

# 廃スラッジ回収施設の設置に関わる補足説明資料



---

2022年3月24日

東京電力ホールディングス株式会社

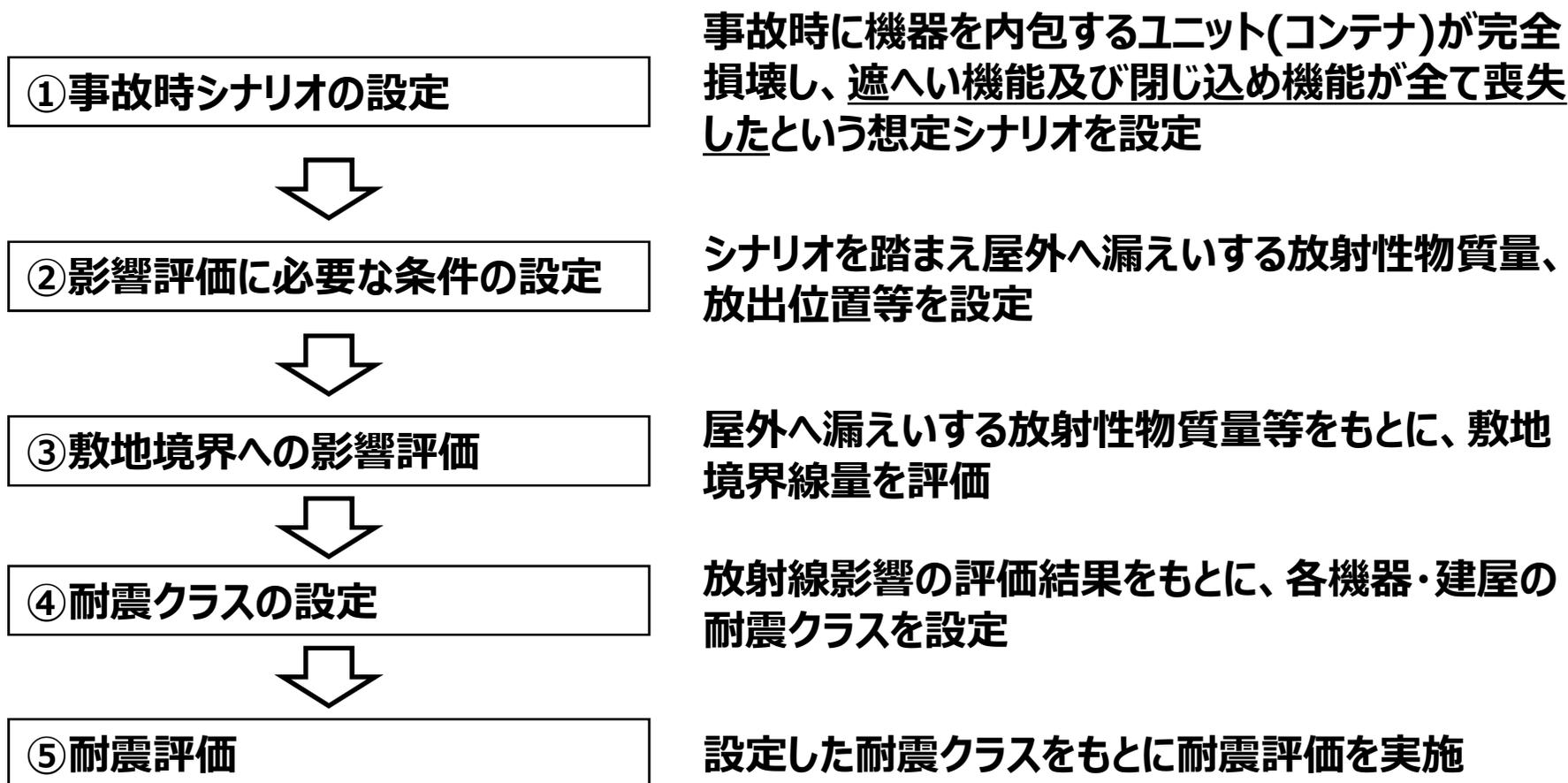
- 除染装置スラッジの現況について
- 実施計画の変更概要
- 廃スラッジ回収設備等の概要
  - 設置場所
  - 屋外設備配置図
  - 屋内設備配置図
  - 主要な機器仕様
- 設計上の考慮事項
  - 準拠規格及び基準
  - 自然現象に対する設計上の考慮
    - ✓ 津波、豪雨、台風、竜巻等への考慮
    - ✓ 耐震性及び強度評価について
      - ✓ 耐震クラスの設定方法
      - ✓ 評価結果
  - 外部人為事象に対する設計上の考慮
  - 火災に対する設計上の考慮
  - 環境条件に対する設計上の考慮
  - 運転員操作に対する設計上の考慮
  - 信頼性に対する設計上の考慮
  - 検査可能性に対する設計上の考慮
  - その他の設計上の考慮
    - ✓ 放射線遮へい・被ばく低減
    - ✓ 漏えい検知，漏えいの拡大防止，漏えい発生防止
    - ✓ 可燃性ガス滞留防止対策および水素評価
    - ✓ 崩壊熱除去
    - ✓ 使用済セシウム吸着塔一時保管施設(第四施設)の耐震評価
    - ✓ 3号FHM事象に対する対策
- 準備工事の種類及び概要について
- 仮設構台の設置に伴う干渉物撤去について
- 仮設構台設置工事について
- アクセス搬入口設置に伴うプロセス主建屋開口部設置工事について
- 廃スラッジ回収設備等の設置に伴う屋内干渉物撤去工事について

## 今回のご説明内容

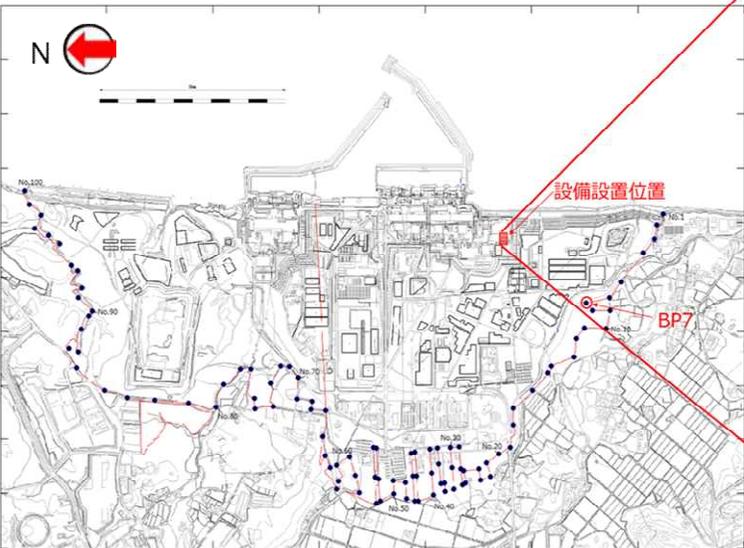
- 敷地境界線量の評価条件について
- 敷地境界線量評価条件を踏まえた耐震クラス設定について
- その他コメント回答

