

# スラリー安定化処理に向けた設計について

2021年6月7日

---

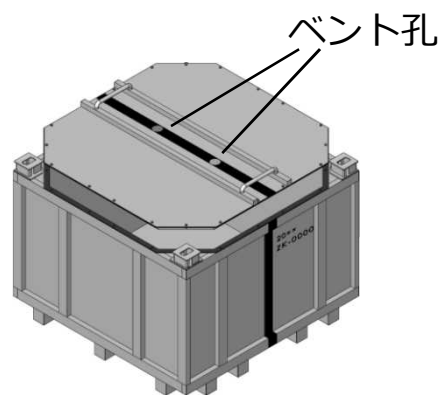
**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

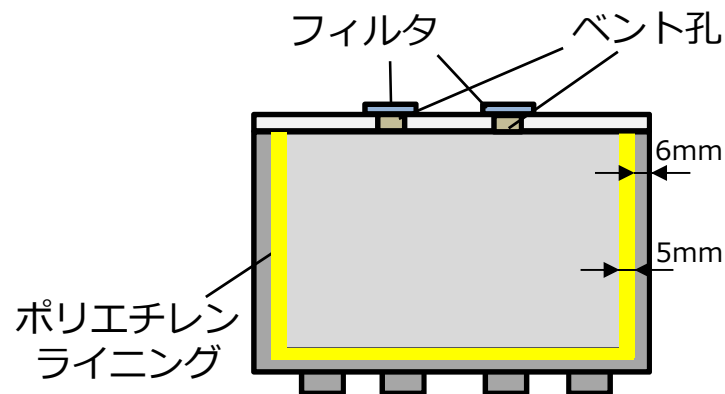
- 規制庁殿からご提示された高性能容器（HIC）に保管されているALPSスラリーに関する論点を受けて、スラリー安定化処理設備に関する設計について報告。
  - 安定化という目的を達成できるかどうか
    - ✓ 脱水物保管容器の長期健全性
  - 当該設備における安全上の問題点について
    - ✓ 閉じ込め機能
    - ✓ バウンダリ
    - ✓ ダスト飛散対策
    - ✓ 告示濃度限度に対する考え

## 1. 1 脱水物保管容器の仕様

- 脱水物保管容器（以下、「保管容器」）仕様は以下の通り。
  - 材質：SS400（蓋以外の内面にはポリエチレンライニングを施工）
  - 寸法：縦 約 2 m × 横 約 2 m × 高さ 約 1.3 m
  - 内容積：約 5.2 m<sup>3</sup>
- 放射線分解で発生する水素の容器内の濃度が可燃限界濃度を超えないようベント機構を設置。また、固体廃棄物貯蔵庫に収納し、建屋は換気して水素が滞留しないように管理。
- 保管容器の腐食防止の観点から、外面は塗装を施し、内面にはポリエチレンライニングを施工。



