

令和3年度開始廃炉・汚染水対策事業費補助金 遠隔装置保守技術の開発

IHI

2021年7月～2023年3月事業成果 最終報告

2023年9月

株式会社 I H I

【目次】

1. 本事業の目的, 課題
2. 合理的保守作業の実現に向けた基本方針
3. 本事業の実施フロー
4. 国内外の類似事例の調査
5. 遠隔保守システムに関する要求事項の整理
6. 取り出し装置に対する反映事項の整理
7. 遠隔除染・保守の概念検討
8. 技術課題・開発要素の抽出
9. 補助事業のまとめ

1. 本事業の目的, 課題

IHI

- 1.1 事業目的
- 1.2 福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り出しの特徴
- 1.3 課題
- 1.4 課題の解決方針

1.1 事業目的

◆ 補助事業の名称

遠隔装置保守技術の開発

◆ 事業背景と目的

- 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けては、原子炉建屋（R/B）、原子炉格納容器（PCV）に存在する干渉物撤去技術、燃料デブリ取り出し工法の各種技術に係わる技術開発が進められている。
- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大においては、以下の観点から、装置の遠隔保守技術の確立が求められる。
 - 安全確実な燃料デブリ・炉内構造物の取り出しの継続
 - 廃棄物発生量の低減
 - 燃料デブリの取り出し～移送・処理～保管作業の全体最適化
- 燃料デブリの取り出し～移送・処理～保管に係わる一連のプロセスを考慮し、全体最適での遠隔除染・保守の概念を明確化する。
 - ✓ 保守内容に応じた、保守計画の提示
 - ✓ 遠隔除染・保守施設の概念の提示
- 具体的な開発要素とその優先順位の立案を実施する。

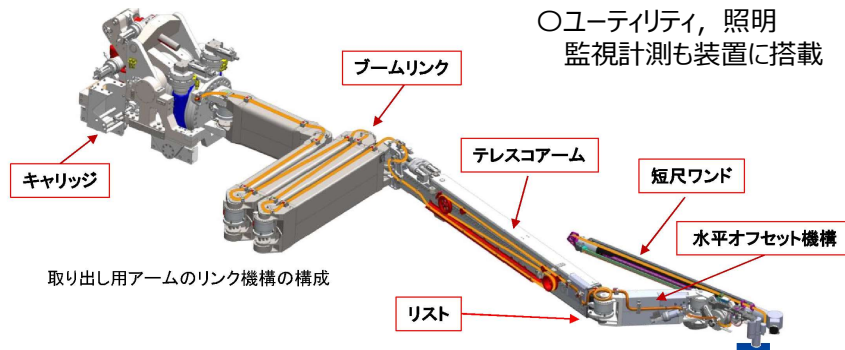
1.2 福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り出しの特徴

取り出しフェーズによる遠隔装置の違い

“段階的に規模を拡大する取り出し”と“取り出し規模の更なる拡大”においては、使用される遠隔装置の設計思想およびその保守・救援等に対する思想が大きく異なる。

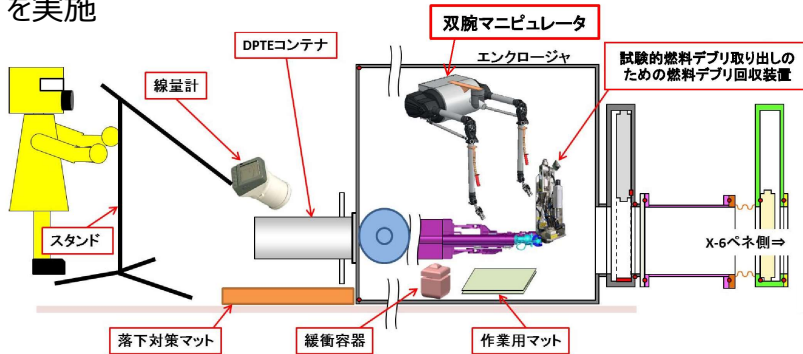
段階的に規模を拡大する取り出し

- PCVに侵入して作業を行う遠隔装置の種類は限定的



出典: IRID; H29年度, H30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」令和元年度報告会(報告資料), 令和2年8月, 公開資料

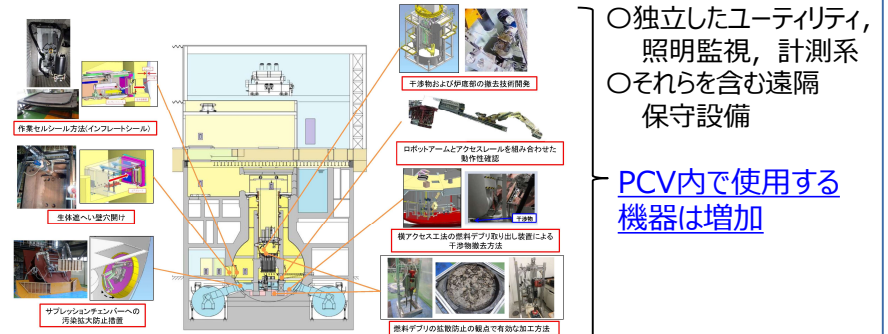
- これらの装置の異常時の救援・保守・保管・廃棄は、個別に設計を実施



出典: IRID; H29年度, H30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」令和元年度報告会(報告資料), 令和2年8月, 公開資料

取り出し規模の更なる拡大

- 号機によって、様々な遠隔装置が導入される

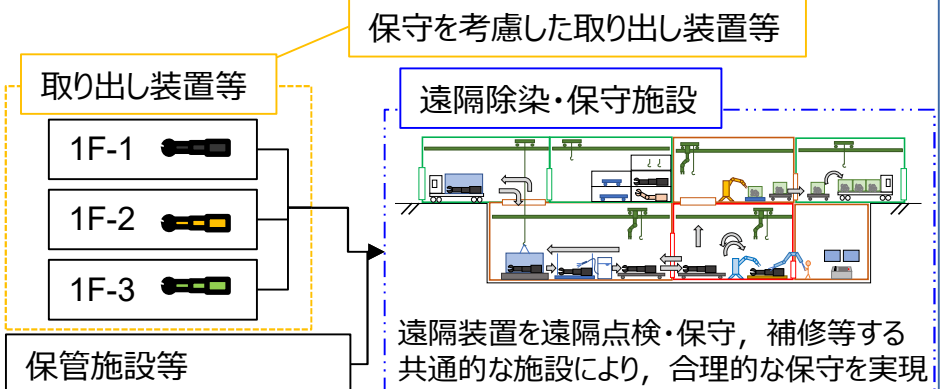


出典: IRID; 平成30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発」2020年度報告会(報告資料), 2021年8月, 公開資料

- 保守の共用化, 現場投入した遠隔装置の点検・保守, 故障時の補修を合理的に設計することが重要視されている。

⇒ 遠隔装置の点検・保守, 故障時の補修等を行う共通的な

設計思想が必要

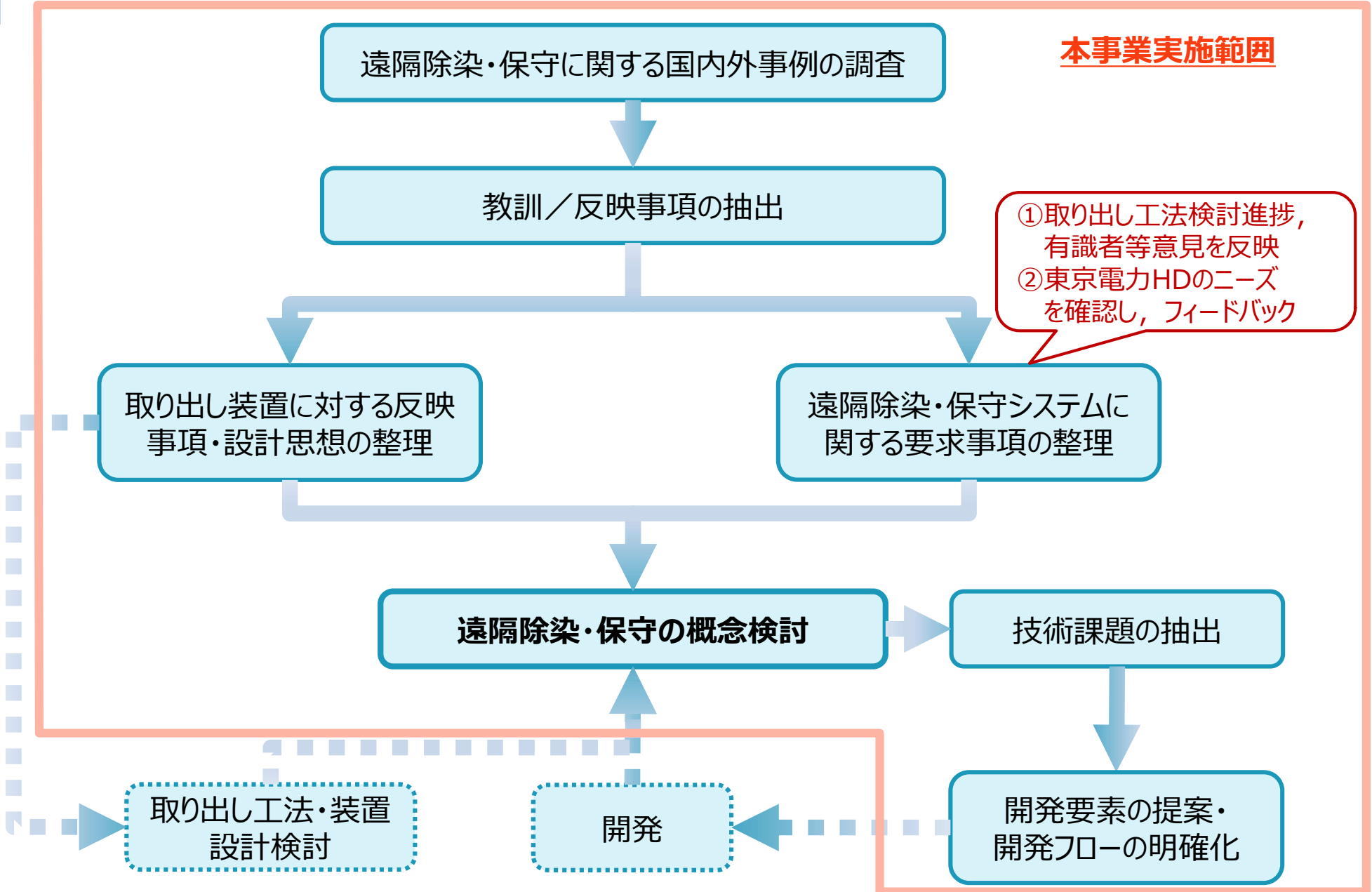


【遠隔保守作業の必要性】

- 燃料デブリ取り出しに使用される装置・機器は高度に汚染されるために、合理的に計画された遠隔操作による保守作業や除染作業が必要になる。

【遠隔保守設計思想の統一，遠隔保守作業の合理化】

- 1号機から3号機の各号機の工事に共通利用できるようなユーティリティ，照明監視，計測などの機器の仕様や保守手順（動線の取り方，施設の共通化）
- 日常的な点検や軽微な保守は取り出し設備内で実施し，本格的な保守は保守施設で行う等，作業レベルに応じた保守作業の具体化
- 保守期間中も燃料デブリ取り出しを継続するための容易な保守や交換
- 保守対象となる燃料デブリ取り出し装置・機器の保守を念頭に置いた設計



1.5 本事業の実施体制

<実施体制>

補助事業者

東京電力ホールディングス株式会社

本事業では福島第一原子力発電所の現場情報や遠隔保守施設のニーズ提供およびユーザー視点での改善点等の助言を実施。

株式会社IHI

原子力事業に対して60年以上の実績があり、軽水炉プラントへの豊富な建設／機器供給実績がある。福島第一原子力発電所においても豊富な工事实績があり、建屋内部の機器配置や現場状況に精通している。また、六ヶ所再処理工場の高レベル廃液ガラス固化建屋の設計・建設・試運転の経験を有し、[遠隔作業に関する総合エンジニアリング力を備えている](#)。本事業では[全体とりまとめを実施](#)。

代表企業（ORANO）：技術調査 / 遠隔保守施設の概念検討評価

リサイクル、核燃料の輸送、廃止措置およびプロジェクトの各部門を有し、50年以上に渡り日本の原子力産業のパートナーとして、使用済み燃料の管理、MOX燃料の提供、再処理工場の運転支援、廃止措置と廃棄物管理、および福島復興事業に携わる。本事業においては、ラアーグ再処理基地の[遠隔除染・保守技術に関する知見・経験の提供](#)および「[遠隔保守施設の概念検討](#)」に対する評価を実施。

代表企業（ONET）：技術調査 / 遠隔保守施設の概念検討評価

40年以上にわたり仏の原子力エネルギー分野の主要企業をサポートしており、原子力の保守・点検や除染・廃炉・放射性廃棄物対策等に係るエンジニアリング実績を有する。本事業においては、海外プラントの[遠隔除染・保守技術に関する知見・経験の提供](#)および「[遠隔保守施設の概念検討](#)」に対する評価を実施。

代表企業（青森プラント）：遠隔保守施設の概念検討評価

国内の原燃サイクル再処理施設およびその周辺機器の保守メンテナンス工事の実績を有する。本事業においては、「[遠隔保守施設の概念検討](#)」に対する評価（現場視点）を実施。

2. 合理的保守作業の実現に向けた基本方針

IHI

- 2.1 合理的保守作業の実現に向けた基本方針
- 2.2 燃料デブリ取り出し装置類の保守の考え方

作業レベルに応じた保守

- 保守作業の難度と頻度により、保守作業を分類し、作業のレベルに応じて適切な場所、設備にて保守作業を行う
例) 高頻度に行う保守は、取り出し設備内（セル内）で実施し、高度な本格的保守は、対象部位を保守施設へ移送して実施
- この作業レベルに応じた保守思想を各遠隔装置に対し共通化する

遠隔保守を容易にする装置設計

- 保守対象部を遠隔保守を容易にする構造にし、それを各遠隔装置に対し共通の仕様とする
- 保守対象部をモジュール化し、装置からの着脱、搬送を容易にする

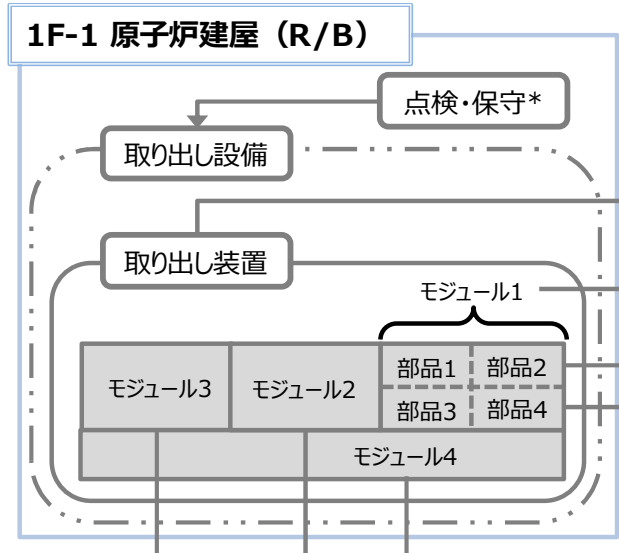
保守手順の共通化

- 多種多様な遠隔装置に対して受入れ、保守が可能な共通利用可能な保守設備とする
- そのために移送動線や保守手順、遠隔装置取り合い部の仕様等を共通化する

2.2 燃料デブリ取り出し装置類の保守の考え方

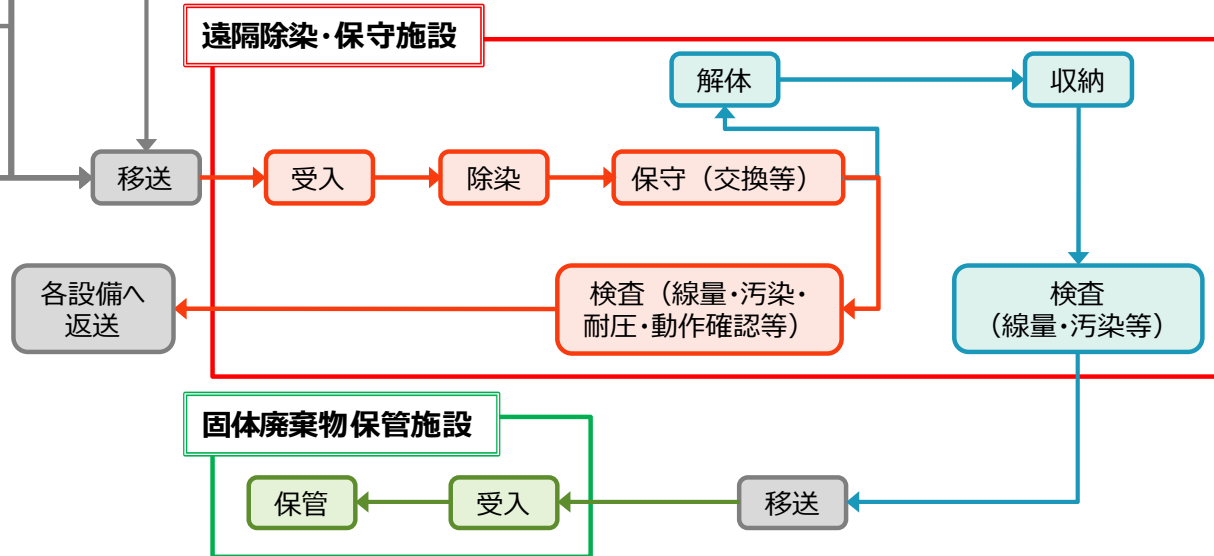
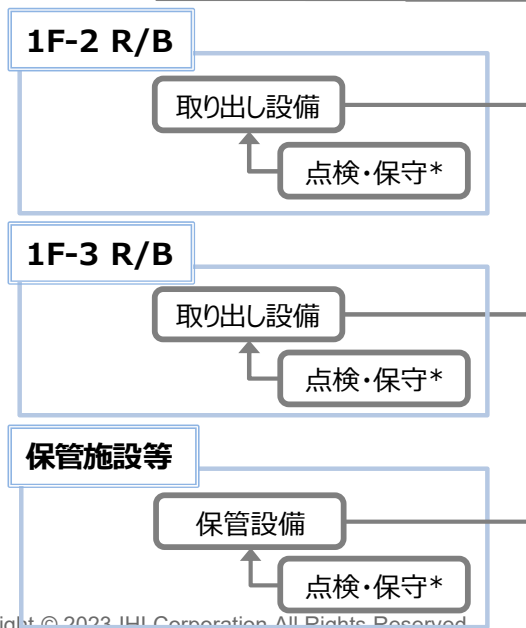
保守動線の全体イメージ

- ✓ 1F-1/2/3の各号機の燃料デブリ取り出し装置および保管施設等で使用されている機器は、保守の作業レベルに応じて、保守エリアを選択する。



【保守動線概略】

- 日常的な点検・軽微な保守等は、取り出し設備内（セル内）等
で実施
- 本格的な保守は、対象となる装置一式、モジュール、または部品
単位で保守施設へ移送して実施
- 保守作業で発生した廃棄物（交換前のモジュール等）は、保守
施設内で解体、収納、検査の後、固体廃棄物保管施設へ移送



*：装置一式／モジュール／部品等への日常的な点検や軽微な保守等は、取り出し設備内（セル内）等で行う。

3. 本事業の実施フロー

IHI

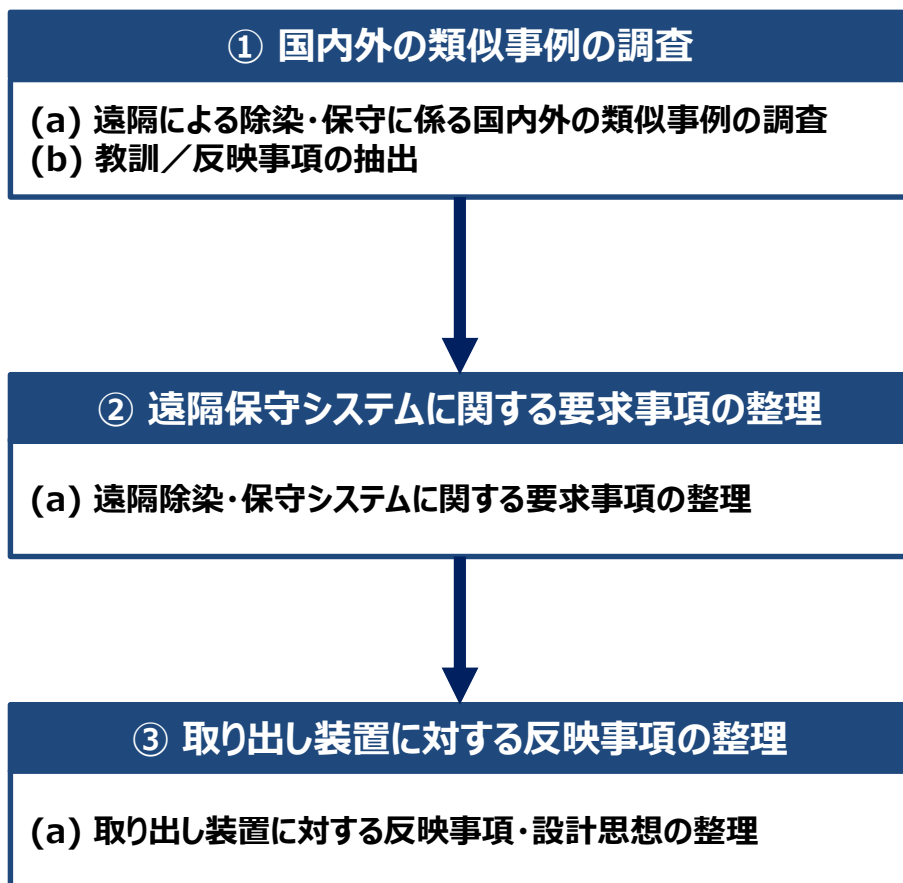
3.1 本事業の実施フロー

3.1 本事業の実施フロー

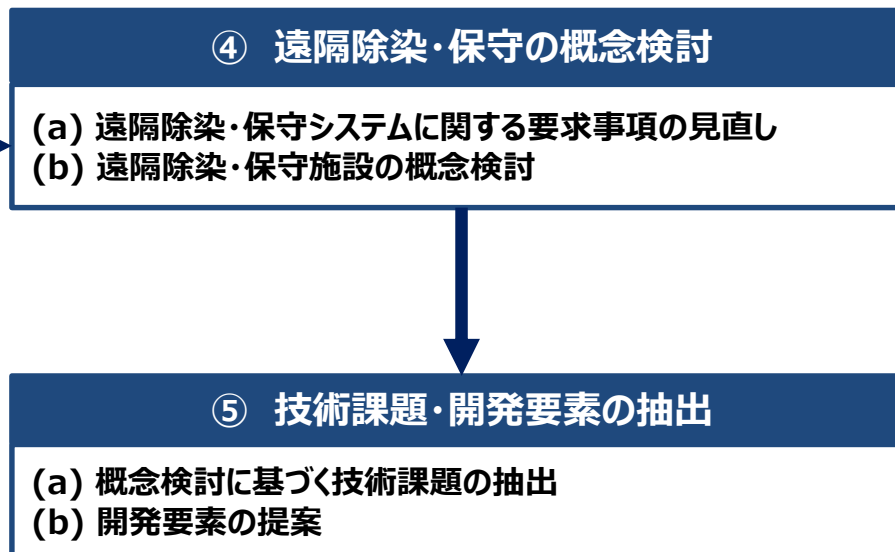
- 以下のフローにて研究開発を進める。検討にあたっては、これまでの補助事業の成果※を踏まえ、①～③にあたっては工法・装置によらず、広く適用可能なものを国内外の類似実績等も踏まえながら、調査・設計を行う。
- ④～⑤は有識者等からの意見および廃炉進捗を踏まえ、検討の方向性を協議した上で設計思想の具現化および今後の技術課題について整理する。

◆ 実施項目

<2021年度実施内容>



<2022年度実施内容>



(※) 関連補助事業

「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化」(2017・2018年度)事業
「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化」(2017・2018年度)事業
「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発」(2019・2020年度)事業

4. 国内外の類似事例の調査

IHI

4.1 遠隔による除染・保守に係る国内外の類似事例の調査

4.1.1 調査対象の選定基準の整理

4.1.2 調査対象一覧

4.1.3 調査方針の整理

4.1.4 調査結果

4.2 教訓／反映事項の抽出

【目的】

遠隔保守システムおよび燃料デブリ取り出し装置に対する要求事項を整理する際の参考とするために、長期的運用が行われている国内外の原子力関連施設等における類似事例を調査・評価し、教訓／反映事項を抽出する。

【調査対象とする遠隔装置と保守設備の要件】

- 高線量環境下で使用されていること
- 非密封線源下で使用されていること
- 長期間の運用を前提としていること
- 比較的大型のホットセル内に設置され、主にセル内にて作業を行うこと

注：上記全てを満足しない場合でも、類似項目がある場合は調査対象とした。

4.1.2 調査対象一覧（1/2）

14件の調査対象に対して調査を実施した。うち、3件（#9～#11）は文献調査。

表4.1.2 調査対象

#	国	分類	調査対象	施設	選定理由／調査概要
1	日本	再処理	JNFL六ヶ所	高レベル廃液ガラス固化施設	<ul style="list-style-type: none"> 高線量かつ高汚染環境での運転を前提とした遠隔操作・保守施設 IHIが設計・建設・保守を担当し、内容を熟知
2			JAEA東海	ガラス固化施設（TVF）	<ul style="list-style-type: none"> 高線量かつ高汚染環境での運転を前提とした遠隔操作・保守施設 IHIが設計・建設・保守を担当し、内容を熟知
3	米国	再処理 D&D PIE	US DOE施設	<ul style="list-style-type: none"> - Hanford - INL - ORNL 	<ul style="list-style-type: none"> 高線量かつ高汚染環境での運転を前提とした遠隔操作・保守施設 US DOE施設に精通する米国エンジニアに調査を委託・ヒアリングし、情報を入手
4		D&D	TMIサイト	TMI-2号炉	<ul style="list-style-type: none"> 1Fと同様、事故により想定外の高線量かつ高汚染環境での作業・保守が必要となった施設。作業内容も1Fに類似 TMI-2号炉のクリーンアップ作業に従事した米国エンジニアに調査を委託・ヒアリングし、情報を入手
5	英国	再処理	NDA施設	Sellafield - ガラス固化施設（WVP）	<ul style="list-style-type: none"> 高線量かつ高汚染環境での運転を前提とした遠隔操作・保守施設 WVPの設計建設を担当したエンジニアリング会社に調査を委託し、情報を入手
6	仏国	再処理 D&D PIE	La Hague (ORANO)	<ul style="list-style-type: none"> - ガラス固化施設（R7/T7） - 共用保守施設（AD1/BDH） 	<ul style="list-style-type: none"> 高線量かつ高汚染環境での運転を前提とした遠隔操作・保守施設 施設の運転会社であるORANO社およびCEAのD&Dを担当するエンジニアリング会社に調査を委託・ヒアリングし、情報を入手
7			Marcoule (CEA)	<ul style="list-style-type: none"> - PHENIX - IZOS - APM 	
8			Cadarache (CEA)	- LECA STAR	

4.1.2 調査対象一覧 (2/2)

#	国	分類	調査対象	施設	選定理由／調査概要
9	米国	核融合	核融合炉研究施設	ORNL - Compact Ignition Tokamak (CIT)	<ul style="list-style-type: none"> 放射化した機器の遠隔保守検討がなされている 文献調査により保守における有用情報を抽出
10	-	-	原子力全般	文献調査 「高放射性物質取扱施設 設計マニュアル」	<ul style="list-style-type: none"> 高放射性物質を取り扱う施設設計の考え方を体系的に網羅 文献調査により保守における有用情報を抽出
11	-	-	原子力全般	「Design Guides for Radioactive Material Handling Facilities & Equipment」	<ul style="list-style-type: none"> 高放射性物質を取り扱う施設設計の考え方を体系的に網羅 文献調査により保守における有用情報を抽出
12	-	-	宇宙, 深海, ケミカル など極限環境	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙: 国際宇宙ステーション (ISS) 海洋: 海流発電システム 製鉄所 	<ul style="list-style-type: none"> 極限環境における遠隔保守作業の類似性や, 多種多様な保守対象機器を扱う事例として, 保守に関する有用情報を抽出 IHIの関連事業部から極限環境に関する情報を収集
13	日本	D&D	東電HD-1Fサイト	<ul style="list-style-type: none"> 3号機燃料取扱設備 (FHM+クレーン) 2号機遠隔操作重機 (BROKK400D) ガレキ撤去用ツール 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fで実際に高線量, 汚染環境で使用された遠隔操作・保守施設・設備 東電HDから1Fサイトでのこれまでの遠隔作業の情報を収集
14	日本	D&D	東電HD-1Fサイト	<ul style="list-style-type: none"> 2号基小規模燃料デブリ取り出し装置 (検討事例) 	<ul style="list-style-type: none"> 1Fでの燃料デブリ取り出しを対象とした機器の検討事例 公開情報から先行検討事例である小規模燃料デブリ取り出し装置に関する情報を収集

4.1.3 調査方針の整理

調査対象を選ぶにあたり、下記の8つの項目と主な着目点を設定した。

表4.1.3 調査項目と主な着目点

調査項目	主な着目点
① 調査対象の抽出・整理	施設設置の目的, 保有設備など
② 保守設計思想 (直接保守/遠隔保守)	遠隔保守と直接保守の仕分けの考え方, 「交換」と「補修」のバランスなど
③ 保守対象および作業内容 (単品/モジュール)	保守が必要な範囲, 作業内容など
④ セル配置・動線	搬出入動線を考慮したセル配置の工夫など
⑤ 遠隔設計要素 (装置構造)	保守用機器の工夫, 保守対象機器 (ボルト, ケーブル, コネクタなど) の工夫
⑥ 標準化・基準化	保守施設内で使用する装置仕様の共通化など
⑦ 保守対象部品の入手性	特注品と市販品のバランスに対する配慮など
⑧ 教訓	トラブルから得られた教訓など

4.1.4 調査結果

高線量・汚染環境での保守思想・事例・教訓など，多くの有益情報を得た。

#	国	分類	①調査対象の抽出・整理	②保守設計思想（直接保守/遠隔保守）	③保守対象・作業内容（単品/モジュール）	④セル配置・動線	⑤遠隔設計要素（装置構造）	⑥標準化・基準化	⑦保守対象部品の入手性	⑧教訓	
1	日本	再処理	JNFL高レベル廃液ガラス固化施設	○	○	○	○	○	○	○	
2			JAEA東海ガラス固化施設（TVF）	○	○	○	○	○	○	○	
3	米国	再処理 D&D PIE	US DOE施設 （Hanford, INL, ORNL）	○	○	○	○	○	○	○	
4			D&D	TMI-2	○	○	○	○	○	○	○
5	英国	再処理	Sellafield - ガラス固化施設（WVP）	○	○	○	-	-	-	○	
6	仏国	再処理 D&D PIE	La Hague - ガラス固化施設（R7/ T7） - 共用保守施設（AD1/BDH）	○	○	○	○	○	○	○	
7			Marcoule - PHENIX, IZOS, APM	○	○	○	○	○	○	○	○
8			Cadarache - LECA STAR	○	○	○	○	-	○	○	
9	米国	核融合	Compact Ignition Tokamak (CIT)	○	○	○	○	-	-	-	
10	-	文献/設計ガイド	「高放射性物質取扱施設設計マニュアル」	○	○	○	○	-	-	○	
11	-	文献/設計ガイド	「Design Guides for Radioactive Material Handling Facilities & Equipment」	○	○	○	○	○	-	-	
12	-	極限環境	国際宇宙ステーション，海流発電システム，製鉄所	○	○	○	○	○	○	○	
13	日本	D&D	1F3-燃料取扱設備(FHM+クレーン),1F2-遠隔操作重機，瓦礫撤去ツール	○	○	○	○	○	○	○	
14	日本	D&D	2号基燃料デブリ取り出し装置（検討例）	○	○	○	-	-	-	-	

4. 国内外の類似事例の調査

IHI

4.1 遠隔による除染・保守に係る国内外の類似事例の調査

4.2 教訓／反映事項の抽出

4.2.1 調査結果に対する1Fへの適用性評価基準の整理

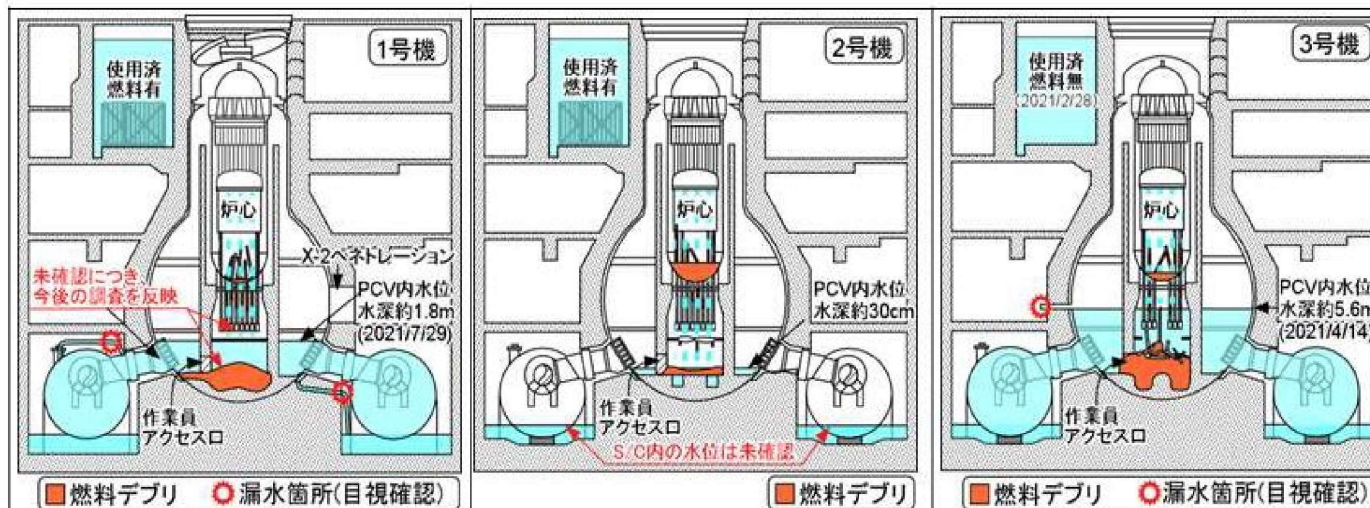
4.2.2 調査結果の評価(個別案件毎)

4.2.3 調査結果の評価(まとめ)

4.2.1 調査結果に対する1Fへの適用性評価基準の整理 (1/4)