◆ 全体方針

- 設備の耐震クラス設定にあたって、地震による安全機能喪失により公衆（敷地境界）への放射線影響をもとに設定する方針となっている。



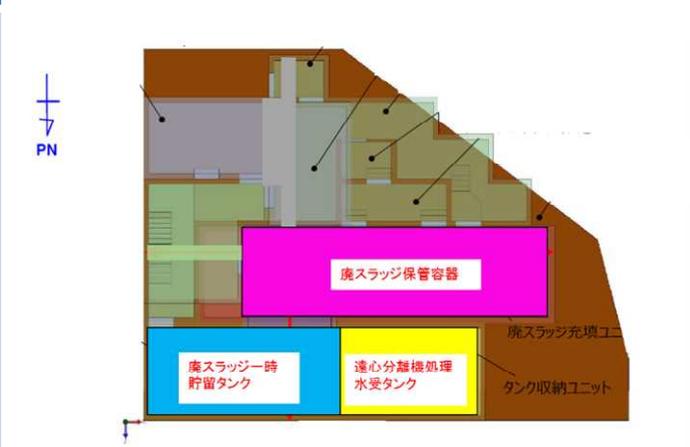
## ◆ 事故時の敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）の評価条件

項目	条件	備考
解析コード	これまでの実施計画申請における敷地境界線量評価で使用されてきた以下コードを用いた。 ・線源強度：ORIGEN2.2-UPJ ・線量率：MCNP5-1.60	
設備位置及び評価位置	設備位置を下図に示す。設置標高（地表）はT.P. 8.5m。敷地境界での評価位置は本設備から最も近いBP7とし、本設備からの距離540m、評価点高さはT.P.21m（設備位置（T.P.8.5m）より+12.5m）とした。	 

◆ 事故時の敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）の評価条件(続き)

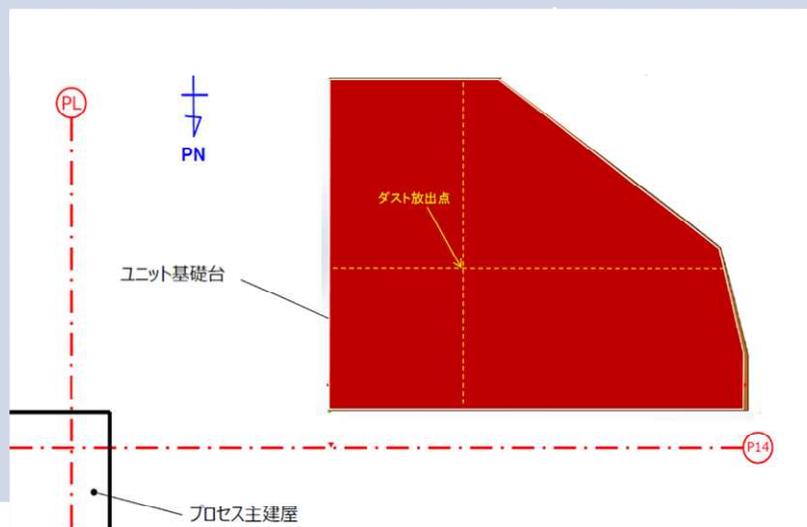
項目	条件	備考																				
評価に用いたインベントリ	<p>設備全体として最大放射エネルギーとなる状態として、廃スラッジ保管容器（容量1m<sup>3</sup>）、廃スラッジ一時貯留タンク（容量2m<sup>3</sup>）及び遠心分離機処理水受タンク（容量2m<sup>3</sup>）が全て全容量内包している状態でのインベントリにて評価を行った。</p> <table border="1" data-bbox="573 703 1684 1042"> <thead> <tr> <th colspan="4" data-bbox="573 703 1684 746">線源ごとの放射エネルギー(Bq)</th> </tr> <tr> <th data-bbox="573 746 759 850">核種</th> <th data-bbox="759 746 1061 850">廃スラッジ保管容器</th> <th data-bbox="1061 746 1361 850">廃スラッジ一時貯留タンク</th> <th data-bbox="1361 746 1684 850">遠心分離機処理水受タンク</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="573 850 759 914">Sr-90</td> <td data-bbox="759 850 1061 914">2.59E+14</td> <td data-bbox="1061 850 1361 914">1.35E+14</td> <td data-bbox="1361 850 1684 914">6.34E+12</td> </tr> <tr> <td data-bbox="573 914 759 978">Cs-137</td> <td data-bbox="759 914 1061 978">2.00E+13</td> <td data-bbox="1061 914 1361 978">1.04E+13</td> <td data-bbox="1361 914 1684 978">4.91E+11</td> </tr> <tr> <td data-bbox="573 978 759 1042">Cs-134</td> <td data-bbox="759 978 1061 1042">4.07E+11</td> <td data-bbox="1061 978 1361 1042">2.12E+11</td> <td data-bbox="1361 978 1684 1042">9.96E+09</td> </tr> </tbody> </table>	線源ごとの放射エネルギー(Bq)				核種	廃スラッジ保管容器	廃スラッジ一時貯留タンク	遠心分離機処理水受タンク	Sr-90	2.59E+14	1.35E+14	6.34E+12	Cs-137	2.00E+13	1.04E+13	4.91E+11	Cs-134	4.07E+11	2.12E+11	9.96E+09	詳細な考え方は2022年1月26日面談資料の14頁参照。
線源ごとの放射エネルギー(Bq)																						
核種	廃スラッジ保管容器	廃スラッジ一時貯留タンク	遠心分離機処理水受タンク																			
Sr-90	2.59E+14	1.35E+14	6.34E+12																			
Cs-137	2.00E+13	1.04E+13	4.91E+11																			
Cs-134	4.07E+11	2.12E+11	9.96E+09																			
線源形状	廃スラッジ保管容器、廃スラッジ一時貯留タンク及び遠心分離機処理水受タンクの全容量が、全てそれぞれ設置されている部屋内に漏えいし、床に均等な高さで堆積する条件で評価を行った。	詳細は2022年1月26日面談資料の12,13頁参照。																				

◆ 事故時の敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）の評価条件(続き)

項目	条件	備考																
線源形状(続き)	 <table border="1" data-bbox="1357 523 1998 778"> <caption>線源形状寸法(mm)</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>廃スラッジ保管容器</th> <th>廃スラッジ一時貯留タンク</th> <th>遠心分離機処理水受タンク</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>東西</td> <td>12223</td> <td>7850</td> <td>5535</td> </tr> <tr> <td>南北</td> <td>3550</td> <td>3520</td> <td>3520</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>23</td> <td>73</td> <td>103</td> </tr> </tbody> </table>	項目	廃スラッジ保管容器	廃スラッジ一時貯留タンク	遠心分離機処理水受タンク	東西	12223	7850	5535	南北	3550	3520	3520	高さ	23	73	103	
項目	廃スラッジ保管容器	廃スラッジ一時貯留タンク	遠心分離機処理水受タンク															
東西	12223	7850	5535															
南北	3550	3520	3520															
高さ	23	73	103															
線源以外のモデル化	<p>地表面高さ以下は土壌とし、それ以外は空気とした。また、保守的に線源から評価点までは平らな土壌とし、その間の建屋や丘陵等の遮へい物はない条件とした。</p>	<p>土壌のモデル化の詳細は14頁参照。</p>																
線量換算係数	<p>これまでの実施計画申請における敷地境界線量評価で使用されてきた「放射線遮へい計算のための線量換算係数：2010」記載のICRP Pub.74 準拠の実効線量換算係数とする。</p>																	