保管容器



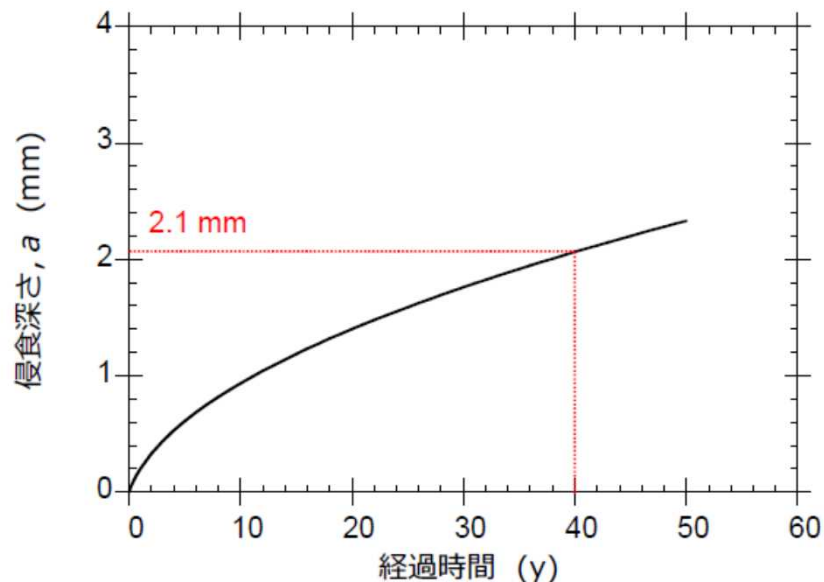
保管容器断面概略図

## 1. 2 脱水物保管容器の長期健全性

- 保管容器は、炭素鋼の腐食の可能性を考慮し、腐食防止の観点から、外面に塗装、内面にはポリエチレンライニングを施工する。
- 保管容器内面におけるライニング内表面は脱水物からの放射線劣化が懸念されるが、固体状の脱水物が鋼板と接触する障壁となる。ここで、仮にライニングが消失し、脱水物が鋼板と接触して鋼板内面に脱水物による全面腐食が発生すると想定した場合、40年間の腐食進展量は2.1mmであることから、約40年は貫通には至らないと評価する。【腐食進行の評価 参照】
- また、保管容器外面は、換気設備のある屋内で保管する計画であることから、外面腐食は発生しにくいと考える。
- なお、スラリー脱水物の保管は、国内において初めての事例であることから、定期的に脱水物の状態を確認する計画を立てる。

## 【参考】腐食進行の評価

- 炭素鋼が全面腐食すると腐食生成物（錆び）に覆われていく。この錆びの下地保護性により、実際の腐食速度は時間とともに低下していく。
- したがって、炭素鋼の腐食進展モデルとしては、平均侵食深さが時間のべき乗に比例するモデル（べき乗則モデル）が一般的であり、特にべき乗数を1/2とする放物線則モデルがよく使われている。
- 平均侵食深さ $a$  (mm)と時間 $t$  (年)との関係は次式で表される※1。初期速度を $r_0$  (mm/年)、速度定数を $k$  (年)とする。
$$(a + kr_0)^2 = 2kr_0^2t + k^2r_0^2$$
- 脱水物よりも厳しい条件である自然海水中での腐食を想定して初期速度を $r_0 = 0.285$ (mm/年)※1、速度定数を $k = 0.80$  (年)※1として侵食深さを計算すると下図のようになり、40年間の腐食進展量は2.1 mmと評価される。



※1：評価式及び $r_0, k$ の出典は「金属の腐食・防食Q&A コロージョン110番（腐食防食協会編，丸善，1988）」による。 $r_0, k$ は25℃の自然海水中での腐食を想定した値である。