(1) 1Fで想定される燃料デブリ取り出し作業と環境条件・制約条件

- 1～3号機でそれぞれ建屋内の環境や燃料デブリの状態（分布等）が異なる。
- これにより、燃料デブリの取り出し装置の構成・仕様に違いが出てくることが想定される。



	1号機	2号機	3号機
炉心部	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし (外周部に切り株状燃料の残存の可能性あり)	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし
RPV底部	・RPV底部に少量の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に多くの燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に一部の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在
PCV底部 (A°ペダスタル内側)	・ペダスタル内側床面に大部分の燃料デブリが存在	・ペダスタル内側床面に一定量の燃料デブリが存在	・ペダスタル内側床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在
PCV底部 (A°ペダスタル外側)	・作業用出入口を通してペダスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性あり	・作業用出入口を通してペダスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性は小さい	・作業用出入口を通してペダスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性があり
作業現場の線量*	・R/B 1階X-6ペネトレーション周りの線量が高い(630mSv/h)。	・R/B 1階の線量は全体的に約5mSv/hまで低減している。	・R/B 1階の線量は数～数十mSv/h以上であり、線量が高い。

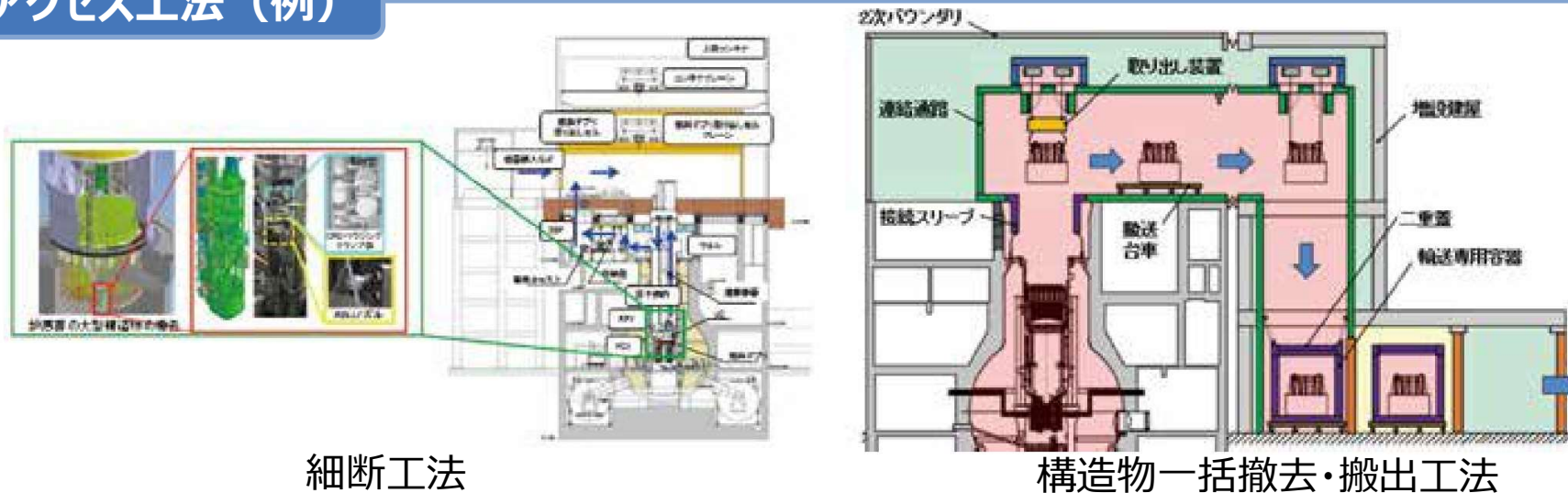
出典：NDF：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021 2021年10月29日、公開資料

4.2.1 調査結果に対する1Fへの適用性評価基準の整理 (2/4)

(1) 1Fで想定される燃料デブリ取り出し作業と環境条件・制約条件

- “取り出し規模の更なる拡大”においては、上アクセス工法・横アクセス工法に関する技術開発が進められており、これらが将来的に活用されることを想定

上アクセス工法 (例)

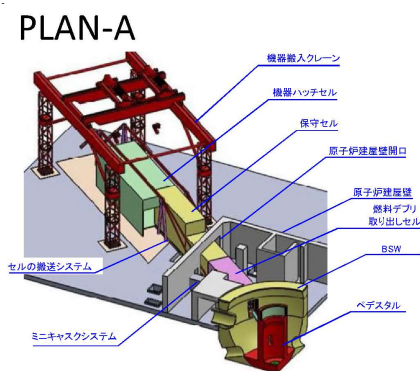


細断工法

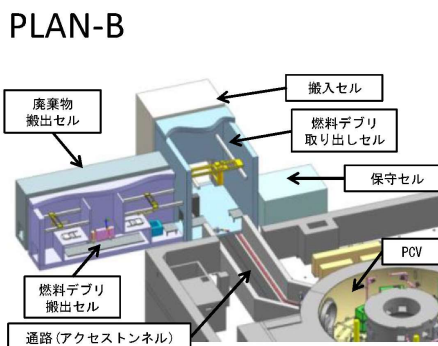
構造物一括撤去・搬出工法

出典: IRID; 廃炉研究開発の推移 IRID2021パンフレット, 公開資料

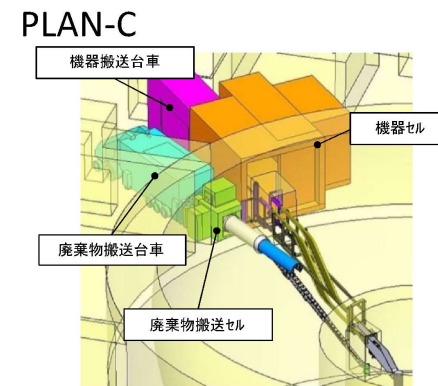
横アクセス工法 (例)



- ・X-6ペネからアクセス
- ・大型アーム使用



- ・機器ハッチからアクセス
- ・複数の作業装置を使用



- ・X-6および新開口からアクセス
- ・装置搬入・廃棄物搬出の動線を別系統

4.2.1 調査結果に対する1Fへの適用性評価基準の整理 (3/4)

(1) 1Fで想定される燃料デブリ取り出し作業と環境条件・制約条件

- 教訓／反映事項の抽出は，“1Fの持つ特殊性”と“リスク低減のための5つの基本的考え方”を念頭に実施。1Fの持つ特殊性のうち、キーポイントを類似性の抽出へ展開。

福島第一原子力発電所の持つ特殊性

- ✓ 多量の放射性物質が通常にない様々な形態（非定型）で非密封状態にあること
- ✓ 放射性物質を閉じ込める障壁が完全でないこと
- ✓ 放射性物質や閉じ込め障壁の状況等に大きな不確かさがあること
- ✓ 現場へのアクセスや現場情報を得るための計装装置の設置が困難であること
- ✓ 現状の放射線レベルが高く、また閉じ込め障壁等の更なる劣化が懸念されることから廃炉を長期化させない、時間軸を意識した対応が必要なこと



キーポイントを
類似性抽出へ
展開

出典：NDF；東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021について、2021年10月29日、公開資料

リスク低減のための5つの基本的考え方

- ✓ 基本的考え方1：安全 放射性物質によるリスクの低減*及び労働安全の確保
(*環境への影響及び作業員の被ばく)
- ✓ 基本的考え方2：確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術
- ✓ 基本的考え方3：合理的 リソース（ヒト、モノ、カネ、スペース等）の有効活用
- ✓ 基本的考え方4：迅速 時間軸の意識
- ✓ 基本的考え方5：現場指向 徹底した三現主義（現場、現物、現実）

出典：NDF；東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2016(要旨)、2016年7月、公開資料

4.2.1 調査結果に対する1Fへの適用性評価基準の整理（4/4）

(2) 1Fの遠隔保守システム・燃料デブリ取り出し装置への反映事項の評価項目の設定

- 福島第一原子力発電所（1F）の燃料デブリ取り出しにおける遠隔装置（保守対象装置）およびそれらの保守設備に対する要求事項の整理にあたり、調査結果より得られた事項の要求事項への反映要否、反映の優先度等を見極めるために、各調査結果を主に以下の評価項目に基づき評価する。
- A) 類似性・・・ 1F燃料デブリ取り出し（環境，施設，装置等）との類似性
 - B) 安全性・・・ （1F燃料デブリ取り出しに適用する場合の）作業安全，被ばく低減，汚染拡大防止等を考慮した安全性
 - C) 確実性・・・ 確実性（信頼性）のある手段・方法であること
 - D) 迅速性・・・ 準備，運用等における時間の観点での評価
（準備に多大な期間を要する，長期間取り出し作業が中断する等）
 - E) 合理性・・・ コストや運用面の観点での合理性
 - F) 現場指向性・・・ オペレータフレンドリーであること，実運用の容易性が考慮されていること

4.2.2 調査結果の評価（個別案件毎）

- 各調査結果（14件）の詳細については、他社の機微情報を含むため、重要なエッセンスのみを抽出したまとめを次ページ以降に示す。

4.2.3 調査結果の評価（まとめ）（1/4）

【調査結果のまとめと得られた主な反映事項】

1 F遠隔・保守システムを設計する上で重要と考えられる、主な反映事項を整理した。これらの反映事項を参考に、1F遠隔・保守システムの要求事項を整理する。

- 調査項目② 保守設計思想（直接保守/遠隔保守）（1/2）（保守に関連する事項）
 - ✓ 保守作業は、線量・汚染レベルに応じて遠隔保守／直接保守の組合せで実施している。
 - ✓ 遠隔保守：重要な監視ツールとしてカメラ、マイクが多用されている。（ほぼ全ての事例）
 - ✓ 直接保守：汚染レベルが設定した上限を超える場合は除染、養生、部分遮蔽により作業が実施される。（汚染がある事例全て、設計ガイド）
 - ✓ 保守を実施する場所（除染含む）は、極力、保守対象機器・設備に隣接あるいは近傍に設ける。（ほぼ全ての事例、設計ガイド）
 - ✓ 遠隔保守を行う対象機器・部品は、故障の頻度、機器の重要度、故障時の影響度等を考慮して予防保全・事後保全を分類し、これに基づく設計、予備品計画が行われている。（ほぼ全ての事例）

4.2.3 調査結果の評価（まとめ）（2/4）

【調査結果のまとめと得られた主な反映事項】

- 調査項目② 保守設計思想（直接保守/遠隔保守）（1/2）（除染に関連する事項）
- 効果・効率・安全のバランスを考慮すると、高度に汚染された機器の除染は遠隔除染から直接除染へと段階的に実施するのが効果的である。
 - ✓ 作業効率を重視する場合は、作業の種類ごとに異なるセル／施設を用意するのが有利である。
 - ✓ 通常作業では発生しないレベルの汚染への対策も事前に策定しておくことが望ましい。
- 調査項目③ 保守対象・作業内容（単品/モジュール）
 - ✓ 保守対象は極力ユニット単位で着脱し保守可能なように、ユニット化、モジュール化されている。（ほぼ全ての事例，設計ガイド）
 - ✓ セル内機器は遮蔽・気密を維持した容器を用いた機器の交換，移送が可能な設計を採用
- 調査項目④ セル配置・動線
 - ✓ 保守用機器は二重化，二系統，複数レベル（線量汚染レベルごと）に用意している。（ほぼ全ての事例，設計ガイド）
 - ✓ 機器解体エリアを保守エリア近傍に設ける。（ほぼ全ての事例，設計ガイド）
 - ✓ 複数セル共通の解体セルが設けられている事例がある。解体セルへの移送には，専用容器が用いられる。
 - ✓ 保守エリアへの機器移動は汚染拡大防止を考慮した設計となっている。（区域分離等）（ほぼ全ての事例，設計ガイド）

4.2.3 調査結果の評価（まとめ）（3/4）

【調査結果のまとめと得られた主な反映事項】

- 調査項目⑤ 遠隔設計要素（装置構造）（ほぼ全ての事例，設計ガイド）
 - ✓ 遠隔操作で容易に着脱・交換，ハンドリングが可能な構造を機器設計に反映
 - ✓ 「着脱部のワンタッチ化」，「位置決め構造の追加」，「ハンドリングを容易にするための治具」
 - ✓ 視覚情報を適切に得るための考慮（カメラ，窓の配置，見やすくするための機器側構造への配慮）
 - ✓ 保守対象は極力ユニット単位で着脱し保守可能なように，ユニット化，モジュール化されている。

- 調査項目⑥ 標準化・基準化（ほぼ全ての事例）
 - ✓ 事業者が施設内で取り扱う機器の保守管理，設計，操作員認定等に関する基準を設け，施設内作業やメーカーへ展開

4.2.3 調査結果の評価（まとめ）（4/4）

【調査結果のまとめと得られた主な反映事項】

- 調査項目⑦ 保守対象部品の入手性（ほぼ全ての事例）
 - ✓ 重要度，想定交換頻度，入手性等から，体系的に予備品を所持・管理
 - ✓ 極力国内で入手可能かつ一般市販品を機器構成部品に採用

- 調査項目⑧ 教訓
 - ✓ 実規模大モックアップ施設による，（遠隔）保守作業，機器の動作検証の実施が重要。
（ほぼ全ての事例，設計ガイド）

5. 遠隔保守システムに関する要求事項の整理

IHI

- 5.1 燃料デブリ取り出しを対象とした遠隔除染・保守システムの設計思想の整理
- 5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理

(1) 【整理の手順】

4.2 教訓／反映事項の抽出



5. 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の整理

5.1 燃料デブリ取り出しを対象とした遠隔除染・保守システムの設計思想の整理

事例調査で得た教訓／反映事項のなかから、1Fの大規模燃料デブリ取り出しを対象とした、保守システムの設計思想として整理する。



5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理

上記で整理した設備・機器等の構成要素ごとに保守システムに関する要求事項を整理する。



6. 取り出し装置に対する反映事項の整理

5.1 燃料デブリ取り出しを対象とした遠隔除染・保守システムの設計思想の整理

(2) 【設計思想】 (1/2)

- 事例調査で得た教訓／反映事項のなかから，1Fの燃料デブリ取り出し（取り出し規模の更なる拡大）を対象とした，主要な遠隔保守システムの設計思想を整理した。

#	遠隔保守システムの設計思想	1Fの燃料デブリ取り出しへの適用性
1	<p><u>遠隔保守／直接保守の分類・組み合わせ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・保守対象機器について，高度な汚染が想定されている物は遠隔保守，通常運転では汚染の度合いが低く，除染することで人の近寄りが可能なものは直接保守とするなど，汚染の度合いで保守方法を適切に分類し，遠隔保守が行われている。 ・保守作業の難易度，作業頻度によって遠隔保守／直接保守の分類が行われている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業員の安全確保の観点から，燃料デブリ取り出しにおいても，汚染レベル，除染の容易性などで，<u>遠隔保守／直接保守の方法を分類</u>して保守システムを設計する。 ・燃料デブリの加工・回収等の高線量・高度汚染が想定される機器の保守（解体・脱着・交換・搬出）は，遠隔保守を前提として設定する。
2	<p><u>除染による直接保守化</u></p> <p>極力，直接保守が可能となるように，<u>除染設備</u>を備える。直接保守を可能とする<u>汚染レベルの上限</u>を設定し，<u>作業時間を管理</u>することで作業従事者の被ばく量を各国・各施設で定める法令・規定で定める許容値内に抑える。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・作業員の安全確保の観点から，<u>1Fサイトで適用する法令・規定に基づき，直接保守を可能とする汚染レベルを設定し，除染システムを構築する。</u> ・燃料デブリ取り出しに用いる被保守機器は高度に汚染されていると想定されるため，<u>段階的な除染，汚染拡大の防止策を講じた移送システム，除染場所の検討</u>を行う。

5.1 燃料デブリ取り出しを対象とした遠隔除染・保守システムの設計思想の整理

(2) 【設計思想】 (2/2)

- 事例調査で得た教訓／反映事項のなかから，1Fの燃料デブリ取り出し（取り出し規模の更なる拡大）を対象とした，主要な遠隔保守システムの設計思想を整理した。

#	遠隔保守システムの設計思想	1Fの燃料デブリ取り出しへの適用性
3	<p><u>保守施設・保守エリアの配置</u> プロセスセルに隣接して保守用の解体セル，除染セル，保守エリアを設ける等，極力保守対象機器の近傍に保守用の施設を配置している。これにより，施設を合理化し，汚染エリアを限定的にすることができる。 クレーンについては，使用エリアに隣接してクレーン保守エリア（パークセル等）を設けている。</p>	<ul style="list-style-type: none">・可能な限り，保守対象機器の使用エリアの近傍に保守施設・エリアを設ける。・1Fでは原子炉建屋内，増設建屋等の配置上の制約のある中で作業内容に応じた保守作業・施設の場所を設定する。
4	<p><u>予防保全／事後保全 の分類</u> 安全上の重要度，生産性影響度等に応じて，予防保全（時間基準保全（TBM），状態基準保全（CBM）），事後保全等の分類を行い，これに応じた機器の設計，補修or交換の設定，保守のタイミングの設定，予備品計画等が行われている。 事後保全では，Run-to-failure，補修／交換の考え方が取り入れられている。高汚染の機器・部品については原則として交換とされている。</p>	<ul style="list-style-type: none">・燃料デブリ取り出しにおける保守対象の機能として，遮蔽，閉じ込め等の安全上の重要度や生産性に応じて保全方法を分類し，保守システムを設計する。・高汚染が想定される機器については，補修ではなく交換（全体，または使用頻度の高い部品の部分交換）を前提とした保守を想定する。

5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理

(1/5)

【主な要求事項まとめ】(1/5)

※ 詳細要求事項は今後の東電HD殿の燃料デブリ取り出し工法検討結果を踏まえて明確化する

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
1	保守施設 (共通)	<p>① 様々な装置・ユニット（部品）を対象とし、共用可能な保守設備とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 遠隔操作においては、自由度が高く比較的高ペイロードかつロバストなパワーマニピュレータや、精細な作業が可能なMSM、重量物搬送が可能な大型ホイスト、小回りの利く小型ホイスト等、多種多様な対象物に対して柔軟に対応可能な設備を有する。 ✓ マニピュレータに設置するエンドエフェクタは多種揃えておくことで、様々な作業に対応可能とする（※）。 ✓ 保守対象への柔軟なアクセス性を確保（多方面からのアクセス、大型の回転作業台の使用等） <p>② スループットや汚染拡大防止を考慮して、設備の共用化または複数化を検討する。</p> <p>③ 機器の設計変更や増設に柔軟に対応できるよう、セルの大きさや機器の配置に余裕を持たせる。</p> <p>④ 1Fサイト内各号機の遠隔除染・保守施設として、物流のハブ機能を持たせるための建屋配置を行う。</p>	<p>※ただし、被保守対象に関しては可能な限り共通的にエンドエフェクタを使用できる仕様とすることが望ましい。</p> <p>② 汚染程度に応じて直接保守システム／遠隔保守システムの設備を設ける。</p> <p>④ 予備品の貯蔵エリア等も考慮に入れる。</p>

5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理

(2/5)

【主要要求事項まとめ】(2/5)

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
2	保守エリア (配置・動線)	<ul style="list-style-type: none"> ① 高汚染が想定される保守用天井クレーンは、パークセルにて保守することを前提とする。 ② 保守エリアへの機器移動は汚染拡大防止を考慮した部屋配置，動線とする。 ③ 保守作業で生じた固体廃棄物の減容・分別等のため，複数機器共通の解体セルを設ける。 ④ 固体廃棄物は必要に応じて除染が可能な設備を設ける。 ⑤ ホットセルとエアロックや遮蔽扉を介して隣接する位置（横方向／上下方向）に直接保守作業区画を設ける。 ⑥ 高い汚染が予想される作業セル（遠隔保守セル）の位置を中心・基本として配置・動線・ゾーニングを計画する。 ⑦ 原則として同一グレードのゾーンを分散しない。 ⑧ 物品搬出入距離は最小限に抑える。 	<ul style="list-style-type: none"> ① パークセルには除染設備を設ける。 ② 汚染程度に応じた搬入経路/搬出経路を考慮する。

5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理

(3/5)

【主な要求事項まとめ】(3/5)

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
3	保守用機器 (クレーン, MSマニピュレータ, ツール等)	<ul style="list-style-type: none"> ① MSM (精細な作業), クレーン・搬送台車 (重量物搬送), PM (パイロードを有する作業) 等を保守作業に応じて適切に組み合わせて使用する。 ② 遠隔保守では, 想定される作業に対する視野を十分確保できるカメラ台数, 配置とする。(可能な限りカラーカメラの適用が望ましい) ③ 照明は, 遠隔作業を行うにあたり適切な照度が確保できる (配置・台数) とする。 ④ 遠隔作業を行う部屋 (セル) には, マイクを設置し, 聴覚による作業補助を可能とする。 ⑤ 主となる遠隔操作機器 (クレーン, マニピュレータ) は, 仮想空間上の3Dモデルとリンクし, 位置や姿勢などをリアルタイムで仮想空間上に表現することにより, カメラによる視野を補う。 ⑥ 遠隔操作機器およびカメラ・照明等の付帯設備は, それら自身の保守を考慮した設計とする。 ⑦ 同種の遠隔操作機器を2台設置し, 相互に遠隔保守を可能とする。 ⑧ 遠隔操作の主となるマニピュレータは, オペレータが直観的な作業感覚を得られる機能・仕様とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ② 3Dシミュレーションにて想定作業時の視野を十分検証する。 ⑤ 配置・動線, モジュール化の考慮等。 ⑧ 自由度, 力覚, 速度応答性等。

(4/5)

【主要要求事項まとめ】(4/5)

#	遠隔除染・ 保守システム	要求事項	備考
4	除染システム	<ul style="list-style-type: none"> ① 本格的な除染設備はスペースを要することから、装置設置エリア（原子炉建屋内）では最低限の設備とし、保守施設側に本格的な除染設備を設けることを基本方針とする。 ② 様々な装置、汚染程度に対応可能なよう複数種の除染設備を設ける。 ③ 汚染拡大防止のため、専用除染セルを設け、閉空間で除染可能な設備とする。 ④ 排気・排水等、二次廃棄物の処理を含め汚染拡大防止を確実にする。 	

5.2 設備・機器等の構成要素ごとの保守システムに関する要求事項の整理 (5/5)

【主な要求事項まとめ】 (5/5)

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
5	移送機器 (移送台車, 軌道, 移送容器)	<ul style="list-style-type: none"> ① 作業者が直接対象に触れることなく、遮蔽および気密バウンダリを維持した状態でセル内の機器部品交換やその搬出入が可能な移送システムとする。 ② 交換により生じた固体廃棄物は、収納した状態で廃棄物保管施設や除染施設へ移送できる。 	
6	遮蔽, 閉じ込め (汚染拡大防止) (インクロージャ, 遮蔽扉, 換気システム)	<ul style="list-style-type: none"> ① セル間は気密扉や遮蔽扉を設けて遮蔽, 閉じ込め機能を確保する。 ② 汚染された対象物の屋外 (構内) 輸送時は, キャスク等により遮蔽と気密を確保する。 ③ 汚染区域での換気設備は, 以下の機能を維持する。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 汚染区域を負圧に保ち、汚染された (可能性のある) 空気が非汚染区域に漏出しないようにする。 ✓ 汚染区域内の各部屋間や各装置間などに差圧を設け、取り扱い物について, 空気の流れが汚染度合いの低いものを扱う部屋から高いものを扱う部屋へ生じるようにし、常に逆の流れが生じないようにする。 ✓ 各部屋や装置などの汚染された (可能性のある) 空気を浄化装置に導き、浄化した後排気する。 	

6. 取り出し装置に対する反映事項の整理

IHI

- 6.1 取り出し装置の使用環境・状態設定と設計思想
- 6.2 取り出し装置等の保守対象の設定
- 6.3 取り出し装置に関する要求事項の整理
- 6.4 燃料デブリ取り出し機器 及び 保守施設 への要求事項のまとめ

6. 取り出し装置に対する反映事項の整理

(1) 【整理の手順】

4.2 教訓／反映事項の抽出

5. 遠隔保守システムに関する要求事項の整理

6. 取り出し装置に対する反映事項の整理

6.1 取り出し装置の使用環境・状態設定と設計思想

6.2 取り出し装置等の保守対象の設定

6.3 取り出し装置に関する要求事項の整理

- 取り出し装置の使用環境，状態を仮設定する。
- 事例調査/反映事項から，保守対象となる装置（取り出し装置等）に対する設計思想を整理する。
- 保守の難度や汚染状況に応じた保守作業区分（遠隔／直接），保全の考え方に基づく保全形態（TBM, CBM, 事後保全等），保守の場所等の設計初期に検討すべき事項を整理する。

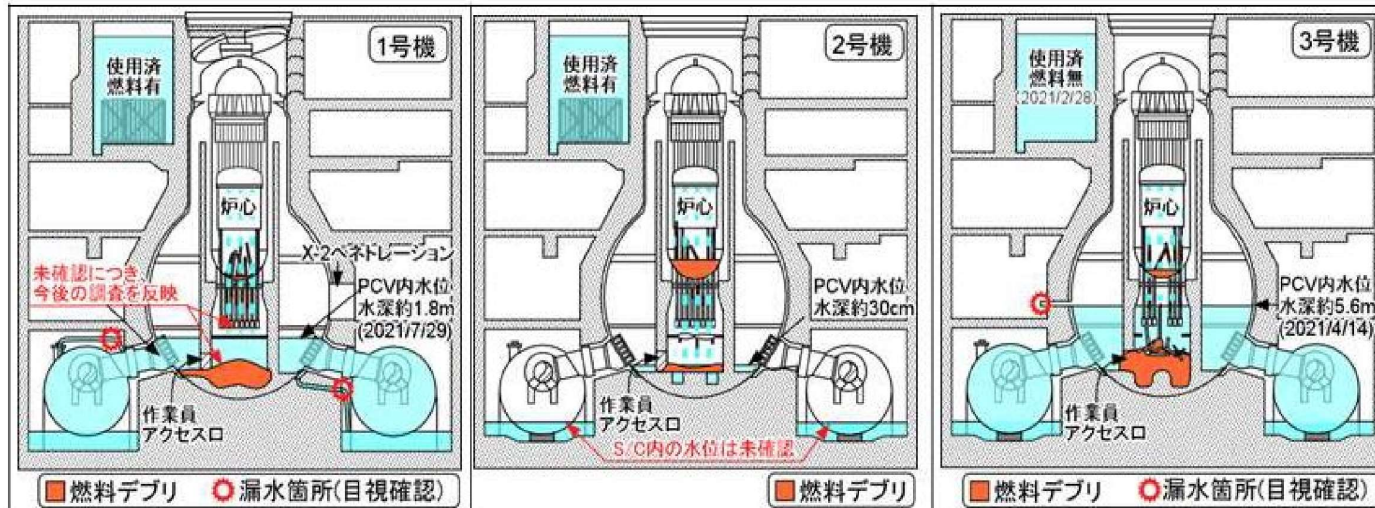
1F大規模燃料デブリ取り出しで保守対象となる装置（取り出し装置等）必要となる遠隔除染・保守システム，構成機器，構成施設等，構成要素を整理する。

上記で整理した構成要素ごとに取り出し装置等に関する要求事項を整理する。

6.1 取り出し装置の使用環境・状態設定と設計思想 (1/4)

【使用環境・状態】

- 取り出し装置は原子炉建屋内の高線量，非密封の高汚染環境での使用が想定される。
- 原子炉建屋内の，照明に乏しい閉鎖空間での操作が必要となる。



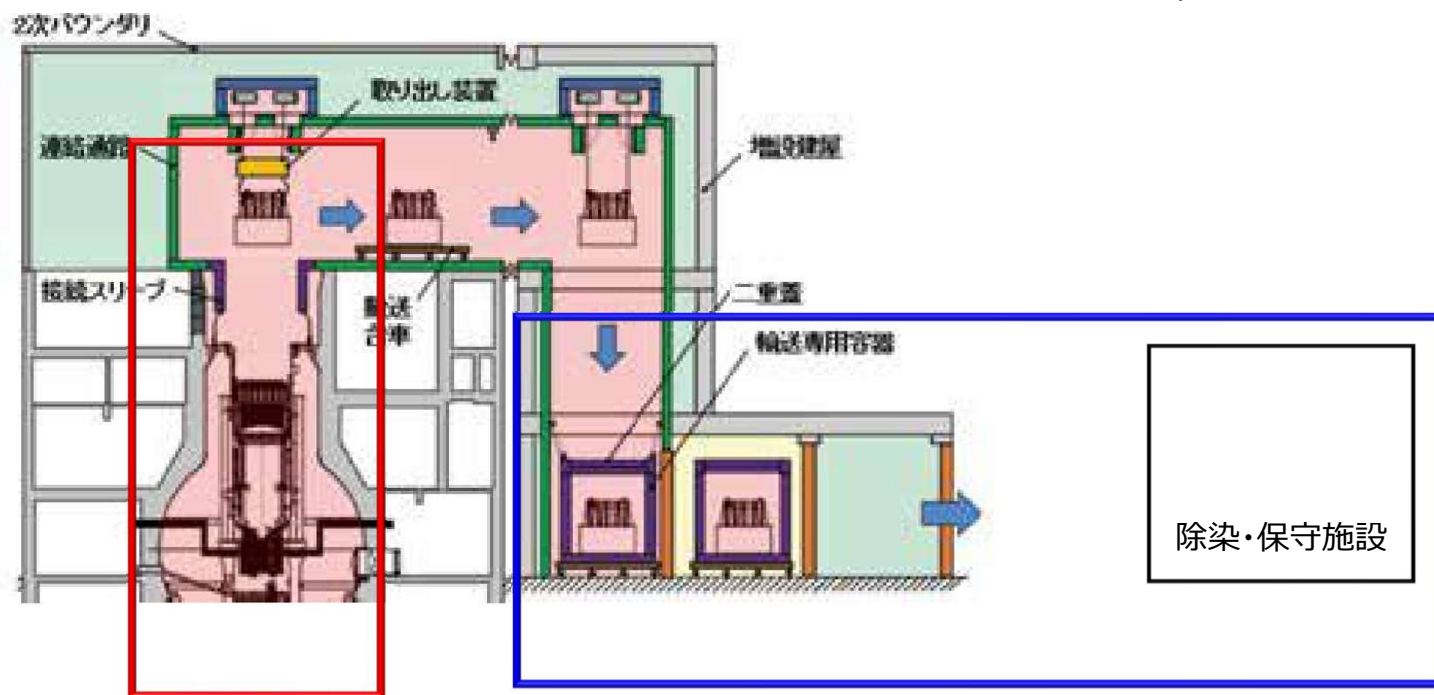
炉心部	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし (外周部に切り株状燃料の残存の可能性あり)	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし
RPV底部	・RPV底部に少量の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に多くの燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に一部の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在
PCV底部 (A°デスタル内側)	・ベデスタル内側床面に大部分の燃料デブリが存在	・ベデスタル内側床面に一定量の燃料デブリが存在	・ベデスタル内側床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在
PCV底部 (A°デスタル外側)	・作業用出入口を通してベデスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性あり	・作業用出入口を通してベデスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性は小さい	・作業用出入口を通してベデスタル外側に燃料デブリが拡がった可能性があり
作業現場の線量*	・R/B 1階X-6ペネトレーション周りの線量が高い (630mSv/h)。	・R/B 1階の線量は全体的に約5mSv/hまで低減している。	・R/B 1階の線量は数～数十mSv/h以上であり線量が高い。

出典：NDF：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021 2021年10月29日，公開資料

【設計思想1 – 遠隔保守／直接保守の区分・組み合わせ】

- 保守対象機器 (※) について、高度な汚染が想定されている物は遠隔保守，通常運転では汚染の度合いが低く，除染することで人の近寄りが可能なものは直接保守とするなど，汚染の度合いで保守方法を適切に分類する。

※ 取り出し装置そのものだけでなく，関連装置全てを含む



出典: IRID; 廃炉研究開発の推移 IRID2021パンフレット, 公開資料

高度な汚染が想定される機器
→遠隔保守

•通常運転で汚染度合いが低い機器
•除染して人の近寄りが可能となる機器
→直接保守

【設計思想2 – 保守作業場所に適した装置保守設計】

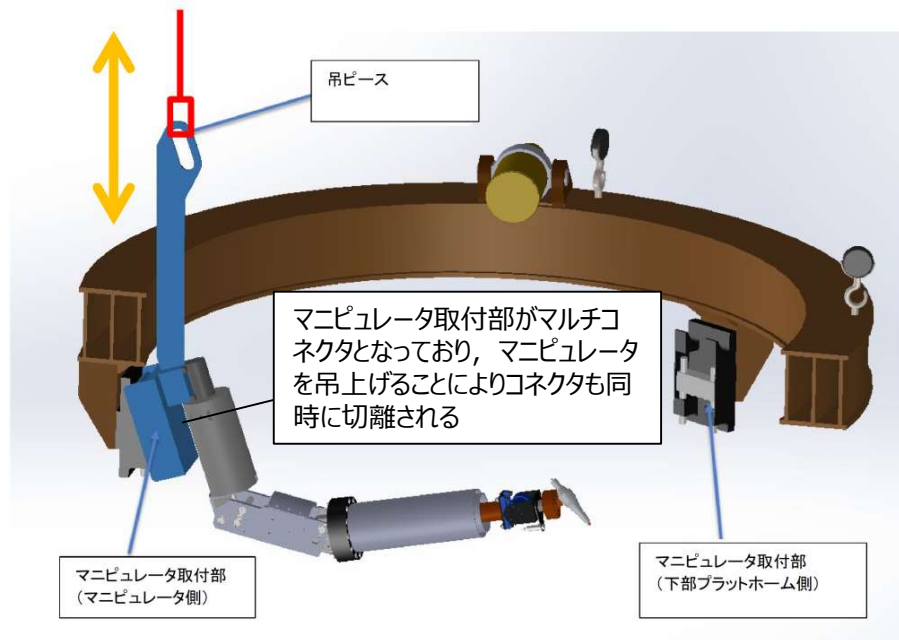
- 一連の取り出し作業の中断期間を極力減らすため、可能な限り「装置設置エリア」またはその近傍にて保守を行うことを重視した装置設計とする。
⇒ 装置設置エリアまたはその近傍で保守が困難な対象を、「保守施設」で保守する。
- しかし、装置設置エリア近傍は十分な保守スペースを確保することが困難であり、かつ直接保守が困難な状況であることから、これらも踏まえて最適な保守設計思想とする必要がある。