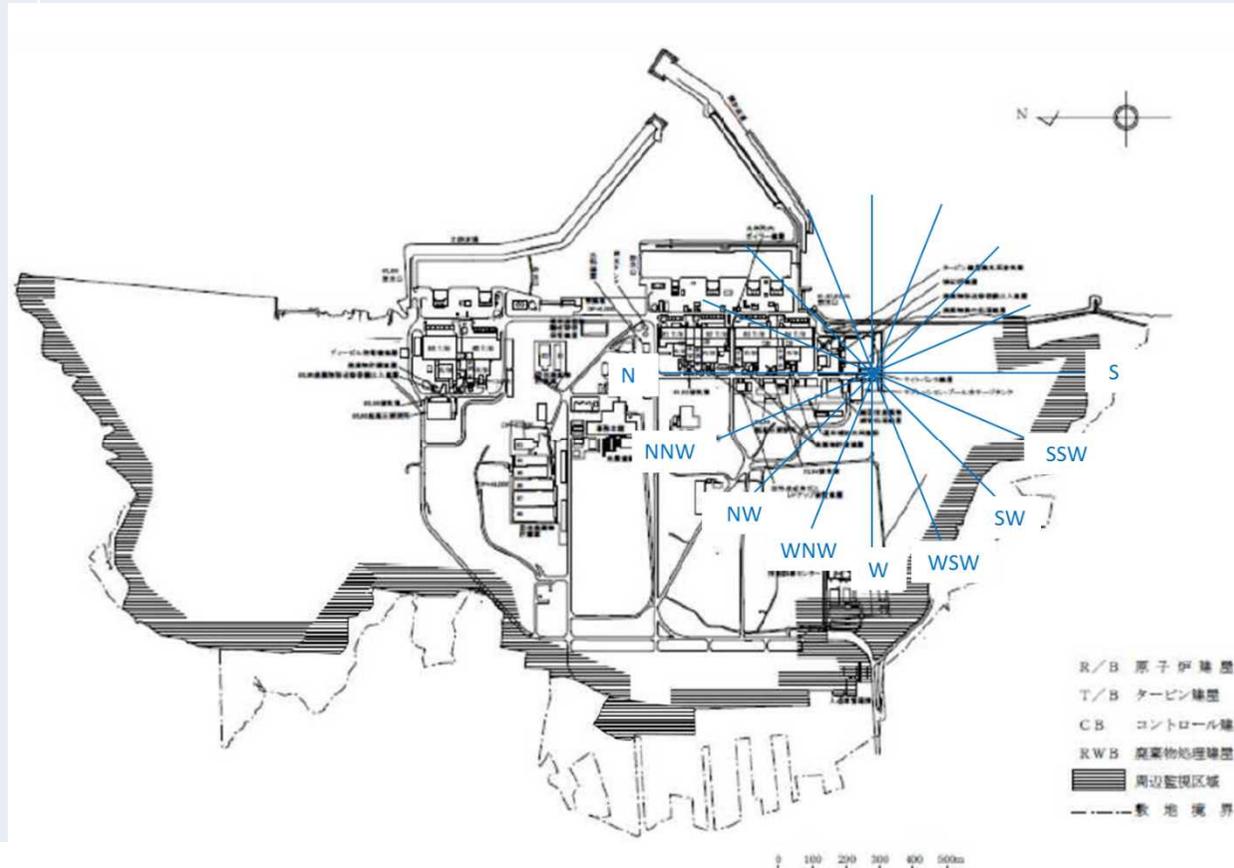
◆ 事故時の敷地境界線量評価（大気拡散）の評価条件

項目	条件	備考
解析コード	柏崎刈羽原子力発電所における重大事故時の被ばく評価にて使用実績がある以下コードを用いた。 WDOSE2_TEPSYS（バージョン2.1.1）	
被ばく経路	<ul style="list-style-type: none"> <li>・クラウドシャインによる外部被ばく：<math>\gamma</math>線、<math>\beta</math>線</li> <li>・グランドシャインによる外部被ばく：<math>\gamma</math>線+<math>\beta</math>線</li> <li>・クラウドの吸入による内部被ばく：－</li> </ul>	
放出点	除染装置スラッジ処理装置の設置位置の、ほぼ中心部からダストが放出されたとして評価した。	



## ◆ 事故時の敷地境界線量評価（大気拡散）の評価条件(続き)

項目	条件	備考
放出点高さ	0mとした。	
評価点	放出点からの各陸側9 方位内における敷地境界の最至近点とした。	



◆ 事故時の敷地境界線量評価（大気拡散）の評価条件(続き)

項目	条件	備考
評価点高さ	0mとした。	
建屋巻き込み	<p>被ばく対象が敷地境界（一般公衆）であることから、建屋巻き込みは考慮しない。</p> <p>建屋巻き込みによる初期広がりを考慮すると、相対濃度と相対線量が小さくなる。安全側の評価となるよう、建屋巻き込みは考慮しない。</p>	
実効放出継続時間	これまでの許認可申請における異常時の敷地境界線量評価の条件に合わせ1時間とした。	
気象データ	原子炉設置変更許可申請書（6号原子炉施設の変更）添付書類6に記載の気象データである「1979年4月1日～1980年3月31日（1979年度）」の気象データを使用した。	

◆ 事故時の敷地境界線量評価（大気拡散）の評価条件(続き)

項目	条件	備考
放出量	<p>DOE、NRCにおいても標準的な評価手法（DSA、ISA）として採用されている「五因子法」により放射性物質の放出量を設定した。</p> <p>[放出量] = MAR × DR × ARF × RF × LPF</p> <p>MAR：事象によって影響を受ける可能性のある放射性物質の総量（インベントリ）（Material At Risk）                      DR：事象の影響を受ける割合（Damage Ratio）                      ARF：事象の影響を受けたもののうち雰囲気中に放出され浮遊する割合（Airborne Release Fraction）                      RF：肺に吸入され得る微粒子の割合（Respirable Fraction）                      LPF：環境中へ漏えいする割合（Leak Path Factor）</p> <p>ここでは直接線+スカイシャイン評価で設定した放射エネルギーをMARとし、ARFとして5E-5（DOE Handbook 3.2.3.2より）を乗じ、その他の因子は保守的に全て1とした。</p>	ARFの設定根拠は12頁参照。

□ 評価結果により耐震クラス選定

- 事故時の敷地境界線量評価結果を以下に示す。破損シナリオによる公衆への被ばく影響は合計4.2mSv程度となる。本設備は1年あれば事故時の敷地外への放射線影響を収束させることは可能と思われるため、事故時の公衆への放射線影響は5mSv/事故以内に収まる。よって耐震BもしくはB+クラスとなると考える。

評価項目	敷地境界線量値
直接線及びスカイシャイン線による影響	4.12mSv/y
大気拡散による影響	0.0425mSv/事故

- さらに以下理由により**本設備の耐震クラスはBクラスと設定可能**と考える。
  - ✓ 本設備の供用期間は6ヶ月を予定しており恒久的に使用する設備ではない。
  - ✓ 本設備は系統的に他施設と切り離された独立した設備であるため、本設備が運転不可になることにより他のSクラスの設備の運転に影響を与えることはない。
  - ✓ 本設備は屋外に設置されているため、事故後に設備を遠隔重機等で仮設の遮へい体（鉛毛マット等）や養生シート等で覆い、短期間で周辺空間線量の低減やダスト飛散の防止をはかることは可能と考える。

