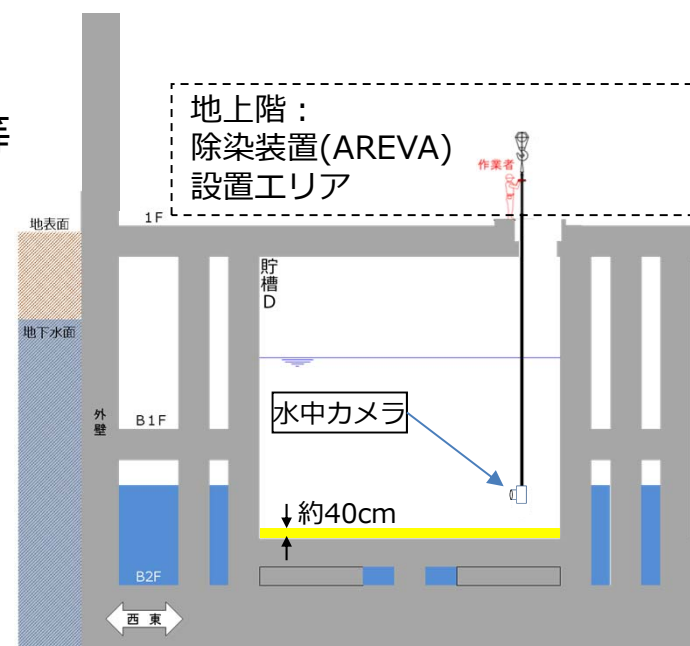
- スラッジは貯槽D内で6年程度貯蔵されており、スラッジ下層部が圧密されて硬化していること、また放射線照射により全体の性状が変化していることが懸念された。また実スラッジの採取・分析は未実施であった。
- 今後のオプションとして回収・処理を検討するにあたり、実スラッジの性状情報が必要となるためサンプリングを実施することが必要。
- 7月中旬に貯槽D内部のスラッジの状況調査・サンプリングを実施した。

### 調査事項

- 水中カメラの投入  
スラッジの沈降分離状況、上澄み水の濁り具合等
- 調査用治具の挿入  
スラッジ圧密程度の確認、サンプリング



水中カメラがスラッジに沈む直前に得たスラッジ(黄色)沈降状況



水中カメラ投入イメージ

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28年度「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。

## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 貯槽D内部状況調査について(2)

### ● 調査結果

- 水中カメラ観察により、沈降したスラッジの表面高さが約40cmであることが判った。(体積は40m<sup>3</sup>弱)
- ポール状の調査用治具をスラッジ中に差し込めるかを確認し、貯槽Dの底部まで障害なく差し込み可能なことが確認できた。  
→強固な圧密は生じていないと推定できた。
- ポール先端近傍に取付けたバイアル瓶に、スラッジを採取することができた。
- 分析項目については、以下を計画。
  - 放射性核種濃度
  - 粒径分布



10ml バイアル瓶の取付け状態(右)と  
回収されたAREVAスラッジ(左)

## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 除染装置(AREVA)設置エリアの現場環境調査

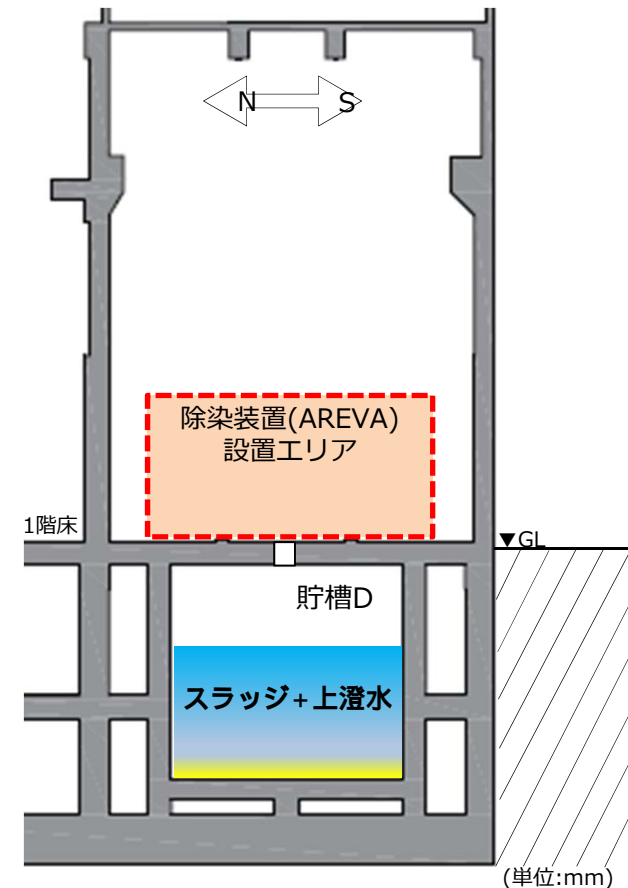
- 貯槽D上部の除染装置(AREVA)設置エリアは、汚染レベル・線量率が高く、まとまった作業を実施するためには環境改善が必要となる。
- 貯槽D周辺には未撤去足場材など支障物が多く、作業の妨げとなっている。