<装置設計への反映例>

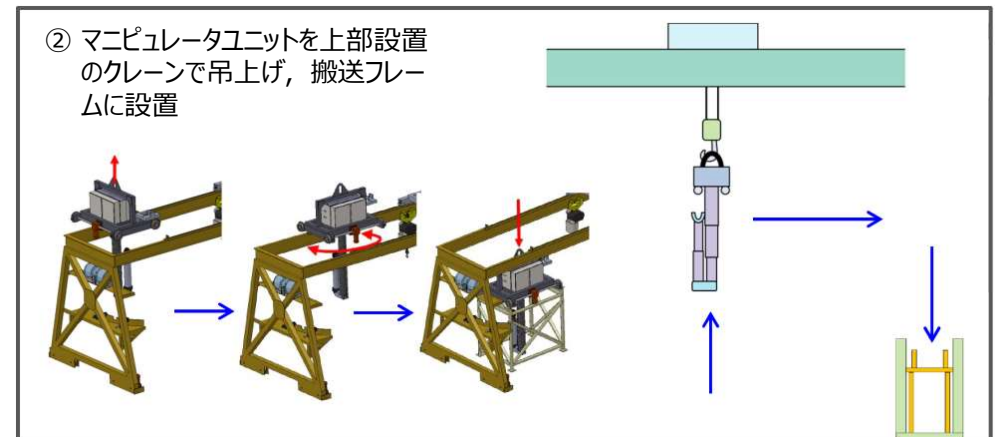
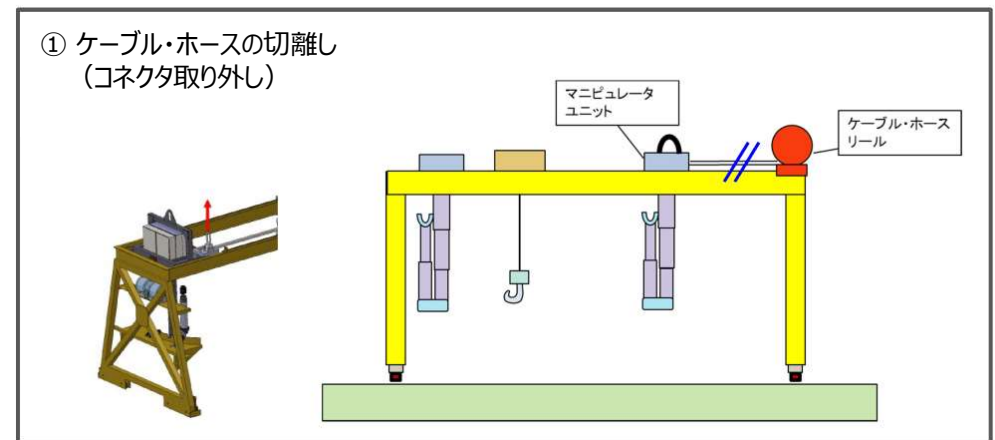
- ✓ 保守頻度、交換頻度の高いものを極力小型のユニット（モジュール単位）とし、作業スペースの制約範囲内で交換作業が行えるようにする。
- ✓ 装置設置場所においては、極力装置を移動させることなく保守が可能な構造とする。そのために保守対象機器への保守用機器のアクセスが、装置設置状態にて可能な構造とする。
（交換ユニットの着脱方向を揃える等）

【設計思想3 – モジュール単位の部分交換】

- 高度な汚染が想定される機器については、「補修」ではなく「交換」を前提とした保守を基本方針とし、さらに「交換」については、「**モジュール単位の部分交換**」を前提とした設計思想とする



プラットフォーム搭載マニピュレータの
モジュール交換例 (概念)

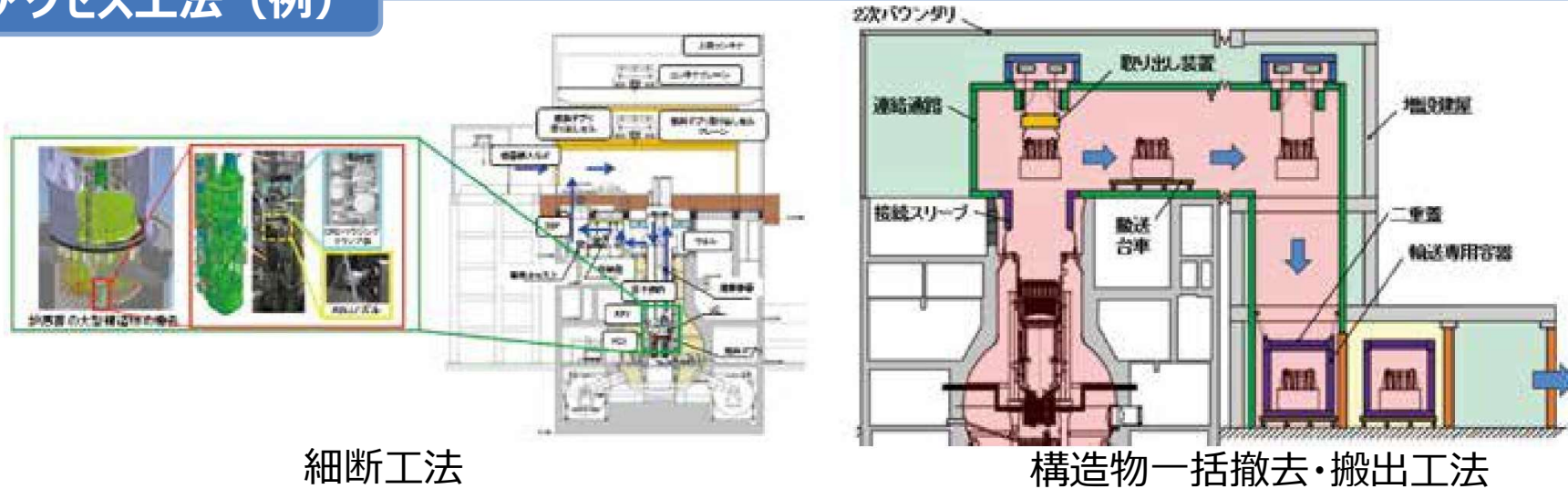


門型クレーン搭載マニピュレータの
モジュール交換例 (概念)

6.2 取り出し装置等の保守対象の設定

- “取り出し規模の更なる拡大”においては、下図のようなシステム・装置の使用が見込まれる。
- これらの設計進捗や運用面を考慮した際の東電HD殿ご意向を確認し、今後要求仕様を整理していく計画

上アクセス工法（例）

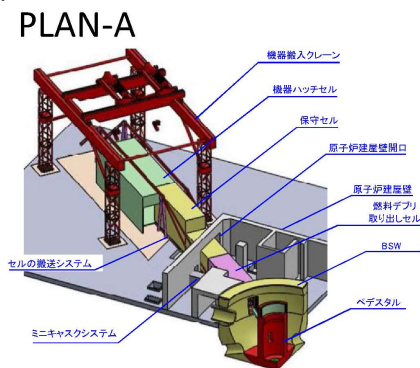


細断工法

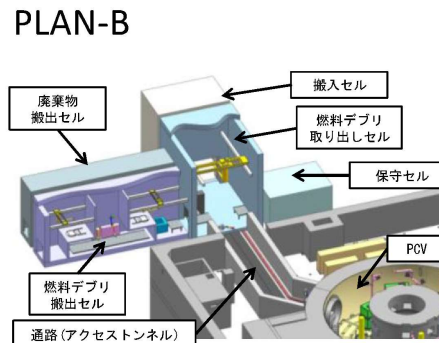
構造物一括撤去・搬出工法

出典：IRID； 廃炉研究開発の推移 IRID2021パンフレット，公開資料

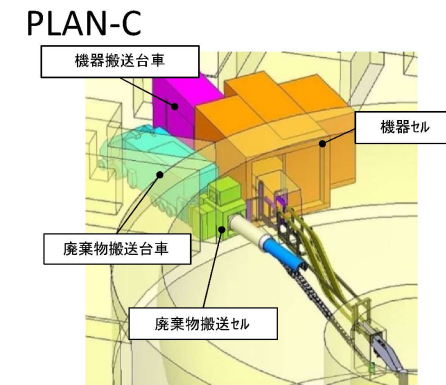
横アクセス工法（例）



- ・X-6ペネからアクセス
- ・大型アーム使用



- ・機器ハッチからアクセス
- ・複数の作業装置を使用



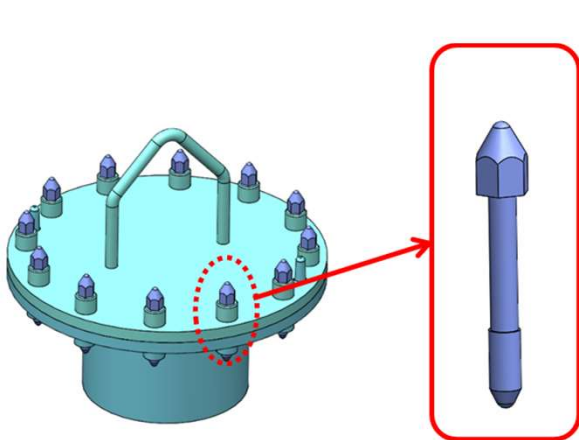
- ・X-6および新開口からアクセス
- ・装置搬入・廃棄物搬出の動線を別系統

6.3 取り出し装置に関する要求事項の整理 (1/2)

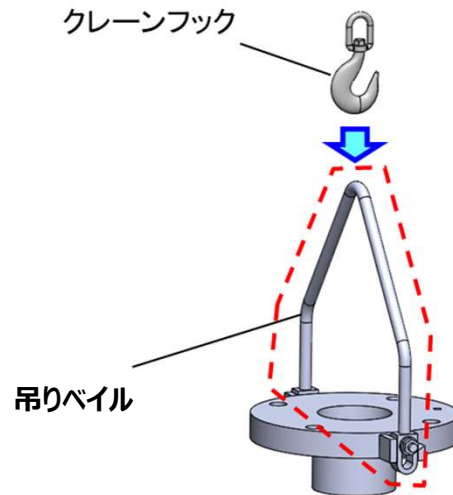
【主な要求事項まとめ】 (1/2)

※ 詳細要求事項は、今後の燃料デブリ取り出し工法検討結果を踏まえて明確化する。

#	保守対象機器 要求事項区分	要求事項	備考
1	遠隔保守を行うための 要求事項	<ul style="list-style-type: none"> ① 遠隔作業での取外しと据付が可能ないように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。 ② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。 ③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。 ④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のユニットとする。 ⑤ ユニット着脱の方向性を極力揃え、ガイドやピンにて遠隔操作で容易に着脱可能な設計とする。(例：極力鉛直上方からのアクセスで着脱できるようにする) 	<p>③ 例) 遠隔ボルトの種類 (サイズ, 材質, 形状), クランプの種類, 吊りベイルの形状, コネクタの種類等</p>



遠隔ボルトの例



吊りベイルの例



遠隔操作用流体コネクタ
STÄUBLI社カタログより



遠隔操作用電気コネクタ
SOURIAU社カタログより

遠隔着脱コネクタの例

6.3 取り出し装置に関する要求事項の整理 (2/2)

【主な要求事項まとめ】 (2/2)

#	保守対象機器 要求事項区分	要求事項	備考
2	直接保守を行うための要求事項 (除染の容易性)	<p>① 除染液や除染方法による劣化に耐えられるような機器の構造材料を選定する。</p> <p>② 除染を容易にするために、除染対象装置の設計では以下を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none">✓ 表面の凹凸を極力避ける。✓ 溶接部：亀裂や隙間が無いよう、連続溶接仕上げとする。✓ 金属表面は平滑または研磨する。✓ 多孔質材料の不使用。	

【基本方針】

- 1F 燃料デブリ取り出し（取り出し規模の更なる拡大）での保守作業実施場所は、「①装置設置エリア（原子炉建屋およびその近傍）」「②保守施設」に分類される。
- 作業中断期間を極力減らすため、可能な限り「①装置設置エリア」で保守ができることを重視する。その上で、「①装置設置エリア」で保守が困難なものを「②保守施設」で保守することを基本方針とする。
- しかし、装置設置エリア近傍は十分な保守スペースを確保することが困難であり、かつ直接保守が困難な状況であることから、これらも踏まえて最適な保守設計思想とする必要がある。

【①装置設置エリアにおける保守の制約条件を踏まえた要求事項】

<燃料デブリ取り出し機器等（被保守側）>

- ✓ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のユニットとする。（取り出し工法に応じて具体化）
- ✓ ユニット着脱の方向性を揃える。（例：極力鉛直上方からのアクセスで着脱できるようにする）
⇒限られた保守設備になるので、それを様々な用途に共用できるようにする。
- ✓ 着脱のために必要となる作業は極力標準化する。
例）遠隔ボルトの種類（サイズ、材質、形状）、クランプの種類、吊りベイルの形状、コネクタの種類等

<保守設備（保守側）>

- ✓ 様々な用途に共用できる保守設備：主となる保守設備として、自由度が高く、比較的高ペイロードかつロバストなマニピュレータを適用。先端ツールを交換することで様々な作業に対応。
- ✓ MSM（精細な作業）、クレーン・搬送台車（重量物搬送）、PM（ペイロードを有する作業）を適切に組み合わせる。
- ✓ 除染設備はスペースを要するので最低限の設備とし、保守施設側に設ける。
（除染の要否に関わらず遠隔交換が可能な施設とする。）

【②保守施設における要求事項】

＜基本要素＞

- ✓ A. 様々な装置・ユニット（部品）を対象とする。
- ✓ B. 汚染程度に応じて直接保守/遠隔保守が可能な設備とする。（作業合理化）

＜燃料デブリ取り出し機器等（被保守側）＞

- ✓ 搬入する荷姿（コンテナ・容器等）を極力共通化する。(A)
- ✓ 極力小単位のユニットとする。(A)
- ✓ 上記も含めて、想定される作業（ハンドリング、交換等）での取り合い部分は極力標準化する。(A)
- ✓ 除染のしやすい構造（形状、表面粗さ等）とする。(B)
- ✓ モータ等の構成部品は可能な範囲で共通化する。(A, B)
⇒ 作業員の訓練期間短縮，より安全な作業を実現する。

＜保守設備（保守側）＞

- ✓ 除染設備を充実させる。汚染レベルに応じて対応可能なように複数の除染装置を設ける。二次廃棄物の処理を含め、汚染拡大防止を確実にする。(B)
- ✓ 様々な大きさ、形状、重量の装置、ユニットをハンドリングできるように、揚重設備は複数設ける。(A)
- ✓ 設備・部屋・動線等は直接保守・遠隔保守をそれぞれ考慮したものとする。(A, B)
⇒ エリア区分，作業合理化
- ✓ 不要となった装置類を解体するための設備を設ける。(A)

7. 遠隔除染・保守の概念検討

IHI

7.1 実施概要

7.1.1 実施概要

7.1.2 検討の流れ

7.2 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の見直し

7.3 遠隔除染・保守施設の概念検討

7.1.1 実施概要

④ 遠隔除染・保守の概念検討

- (a) 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の見直し
- (b) 遠隔除染・保守施設の概念検討

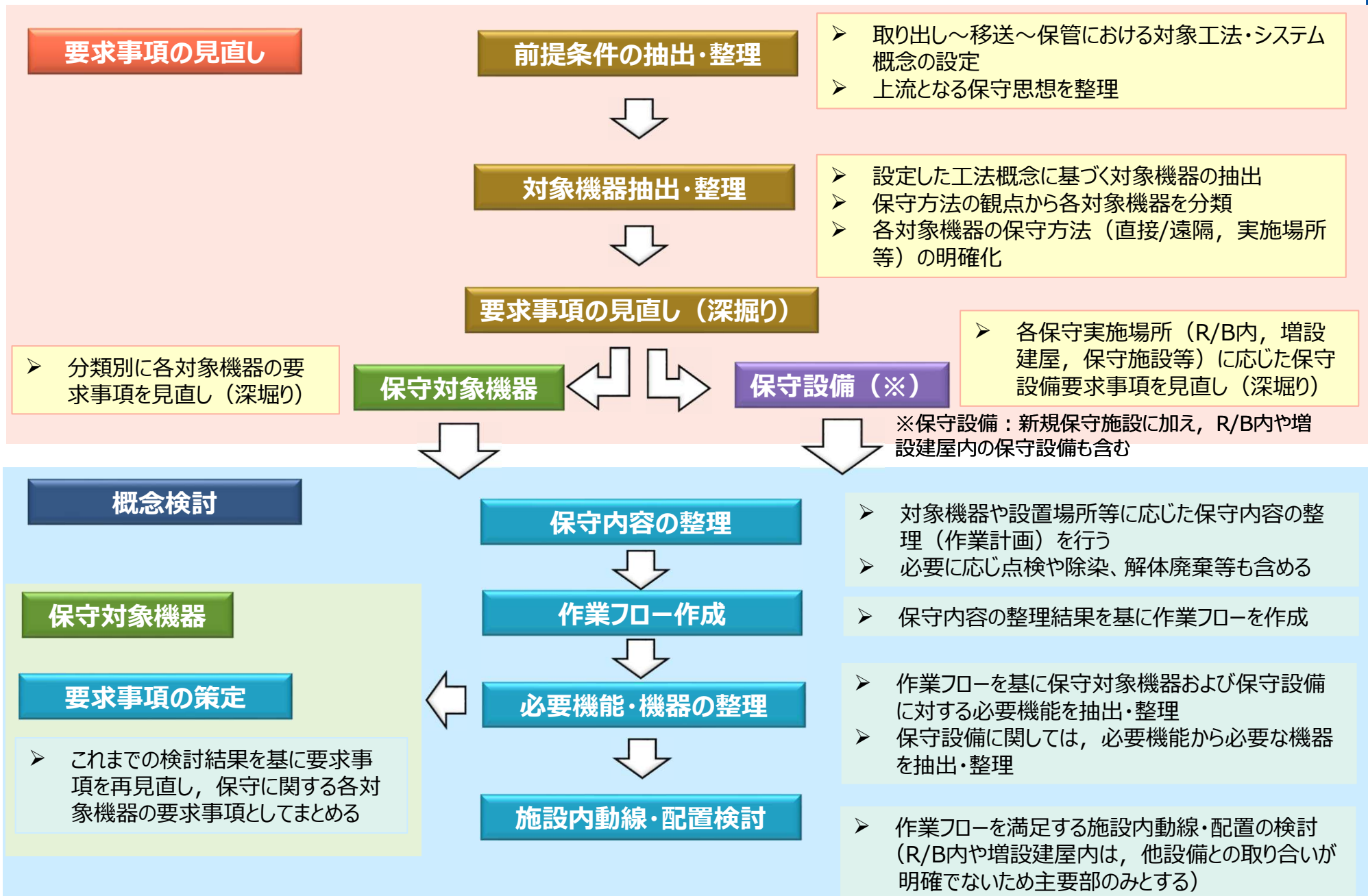
7.2 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の見直し

- 大規模燃料デブリ取り出しに関する工法，技術開発状況の進捗，有識者等の意見，東京電力HD殿のニーズを踏まえ，5.で整理した，「遠隔保守システムに関する要求事項」の見直しを行う。

7.3 遠隔除染・保守施設の概念検討

- 7.2 にて更新した遠隔保守システムの要求事項および技術開発状況の進捗により更新された取り出し装置を踏まえて，想定される各保守項目の作業計画を検討する。
- 上記を踏まえた遠隔保守の作業フローの明確化，機器構成，施設の規模感などの成立性評価を行うことを目的として，遠隔除染・保守施設の概念検討を実施し，今後の計画具体化にあたっての素案をまとめる。
- 検討結果は，一事業者（メーカ）の視点だけでなく，施設運営の視点も踏まえた保守計画および遠隔除染・保守施設，施設内機器等に関する検討の成果とする。

7.1.2 検討の流れ



7. 遠隔除染・保守の概念検討



7.1 実施概要

7.2 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の見直し

7.2.1 前提条件の抽出・整理

7.2.2 対象機器抽出・整理

7.2.3 保守実施場所の整理

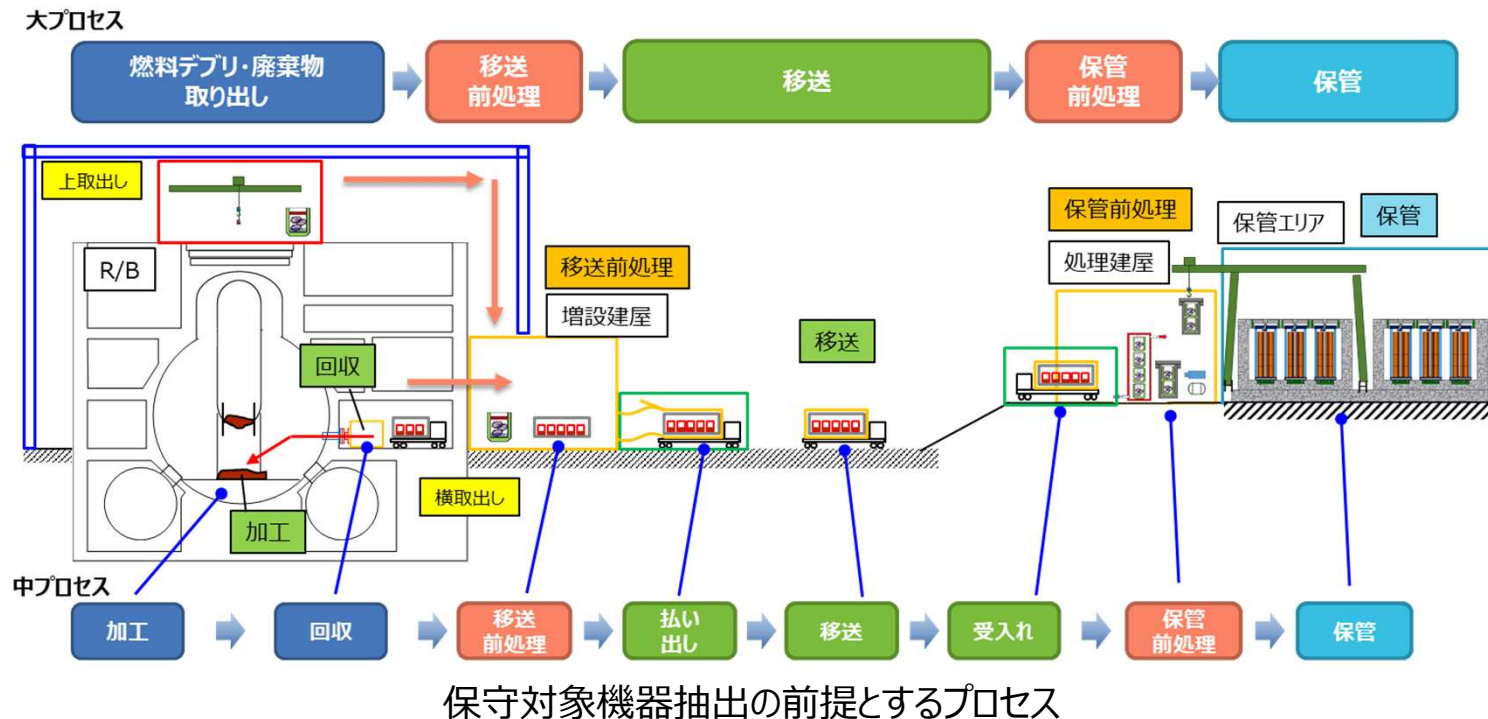
7.2.4 要求事項の分類・深掘り

7.3 遠隔除染・保守施設の概念検討

7.2.1 前提条件の抽出・整理 (1/11)

対象工法・システム概念の設定 (全体)

- 燃料デブリ取り出しの工法・使用機器が定まっていない状態で、具体的な遠隔除染・保守の概念検討を行うために、既往検討成果をもとに、燃料デブリ取り出しの工法や機器を仮設定したケーススタディ方式で、保守システムの検討を実施する。
- 【保守対象機器の検討対象プロセス】「燃料デブリ・廃棄物取り出し」プロセスを中心に、全プロセスで扱う機器を、保守対象機器とする。
- 【主な条件】上工法は、R/B内で切断。増設建屋は移送前処理施設のみ検討。安全システム系の検討は委託検討所掌外。



7.2.1 前提条件の抽出・整理 (2/11)

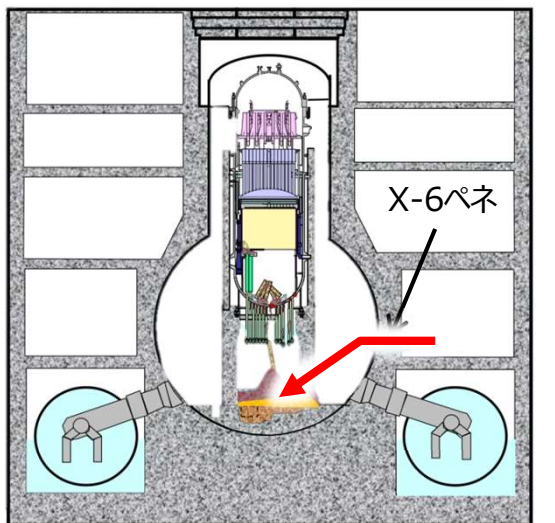
対象工法・システム概念の設定 (取り出し)

取り出しプロセス

- 気中工法 (かけ流し) , 横取り出し, 上取り出しを組み合わせた工法を対象とする。
- アクセスルート: 横: X-6ペネ (ペDESTAL内), 上: オペフロ
- 取り出し装置等の待機場所: 横: R/B内1階X-6近傍, 上: オペフロ

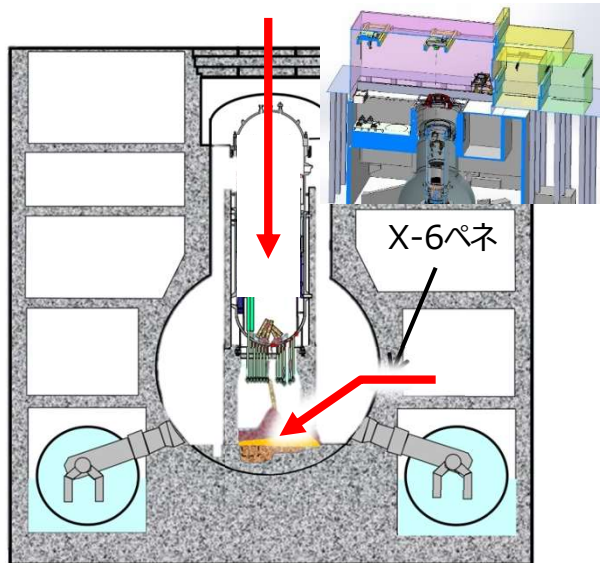
Step-1

<横工法> X-6ペネからのアクセスによるペDESTAL内燃料デブリ取り出し, 干渉物撤去, 調査



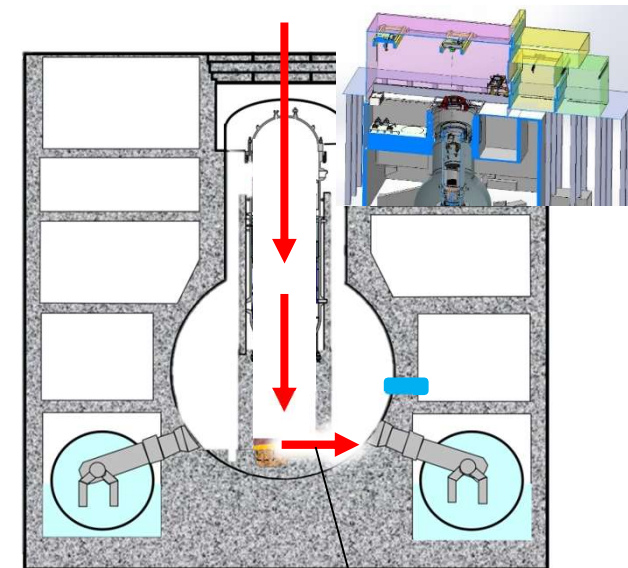
Step-2

<横工法> X-6ペネからのアクセスによるペDESTAL内燃料デブリ取り出し, 干渉物撤去, 調査(継続)
<上工法> 炉内構造物撤去, 炉内燃料デブリ取り出し

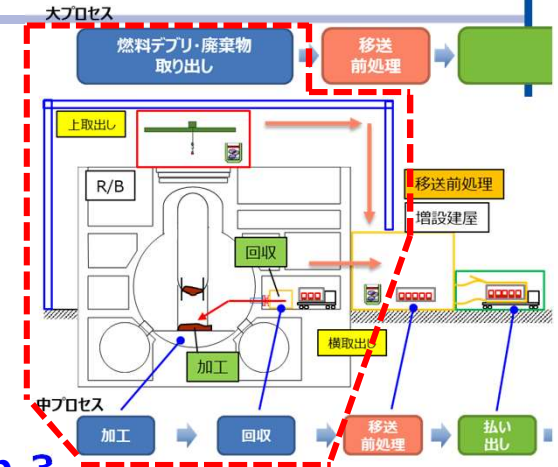
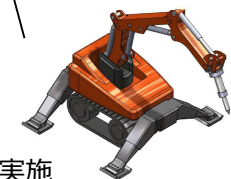


Step-3

<上工法> ペDESTAL内・外燃料デブリ取り出し



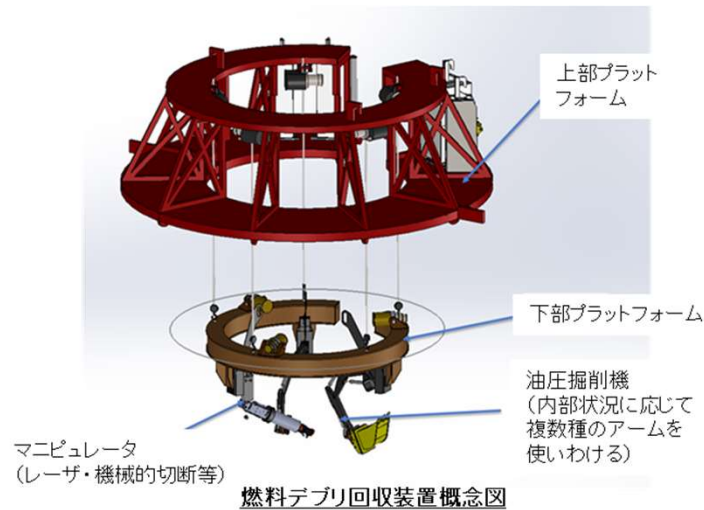
ペDESTAL外への取り出しはクローラ型マニピュレータ等により実施



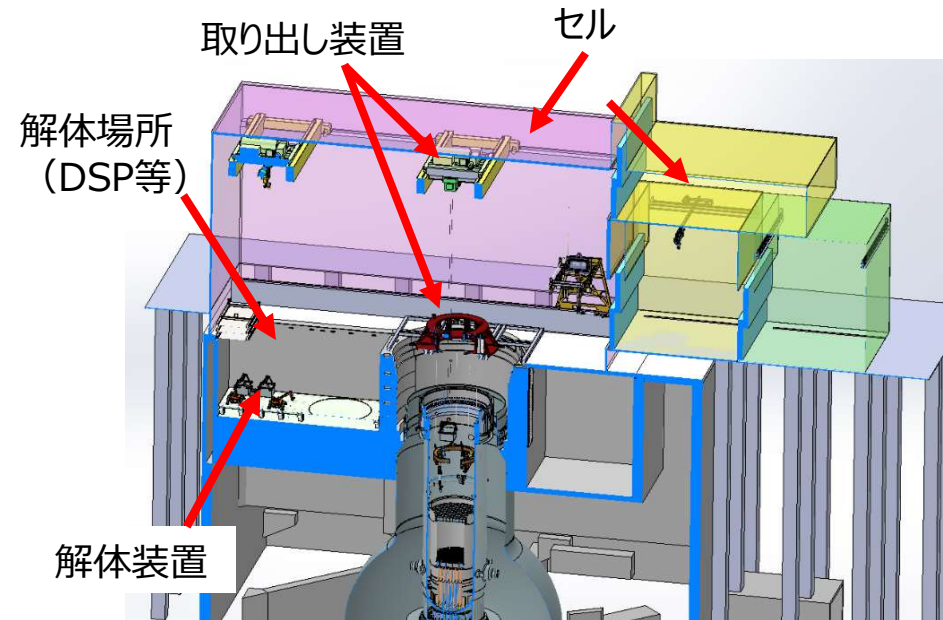
7.2.1 前提条件の抽出・整理 (3/11)

対象工法・システム概念の設定 (取り出し)