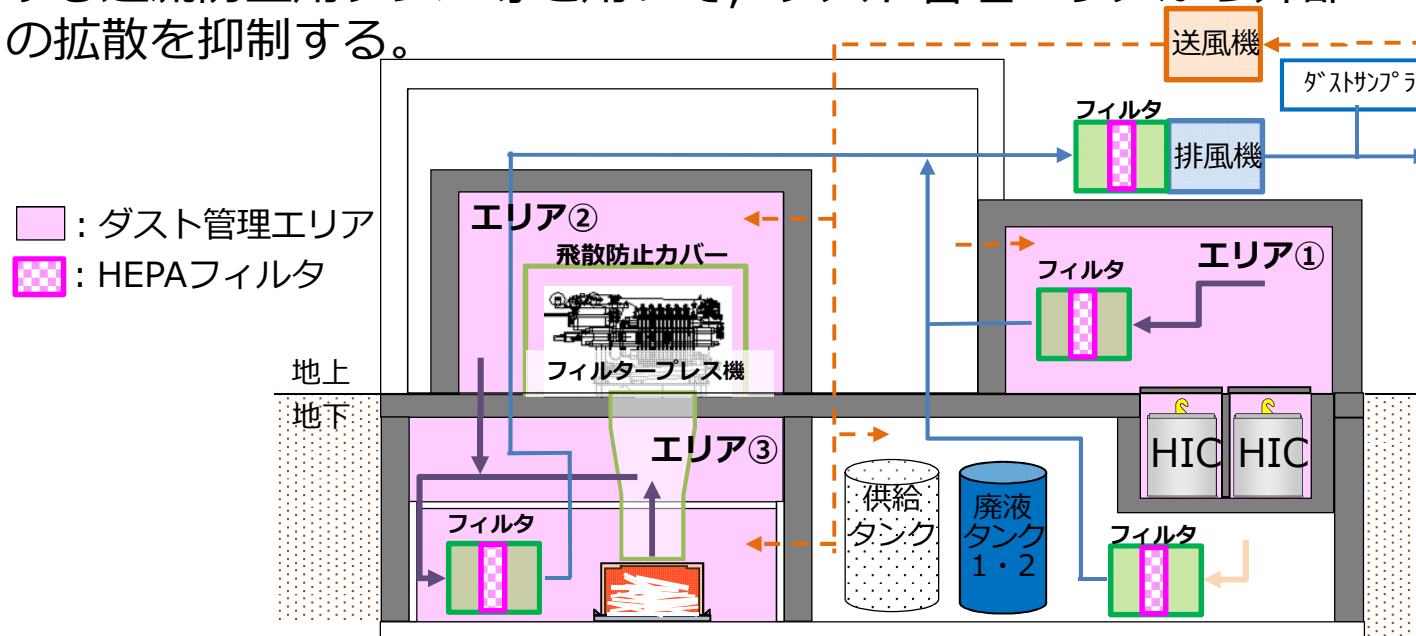
## 2 放射性物質の閉じ込め機能とダスト飛散対策

- スラリー安定化処理設備において処理対象のスラリーには高濃度のSr-90が含まれているため、放射性物質の屋外への放出や作業者の被ばくに関する安全対策が必要となる。
- 当該設備は、液体状のスラリーを固体状のスラリーへと安定化（脱水）する処理プロセスの中でダストが飛散する恐れがあるため、ダスト飛散対策を計画。ダスト飛散の恐れがある処理プロセス及び実施場所は以下の通り。

処理プロセス	実施場所	ダスト飛散の恐れ	作業者の介在
スラリー入りHIC搬入	建屋内外	無	有
HICからのスラリー抽出	地上階南側 抽出室	有(エリア①)	有
供給タンクへのスラリー受入	地下階南側 機器エリア	無	無
スラリーの脱水処理	地上階北側 フィルタープレス室	有(エリア②)	無
保管容器への脱水物受入	地下階北側 充填エリア	有(エリア③)	無
保管容器の蓋締め	地下階北側 蓋締めエリア	無	無
保管容器搬出	建屋内外	無	有
空HIC洗浄	地上階南側 抽出室	有(エリア①)	有
空HIC搬出	建屋内外	無	有

## 2 放射性物質の閉じ込め機能とダスト飛散対策

- 現設計は以下であり、負圧管理・ダスト警報管理はしていない。
  - ダストが飛散する恐れがあるエリアは、ダスト管理エリア（バウンダリ）として部屋等で区画し、エリア内の空気をHEPAフィルタ付の局所排風機により浄化し、換気設備の排気ラインにて建屋内の空気を再浄化して排出する。
  - 建屋の換気設備の排気口にて放射性物質をダストサンプラで採取し、放射性物質濃度(主要ガンマ( $\gamma$ )線放出核種, 全アルファ( $\alpha$ )放射能, 全ベータ( $\beta$ )放射能, ストロンチウム90(Sr-90)濃度)を監視する。
  - ダスト管理エリアと屋外の間には直接の出入口は設けず、ダスト飛散の恐れがないエリアを経由して出入りする設計とし、このエリアも換気設備により換気する。
  - 換気設備に異常が発生した場合、設備全体を停止するとともに、換気設備に設置する逆流防止用ダンパ等を用いて、ダスト管理エリアから外部への放射性ダストの拡散を抑制する。



## 2 放射性物質の閉じ込め機能とダスト飛散対策

- 作業者の被ばく防止
  - 脱水前のスラリーは液体状でありダスト発生源となりにくく、脱水直後の固体状の脱水物が保管容器に自由落下させる工程がダスト飛散しやすいと考えられる。
  - 評価の結果、建屋外への原子炉建屋からの放出と比較して十分低く、実効線量へ有意な影響を与える値では無い。また、当該作業中には作業者は介在しないこと、当該エリアのダスト濃度は、局所排風機による浄化により、当該エリアでの作業も全面マスクの着用上限濃度未満となると評価した。【放射性ダストの飛散影響参照】
  - 処理工程は隣接する操作室から遠隔で実施するが、作業者がダスト管理エリアにて作業する際は、ダスト管理エリア内の空気が浄化されていることの確認やスラリー移替え作業の被ばく対策をふまえ、作業を実施する。
    - ・ HICからスラリーを抜き出すための抜き出しポンプ着脱時
    - ・ スラリー抜き出し後のHIC内部を洗浄するための洗浄装置着脱時
    - ・ HIC搬入時、設備トラブル時または停止中の設備保全時
- 当該作業は高濃度のSr-90を多く取り扱う国内初めての作業であることから、規制庁殿のコメントをふまえ、上記に加えて以下の対策を実施する。
  - ダスト管理エリアにダスト飛散の恐れがないエリアの空気が流れ込むよう風量バランスを取り、バランスが取れない場合には、ダスト飛散の恐れがある作業を実施しないよう制御を行う。
  - ダスト管理エリアには、ダスト発生状況を確認するため、ダスト濃度を測定し、放射性核種や作業環境に応じた管理値を設定して監視する。