- 五因子法のうち拡散係数の適用性について
- 土壌のモデル化の詳細について
- 他PJにおける土壌の取扱いについて
- 廃スラッジ回収設備等の接続部及び漏えい防止対策について
- 保管容器の設計上の考慮事項
- 模擬スラッジ作成時の再現性について

■ 拡散係数ARFの適用性について

- 放射性物質の空中放出に関する実験データの集積知として、米国エネルギー省、米国規制庁にて採択の実績がある「DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES DOE-HDBK-3010-94」(以後DOE HANDBOOK) から引用した。
- DOE HANDBOOKでは、放射性物質の各形態(固体、液体、スラリー等)における、実験データを基にしたこぼれ、火災、地震等の一般的な災害・事故を想定した放射性物質の気中移行率ARFと呼吸取込率RFの記載がある。
- 本事象は地震による機器破損における内包スラリーの漏えい事象であることから、DOE HANDBOOK中3.1項のスラリーの自由落下液滴事象(Free-fall spills of slurries)での以下のARFとRFを参照し、ARFを5E-5と設定した。なおRFはDOE HANDBOOK上では0.8であるが保守的に1.0と設定した。

- Free-fall spills of slurries, 3-m fall distance, <40% solids.

Median	ARF 2E-5/RF 0.7
Bounding	ARF 5E-5/RF 0.8

(DOE HANDBOOK Page3-1抜粋)

### ■ 拡散係数ARFの適用性について(続き)

➤ ここで、DOE HANDBOOK中3.1項のスラリーの自由落下液滴事象の適用条件として、以下2条件が記載されている。

- ✓ 液滴落下高さ：3m
- ✓ 固形分濃度：40w%未満

本設備の場合、廃スラッジ一時貯留タンク及び遠心分離機処理水受タンクの全高が床上2.5m、廃スラッジ保管容器の全高が床上2mであり、内包スラリー漏えい時の落下高さは、適用条件の液滴落下高さ3mを下回る。

ただし廃スラッジ保管容器に内包される脱水済みの廃スラッジは50w%程度となるため、適用条件の固形分濃度40w%未満から逸脱するが、RFをDOE HANDBOOK上での0.8から保守的に1.0と設定しているため、ほぼ相殺されると考えられる。

■ 土壌のモデル化の内容

- 本評価では、地表面高さ以下は土壌とし、それ以外は空気とした。また、保守的に線源から評価点までは平らな土壌とし、その間の建屋や丘陵等の遮へい物はない条件とした。
- ここで土壌と空気の部分は、以下の密度及び組成を用いて吸収と散乱の効果を評価に入れている。
- 土壌表面は以下組成で構成される表面状態としており、コンクリートや鉄板を表面とした条件とはしていない。

	元素	空気	土壌
物質の組成 (重量比率)	H	0.00001	0.0096
	C	0.00012554	
	N	0.75470	-
	O	0.23233	0.5437
	Al	-	0.1286
	Si	-	0.3181
密度[g/cm <sup>3</sup> ]		0.0012	1.7

参考文献

空気データ: 日本原子力研究所: 遮蔽材料の群定数—中性子 100 群・ガンマ線 20 群・P5 近似—, JAERI-M6928.

土壌データ: MULTI-GROUP CROSS SECTION SETS FOR SHIELDING MATERIALS, JAERI-M84-038, 日本原子力研究所.

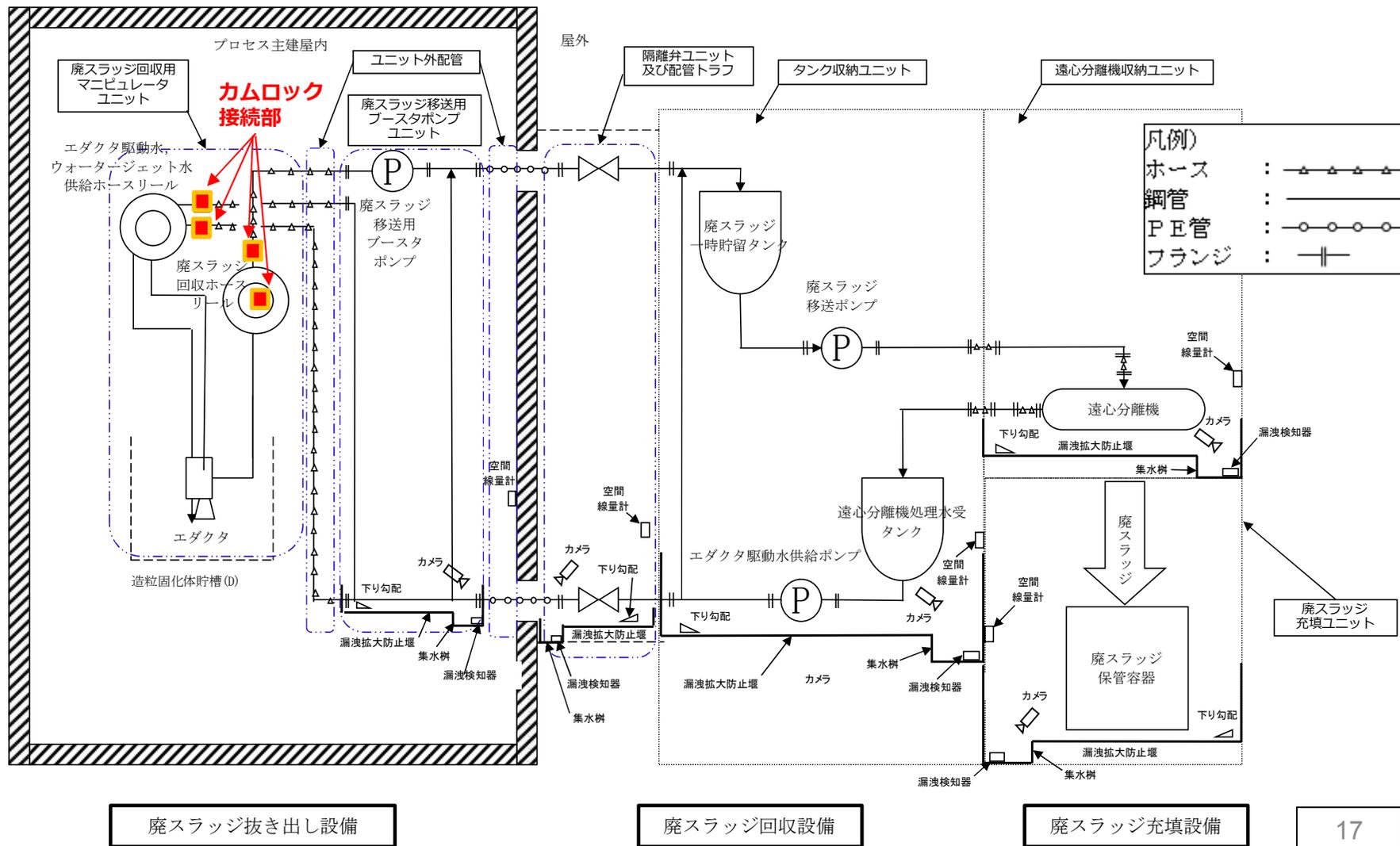
- 現在面談中の各案件の評価条件を参考に以下に示す。

設備名	地表面以下の土壌による遮へい効果
廃スラッジ回収設備	○
スラリー安定化設備	○
増設ALPS前処理	○
第三施設	○
1号大型カバー	○
2号機燃料取出設備	○
キャスク仮保管庫	○
大型廃棄物保管庫	○
固体廃棄物貯蔵庫第10棟	○
JAEA分析棟第二棟	地上部: × 地下部: ○

