

廃スラッジ回収施設の設置に関わる補足説明資料



2022年5月19日

東京電力ホールディングス株式会社

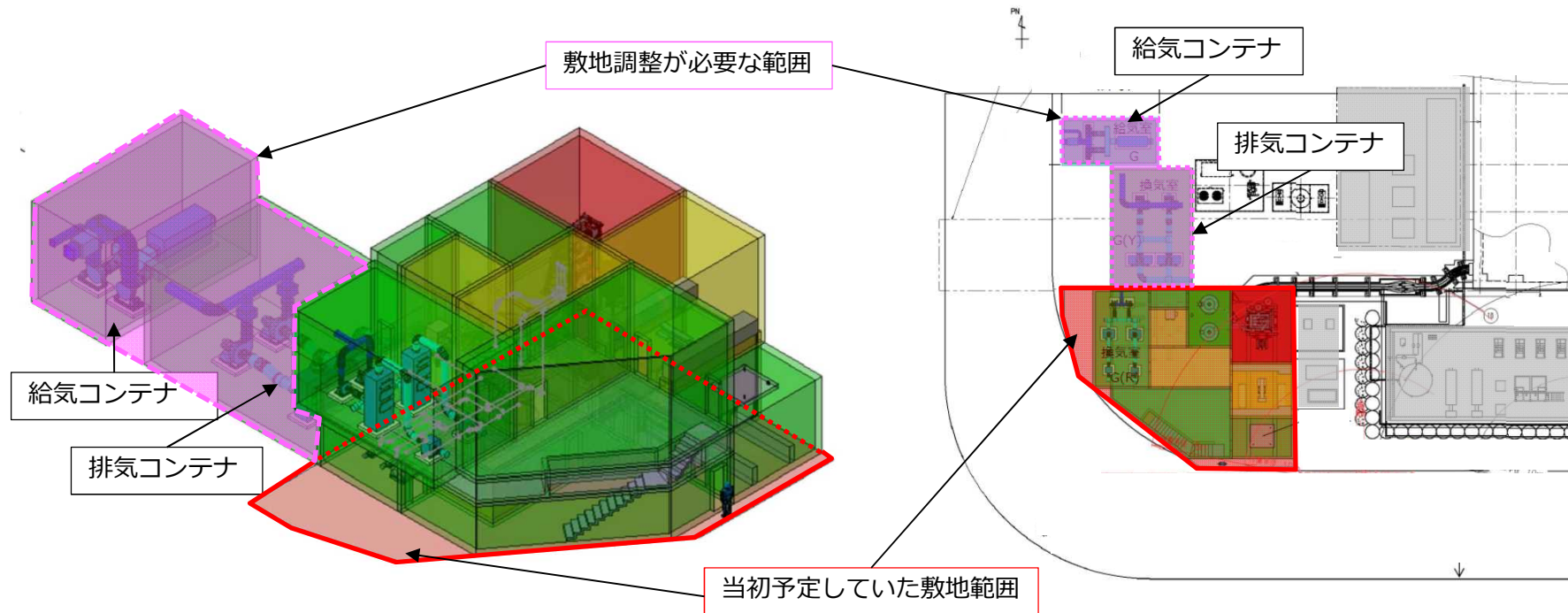
ダスト(閉じ込め)対策に関わる機器の設計課題

- ①廃ガス処理（建屋換気）設備の設計のための要素試験
 - 廃ガス処理(建屋換気)設備の設計を行うために各機器・設備から発生する放射性物質(移行量)を算定する必要があるが、既存の文献等では今回の設計条件に合致するものがなく、気相への移行量を算出することが難しい状況。そのため簡易試験装置を製作し実機の条件にて移行量を推定する。
- ②閉じ込め対策に伴う配置設計の見直し検討
 - 閉じ込め対策の達成に向けてダスト管理区分に応じたコンテナ設計としているため、設備自体が大きくなっている。また、負圧維持の実現に向けて排気コンテナのみではなく、給気コンテナも設置を検討していることから予定していた敷地内に収まっていない状況。



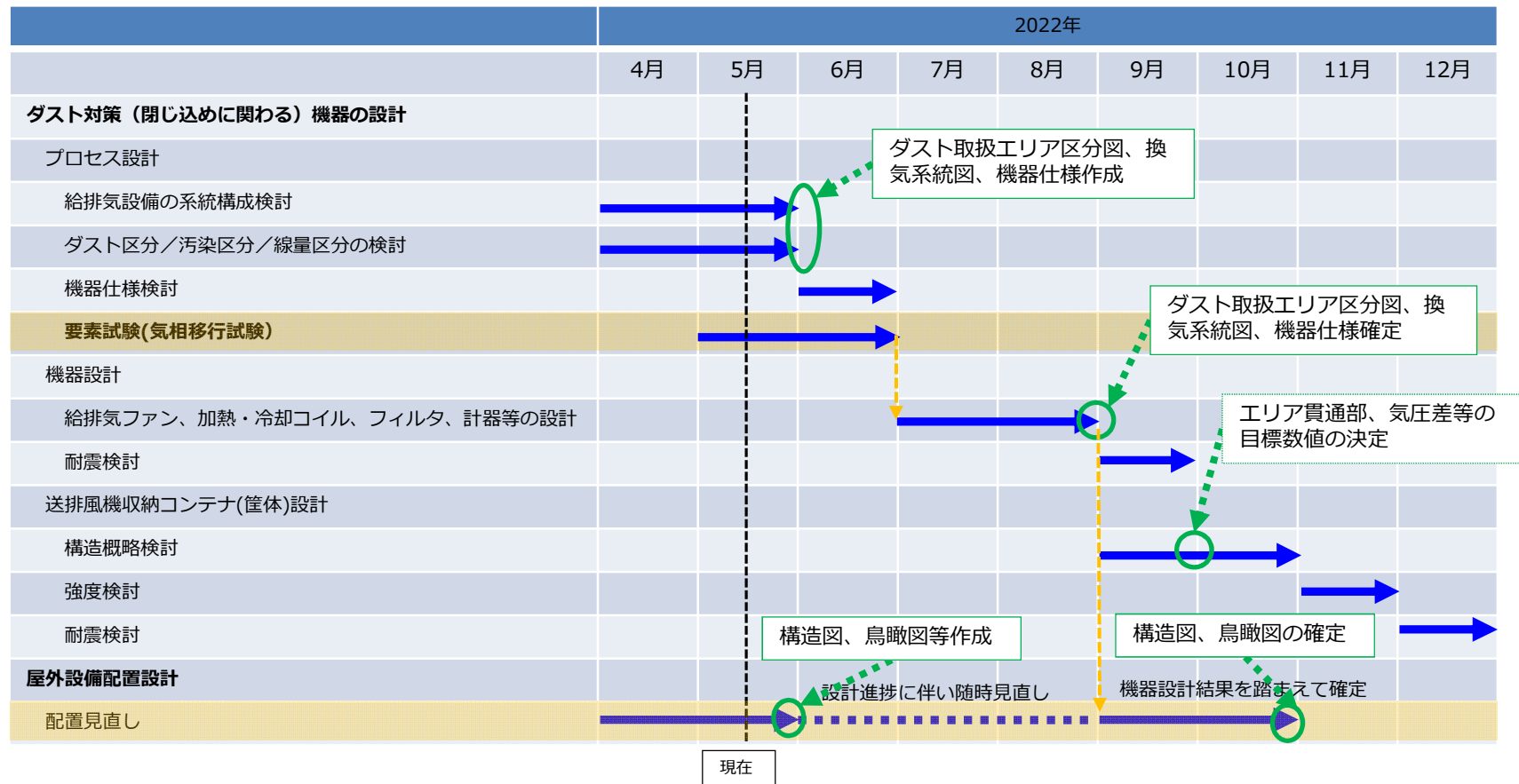
ダスト(閉じ込め)対策に関わる機器の設計課題

- 当社予定していた敷地範囲に対して、設備設計の進捗、閉じ込め対策の具体化に伴って給気コンテナの必要性も高まり設備規模が大きくなっている状況。



課題に対する設計状況

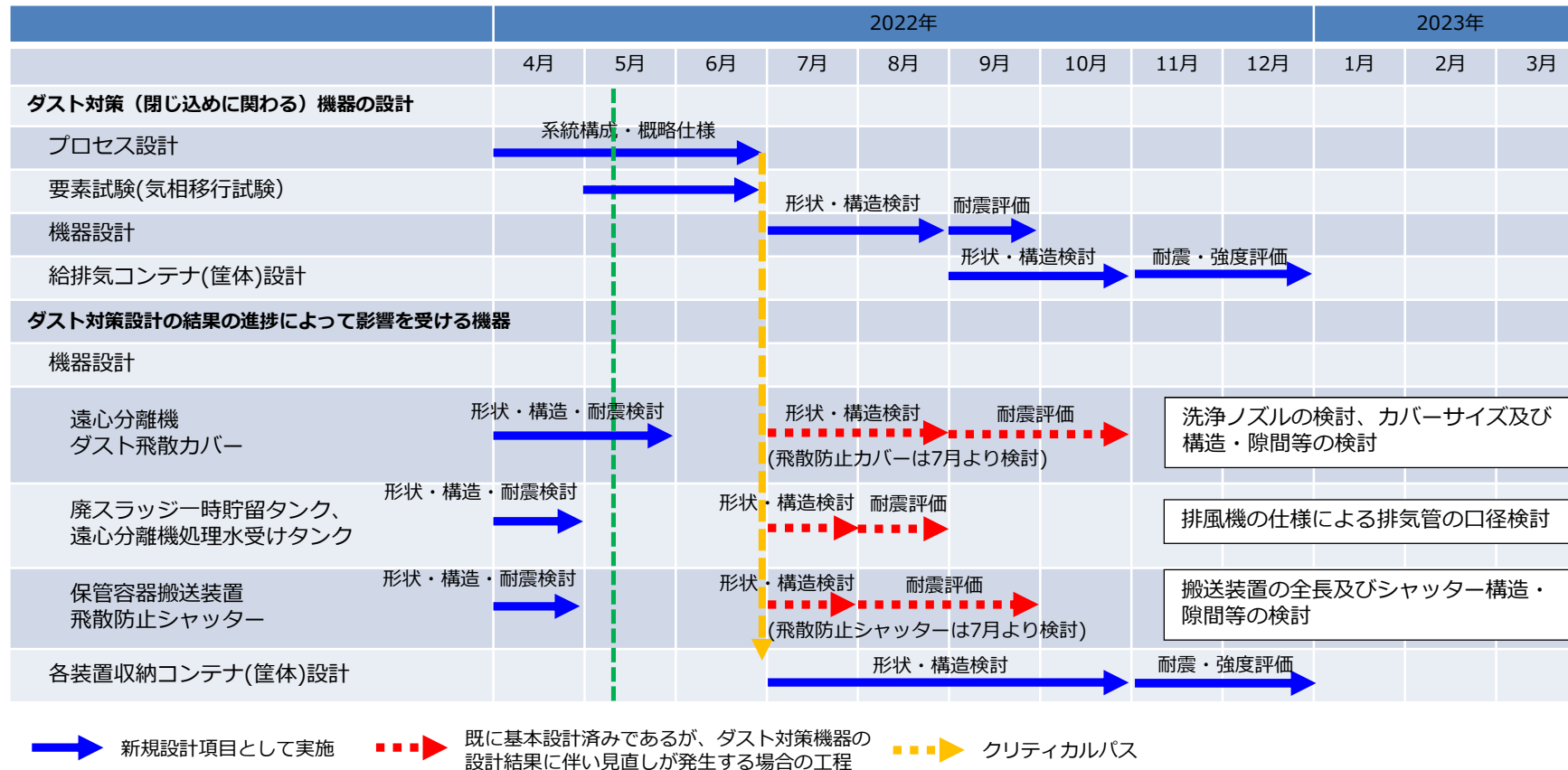
- 前頁①の課題：「ダスト取扱エリア区分図、換気系統図、機器仕様」を含めた検討結果は6月に、最終的な仕様については9月中にご説明させて頂く。また、エリア貫通部、気圧差等の目標数値については10月中を目途にご説明させて頂く。
- 前頁②の課題：6月中に配置見直し検討結果を踏まえた設備の構造図、鳥瞰図等を用いたご説明をさせて頂く。最終的な形状については11月中を目途にご説明させて頂く。



廃スラッジ抜き出し設備の設計工程について



- 既に設計済みの機器についてもダスト対策（閉じ込めに関わる）機器の設計結果によって、機器構造等の見直しを実施することから最終的な構造決定は10月頃となる見込み。
- 給排気コンテナ(筐体)設計、各装置収納コンテナ(筐体)の耐震・強度評価結果は収納機器の形状・構造検討及びコンテナ(筐体)の設計が完了する11月からの評価となるため評価結果は12月頃となる見込み。



実施計画補正内容とスケジュール案



- 現在の設計状況及び実施計画の主要な記載項目を踏まえるとⅡ章-2.47の補正時期は下記の通り2022年10月に1度目、2022年12月頃を目処に2度目の補正申請を実施させて頂きたいと考えている。

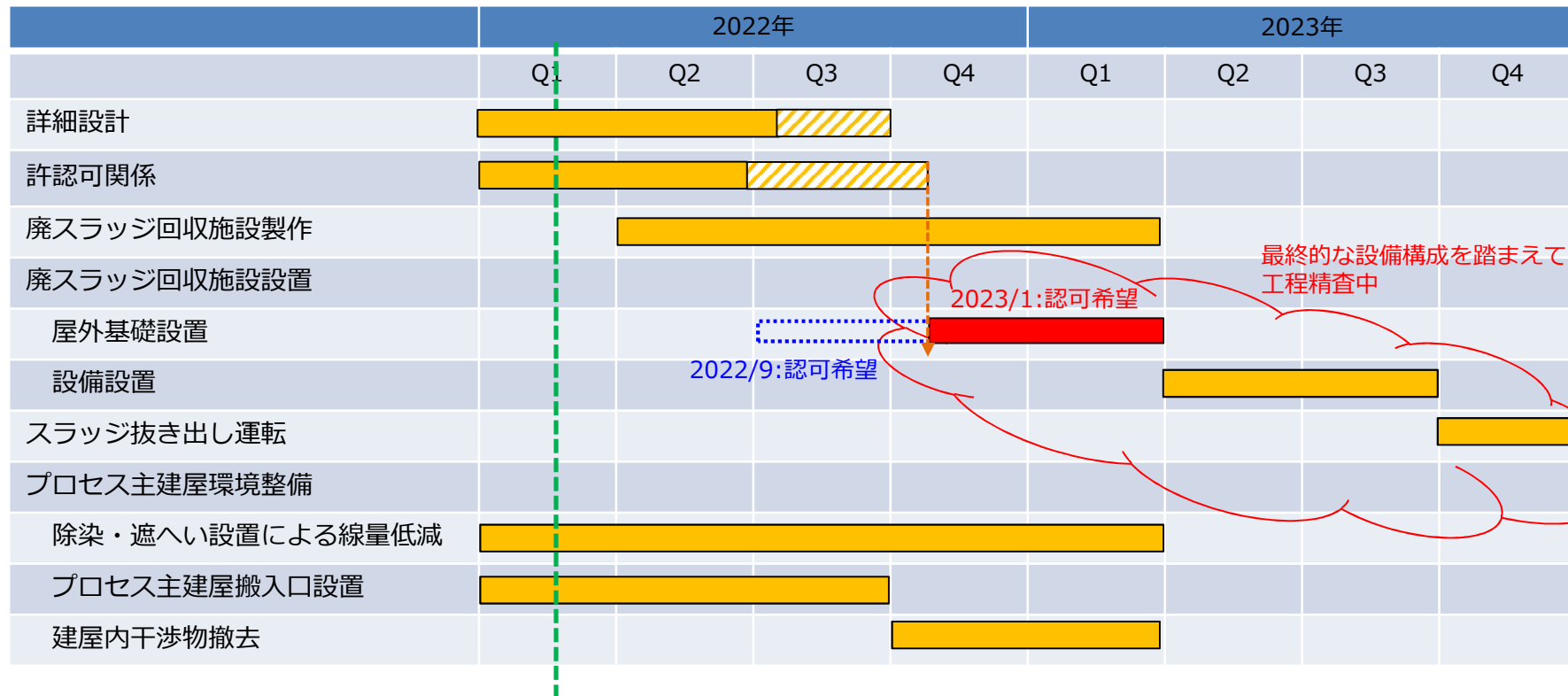
| 主要な記載項目案 | 22/4月 | 22/10月 | 22/12月 | 10月末の設計状況 |
|---------------|-------|--------|--------|--|
| 基本設計 | ○ | ○ | ○ | 設備の目的、設備の概略構成、処理方法等について決定。 |
| 基本仕様 | △ | ○ | ○ | 換気空調系機器の仕様を含めた主要機器の仕様決定予定。 |
| 機器配置図 | △ | ○ | ○ | プロセス主建屋内の配置及び屋外機器の配置決定予定。 |
| 系統概略図 | △ | ○ | ○ | プロセス系統図及び換気系統図の決定予定。 |
| 耐震・強度評価に関する項目 | | | | |
| マニピュレータ類 | △ | ○ | ○ | 耐震評価完了予定。 |
| タンク類 | △ | ○ | ○ | 耐震・強度評価完了予定。 |
| ポンプ類 | ○ | ○ | ○ | 耐震評価完了。 |
| 遠心分離機 | △ | ○ | ○ | 耐震評価完了予定。 |
| 換気空調関連設備 | × | ○ | ○ | 耐震・強度評価完了予定。 |
| 圧縮空気供給設備 | × | ○ | ○ | 耐震評価完了予定。 |
| 保管容器／搬送設備 | △ | ○ | ○ | 耐震評価完了予定。 |
| 配管／ダクト | × | × | ○ | 強度評価完了。 <u>耐震評価は最終的な機器配置が完了次第実施予定。</u> |
| サンプリング設備 | △ | ○ | ○ | 耐震評価完了予定。 |
| 各収納コンテナ（筐体） | × | × | ○ | <u>最終的な機器の形状・配置が決定し筐体設計後に実施するため12月頃となる見込み。</u> |
| 具体的安全対策に関する項目 | | | | |
| 漏洩拡大防止 | ○ | ○ | ○ | 異常時の各ユニット内からの最大漏洩量を算出。 |
| 崩壊熱／水素ガス発生評価 | △ | ○ | ○ | 保管容器内の水素濃度、崩壊熱評価完了予定。 |
| 環境条件対策 | ○ | ○ | ○ | 評価完了。 |
| ダスト閉じ込め対策 | △ | ○ | ○ | 設備構造図、エリア区分、目標流速、気圧等の設計完了予定。 |

○：設計完了 △：設計進捗により見直しの可能性あり。 ×：未着手

プロジェクト全体の工程



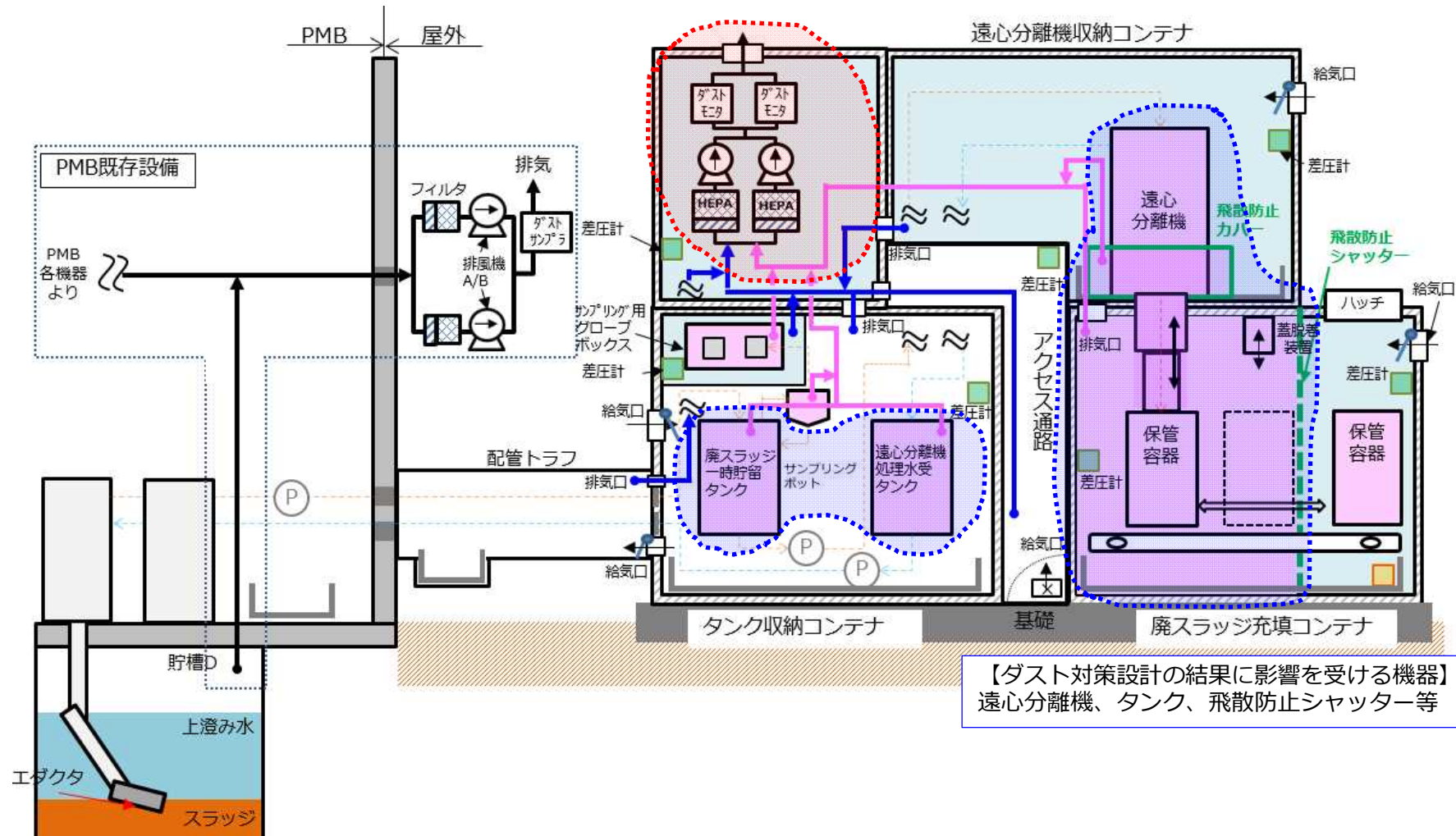
- 2022年9月頃を認可の希望時期（最終的には基礎設置の12月頃）とご説明させて頂いていたが、現状の設計状況から認可の希望時期を2023年1月とさせて頂きたい。
- 2023年度の抜き出し工程を遵守するために引き続きプロジェクト工程を精査する。特に屋外基礎設置工事以降の工程については製作方法を可能な限りユニット化する等による設置期間の短縮を重点的に検討していく。