## 【参考】放射性ダストの飛散影響

- 万一放射性ダストが飛散した場合を想定し、建屋外へ排出される放射エネルギー及び建屋内の放射能濃度を評価する。なお、設備保全時には機器内洗浄後に実施するため、ダスト飛散の影響は低いと想定される。また、設備トラブル時には、スラリーの漏えいが想定されるものの、HICからの漏えい時の対応と同様な対応を実施する。

### ➤ 計算条件

処理工程の中でダスト飛散の恐れが高い、フィルタプレス機による脱水物を下方の保管容器へ自由落下により排出する工程を想定して評価する。スラリー中の核種は支配的な核種であるSr-90を想定する。Sr-90は全量が脱水物中に残留すると想定する。

A : スラリー中のSr-90濃度	1.40E+07 Bq/cm <sup>3</sup>
B : HIC1基あたりのスラリー保管容量	2.21 m <sup>3</sup>
C : HIC処理ペース	2 基/日
D : スラリーが落下により空气中へ移行する割合	5.00E-05 [-]※1
E : HEPAフィルタによる除去効率(DF)	1.00E+06 [-]※2
F : HIC 1 基あたりの脱水処理回数	3 回/基
G : 保管容器周囲容積 (保管容器及び脱水物シューター部)	19.0 m <sup>3</sup>
H : 脱水物受入エリアの容積	399 m <sup>3</sup>
I : HIC1基分スラリーに相当する脱水物容量	0.64 m <sup>3</sup>

※1 : U.S. Department of Energy, AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES, Volume I - Analysis of Experimental Data, DOE-HDBK-3010-94 December 1994

※2 : 区画したエリアから建屋外へ排出される空気は少なくとも2段のHEPAフィルタを通過する。HEPAフィルタの除去性能はJIS規格にて99.97%以上 (DF=3333以上) と定めており、フィルタ2段を考慮するとDFは1.00E+07以上となるが、保守側に値を設定する。

## 【参考】放射性ダストの飛散影響

### ➤ 建屋外への放出量

フィルタープレス機より排出される脱水物が自由落下により空気中へ移行し、その空気がHEPAフィルタを通過して建屋外へ排出される際の建屋外へのSr-90放出量は以下の通り。

$$\text{建屋外への放出量} = A \times B \times 10^6 \times C \times D / E = 3.09E+03 \text{ Bq/日}$$

この値は、大気中に拡散する放射性物質に起因する実効線量評価にて用いる放出量（Ⅲ章2.1.3放射性気体廃棄物等の管理に記載の原子炉建屋からの放出量,  $10^3 \text{ Bq/sec}$ オーダー）に比べて十分低く、実効線量へ有意な影響を与える値では無い。

### ➤ 建屋内の放射能濃度

フィルタープレス機より排出される脱水物が自由落下により空気中へ移行し、当該エリア中の空気へ拡散することを想定する。

脱水物が落下する保管容器周囲の空気は排風機に吸い込まれる設計としているため、放射性物質が当該エリアへ広く拡散することはないが、保守側に、保管容器周囲の空気が脱水物の容積分押し出され、排風機に吸い込まれずに当該エリアに拡散することを想定する。脱水物が自由落下により保管容器周囲の空気中へ移行した直後の、保管容器周囲の空気中の放射性物質濃度は以下の通り。（換気空調系の寄与については次項に記載）

$$\begin{aligned} \text{放射性物質濃度} &= A \times B \times 10^6 / F \times D / (G \times 10^6) \\ &= 2.72E+01 \text{ Bq/cm}^3 \quad \dots \text{①} \end{aligned}$$

当該エリアの空気中の放射性物質濃度は以下の通り。

$$\text{放射性物質濃度} = \text{①} \times (I / F) / H = 1.45E-02 \text{ Bq/cm}^3 \quad \dots \text{②}$$