- 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止
  - 具体的安全対策
    - 本設備において廃スラッジを移送する配管は「鋼管・PE管・EPDMホース」を使用する。各配管の接続方法は鋼管の場合、原則、溶接構造とし、PE管、ホースの溶接できない配管については溶着接続もしくはフランジ接続を基本とする。一部の機器は接続部が狭隘部にあることからカムロック接続とする。
    - 万が一の漏えい対策として溶接、フランジ接続及びカムロック接続部は漏えい拡大防止堰の内側に配置することとし、漏えい拡大防止堰には勾配付き集水枡を設け、漏えい検知器を設置する。また、カメラ等により集水升の状態を確認できるようにする。なお、プロセス主建屋内に敷設するPE管は溶着接続となるため、他接続方法に比べて漏えいポテンシャルが低く、万一、漏えいした場合でも、プロセス主建屋内に閉じ込めることが出来るため、漏えい拡大防止堰は設けない。
    - 漏えい拡大防止堰に溜まった漏えい液は、ポンプ・配管等(本設or仮設は検討中)により、プロセス主建屋内では貯槽Dへ、それ以外の箇所ではプロセス配管へ戻すことができる設計とする。

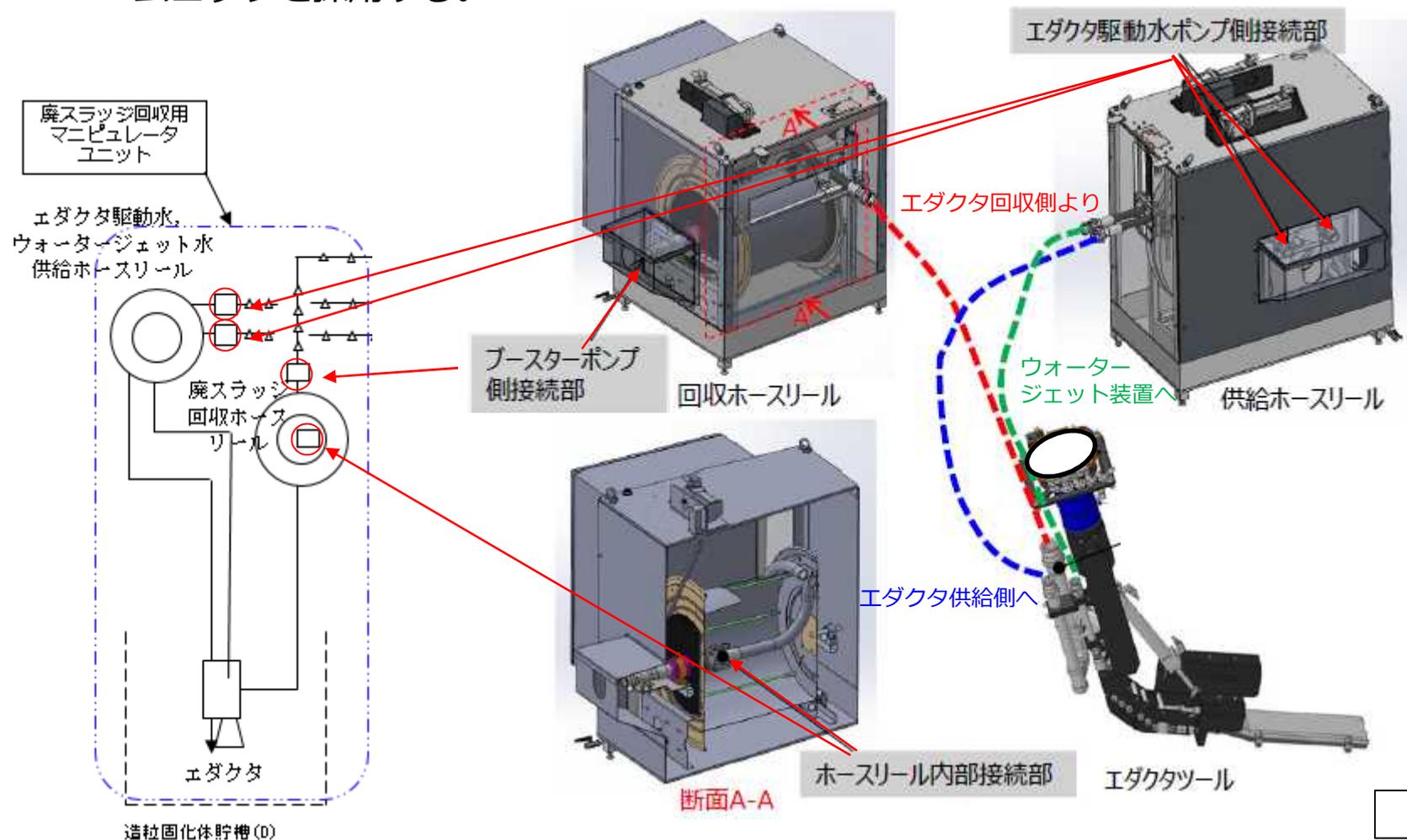
# 主配管系統概略図と配管接続箇所

- 主配管上の主要な接続部と配管種別を示す。カムロックの接続箇所は廃スラッジマニピュレータユニット内の各ホースリールとの接続箇所となる。



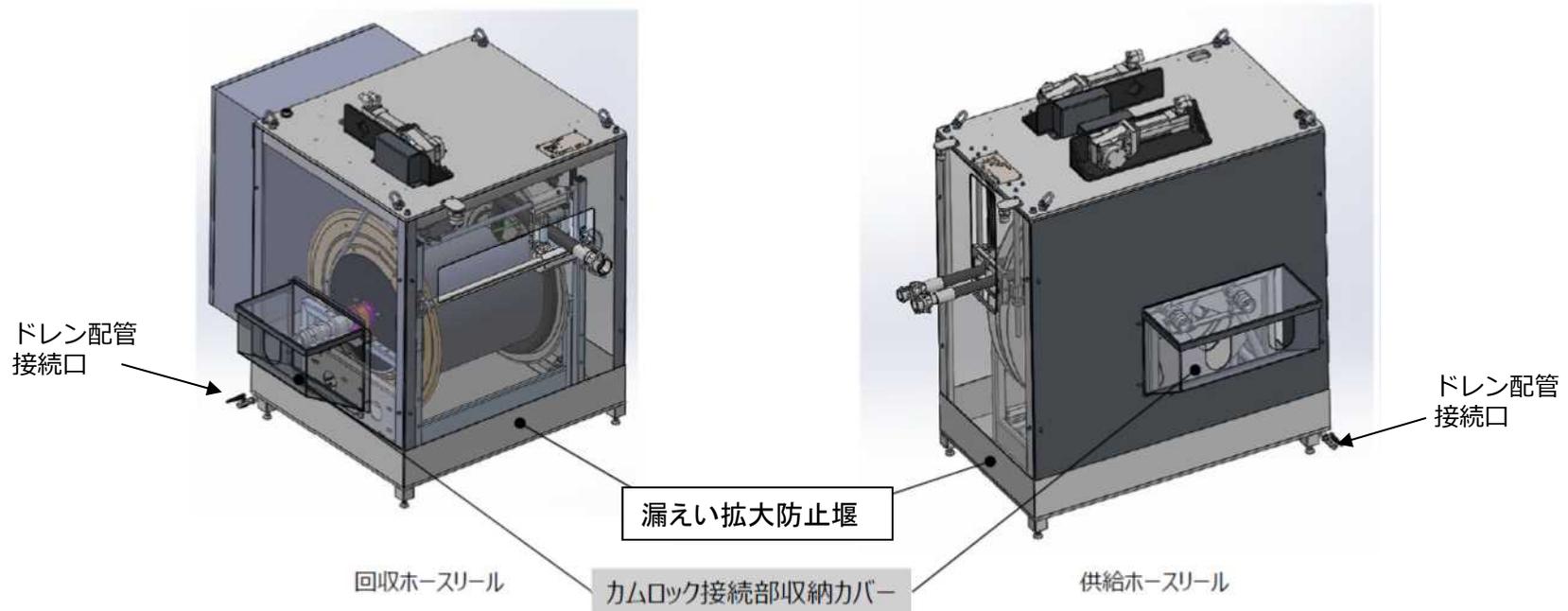
■ カムロック採用の理由

- ✓ ホースリールは高放射線環境のプロセス主建屋に設置する必要があるため作業員の被ばく低減の観点から、短時間で接続できる構造とする。