添付資料 1 参照

【参考】ダスト対策(閉じ込め)設計について

【ダスト対策(閉じ込めに関わる)機器】
送排風機、フィルタ、コンテナ(筐体)等



【ダスト対策設計の結果に影響を受ける機器】
遠心分離機、タンク、飛散防止シャッター等

廃スラッシュ回収施設の設置に関わる補足説明資料



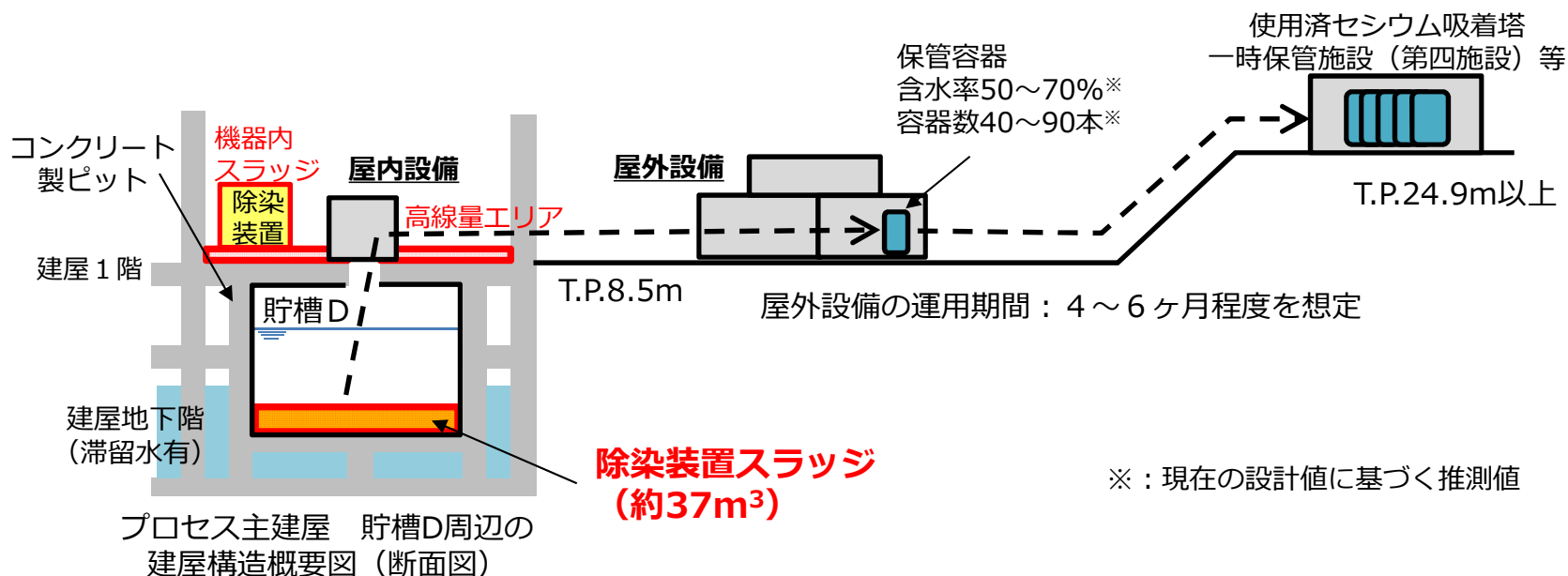
2022年5月19日

東京電力ホールディングス株式会社

- 除染装置スラッジ回収に関する経緯について
- 実施計画の変更概要
- 廃スラッジ回収設備等の概要
 - 設備の系統概略図
 - 廃スラッジ回収設備等設置場所及び保管容器保管場所
 - 屋外設備配置図
 - 屋内設備配置図
 - 主要な機器仕様
 - カムロックの接続箇所について
 - 保管容器の設計上の考慮事項
 - 要素試験実施概要
 - 遠心分離機の脱水性能確認
 - エダクタの吸引性能確認
 - 貯槽D内アクセス性検証
 - 廃スラッジの性状について
- 設備の設計上の考慮事項
 - 準拠規格及び基準
 - 自然現象に対する設計上の考慮
 - ✓ 豪雨、台風、竜巻、津波等への考慮
 - ✓ 主要機器の構造強度及び耐震評価方針
 - ✓ ①事故時シナリオの設定
 - ✓ ②影響評価に必要な条件の設定
 - ✓ ③敷地境界への影響評価
 - ✓ ④耐震クラスの設定
- 除染装置スラッジ回収設備等の設置方針について
 - 屋外設備を設置する周辺環境について
 - 屋内設備を設置する周辺環境について
 - 屋内設備の設置時に撤去が必要な既設機器
 - 干渉する既設機器の撤去方針
- 除染装置スラッジ回収設備等のダスト管理方針について
 - 廃スラッジ回収設備の換気空調概略系統図
 - ダスト取扱エリアの設計方針について

■ 設備設置の目的

- プロセス主建屋内の貯槽Dに保管中の除染装置スラッジについては、系外漏えい防止のため、3.11津波対策として、建屋出入口、管路貫通孔の閉塞対策を実施しているが、3.11津波を超える津波(検討用津波(T.P.24.9m以上))の影響や貯槽クラック等による外部への漏出リスクがあるため、早急な対策が必要である。
- 上記の対策として、除染装置スラッジを保管容器に充填し、高台エリア(33.5m盤)で安定保管することを目的とする。



第Ⅱ章 特定原子力施設の設計, 設備 2.5 汚染水処理設備等

| 実施計画Ⅱ記載箇所 | 変更内容 |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 2.5 汚染水処理設備等 2.5.1 基本設計 | 廃スラッジ回収施設設置に伴う変更 廃スラッジ保管容器発生に伴う変更 |
| 2.5 汚染水処理設備等 2.5.2 基本仕様 | 廃スラッジ保管容器発生に伴う保管対象の追加 |
| 2.5 汚染水処理設備等 添付資料-3 | 廃スラッジ保管容器保管に伴うすべり量評価の追加 |

2.7 電気系統設備

| 実施計画Ⅱ記載箇所 | 変更内容 |
|-----------------------------|----------------------------|
| 2.7 電気系統設備 添付資料-2,添付資料-3 | 廃スラッジ回収施設による廃スラッジ処理実施に伴う変更 |

2.47 廃スラッジ回収施設

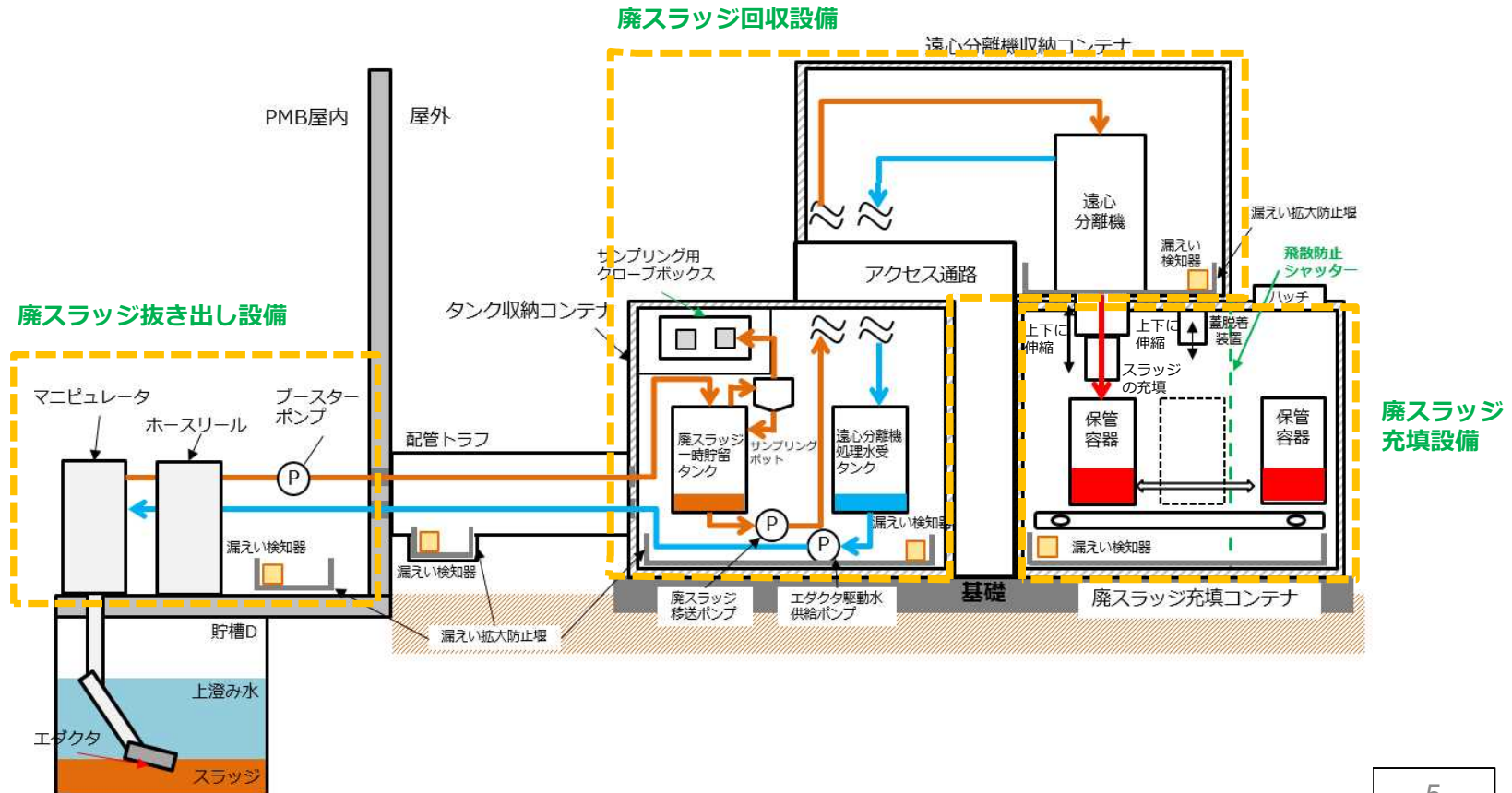
| 実施計画Ⅱ記載箇所 | 変更内容 |
|-------------------------------|--------------|
| 2.47 廃スラッジ回収施設 2.47.1 基本設計 | 廃スラッジ回収施設の設置 |
| 2.47 廃スラッジ回収施設 2.47.2 基本仕様 | 廃スラッジ回収施設の設置 |
| 2.47 廃スラッジ回収施設 | 廃スラッジ回収施設の設置 |

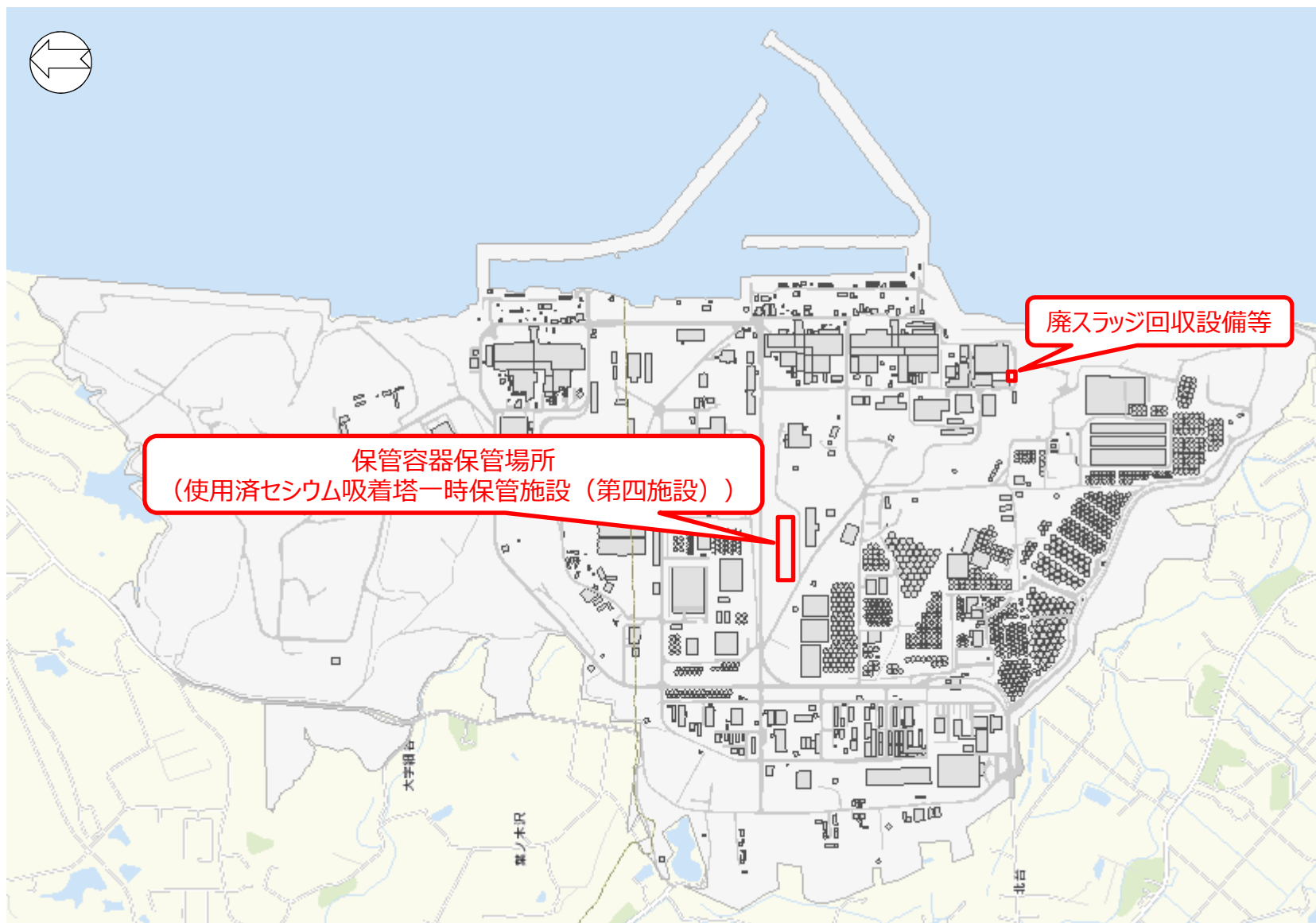
第Ⅲ章 特定原子力施設の保安

| | 実施計画Ⅲ記載箇所 | 変更内容 |
|-----|---------------------------------|-----------------------|
| 第1編 | 第5条 (保安に関する職務) | 廃スラッジ回収施設設置に伴う職務の変更 |
| | 第40条 (汚染水処理設備等で発生した廃棄物の管理) | 廃スラッジ保管容器発生に伴う貯蔵施設の変更 |
| 第2編 | 第5条 (保安に関する職務) | 廃スラッジ回収施設設置に伴う職務の変更 |
| 第3編 | 2.2 線量評価 2.2.2.2 各施設における線量評価 | 廃スラッジ回収施設設置に伴う線量評価の追加 |

廃スラッジ回収設備等 設備の系統概略図

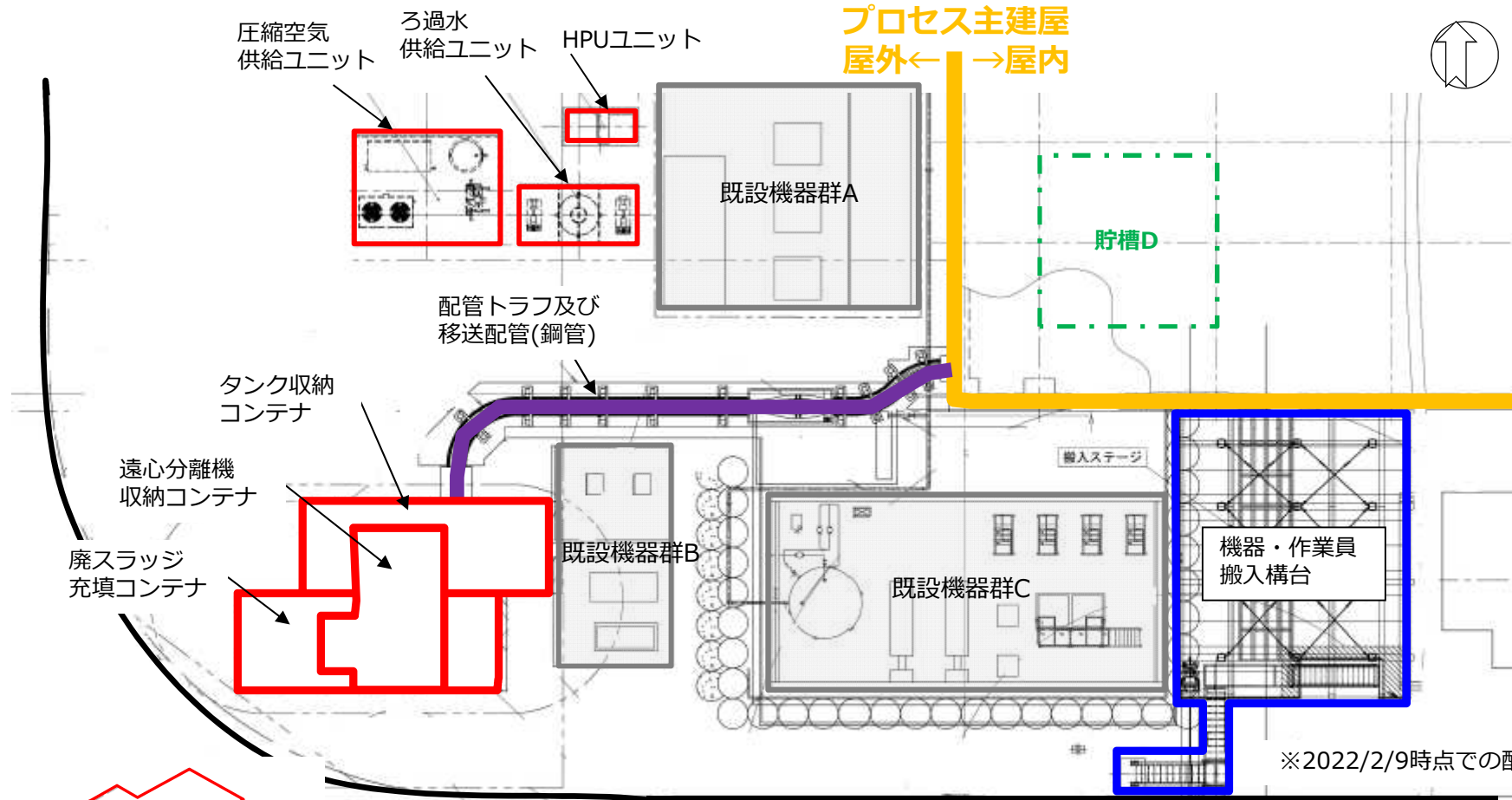
- 廃スラッジ回収設備等は主に廃スラッジ抜き出し設備、廃スラッジ回収設備、廃スラッジ充填設備で構成する。
- 廃スラッジは廃スラッジ回収用マニピュレータに把持させたエダクタにより貯槽Dより吸引し廃スラッジ一時貯留タンクに受け入れる。廃スラッジ一時貯留タンクへ受け入れた廃スラッジは廃スラッジ移送ポンプで遠心分離機に供給し、遠心脱水を行う。脱水処理後の廃スラッジは保管容器へ充填し保管場所へ搬送する。脱水処理に伴い発生する分離水は遠心分離機処理水受タンクに移送しエダクタ駆動水供給ポンプにてエダクタの駆動水として再利用する。



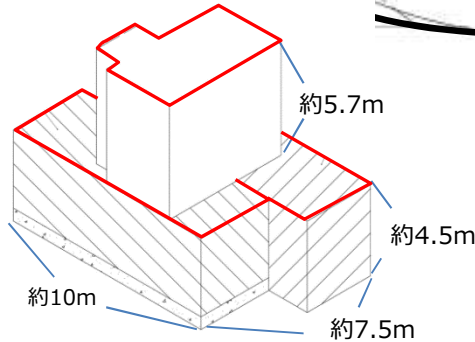


廃スラッジ回収設備等 屋外設備配置図

ダスト対策（閉じ込め）設計を踏まえて更新予定



※2022/2/9時点での配置案

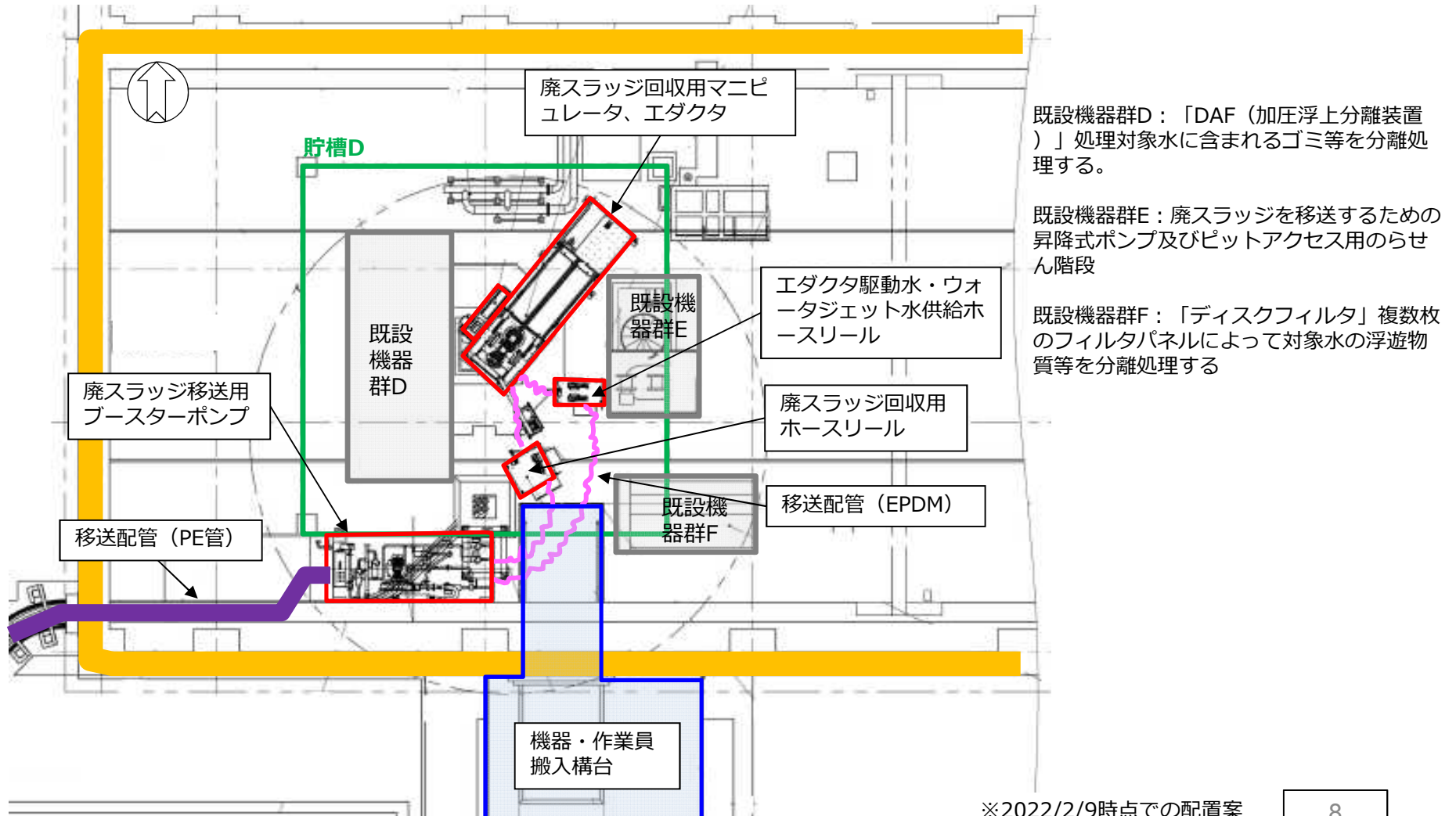


各コンテナ立体図

- 圧縮空気供給ユニット：マニピュレータ等の空気動作機器用の圧縮空気貯槽等
- ろ過水供給ユニット：マニピュレータ、配管、遠心機等の機器洗浄用のろ過水タンク、ポンプ等
- HPUユニット：マニピュレータ駆動用の駆動液の昇圧装置等
- 遠隔操作室：廃スラッジ回収設備を遠隔で監視・操作するコンテナ。搬入構台の東側に設置
- 既設機器群A：除染装置制御盤・動力盤・変電盤等
- 既設機器群B：除染装置用空気圧縮機・非常用発電機
- 既設機器群C：除染装置用ろ過水タンク・移送ポンプ等

廃スラッジ回収設備等 屋内設備配置図

- 屋内設備は「廃スラッジ回収用マニピュレータ」「廃スラッジ移送用ブースターポンプ」「エダクタ」「廃スラッジ回収用ホースリール」「エダクタ駆動水供給ホースリール」「ウォータジェット水供給ホースリール」にて構成される。



■ 廃スラッジ抜き出し設備

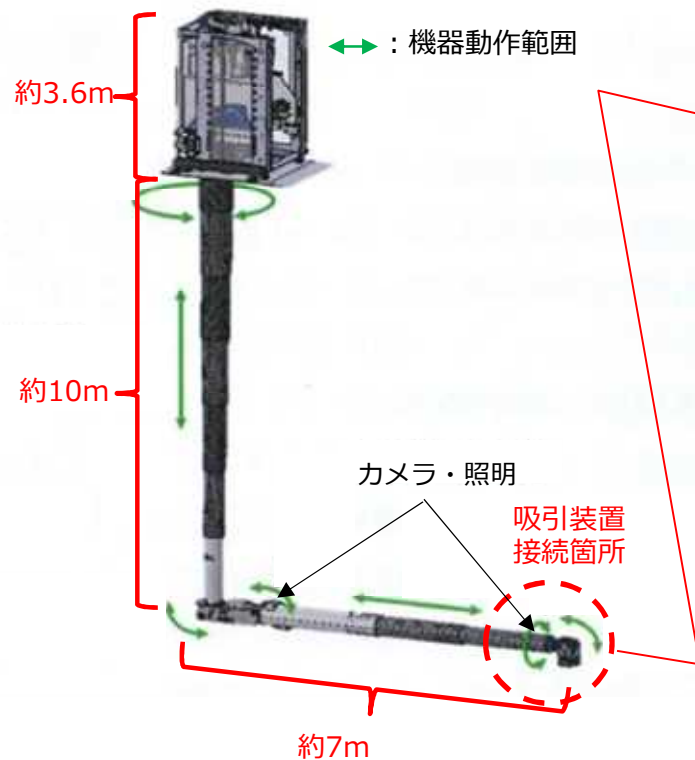
- 廃スラッジ回収用マニピュレータ、エダクタ、エダクタ駆動水・ウォータジェット水供給ホースリール、廃スラッジ回収用ホースリール、廃スラッジ移送用ブースターポンプ、配管等にて構成