## 【参考】放射性ダストの飛散影響

### ➤ 全面マスク着用上限濃度

当該設備で取り扱うスラリーはSr-90が支配的であることから、全面マスク着用上限濃度（1年間を通して、週40時間平均して吸引すると仮定した時の上限濃度）はSr-90（チタン酸ストロンチウム以外の化合物）を基準に設定し、 $7.0E-03Bq/cm^3$ とする。

### ➤ 建屋内の空気浄化

フィルタープレス機や保管容器を設置するエリアについては、ダスト管理エリアとして、エリアを区画してエリア内の空気をHEPAフィルタ付の局所排気設備により浄化する設計とする。また、その換気回数は1時間あたり2回以上としている。

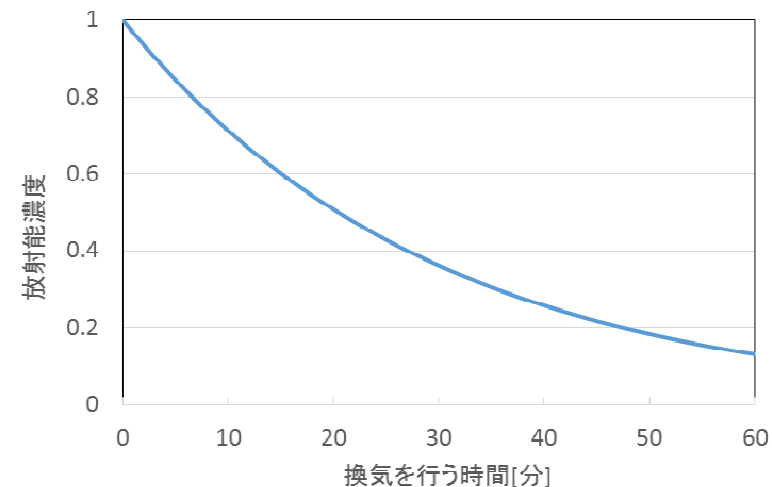
②で求めた放射能濃度（ $1.45E-02 Bq/cm^3$ ）は、全面マスク着用上限濃度（ $7.0E-03Bq/cm^3$ ）に対して約2倍高い値であるが、約20分で同程度まで低下する。