➤ 上取り出し工法の例

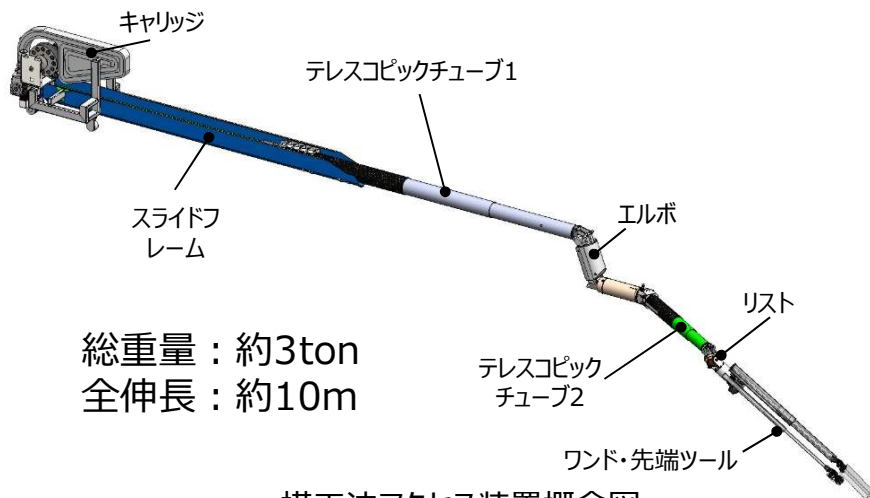


取り出し装置概念図

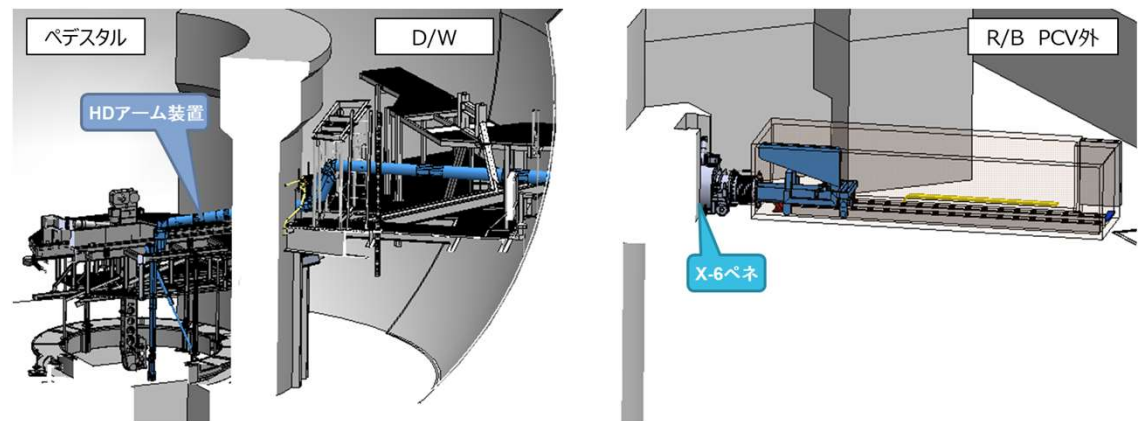


上工法セル配置イメージ

➤ 横取り出し工法の例



横工法アクセス装置概念図



横工法アクセス装置による取り出しイメージ

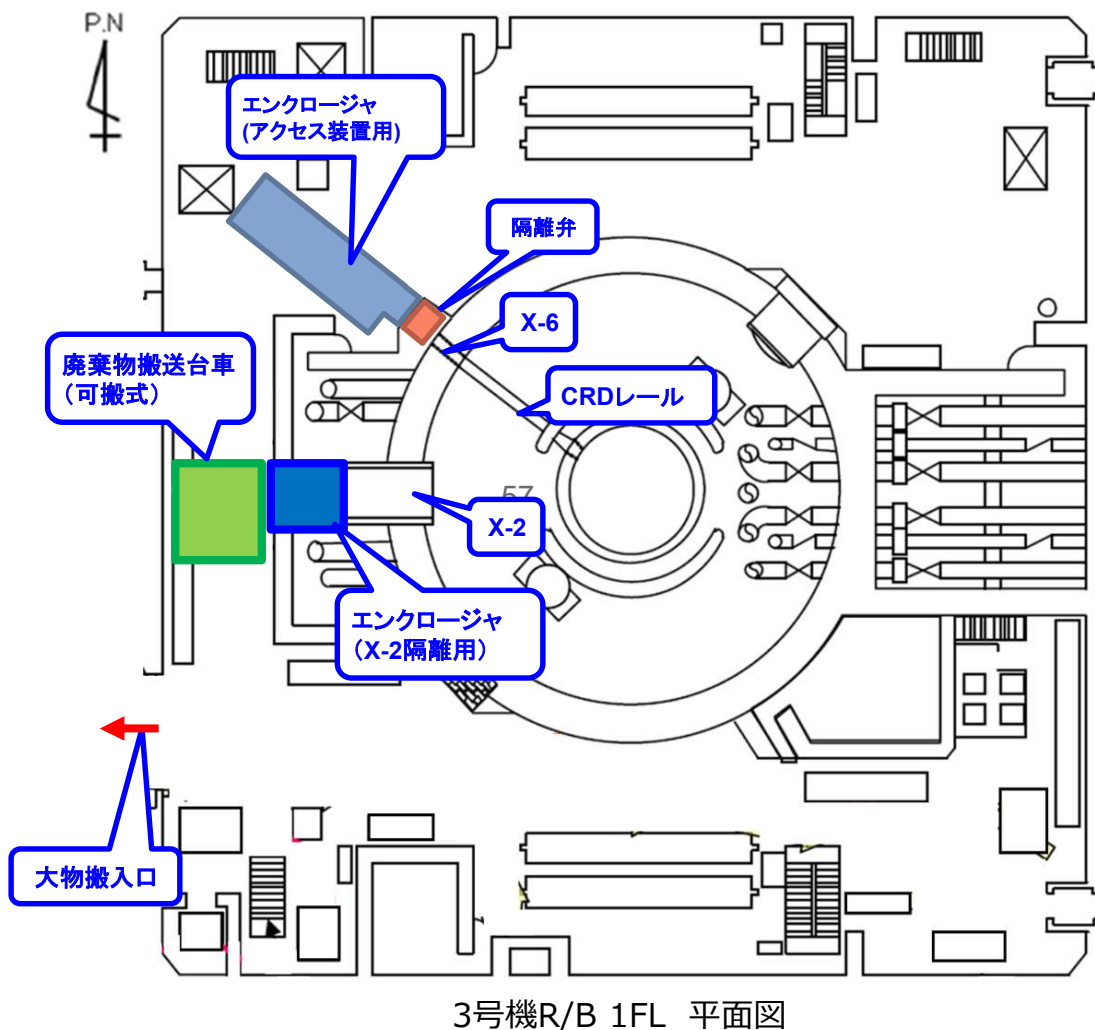
7.2.1 前提条件の抽出・整理 (4/11)

対象工法・システム概念の設定 (取り出し)

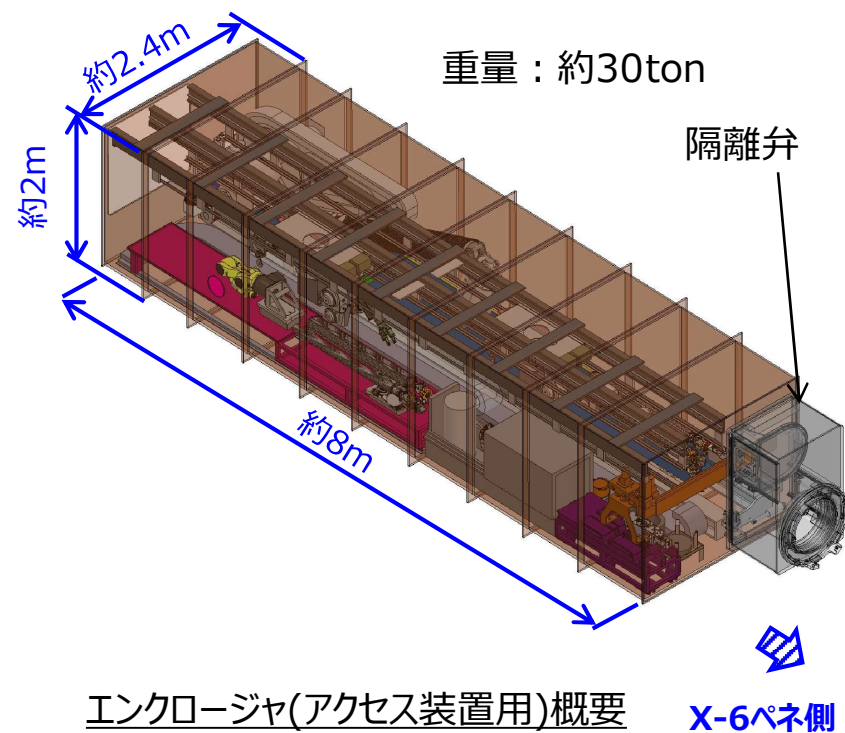
<横取り出し：R/B内付帯設備と配置>

➤ 詳細レイアウト

アクセス装置運用時における詳細レイアウトを下図に示す。



- エンクロージャ(アクセス装置用)
アクセス装置を搭載して大物搬入口から搬送し、北西エリアにてX-6ペネ隔離弁と接続する (下図参照)



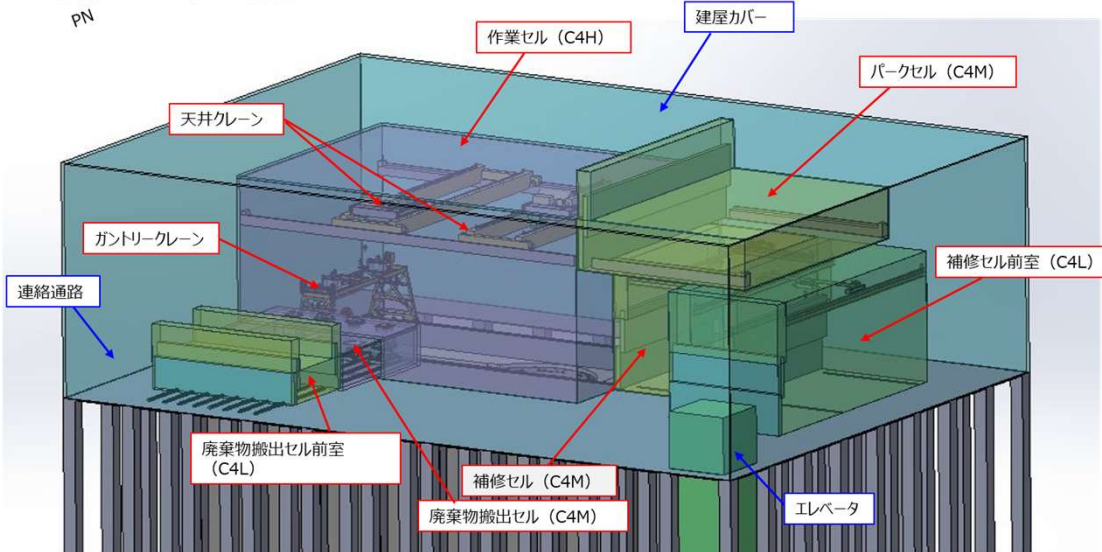
エンクロージャ外形寸法は西側通路制約条件から決定。

7.2.1 前提条件の抽出・整理 (5/11)

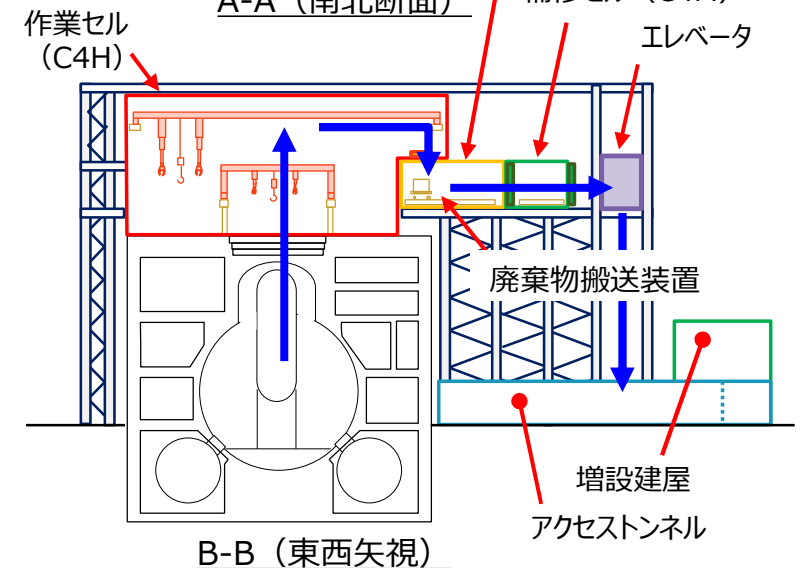
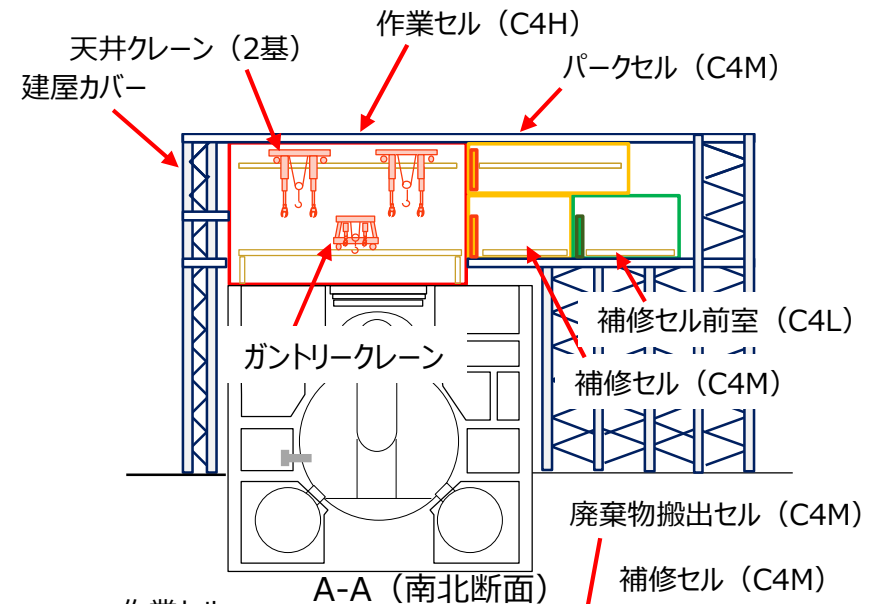
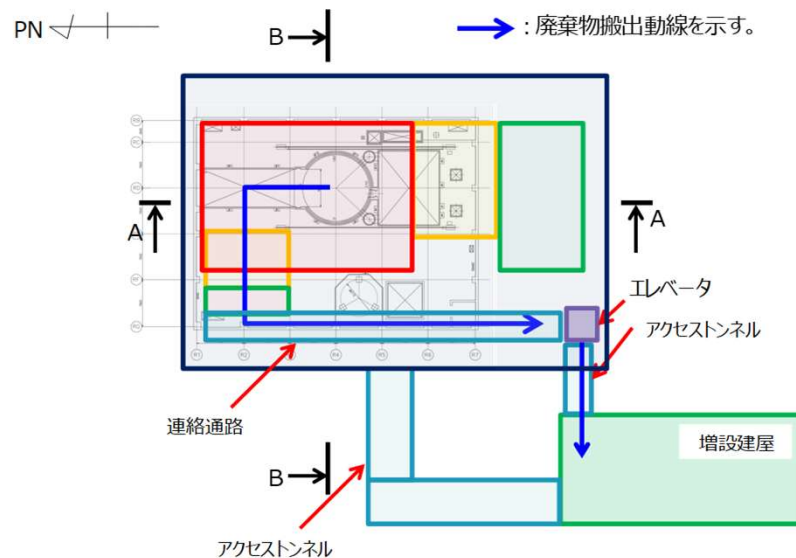
対象工法・システム概念の設定 (取り出し)

<上取り出し：R/B内付帯設備と配置>

➤ 詳細レイアウト (セルの構成)



上工法の全体レイアウトイメージ

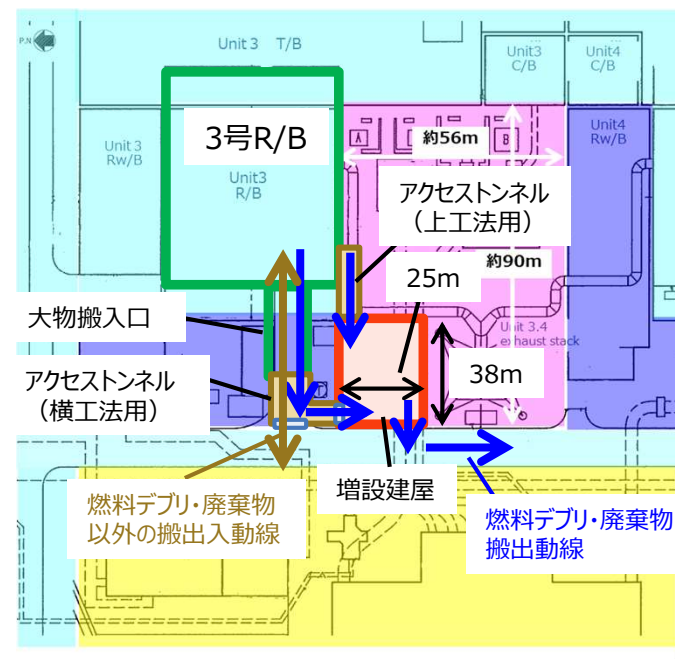
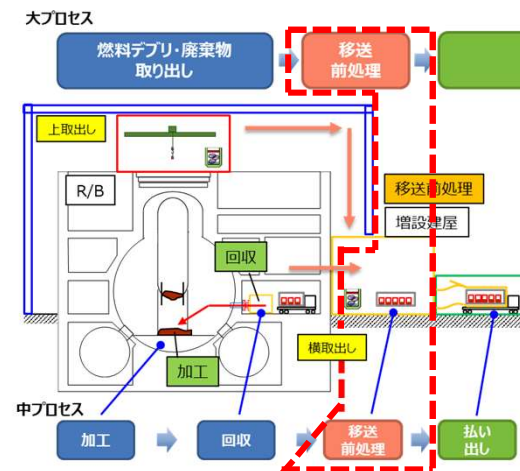
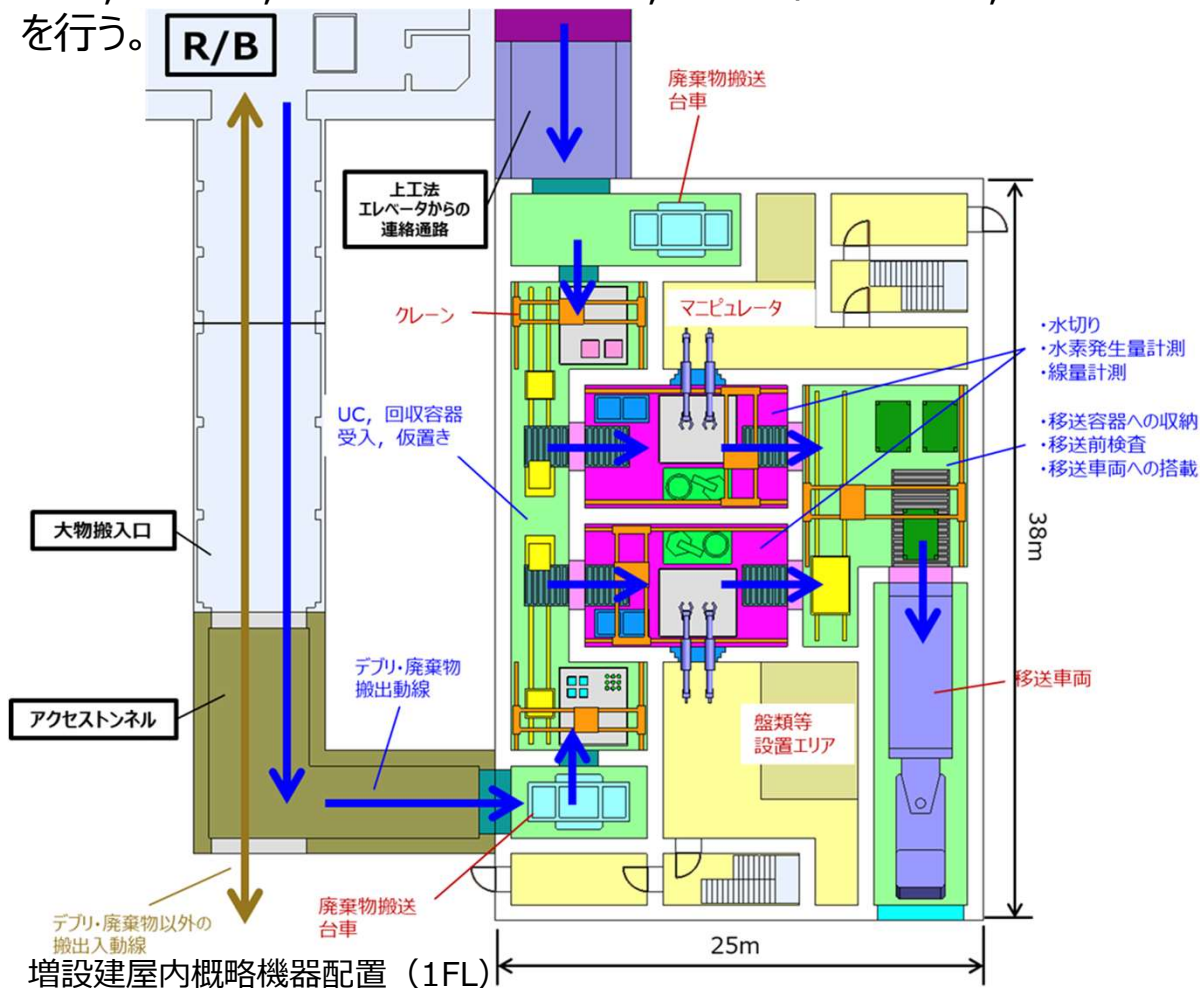


7.2.1 前提条件の抽出・整理 (6/11)

対象工法・システム概念の設定 (移送前処理)

移送前処理プロセス

- R/Bに隣接する増設建屋 (新設) 内での作業。
- 上横工法で取り出された燃料デブリ・高線量廃棄物の受け入れ, 計測, 仕分け, 水切り, 移送用容器に収納, 移送車両に搬入, 建屋外への搬出を行う。

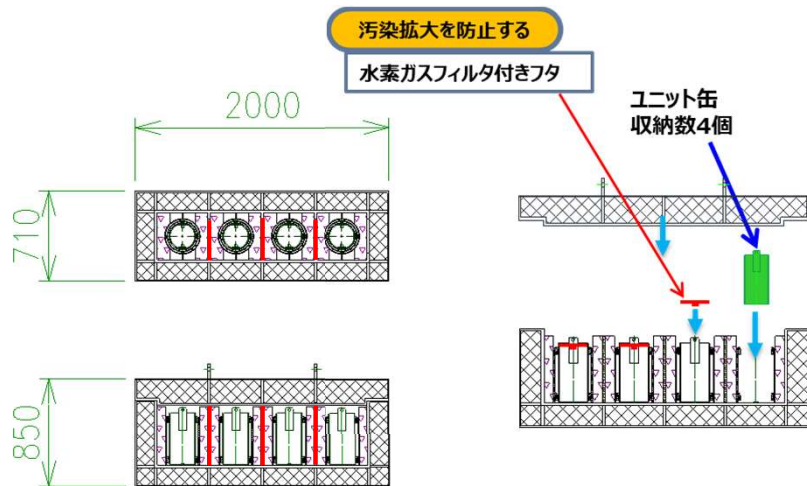
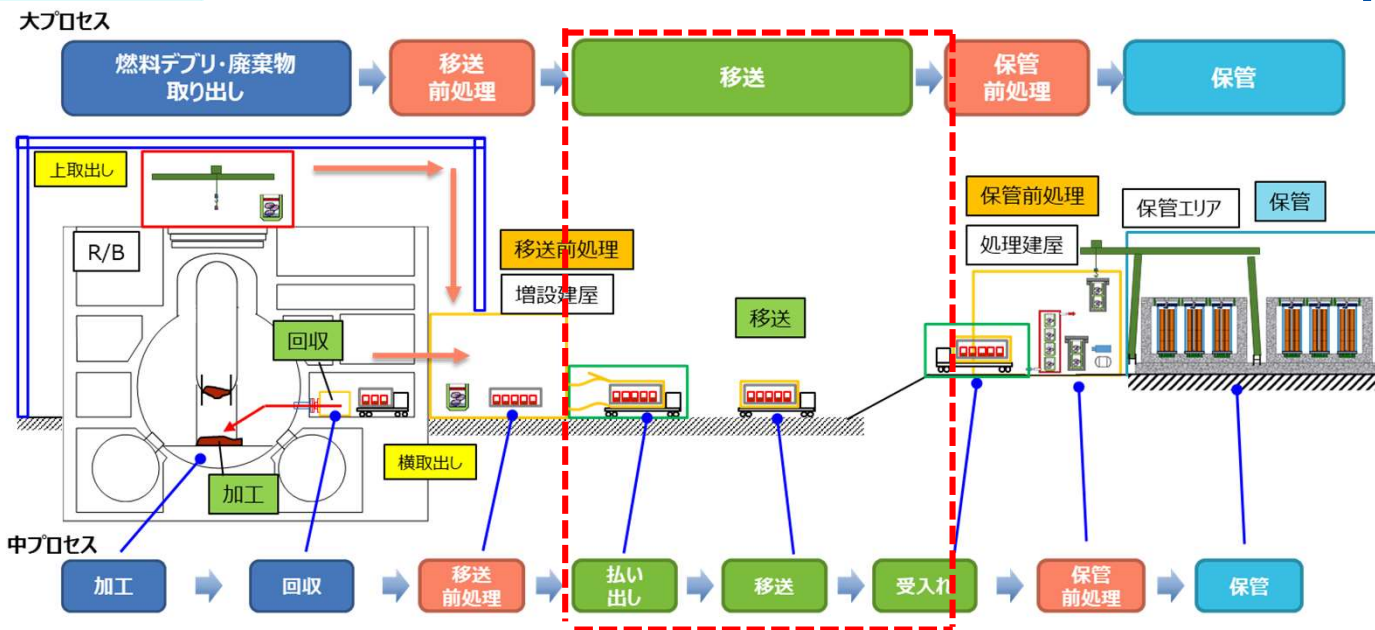


7.2.1 前提条件の抽出・整理 (7/11)

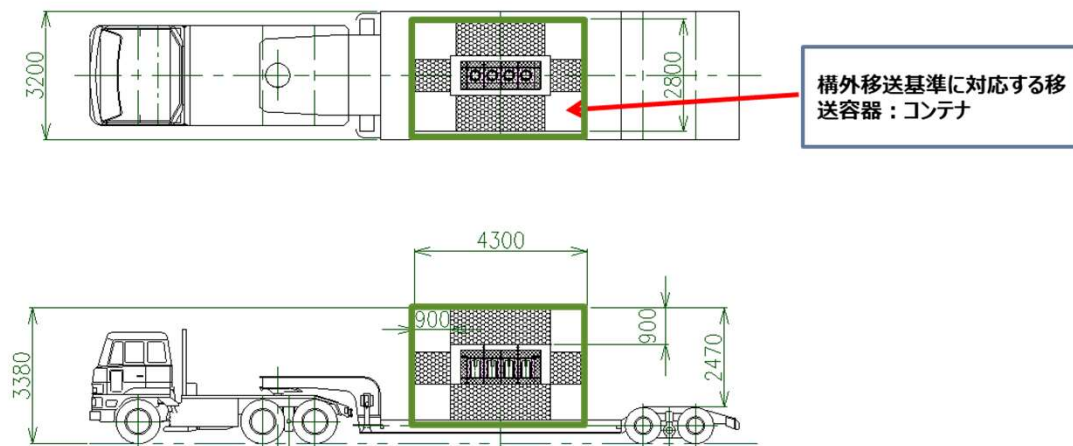
対象工法・システム概念の設定 (移送)

移送プロセス

- 増設建屋から保管前処理建屋まで、燃料デブリ・高線量廃棄物を、移送車両で搬送する。
- 移送車両は、屋外構内道路を走行する前提とする。
- 保管前処理建屋は、保管施設近傍の35m盤に設置される。



ユニット缶移送遮蔽ケース



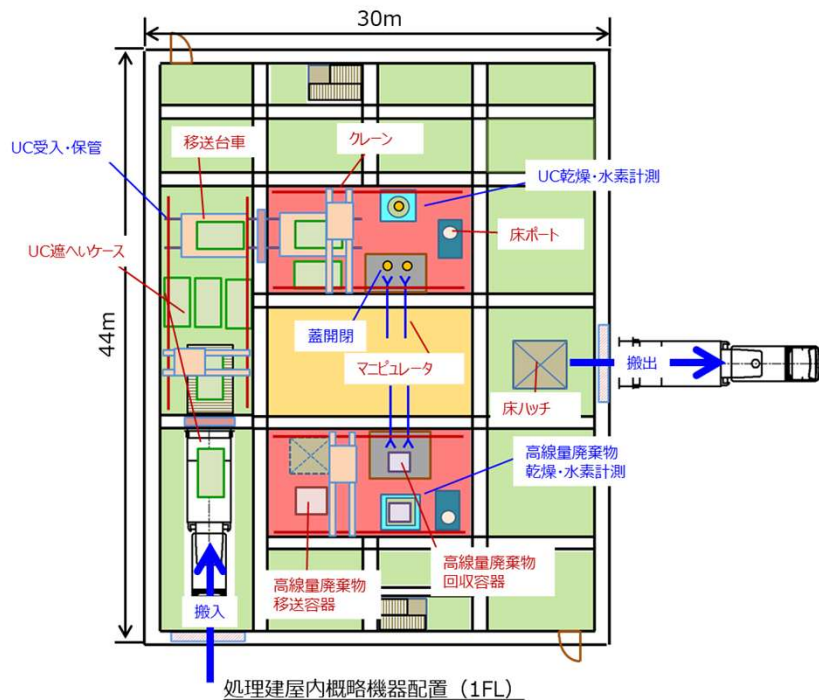
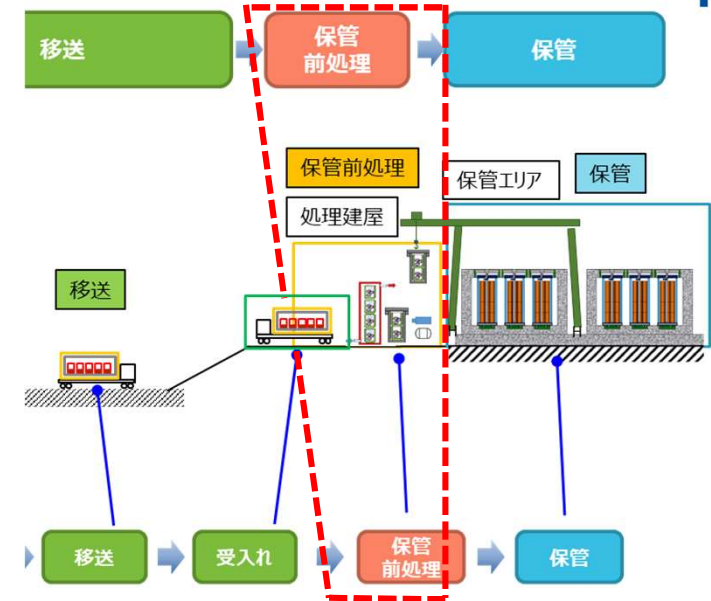
構内道路移送用装置

7.2.1 前提条件の抽出・整理 (8/11)

対象工法・システム概念の設定 (保管前処理)

保管前処理プロセス

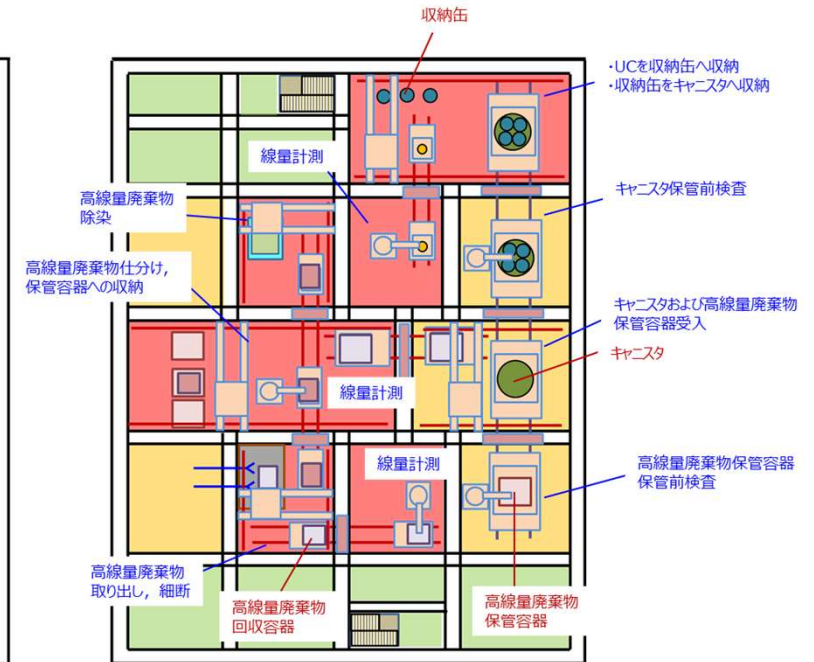
- 保管施設の近傍に**新設される保管前処理建屋内での作業。**
- 移送されてきた, 燃料デブリ・高線量廃棄物の受け入れ, 乾燥, 計測 (水素, 線量, 発熱量等), 移送用容器に収納, 移送車両に搬入, 建屋外への搬出を行う。
- 保管前処理建屋は, 35m盤に新設される。



処理建屋内概略機器配置 (1FL)



処理建屋内概略機器配置 (2FL)



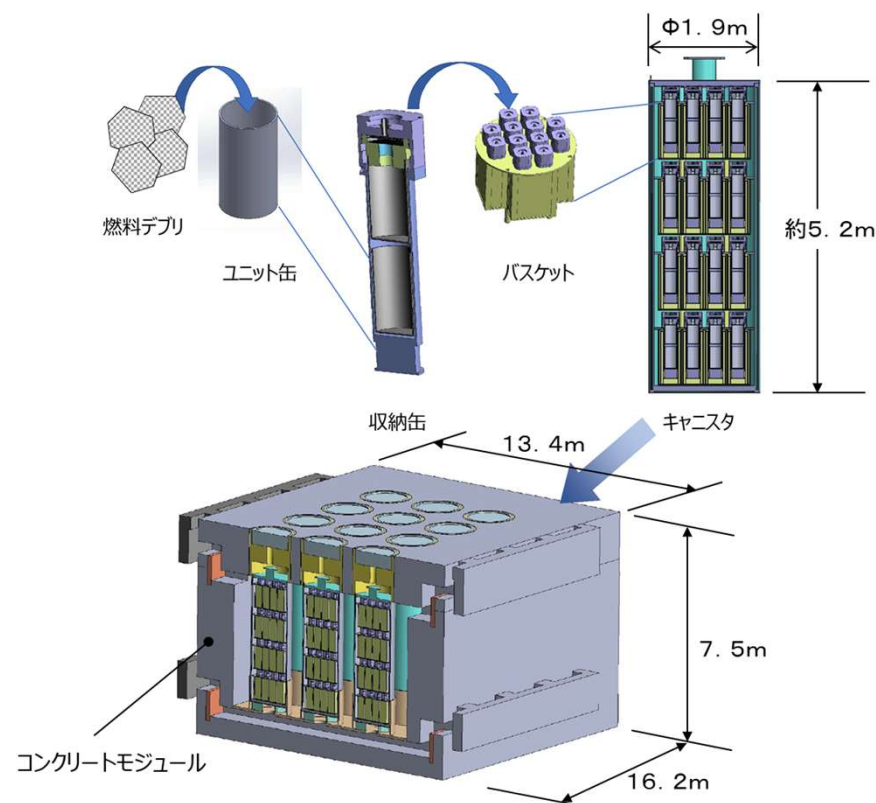
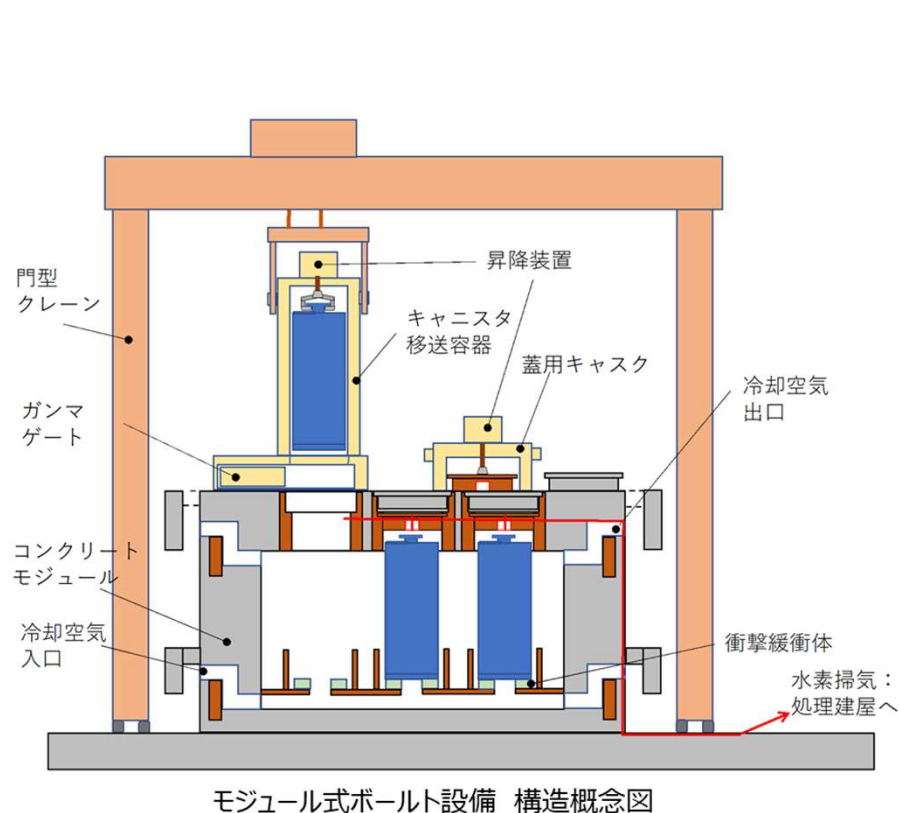
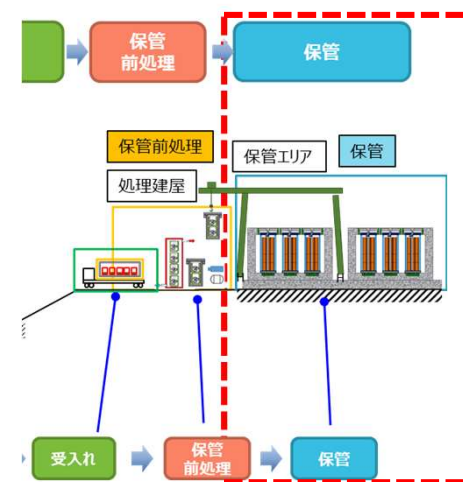
処理建屋内概略機器配置 (B1FL)

