

ALPSスラリー安定化処理設備設置における検討状況と 関連する技術的課題

2023年9月14日

TEPCO

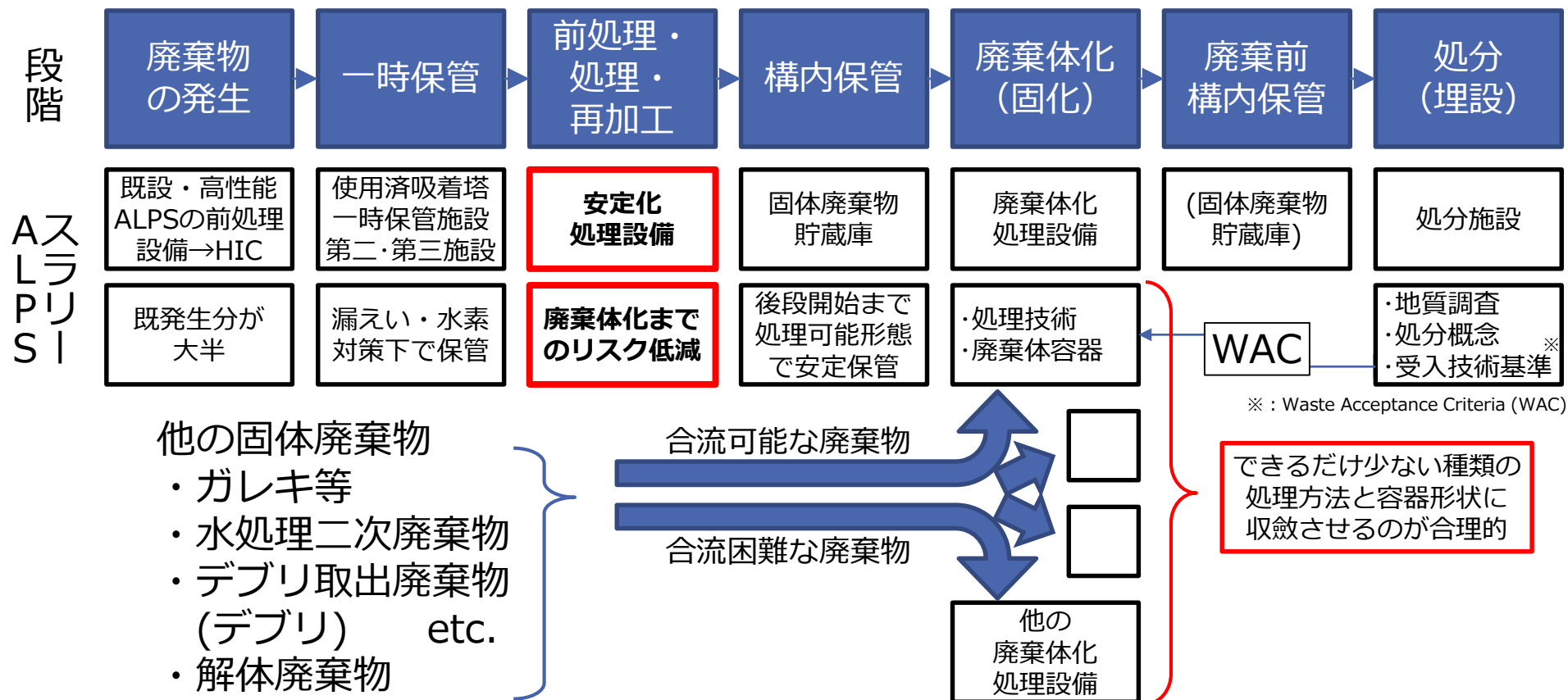
東京電力ホールディングス株式会社

- スラリー安定化処理は、ALPSで捕る放射能の大半を保有するスラリーを、**液体状のまま長期間保管するリスクを低減**するものとして、ALPS運開直後から技術開発
 - 2015年4月にHIC内の上澄みの溢水(リスク顕在化)→上澄み水の削減実施
 - 2013～2017年度：IRID国プロ、概念設計・基本設計以降：東電委託
 - 開発状況、技術選定、設備概念は廃棄物規制検討会で2016～2018年度に、その後も監視・評価検討会で付議

2017年第6回廃棄物規制検討会

- 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
- 脱水物(粉末orケーキ)の**固化**についても処理の技術オプションの**確認を並行実施**
 - 高温処理(ガラス(固)化)で多様な手法の成立性を確認(←最終解を先に評価)
 - 中温、常温処理についても評価実施中
- 申請済案は、新しい耐震評価の考え方、使用施設基準適用を受けて設計見直し中
- スラリー入りHICの安定化処理開始 = 保管数減の開始遅れを受けて、HIC保管容量の**逼迫リスクが顕在化**。追加確保策を実施中←ALPSの運転継続の必要条件
 - 第三施設容量：3456→3648(→4032→. . .)

ALPSスラリーの処分に向けた中長期的流れ(廃棄物ストリーム) **TEPCO**



WACが定まるまで、あるいは全廃棄物の処理技術が選定されて多数のストリームが統合され、廃棄体化が具体化するまでには、長期間を要する。それ以前でも、現有のリスクの低減は計画的に進める

将来の廃棄体化の妨げとならない形でリスク低減を進める方針

→ 化学性状を変えない 減容されコンパクトに保管 短時間でリスク低減達成

将来の廃棄体化の妨げとならないか

- ・ 先行的処理の候補とした高温処理(ガラス(固)化) 3 技術のいずれも、フィルタープレスケーキを原廃棄物として処理できることを確認済み
 - Sr、Csはガラスに取り込まれ、 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 H_2O は分解、オフガスへ移行
- ・ 常温処理(セメント固化/AAM固化)や中温処理について同様の視点での確認を進めているところ
- ・ フィルタープレスによる脱水物は処理設備への供給に支障とならないことを確認済み
- ・ **フィルタープレスによる脱水は減容率が大きく、廃棄体化までの保管負担が小さい**
- ・ 他の安定化処理技術と比較してフィルタープレスは**スループットが大きく、現在の保管リスク（漏えい、水素一斉放出、保管容量逼迫、など）を短期間で解決**できる

将来の廃棄体化処理を見据えた設備対応

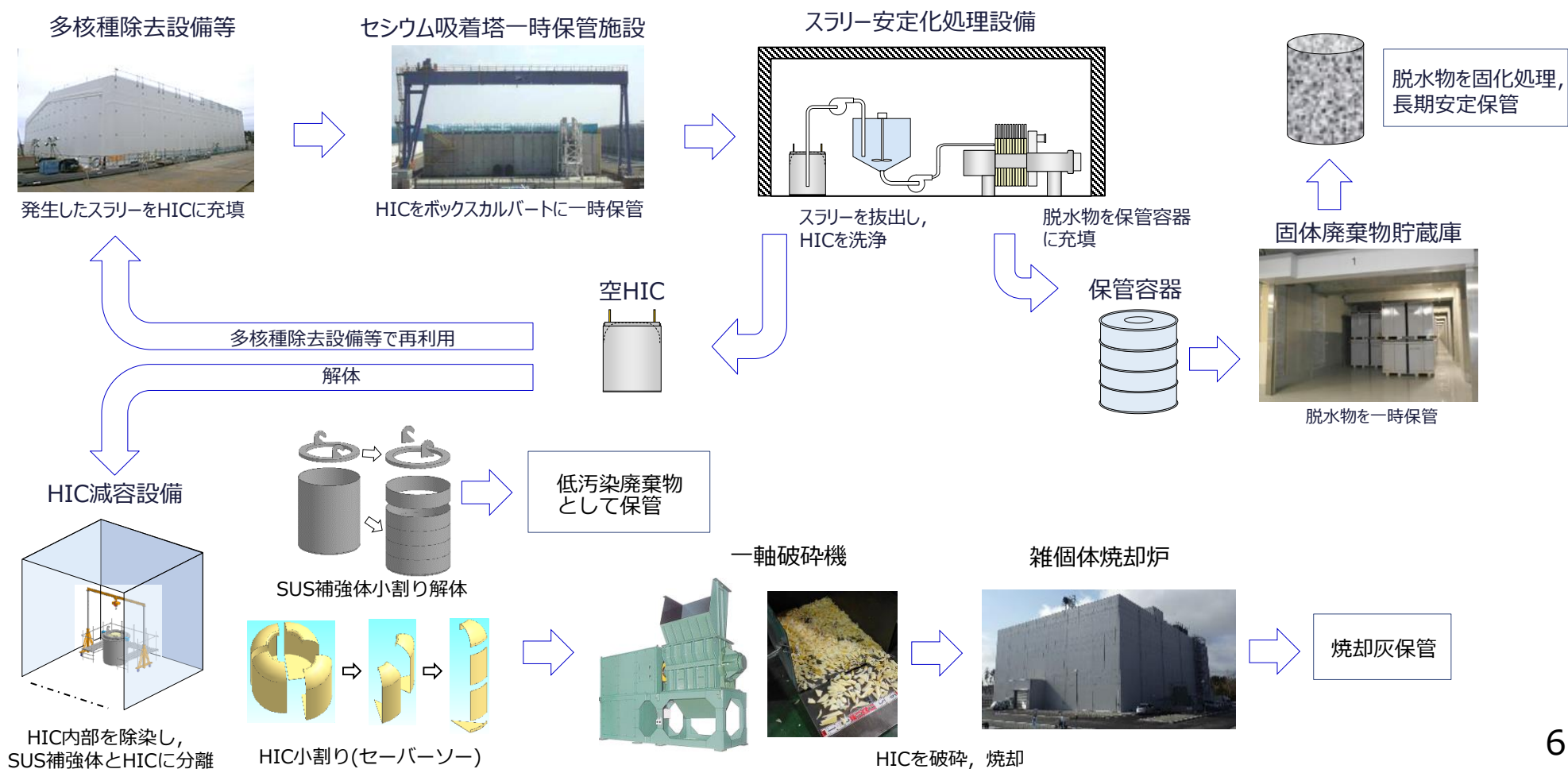
- ・ 内容物の取出しが困難でない容器
- ・ 長期安定保管可能な容器
- ・ 安定化処理運転段階でのサンプル採取（設計input、レシピ検討）
 - フィルタープレス機への供給タンクで均質化されたサンプルを採取。脱水物の成分ばら付きを把握。安定化物（固体）サンプルも少量採取→脱水プロセスで抜ける/残存する化学種の確認。