➢ 廃スラッジ回収用マニピュレータ

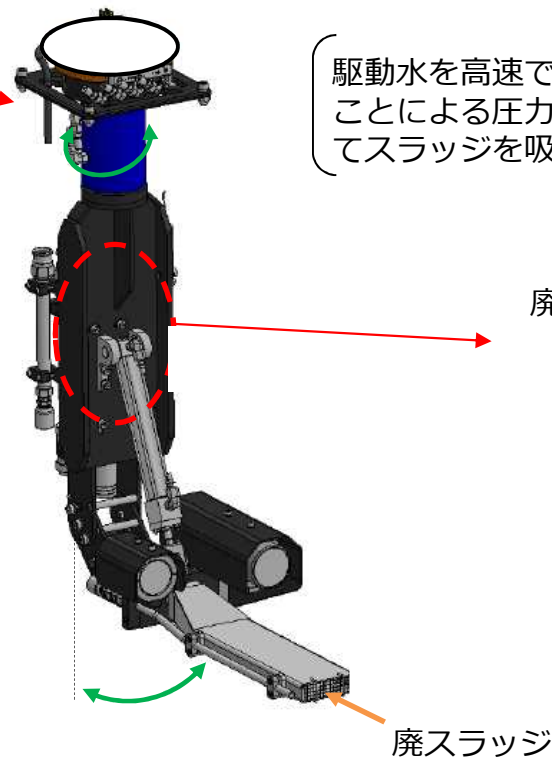
- ✓ エダクタツールを把持し貯槽D底部の廃スラッジへアクセスさせる。

➢ エダクタ

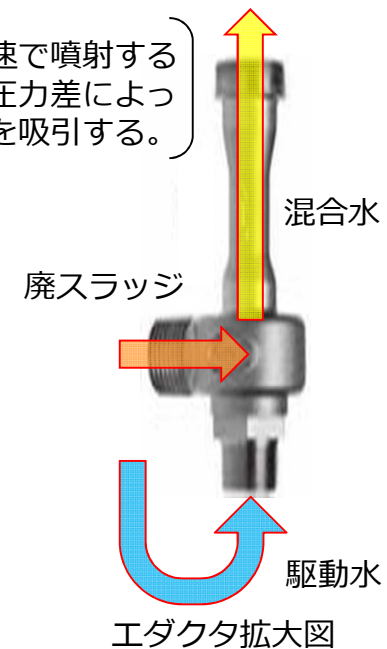
- ✓ 外部から供給される水を駆動源として廃スラッジを吸引する。



マニピュレータ概要図



エダクタ概要図



エダクタ拡大図

※2022/2/9時点での設計案

■ 廃スラッジ抜き出し設備

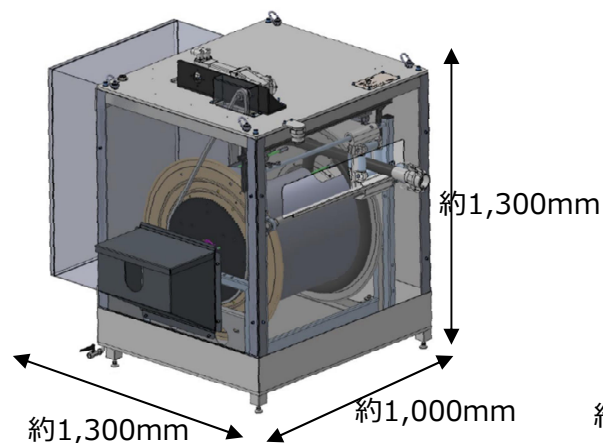
- 廃スラッジ回収用マニピュレータ、エダクタ、エダクタ駆動水・ウォータジェット水供給ホースリール、廃スラッジ回収用ホースリール、廃スラッジ移送用ブースターポンプ、配管等にて構成

➢ ホースリール

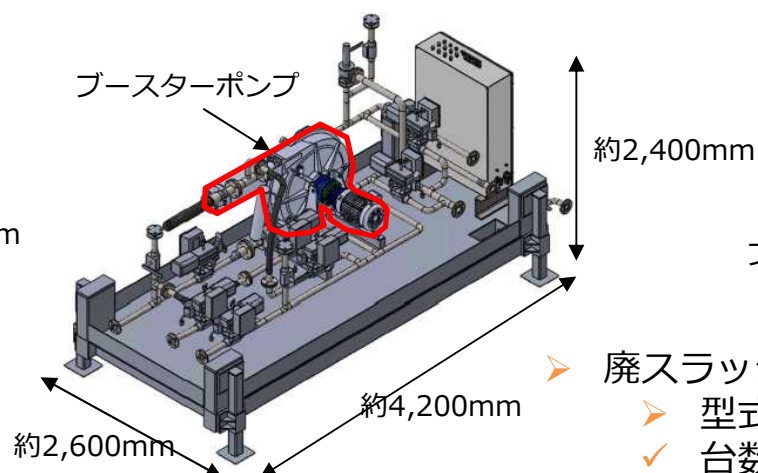
- 廃スラッジ回収用マニピュレータに把持させたエダクタツールへ供給する駆動水及び回収した廃スラッジを移送するホースをアームの伸縮に合わせて適切な張力にて管理する。

➢ 廃スラッジ移送用ブースターポンプ

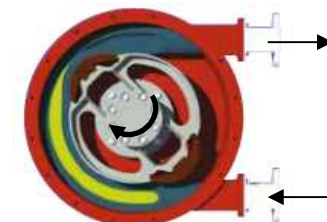
- エダクタツールによる廃スラッジの回収を補助し、廃スラッジを廃スラッジ一時貯留タンクへ移送する



ホースリール概要図



ブースターポンプユニット概要図



ブースターポンプ作動イメージ

➢ 廃スラッジ移送用ブースターポンプ

- 型式 蠕動式
- ✓ 台数 1台
- ✓ 流量 11.4 m³/h
- ✓ 最高使用圧力 0.98MPa

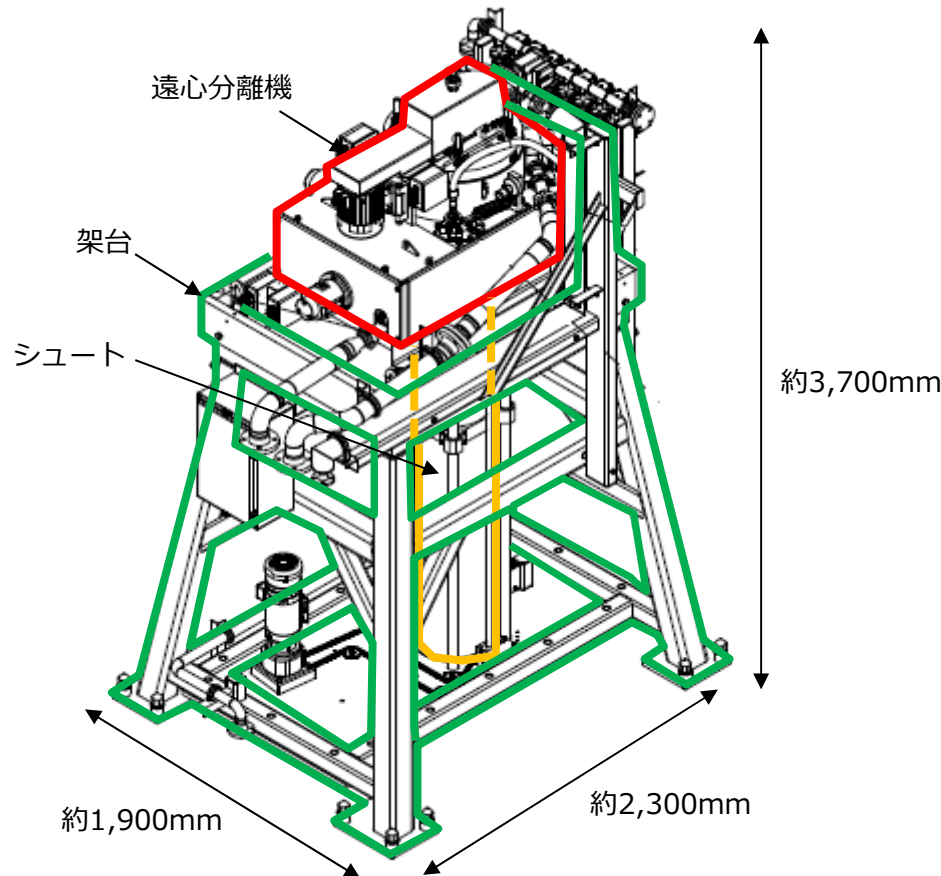
※2022/2/9時点での設計案

■ 廃スラッジ回収設備

- 廃スラッジ回収設備は、遠心分離機、廃スラッジ一時貯留タンク、廃スラッジ移送ポンプ、遠心分離機処理水受タンク、エダクタ駆動水供給ポンプ及び配管等で構成する。

➤ 遠心分離機

- 遠心分離機、シュート、架台から構成されており、貯槽Dより回収した廃スラッジを脱水処理し脱水物をシュートを通じて保管容器に充填し、分離水を遠心分離機処理水受タンクへ移送する。

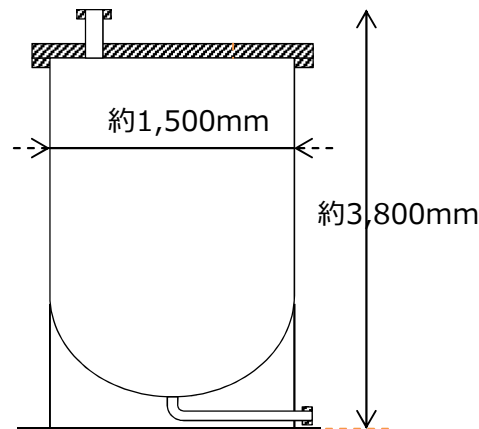


- 遠心分離機
 - 型式 遠心沈降式
 - ✓ 回転数 3000rpm
 - ✓ 容量 8L(ボウル容量)
 - ✓ 最高使用圧力 大気圧
 - ✓ 材質(ボウル) 二相ステンレス
 - ✓ (シュート) SUS316L
 - ✓ (架台) SUS316L

※2022/2/9時点での設計案

■ 廃スラッジ回収設備

- 廃スラッジ回収設備は、遠心分離機、廃スラッジ一時貯留タンク、廃スラッジ移送ポンプ、遠心分離機処理水受タンク、エダクタ駆動水供給ポンプ及び配管等で構成する。
- **廃スラッジ一時貯留タンク**
 - ✓ 廃スラッジ一時貯留タンクは回収した廃スラッジを受け、遠心分離機による脱水に適した廃スラッジ濃度に調整後、廃スラッジ移送ポンプにより遠心分離機へ移送する。
- **遠心分離機処理水受タンク**
 - ✓ 遠心分離機処理水受タンクは遠心分離機で処理された分離水を受け入れ、エダクタ駆動水供給ポンプによりエダクタへ分離水を供給する。



- 廃スラッジ一時貯留タンク、遠心分離機処理水受タンク
 - ✓ 型式 スカート支持縦置き円筒型
 - ✓ 台数 各1台
 - ✓ 容量 2.2 m³
 - ✓ 最高使用圧力 大気圧
 - ✓ 材質 SUS316L

■ 廃スラッジ回収設備

- 廃スラッジ回収設備は、遠心分離機、廃スラッジ一時貯留タンク、廃スラッジ移送ポンプ、遠心分離機処理水受タンク、エダクタ駆動水供給ポンプ及び配管等で構成する。
- **廃スラッジ移送ポンプ**
 - 廃スラッジ一時貯留タンクより遠心分離機へ供給する。
- **エダクタ駆動水供給ポンプ**
 - 遠心分離機処理水受タンクよりエダクタへ分離水を供給する。

➤ 廃スラッジ移送ポンプ

- 型式 容積式
- ✓ 台数 1台
- ✓ 流量 3.6 m³/h
- ✓ 最高使用圧力 0.98MPa

➤ エダクタ駆動水供給ポンプ

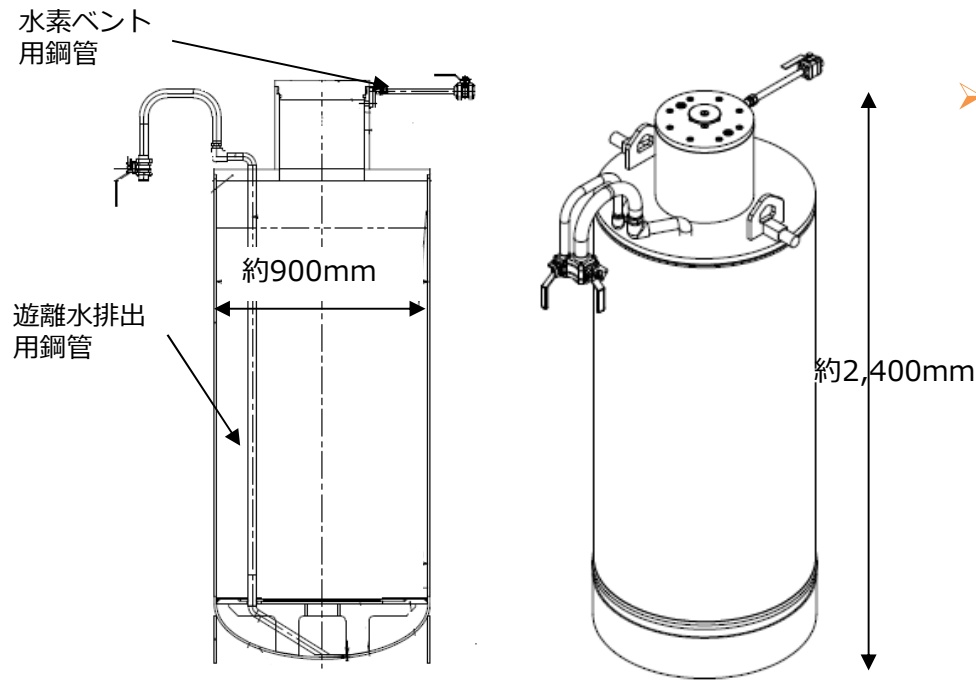
- 型式 遠心式
- ✓ 台数 1台
- ✓ 流量 5.0 m³/h
- ✓ 最高使用圧力 0.98MPa

■ 廃スラッジ充填設備

- 廃スラッジ充填設備は保管容器、蓋着脱装置、廃スラッジ保管容器搬送装置で構成する。

➤ 廃スラッジ保管容器

- 遠心分離機にて脱水した廃スラッジを充填する。保管容器には放射線分解によって生じる水素を排気できる設計とし、万が一内部に遊離水が溜まった場合に備えて排出用の鋼管を設置する。



廃スラッジ保管容器

➤ 廃スラッジ保管容器

- ✓ 容量 1.0 m³
- ✓ 最高使用圧力 大気圧
- ✓ 最高使用温度 200℃
- ✓ 厚さ(胴板) 10mm
- ✓ 厚さ(鏡板) 10mm
- ✓ 材質 Duplex Stainless Steel
TYPE 2507 UNS 32750 相当

※2022/2/9時点での設計案

■ 廃スラッジ充填設備

- 廃スラッジ充填設備は保管容器、蓋着脱装置、廃スラッジ保管容器搬送装置で構成する。

- 蓋着脱装置

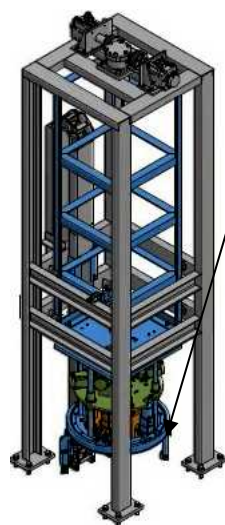
- 廃スラッジを保管容器へ規定量充填した後、遠隔操作で保管容器へ蓋を取り付ける。

- 廃スラッジ保管容器搬送装置

- 保管容器を収容し、廃スラッジ充填ユニット内で保管容器を遠心分離機下、蓋着脱装置下、搬出用ハッチ下を往来させる。

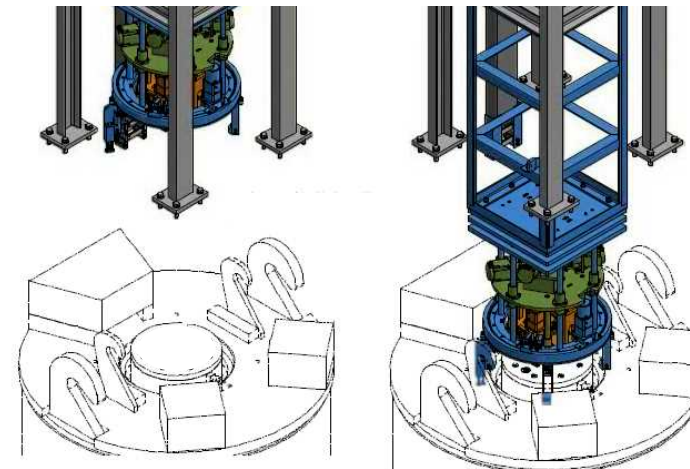
■ サンプルング装置

- 廃スラッジ一時貯留タンク内の廃スラッジの分析のためにサンプルングできる設備を新たに設置する。サンプルングはサンプルングポッドから廃スラッジをグローブボックス内にてサンプル容器に採取し遮蔽容器に収納できるようにする。



蓋着脱装置

青ハッチング部分を圧縮空気により上下させることにより遠隔操作で保管容器の蓋を着脱する。

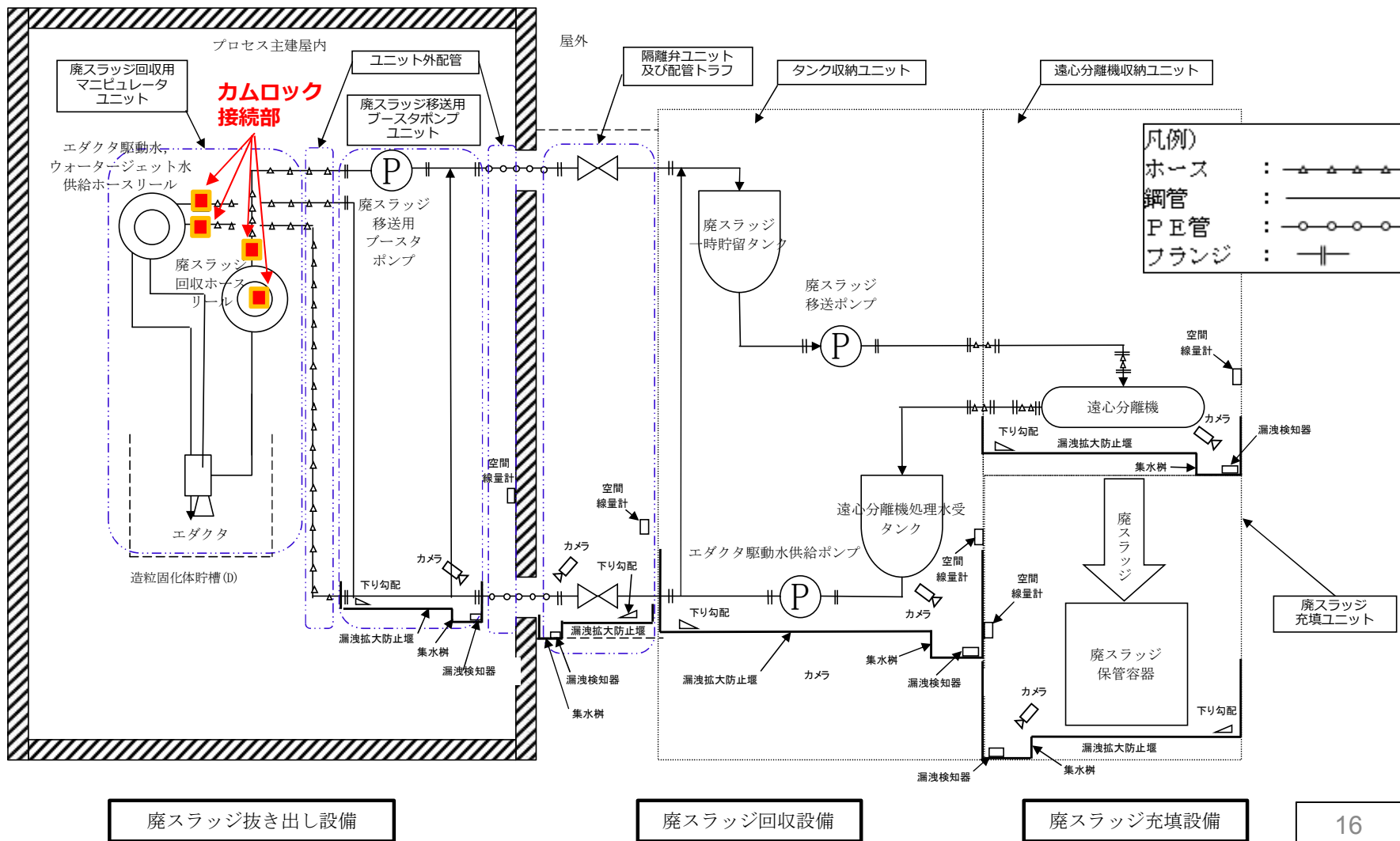


動作イメージ

※2022/2/9時点での設計案

カムロックの接続箇所について

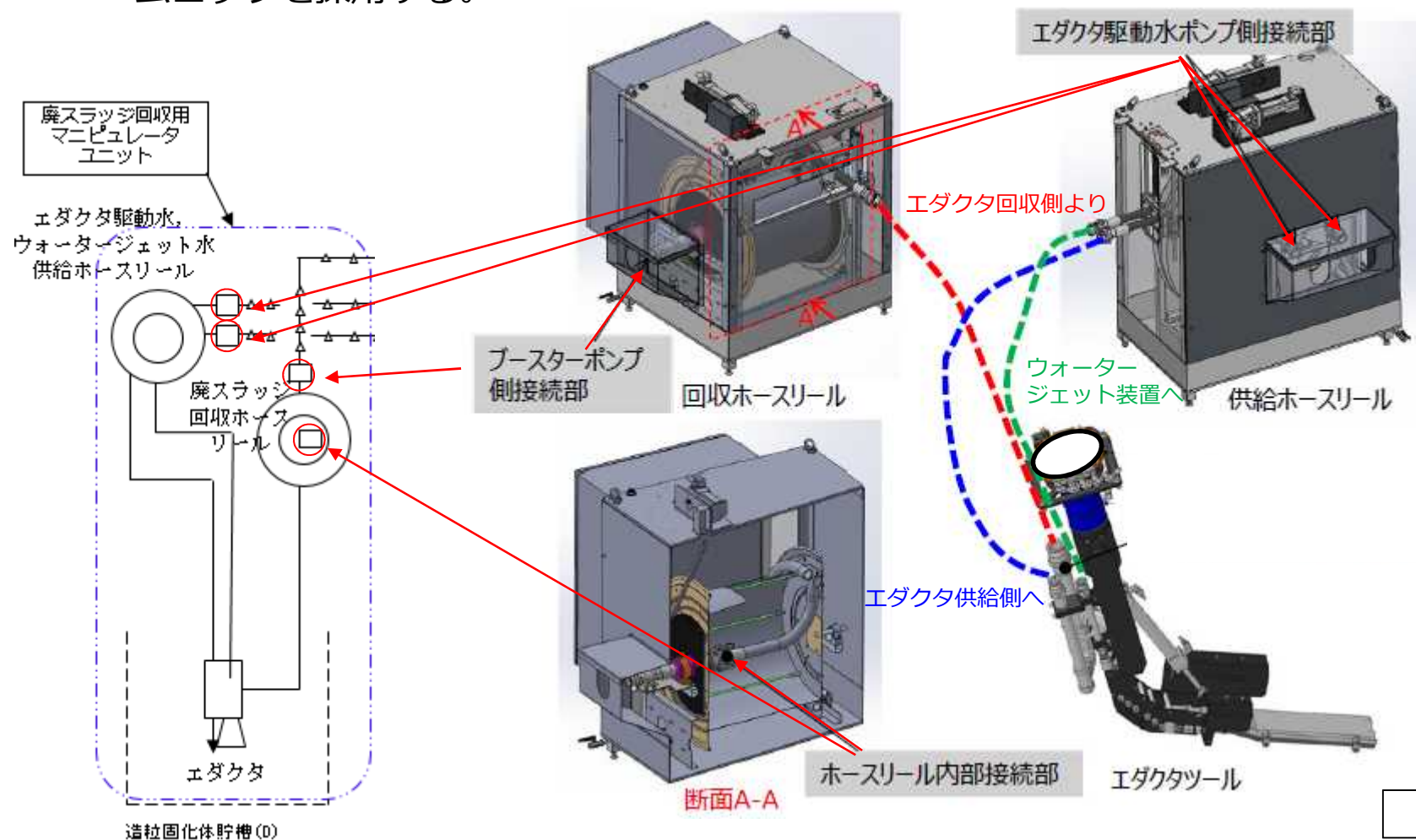
- 主配管上の主要な接続部と配管種別を示す。カムロックの接続箇所は廃スラッジ回収用マニピュレータユニット内の各ホースリールとの接続箇所となる。