作業者が、ダスト管理エリアへ立ち入る際には放射性ダスト濃度の測定を行い、放射性ダスト濃度が全面マスク着用にて作業可能な値であることを確認して作業する。

このため、作業者は立ち入りのために約20分待つ必要があるが、設備の運用に支障を及ぼすような長い待ち時間ではない。

換気回数を2回/時間とする時の放射能濃度の推移を右のグラフに示す。

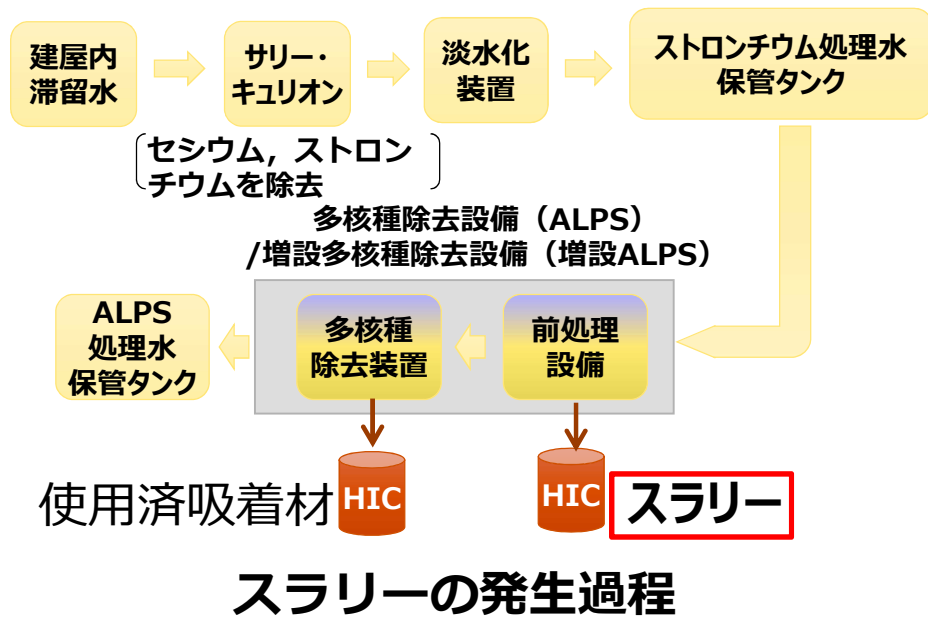
放射能濃度は、0分における値を1として無次元化して示している。



## 【参考】背景

- 多核種除去設備（ALPS）の前処理工程で発生するスラリーは、高性能容器(HIC)に収納し使用済みセシウム吸着塔一時保管施設に保管。
- 保管中に上澄み水の溢水を経験し、またスラリー内での水素蓄積も推定され、リスク低減のため、安定化(脱水)処理を行い固形化する方針。
- 実規模試験により脱水処理の成立性を確認した「加圧搾ろ過処理」(フィルタプレス)にて、スラリーを安定化(脱水)処理する設備に関する基本設計及び配置設計等を実施。
  - 2021年1月7日，実施計画変更認可申請
  - 2021年4月15日，実施計画補正申請