- 国内の既設原子力発電所等の廃棄物処理設備としてセメント固化設備の設計例はあり、セメント固化設備を設計・設置すること自体は可能と想定できる
 - a. 固化対象物とセメント間で化学反応が無い/少ない場合は、セメント側の流動性・水和固化特性でレシピ(セメント・水・添加剤などの配合比)を設定可能
 - 例：汚染金属配管等の充填固化、造粒固化体(ペレット)の充填固化
 - b. 同様な化学反応が無視できない場合は、日々の運転の中でミニ試験により固化対象物が固化できるかの試験を行い、レシピ調整が必要(高度な専門知識必要)
 - 反応を阻害/促進する物質を含む廃棄物
 - 含水率過多の廃棄物(→セメント側の配合への擾乱)
⇒固化不良(固まらない)、急結(容器充填不調、配管閉塞)などのリスク
- 高温処理(ガラス(固)化)では水分や反応阻害物質等は分解され、上記懸念は小さい。他方、常温処理や微粉末状物質では、定性的には影響が顕著になると考えられる
- フィルタープレス法では、**余剰水分が除去**され、また脱水物はケーキ状となり**比表面積が小さくなる**ため、廃棄物中の過剰水や反応阻害物質がセメント反応に与える**影響が軽減される方向**と考えられる
- ALPSスラリーは多様な処理原水をALPS設備内で薬剤と化学反応させて生成されるものであり、物理・化学的特性のバラ付きがある一方、バラ付きの範囲は未確認
⇒現状、スラリーのままでのセメント固化は**運転の確実性の担保が難しい段階**
⇐スラリー安定化設備の**運転の中でサンプルを採取し分析**する計画(「分析計画」にてご説明済み)：固化に向けたレシピ検討のinputとして活用
 - 悪影響のあるNa、塩分がフィルタープレスでろ液側に分離される効果も期待

- 廃棄体化の技術要件が定まる前に「先行的処理」に踏み出すとしても、他の廃棄物ストリームとの収斂性検討を踏まえた廃棄体化処理設備の実現には長期間を要すると見込まれるため、脱水物は長期安定保管ができることが必要
 - 脱水物特性
 - 漏えい・腐食に繋がるような自由水がないこと(予備試験で確認済み)
 - ダスト発生しにくいこと(適度な湿り気を有し、保管中は静的で振動なし)
 - 保管容器
 - 水素発生が続くため、ベントを設ける。万一のダスト発生への予防策としてフィルターベントとする(可燃性ガスの滞留防止、崩壊熱除去性を評価)
 - ベント以外は密閉可能なものとする
 - 適切なハンドリング性、強度を持つこと
 - 廃棄体化処理時に内容物の取出しが可能なこと
 - 内容物に関する記録管理がなされていること
 - 保管施設
 - 適切な耐震性、水素滞留防止性を有する固体廃棄物貯蔵庫で保管(建屋、保管容器支持構造)
 - 保管施設竣工前に安定化処理が開始される場合は既設の固体庫で既認可条件内で一時保管するものとするが、竣工後に移転

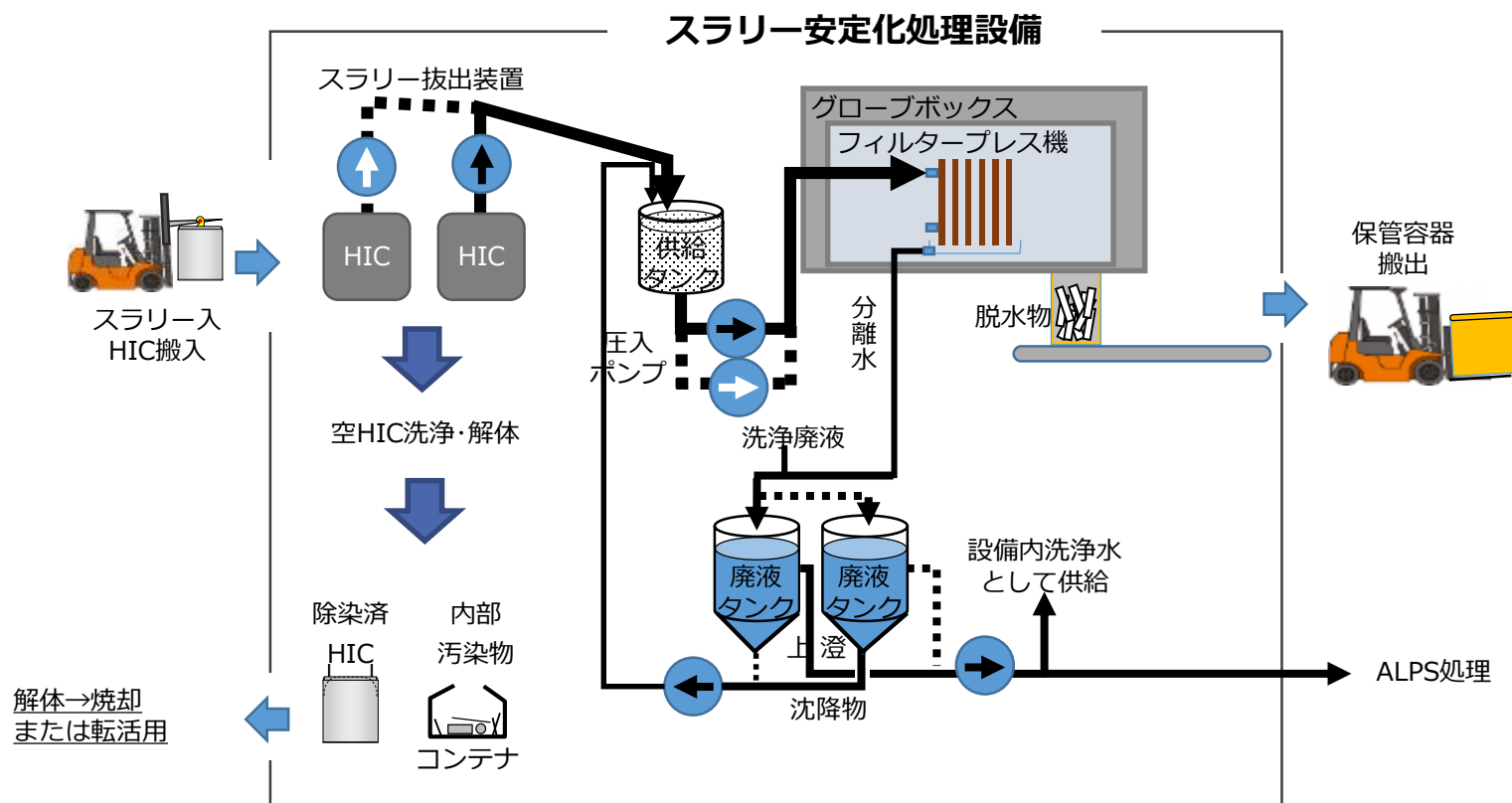
HIC内スラリーの処理に係るプロセス

- 多核種除去設備等において発生するスラリーについてはHICに充填し、セシウム吸着塔一時保管施設において保管しており、最終的には固化処理し長期安定保管する計画。
- 固化処理の実施方針については2025年度中に決定する計画であるが、処理開始までは長期を要すると見込まれることから、固化処理に先んじて脱水処理を行い、安定した状態で一時保管を行う。
- スラリーを抜き出したHICについては、多核種除去設備等において再利用、もしくは解体処分する。