7.2.1 前提条件の抽出・整理 (9/11)

対象工法・システム概念の設定 (保管)

保管プロセス

- 保管施設は、35m盤に新設される。
- 屋外設置構造物（コンクリートモジュール）, 屋外クレーンが主要機器となる。
- 保管容器に収納された燃料デブリ・高線量廃棄物を, 所定の収納区域に収納し, 保管する。



7.2.1 前提条件の抽出・整理 (10/11)

前提条件として上流となる保守思想の整理

- 保守システムの概念検討を実施するため、前提条件としての上流の保守設計思想を整理する。
- 5.1項で設定した共通概念的な設計思想に、前項までで整理した燃料デブリ取り出し工法の概念をあてはめて、設計思想を見直した。

保守設備（※）の前提条件（保守設計思想）

※保守設備：新規保守施設に加え、R/B内や増設建屋内の保守設備も含む

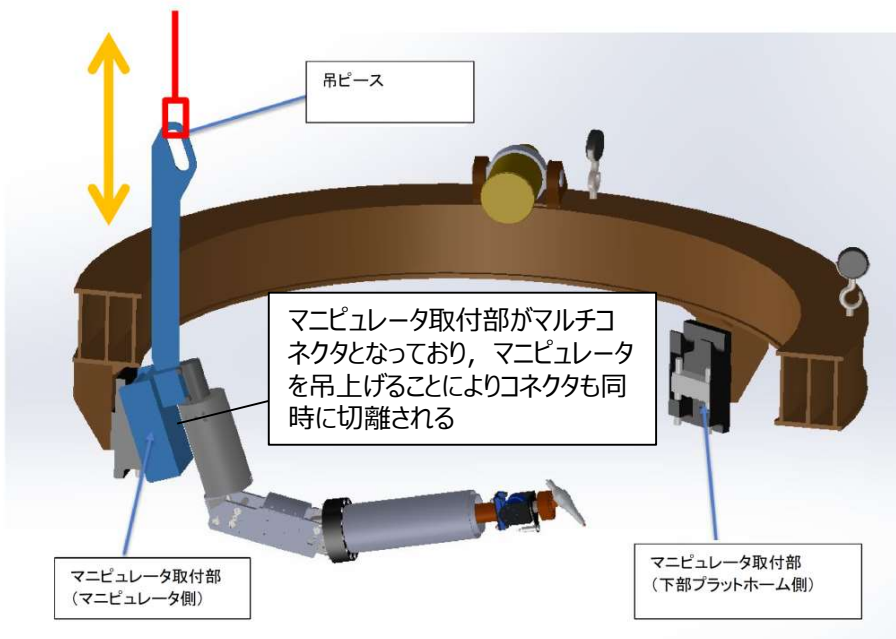
#	保守設計思想	補足説明
1	遠隔保守／直接保守の組み合わせ <ul style="list-style-type: none"> ➤ 除染することで人の近寄り可能なものは直接保守とするなど、汚染の度合いに応じて保守方法を適切に組み合わせる。 	
2	除染による直接保守化 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 保守設備には除染設備を備える。 	・1Fサイトで適用する法令・規定に基づき、直接保守を可能とする汚染レベルを設定する。
3	保守施設および保守エリアの配置 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 極力、保守対象機器の近傍に保守用の施設を配置する。 ➤ 場所の制約がある場合は、保守作業を分割し、作業内容に応じて保守施設の場所を設定する。 ➤ クレーンについては、使用エリアに隣接してクレーン保守エリア（パークセル等）を設ける。 	
4	予防保全／事後保全 の分類 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 保守対象機器は、安全上の重要度等に応じて、予防保全、事後保全等に分類する。分類に応じた機器の設計、補修或いは交換の設定、保守のタイミングの設定、予備品計画等を考慮する。 ➤ 保守設備は、上記の通り分類された保守作業内容、保守タイミングでの保守が可能な設計とする。 ➤ 高汚染の機器・部品については原則として交換を前提とする。 	・事後保全では、Run-to-failure、補修／交換の考え方が取り入れられている。全体、または使用頻度の高い部品の部分交換のためのモジュール化を考慮する。

7.2.1 前提条件の抽出・整理 (11/11)

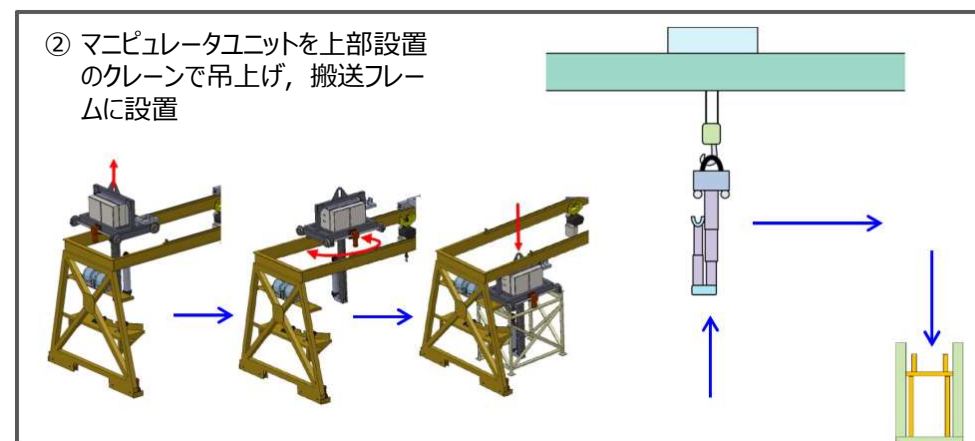
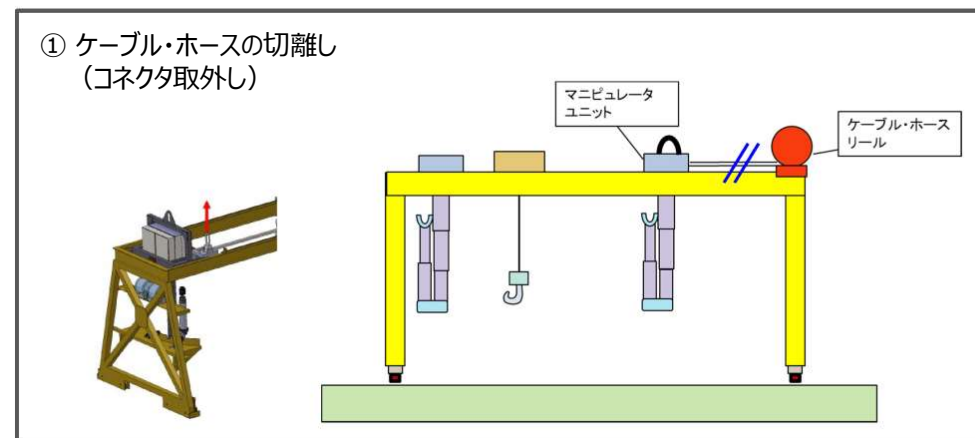
前提条件として上流となる保守思想の整理

保守対象機器の前提条件 (保守設計思想)

#	保守設計思想	補足説明
1	<p>モジュール単位の部分交換</p> <p>➤ 高度な汚染が想定される機器については、「補修」ではなく「交換」を前提とした保守を基本方針とし、「モジュール単位の部分交換」を前提とした設計とする。</p>	



プラットフォーム搭載マニピュレータの
モジュール交換例 (概念)



門型クレーン搭載マニピュレータのモ
ジュール交換例 (概念)

7.2.2 対象機器抽出・整理 (1/3)

➤ 保守方法の観点から対象機器を分類 【対象機器分類の各指標と概略保守方針】

これらの組合せケースにて分類

設置環境

- A: 高線量環境*1
- B: 低線量環境

- ⇒ 遠隔保守or被ばく低減を十分考慮した直接保守
- ⇒ 直接保守

使用環境

- A: 高汚染リスク大*2
- B: 汚染リスク低

- ⇒ 除染を考慮 ⇒ 結果に応じて直接保守or遠隔保守
- ⇒ 直接保守

設置状態

- A: 建屋外移送不可
- B: 建屋外移送可
- C: 部分的に建屋外移送可

- ⇒ 建屋内で保守
- ⇒ 必要に応じ保守施設へ移送し保守
(現場での保守が困難or合理的でない場合)
- ⇒ 移送可能な部位は必要に応じ保守施設へ移送し保守
(上記同様)

*1 高線量環境：燃料デブリ等の高線量物質が機器設置場所に存在する環境

*2 高汚染リスク大：燃料デブリ等を直接取り扱うため、対象機器が高度に汚染される可能性がある環境

Aに該当するものを保守方針に反映

安全上重要度*3

- A: 重要度高
- B: 重要度低

- ⇒ 機能の多重化を考慮，速やかに復旧できる保守を考慮
- ⇒ 上記考慮不要

生産性

- A: スループットへの影響大
- B: スループットへの影響小

- ⇒ 機能の多重化を考慮，速やかに復旧できる保守を考慮
- ⇒ 上記考慮不要

*3 保守対象機器（保守される側）の安全上の重要度

7.2.2 対象機器抽出・整理 (2/3)

➤ 保守方法の観点から、保守対象機器を分類

【分類ケース】

- 前頁の各指標から、考えられる組合せにて分類ケースを整理
- 次ページに示す抽出した燃料デブリ取り出し関連機器に対し、該当する下表保守分類ケースを記載

表7.2.2 保守分類ケース

分類#	設置環境	使用環境	設置状態	例	保守方針概要
1-1	A	A	A	セル内クレーン, セル間気密扉	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染後に直接保守or遠隔保守, 設置建屋内で実施 ・ 直接保守の場合は被ばく低減策を考慮
1-2	A	A	B	先端ツール, 横工法アクセス装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染後に直接保守or遠隔保守, 設置建屋内で実施 ・ 直接保守の場合は被ばく低減策を考慮
1-3	A	A	C	上工法セル内装設備, 保管前処理セル内装設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
2-1	A	B	A	移送前処理 容器受入設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直接保守, 設置建屋内で実施 ・ 被ばく低減策を考慮
2-2	A	B	B	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直接保守 ・ 被ばく低減策を考慮
2-3	A	B	C	上工法蓋開閉装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原則として設置建屋内で実施するが, 必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
3-1	B	B	A	ユーティリティ供給設備, 電気設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直接保守
3-2	B	B	B	監視設備 (エリアモニタ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原則として設置建屋内で実施するが, 必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
3-3	B	B	C	保管容器検査装置	

7.2.2 対象機器抽出・整理 (3/3)

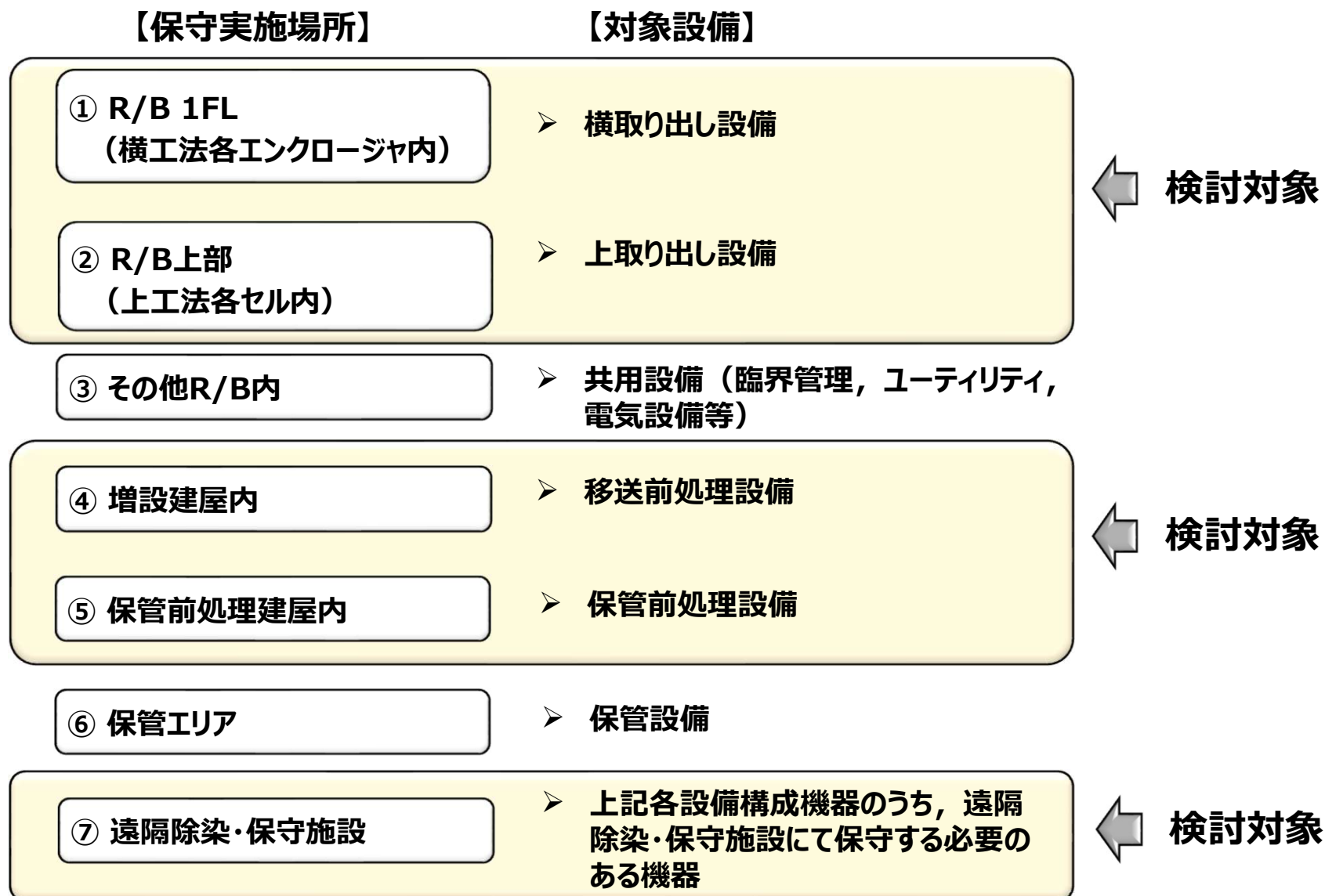
具体的に抽出した保守対象機器とその保守分類の検討 (下表は検討結果の抜粋)

デブリ取り出し関連機器リスト

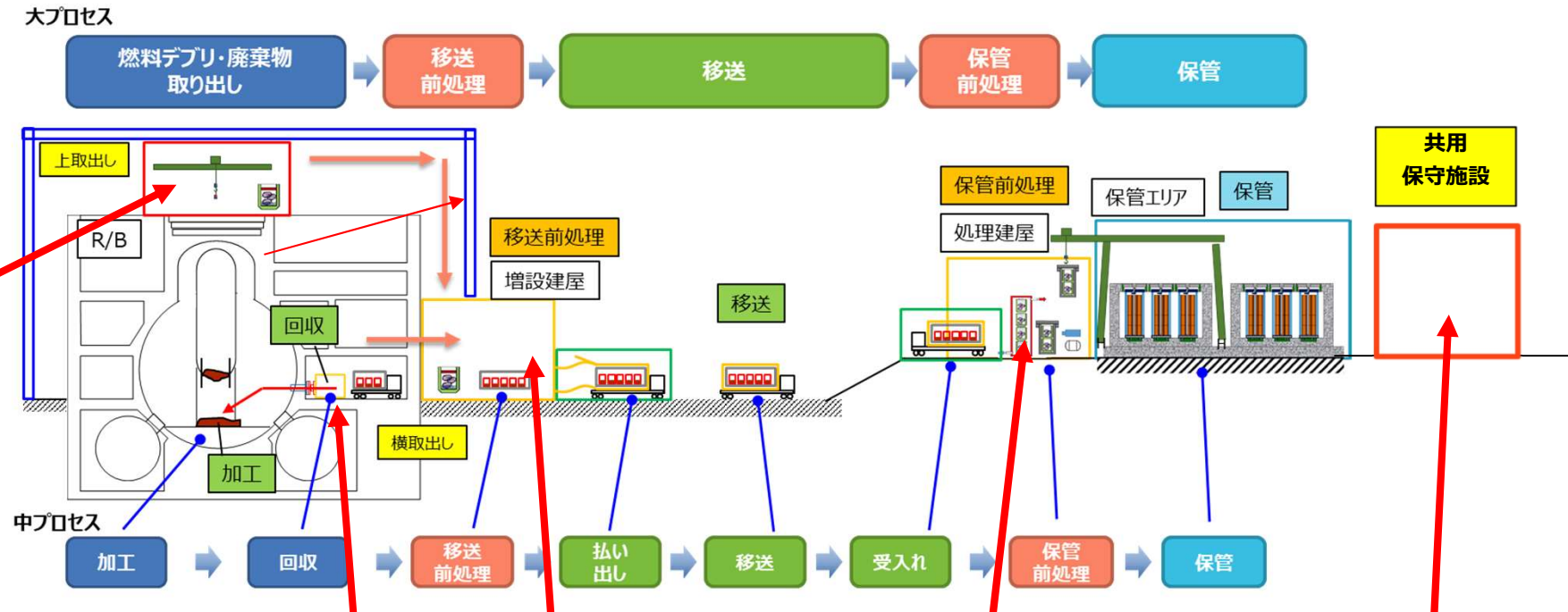
大分類	中分類	概要・用途	設置場所	設置環境	使用環境	設置状態	安全上重要度	生産性	保守分類	
1	横取り出し設備	1-1 アクセス装置用エンクロージャ	アクセス装置用を収納、搬送するためのエンクロージャ。隔離装置を介してX-6ベネに接続する	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-2 アクセス装置用エンクロージャ内装設備 (保守用ロボット、搬送設備、保管ラック、視聴覚設備、除染設備等)	アクセス装置用エンクロージャの内装設備	R/B 1FL	A	A	B	B	A	1-2
		1-3 隔離装置 (バウンダリ構築用隔離弁等)	アクセス装置用エンクロージャとX-6ベネ間に設置される隔離装置	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-4 干渉物除去装置	X-6ベネ内干渉物除去装置	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-5 アクセス装置 (マニピュレータ)	X-6ベネからベデスタル内へアクセスし、燃料デブリの加工・回収等を行うための装置	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-6 調査装置 (ROV)	ROV本体, HMI, 電気計装品	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-7 先端ツール (アクセス装置用)	加工ツール, 回収ツール, 監視・計測ツール等	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-8 保守用台車	エンクロージャと接続し、エンクロージャ内装設備や先端ツールの交換・保守治具の搬出入を行う。	R/B 1FL	A	A	B	A	B	1-2
		1-9 シールドブロック等除去装置	X-2パーソネルエアロックアクセスルート構築のための遠隔重機	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-10 X-2エンクロージャ用気密扉	X-2とX-2用エンクロージャ間に設置し、気密維持を行う	R/B 1FL	A	A	A	A	A	1-1
		1-11 気密扉接続装置	気密扉をX-2に接続 (溶接) するための装置	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-12 X-2エンクロージャ	X-2に接続し、デブリ・廃棄物の搬出入を行う	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-13 X-2エンクロージャ内装設備 (保守用ロボット、搬送設備、保管ラック、視聴覚設備、除染設備等)	X-2エンクロージャの内装設備	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-14 廃棄物回収装置	X-2からDW内へアクセスし、アクセス装置によるベデスタル内からのデブリ・廃棄物を回収するための装置	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2
		1-15 先端ツール (廃棄物回収装置用)	切断ツール, 回収ツール, 監視・計測ツール等	R/B 1FL	A	A	B	B	B	1-2
		1-16 エアロック内走行レール	廃棄物回収装置をエアロック内で搬送するための自走式レール	R/B 1FL	A	A	B	A	A	1-2

7.2.3 保守実施場所の整理 (1/2)

- これまでの検討結果を踏まえ、各設備に対する保守実施場所および概念検討の対象を示す。
(配置計画が具体化されていないもの、直接保守のみのものを対象外とした)



保守する場所の前提



【R/B内】

- ・R/B内に保守設備を構築
 - 横：エンクロージャ内
 - 上：オペフロ上セル内
- ・保守対象：
 - 横取り出し設備
 - 上取り出し設備

【増設建屋内】

- ・R/B隣接，新規建屋内に保守設備を構築
- ・保守対象：
 - 移送前処理設備
 - 取り出し設備 (R/Bでできないもの)

【保管前処理建屋内】

- ・35m盤，新規建屋内に保守設備を構築
- ・保守対象：
 - 保管前処理設備，
 - 移送・保管機器 他

【遠隔除染・保守施設】

- ・35m盤，新規・独立施設
- ・保守対象：
 - 各設備構成機器のうち，共用保守施設にて保守する必要のある機器

保守実施場所の整理

7.2.4 要求事項の分類・深堀り (1/46)

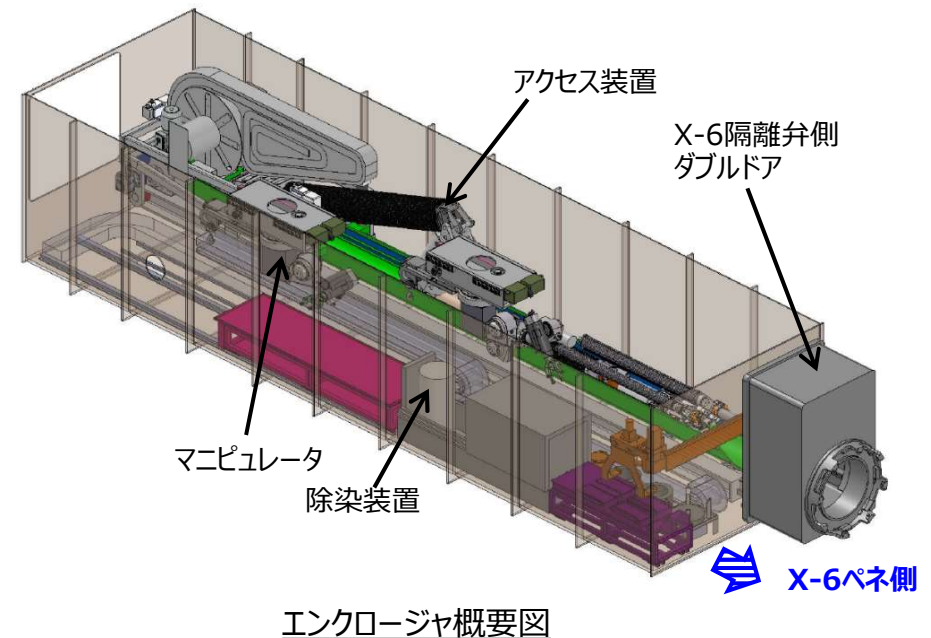
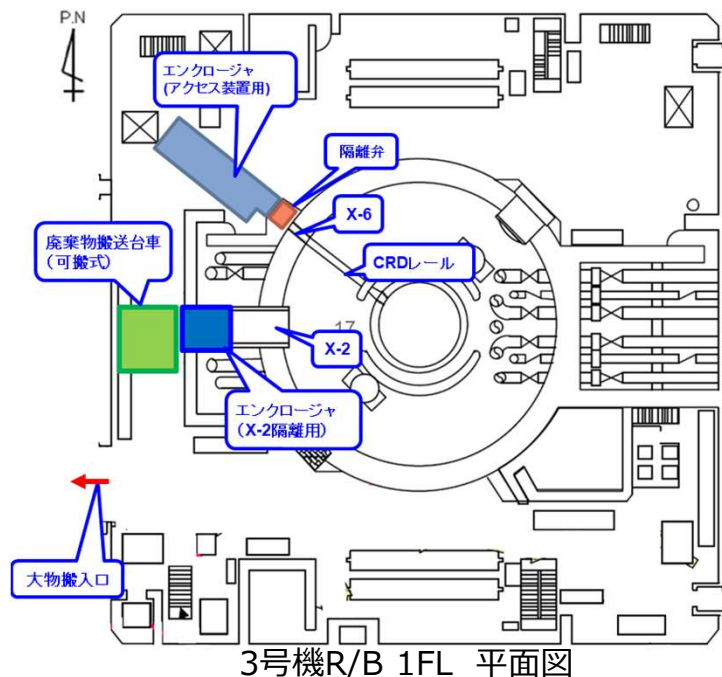
(1) 保守設備

- 7.2.3 (1/2) で整理した各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深堀り）を実施

① R/B 1FL (横工法各エンクロージャ内)

【特徴および方針概要】

- R/B 1FLは十分な保守スペースを確保することが困難であるため、必要最低限のエンクロージャをPCV開口に接続し、そのエンクロージャからアクセス装置などの各機器をPCV内へ投入する計画としている。
- そのため、エンクロージャ内で内装機器に対する可能な範囲の保守を行い、その範囲を超える本格保守作業の必要が生じた場合には、エンクロージャから対象機器を取り出す、あるいはエンクロージャごと切り離して別の場所（遠隔除染・保守施設）で保守を行う方針とする。



7.2.4 要求事項の分類・深掘り (2/46)

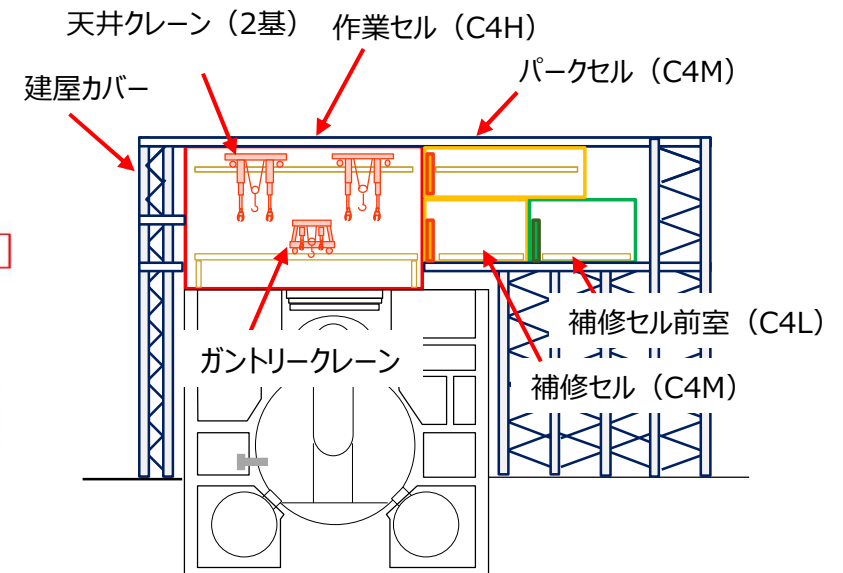
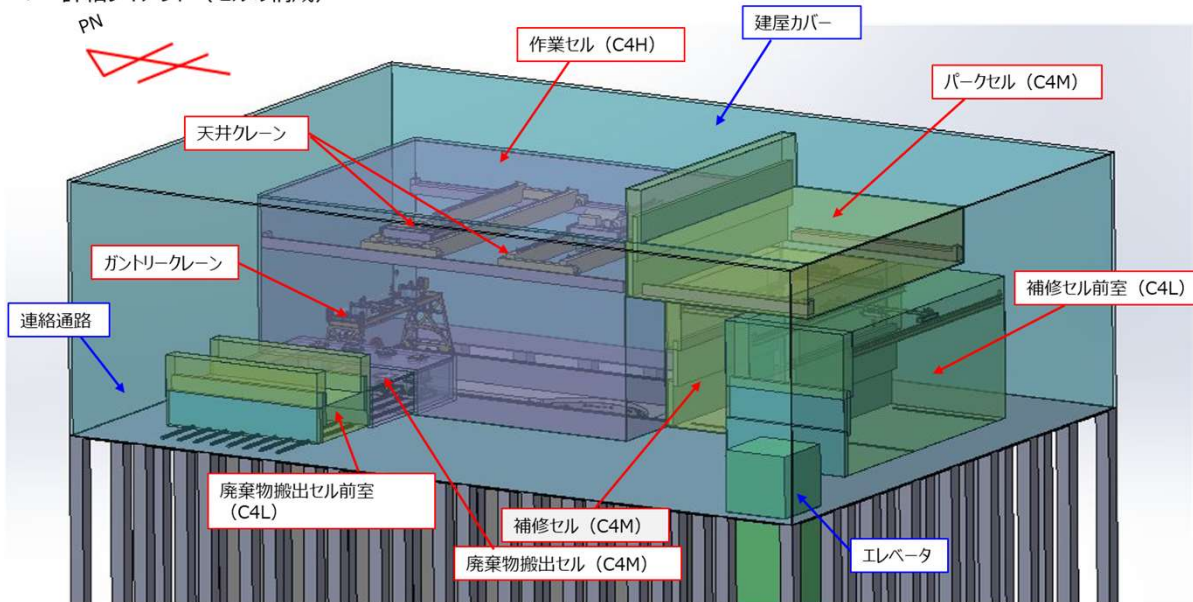
(1) 保守設備

② R/B上部 (上工法各セル内)

【特徴および方針概要】

- 建屋外への搬出が困難な大型機器が複数設置されることから、それらの保守のため、R/B上部セル内での保守が可能な構成とする必要がある。
- 一方、上構台への荷重制約等もあることから、保守エリアは必要最低限とし、遠隔除染・保守施設の利用も考慮に入れ、合理的な保守計画が必要となる。

➤ 詳細レイアウト (セルの構成)



上工法の全体レイアウトイメージ

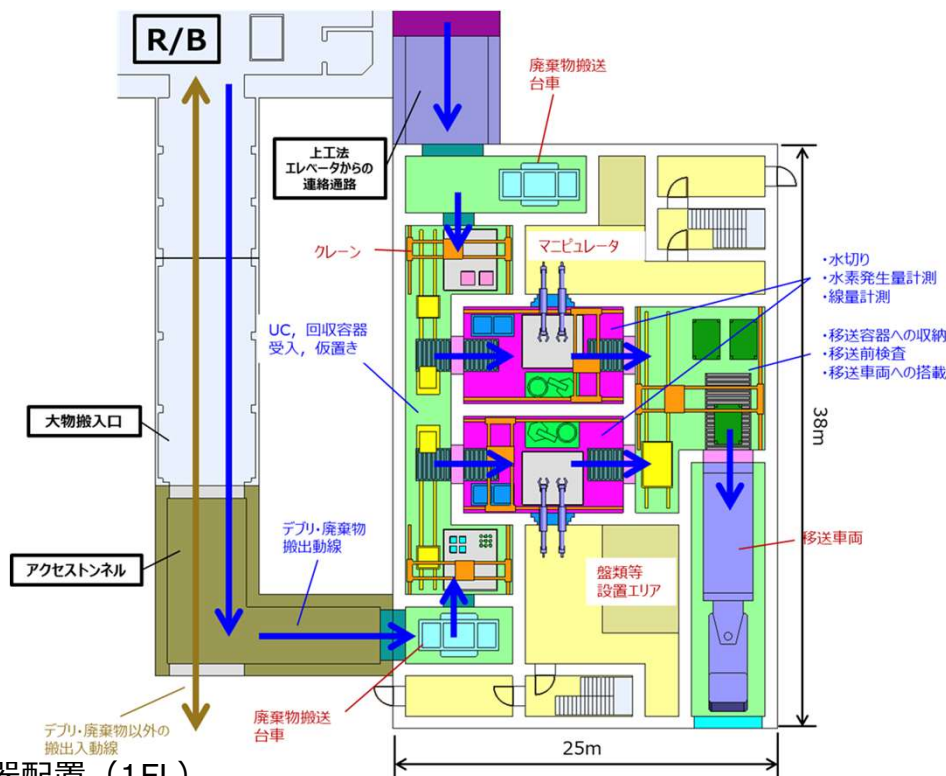
7.2.4 要求事項の分類・深掘り (3/46)

(1) 保守設備

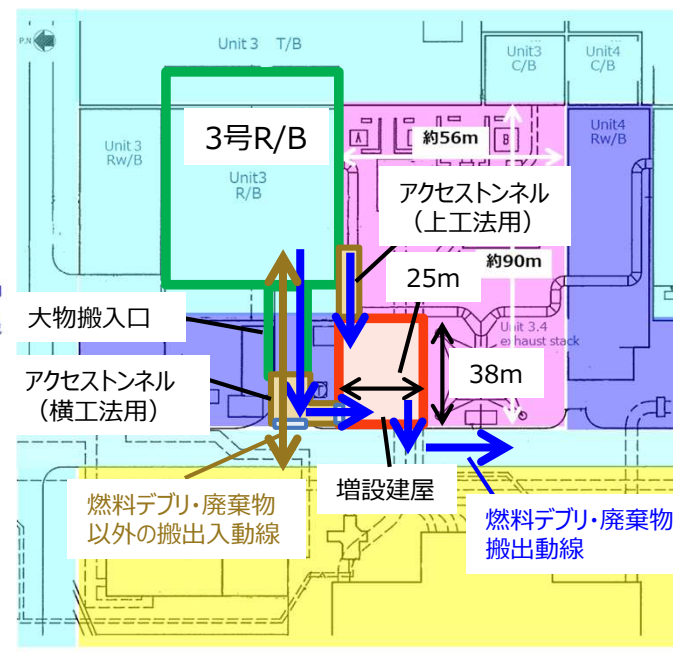
④ 増設建屋内

【特徴および方針概要】

- 増設建屋は、R/Bに隣接する形で建設される。増設建屋には、移送前処理設備のほか、R/B内の安全対策・管理設備等も設置される可能性があるため、R/B上部と同様に保守エリアを必要最低限とし、遠隔除染・保守施設での保守の併用も考慮に入れる必要がある。
- 上記のとおり、移送前処理設備以外の設備計画が明確でないことから、当該建屋全体の配置計画を立てるのが難しい。そのため、移送前処理設備の保守に必要な最低限の保守エリアについて検討を行う方針とする。