⇒今後の除染等の作業計画策定のため、線源・支障物・機器配置の状況を調査する。

機材準備及び作業トレーニングが整い、8月上旬に現場調査を実施する予定。

### ■ 調査・評価概要

1. 既存情報（図面・写真等）の調査・整理実施
2. 天井クレーンに吊下げてのレーザースキャン、写真撮影、γカメラ調査により線量分布・画像データを取得
3. 1. 2.より3Dモデルの作成、施設現状のまとめ
4. 調査結果を受けた環境改善方策の検討



## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 スラッジ回収／移送技術の開発

### ■ 除染装置 (AREVA) スラッジ流動性確認試験

- スラッジ処理に際しては、スラッジの回収／移送を前提とするものが多い。
- 高線量スラッジを取り扱うため、閉塞・蓄積を抑制する設計とすること、洗浄が可能なことが必要となる。  
⇒模擬スラッジを用いて流動性確認試験を実施する。  
詳細は調整中であるが、以下を実施する予定。

#### 2017年度：ラボスケール試験

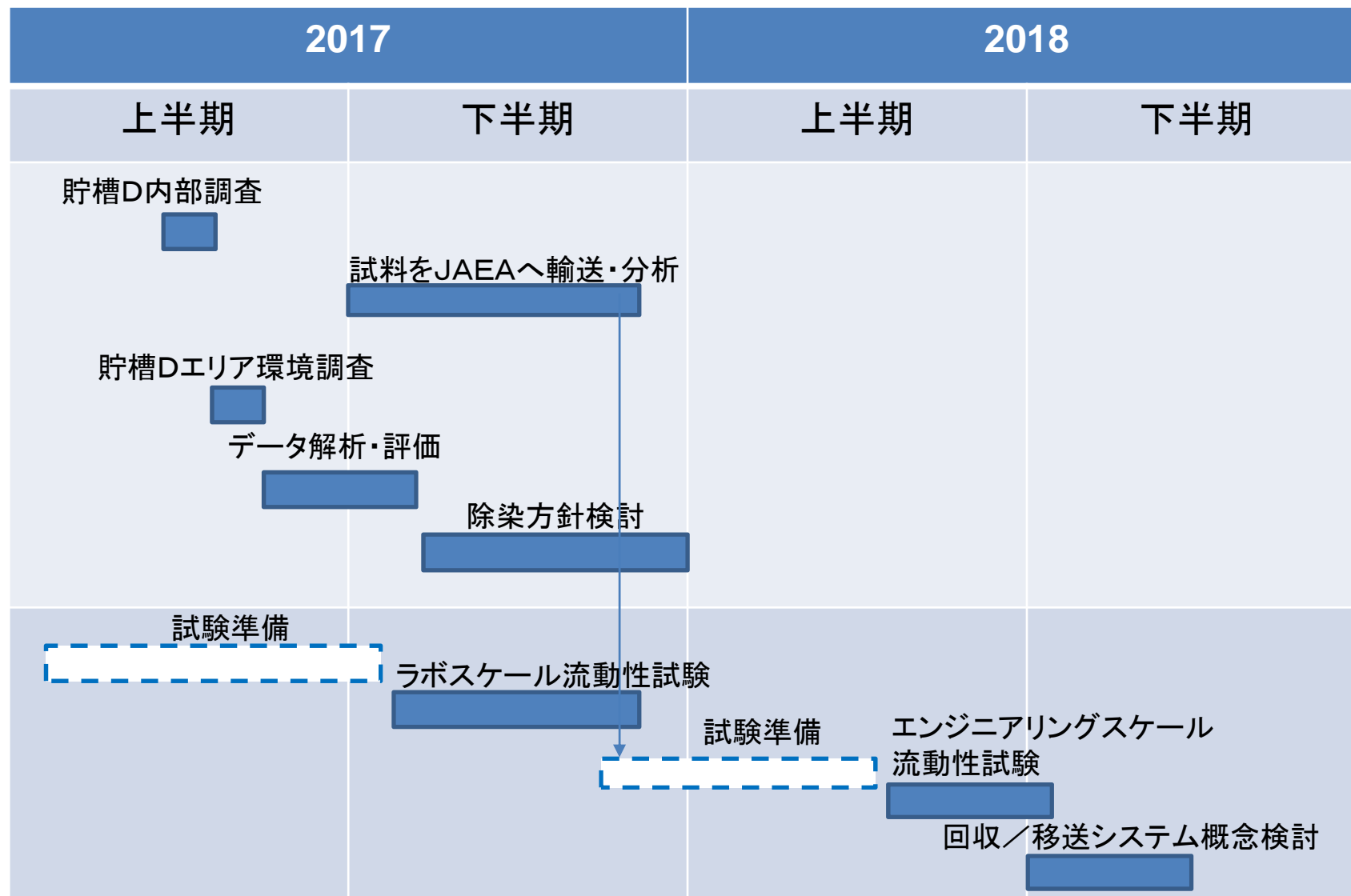
- 除染装置 (AREVA) スラッジの流動特性を把握するため、スラッジの条件を変化させて特性（沈降分離速度・粘度等）を確認する。