スラリー安定化処理設備の位置づけ

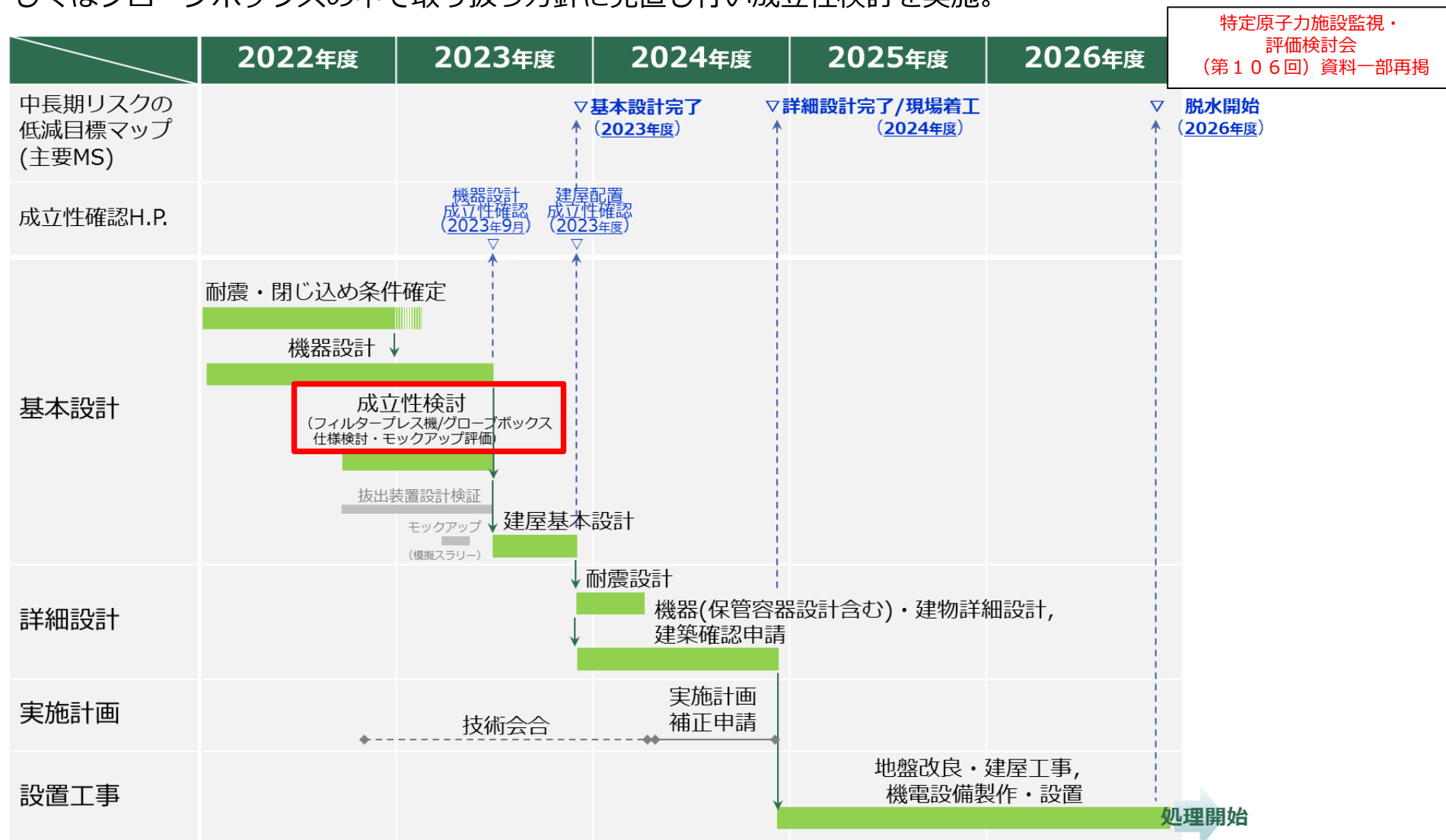
- スラリー安定化処理設備は、HIC内からスラリーを抜き出し・脱水を行い、漏えいリスクを低減することを目的とする。
- スラリー安定化処理設備において実施する内容は以下の通り



スラリー安定化処理設備
機器設計における成立性評価の結果について

■ スラリー安定化処理設備の検討状況

- 第103回 特定原子力施設監視・評価検討会（2022.10.26）において、フィルタープレス機についてはセルもしくはグローブボックスの中で取り扱う方針に見直しを行い成立性検討を実施。



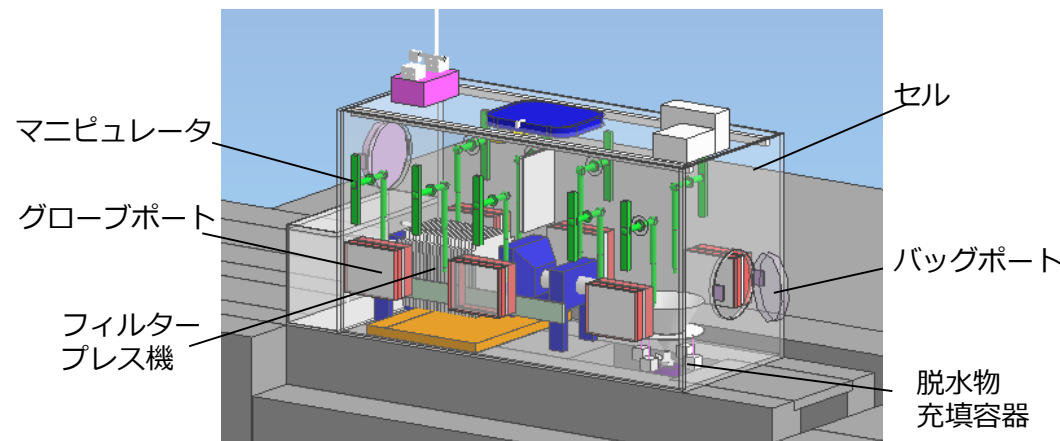
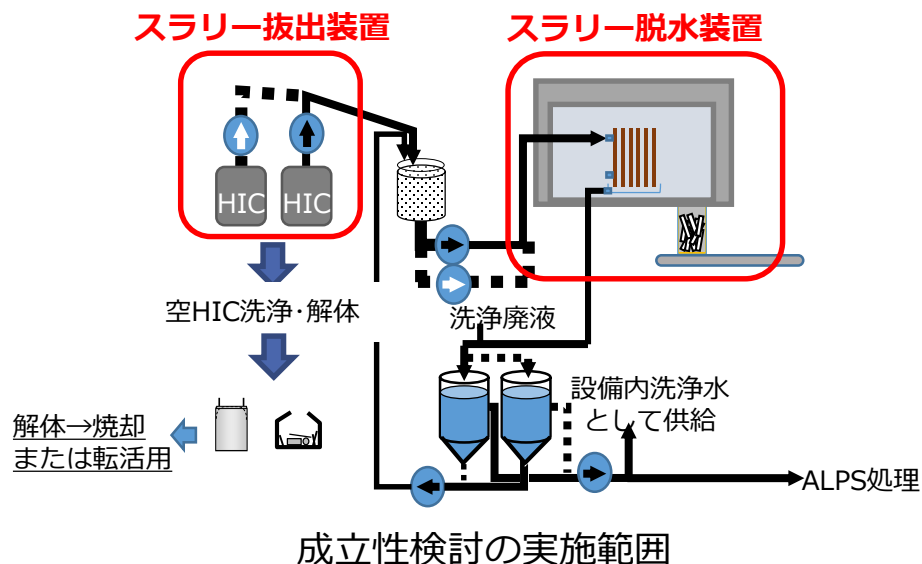
- スラリー安定化処理設備を構成する「スラリー抽出装置」，「スラリー脱水装置」について，下記の観点で成立性検討を実施。