増設建屋内概略機器配置 (1FL)



R/Bと増設建屋の位置関係

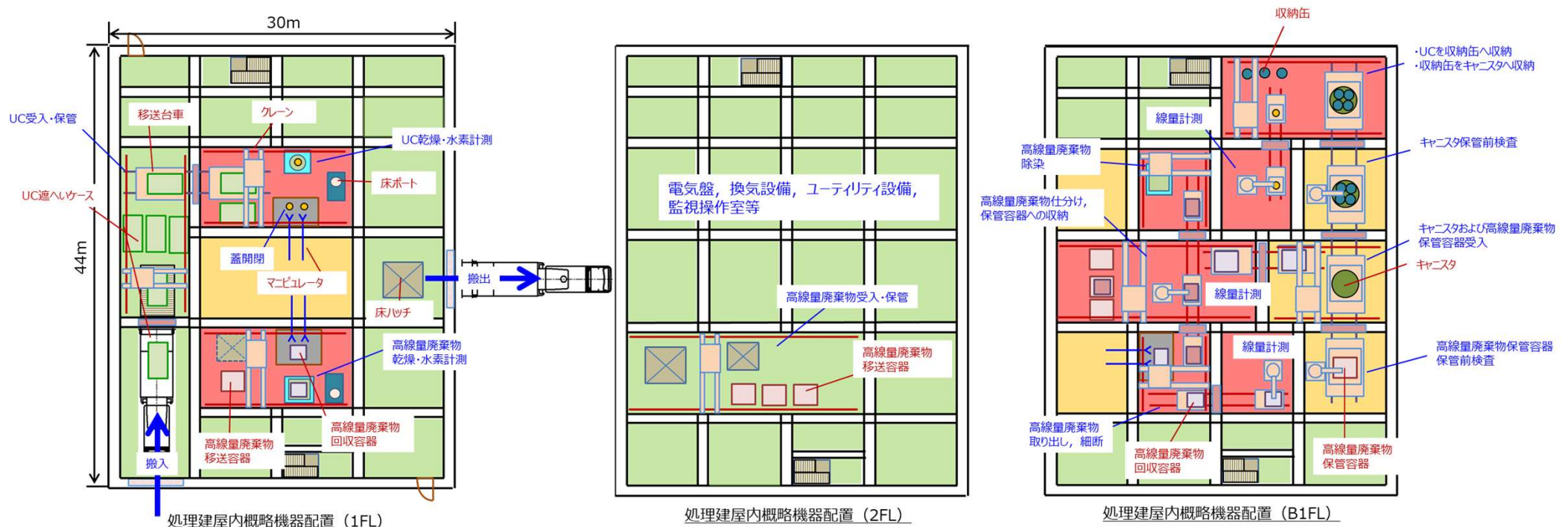
7.2.4 要求事項の分類・深掘り (4/46)

(1) 保守設備

⑤ 保管前処理建屋内

【特徴および方針概要】

- 保管前処理建屋は、高台（33.5m盤）に設けられる計画であり、増設建屋と比べてスペースの裕度はある。ただし、多数の新規施設の建設が計画されていることから、合理的なサイズ感とする必要がある点は同様である。
- 保管前処理設備の保守は、概ね本保管前処理建屋にて実施することが望ましい。しかし、共通的な装置（あるいはその一部の）保守に関しては、設備の整っている遠隔除染・保守施設で実施することが合理的な場合もあるため、遠隔除染・保守施設の利用も考慮に入れて保守計画を行う。



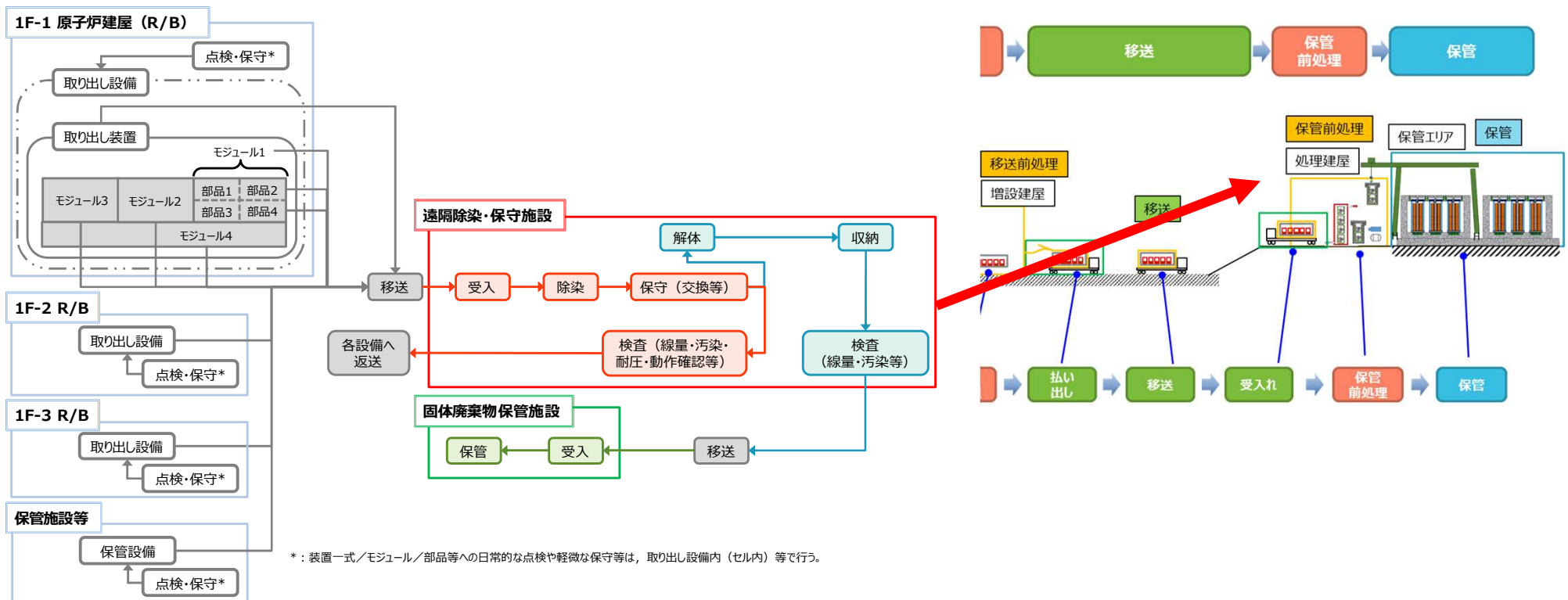
7.2.4 要求事項の分類・深堀り (5/46)

(1) 保守設備

⑦ 遠隔除染・保守施設

【特徴および方針概要】

- 遠隔除染・保守施設は、保管前処理施設と同様、高台（33.5m盤）に設ける計画とする。
- **保守専用施設**として、他の保守実施場所にて実施が困難な作業、あるいは共通的な装置の保守作業を行う。
- 検討の条件とした3号機の燃料デブリ取り出し設備だけでなく、将来的に他号機の（仕様の異なる）燃料デブリ取り出し設備の保守も対応可能とすべく、拡張性の高いシステム構成とする。



7.2.4 要求事項の分類・深掘り（6/46）

（1）保守設備

➤ 各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深掘り）を実施

⑦ 遠隔除染・保守施設

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
1	共通 遠隔除染・保守施設	<p>① 様々な装置・ユニット（部品）を対象とし、共用可能な保守設備とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 遠隔操作においては、自由度が高く比較的高ペイロードかつロバストなパワーマニピュレータや、精細な作業が可能なMSM、重量物搬送が可能な大型ホイスト、小回りの利く小型ホイスト等、多種多様な対象物に対して柔軟に対応可能な設備を有する。 ✓ マニピュレータに設置するエンドエフェクタは多種揃えておくことで、様々な作業に対応可能とする（※）。 ✓ 保守対象への柔軟なアクセス性を確保（多方面からのアクセス、大型の回転作業台の使用等） <p>② スループットや汚染拡大防止を考慮して、設備の共用化または複数化を検討する。</p> <p>③ 機器の設計変更や増設に柔軟に対応できるよう、セルの大きさや機器の配置に余裕を持たせておく。</p> <p>④ 1Fサイト内各号機の遠隔除染・保守施設として、物流のハブ機能を持たせるための建屋配置を行う。</p>	<p>※ただし、被保守対象に関しては可能な限り共通的にエンドエフェクタを使用できる仕様とすることが望ましい。</p> <p>② 汚染程度に応じて直接保守システム／遠隔保守システムの設備を設ける等。</p> <p>④ 予備品の貯蔵エリア等も考慮に入れる。</p>

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（7/46）

（1）保守設備

➤ 各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深掘り）を実施

⑦ 遠隔除染・保守施設

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
2	保守エリア （配置・動線）	<p>① 遠隔除染・保守施設は、高台（33.5m盤）に設ける計画とし、移送車両で各所から送られてくる保守対象機器を受け入れ可能な構造とする。</p> <p>② 高汚染が想定される保守用天井クレーンは、パークセルにて保守することを前提とする。</p> <p>③ 保守エリアへの機器移動は汚染拡大防止を考慮した部屋配置、動線とする。</p> <p>④ 保守作業で生じた固体廃棄物の減容・分別等のため、複数機器共通の解体セルを設ける。</p> <p>⑤ 固体廃棄物は必要に応じて除染が可能な設備を設ける。</p> <p>⑥ ホットセルとエアロックや遮蔽扉を介して隣接する位置（横方向／上下方向）に直接保守作業区画を設ける。</p> <p>⑦ 高い汚染が予想される作業セル（遠隔保守セル）の位置を中心・基本として配置・動線・ゾーニングを計画する。</p> <p>⑧ 原則として同一グレードのゾーンを分散しない。</p> <p>⑨ 物品搬出入距離は最小限に抑える。</p>	<p>② パークセルには除染設備を設ける。</p> <p>③ 汚染程度に応じた搬入経路/搬出経路を考慮。</p>

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (8/46)

(1) 保守設備

➤ 各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深掘り）を実施

⑦ 遠隔除染・保守施設

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
3	保守用機器 (クレーン, MSマニピュレータ, ツール等)	<p>① MSM (精細な作業), クレーン・搬送台車 (重量物搬送), PM (パイロードを有する作業) 等を保守作業に応じて適切に組み合わせて使用する。</p> <p>② 遠隔保守では, 想定される作業に対する視野を十分確保できるカメラ台数, 配置とする。(可能な限りカラーカメラの適用が望ましい)</p> <p>③ 照明は, 遠隔作業を行うにあたり適切な照度が確保できる (配置・台数) とする。</p> <p>④ 遠隔作業を行う部屋 (セル) には, マイクを設置し, 聴覚による作業補助を可能とする。</p> <p>⑤ 主となる遠隔操作機器 (クレーン, マニピュレータ) は, 仮想空間上の3Dモデルとリンクし, 位置や姿勢などをリアルタイムで仮想空間上に表現することにより, カメラによる視野を補う。</p> <p>⑥ 遠隔操作機器およびカメラ・照明等の付帯設備は, それら自身の保守を考慮した設計とする。</p> <p>⑦ 同種の遠隔操作機器を2台設置し, 相互に遠隔保守が可能とする。</p> <p>⑧ 遠隔操作の主となるマニピュレータは, オペレータが直観的な作業感覚を得られる機能・仕様とする。</p>	<p>② 3Dシミュレーションにて想定作業時の視野を十分検証する。</p> <p>⑥ 配置・動線, モジュール化の考慮等。</p> <p>⑧ 自由度, 力覚, 速度応答性等。</p>

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (9/46)

(1) 保守設備

➤ 各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深掘り）を実施

⑦ 遠隔除染・保守施設

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
4	除染システム	<p>① 各所から受け入れる多様な保守対象機器（機器種類、構造、汚染レベル）に対応するため、遠隔除染・保守施設には本格的な除染設備を設ける方針とする。</p> <p>② 様々な装置、汚染程度に対応可能なよう複数種の除染設備を設ける。</p> <p>③ 汚染拡大防止のため、専用除染セルを設け、閉空間で除染可能な設備とする。</p> <p>④ 排気・排水等、二次廃棄物の処理を含め汚染拡大防止を確実にする。</p>	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（10/46）

（1）保守設備

➤ 各保守実施場所に対して、要求事項の見直し（深掘り）を実施

⑦ 遠隔除染・保守施設

#	遠隔除染・保守システム	要求事項	備考
5	移送機器 (移送台車, 軌道, 移送容器)	<p>① 作業者が直接対象に触れることなく、遮蔽および気密バウンダリを維持した状態でセル内の機器部品交換やその搬出入が可能な移送システムとする。</p> <p>② 交換により生じた固体廃棄物は、収納した状態で廃棄物保管施設や除染施設へ移送できる。</p>	
6	遮蔽, 閉じ込め (汚染拡大防止) (エンクロージャ, 遮蔽扉, 換気システム)	<p>① セル間は気密扉や遮蔽扉を設けて遮蔽, 閉じ込め機能を確保する。</p> <p>② 汚染された対象物の屋外 (構内) 輸送時は, キャスク等により遮蔽と気密を確保する。</p> <p>③ 汚染区域での換気設備は, 以下の機能を維持する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 汚染区域を負圧に保ち, 汚染された (可能性のある) 空気が非汚染区域に漏出しないようにする。 ✓ 汚染区域内の各部屋間や各装置間などに差圧を設け, 空気の流れが汚染の危険性の低い方から高い方に生じるようにし, 常に逆の流れが生じないようにする。 ✓ 各部屋や装置などの汚染された (可能性のある) 空気を浄化装置に導き, 浄化した後排気する。 	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（11/46）

（2）保守対象機器

【要求事項の整理方針】

7.2.2 のとおり、対象機器は多種多様であるため、以下の方針にて要求事項を整理する。

- 遠隔保守，直接保守それぞれを実施する上で，全機器共通的な要求事項をまとめる。
- 分類ケース別に代表機器を抽出し，その代表機器に対する具体的な要求事項を整理する。
- 同分類の機器であっても，保守方針が異なる場合があるため，その場合は代表機器を複数抽出する。
- 最終的に概念検討の結果をフィードバックし，要求事項の見直し，追加等を行う。
- 代表機器を抽出する分類ケースは下表赤枠の各ケースとする。

分類 #	設置環境	使用環境	設置状態	例	保守方針概要
1-1	A	A	A	セル内クレーン，セル間気密扉	・ 除染後に直接保守or遠隔保守，設置建屋内で実施 ・ 直接保守の場合は被ばく低減策を考慮
1-2	A	A	B	先端ツール，横工法アクセス装置	・ 除染後に直接保守or遠隔保守，設置建屋内で実施 ・ 直接保守の場合は被ばく低減策を考慮
1-3	A	A	C	上工法セル内装設備，保管前処理セル内装設備	・ 必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
2-1	A	B	A	移送前処理 容器受入設備	・ 直接保守，設置建屋内で実施 ・ 被ばく低減策を考慮
2-2	A	B	B	—	・ 直接保守 ・ 被ばく低減策を考慮
2-3	A	B	C	上工法蓋開閉装置	・ 原則として設置建屋内で実施するが，必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
3-1	B	B	A	ユーティリティ供給設備，電気設備	・ 直接保守
3-2	B	B	B	監視設備（エリアモータ）	・ 原則として設置建屋内で実施するが，必要に応じて全体or一部を保守施設へ移送して保守
3-3	B	B	C	保管容器検査装置	

← 該当機器がないため
対象外

← 低線量環境での直
接保守となるため
対象外

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（12/46）

（2）保守対象機器

共通

#	分類	要求事項	備考
1	直接保守，遠隔保守に共通の要求事項	<p>① 安全上重要となる機器は，多重化または代替機器により，機能を喪失させないシステム構成とする。また，極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。</p> <p>② 生産性において重要となる機器は，多重化，極力短時間で保守が行える仕様としたり，予備機を設ける等により，作業中断期間の短縮化を考慮する。</p> <p>③ <u>除染液や除染方法による劣化に耐えられるような機器の構造材料を選定する。</u></p> <p>④ <u>除染を容易にするために、除染対象装置の設計では以下を考慮する。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>表面の凹凸を極力避ける</u> ✓ <u>溶接部：亀裂や隙間が無いよう，連続溶接仕上げとする。</u> ✓ <u>金属表面は平滑または研磨する。</u> ✓ <u>多孔質材料の不使用</u> ✓ <u>上記が困難な場合，汚染防止カバーやストリップペイントの適用を考慮する。</u> <p>⑤ <u>保守頻度，交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとし，定形容器による輸送が可能な寸法・重量とする。</u></p>	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（13/46）

（2）保守対象機器

共通

#	分類	要求事項	備考
2	遠隔保守を行うための要求事項	<ul style="list-style-type: none"> ① 遠隔作業での取外しと据付が可能のように、保守対象機器を極力モジュール化 ② 遠隔交換作業の取り合い部分は、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。 ③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化 ④ 遠隔操作対象機器（部品、モジュール）は、転倒しない構造とする。 ⑤ ユニット着脱の方向性を極力揃え、ガイドやピンにて遠隔操作で容易に着脱可能な設計とする。（例：極力鉛直上方からのアクセスで着脱できるようにする。） ⑥ 遠隔操作機器の位置情報を出力可能とし、自己衝突防止機能を有する。可能な限り遠隔操作機器の可動範囲に存在する構造物等の位置情報を把握し、遠隔操作機器との相対位置によりそれら構造物との衝突防止インターロックを設ける。 ⑦ 機器の設置状態確認や類似部品の識別用のマーキング（カメラ視野により確認可能なもの）を設ける。 ⑧ 形状は可能な限り単純な形状（直方体、円筒形）とし、凹凸の多い複雑形状は極力避ける。 ⑨ 遠隔操作上の取り合い点は、同一平面上に設けることを基本とする。 ⑩ 使用する遠隔操作機器の特性を考慮して倣い機構またはガイドを設ける。 ⑪ 遠隔操作対象（機器、部品、モジュール）は、吊上げ時に水平バランスが取れるよう、吊点は極力重心位置に設ける。重心位置に吊点を設けることが困難な場合は、カウンタウエイト等によりバランスを調整する。 	<p>③ 例）遠隔ボルトの種類（サイズ、材質、形状）、クランプの種類、吊りベイルの形状、コネクタの種類等。</p>

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（14/46）

（2）保守対象機器

共通

#	分類	要求事項	備考
3	直接保守を行うための要求事項 (作業の容易性)	<ul style="list-style-type: none"> ① タイベック・カバーオール、全面マスク、手袋等の着用前提での作業が想定される場合は、精細な作業が不要となる設計とする。 ② 短時間で作業が行えるように、一連の作業で締緩するボルトサイズは可能な限り統一する。 ③ 作業員が手で持ち上げ搬送する機器は重量15-20kg程度以下を目安とし、取手等をもうけることで把持する場所を認識可能な構造とする。また、20kgを超えるものについては、揚重機等で吊上げ、搬送が容易に行えるよう吊金具、ワイヤを容易に取り付けることのできる構造とする。 ④ 作業短縮のため、機器、モジュール、部品等保守対象部位は、容易に取付け、取外しが行えるようにボルト本数の削減、位置決めガイドの設置を考慮する。 ⑤ 想定される保守作業を行うために十分な作業スペースを確保する。 	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（15/46）

（2）保守対象機器

共通

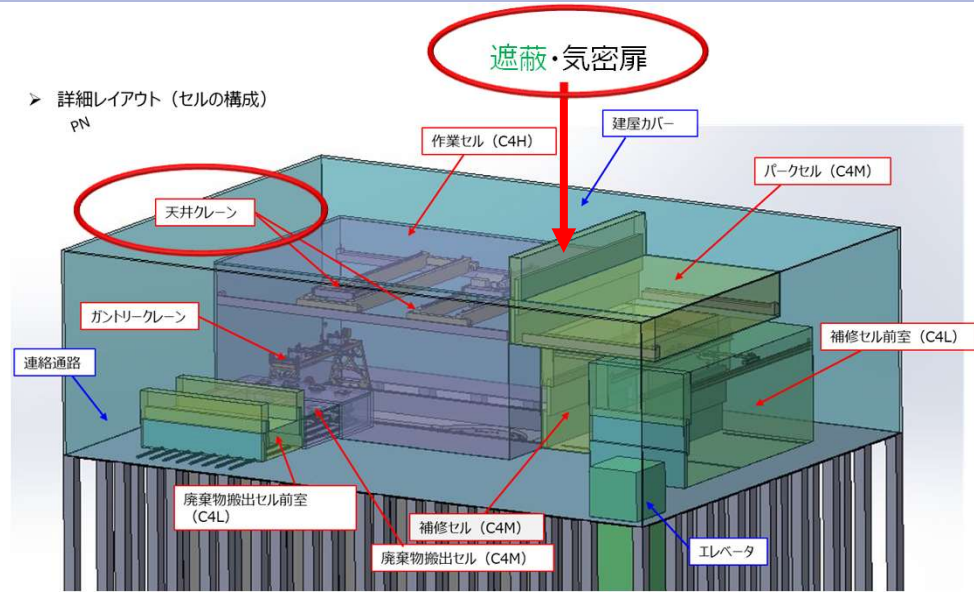
#	分類	要求事項	備考
4	直接保守を行うための要求事項 (除染の容易性)	<p>① 除染液や除染方法による劣化に耐えられるような機器の構造材料を選定する。</p> <p>② 除染を容易にするために、除染対象装置の設計では以下を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 表面の凹凸を極力避ける。 ✓ 溶接部：亀裂や隙間が無いよう、連続溶接仕上げとする。 ✓ 金属表面は平滑または研磨する。 ✓ 多孔質材料の不使用 	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (16/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース: 1-1

設置環境: 高線量環境
 使用環境: 高汚染リスク大
 設置状態: 建屋外移送不可



➤ 保守内容の異なる以下の各機器を代表機器として要求事項の整理を行う。

#	代表機器	保守方針概要	保守方針が同様の機器
1	作業セル天井クレーン (上工法セル内天井クレーン)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設置セルに隣接するパークセル (保守セル) へ移送して保守 ✓ 必要に応じ除染を行い, 直接保守 ✓ 除染困難な範囲に関しては, 遠隔保守を考慮 	各建屋内セル天井クレーン
2	上工法セル間遮蔽・気密扉	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低線量側のセルから直接保守 (必要に応じ除染) ✓ 保守頻度の高い部品は低線量側から保守可能な構造とする 	—

7.2.4 要求事項の分類・深堀り（17/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送不可

【作業セル天井クレーン】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構	・多重化（各機構） ・走行機構：外部ウィンチによる強制牽引によりパークセル内へ引き込める仕様とする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構 ・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等）	モータやセンサ類等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。（設置ボルトへのアクセス容易性、点検歩道の設置等）
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構	本機器は、パークセル内での直接保守を想定しているが、被ばく低減のため短時間で交換等の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有	・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等） ・カメラ	
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（18/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送不可

【作業セル天井クレーン】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	移送	パークセルへの移送を可能とするため、作業セル／パークセル間のレール乗り移りが可能な可動式の乗り移り機構（橋桁）を設ける。	レール（作業セル／パークセル間）	遮蔽扉閉時は乗り移り用レールを遮蔽扉の動線上から退避させ、遮蔽扉開時に当該レールが作業セル／パークセルレール間に設置可能な構造とする。
2	衝突防止	遮蔽扉閉時に走行中のクレーンが遮蔽扉と衝突しないように衝突防止機能を設ける。	走行装置/遮蔽扉	レールの乗り移りを考慮し、遮蔽扉の衝突防止に車輪止めは不可。センサー等を使用する。
3	保守	除染作業を考慮し機器に水密性を設ける。	天井クレーン全体	除染方法は散水による洗浄やふき取りなどの手段が想定されるため、下記を考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ・機器は水密性、耐水性のある物を選定する。 ・水密性を持たせられないものはカバー等を設ける。 ・機器や本体に水が溜まらない構造とする。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (19/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送不可

【上工法セル間遮蔽・気密扉】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・扉駆動機構（遮蔽部） ・扉駆動機構（気密部）	・多重化（各機構） ・1枚の扉に対して、駆動機構（モータ）は2台（常用・救援用）とし、一方のモータが故障した場合でも救援可能とする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・扉駆動機構（遮蔽部） ・扉駆動機構（気密部） ・各種センサ ・制御盤 ・インフレートシール	駆動機構（モータ）・各種センサ・制御盤類・インフレートシール等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。 （交換作業は遮蔽バウンダリの外側（低線量エリア）から実施可能とし、作業員被ばくの防止を図る。）
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・扉駆動機構（遮蔽部） ・扉駆動機構（気密部） ・各種センサ	本機器は、低汚染・低線量側セル（補修セル等）内での直接保守を想定している。そのため、被ばく低減のため短時間で交換等の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有	・制御盤 ・インフレートシール	
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (20/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送不可

【上工法セル間遮蔽・気密扉】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	誤動作防止	作業セル天井クレーンの可動式のレールが遮蔽・気密扉間にある際に、扉を閉にならないよう、インターロックを設ける。	制御	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（21/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

➤ 保守内容の異なる以下の各機器を代表機器として要求事項の整理を行う。

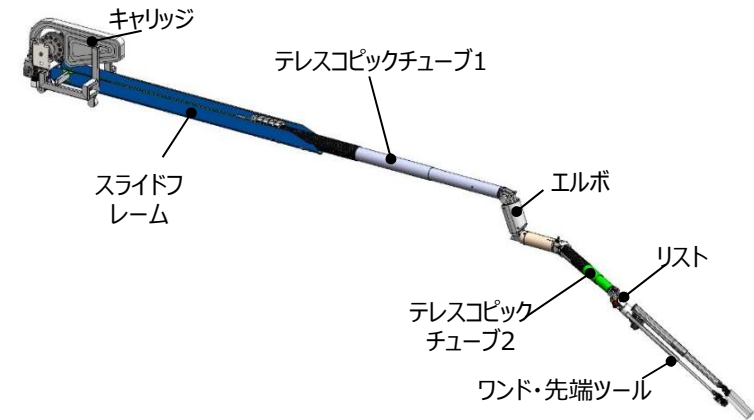
#	代表機器	保守方針概要	保守方針が同様の機器
1	横工法アクセス装置 (マニピュレータ)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 保守頻度の高い部品はエンクロージャ内で遠隔保守（交換） ✓ 装置を分解するような本格保守はエンクロージャごと遠隔除染・保守施設へ移送して保守 ✓ 遠隔除染・保守施設では汚染程度に応じて除染後に直接保守または遠隔保守 	—
2	横工法アクセス装置用 先端ツール	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 消耗品はエンクロージャ内で遠隔交換 ✓ 劣化・故障等により継続使用不可となったら一式を新規品に交換 	セル内装機器類
3	上工法廃棄物解体装置	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 保守頻度の高い部品はR/B上部保守セルにて新規品に交換 ✓ 上記以外の保守は遠隔除染・保守施設に移送して実施 	ペDESTAL外燃料デブリ回収装置（ROV）

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (22/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可



【横工法アクセス装置 (マニピュレータ)】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・アーム主構造部 ・キャリッジ	・アームおよびキャリッジに救援機構を設け、機能喪失時でもPCV内部からエンクロージャへ収納可能とする。 ・カメラやセンサ等の放射線劣化等により交換頻度が高いと予想される部品をモジュール化し、エンクロージャ内のマニピュレータで交換可能な仕様とする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・センサ ・カメラ ・一部の樹脂部品	
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有		
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (23/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置（マニピュレータ）】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
2	遠隔保守を行うための要求事項	⑤ 遠隔操作対象機器（部品，モジュール）は，自立可能な構造とする。	有	・センサ ・カメラ	・カメラやセンサ等の放射線劣化等により交換頻度が高いと予想される部品をモジュール化し，エンクロージャ内のマニピュレータで交換可能な仕様とする。
		⑥ ユニット着脱の方向性を極力揃え，ガイドやピンにて遠隔操作で容易に着脱可能な設計とする。（例：極力鉛直上方からのアクセスで着脱できるようにする）	有	・一部の樹脂部品	
		⑦ 遠隔操作機器の位置情報を出力可能とし，自己衝突防止機能を有する。また，可能な限り遠隔操作機器の可動範囲に存在する構造物等の位置情報を把握し，遠隔操作機器との相対位置によりそれら構造物との衝突防止インターロックを設ける。	有	・アーム主構造部 ・キャリッジ	・エンクロージャ内で遠隔保守が可能となるよう，可能な限り左記構造を反映する。
		⑧ 機器の設置状態確認や類似部品の識別用のマーキング（カメラ視野により確認可能なもの）を設ける。	有		
		⑨ 形状は可能な限り単純な形状（直方体，円筒形）とし，凹凸の多い複雑形状は極力避ける。	有		
		⑩ 遠隔操作上の取り合い点は，同一平面上に設けることを基本とする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（24/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置（マニピュレータ）】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
2	遠隔保守を行うための要求事項	⑪ 使用する遠隔操作機器の特性を考慮して倣い機構またはガイドを設ける。	有	・アクセス装置 ・エンクロージャ内機器	・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるようボルトサイズの大型化等を行い、極力精密な作業が不要となる設計とする。
		⑫ 遠隔操作対象（機器、部品、モジュール）は、吊上げ時に水平バランスが取れるよう、吊点は極力重心位置に設ける。重心位置に吊点を設けることが困難な場合は、カウンタウェイト等によりバランスを調整する。	有		
3	直接保守を行うための要求事項（作業の容易性）	① タイベック・カバーオール、全面マスク、手袋等の着用前提での作業が想定される場合は、精細な作業が不要となる設計とする。	有	・アクセス装置 ・エンクロージャ内機器	・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるようボルトサイズの大型化等を行い、極力精密な作業が不要となる設計とする。 ・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 短時間で作業が行えるように、一連の作業で締緩するボルトサイズは可能な限り統一する。	有		
		③ 作業員が手で持ち上げ搬送する機器は重量15-20kg程度以下を目安とし、取手等をもうけることで把持する場所を認識可能な構造とする。また、20kgを超えるものについては、揚重機等で吊上げ、搬送が容易に行えるよう吊金具、ワイヤを容易に取り付けることのできる構造とする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（25/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置（マニピュレータ）】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
3	直接保守を行うための要求事項（作業の容易性）	④ 作業短縮のため、機器、モジュール、部品等保守対象部位は、容易に取付け、取外しが行えるようにボルト本数の削減、位置決めガイドの設置を考慮する。	有	・アクセス装置 ・エンクロージャ内機器	・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		⑤ 想定される保守作業を行うために十分な作業スペースを確保する。	有	・遠隔除染・保守施設	・遠隔除染・保守施設に十分な作業スペースを確保する。
4	直接保守を行うための要求事項（除染の容易性）	① 除染液や除染方法による劣化に耐えられるような機器の構造材料を選定する。	有	・アーム先端側部品	・特に深刻な汚染が予想されるアーム先端側部品に対し、可能な限り左記構造を反映する。
		② 除染を容易にするために、除染対象装置の設計では以下を考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 表面の凹凸を極力避ける。 ➢ 溶接部：亀裂や隙間が無いよう、連続溶接仕上げとする。 ➢ 金属表面は平滑または研磨する。 ➢ 多孔質材料の不使用 	有	・アーム主構造部 ・キャリアッジ	・可能な限り左記構造を反映する。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (26/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置（マニピュレータ）】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	移送	① 保守頻度の高い部品はエンクロージャ内で遠隔保守可能な仕様とする。	センサ, カメラ, 一部の樹脂部品	エンクロージャ内に設置されている保守用マニピュレータにより保守可能な仕様とする。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (27/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置用先端ツール】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・先端ツール	・ツールチェンジャにて先端ツールのみ切離しを行い、先端ツールをPCV 内に残置してアーム全体をエンクロージャへ収納する。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・先端ツール	・予備の先端ツールを用意し、保守中は予備品を使用して作業を継続する。
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	無	-	-
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	無		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	無		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	無		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（28/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置用先端ツール】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容		
2	遠隔保守を行うための要求事項	⑤ 遠隔操作対象機器（部品、モジュール）は、自立可能な構造とする。	無	-	-		
		⑥ ユニット着脱の方向性を極力揃え、ガイドやピンにて遠隔操作で容易に着脱可能な設計とする。（例：極力鉛直上方からのアクセスで着脱できるようにする。）	無				
		⑦ 遠隔操作機器の位置情報を出力可能とし、自己衝突防止機能を有する。また、可能な限り遠隔操作機器の可動範囲に存在する構造物等の位置情報を把握し、遠隔操作機器との相対位置によりそれら構造物との衝突防止インターロックを設ける。	無				
		⑧ 機器の設置状態確認や類似部品の識別用のマーキング（カメラ視野により確認可能なもの）を設ける。	有			・先端ツール	・エンクロージャ内で遠隔保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		⑨ 形状は可能な限り単純な形状（直方体、円筒形）とし、凹凸の多い複雑形状は極力避ける。	有				
		⑩ 遠隔操作上の取り合い点は、同一平面上に設けることを基本とする。	有				

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（29/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置用先端ツール】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
2	遠隔保守を行うための要求事項	⑪ 使用する遠隔操作機器の特性を考慮して倣い機構またはガイドを設ける。	有	・先端ツール	・エンクロージャ内で遠隔保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		⑫ 遠隔操作対象（機器、部品、モジュール）は、吊上げ時に水平バランスが取れるよう、吊点は極力重心位置に設ける。重心位置に吊点を設けることが困難な場合は、カウンタウエイト等によりバランスを調整する。	有		
3	直接保守を行うための要求事項（作業の容易性）	① タイベック・カバーオール、全面マスク、手袋等の着用前提での作業が想定される場合は、精細な作業が不要となる設計とする。	有	・先端ツール	・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるようボルトサイズの大型化等を行い、極力精密な作業が不要となる設計とする。 ・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 短時間で作業が行えるように、一連の作業で締緩するボルトサイズは可能な限り統一する。	有	・先端ツール	
		③ 作業員が手で持ち上げ搬送する機器は重量15-20kg程度以下を目安とし、取手等をもうけることで把持する場所を認識可能な構造とする。また、20kgを超えるものについては、揚重機等で吊上げ、搬送が容易に行えるよう吊金具、ワイヤを容易に取り付けることのできる構造とする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (30/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置用先端ツール】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
3	直接保守を行うための要求事項（作業の容易性）	④ 作業短縮のため、機器、モジュール、部品等保守対象部位は、容易に取付け、取外しが行えるようにボルト本数の削減、位置決めガイドの設置を考慮する。	有	・先端ツール	・遠隔除染・保守施設にて直接保守が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		⑤ 想定される保守作業を行うために十分な作業スペースを確保する。	有	・遠隔除染・保守施設	・遠隔除染・保守施設に十分な作業スペースを確保する。
4	直接保守を行うための要求事項（除染の容易性）	① 除染液や除染方法による劣化に耐えられるような機器の構造材料を選定する。	有	・先端ツール	・特に深刻な汚染が予想されるアーム先端側部品に対し、可能な限り左記構造を反映する。
		② 除染を容易にするために、除染対象装置の設計では以下を考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 表面の凹凸を極力避ける ➢ 溶接部：亀裂や隙間が無いよう、連続溶接仕上げとする ➢ 金属表面は平滑または研磨する ➢ 多孔質材料の不使用 	有	・先端ツール	・可能な限り左記構造を反映する。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (31/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【横工法アクセス装置用先端ツール】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	移送	① 消耗品はエンクロージャ内で遠隔保守可能な仕様とする。	先端工具消耗品 (ブレード等)	エンクロージャ内には保守用のマニピュレータを設置する。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (32/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【上工法廃棄物解体装置】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	無	—	安全上重要な機器ではない。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	本体（一式）	スループットに影響を及ぼす機器のため、故障時には一括交換可能なよう、予備機を準備する。
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・走行機構 ・各種センサ	本機器は、故障頻度の高いものは補修セル内で遠隔で交換の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (33/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-2