#### 2018年度：エンジニアリングスケール試験

- 実スラッジサンプリング分析結果を考慮した条件で作成した模擬スラッジにてエンジニアリングスケール試験を行う。

## 4.除染装置(AREVA)スラッジの処理に関する状況 概略スケジュール

- 前ページまでに記載した実施事項の概略スケジュールを以下に示す。



以下、参考資料



## 現行の保管・管理におけるリスク低減

---

### ● 除染装置(AREVA)スラッジ

- プロセス主建屋内の、放射性廃棄物用既設貯槽（鉄筋コンクリート造、厚さ0.9～1m）に保管
- 崩壊熱集中化防止のため、底部から圧縮空気でスラッジを攪拌
- 崩壊熱除去用の熱交換器を貯槽内に設置
- 貯槽内上部空間の水素滞留防止のため、排気設備を設け、常時運転
  - 電源喪失に備えた仮設発電機を設置済
- 検討用津波に対する防護策（引波による流出リスク対策）を検討中
- 保管中の漏えいリスクの低減方法を検討中

## 現行の保管・管理におけるリスク低減

### ● ALPSスラリー

- 鉄共沈沈殿生成物（スラリー）、炭酸塩沈殿生成物（スラリー）を高性能容器（HIC、水素ベント機能付き）に収納して保管
  - 各種イオン吸着材（メディア）も同様に保管
- 酸・アルカリに対する安定性の高いポリエチレン材を使用
  - 耐薬品性、耐熱性、耐放射線性（ $\gamma$ 線、 $\beta$ 線）、耐紫外線性を評価し問題なく運用できることを確認。高線量スラリー入りHICの定期モニタリングを実施
  - ステンレス鋼の補強体を取付け、落下等に対する健全性を確保
- 保管中のボックスカルバートの水密化のほか、取扱い事故を想定した汚染拡大防止策（作業時の堰閉止）、汚染に備えた回収機器配備・定期訓練を実施
- 2015年、炭酸塩スラリーの膨張によるHIC上部からの溢れ出しを受けて、スラリーの充填量見直しを実施。上澄み水の抜取りによる内部液位低下を実施中

## 現行の保管・管理におけるリスク低減

### ● 濃縮廃液スラリー

- 蒸発濃縮装置の濃縮廃液（当初、H2エリア横置きタンクに保管）の炭酸塩スラリー成分を収集し、横置タンク（ベント管付き）に保管
- ALPSスラリーのHICからの溢れ事象をうけ、スラッジの膨張を考慮して、タンク内の貯留量を制限
- 漏えい拡大防止策
  - 漏えい拡大防止のため、コンクリート堰および堰カバーを設置
- 周辺及び敷地境界への線量影響を軽減するため、堰外の周囲に遮へい壁を設置