スラリー抽出装置

- ✓ 抽出配管口径の拡大や，水流による攪拌を行い，スラリー抽出の成立性を確認。

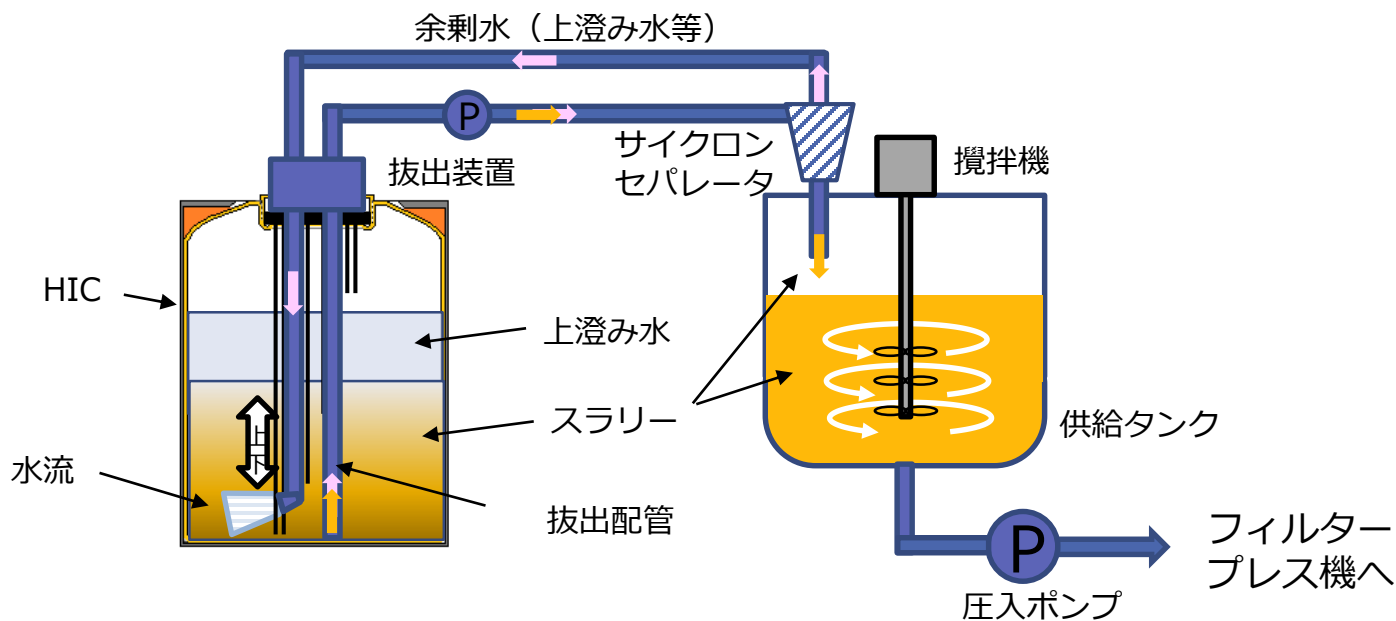
スラリー脱水装置

- ✓ 模擬スラリーを使用した脱水試験により，スラリーの脱水性を確認。
- ✓ マニピュレータを使用した遠隔操作試験により，セル内の機器配置の成立性，脱水処理およびメンテナンスの成立性を確認。
- ✓ 脱水処理時，脱水物充填時において有意なダスト飛散がないことを確認。



スラリー脱水装置の概要

- ALPSスラリー安定化処理設備で用いるスラリー抽出装置では、下図のように水流を用いてスラリーを攪拌しながら移送することを計画している。
- 当該装置の実現性の確認にあたり、従来のスラリーの移替え装置では回収できていないHIC底部のスラリーの性状を確認し、水流を用いた回収の可能性について見込みを得ている。
- 上記を踏まえ、コールドのモックアップ試験を実施中。



抽出～一時貯留イメージ (スラリー安定化処理設備)

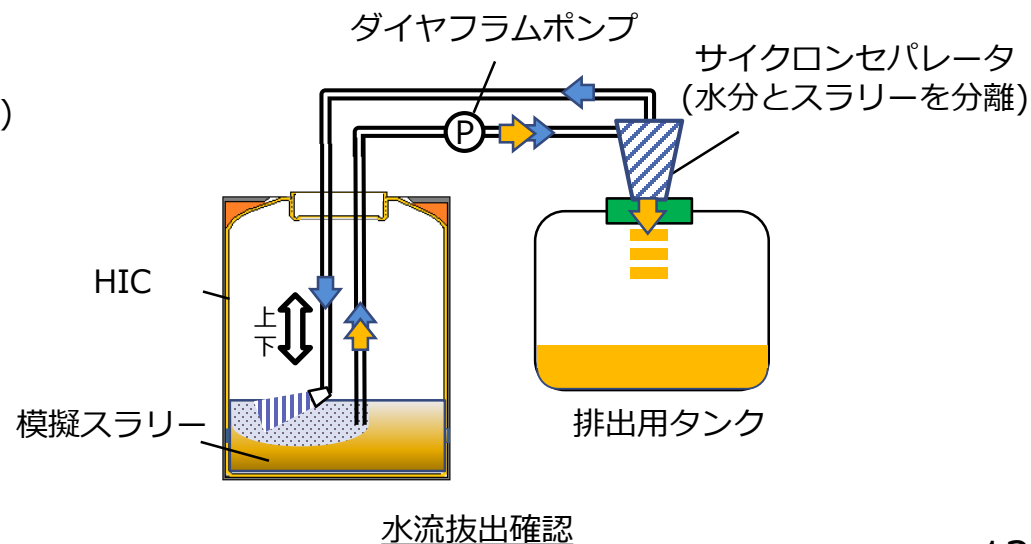
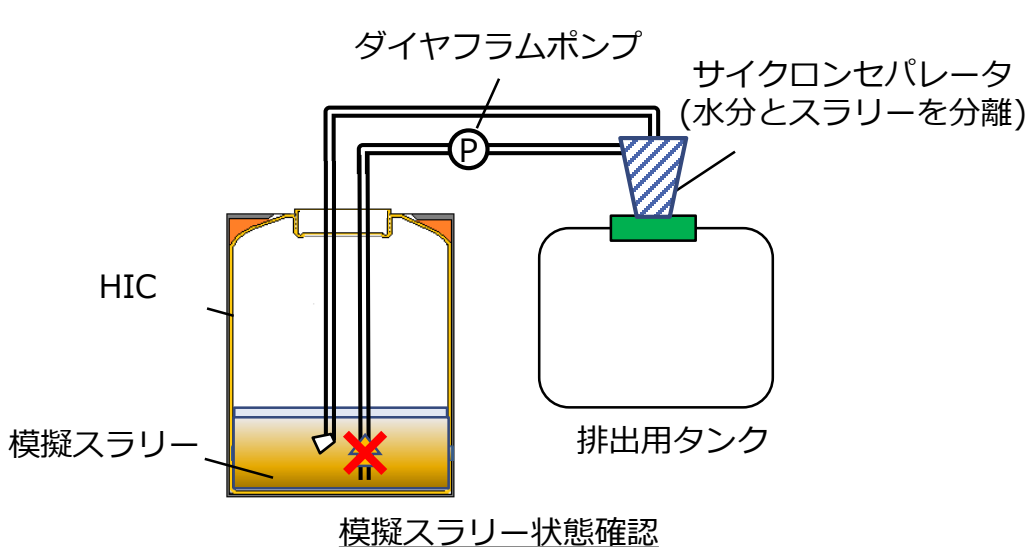
➤ モックアップ試験準備

模擬スラリーの性状が適切に模擬できていることを以下にて確認

- ✓ 化学組成を模擬するため実際のスラリー（以下、実スラリー）と同様の生成プロセスにて作製し、粒径と密度が実スラリーと同様な値となるよう調整
- ✓ HIC内に作製した模擬スラリーを入れ静置し、沈降させた後、現場設備と同様なダイヤフラムポンプならびに口径が同じ配管（20A）を用いて拔出確認を行い、実スラリーと同様に抜き出せない状態であることを確認