【参考】カムロック採用の理由

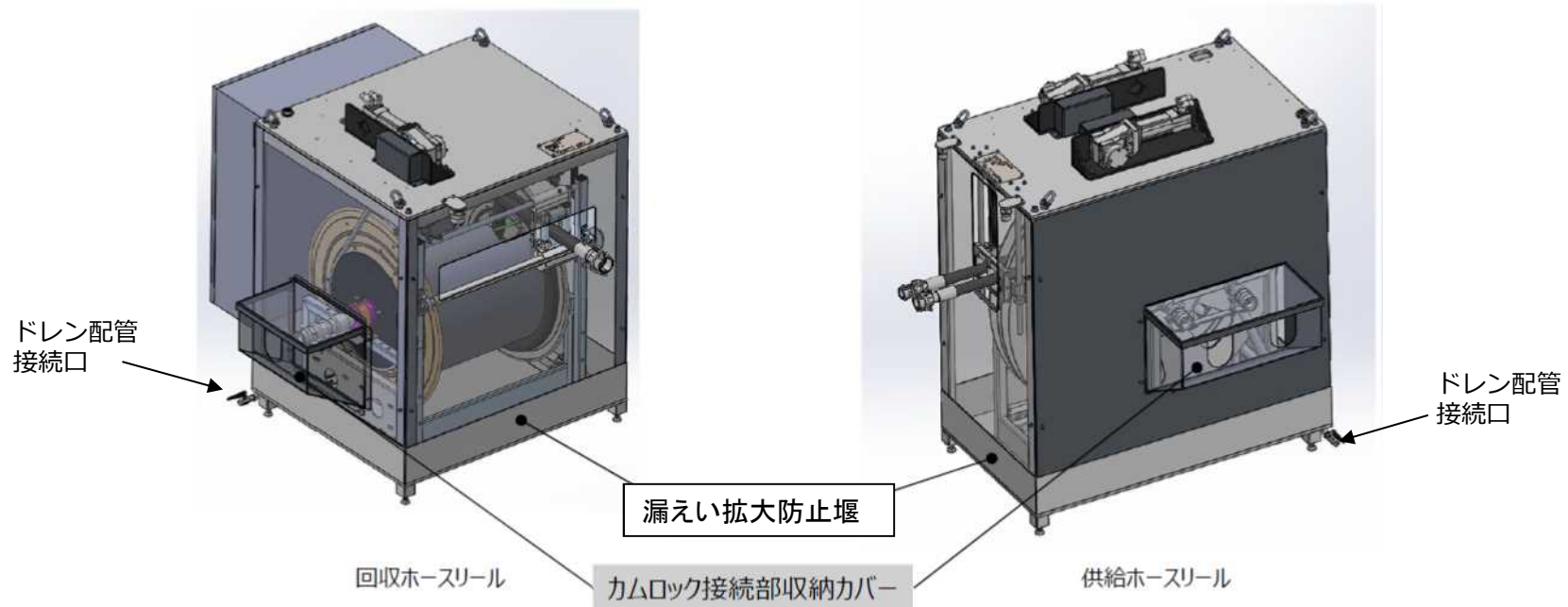
■ カムロック採用の理由

- ✓ 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。



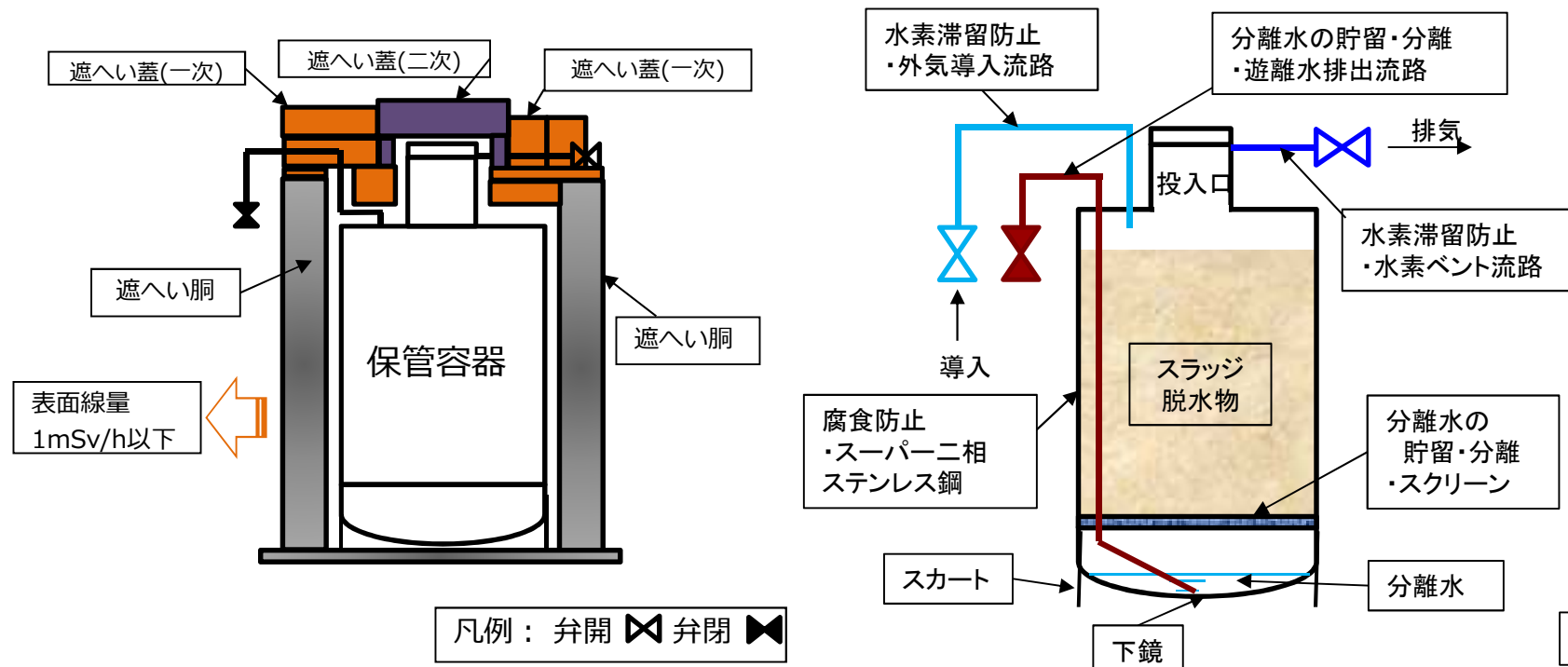
■ カムロック部の漏えい検知・拡大防止対策

- ✓ 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。



【参考】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"> 水素ベント流路 外気導入流路 | <ul style="list-style-type: none"> 水素ベント流路 外気導入流路 |
| 腐食防止(容器材質) | <ul style="list-style-type: none"> スーパーニ相ステンレス鋼 (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) | <ul style="list-style-type: none"> オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L) |
| 分離水の貯留・分離 | <ul style="list-style-type: none"> 分離水排出流路 外気導入流路 スクリーン | |

要素試験実施概要

- 廃スラッジが抜き出せないリスクについて、要素試験・シミュレーションを実施し、機器の性能確認を実施。
- 最終的な設備全体の機能確認については、機器製作後の組み上げモックアップにて検証する。

| リスク | 想定原因 | 実施事項 | 検証内容 |
|-------------|-----------|--|---------------------|
| スラッジが抜き出せない | 設備性能不足 | 試験用模擬スラッジを作成し、エダクタによる吸引試験及び遠心分離機による脱水試験を実施。 | 機器性能の検証、機器選定の妥当性を確認 |
| | 設備の可動範囲制限 | 既存図面に基づき、障害物を考慮した貯槽D内の3Dモデルを作成し、マニピュレータームの作動範囲を検証。 | 貯槽D内のアクセス性を確認。 |

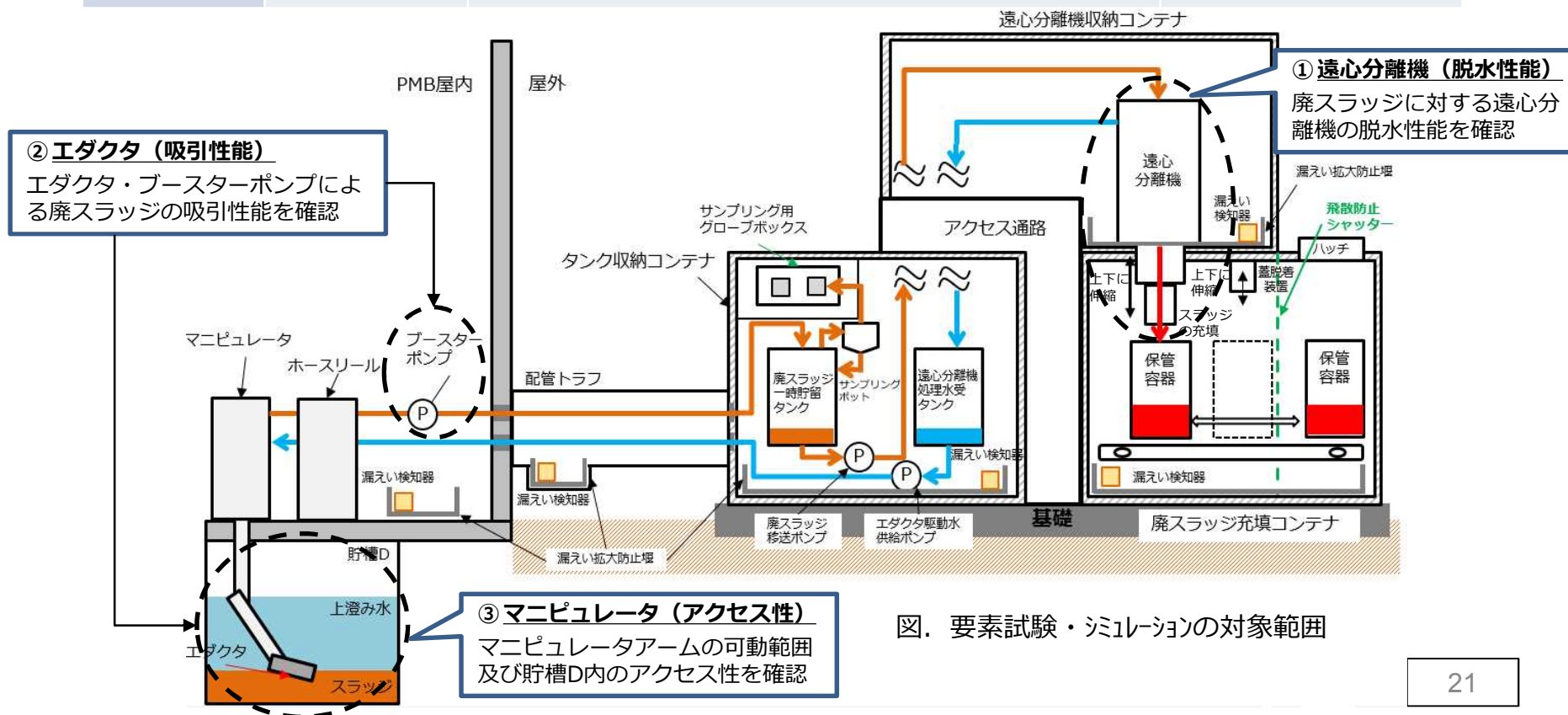


図. 要素試験・シミュレーションの対象範囲

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]
- ρ_s : 粒子密度[g/cm³]
- ρ : 液体密度[g/cm³]
- G : 加速度[cm/s²]
- μ : 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

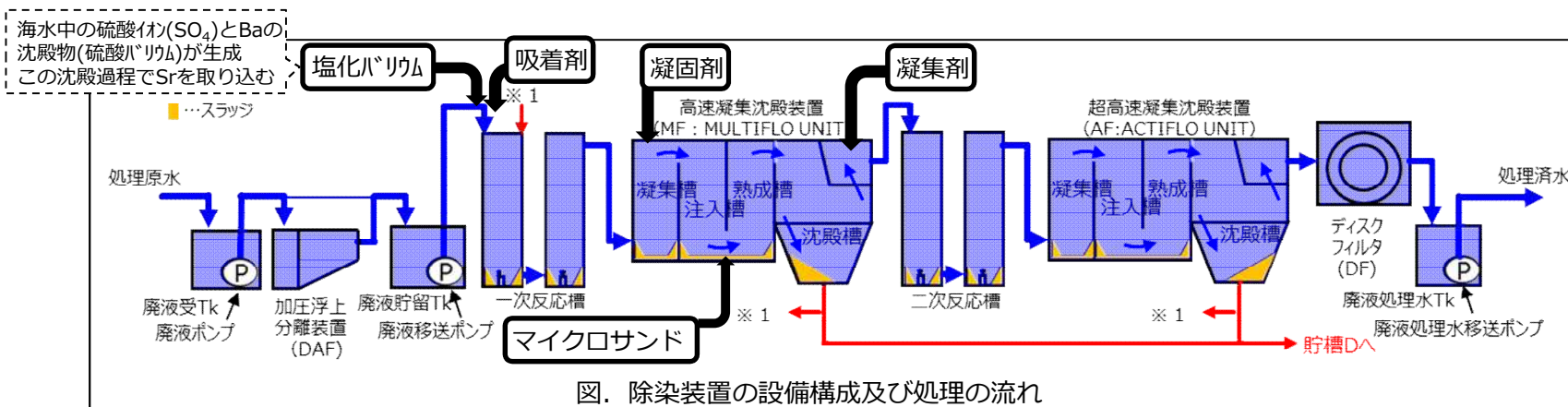
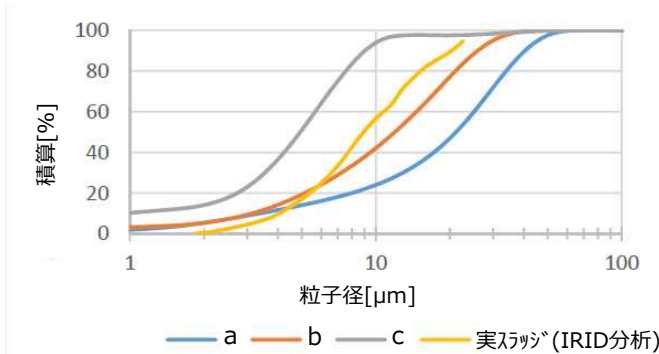


図. 除染装置の設備構成及び処理の流れ

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

| | BaSO4 | 吸着剤 | 凝固剤 | 凝集剤 | マイクロサド [®] | 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

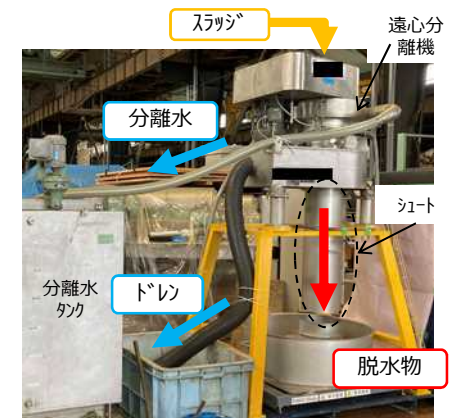


図. 遠心分離機外観

エダクタの吸引性能確認

- 模擬スラッジを用いたエダクタ要素試験を実施。エダクタによるスラッジ吸引性能の確認及び実機運転条件・運転方法の確立に向けたデータを取得。

1. エダクタ吸引試験概要

- エダクタの吸引特性は、流体の流れのエネルギー保存則（ベルヌーイの定理）が支配的であり、スラッジの密度に依存する。
- 吸引するスラッジ※1、現場状況及び使用機器について、実機を模擬し、エダクタによるスラッジ吸引試験を実施（右表参照）。

※1 スラッジは密度が高いほど吸引し難くなるため、試験は実スラッジ（IRID分析結果）よりも高密度の模擬スラッジを用いて実施。

表. 実機と要素試験設備の比較表

| | 実機 | 要素試験 |
|----------|--------------------------|------------------|
| スラッジ密度 | 1.18[g/mL] (IRID分析結果) | 1.61[g/mL] ※1 |
| 吸引高さ | 約11m | 約11m |
| エダクタ | model SL | model SL |
| ブースターポンプ | BREDEL-65 | BREDEL-65 |
| ホース径 | 40A,65A | 40A,65A |

2. 試験結果について

- 貯槽D深さ（約11m）においてもスラッジの吸引が可能であることを確認。
- エダクタによる吸引後の固形分濃度が、遠心分離機の入口条件である100g/L以上となることを確認。



図. エダクタによるスラッジ吸引状況

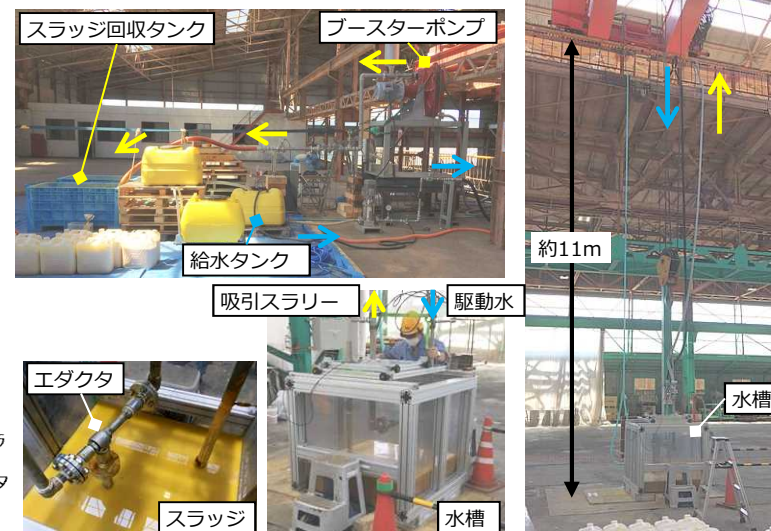
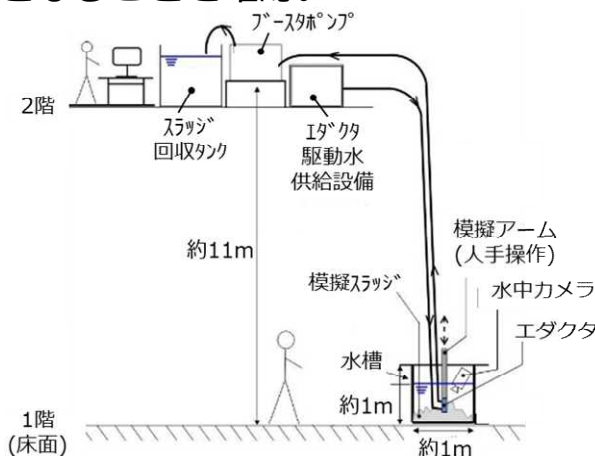


図. エダクタ吸引試験装置概要

貯槽D内アクセス性検証

1. 貯槽D内のアクセス性検証

- 貯槽D内部には、熱交換器、エアバブリング用配管群、螺旋階段、冷却水配管、熱電対等が設置されているもののマニピュレータアームのアクセス性に影響する（事前撤去が必要）ものは中央開口部より貯槽D下部に降りている熱電対(温度計)のみ。
- 貯槽D内の構造物を3Dモデル化し、マニピュレータアームのアクセス性シミュレーションを実施。
- アームの可動+エダクタツールの動作により、既設構造物と干渉することがなく、**貯槽D内全域へのアクセスが可能**となることを確認。
- 実機の操作性は、機器製作後の組み上げモックアップにて検証予定。

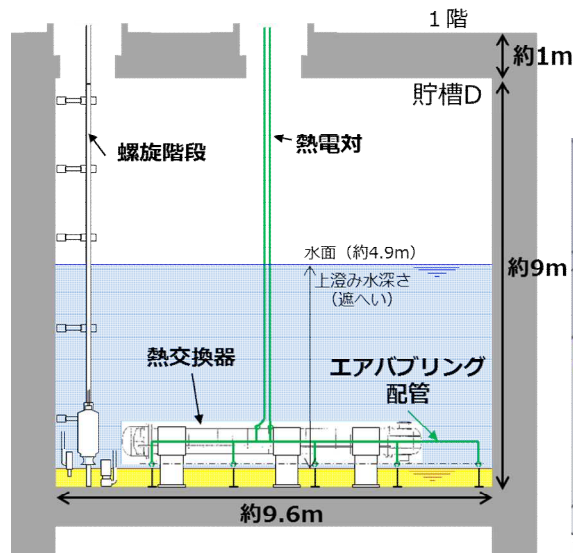


図. 貯槽D内断面図

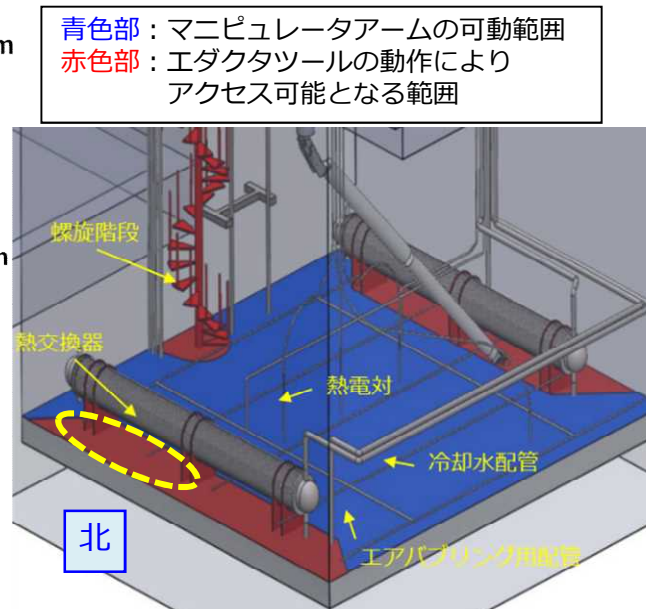


図. 貯槽D内の構築物及びアクセス範囲

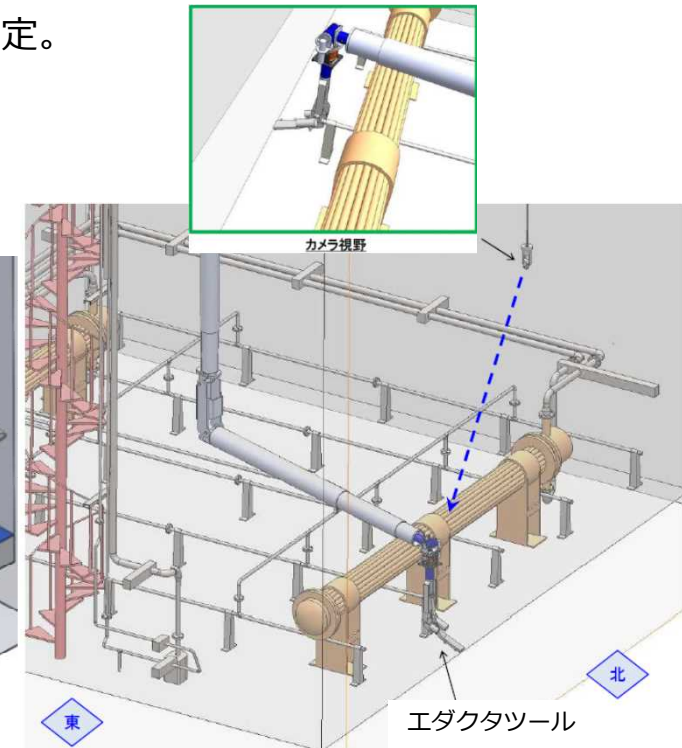


図. マニピュレータアーム
アクセス性シミュレーション例

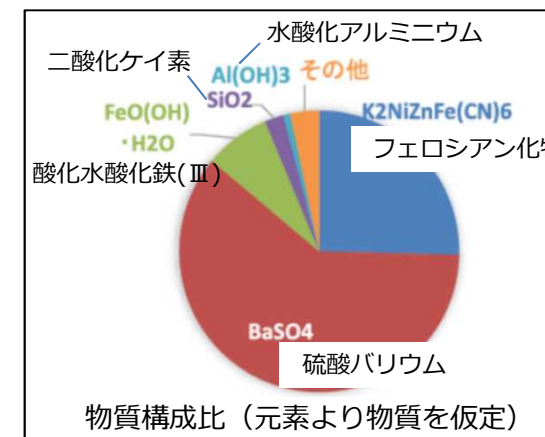
廃スラッジの性状について（構成物質および性状）

- 貯槽Dより採取した廃スラッジは、分析施設へ輸送し、化学組成、性状、放射能濃度の測定を行った。（採取日：2017年7月18日）

■ 廃スラッジの構成物質

- SEM-EDX※1により廃スラッジを構成する粒子の形状を観察するとともに、元素組成を測定。
- 廃スラッジを構成する粒子は、複数の形状を示しており、組成の異なる成分の混合物であることを確認。
- 構成物質としては、硫酸バリウムが最も多く、次いでフェロシアン化物、水酸化鉄(Ⅲ)が多く存在するものと推定。