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：建屋外移送可

【上工法廃棄物解体装置】

b) 機器特有の要求事項

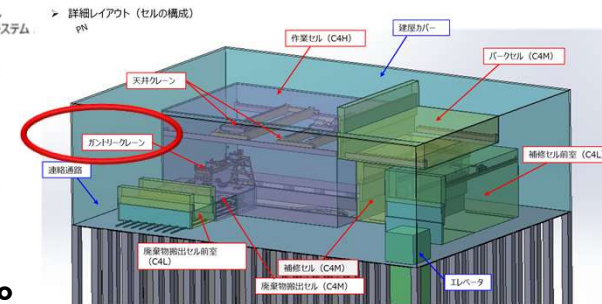
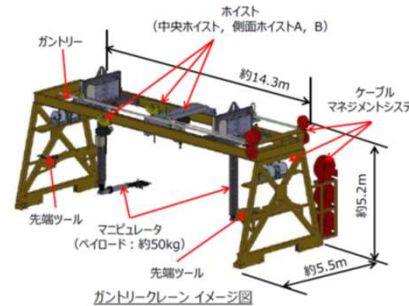
#	分類	要求事項	対象	備考
1	移送	装置の作業セル外への搬出のため、搬送容器を考慮する。	搬送容器	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (34/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：部分的に建屋外移送可



➤ 保守内容の異なる以下の各機器を代表機器として要求事項の整理を行う。

#	代表機器	保守方針概要	保守方針が同様の機器
1	上工法ガントリークレーン (上工法炉内構造物撤去装置)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 走行機構等, 建屋外移送が困難な範囲および保守頻度の高い部品は, 設置セルに隣接する補修セルへ移送して保守 ✓ マニピュレータの本格保守はモジュールとして取外し, 遠隔除染・保守施設へ移送して保守 	各建屋内セル天井クレーン (マニピュレータ付)
2	保管前処理設備除染装置	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 保守が必要な範囲は可能な限りモジュール構造とし, 遠隔交換により保守 ✓ 遠隔交換不可の範囲の保守は除染後に設置セル内での直接保守 (ただし直接保守が困難と想定される装置については, 装置一式を着脱可能とするとも要考慮) 	処理設備のセル内設置機器
3	保管前処理建屋換気空調設備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度に汚染されるフィルタ類は遠隔交換 ✓ その他の構成機器 (排風機等) は直接保守 	他施設換気空調設備

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（35/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：部分的に建屋外移送可

【上工法ガントリークレーン（上工法炉内構造物撤去装置）】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構	・多重化（各機構） ・走行機構：外部ウインチによる強制牽引により補修セル内へ引き込める仕様とする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構 ・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等）	モータやセンサ類等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。（設置ボルトへのアクセス容易性等）
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・巻上機構 ・走行機構 ・横行機構	本機器は、補修セル内での直接保守を想定しているが、被ばく低減のため短時間で交換等の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有	・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等） ・カメラ	
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（36/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境

使用環境：高汚染リスク大

設置状態：部分的に建屋外移送可

【上工法ガントリークレーン（上工法炉内構造物撤去装置）】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	移送	走行機構等，建屋外移送が困難な範囲および保守頻度の高い部品は，設置セルに隣接するパークセル（保守セル）へ移送して保守する。	各装置	装置の保全は補修ではなく交換を前提とし，交換を容易に行える構造とする。
2	衝突防止	遮蔽扉閉時に走行中のクレーンが遮蔽扉と衝突しないように衝突防止機能を設ける。	走行装置/遮蔽扉	レールの乗り移りを考慮し，遮蔽扉の衝突防止に車輪止めは不可。センサー等を使用する。
3	保守	除染作業を考慮し機器に水密性を設ける。	各機器	除染方法は散水による洗浄やふき取りなどの手段が想定されるため，下記を考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ・機器は水密性、耐水性のある物を選定する。 ・水密性を持たせられないものはあるカバー等を設ける。 ・機器や本体に水が溜まらない構造とする。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (37/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：部分的に建屋外移送可

【保管前処理設備除染装置】（除染装置はマニピュレータ+レーザ除染ツールを想定）

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・テレスコープ ・キャリッジ	・テレスコープの駆動機構を2重化し、片方が故障した場合に切り替え、保守エリアに収納可能な状態まで救援できるようにする。 ・キャリッジに救援機構を設け、本機構にて保守エリアまで移動可能できるようにする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・アーム主構造部 ・レーザ除染ツール ・走行機構 ・横行機構 ・各種センサ (リミットスイッチ, ロードセル等)	・モータやセンサ類等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。 (設置ボルトへのアクセス容易性等) ・レーザヘッド, 光ファイバ等の長納期品は予備品を確保し、即座に交換が可能なようにする。
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・レーザ除染ツール	・レーザ除染ツールの主な構成部品は、レーザヘッド, 圧空供給ライン, 光ファイバケーブルとなる。これらを遠隔で交換可能となるよう、接続部をワンタッチ化する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度, 交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (38/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境

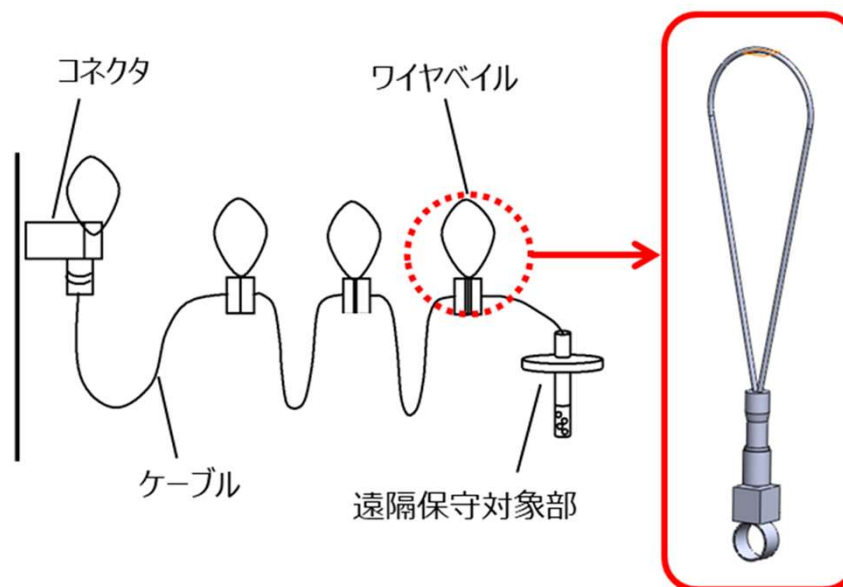
使用環境：高汚染リスク大

設置状態：部分的に建屋外移送可

【保管前処理設備除染装置】（除染装置はマニピュレータ+レーザ除染ツールを想定）

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	断線	① 光ファイバケーブルの断線対策	光ファイバケーブル	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバケーブルは断線しやすいため、ケーブルフック等をあらかじめセル内に設置し、当該フックにケーブルを掛けることでケーブルへの負荷を抑える。 ケーブルの許容曲げRにおさまるハンドリングに対する設計上の配慮が必要



7.2.4 要求事項の分類・深掘り (39/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：高汚染リスク大
 設置状態：部分的に建屋外移送可

【保管前処理建屋 換気空調設備】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・加熱器 ・HEPAフィルタ ・排風機	・多重化（各機器） ・遠隔交換型（加熱器，HEPAフィルタ） ・直接保守（排風機）
		② 生産性において重要となる機器は、多重化，極力短時間で保守が行える仕様とする，予備機を設けておく等により，作業中断期間の短縮化を考慮する。	無	・無し	・換気空調設備は，安全上重要な設備であるため，生産性において重要となる機器は無い。
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能のように，保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・対象機器上部へのアクセスが可能のように配置する。	・加熱器，HEPAフィルタは，機器の上蓋を開放し，取り付けボルトを取り外して交換を実施する。このため，以下の対応が必要である。 * 機器上部は，アクセスが可能のように空けておく * 天井クレーンの設置 * マニピュレータの設置
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については，「着脱部のワンタッチ化」，「位置決め構造の追加」，「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有	・耐放射線性を考慮した上で，EPDMなどゴム系を使用できる場合には，ワンタッチ化を検討する。	
		③ 遠隔交換作業は，その取り合い形状を含め極力標準化する。	有	・標準化対象：遠隔ボルト，吊りベイル，位置決めガイド，ガイドピン	
		④ 保守頻度，交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有	・遠隔交換を考慮し，ケーシング・吊りベイルと一体化する。	

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（40/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：1-3

設置環境：高線量環境

使用環境：高汚染リスク大

設置状態：部分的に建屋外移送可

【保管前処理建屋 換気空調設備】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	搬出入	① 機器設置エリアへの交換品の搬出入用として、バウンダリを確保したエリアを設ける。（2重扉など） ② 搬出入用の揚重機器（クレーン、台車など）を設置する。	・隔離扉 ・揚重機器	・機器設置エリアからの交換品の搬出入は、バウンダリを確保するため、2重扉などを設け、揚重機器については、共通エリアで切り替えが可能な構造とする。
2	廃棄物容器	① 交換品は、高線量になることが想定されるので、搬出入用の廃棄物容器を設ける。	・廃棄物容器	・交換品は、遠隔交換の際に必要な吊りベイルやケーシングと一つにパッケージ化した状態で、廃棄物容器に収納出来る大きさに設計する。
3	払出物品の線量検査	① 交換品の搬出にあたり、廃棄物容器の表面汚染検査、線量当量率を計測するためのシステムを設置する。	・払出品の汚染検査	・表面線量当量、表面汚染検査設備を設置する ・検査の結果、基準を満足しない場合には、除染など処置を実施するエリアへの動線を確認する。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（41/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：2-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：建屋外移送不可

➤ 以下の機器を代表機器として要求事項の整理を行う。

#	代表機器	保守方針概要	保守方針が同様の機器
1	移送前処理設備 受入室移送台車	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 直接保守を前提とするが、短時間で作業が可能なよう設計上の配慮を行う。 ✓ 想定外事象により汚染された場合を考慮し、除染可能な構造とする。 	移送前処理設備 受入・払出設備

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（42/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：2-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：建屋外移送不可

【移送前処理設備受入室移送台車】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・走行機構	・多重化（走行機構） ・走行機構：外部ウィンチによる強制牽引により保守エリアへ引き込める仕様とする。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・走行機構 ・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等）	モータやセンサ類等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。（設置ボルトへのアクセス容易性等）
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・走行機構 ・各種センサ（リミットスイッチ、ロードセル等）	本機器は、線源を撤去したのち直接保守を想定しているが、想定外事象で汚染があった場合の被ばく低減のため短時間で交換等の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（43/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：2-1

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：建屋外移送不可

【移送前処理設備受入室移送台車】

b) 機器特有の要求事項

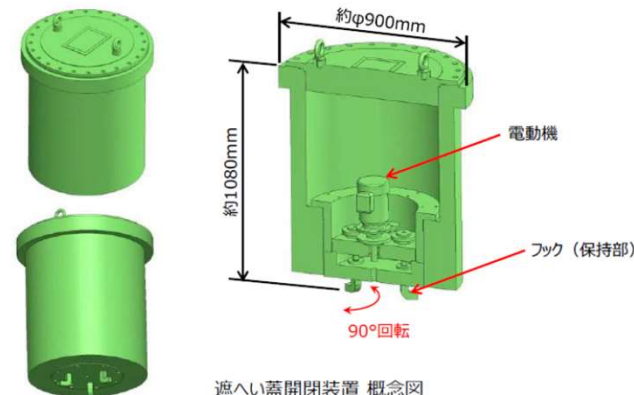
#	分類	要求事項	対象	備考
1	線源撤去	移送台車上に廃棄物等の線源が積載された状態で保守が必要になった場合、線源を撤去して直接保守が可能となるよう撤去用の揚重機器を設ける。	揚重機器（線源撤去用）	積載された廃棄物等の線源撤去用の揚重機器（クレーン等）を保守エリアに配置する。
2	衝突防止	保守エリアへの引き込み時など、走行中の台車が他機器と衝突しないように衝突防止機能を設ける。	走行装置	衝突防止のため車輪止めやセンサー等を使用する。
3	保守	想定外事象により汚染された場合を考慮し、除染可能な構造とする。	台車全体	除染方法は散水による洗浄やふき取りなどの手段が想定されるため、下記を考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ・機器は水密性、耐水性のある物を選定する。 ・水密性を持たせられないものはカバー等を設ける。 ・機器や本体に水が溜まらない構造とする。

7.2.4 要求事項の分類・深掘り (44/46)

(2) 保守対象機器

分類ケース：2-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：部分的に建屋外移送可



遮へい蓋開閉装置 概念図

➤ 以下の機器を代表機器として要求事項の整理を行う。

#	代表機器	保守方針概要	保守方針が同様の機器
1	遮蔽蓋開閉装置 (上工法廃棄物搬送容器用)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 直接保守を前提とするが、短時間で作業が可能なよう設計上の配慮を行う。 ✓ 想定外事象により汚染された場合を考慮し、除染可能な構造とする。 ✓ 必要に応じてモジュール交換可能な構造とし、短時間での復旧を可能とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・気密蓋開閉装置 (上工法) ・処理施設検査装置類

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（45/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：2-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：部分的に建屋外移送可

【遮蔽蓋開閉装置（上工法廃棄物搬送容器用）】

a) 共通要求事項に対する反映事項

#	分類	要求事項	該当有無	対象	内容
1	共通	① 安全上重要となる機器は、多重化または代替機器により、機能を喪失させないシステム構成とする。また、極力短時間で保守を実施可能な仕様とする。	有	・遮蔽蓋開閉電動機 ・遮蔽蓋開閉用フック	・代替機器を用意する。
		② 生産性において重要となる機器は、多重化、極力短時間で保守が行える仕様とする、予備機を設けておく等により、作業中断期間の短縮化を考慮する。	有	・遮蔽蓋開閉電動機 ・遮蔽蓋開閉用フック	モータやセンサ類等、交換が想定される部品は、作業員により交換しやすい構造とする。（設置ボルトへのアクセス容易性等）予備機を設ける。
2	遠隔保守を行うための要求事項	① 遠隔作業での取外しと据付が可能なように、保守対象機器をモジュール化することを基本方針とする。	有	・遮蔽蓋開閉電動機 ・遮蔽蓋開閉用フック ・各種センサ	本機器は、保守セル内での直接保守を想定しているが、被ばく低減のため短時間で交換等の保守作業が可能となるよう、可能な限り左記構造を反映する。
		② 遠隔交換作業の取り合い部分については、「着脱部のワンタッチ化」、「位置決め構造の追加」、「遠隔ハンドリングを容易にするための治具」を遠隔保守対象機器に設ける。	有		
		③ 遠隔交換作業は、その取り合い形状を含め極力標準化する。	有		
		④ 保守頻度、交換頻度の高いものは極力小型のモジュールとする。	有		

7.2.4 要求事項の分類・深掘り（46/46）

（2）保守対象機器

分類ケース：2-3

設置環境：高線量環境
 使用環境：汚染リスク低
 設置状態：部分的に建屋外移送可

【遮蔽蓋開閉装置（上工法廃棄物搬送容器用）】

b) 機器特有の要求事項

#	分類	要求事項	対象	備考
1	搬出入	保守・交換のため、搬出入用の容器に収納可能な構造とする。	・装置躯体 （電動機、開閉フック）	・装置の保全は補修ではなく交換を前提とし、交換を容易に行える構造とする。 ・交換品は、搬出入用の容器に収納するための吊りベイルやケーシングとパッケージ化した状態で、搬出入用容器に収納出来る大きさに設計する。
2	保守	想定外事象により汚染された場合を考慮し、除染可能な構造とする。	・装置躯体 ・遮蔽蓋開閉用フック	除染方法は散水による洗浄やふき取りなどの手段が想定されるため、下記を考慮する。 ・機器は水密性、耐水性のある物を選定する。 ・容易に除染可能な構造とする。

7. 遠隔除染・保守の概念検討

IHI

7.1 実施概要

7.2 遠隔除染・保守システムに関する要求事項の見直し

7.3 遠隔除染・保守施設の概念検討

7.3.1 保守内容の整理

7.3.2 作業フローの作成

7.3.3 必要機能・機器の整理

7.3.4 施設内動線・配置検討

7.3.1 保守内容の整理(1/8)

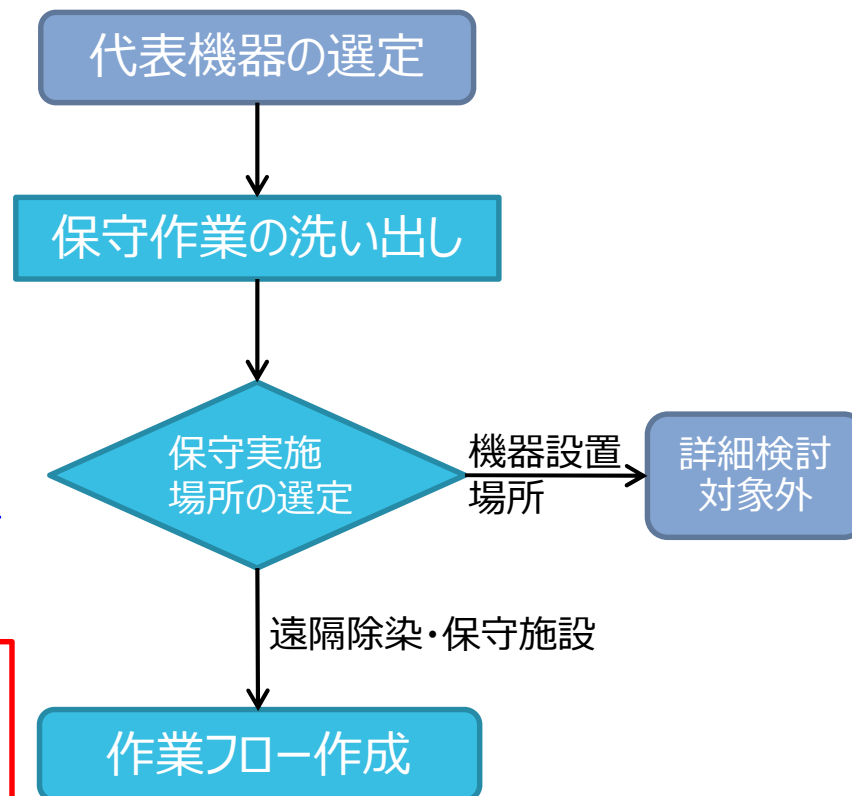
<保守作業計画策定の手順>

保守作業計画を策定する手順を以下に示す。

- 代表機器(取り出し装置)に対して必要となる保守作業を洗い出す。
- 各保守作業の実施場所を選定する。
機器設置場所(R/B等)での保守作業は機器側の所掌となり本検討の対象外とする(例えば、横アクセス工法の場合、エンクロージャ内で保守作業を実施する場合など)。
- 遠隔除染・保守施設で実施する保守作業について作業フローを作成する。

本資料では、IHI検討工法における次の二つについて検討結果を示す。

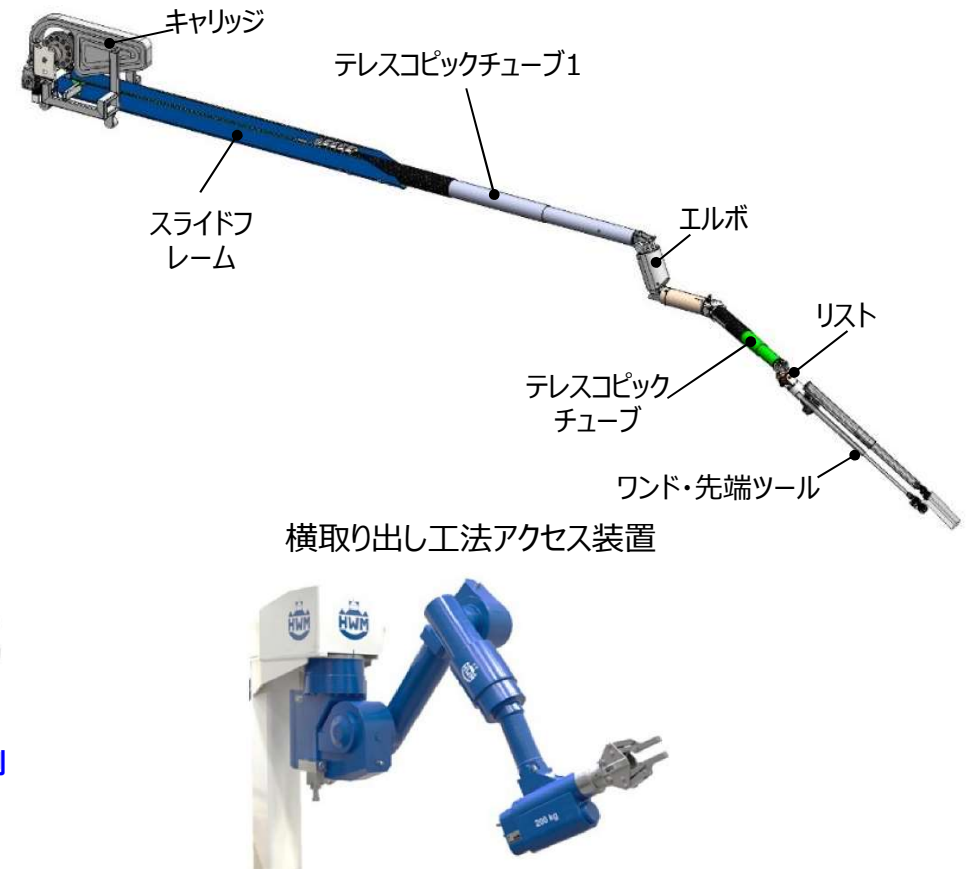
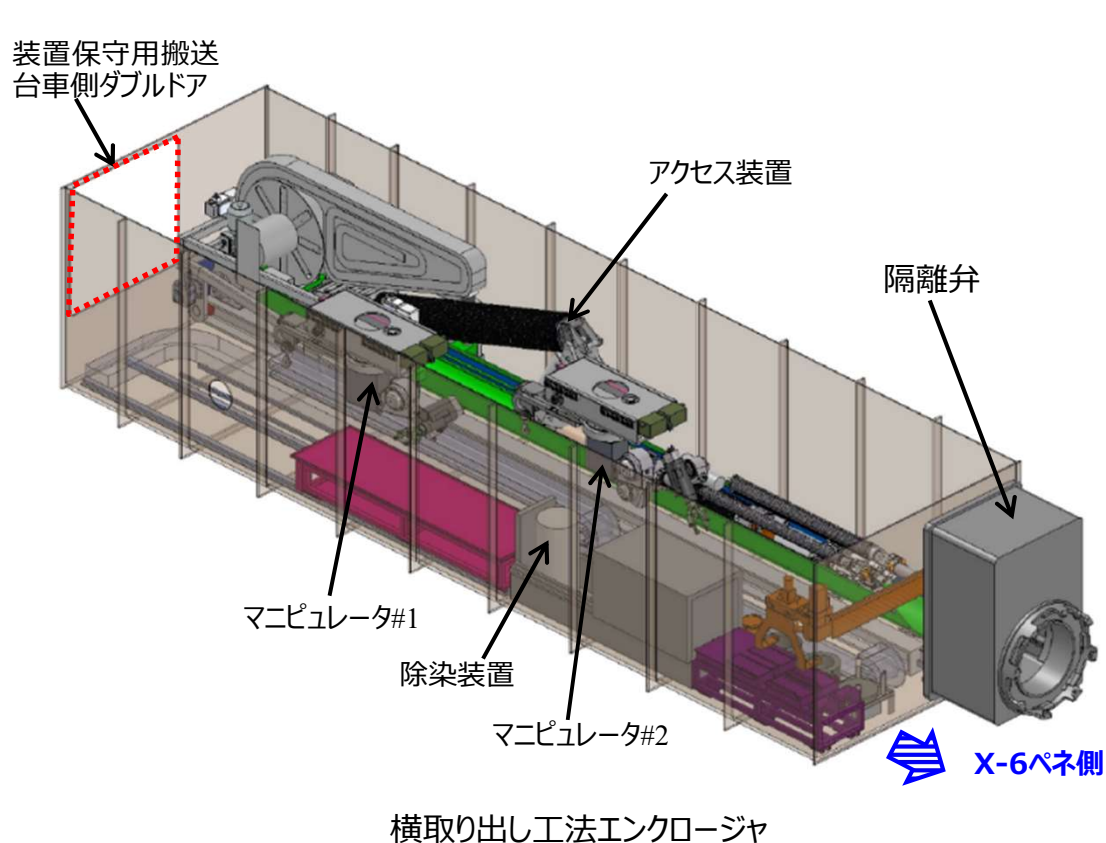
- 横アクセス工法のアクセス装置
- 先端ツール



7.3.1 保守内容の整理(2/8)

<保守作業の洗い出しー横工法アクセス装置>

- 横取り出し工法のアクセス装置は、エンクロージャ内に搭載された2基のマニピュレータで保守する。
- 先端ツール工具の交換やグリスアップなどの比較的簡単な保守作業および部品やモジュールの組立/分解は、本マニピュレータを用いて実施する。



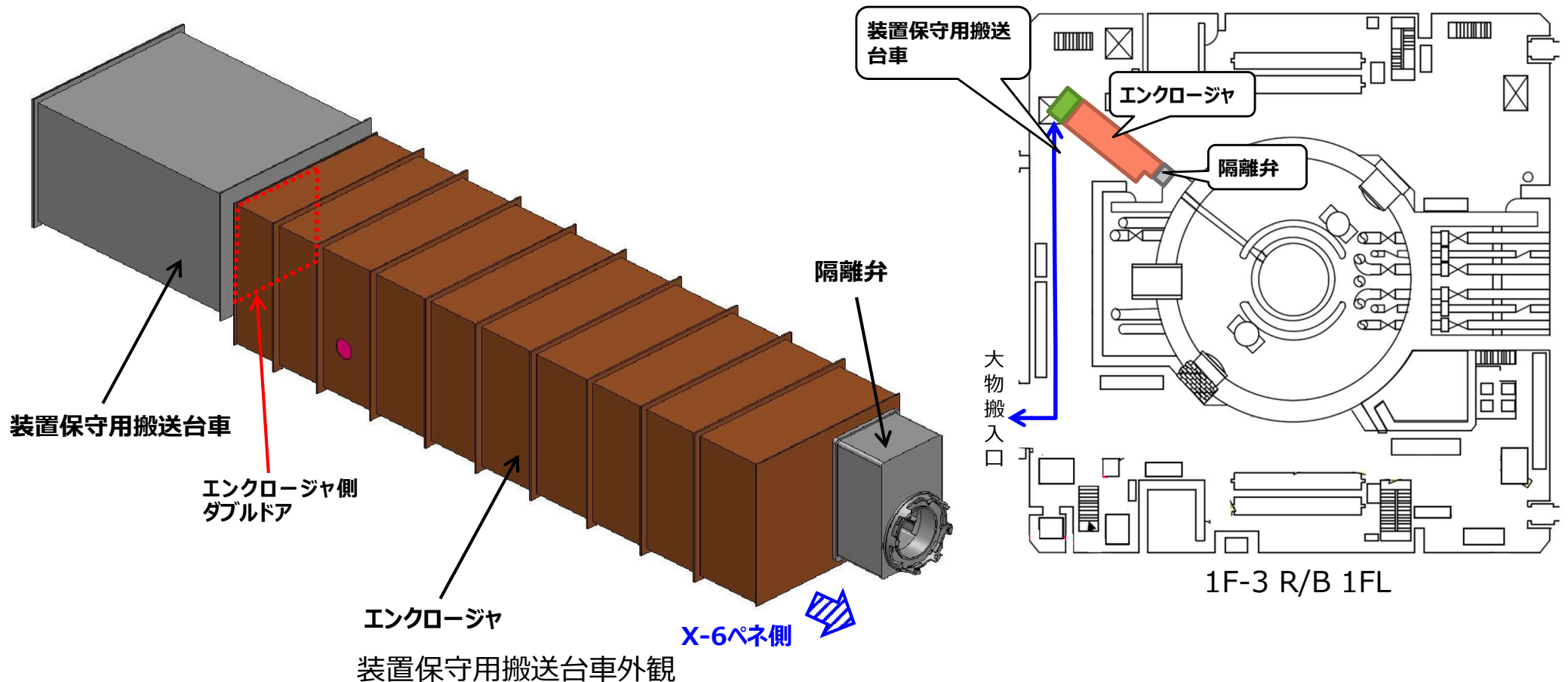
マニピュレータ例(三井E&S HPより)

7.3.1 保守内容の整理(3/8)

<保守作業の洗い出しー横工法アクセス装置>

遠隔除染・保守施設での保守の例（定形移送）

- 先端ツールやアームモジュール等の交換部品の供給/搬出は、エンクロージャに装置保守用搬送台車を接続し、この搬送台車を遠隔除染・保守施設に移送して実施する。
- 装置保守用搬送台車は大物搬入口とエンクロージャ間を自走する。
- エンクロージャとの接続部はダブルドアシステムを採用しており、汚染拡大を防止する。

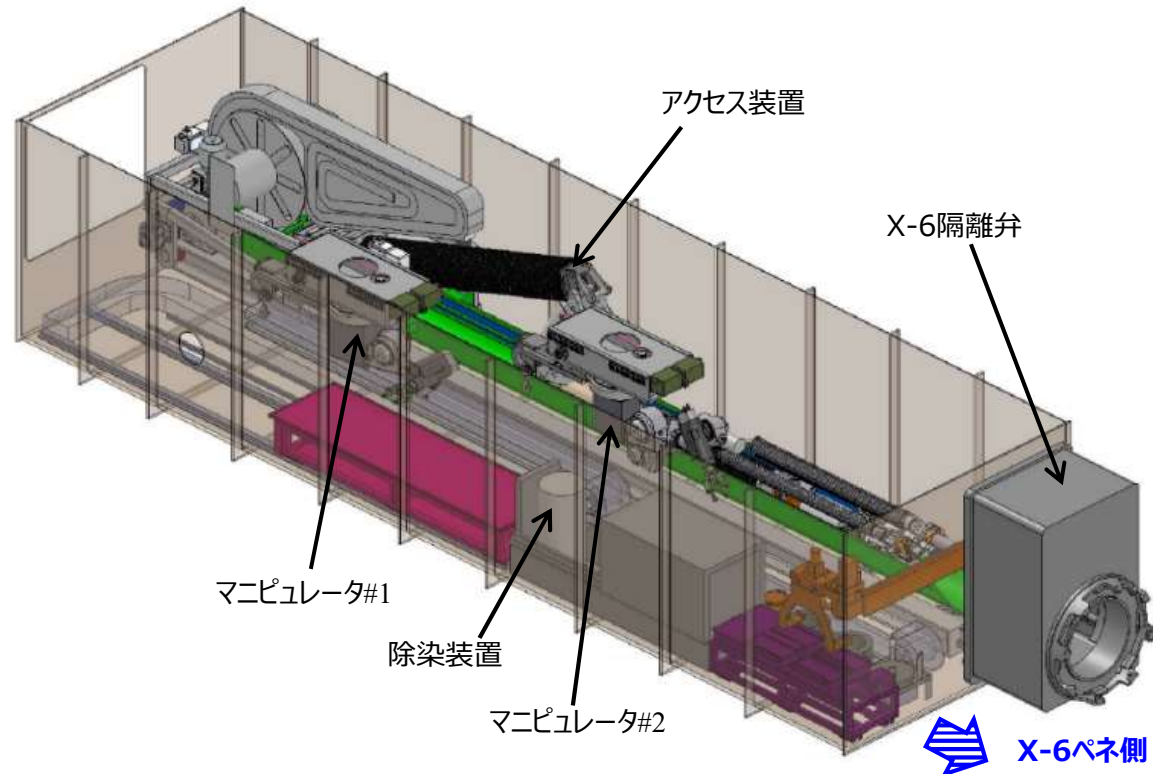
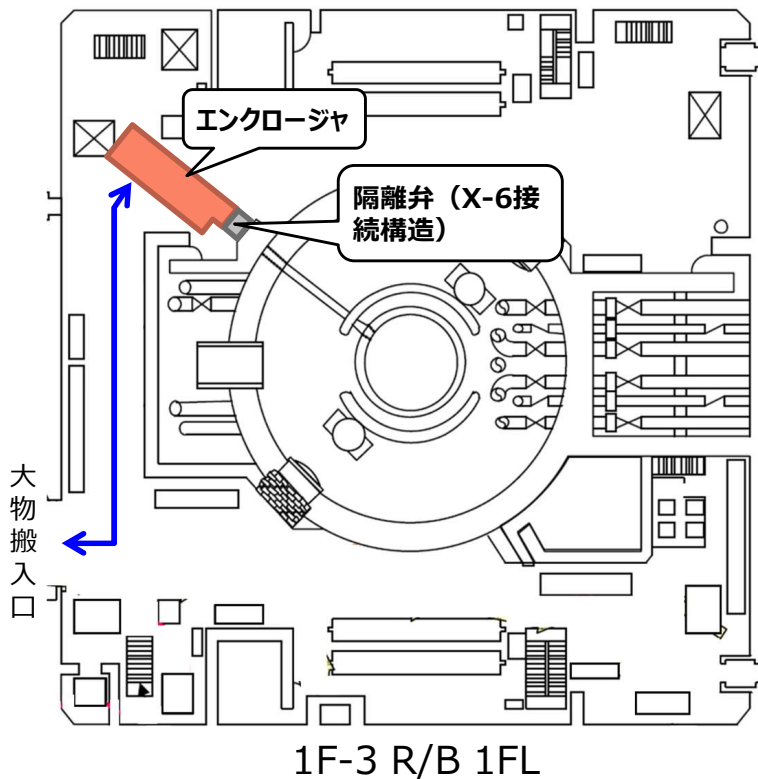