- ✓ 内部の接続部についてはリールが回転するホースリールの構造上、必要であるためカムロックを採用する。



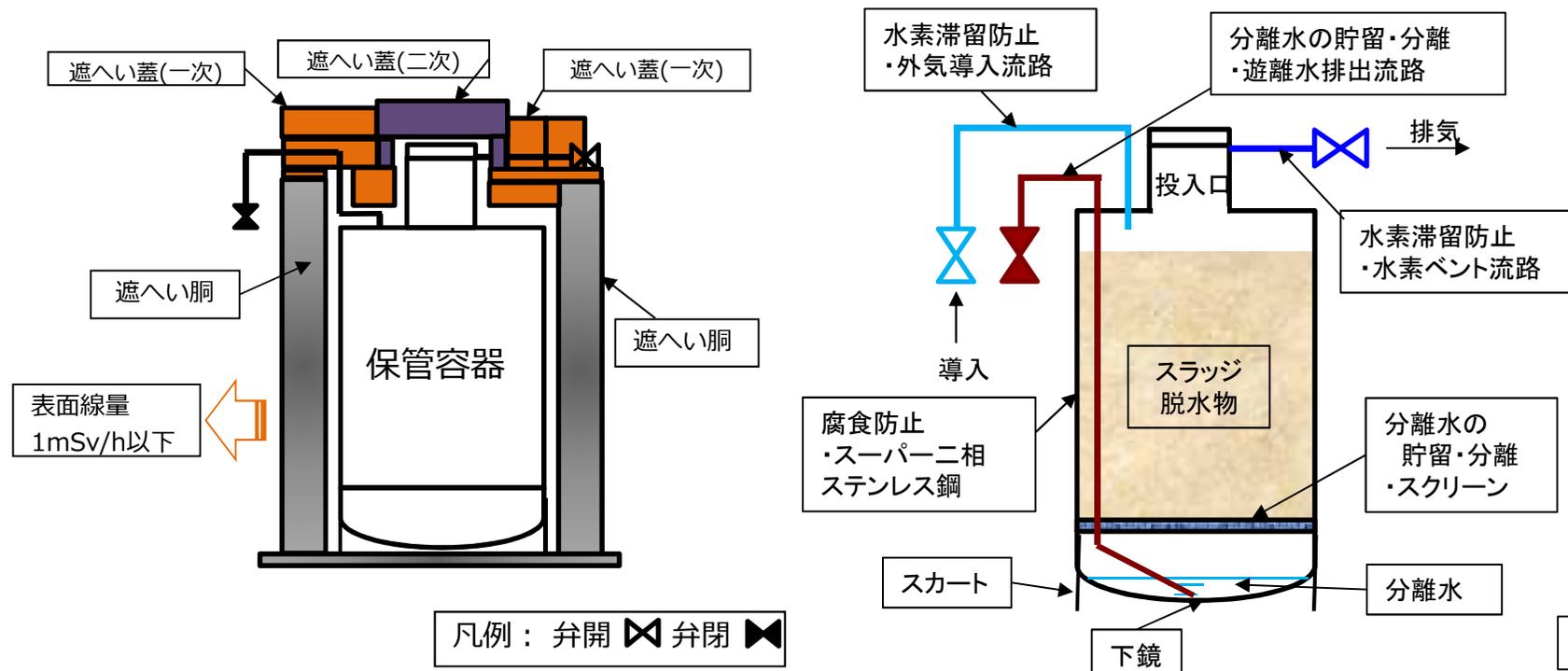
## ■ カムロック部の漏えい検知・拡大防止対策

- ✓ ホースリールを覆う筐体を透明パネル製にすることで、漏えい状況を監視カメラ及び作業員による確認が出来る設計とする。また、堰内には漏えい検知器を設置する。
- ✓ 回収／供給ホースリール共に接続部は、漏えい防止用の収納カバー内にあるため、万一、接続部からの漏えい時も周囲への影響を最小限に抑制できる。
- ✓ ホースリール全体が、漏えい拡大防止堰の上に配置されているため、回収ホースリール内部のカムロックが漏えいした場合でも、堰内に漏えい水を滞留させることが出来る。なお、堰内に漏えいした液体はドレン配管により貯槽Dへ移送できる設計とする。



## 保管容器の設計上の考慮事項

- 保管容器の周囲をセシウム吸着装置吸着塔と同程度の遮へい性能を有する遮へい胴、遮へい蓋で覆い、輸送時、保管時の線量を1mSv/h以下とし作業員の被ばく低減を図る。
- 脱水物から発生した水素を容器外に排出するための水素ベント流路を設ける。
- 廃スラッジには海水成分が残留しており、吸着塔のような洗浄操作ができないため耐海水腐食性に最も優れるスーパー二相ステンレス鋼を採用する。
- 容器の下鏡部に脱水物の水分を分離して貯留できることができるようにスクリーンを設ける。万が一の分離水の発生時には分離水排出流路から容器底部に貯留した分離水を吸い上げることが可能とする。なお、分離水排出が容易となる様、外気導入流路も設ける。