※1 SEM-EDX…走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分光法



■ 廃スラッジの性状

- 廃スラッジ試料を蒸発乾燥させ、乾燥質量を秤量し、蒸発乾固前後の質量から固液比を算出。
- 粒度分布を画像解析法により測定。廃スラッジの性状ならびに粒径分布は以下に示す通り。

| 廃スラッジの性状 | |
|-------------|----------------------|
| 密度 | 1.176g/ml |
| 乾燥重量 | 0.253g |
| 質量比(%) | 固体：21.5% 液体：78.5% |
| 平均粒子径(体積基準) | 10.3μm |
| 最大粒子径 | 21.9μm |

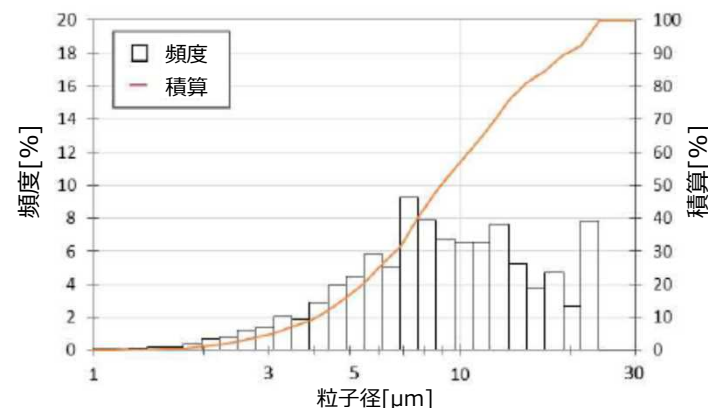


図. 廃スラッジの粒径分布（体積基準）

廃スラッジの性状について（放射能濃度）

■ 廃スラッジの放射能濃度

- 貯槽D内の堆積物は、比重の重い粒子が沈降し、「スラッジ」と「上澄み水」の二層に分かれて静置されている。
- ✓ スラッジ部分の堆積高さは底面から約0.4m、上澄み水を含めた貯槽D全体の水位は底面から約4.8m（2022年2月時点）。



- 貯槽Dより採取したスラッジ及び上澄み水の放射能濃度は以下に示す通り。（採取日：2017年7月18日）

－ スラッジ分析結果 －

- γ 核種は ^{134}Cs 、 ^{137}Cs が主要な核種であることを確認。
- 最も高い放射能濃度は、 β 核種の ^{90}Sr であった。

スラッジの放射能濃度 (Bq/cm³)

| ^{54}Mn | ^{60}Co | ^{125}Sb | ^{134}Cs | ^{137}Cs | ^{90}Sr | ^{238}Pu |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 4.1E+04 | 5.9E+03 | 2.6E+04 | 7.2E+06 | 7.1E+06 | 6.6E+07 | 1.4E-02 |

－ 上澄み水分析結果 －

上澄み水の放射能濃度 (Bq/cm³)

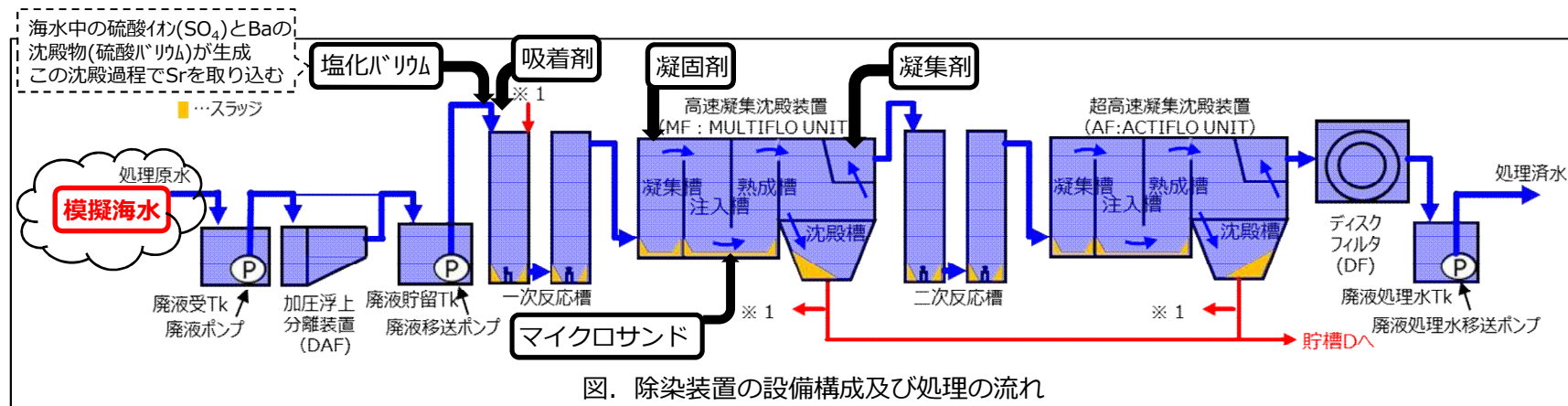
| ^{54}Mn | ^{60}Co | ^{125}Sb | ^{134}Cs | ^{137}Cs | ^{90}Sr | ^3H |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| ND | ND | (未測定) | 2.2E+01 | 1.7E+02 | 2.9E+04 | 2.6E+03 |

【参考】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 ₂ | 9.6% |
| | MgSO ₄ | 6.1% |
| | CaSO ₄ | 4.0% |
| | KCl | 2.1% |
| その他 | 0.3% | |



■ 規格基準

- 廃スラッジ回収設備等の機器は、設計、材料の選定、製作及び検査について、原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。また、処理対象とする廃スラッジの性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする

■ 火災に対する設計上の考慮

- 廃スラッジ回収設備等の主要構造部である壁、柱、床、梁、屋根は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに建屋内機器、配管、ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体、及びこれらの支持構造物についても実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。
- 発火性又は引火性液体を内包する設備は溶接構造、シール構造としその内包量を運転上の要求に見合う最低量に抑える設計とする。
- 本設備の構築物、系統及び機器は、落雷、地震等の自然現象により火災が生じることのないように防護した設計とし、建築基準法及び関係法令に基づき避雷設備を設置する。
- 火災検知のために消防法に準拠した火災検知設備を設置し、装置運転中は筐体内外に設置された監視カメラで遠隔監視することによって火災の早期発見に努める。
- 初期消火のため消火器を本設備近傍に設置する。

■ 豪雨、強風及び竜巻

- 各コンテナは建築基準法の定める福島県の基準風速30m/sに耐えうる構造とし、コンテナの間隙間はシーリング剤により雨水の侵入を防止する。
- 廃スラッジ回収設備等は、風雨による設備損傷の可能性が低い筐体内に設置する。竜巻の発生の可能性が予見される場合には、設備の停止操作を行う。

- 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止
 - 廃スラッジ回収設備等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び気体状の放射性物質の敷地外への放出を防止するため、以下の各項を考慮した設計とする。
 - a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに、タンク水位の検出器等を設ける。
 - b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、機器等の周囲に適切な堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。
 - c. タンクの水位、漏えい検知等の警報は、遠隔操作室に表示し、異常を確実に運転員に伝え異常時の措置をとれる設計とする。
 - **d. 気体状の放射性物質が飛散する恐れのある機器については、限定された区域に配置し、漏えいを確認することができる設計とする。また、限定された区域内は常時負圧に保つ設計とする。**
- 放射線遮蔽に対する考慮
 - 廃スラッジ回収設備等は、遮へい、機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。また、設備の稼働に支障を与えない合理的な範囲において遠隔操作室で遠隔監視、操作を行うことで被ばく低減を図る設計とする。
- 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮
 - 廃スラッジ回収設備等は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また、排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には、適切に除去する設計とする。

■ 津波

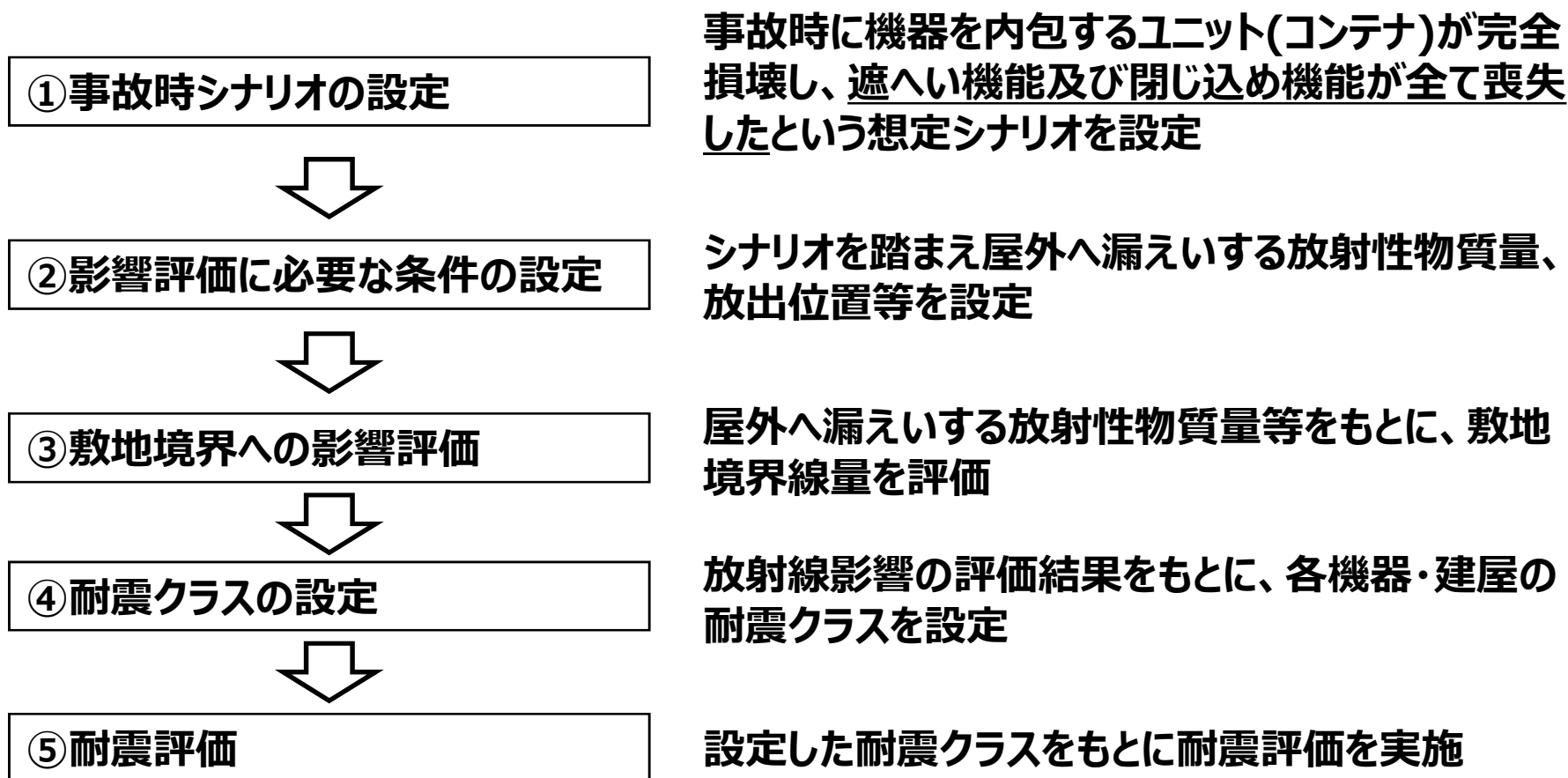
- アウターライズ津波を上回る切迫した津波の襲来に備え防潮堤新設を実施している。既往最大の3.11津波に対しては汚染水流出防止を目的に建屋開口部の閉止等、低減対策を実施している。
- 本設備では各津波の切迫度合いを考慮し、貫通部の止水処理を実施した上で汚染源除去として早急にスラッジを抜き出すことを対策とする。

| | | 津波対策 | |
|-------|----------------|-----------|--|
| 切迫性対応 | 事故後の緊急的対策 | アウターライズ津波 | ・アウターライズ津波防潮堤 |
| | その後の新知見への対応 | 千島海溝津波 | ・千島海溝津波防潮堤 |
| | | 日本海溝津波 | ・日本海溝津波防潮堤 新設中 |
| | 既往最大事象への備え | 3.11津波 | ・建屋開口部閉止 (貫通部の止水処理) ・除染装置スラッジ汚染源の除去 (早急な抜き出し) |
| | 既往最大を超える事象への備え | 検討用津波 | ・除染装置スラッジ汚染源の除去 (早急な抜き出し) |

本設備で考慮する範囲

◆ 主要機器の構造強度及び耐震評価方針

- 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する。



①事故時シナリオの設定

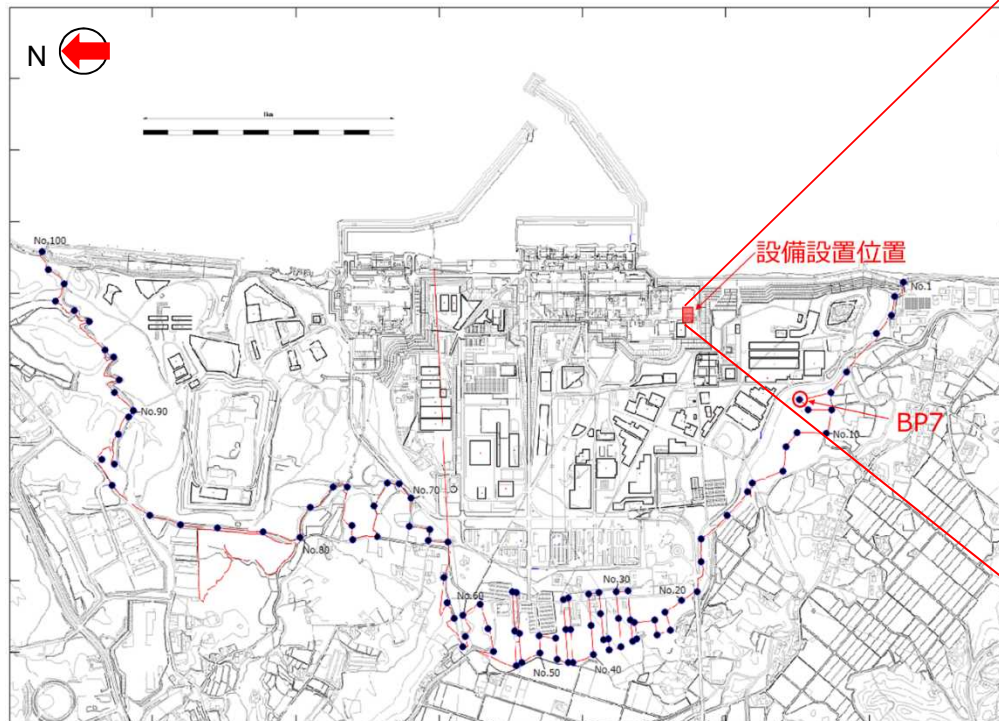
- ◆ 廃スラッジ回収施設において、事故時に処理設備を内包するコンテナ（ユニット）の遮へい機能及び閉じ込め機能が全て喪失したと仮定した場合の公衆への放射線影響について、敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン及び大気拡散）を実施する。

- ◆ 評価における考え方
 - 事故時に処理設備を内包するコンテナ（ユニット）の遮へい機能及び閉じ込め機能が全て喪失する条件で評価を行った。
 - 事故時の敷地境界線量評価の線源条件として、設備運転手順を考慮して設備全体として内包される最大放射エネルギーが全て漏えいする条件で評価を行った。
 - コンテナ（ユニット）の構造（線源となる廃スラッジ保管容器、タンク類の位置等）は、ダスト対策も考慮して現時点で想定される構造で評価した。今後の設計進捗でコンテナ（ユニット）の構造が変更となり、本評価結果に影響を及ぼす場合は再評価を行う。
 - 設備運転手順、各機器容量、配管ルート、各種設定値、脱水能力等は今後の設計進捗で変更となる可能性があるため、本評価結果に影響を及ぼす場合は再評価を行う。

②影響評価に必要な条件の設定（直接線+スカイシャイン線）

■ 設備位置、評価点および計算コード

- 設備の設置標高（地表）はT.P. 8.5m とし、敷地境界での評価点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。
- 計算コードは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、以下を用いた。
 - 線源強度：ORIGEN2.2-UPJ [1]（以下、ORIGEN2）
 - 線量率：MCNP5-1.60 [2]（以下、MCNP）



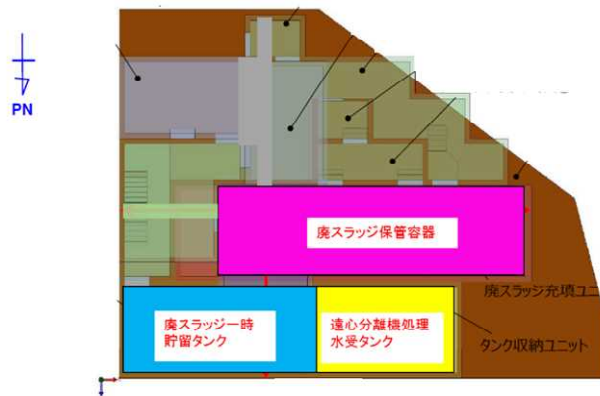
②影響評価に必要な条件の設定（直接線＋スカイシャイン線）

■ 評価に用いたインベントリ

- 設備構成概要及び概略設備運転手順（参考）「設備構成概要及び概略設備運転手順」参照）を踏まえて、設備全体として最大放射エネルギーとなる状態にて評価を行う。
 - ・ 廃スラッジ保管容器：全容量分
 - ・ 廃スラッジ一時貯留タンク：Lレベル～全容量分の間
 - ・ 遠心分離機処理水受タンク：全容量分
 - ・ 遠心分離機、移送配管：0（廃スラッジ移送／処理後洗浄を行うため）

■ 線源形状

- 廃スラッジ保管容器（容量1m³）、廃スラッジ一時貯留タンク（容量2m³）及び遠心分離機処理水受タンク（容量2m³）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（漏えい拡大防止堰に関してはコンテナ（ユニット）外の基礎部分も含めて現在検討中にて、本評価では漏えいした廃スラッジはコンテナ（ユニット）内にとどまると仮定した）。
- 線源以外の部分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。



線源形状寸法(mm)

| 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 |

■ 土壌のモデル化の内容

- 今回の解析コードを用いた敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）の計算モデルでは、これまでの許認可における評価同様、敷地内の建屋や丘陵の存在による高低差は考慮されていない。このため評価点が土壌に近い位置にあるほど、実際の敷地内の建屋や丘陵の存在による遮蔽効果を見込まない評価となるため、保守的な評価となる。ただし評価点までの距離が長いほど散乱の割合が大きくなるため、尤度は下がる。
- 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。

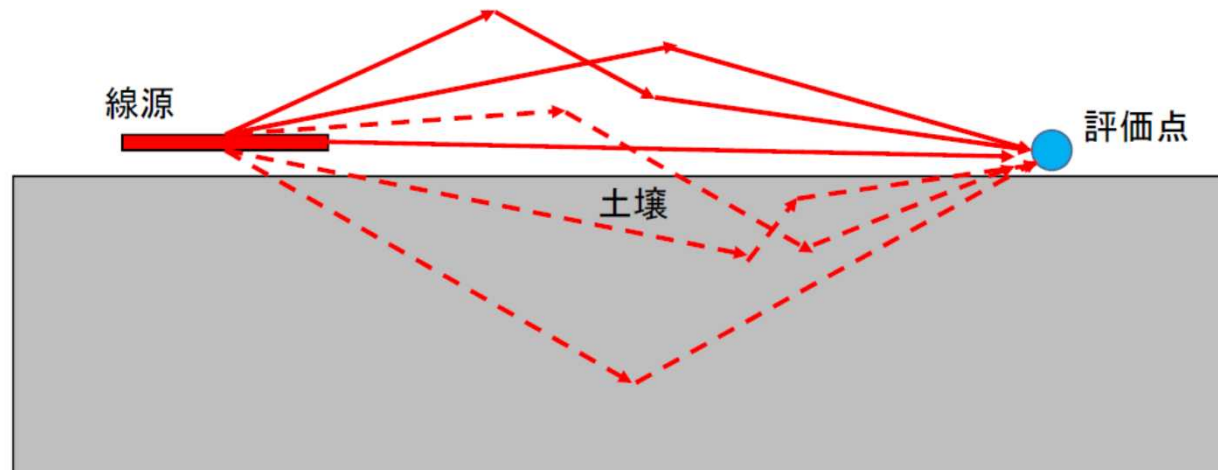
| | 元素 | 空気 | 土壌 |
|------------------------|----|------------|--------|
| 物質の組成 (重量比率) | H | 0.00001 | 0.0096 |
| | C | 0.00012554 | |
| | N | 0.75470 | - |
| | O | 0.23233 | 0.5437 |
| | Al | - | 0.1286 |
| | Si | - | 0.3181 |
| 密度[g/cm ³] | | 0.0012 | 1.7 |

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.