### 『液体状』を『固体』に安定化



炭酸塩スラリー



脱水



鉄共沈スラリー

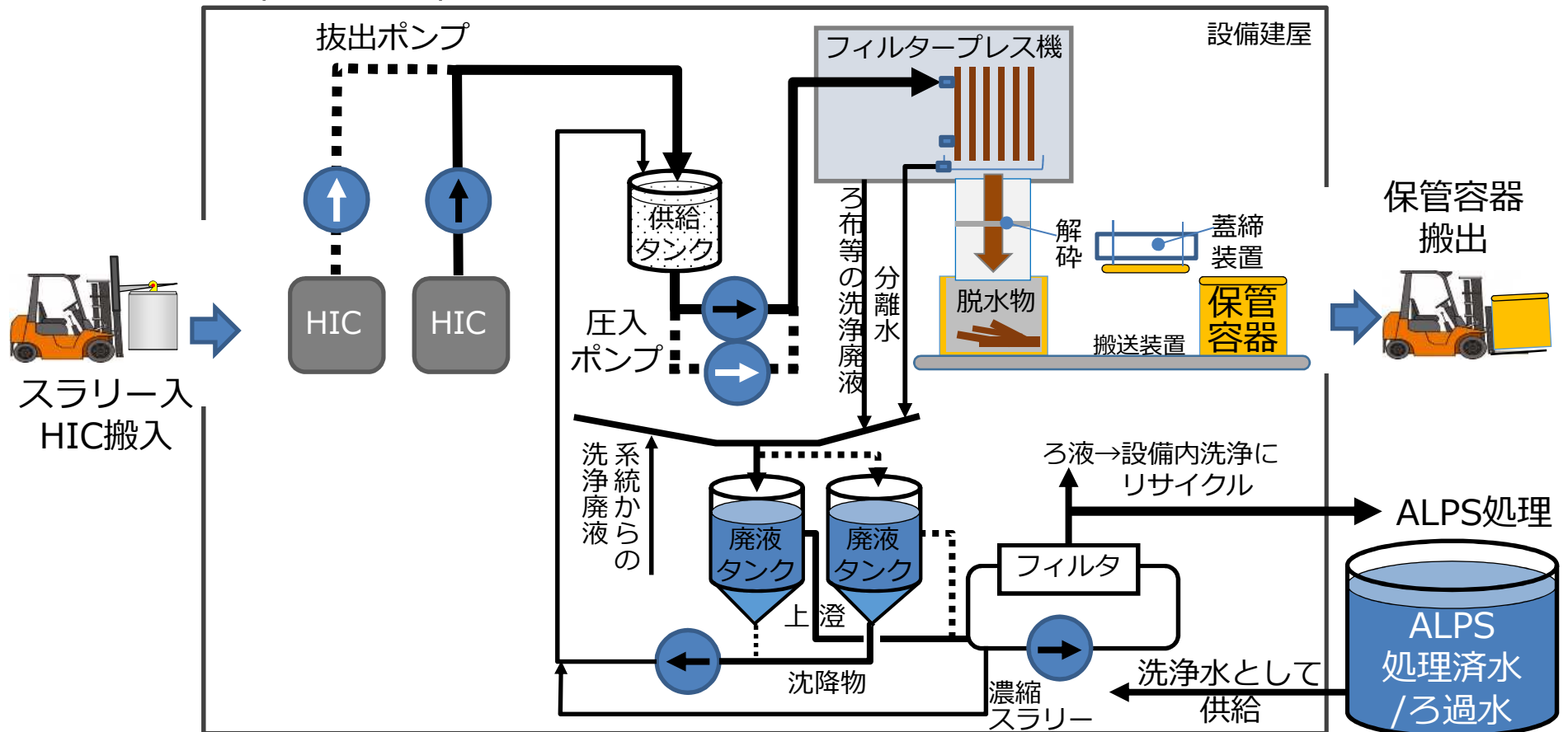


脱水



## 【参考】設備構成

- HICに収納されているスラリーは、ポンプ等にて抜き出し、フィルタープレス機で脱水され、脱水物を保管容器に充填し、別建屋に搬出。
- 脱水等により発生した廃液・洗浄水等は、フィルタ等を介して洗浄等に再利用し、余剰水はALPSに返送。
- その他に、換気系、制御装置等の付帯機器を配備。