➤ モックアップ試験

- ✓ 口径の大きい拔出配管（25A）で水流を用いずに拔出確認
- ✓ 水流を用いた拔出確認
- ✓ サイクロンセパレータによる水分とスラリーの分離性を確認

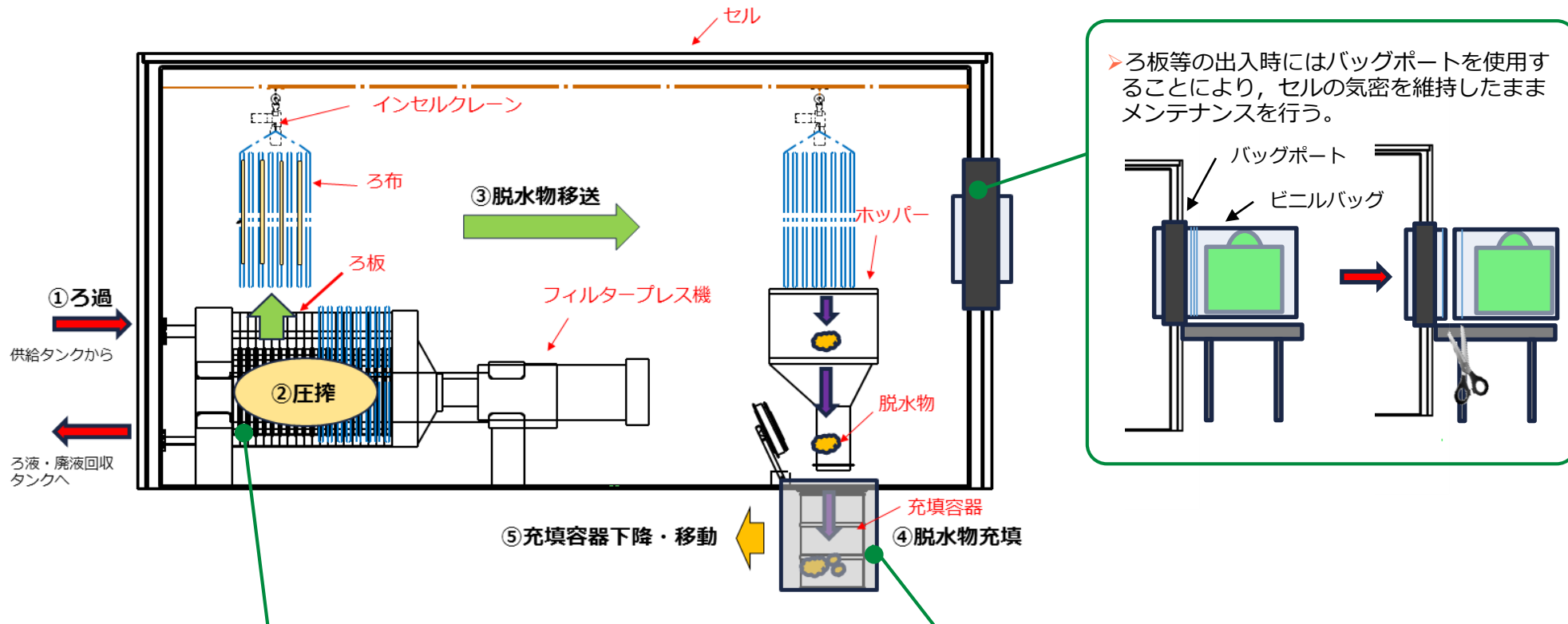


追而

モックアップの結果報告

- 今後の予定
 - ✓ 2023年度内に抽出装置とHICの接続性や操作性確認を実施
 - ✓ 2024年度上期を目標に増設ALPS建屋にて実スラリーを用いたモックアップを実施

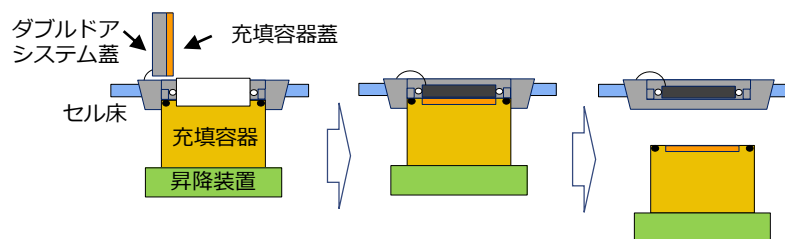
■ スラリー脱水処理装置の概要



- 脱水処理時においてスラリーや脱水ケーキの有意な飛散が無いことを確認。
- 容器への脱水ケーキ充填時においても、ろ板を容器上部まで移送し、ホッパーを介して充填を行うことから、ダストの飛散を抑制している。



- 脱水物を充填する容器は、ダブルドアシステムを有する容器を採用し、セルと容器を接続しパウンダリを維持した状態で収容。



➤ 試験概要

フィルタープレス機（試験機）を用いて模擬スラリーの脱水試験を行い、基本設計への反映を行うと共に、脱水処理の成立性確認を行う。

➤ 確認項目

パラメータの設定

以下のパラメータを変化させ、脱水物およびろ液の性状を確認する。

- ✓ ろ布目の粗さ
- ✓ ろ過時間
- ✓ 圧搾力
- ✓ スラリー粒径
- ✓ スラリー濃度

脱水処理実施

以下の工程にて模擬スラリーの脱水処理を実施する。

- ① スラリー供給、ろ過
- ② 圧搾
- ③ 脱水物取出し

脱水物性状確認

生成された脱水物の性状について以下の項目を確認する。

- ✓ 含水率
- ✓ 脱水物体積
- ✓ 脱水物重量
- ✓ 厚み

ろ液の性状確認

脱水処理時に発生するろ液について以下の項目を確認する。

- ✓ ろ液回収量
- ✓ SS濃度

脱水物の安定性確認

生成された脱水物を長時間静置し、性状変化の確認を行う。

➤ 試験結果

- ✓ 模擬スラリーを用いた脱水試験により、**脱水処理（含水率60%以下）が可能**であることを確認した。
- ✓ 脱水物からの水分の分離がなく、**保管中にダストが飛散するような状態ではない**ことを確認した。
- ✓ 想定している**粒径や濃度の分布範囲内において脱水処理可能**であり、**ろ布からの剥離が容易**であることを確認。
- ✓ ろ過工程、圧搾工程共にスラリーや脱水ケーキの**有意な飛散は発生しない**ことを確認した。



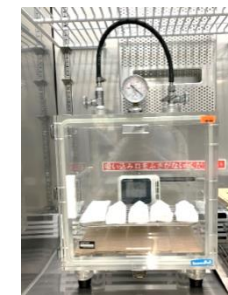
脱水処理(圧搾工程)



脱水処理(脱水物取出し工程)



脱水物の確認



性状変化の確認

➤ 試験概要

グローブボックスの遮蔽体及び窓を模擬した衝立の内部に、フィルタープレス機、マニピュレータ、インセルクレーンを設置し、脱水処理に係る一連の作業が可能であることを確認する。

➤ 確認項目

- ✓ マニピュレータによる脱水処理操作の可否
- ✓ マニピュレータによる脱水物の容器への充填可否
- ✓ マニピュレータによるろ布交換、ろ板交換の可否

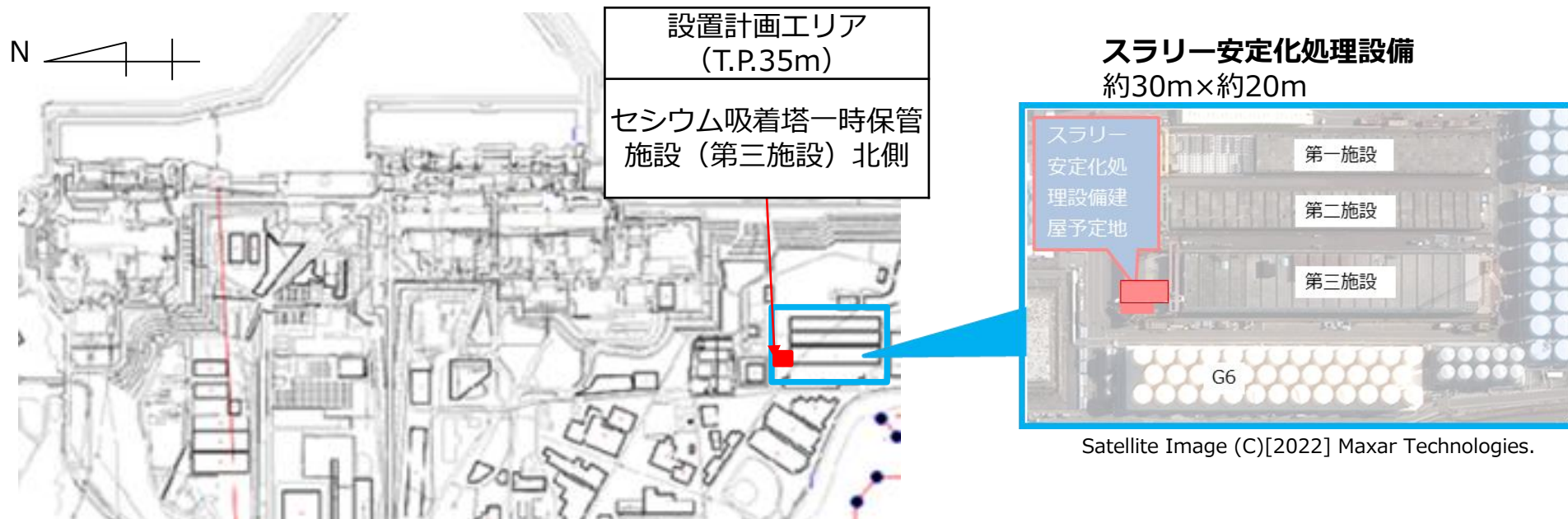
➤ 試験結果

- ✓ マニピュレータを用いて上記確認項目の一連の動作を実施し、操作性に問題はなく、**脱水作業及びメンテナンスの成立性を確認**した。



■ スラリー安定化処理設備の建設候補地

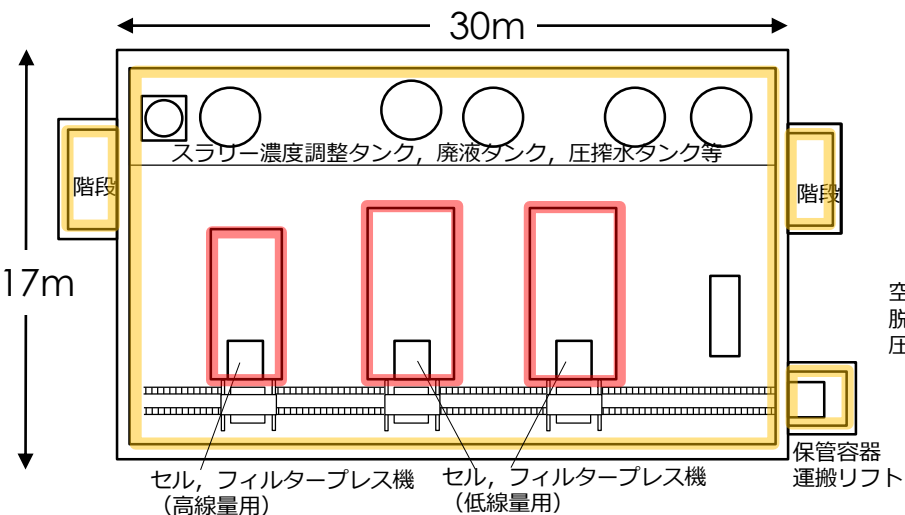
- スラリー安定化処理設備はHICの保管場所（セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設））近傍に新設することを計画。当該候補地で配置設計を実施。