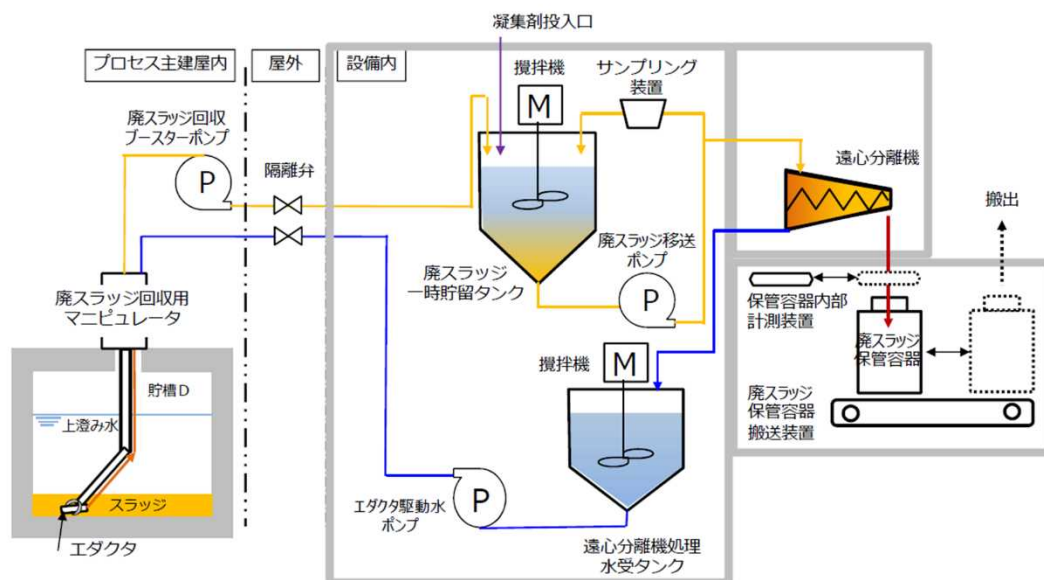
- ◆ 解析コードを用いた敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）の計算モデルにおける地面（土壌）の有無の影響に関して、以下に簡易図を示す。解析コードにおけるモデルでは空気による散乱線が土壌により遮られるため（下図点線部分）、評価点高さが低いほど線量率評価値は下がる。また評価点までの距離が長いほど散乱の割合が大きくなるため、線量率評価値は下がる。
- ◆ 今回は評価点までの距離は540mだが、この程度の距離であれば非散乱線の寄与は小さくなっており、土壌の存在をモデル化しなかった場合、評価値は現行評価の約2倍程度になる可能性がある。さらに複数回散乱もあるため、2倍を超える可能性もある。



- ◆ 事故時の敷地境界線量評価（直接線＋スカイシャイン）における屋外配管の考慮及び配管位置で漏れた場合の影響（続き）
- ◆ 1月26日の面談でご説明したとおり、設備構成概要及び概略設備運転手順（次頁参照）を踏まえて、設備全体として最大放射エネルギーとなる以下の状態にて評価を行っており、屋外移送配管内の廃スラッジ容量は、移送完了後に配管内洗浄を行うため考慮していない。
 - ・ 廃スラッジ保管容器：最大容量(1m³)
 - ・ 廃スラッジ一時貯留タンク：運転容量(2m³)
 - ・ 遠心分離機処理水受タンク：運転容量(2m³)
 - ・ 遠心分離機、移送配管：0（廃スラッジ移送／処理後洗浄を行うため）
- ◆ 廃スラッジ移送配管は現状配管口径40A、配管長は屋外配管部分26mに加え、プロセス主建屋内部分10mの合計35mで計画している。この場合、配管内廃スラッジ量は0.044m³となり、廃スラッジ一時貯留タンクの運転容量2m³の2.2%となる。廃スラッジ移送配管内の廃スラッジが屋外配管部で漏れ出したとしても、漏れいする放射エネルギーは全放射エネルギーの0.8%程度であり、評価値に大きな影響はない。
- ◆ 前頁に敷地境界線量評価における評価点の方向（南南西）を示しているが、屋外配管部は各コンテナより評価点から遠い方向にあるため、評価値に与える影響はさらに小さくなる。

【参考】設備構成概要及び概略設備運転手順

- 事故時の敷地境界線量評価の線源条件として、設備運転手順を考慮して設備全体として最大放射エネルギーとなる状態で評価を行った。
- 設備構成概要及び概略設備運転手順を以下に示す。
- タンクへ廃スラッジを移送中は配管内は廃スラッジで満たされているが、移送終了後に配管内を洗浄するため、移送完了後は配管内の廃スラッジはなくなる。よって、タンク運転時の最大の放射エネルギーで評価を行う。



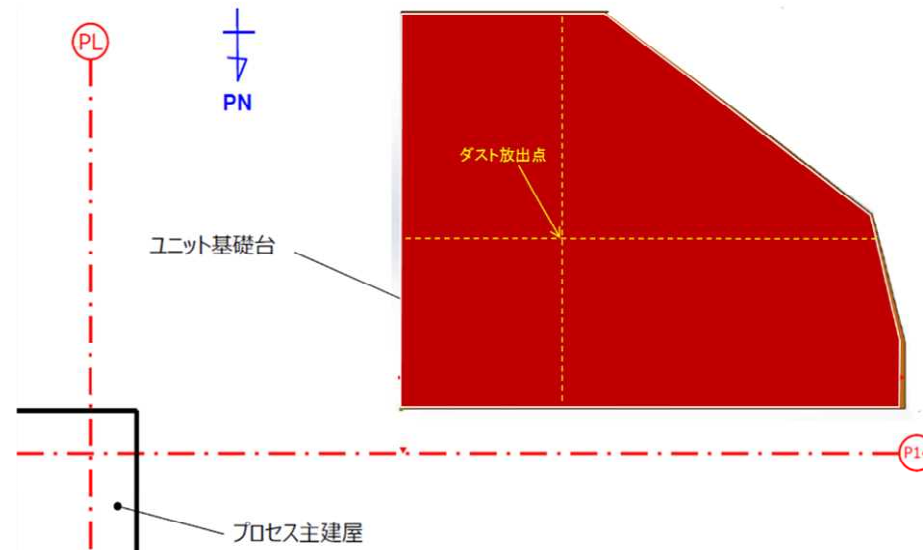
設備構成概要

<概略設備運転手順>

- ① 貯槽Dから廃スラッジ一時貯留タンクへ1バッチ分の廃スラッジを移送 (移送後に配管内洗浄を実施)。
- ② 廃スラッジ一時貯留タンクから遠心分離機へ1バッチ分の廃スラッジを移送 (移送後に配管内洗浄を実施)。
- ③ 遠心分離機で1バッチ分の廃スラッジの脱水処理を実施。脱水後の廃スラッジは廃スラッジ保管容器へ投入 (投入後に遠心脱水機内の洗浄を実施)。分離水は遠心分離機処理水受タンクに移送。
- ④ ①～③を繰り返し、廃スラッジ保管容器内に規定量 (2～5バッチ程度) を投入したら容器を搬出し、新たな容器を搬入する。

②影響評価に必要な条件の設定（大気拡散）

- 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【WDOSE2_TEPSYS（バージョン2.1.1）】を使用
- 被ばく経路
 - ・クラウドシャインによる外部被ばく： γ 線、 β 線
 - ・グランドシャインによる外部被ばく： γ 線+ β 線
 - ・クラウドの吸入による内部被ばく：－
- 評価モデル
 - 以下に示す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。



②影響評価に必要な条件の設定（大気拡散）

■ 放出量

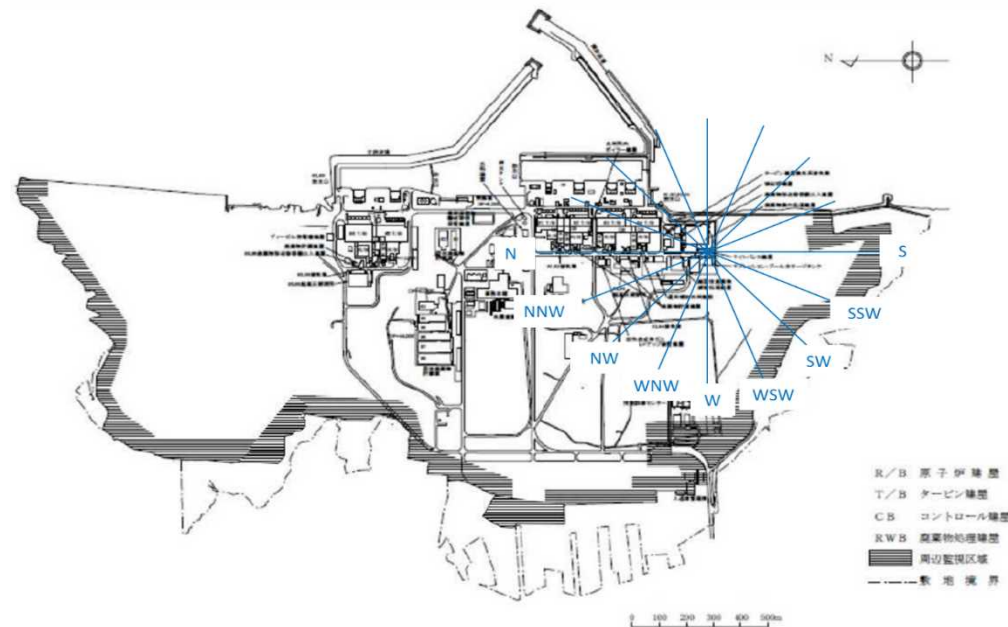
- 直接線+スカイシャイン評価で設定した、廃スラッジ保管容器、廃スラッジ一時貯留タンク及び遠心分離機処理水受タンクの内包する全放射エネルギーをもとに、DOE、NRCにおいても標準的な評価手法（DSA、ISA）として採用されている「五因子法」により放射性物質の放出量を評価した（次頁参照）。直接敷地外へ放出される可能性が無いスラッジ/スラリーとしての拡散係数ARFとして $5E-5$ （DOE Handbook 3.2.3.2より）を乗じ、その他の因子は保守的に全て1とした。

■ 被ばく経路

- クラウドシャインによる外部被ばく、グランドシャインによる外部被ばく、及びクラウドの吸入による内部被ばくの3経路にて評価を実施した。

■ 評価位置

- 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。



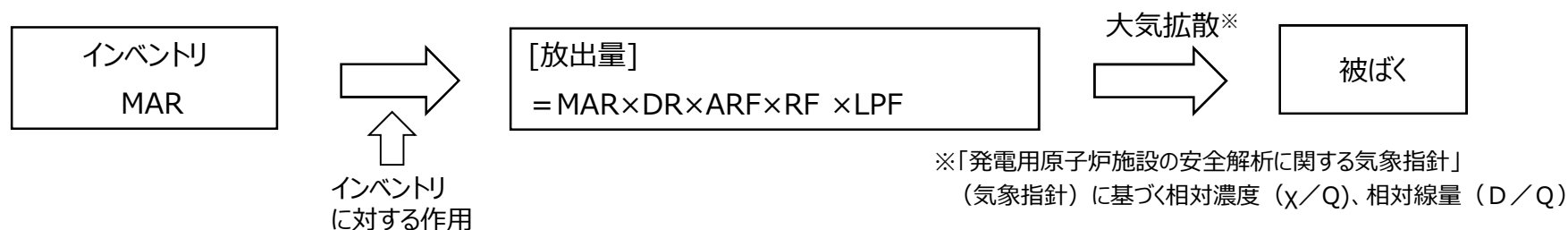
②影響評価に必要な条件の設定（大気拡散）

- 評価点高さ
 - 0mとした。
- 放出核種
 - Sr-90、Cs-137、Cs-134と、放射平衡を形成する娘核種（Cs-137/Ba-137m、Sr-90/Y-90）も評価対象核種とした。
- 建屋巻き込み
 - 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。（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。）
- 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。

【参考】五因子法について

2021年6月25日原子力規制庁面談資料より抜粋

- 耐震クラスを決定するための被ばく影響評価は、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評価して、被ばく評価を実施。
- 評価では、他設備からの波及影響も考慮して、当該クラスを超える地震に対しても閉じ込め機能維持が図られることが確認されているもの以外は、閉じ込め機能が喪失するものとして影響を評価
- 上記手法は、実施計画変更申請において既に評価を適用
(参考6、7、3 1F分析・研究棟第2棟、2号機PCV内部調査アクセスルート構築、原燃 JMOX施設)



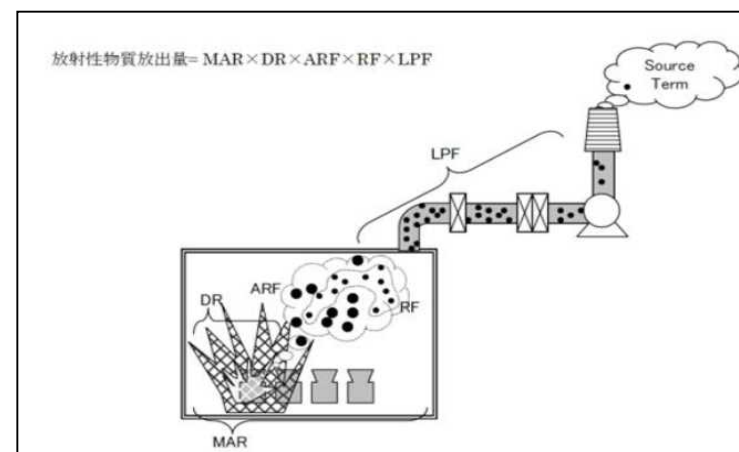
MAR：事象によって影響を受ける可能性のある放射性物質の総量
(インベントリ) (Material At Risk)

DR：事象の影響を受ける割合(Damage Ratio)
(地震ではインベントリ全体が影響を受けるものとして1を設定)

ARF：事象の影響を受けたもののうち雰囲気へ放出され浮遊する割合
(Airborne Release Fraction) (DOEのデータを参考に設定)

RF：肺に吸入され得る微粒子の割合(Respirable Fraction)
(微粒子の大きさによる変数であるため1と設定)

LPF：環境中へ漏えいする割合(Leak Path Factor)
(IAEAの文献を参考に設定)



出典 JAEA-Technology 2010-004、MOX 燃料加工施設PSA 実施手順書

- ◆ 事故時の敷地境界線量評価（大気拡散）で用いた拡散係数 $5E-5$ は、「DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES DOE-HDBK-3010-94」中の3.2.3「Free-Fall Spill」3.2.3.2「Slurries」（<https://www.nrc.gov/docs/ML1307/ML13078A031.pdf>）から引用している。
- ◆ これは硬い表面にこぼれたスラリーに関する、自由落下流出からの空中放出を測定するための実験結果から設定されたARF(Airborne Release Fraction：事象の影響を受けたもののうち雰囲気に放出され浮遊する割合)をもとにしており、3.2.3.2「Slurries」中の表3-8に記載のARFの最大値である $5E-5$ を用いている。

DOE-HDBK-3010-94

3.0 Liquids; Aqueous Solutions

Table 3-8. Measured ARFs and Rfs for Free-Fall Spill of Slurries
(1 liter source, 3 meter fall distance)
(Tables B.3 and B.4 - Ballinger and Hodgson, December 1986)

| TiO ₂ , g/l | Glass Frit, g/l | Uranine, g/l | Sucrose, g/l | Viscosity, centipoise | Surface Tension, dyne/cm | SpG | ARF | RF | ARF x RF |
|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|------|--------|------|----------|
| 10 | 0 | 20 | 250 | 3.2 | 58.2 | 1.12 | 9.0E-7 | 0.73 | 7.0E-6 |
| 100 | 0 | 20 | 200 | NM | 54.5 | 1.16 | 1.0E-5 | 0.64 | 7.0E-6 |
| 40 | 60 | 20 | 335 | 4.9 | 64.6 | 1.19 | 9.0E-6 | 0.77 | 7.0E-6 |
| 40 | 60 | 20 | 335 | 3.1 | 68.6 | 1.20 | 2.0E-5 | 0.76 | 1.0E-5 |
| 200 | 300 | 20 | 0 | 1.3 | 63.1 | 1.33 | 5.0E-5 | 0.78 | 4.0E-5 |
| 200 | 300 | 20 | 0 | 1.3 | 63.4 | 1.35 | 3.0E-5 | 0.81 | 2.0E-5 |
| 200 | 300 | 20 | 100 | 1.3 | 64.9 | 1.29 | 3.0E-5 | 0.78 | 2.0E-5 |
| 200 | 300 | 20 | 100 | 2.9 | 62.8 | 1.41 | 2.0E-5 | 0.72 | 1.0E-5 |

■ 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)

- 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。

□ 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**である。
 - ✓ 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。

■ インベントリ設定時の保守性

インベントリの算出の過程で考慮した保守性（赤字部分）を示す。

- 貯槽D内の全スラッジの放射エネルギーは、除染装置の出入口の分析結果から、積算除染量として以下と設定した。
 - ・ Sr-90 : 1.05E+16Bq (P.27参照)
 - ・ Cs-137 : 8.00E+14Bq (P.28参照)
- 上記貯槽D内の全スラッジのSr-90の放射エネルギーは、次頁に示すとおりサンプリング結果の入口放射能濃度の最大値と出口放射能濃度の最小値の差から保守的に設定した。
- 過去の除染装置の出入口でのサンプリング結果から、入口濃度の変動としてその平均値に対して最大130%の高い値を確認していることから、全放射エネルギーに安全率30%を考慮した。
- 廃スラッジ一時貯留タンクに回収される廃スラッジ濃度は、運転容量2m³で現状100～200g/Lにて制御する計画であるため、最大濃度200g/Lを用いて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放射エネルギーを設定した。
- 現状の要素試験結果より、遠心分離機による脱水処理により廃スラッジは含水率50～70%程度まで脱水できる見通しであるため、廃スラッジの含水率を50%と仮定して、廃スラッジ保管容器の放射エネルギーを設定した。

2021年3月4日

福島第一原子力発電所におけるスラッジ等の放射性物質に係る面談資料 抜粋



【参考】除染装置スラッジの放射性物質質量について

- 造粒固化体貯槽(D)内（貯槽D）放射性物質質量は、運転期間中(2011/6～2011/9)のSr-90の入口－出口放射能濃度の最大差に汚染水処理量に乗じたものとしている。当該値は2017/2/10に開催された第5回特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会にて公表済み。

$$\text{Sr-90総核種量} = \text{入口-出口放射能濃度の最大差} \times \text{汚染水処理量}$$

$$(1\text{E}16\text{Bq}^{\ast 1}) \quad (1.38\text{E}11\text{Bq}/\text{m}^3) \quad (76,350\text{m}^3)$$

入口-出口放射能濃度

| 対象核種 Sr-90 | 2011/7/13 | 2011/8/9 | 2011/9/6 | 最大放射能濃度 |
|-------------------------------|-----------|----------|----------|---------------------------|
| 入口水濃度 (Bq/m ³) | 1.5E11 | 1.2E11 | 7.8E10 | 1.5E11-1.2E10= 1.38E11 |
| 出口水濃度 (Bq/m ³) | 1.5E10 | 1.2E10 | 2.5E10 | |

分析値出典：

- ・ 汚染水処理二次廃棄物の放射能評価のための水処理設備出入口水の分析
2016/3/31 技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)/日本原子力研究開発機構(JAEA)

※1：2011/3/11時点に補正したインベントリ値

(参考) その他の除染装置スラッジの放射性物質質量評価方法

| 評価項目 | 評価方法 | 評価値 | 備考 |
|--------------------------------------|---|---------|--|
| 実スラッジの分析結果 | 全β分析値(8.2E13Bq/m ³) × 沈降スラッジ量 (約37m ³) | 3E15 Bq | 分析結果から算出したインベントリと運転期間中の実績値と比較して低いため過小評価と考えられる。 出典：廃棄物試料の分析結果（水処理設備処理二次廃棄物・滞留水）2018/3/29 IRID/JAEA |
| Dピット内の最大放射能濃度の想定値 (2011/8/15検討時点) | 想定濃度(3.4E14Bq/m ³) × 廃スラッジ量※2(約579m ³) | 2E17 Bq | 除染装置運転開始当初に想定した放射能濃度を元にDピット内で保管可能な最大放射能を計算しており、過大評価と考えられる。 (想定濃度は実施計画Ⅱ-2-2-5-添付7表-1に記載) |

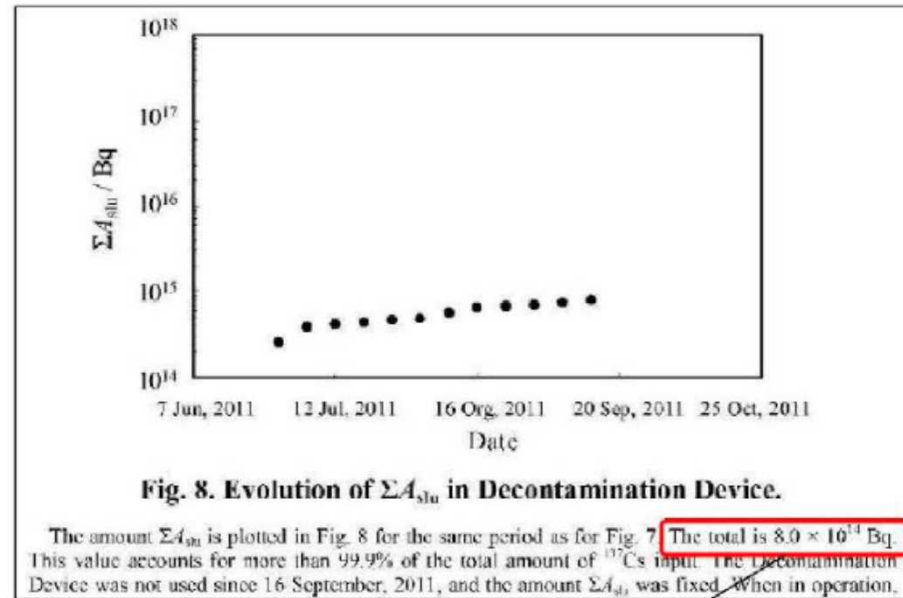
※2:廃スラッジ量：上澄み水量＋沈降スラッジ量


E-Journal of Advanced Maintenance Vol.7-2 (2015) 138-144
Japan Society of Maintenance

Inventory estimation of ^{137}Cs in radioactive wastes generated from contaminated water treatment system in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Jun KATO^{1,2,*} and Yoshihiro MEGURO^{1,2}

¹ Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan
² International Research Institute for Nuclear Decommissioning, Minato-ku, Tokyo 105-0004, Japan



① EJAM文献

The total is 8.0×10^{14} Bq.

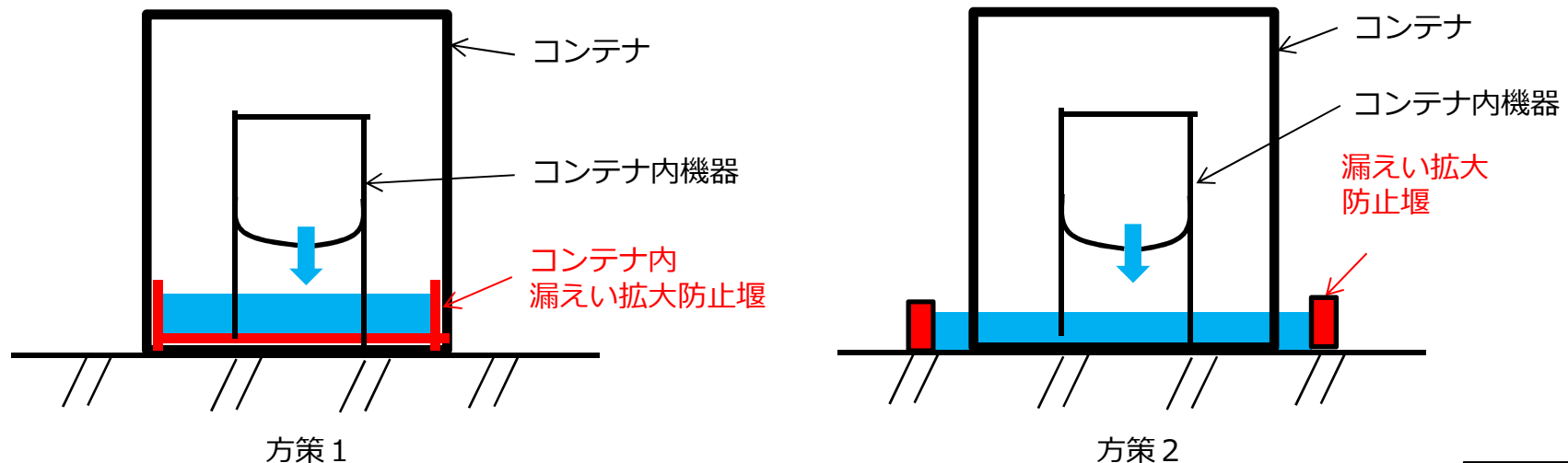
■ スラッジ海洋放出防止対策の必要性

➤ 前述の耐震クラス選定の考え方では、Ss900gal地震時に廃スラッジを海洋及び敷地外に放出させないことが前提となる。

■ そのためスラッジ回収施設コンテナの漏えい拡大防止対策としてSs900地震時にも漏えい拡大防止機能を維持できる堰を設置する。設置場所については下記をベースに検討中。