# セシウム吸着装置吸着塔との設計上の相違点

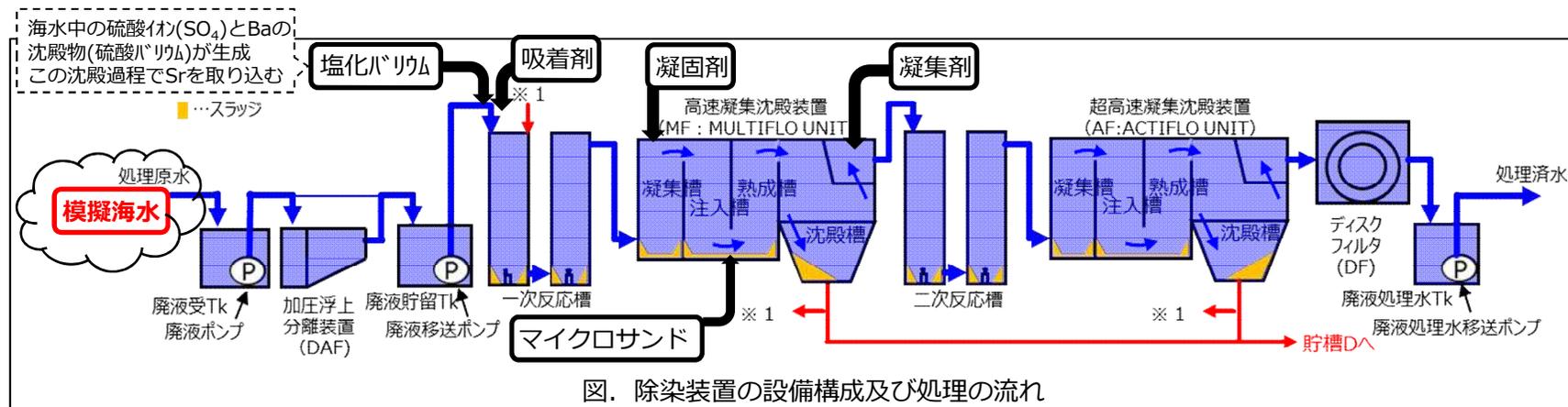
	除染装置スラッジ抽出設備 (廃スラッジ保管容器)	セシウム吸着装置 (セシウム吸着塔)
概念図		
内容物	廃スラッジ (脱水物)	吸着材
水素滞留防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ベント流路</li> <li>外気導入流路</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ベント流路</li> <li>外気導入流路</li> </ul>
腐食防止(容器材質)	<ul style="list-style-type: none"> <li>スーパー二相ステンレス鋼 (オーステナイト系+フェライト系ステンレス鋼) (ASME SA 240 UNS S32750)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L)</li> </ul>
分離水の貯留・分離	<ul style="list-style-type: none"> <li>分離水排出流路</li> <li>外気導入流路</li> <li>スクリーン</li> </ul>	

## 模擬スラッジ作成時の再現性について

- 設備に通水する原水は、水道水に海水塩を混ぜた**模擬海水**を使用。
- 海水に多く含まれるNa、Clは沈殿しないため、処理の過程で生成される模擬スラッジの性状に影響しない。（右表参考）
- また、当時の処理原水にはSrが含まれていたため、アルカリ土類金属（Ca、Mg、Sr）と追加で入れるBaの比率が模擬海水と異なるが、どちらもBa投入量が多く支配的であるため、スラッジ性状の大きな差異はない。
- 当時の除染装置と同じ構成で、吸着・沈殿等の処理工程で用いられる試薬も同じものを使用して運転を再現しており、最終的に粒径等のパラメータ比較を行っているため、模擬スラッジの再現性は高いと考える。

表. 海水の成分比率

物質名	構成比率	
水	96.6%	
塩分	3.4%	
塩分 3.4% の内訳	NaCl	77.9%
	MgCl <sub>2</sub>	9.6%
	MgSO <sub>4</sub>	6.1%
	CaSO <sub>4</sub>	4.0%
	KCl	2.1%
その他	0.3%	



## 遠心分離機の脱水性能確認 (1 / 2)

- 模擬スラッジを用いた遠心分離機要素試験を実施。遠心分離機の脱水性能の確認及び系統設計に向けたデータを取得し、脱水物の含水率を50~70wt%と設定。

## ■ 遠心分離機要素試験

## 1. 遠心分離機の脱水性能について

- 遠心分離機の脱水性能および脱水物の性状を模擬するには、模擬スラッジの粒子の沈降速度を実スラッジに合わせる必要がある。
- ✓ なお、粒子の沈降速度は粒子径、粒子密度に依存するが、特に影響が大きいのは粒子径。

- ◆ 遠心分離中の粒子の沈降速度は、以下の「ストークスの式」で示される。

ストークスの式

$$V = \frac{G(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$

V : 粒子の沈降速度[cm/s]

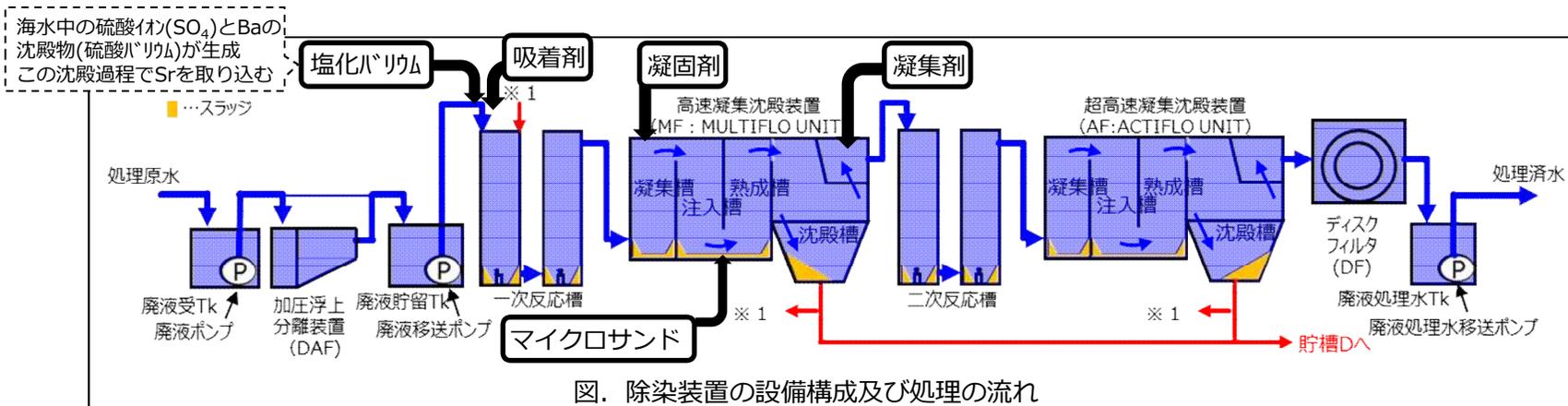
d : 粒子の径[cm]

 $\rho_s$  : 粒子密度[g/cm<sup>3</sup>] $\rho$  : 液体密度[g/cm<sup>3</sup>]G : 加速度[cm/s<sup>2</sup>] $\mu$  : 液体粘度[g/cm · s]