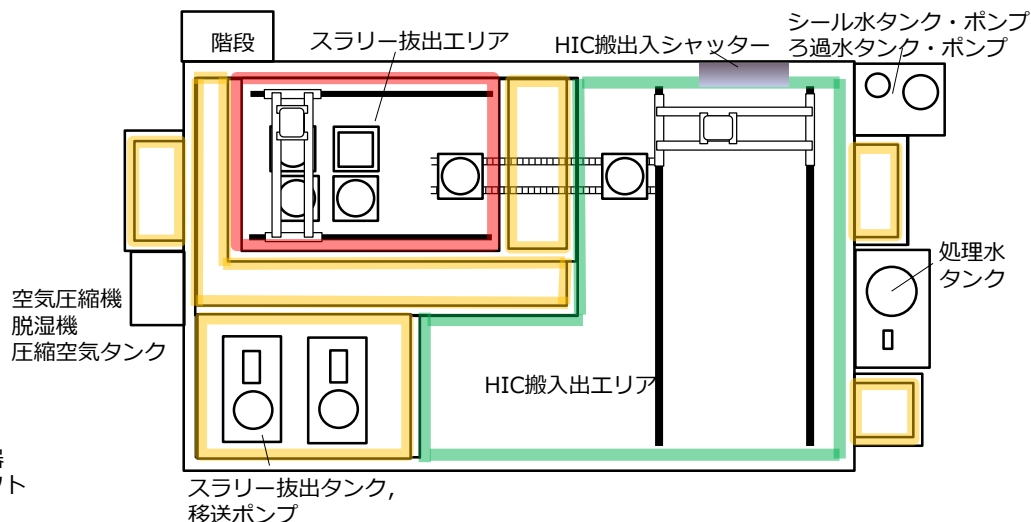
Satellite Image (C)[2022] Maxar Technologies.

- スラリー安定化処理設備の機器配置を以下に示す。

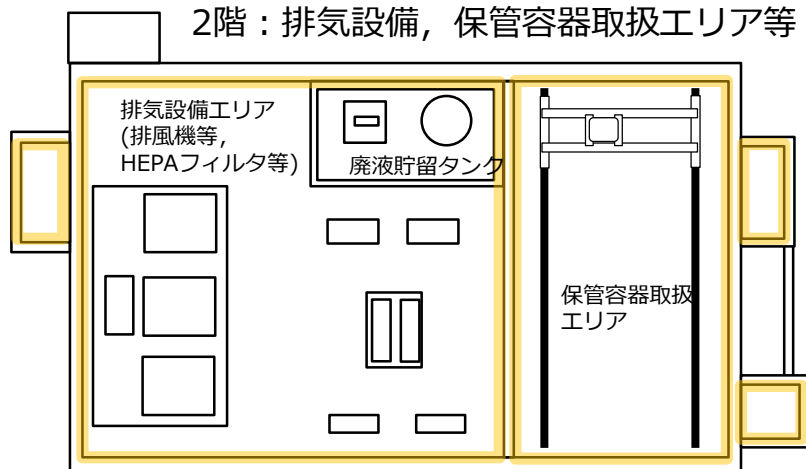
B1階：フィルタープレス機関連機器，廃液タンク等



1階：スラリー抽出装置，HIC搬入出エリア等

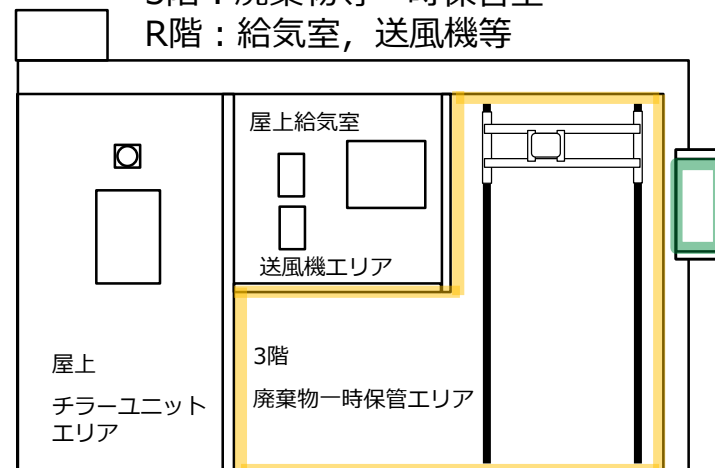


2階：排気設備，保管容器取扱エリア等



3階：廃棄物等一時保管室

R階：給気室，送風機等



— ダスト取扱エリア

— ダスト管理エリア

— 一般エリア

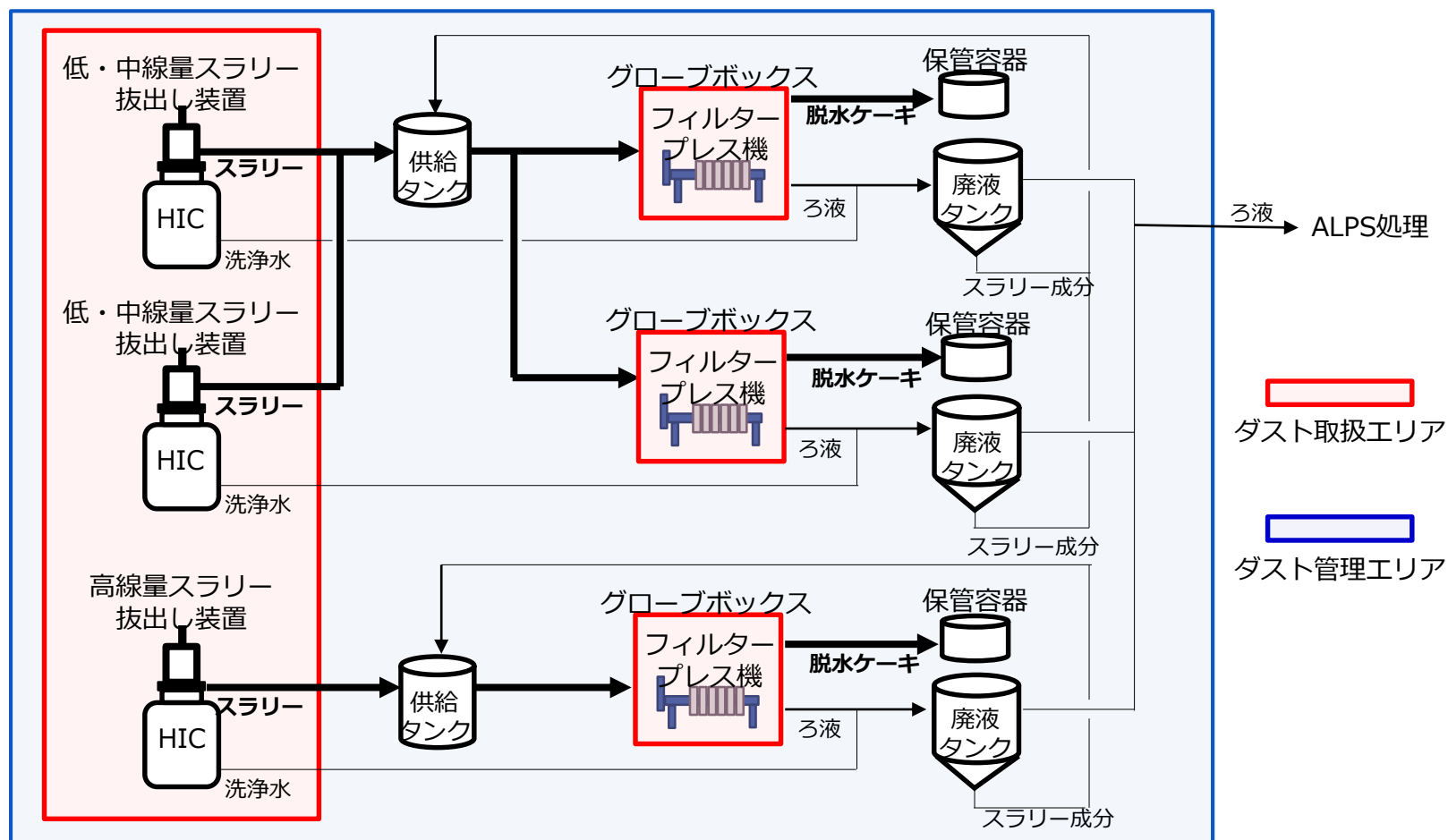
以下の内容について追而予定

1. H I C 保管容量の見通し
2. H I C 発生量低減対策の状況

【参考】スラリー安定化処理設備プロセス概要図

■ スラリー安定化処理設備のプロセス(概要)を下図に示す。

- HIC内スラリーの放射性物質の濃度にはばらつきがあることから、高線量のスラリーと低線量のスラリーの系統を分離し、設備全体としてHICを2基/日処理できる設計とする。