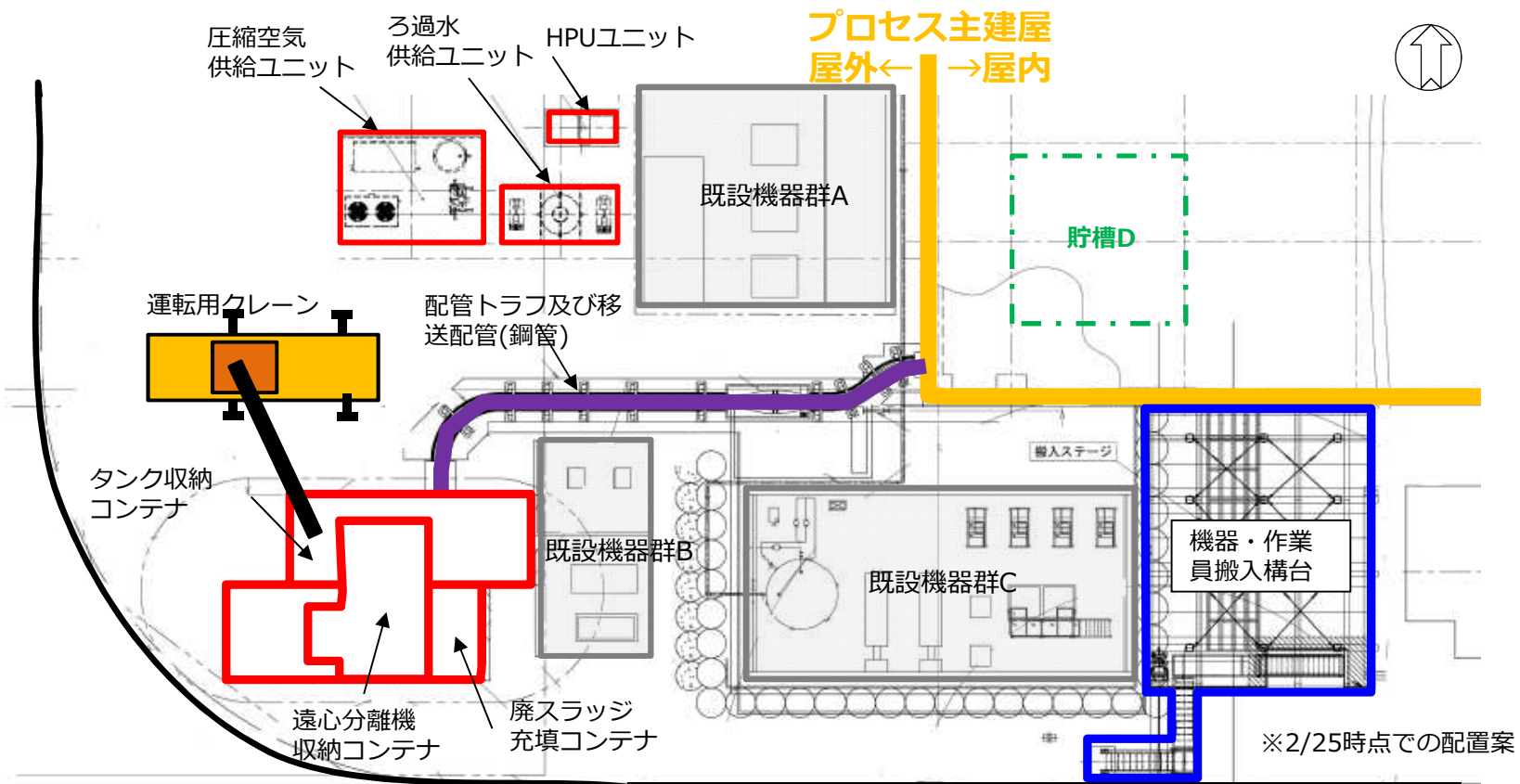
➤ 方策1：コンテナ内に堰を設置する。

➤ 方策2：コンテナ周囲の基礎部に堰もしくは溝を設置する



屋外設備を設置する周辺環境について

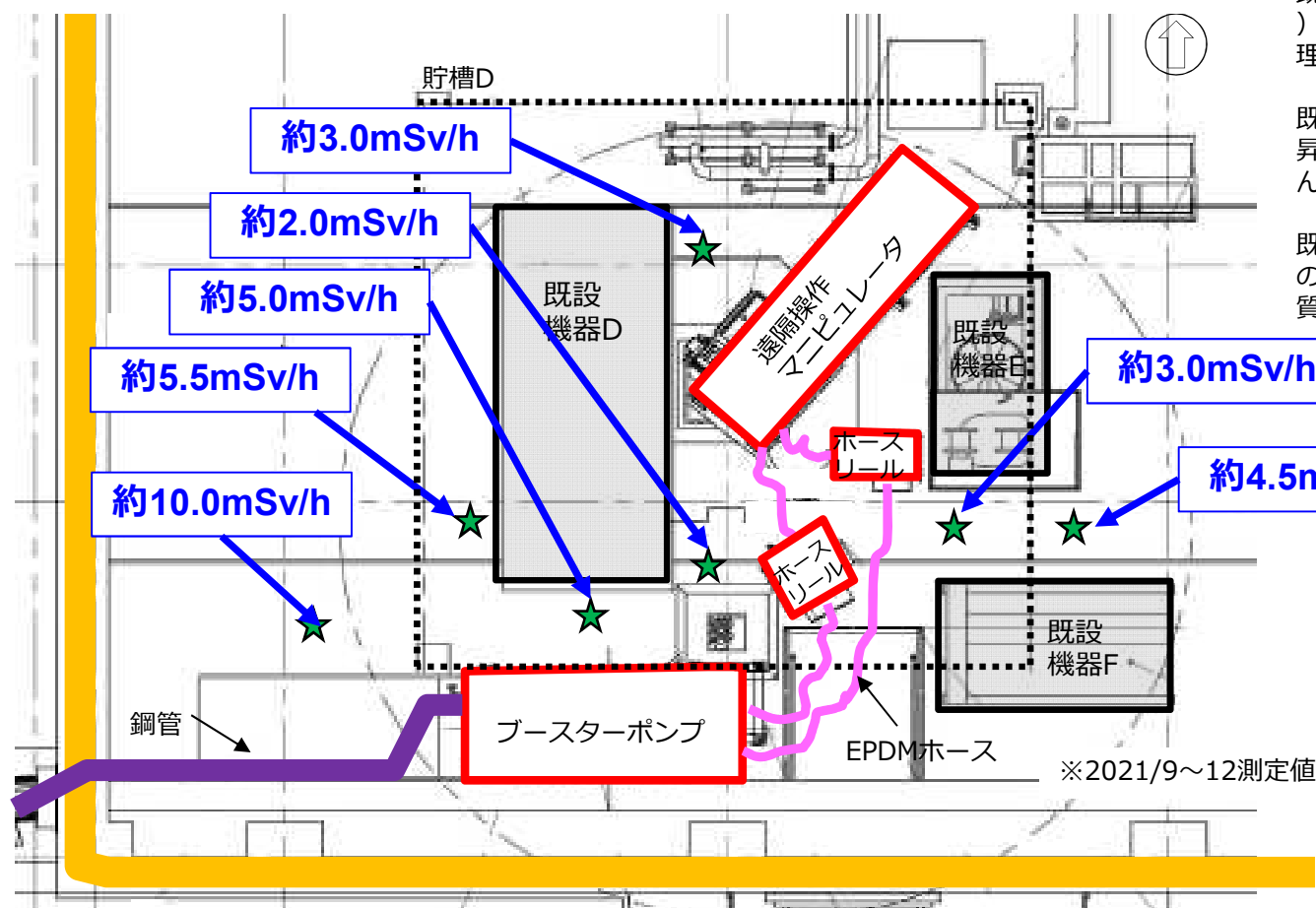
- 屋外機器(コンテナ等)の設置に係わる、プロセス主建屋周辺の環境情報を下記に記載する。
- 設置エリア周辺の線量は約0.03mSv/hであり設備の設置作業に大きな影響はない。
- 屋外設備の周辺には圧縮空気供給ユニットの北側約6mに油処理装置があり、設備近傍に既設機器群A~Cが設置されている。



既設機器群A : 除染装置制御盤・動力盤・変電盤等
 既設機器群B : 除染装置用空気圧縮機・非常用発電機
 既設機器群C : 除染装置用ろ過水タンク・移送ポンプ等

屋内設備を設置する周辺環境について

- 設備の設置に必要な作業範囲での線量率は現状2.0～10.0mSv/h程度であるが、設備設置時には遮蔽等により雰囲気線量1.0mSv/h程度まで低下させることを計画中。
- 設置作業はマニピュレータ、ホースリール、ブースターポンプの設置及び移送配管の敷設が必要であるが、いずれも可能な限りのモジュール化を行い現地据付工程の削減を行う。
- 搬入から設置までのモックアップを行い据付時間の削減、作業員数の削減を行う。



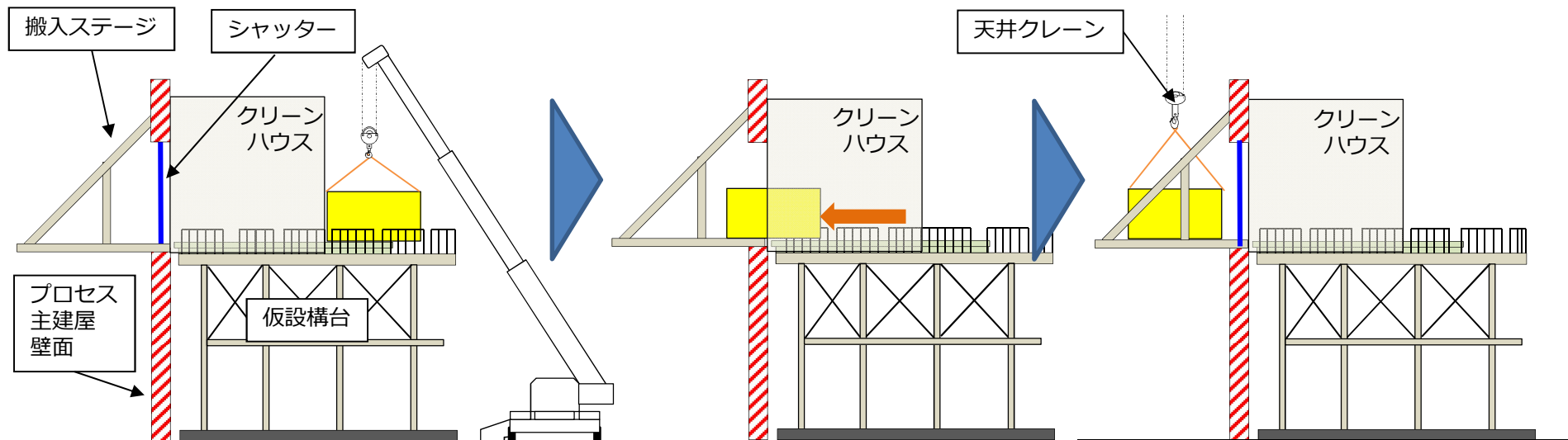
既設機器群D：「DAF（加圧浮上分離装置）」処理対象水に含まれるゴミ等を分離処理する。

既設機器群E：廃スラッジを移送するための昇降式ポンプ及びピットアクセス用のらせん階段

既設機器群F：「ディスクフィルタ」複数枚のフィルタパネルによって対象水の浮遊物質等を分離処理する

【参考】プロセス主建屋内への設備設置方法について

- 屋内設備は事前に設置した仮設構台と搬入ステージによりプロセス主建屋内へ搬入する。



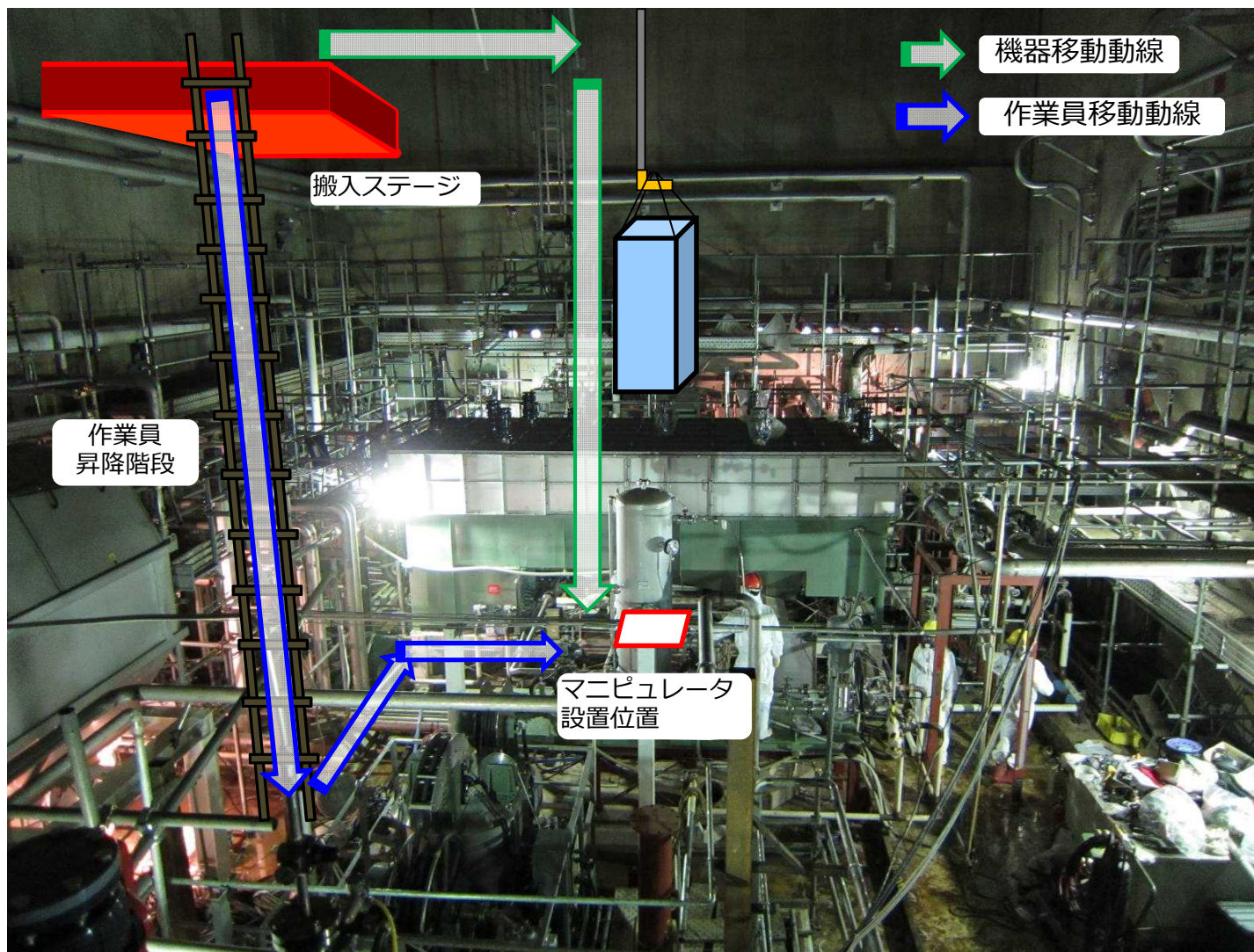
①屋内設備を仮設構台脇のクレーンにより仮設構台へ吊り上げ

②二重扉化したクリーンハウスを通じてプロセス主建屋内へ搬入

③建屋内の天井クレーンにより規定の場所へ移動・設置

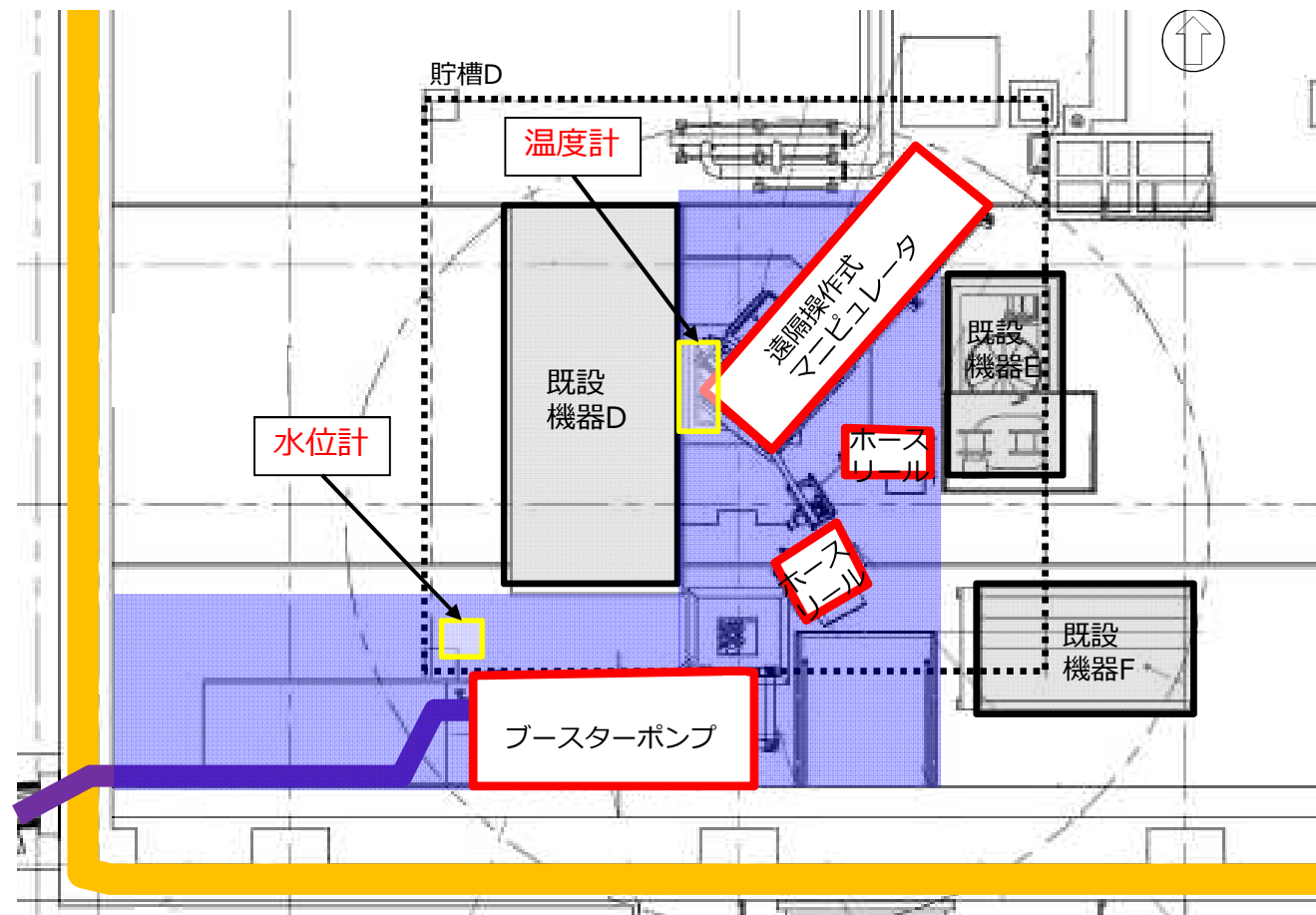
【参考】プロセス主建屋内への設備設置方法について

- 搬入ステージは作業員のプロセス主建屋内へのアクセス口を兼ねており、機器の搬入及び作業員の入退域を行う。



屋内設備の設置時に撤去が必要な既設機器

- 撤去する機器は設置予定場所に直接干渉する機器の他に作業性等を考慮して下記青ハッチング内機器を撤去する。
- 撤去する機器には「実施計画記載事項に係わる機器（貯槽D内温度計・水位計）」が含まれるため適切な安全対策等を実施した上で作業を行う。
- なお、廃棄物量については約42m³を想定し2022年度の廃棄物管理計画に反映予定。

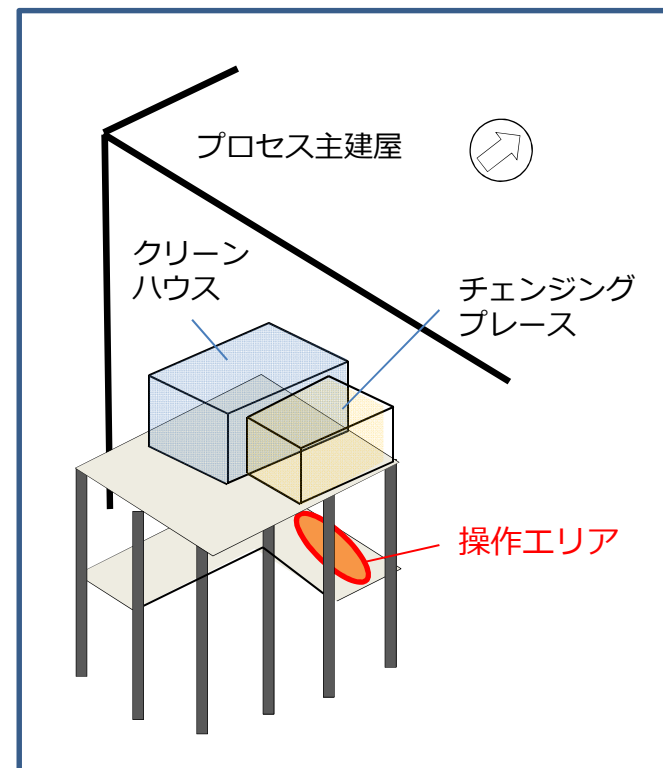


■ 干渉物の撤去方針

- 撤去は遠隔重機で行い、細断・運搬も可能な限り遠隔重機で実施する。
- 遠隔重機の操作は仮設構台の中2階にある操作エリアで行う。
- 原則、遠隔重機による撤去を実施するが、放射性流体を含む可能性のある配管を切断する際の水抜き、切断前の飛散防止用の受けの設置等の重要な作業は人力で実施する。
- そのため、作業員の被ばく低減のため、雰囲気線量の高い箇所には局所的に遮へいを設置することを検討している。

■ 撤去作業のモックアップについて

- 遠隔重機の性能確認及び作業習熟、作業員の練度向上を目的としたモックアップを計画中。



最小高さ 約1100mm
(最大リーチ約4m)



遠隔重機イメージ図



映像コントロールシステム

- 前頁処理設備の系統構成を踏まえて各コンテナ内のダスト対策における設計方針（管理区分）は下記のように設定する。
 - 『**ダスト取扱エリア**』
 - 処理プロセスの中で廃スラッジを非密封状態で取り扱う箇所（遠心分離機、保管容器（蓋閉めまで）、グローブボックス内）
 - 密封状態でも液位変動によりダストの発生が予想される箇所（各タンク内部、サンプリングポッド）
 - 『**ダスト管理エリア**』
 - 非密封状態でスラッジを取り扱うエリアと扉、換気口等により通じるエリア
 - ダスト取扱エリア、ダスト管理エリアの排気処理する設備を収納するエリア
 - 『**通常エリア**』
 - 廃スラッジを密封状態で取り扱う機器（各タンク内部、サンプリングポッド）を収納するエリア
 - ダスト取扱エリアの周囲であっても扉、換気口等によりエリアが通じておらず、ダストの移行が起こりえない箇所（境界がコンテナ壁面等）は通常エリアとする。
- 各エリアは万が一の漏洩に備えて、各コンテナ内の気圧は「ダスト取扱エリア<ダスト管理エリア<通常エリア」とし、差圧計等を用いて負圧維持状況を常時監視する。
- 廃スラッジ移送シュート部を除いて移送配管、電線管・計装配管含むコンテナ貫通部は全て気密処理を実施することにより各コンテナ内外への管理されない気流発生を防止する。
- ダスト閉じ込め機能に関わる設備（排風機、HEPA、ダストモニタ）および電源・制御系は2系列構成とし、多重化を図る。