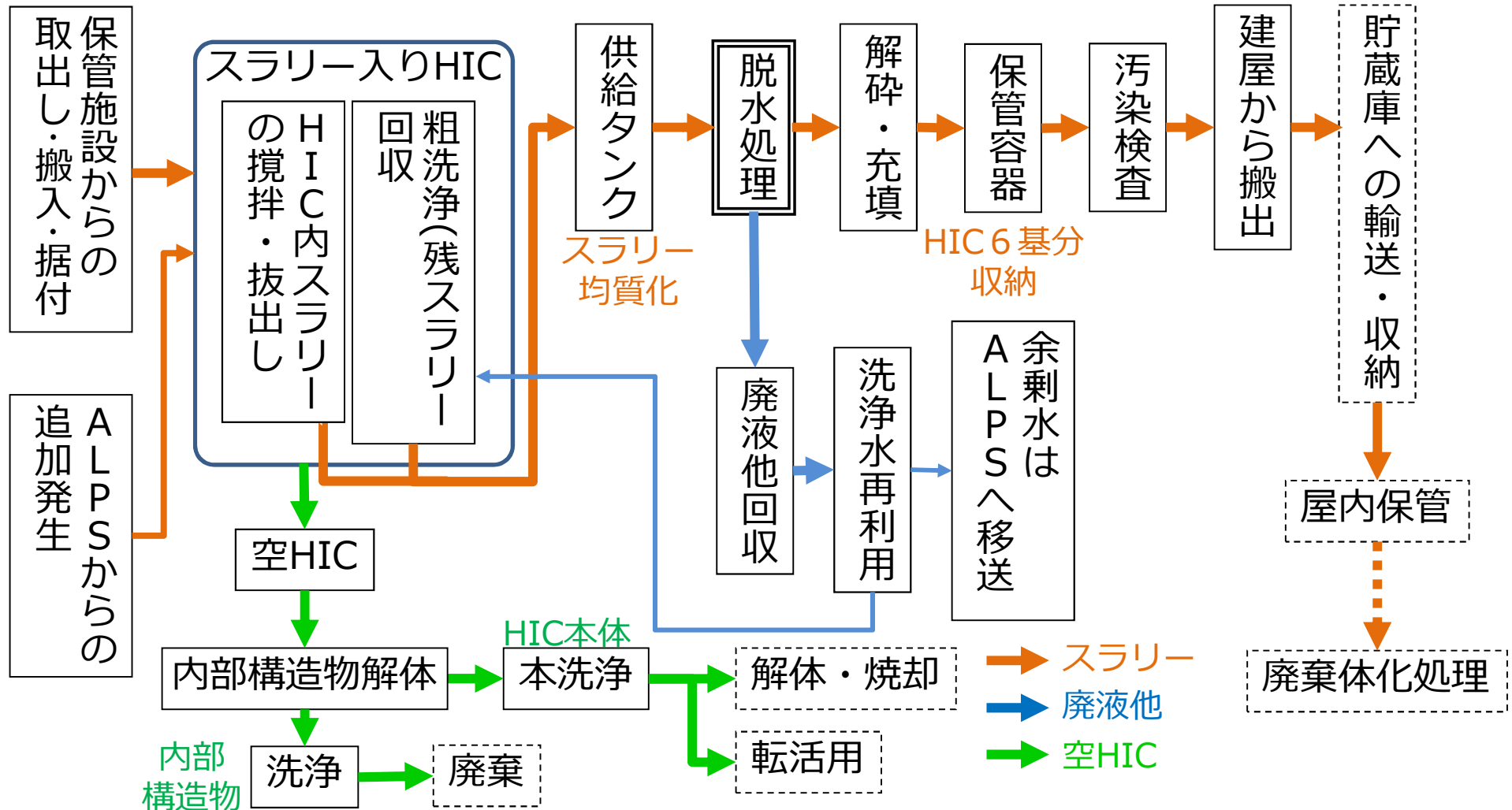


スラリー安定化処理設備全体概要図

# 【参考】処理プロセス

- 主な処理プロセスは以下の通り。

約600基/年(約2基/日)  
のHICを処理予定





## 【参考】スラリー安定化処理設備の設備設計

- 機器選定
  - 処理能力（HIC 2 基/日処理）に応じた機器数を選定し配置。連続運転ではなく、約300日程度の稼働（脱水作業は日中期間）と定期的な保守を実施予定。
  - フィルタープレス機は、一般産業界で実績ある技術を採用し、実規模装置での成立性を確認。
  - 廃液等の再処理システムは、多核種除去設備で実績のある機器を導入。
  
- 運転管理
  - 遠隔にて操作し、運転状況を監視できるシステムを構築。
  - 機器の漏えい等の異常時には自動的に設備を停止。
  - 運転時には、高線量エリアへの入域を制限したり、標識等にて注意喚起を図る。
  
- 保守管理
  - ろ布等の消耗品は定期的な交換を実施。消耗品以外の機器は保守計画を定めて点検を実施。
  - 設備保守時には、系統内の洗浄等を実施するなど、作業員の被ばく低減に努める。

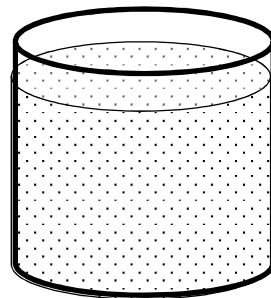
## 【参考】脱水物の線量管理

- スラリーは、供給タンクにて集約・均質化後、フィルタプレス機にて脱水し、保管容器に収納して、安定化させた状態で保管。
- 脱水物の線量管理として、保管容器の表面線量が保管管理エリアの管理値以下となることを遵守。
  - 事前に一時保管施設内のHICの表面線量を踏まえて処理対象HICを選定。処理運転時に均質化後のタンク表面線量や移送量を記録し、脱水物の放射エネルギーを評価。保管容器搬出時には表面線量が管理値以下であることを最終確認。
  - なお、保管容器を保管管理エリアまで構内輸送する際には、遮へい容器に収めて運搬を実施。



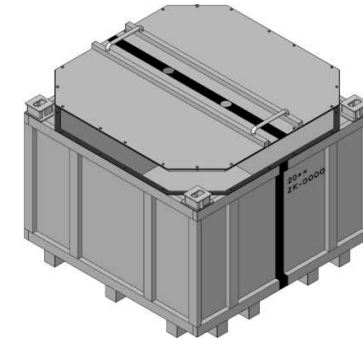
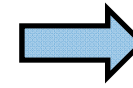
HIC

スラリー抽出



供給タンク

安定化(脱水)  
保管容器に充填



保管容器

・処理対象HICの  
表面線量を確認

・均質化後の表面線量及び  
移送量を記録



・脱水物の容器表面線量を管理  
(30mSv/h以下)



## 【参考】脱水物の長期的な管理

- 脱水物には水が滴らない程度の水分（含水率50～60%）が含まれており水素の発生は継続するため、保管容器にはフィルター付きの排気口を設けて、水素が保管容器内に滞留しない構造とする。保管容器は固体廃棄物貯蔵庫に収納し、建屋は換気し、水素が滞留しないようにする。
- 炭酸塩スラリーや鉄共沈スラリーの脱水物については、国内での長期保管経験がないことから、保管中に想定外の形態・性状変化を生じていないかを観察する計画を立てて管理してゆく。
- 内容物が充填された脱水物保管容器のうち、容器表面線量の高いもの若干数を選定し、保管開始後の経過年数について時期を定めて内部の観察を行う。
- 変化の有無を含め、観察結果を将来の廃棄体化の検討に活用する。

## 【参考】今後のスケジュール

- 基本設計について纏まったことから、今後、設備の製作・設置を実施し、2022年度の運用開始に向けて対応していく。

年月	2020年度			2021年度				2022年度					
	1月	2月	3月	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
実施計画変更認可申請	1/7_申請 ▽												
スラリー安定化処理設備(フィルタープレス機他)の製作・設置				■									
建屋設置						■							
運用開始													