■ 脱水物の充填容器

- 脱水物を充填する容器は、ダブルドアシステムを採用し、バウンダリを維持した状態で脱水物を充填容器に充填。

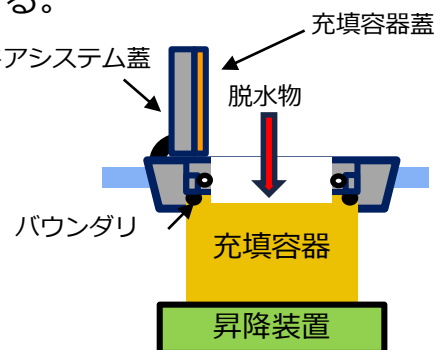
【充填容器の概要】



(ダブルドアシステムイメージ図)

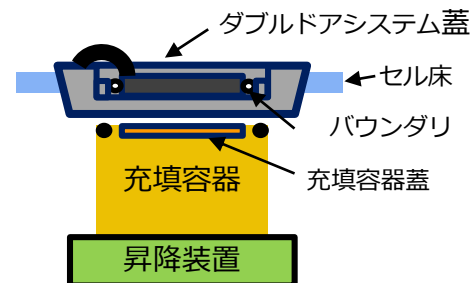
【充填容器接続時】

ダブルドアシステム本体と充填容器本体上面部のパッキン(赤丸)によりセル及び充填容器のバウンダリを担保する。



【充填容器分離時】

ダブルドアシステム本体とダブルドアシステム蓋のパッキンによりセルのバウンダリを担保する。充填容器は充填容器蓋を閉じた後に排出する。充填容器蓋にはベント孔を設ける。



- ALPSスラリーに適用可能な技術選定のため、模擬スラリーを用いて試験を実施。

基礎試験(2013～2014)

操作	脱水性能
薄膜乾燥	○
加圧圧搾ろ過	○
遠心分離	×

- 小型装置によりスラリーがリスク低減に十分なレベルまで脱水可能か確認した。
⇒薄膜乾燥、加圧圧搾ろ過の成立性を確認。
遠心分離では十分な分離性能が得られず。



実規模試験(2015～2016)

- 高線量の放射性物質を取り扱う現場適用性を考慮して、実規模スケールで脱水試験を実施した。

試験装置	適用性	評価
薄膜乾燥 (縦型薄膜蒸発)	乾燥物付着により自動排出困難なため不適	×
薄膜乾燥 (円盤加熱乾燥)	処理能力・自動排出に問題なく、適用可能	○
加圧圧搾ろ過	処理能力・自動排出に問題なく、適用可能	○

周辺要素技術試験(2017)

- HICからのスラリー拔出・移送試験、空HICの洗浄性試験を終了

実規模試験で性能を確認した2つの方式から採用する方式・装置を選定する。

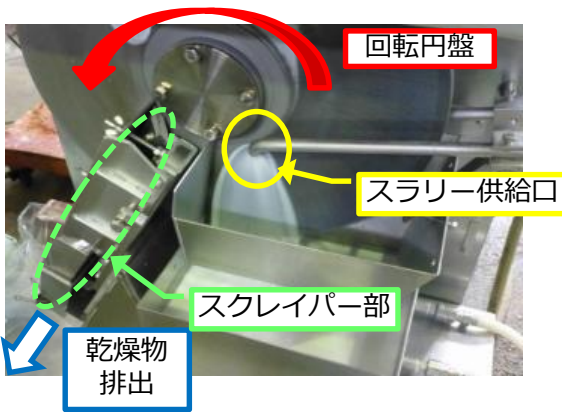
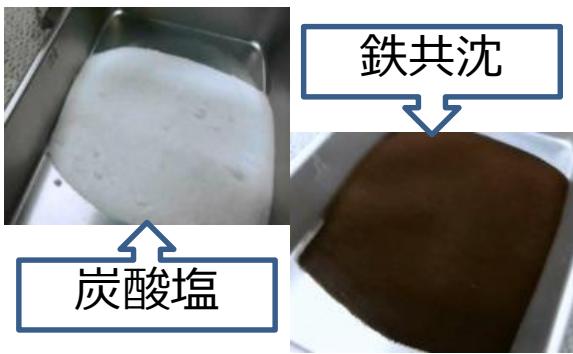
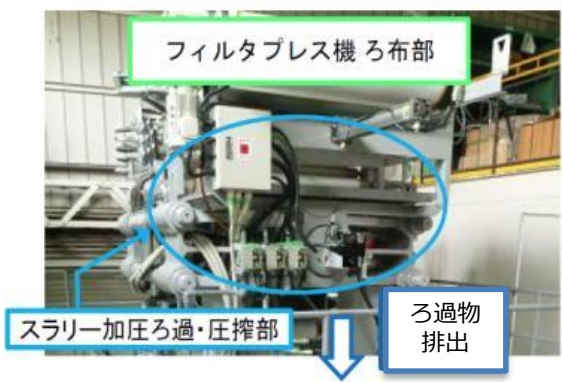

- 模擬スラリーを用いて薄膜乾燥、加圧圧搾ろ過、遠心分離の三種類のコールド試験を実施
- 遠心分離工法による処理は困難と判断

処理方法	試験結果(脱水物)		試験結果
	鉄共沈スラリー	炭酸塩スラリー	
薄膜乾燥※ (縦型薄膜蒸発器) 加温条件下で蒸発乾燥し、蒸留水と残留固形物とに分離			<ul style="list-style-type: none"> • 含水率 鉄共沈： 5%未満 炭酸塩： 5%未満 • 分離回収水：ほぼ蒸留水 • 縦型薄膜蒸発器は鉄共沈は残留固形物が固着し排出が困難
加圧圧搾ろ過 ろ布によりスラリーをろ過・圧搾し脱水			<ul style="list-style-type: none"> • 含水率 鉄共沈： 約50% 炭酸塩： 約40% • 分離回収水：濁度低い
遠心分離 高速回転による遠心力により脱水物と水分に分離			<ul style="list-style-type: none"> • 含水率 鉄共沈： 約70～75% 炭酸塩： 約60～85% • 分離回収水：濁度高い • 分離性能が不足し、脱水物に上澄み水が残存する状況

※：縦型薄膜蒸発器はラド設備として採用実績のあったもの。本評価の後、他の形式(円盤加熱乾燥)について評価を継続

フィルタプレス選定経緯(2)

- 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)の実規模装置で成立性を確認

処理技術	用いた処理装置	得られた脱水物	特記事項
円盤加熱乾燥	<p>「CDドライヤ」による処理</p> 	 <p>粉末状、含水率：5%未満</p>	<p><特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・スラリーの粒径に関係なく処理可能 ・スラリー供給時、粘度調整（希釈）が必要 <p><脱水物性状></p> <ul style="list-style-type: none"> ○粉末状 ○加熱条件の設定で含水率を調整可能（1%未満～20%程度） ○含水率1%未満となると飛散しやすくなる ○塩分は乾燥過程で脱水物内に残存
加圧圧搾ろ過	<p>「フィルタプレス」による処理</p> 	 <p>ケーキ状、含水率：50%未満</p>	<p><特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・処理速度が速い ・ろ布の洗浄が必要 <p><脱水物性状></p> <ul style="list-style-type: none"> ○固形（板）状 ○含水率50%程度であっても、液等の浸み出しは無い ○塩分は大部分がろ液側に排出