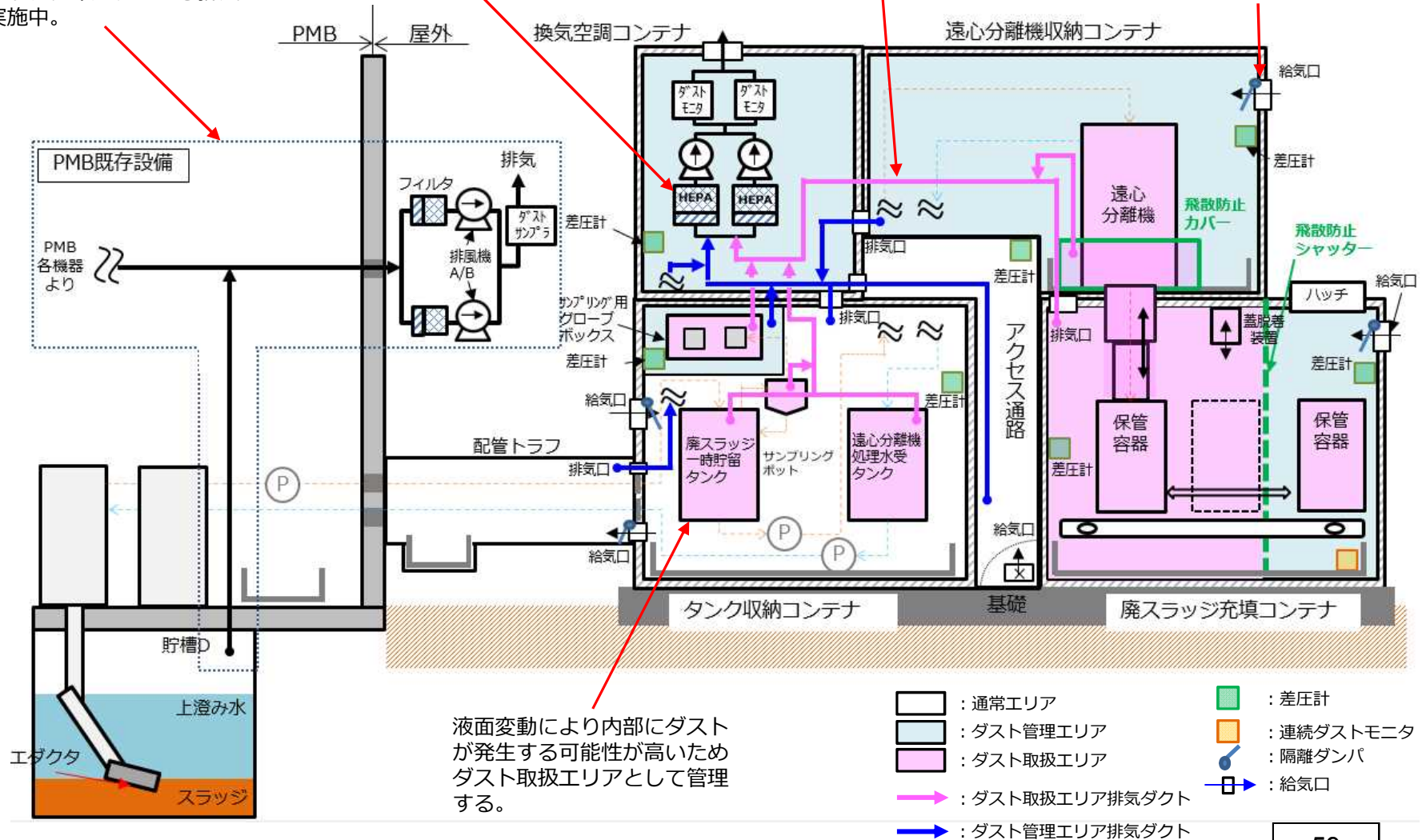
廃スラッジ回収設備の換気空調概略系統図

プロセス主建屋内は除染装置からの水素掃気換気を実施しており、フィルタによる排気を実施中。

排気設備にはHEPAを設置し環境条件を考慮した前処理を実施する。

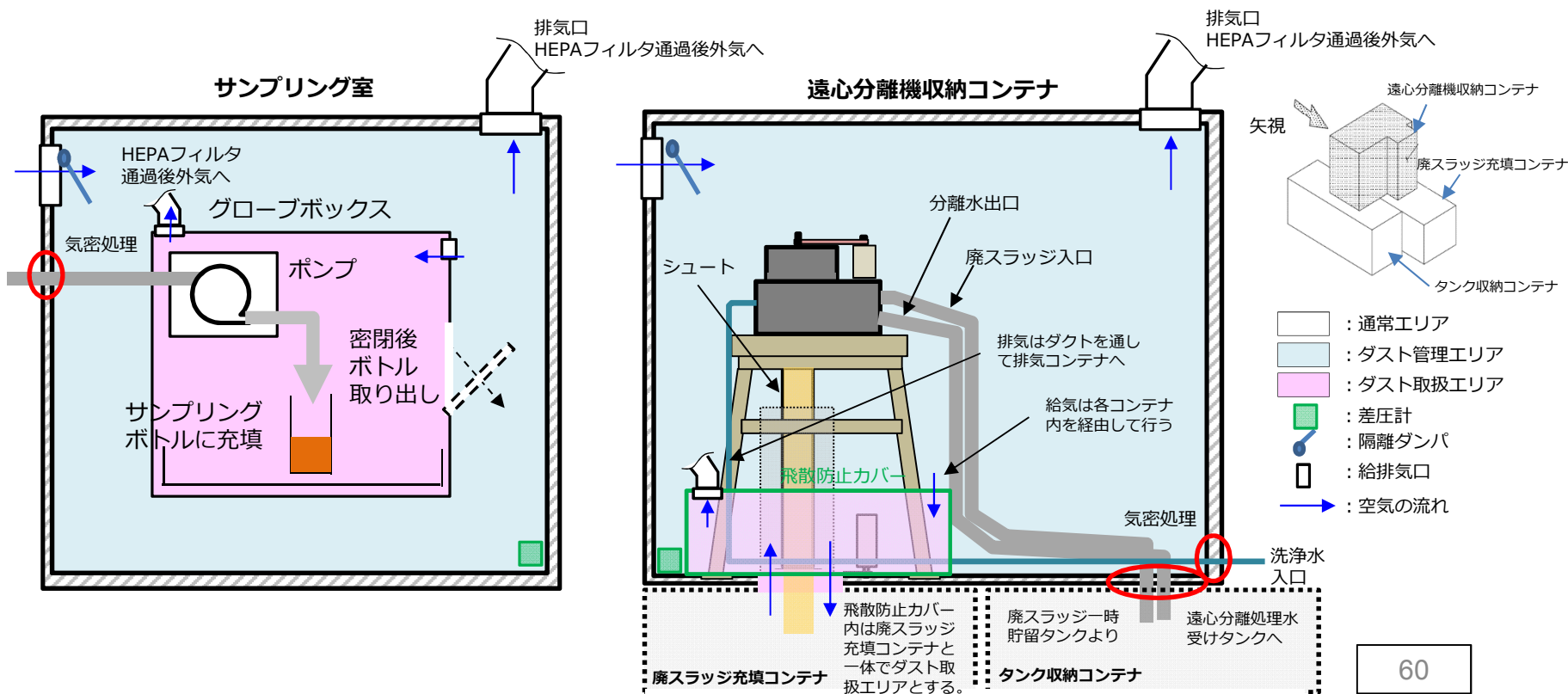
原則としてダスト取扱エリアの換気ダクトは通常エリアを経由させない。

給気は自然給気とし、各コンテナ入口にはグラビティダンパを設置し電源断時にダンパを閉とする。



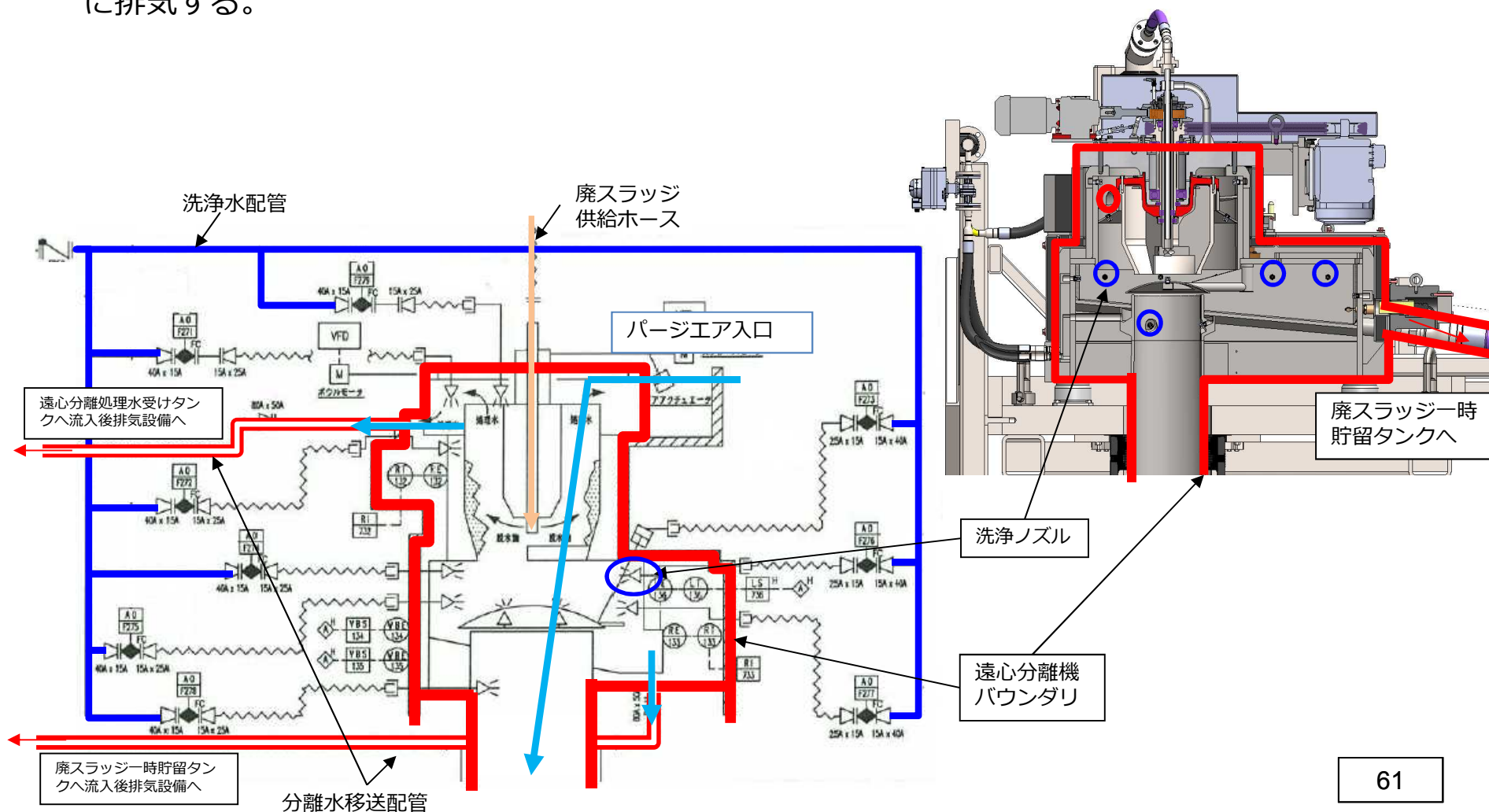
ダスト取扱エリアの設計方針について（サンプリング室、遠心分離機収納コンテナ）

- グローブボックス内にて廃スラッジ一時貯留タンクより移送された廃スラッジをサンプリングポッドを經由してサンプリング操作を実施する際に廃スラッジが非密封状態となるため、グローブボックス内部をダスト取扱エリア、外部をダスト管理エリアとして管理する。
- 遠心分離機は密封構造とし、軸封部からのダスト飛散防止のためにパージエアを常時供給しているが、構造上シュート部等からパージエアが流出する。
- シュート下部に飛散防止カバーを設置し、内部をダスト取扱エリア、飛散防止カバー外をダスト管理エリアとして管理する。
- スラッジ充填用のシュート部は機能的に密閉できないため、飛散防止カバー内は階下の廃スラッジ充填コンテナと連通した状態でダスト取扱エリアとして管理する。



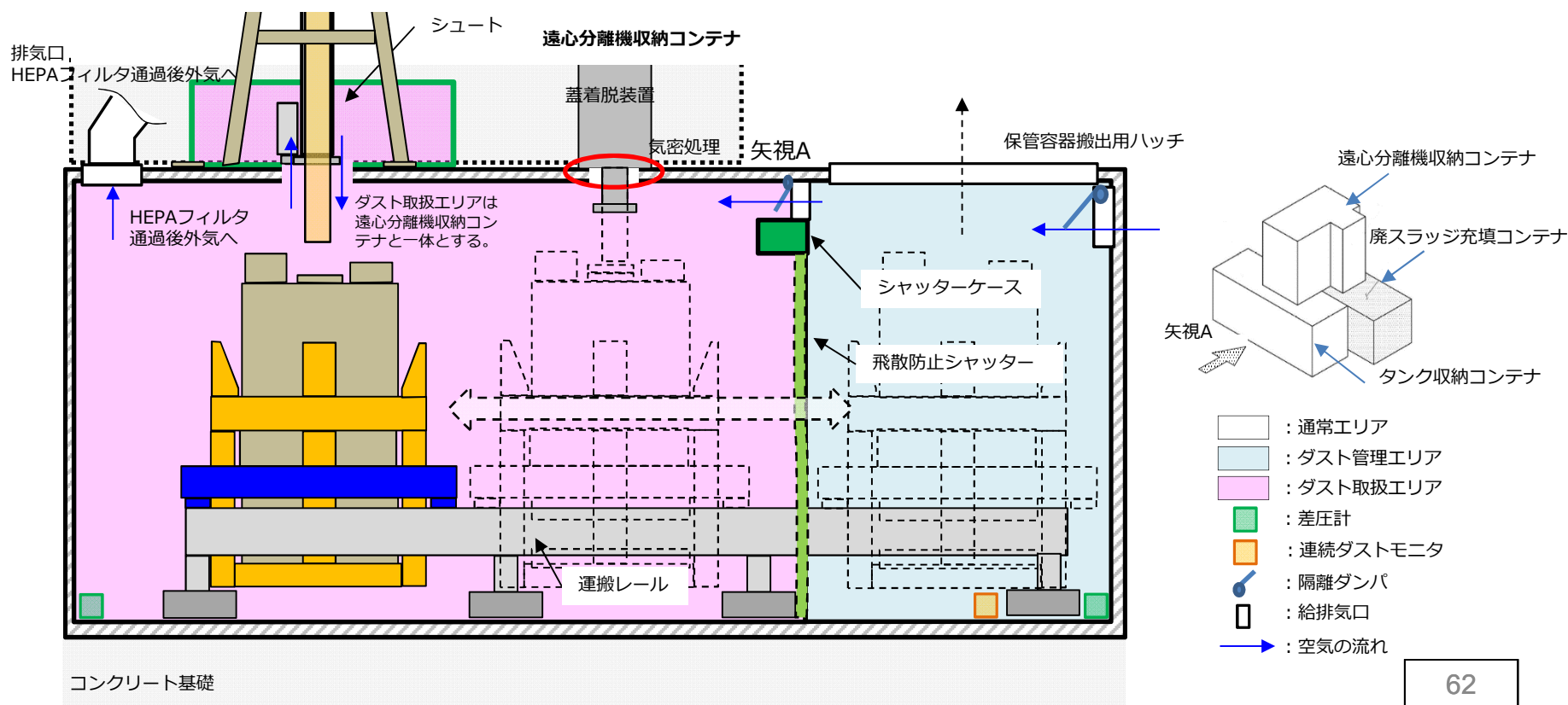
【参考】遠心機パージエアの詳細について

- 遠心分離機へ供給したパージエアは大部分がシュート下部より排出されるが、洗浄水配管及び分離水移送配管へ流入する可能性がある。
- 洗浄水配管は通常運転中は満水かつ弁によって閉止されており、ダストが配管を伝って外部へ流出することはなく、タンクへ流入する可能性のあるダストはベント管を通じて排気設備にて適切に排気する。



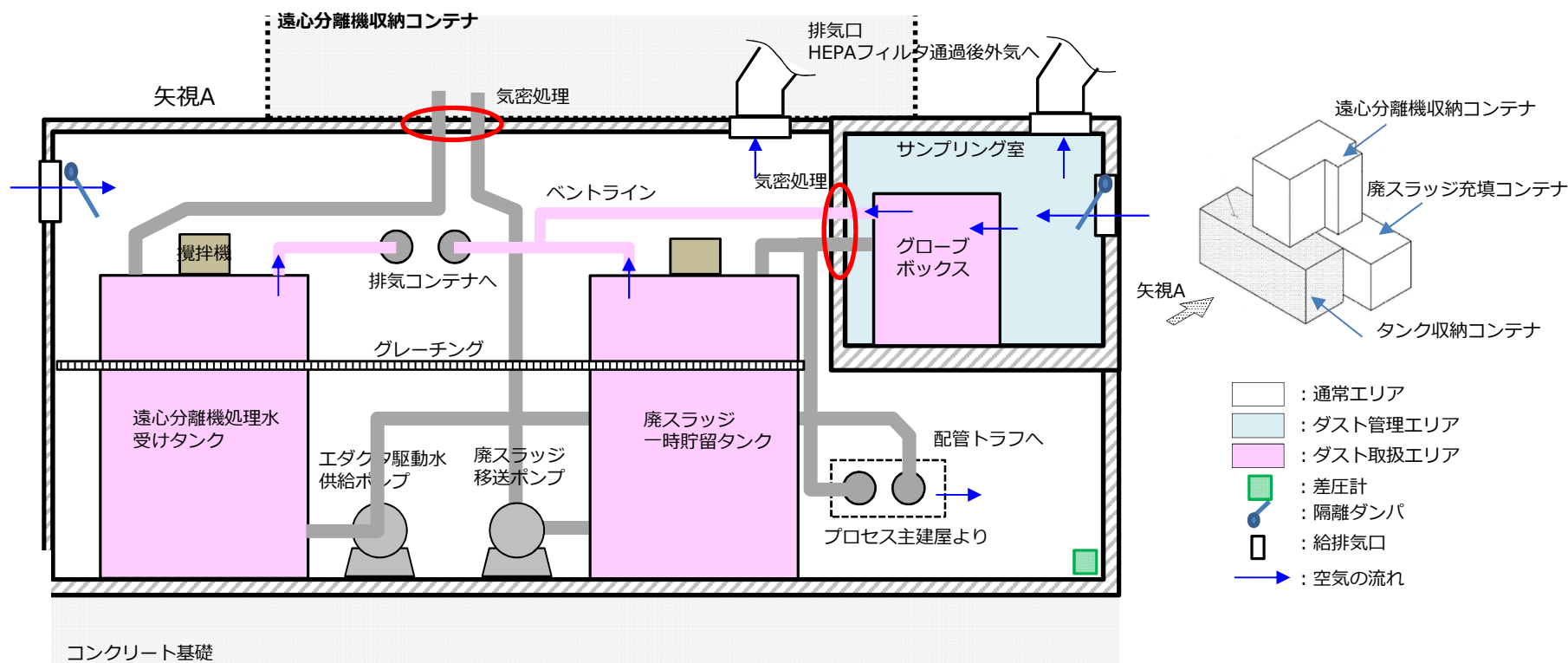
ダスト取扱エリアの設計方針について（廃スラッジ充填コンテナ）

- 脱水された廃スラッジは遠心分離機よりシュートを通じて直下の保管容器に充填する。廃スラッジが規定量に達するまで脱水⇒充填は繰り返され、規定量到達後に運搬レーンを移動し蓋着脱装置により密閉される。
- 廃スラッジ充填コンテナは飛散防止シャッターを挟んで容器に蓋を装着するまでのエリアを「ダスト取扱エリア」、蓋装着後のエリアを「ダスト管理エリア」として設定する。
- 保管容器は汚染検査を行い、ダスト管理エリアのダスト濃度が正常であることを確認し、上部の保管容器搬出用ハッチより搬出する。



ダスト取扱エリアの設計方針について（タンク収納コンテナ）

- Dピットより吸引された廃スラッジは廃スラッジ一時貯留タンクへ移送され、廃スラッジ移送ポンプにより遠心分離機へと供給され、脱水後の分離水は遠心分離機処理水受けタンクへと移送される。
- 各タンクは液面が変動するため内面に付着したスラッジがダストとなりベント管へ流出する可能性が高いため、タンク内部をダスト取扱エリアと設定し直接ベント管を排気設備へと接続する。
- タンク自体は溶接構造とし、攪拌機との接続部も密封するためコンテナ内部は通常エリアと設定する。

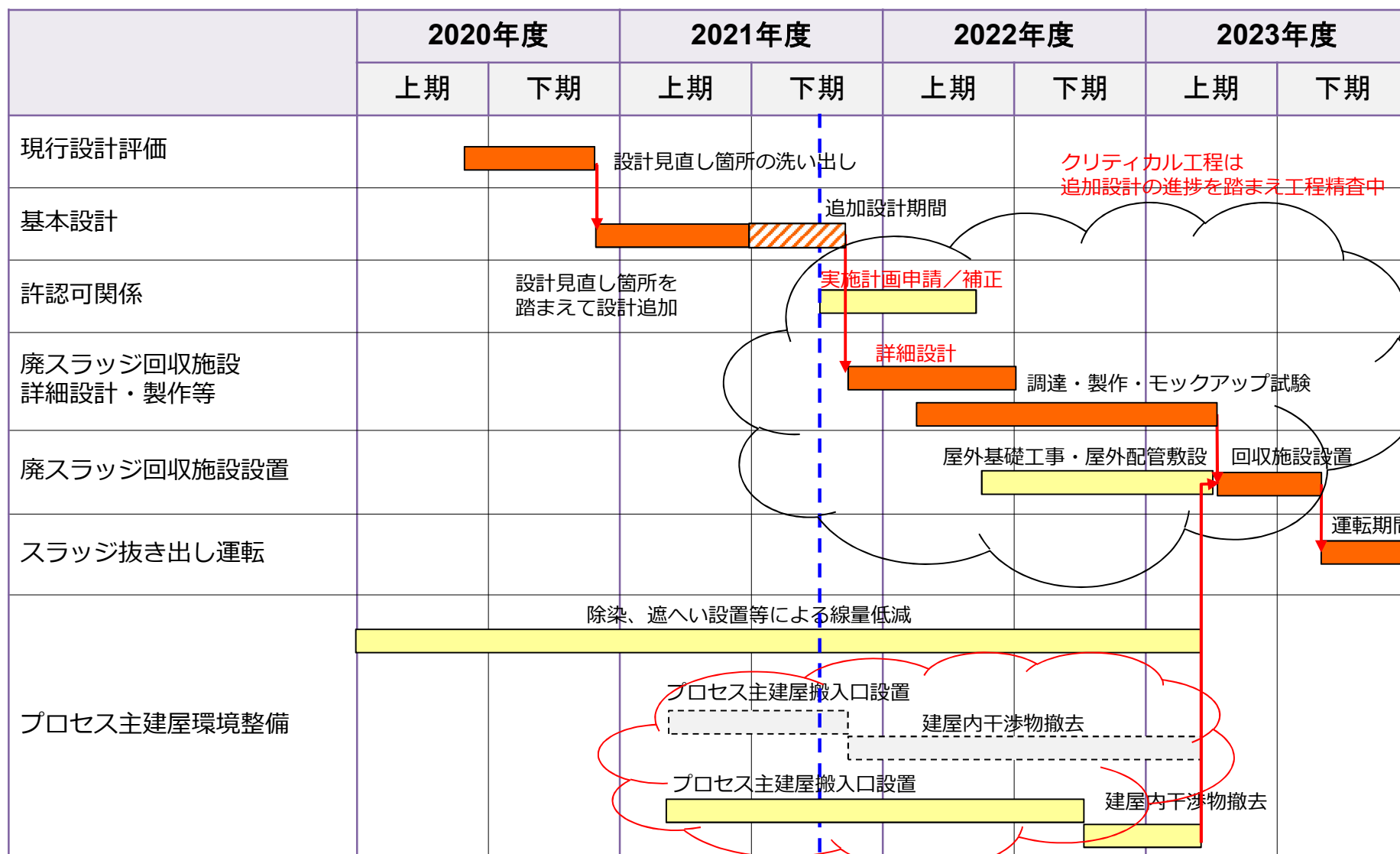


【参考】メーカー変更に伴う設計変更箇所

- メーカー変更に伴い、系統構成・機器仕様について再度成立性・合理性を検討した。
- その他にダスト対策に伴う設計変更を実施中であり、仕様が確定次第別途ご説明する。

| 項目 | 変更理由 | 変更内容 |
|---------------|---|--|
| ①廃スラッジ時貯留タンク | ・系統設計の見直しに伴い、処理日数等の運転バランスを再考し、タンク容量の変更を行った。 | ・廃スラッジ時貯留タンク 容量：3.0m ³ ⇒2.2 m ³ |
| ②遠心分離機処理水受タンク | ・各タンクの攪拌方法をより均質な攪拌と漏えいポテンシャルの低減を目的に機械式攪拌方式へ変更した。 | ・遠心分離機処理水受タンク 容量：2.0 m ³ ⇒2.2 m ³ ・タンク攪拌方式 エダクタ攪拌⇒機械式(プロペラ)攪拌 |
| ③廃スラッジ移送ポンプ | 回収する廃スラッジは凝集剤等の添加によりフロックを形成させており、遠心分離機での捕集効率向上のために可能な限りのフロックを活かすために移送方式、流量を変更とした。 | 廃スラッジ移送ポンプ 型式：遠心式⇒容積式(モノポンプ) 流量：5.1 m ³ /h⇒3.6 m ³ /h |
| ④サンプリング装置 | 保管容器毎に内部のインベントリ量や核種性状を正確に計測するためにサンプリング装置を設置 | 新規設置 |
| ⑤保管容器内部計測装置 | 従前の設計だと光学機器(カメラ)による目視確認のみとしていたが、より信頼性が高い超音波やレーザーを利用した計測方式へ変更した。 | 保管容器内部確認方法 監視カメラ⇒超音波レベル計 |

【参考】廃スラッジ回収施設設置に関する全体工程



クリティカル工程は追加設計の進捗を踏まえ工程精査中

実施計画申請/補正

詳細設計

調達・製作・モックアップ試験

屋外基礎工事・屋外配管敷設 回収施設設置

運転期間

除染、遮へい設置等による線量低減

プロセス主建屋搬入口設置

建屋内干渉物撤去

プロセス主建屋搬入口設置

建屋内干渉物撤去

■ : 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。