## 2. 模擬スラッジ作成について

- 除染装置の運転を再現し、吸着・沈殿等の処理工程で用いられる試薬を考慮した模擬スラッジを作成。
- ✓ 作成した模擬スラッジの主成分は以下の通り。

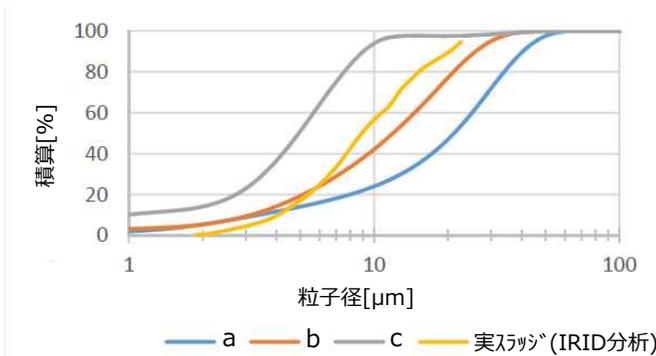
硫酸バリウム、吸着剤(フェロシアンニッケル)、凝固剤(Fe水酸化物)、凝集剤(ポリマー)、マイクロサンド



## 遠心分離機の脱水性能確認 (2 / 2)

## 2. 模擬スラッジ作成について (前項続き)

- また、実スラッジは運転当時と比べて一部経年変化(吸着剤、凝固剤の分解等)している可能性があるため、模擬スラッジa,bの他に各成分の構成比率を変えた模擬スラッジcを作成。
- 試験は、実スラッジの粒径分布に最も近い「模擬スラッジb」に加え、経年変化を考慮した「模擬スラッジc」及び「模擬スラッジbとcの混合物」を用いて実施。



左図. 模擬スラッジ及び実スラッジの累積粒径分布

下表. 模擬スラッジの構成要素

	BaSO <sub>4</sub>	吸着剤	凝固剤	凝集剤	マイクロサド <sup>®</sup>	後処理
模擬スラッジa	○	○	○	○	○	×
模擬スラッジb	○	○	○	○	○	攪拌*
模擬スラッジc	○	×	×	○	×	×

\*2011年に貯槽D内で実施したバブリングチューブによるスラッジの空気攪拌を模擬。

## 3. 遠心分離機試験

- 遠心分離機試験は、実機と同等の遠心分離機を用いて実施。
- 得られた脱水物の固形分重量は、いずれも約**500g/kg(≒含水率50wt%)**。
- また、系统设计の運転条件 (入口の廃スラッジ固形分濃度100~200g/L) においても試験を行い、脱水が成立することを確認した。

## ■ 含水率の裕度について

- 試験結果より含水率50wt%を基に設計を実施。
- 保管容器の本数は、含水率が高い方が増えるため、裕度を持たせ、**50wt%~70wt%の含水率**で本数の検討を行う。



図. 試験で得られた脱水物

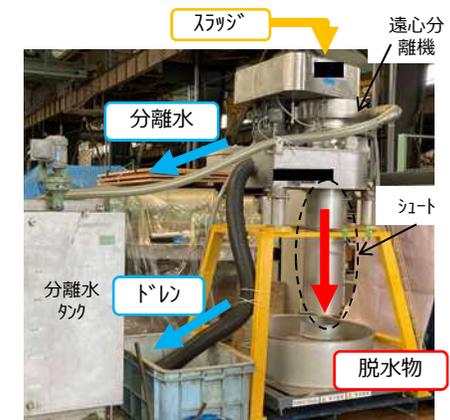
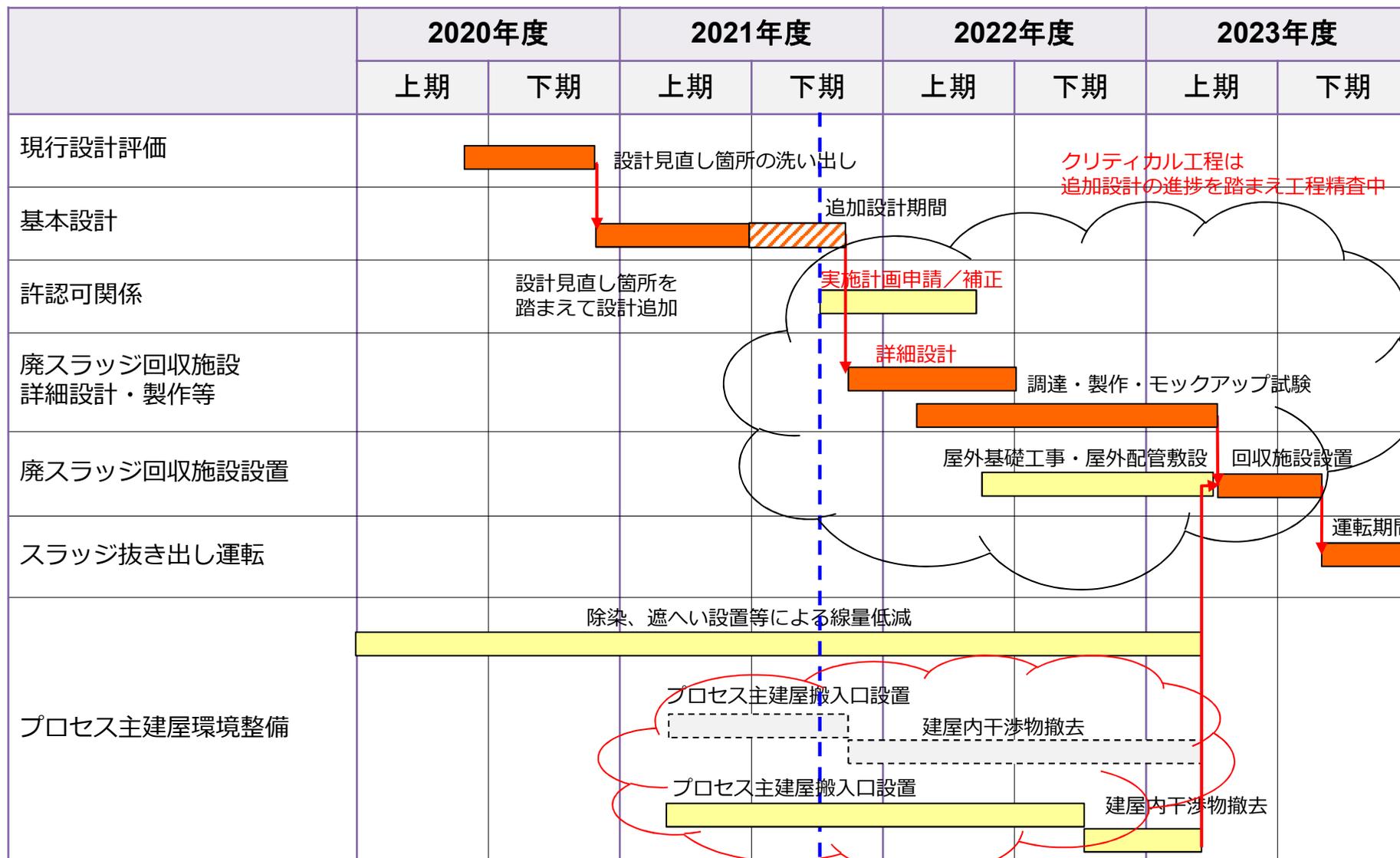


図. 遠心分離機外観

# 廃スラッジ回収施設設置に関する全体工程



■ : クリティカル工程

プロセス主建屋搬入口設置の遅れ分は、後工程の建屋内干渉物撤去工事の工程を見直すことで、クリティカル工程に影響がないよう、調整を行う。