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。

円盤加熱乾燥と加圧圧搾ろ過の比較検討を行い、後者を採用

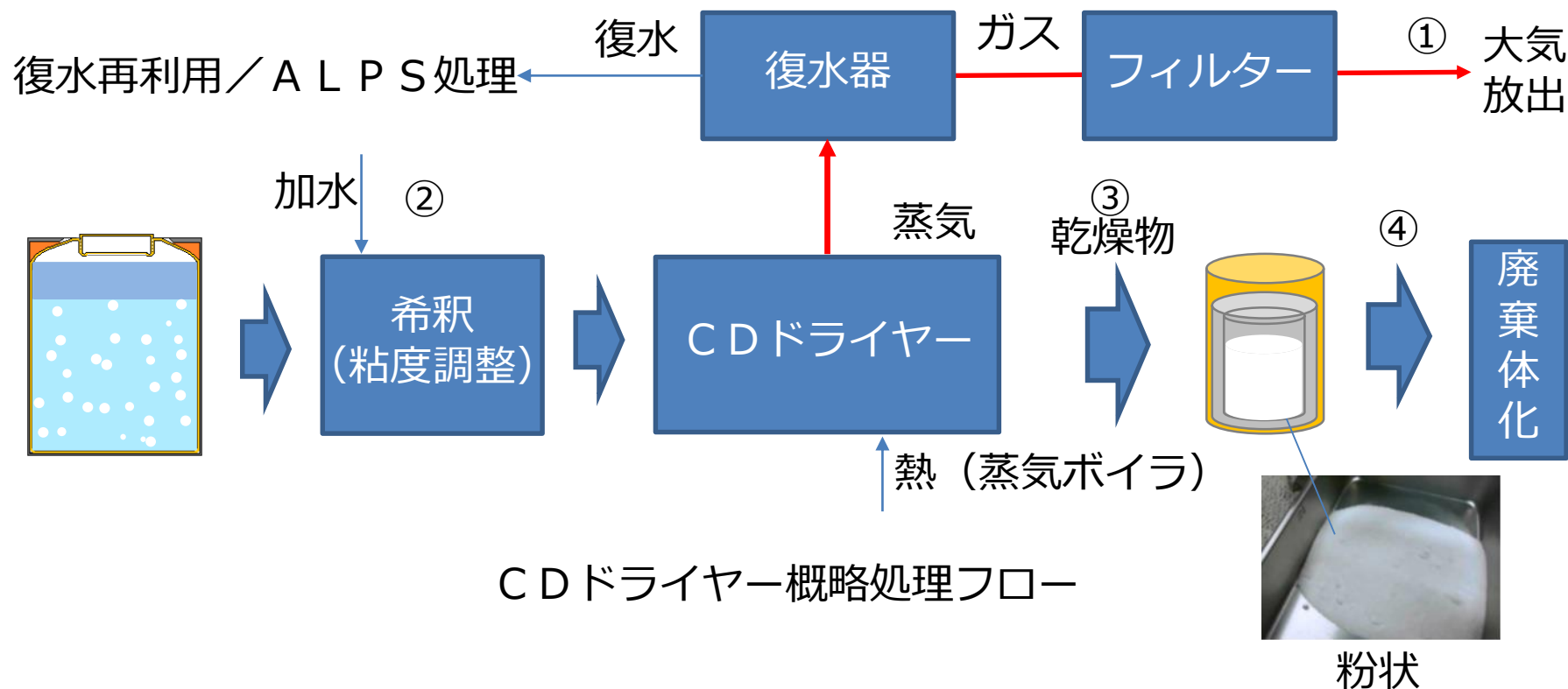
- 加圧圧搾ろ過方式の方が
 - ✓ 処理速度が大きい(下表)。廃棄物量が多いALPSスラリーでは重要。
 - ✓ 脱水物の飛散リスクが小さい(脱水物が適度な湿分のあるケーキ状)
 - ✓ 脱水物に塩分残留量が少なく、処分適合性が良い
 - ✓ 熱源や大電力が不要で、必要付帯設備が少ない
- 円盤加熱乾燥方式は非凝縮性ガスの放出管理が必要(次ページ参照)
- 円盤加熱乾燥の到達含水率(5%以下)は後工程未定の現時点では過剰品質

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 ²)×1台	加圧圧搾ろ過装置(ろ過面積60m ²)×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 ³ /日 HIC 3本/日 鉄共沈：8.4m ³ /日 HIC 3本/日	炭酸塩：27.9m ³ /日 HIC 10本/日 鉄共沈：20.1m ³ /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[m³]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



CDドライヤー概略処理フロー

- ① オフガス系について、安全評価のためには実スラリーの試験データの採取が必要となる可能性があり、必要十分な機能を持たすためには設備の大型化の懸念がある。
- ② 薄膜乾燥式であり高粘性流体は不適なため、多量の水による希釈で粘度調整が必要であり、投入エネルギー効率が悪い。
- ③ 脱水物は粉体状となるため飛散リスクが大きい。ハンドリングに厳しい安全対策が必要。
- ④ スラリー中の塩分がそのまま脱水物に残り、処理・処分への考慮が必要。

高温処理(約800℃～1200℃、ガラス(固)化)、中温処理(400℃～550℃、水蒸気改質/アパタイト固化)

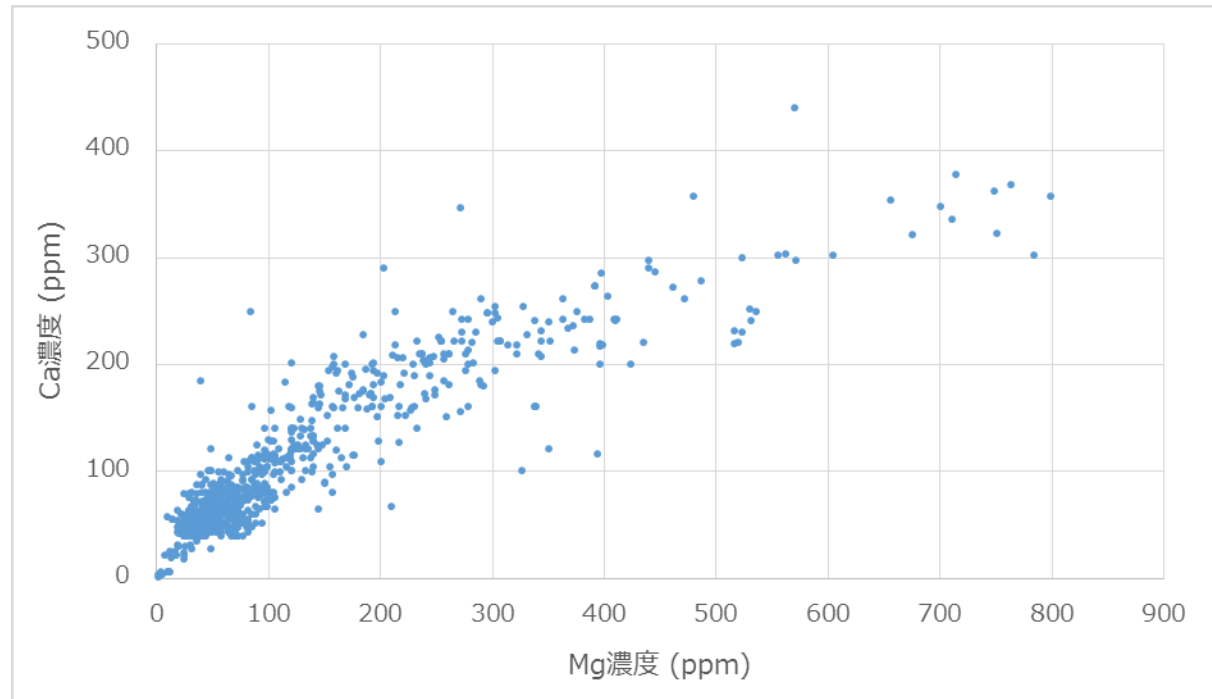
- ・処理温度において水分は失われるので、水分調整は処理部への供給性の視点で評価

常温処理(セメント固化/AAM固化)→フィルタプレスとの組合せが必要

- ・セメントの水和反応分以上の余剰水分はスラリーから調整除去することが必要。
AAMの場合は更に水分抑制が必要
 - 一気にセメ固化する場合でも、スラリーは脱水物とし、セメントミルク側で水分調整を行うのが現実的
- ・セメントあるいはAAMとの反応阻害物質がスラリーに含まれている場合、その除去あるいは影響軽減策が必要。
 - 水分調整時の脱水処理で除去される？
 - 比表面積が小さくなるケーキ状での充填固化は影響軽減に有効？
 - 現時点で反応阻害物質の有無・量は不明→固まるか、詰まるか、それを防ぐレシピ・添加剤選定など、運用時の課題は未解決
 - 実スラリーはALPS運転内で化学合成されるため、原水組成や添加薬品量に応じたバラ付きが見込まれる

技術面以外の課題

- ・廃棄体化処理技術具体化のエンジニアリング(未着手：LTPにも未計上)
 - 低減目標マップ
- ・処分サイト/WAC未確定段階で先行的処理を進めるコンセンサス



既設・増設ALPSの処理原水中のCa、Mg濃度のバラ付き