7.3.1 保守内容の整理(4/8)

<保守作業の洗い出しー横工法アクセス装置>

遠隔除染・保守施設での保守の例（不定形輸送）

- 重度な損傷等によりエンクロージャ内マニピュレータで部品/モジュールの交換ができない場合、エンクロージャごと建屋外に搬出する。
- エンクロージャは遠隔除染・保守施設まで搬送し、除染等を実施後に保守する。

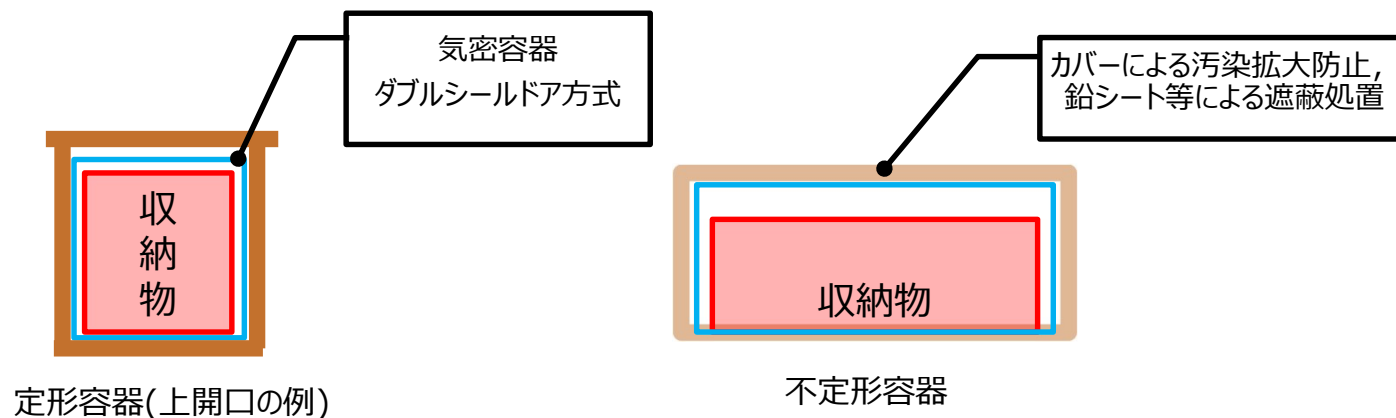


7.3.1 保守内容の整理(5/8)

<遠隔除染・保守施設で取り扱う機器の移送方法>

遠隔除染・保守施設へ保守対象機器を移送するために、以下の2種類の移送方法を想定する。

- ▶ 定形移送（様々な保守対象機器を定形の容器に入れ、移送）
 - ✓ 汚染拡大を防止するために、容器開口部にはダブルシールドア方式を想定する。
 - ✓ 大型・小型の容器を複数種類用意し、移送対象により使い分ける。
極力汚染拡大リスクが小さく移送が容易な小型容器を用いるが、収納できない場合は大型の容器を用いる方針とする。
- ▶ 不定形移送（保守対象機器が定形の容器に収まらない場合）
 - ✓ 機器に汚染拡大防止処置と遮蔽処置を施して移送する。
 - ✓ 保守対象機器の最大寸法は機器の中で、保守対象のうち最大のものとする。



7.3.1 保守内容の整理(6/8)

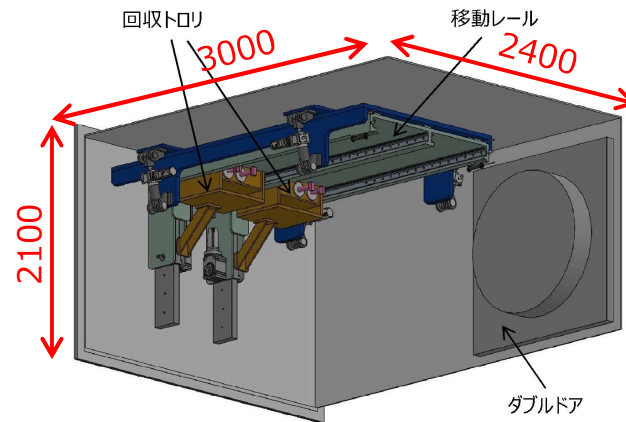
<移送時荷姿>

- 横アクセス工法において取り扱う機器の移送時荷姿を以下に示す。
 - ▶ 横型定形移送（小物物品は、分解して定型缶に収納）
 - ✓ 横型定形容器(小)：主に先端ツール工具やカメラ等の小物の移送に使用する。
 - ✓ 横型定形容器(大)：主に先端ツールやエンクロージャ内マニピュレータ等の，横型定形容器(小)に入らない機器の移送に使用する。
 - ▶ 不定形移送（横工法のマニピュレータを現場で遠隔モジュール化できないために一括輸送し保守）
 - ✓ 横アクセス工法における不定形移送に該当する機器は，エンクロージャとする。
 - ✓ エンクロージャの移送後の保守については，以下の2パターンを検討する。
 - エンクロージャ内部からアクセス装置を取り出して保守
 - エンクロージャ自体の保守

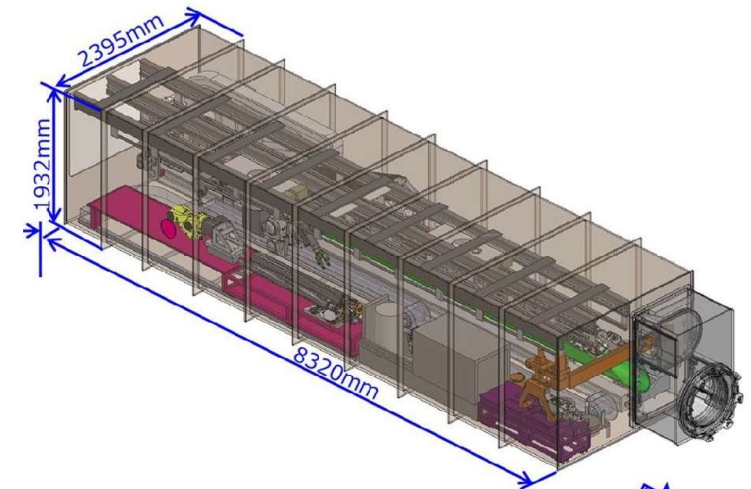


横型定形容器(小)の例
(内容器寸：φ270 x D400mm)

出典：放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について(燃料デブリ等について)
2020/6/4



横型定形容器(大)の例
(装置保守用搬送台車)



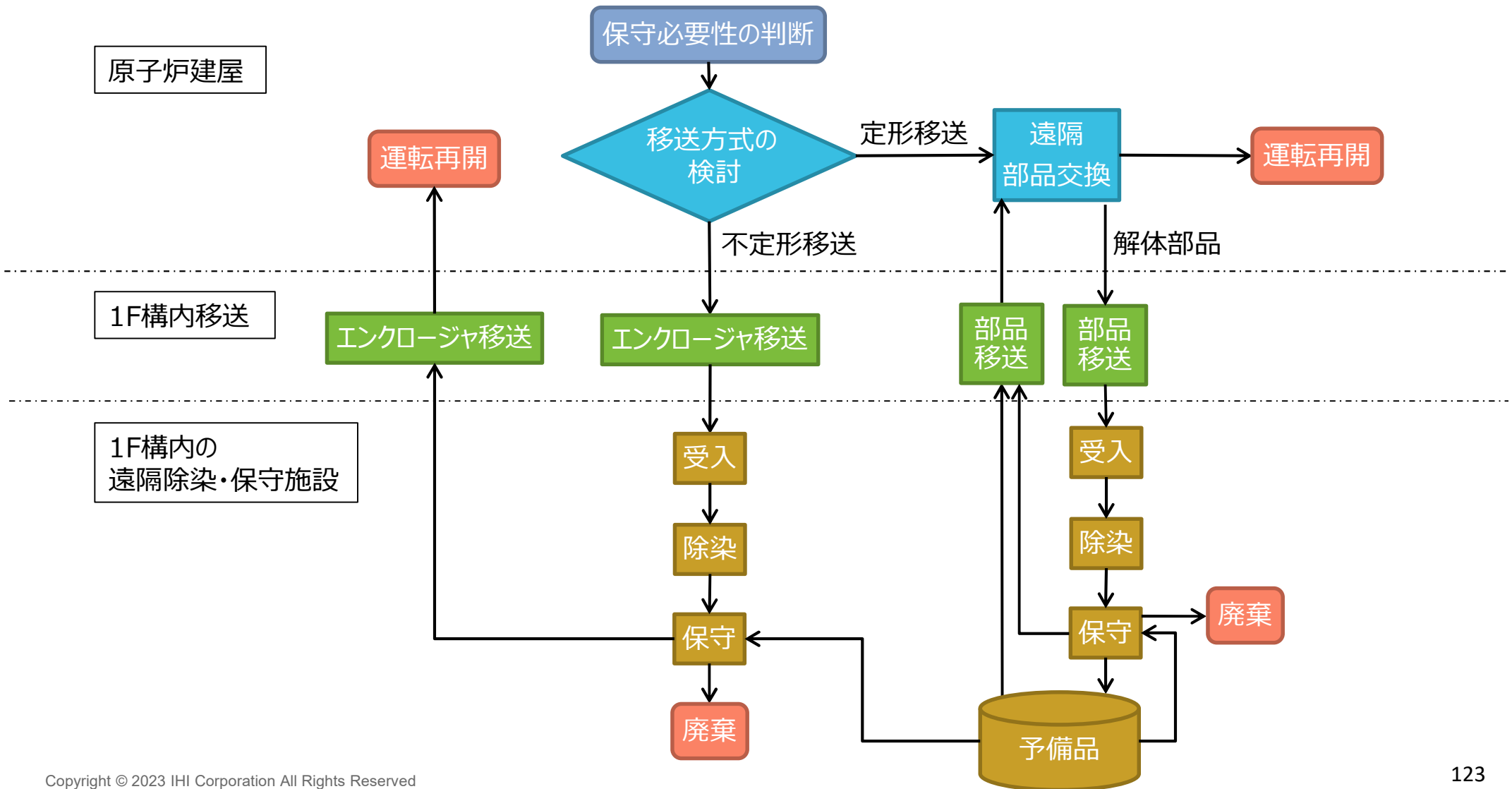
不定形移送（横アクセス工法エンクロージャ）



7.3.1 保守内容の整理(7/8)

<基本的な作業フロー>

- 機器設置場所で保守できない場合は、保守対象機器を遠隔除染・保守施設に移送して保守する。下のフローは、そのための、工法に依らない基本的な作業フローを示している。
- 解体部品は定形輸送の対象となる。先端ツールは、解体部品と同様の処置になる。



7.3.1 保守内容の整理(8/8)

<保守内容の整理結果>

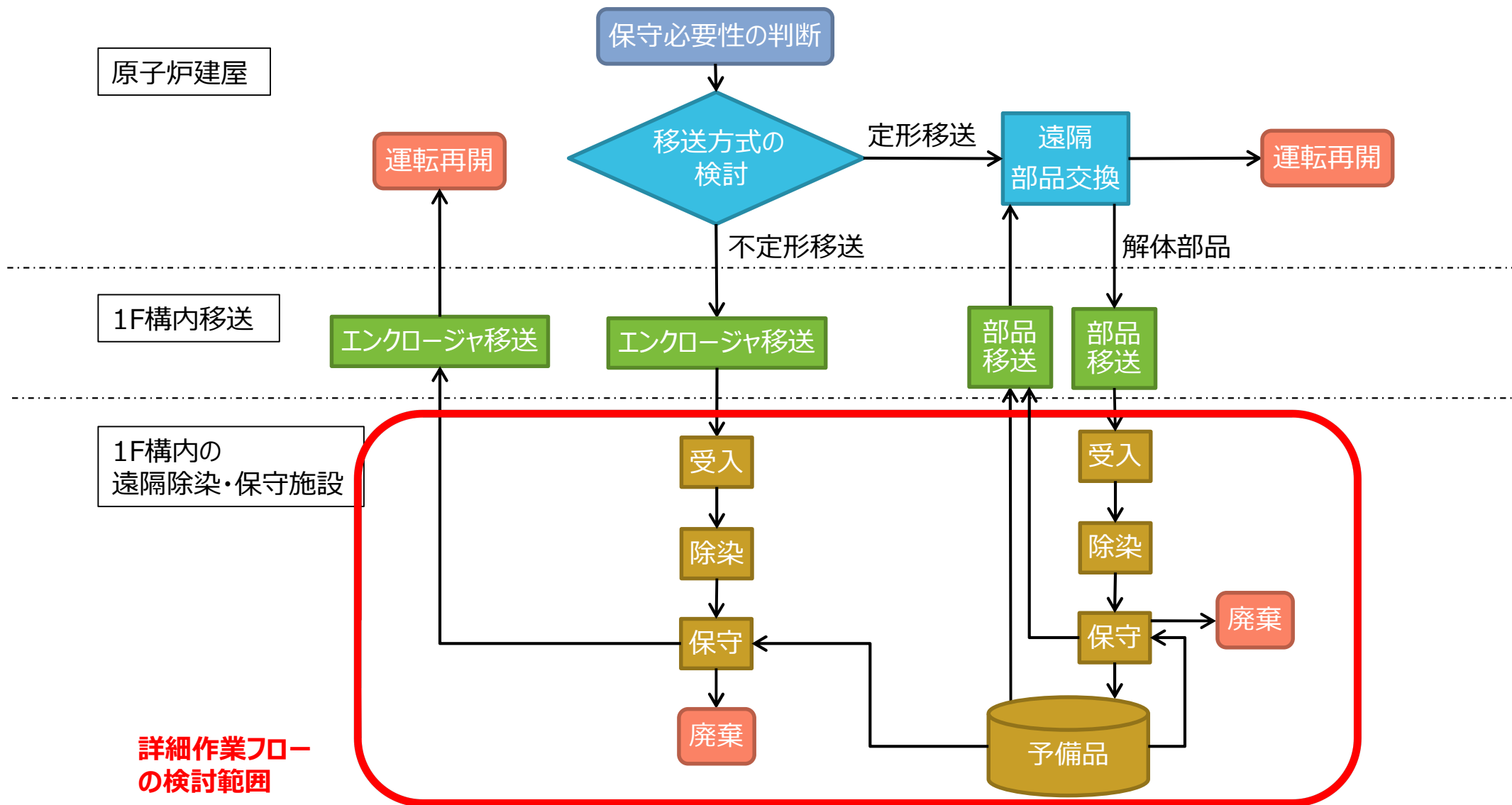
- 保守分類1-2に属する代表機器（横工法アクセス装置のマニピュレータと先端ツール）に関して、保守作業の内容を整理した結果を下に示す。
- このうち、赤枠で示した作業は、高度な除染や保守装置が必要なため遠隔除染・保守施設での保守が必要と判断された作業であり、その詳細作業の内容を以降で検討する。

表7.3.1 保守内容の整理結果

分類#	#	代表機器	保守内容の整理			
			保守内容概要	保守実施場所	保守に必要な機器	交換品輸送時荷姿
1-2	1	横工法アクセス装置 (マニピュレータ)	点検	エンクロージャ内	エンクロージャ内カメラ	-
			一時除染	エンクロージャ内	スライドフレーム上洗浄機構	-
			救援	エンクロージャ内	エンクロージャ内機器	-
			駆動部のグリース補充, 潤滑油塗布	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ	-
			アーム付カメラ・照明の交換	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ	横型定形輸送(小)
			エンクロージャ内の付属部品の交換・保守	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ	横型定形輸送(大)
			先端ツールの交換	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ	横型定形輸送(大)
			ワンドの交換	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ	横型定形輸送(大)
			アームの補修・交換	遠隔除染・保守施設	MSMまたは直接保守	不定形輸送A
			アーム内部ケーブル・ホースの交換	遠隔除染・保守施設	MSMまたは直接保守	不定形輸送A
			エンクロージャ自体の保守	遠隔除染・保守施設	MSMまたは直接保守	不定形輸送B
			高汚染機器の廃棄	遠隔除染・保守施設	解体装置	-
			1-2	2	横工法アクセス装置 用 先端ツール	先端ツール設置消耗品（切削工具等）の交換
駆動部のグリース補充, 潤滑油塗布	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ				-
小型カメラ, 一部の樹脂部品, センサの交換	エンクロージャ内	エンクロージャ内マニピュレータ				横型定形輸送(小)
エンクロージャ内での交換困難な部品の交換	遠隔除染・保守施設	MSMまたは直接保守				横型定形輸送(大)
高汚染機器の保守	遠隔除染・保守施設	解体装置				横型定形輸送(大)

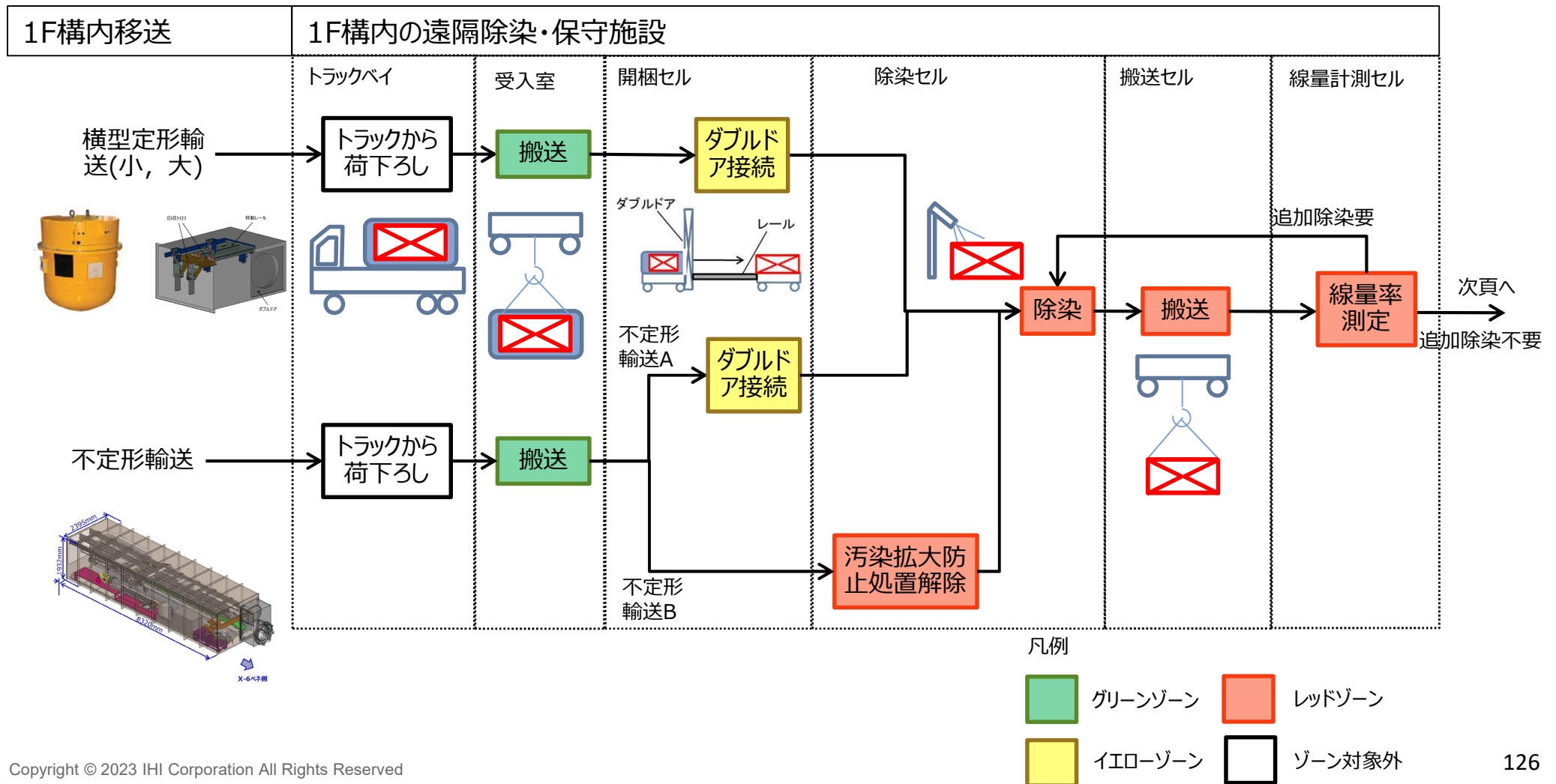
7.3.2 作業フローの作成(1/4)

ここでは、1F構内移送が完了して、遠隔除染・保守施設に保守対象機器が到着した後の、保守作業のフローの詳細を検討する。



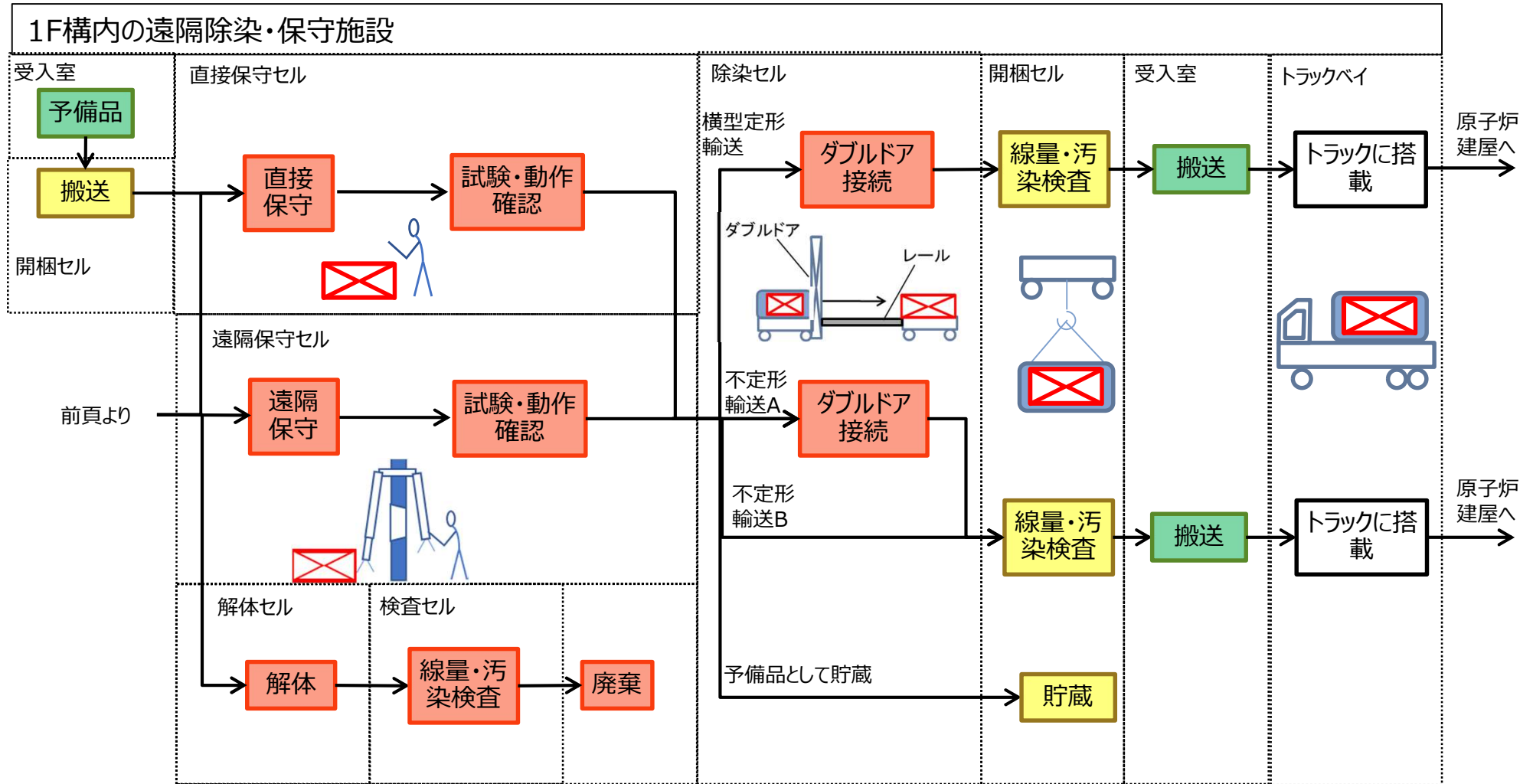
7.3.2 作業フローの作成(2/4)

- 代表機器（横工法アクセス装置と先端ツール）に対する遠隔除染・保守施設内の保守作業フローを2ページに渡って示す。
- 4つの汚染ゾーンを設定し，保守対象機器の移動による施設の汚染拡大防止を図る。



7.3.2 作業フローの作成(3/4)

(前頁の続き)



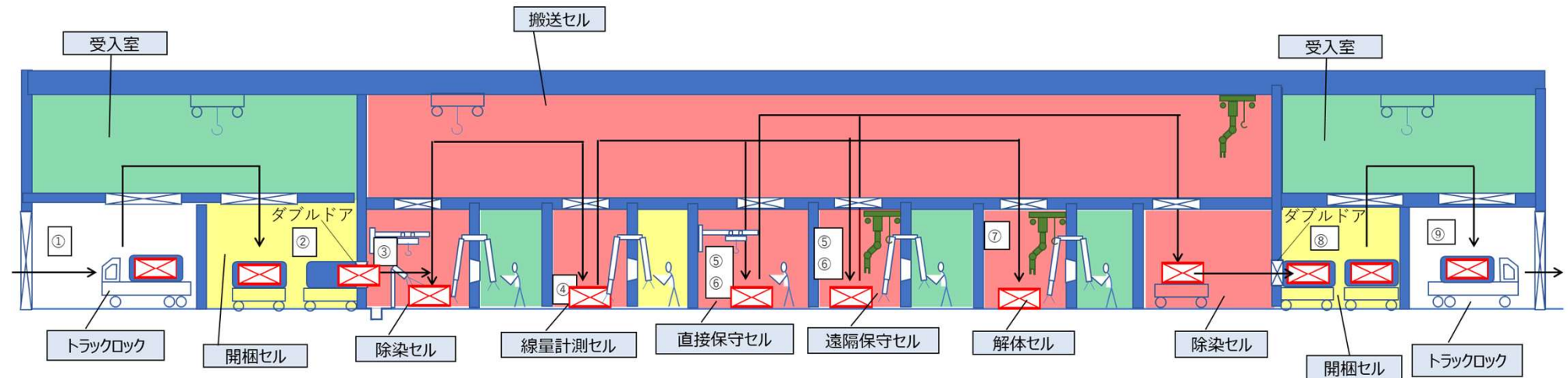
凡例

- グリーンゾーン
- レッドゾーン
- イエローゾーン
- ゾーン対象外

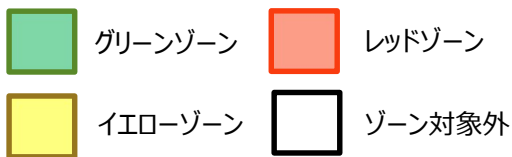
7.3.2 作業フローの作成(4/4)

<不定形輸送Aの作業フローの例>

- 下図は、不定形輸送A（エンクロージャ内部からアクセス装置を取り出して保守）の移動のフローを建屋断面上に図示したものの。
 - 保守対象機器の輸送による汚染拡大防止のために、各部屋は気密扉により区分け。
 - 汚染機器を取り扱うセルは極力上下に部屋分けし、汚染機器との接触をクレーンフックのみとし、汚染拡大を防止。
- （下記の番号①～⑨は後述（必要機能・機器の整理）の表の作業フロー番号。）



エリア凡例



凡例



注記: 本図は断面作業フローを示しており、明確化のため2FL, 3FLの区分けは示していない。そのため、次ページ以降に示す建屋平面図とは階層が必ずしも一致しない。

7.3.3 必要機能・機器の整理(1/1)

- 作業フローを基に、各作業を実施するために保守対象機器および保守設備に対して必要となる機能を抽出・整理した。
- 下表に示す概略仕様を基に施設内動線・配置検討を実施する。

表7.3.3 必要機能と機器の整理結果

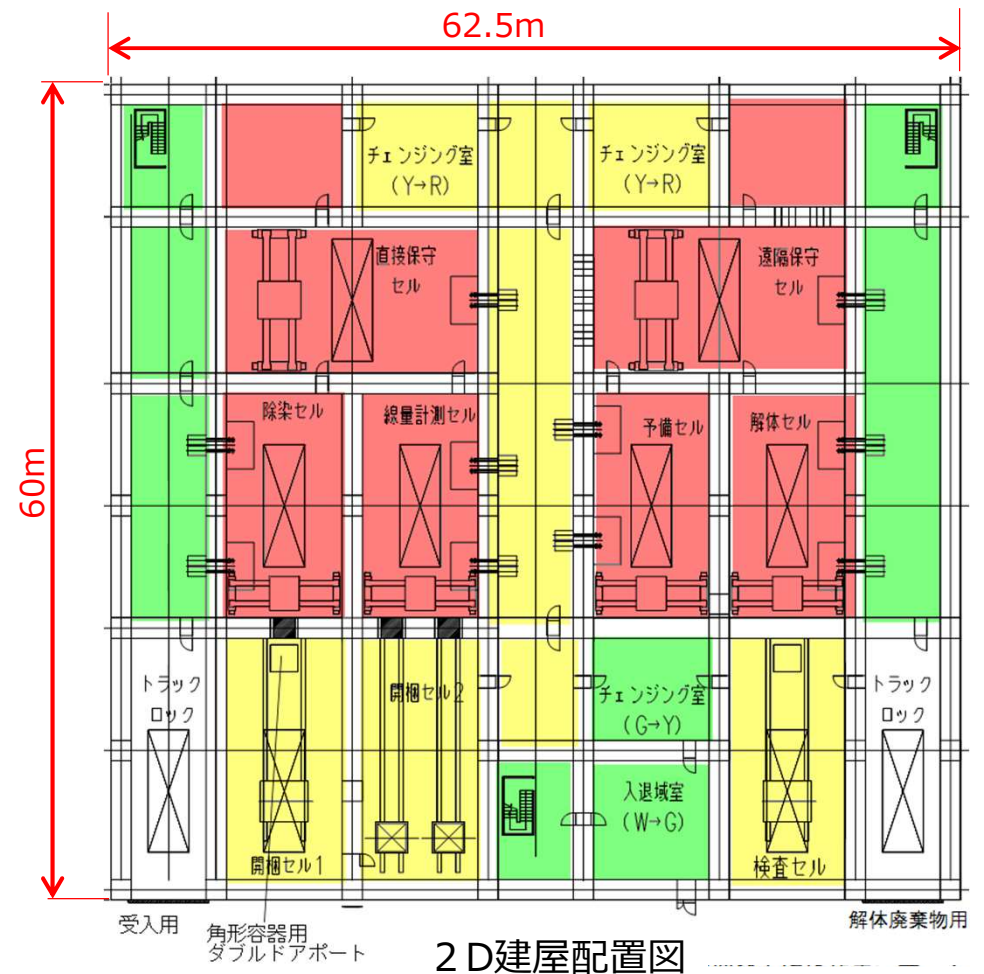
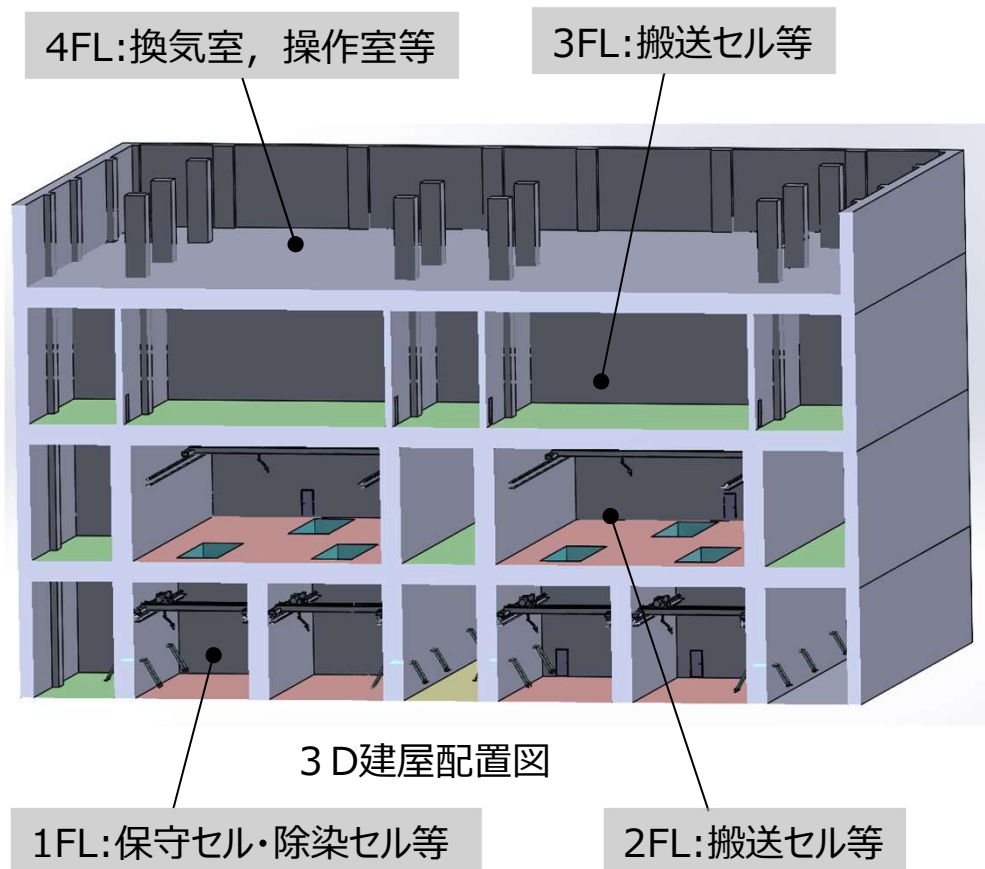
分類	作業フロー番号	機能	セル・室	保守設備*
搬送	-	上下階搬送	共通	クレーン
		水平室間搬送	共通	搬送台車
受入	①	受入	トラックバイ	構内搬送トラック
開梱	②	汚染拡大防止	開梱セル	ダブルドア
測定	③	線量率測定	線量計測セル	MSM
除染	④	水除染	除染セル	水除染装置
		ふき取り除染	除染セル	MSM
保守	⑤	ボルトの取り外し / 取り付け	保守セル	MSM / 直接保守
		コネクタの取り付け / 取り外し	保守セル	MSM / 直接保守
		各部品の分解 / 組立	保守セル	パワマニ / MSM / 直接保守
		アーム内部ケーブル・ホースの交換	保守セル	MSM / 直接保守
		駆動油の交換	保守セル	MSM / 直接保守
確認	⑥	動作確認	保守セル	試験用資機材
解体	⑦	解体	解体セル	MSM / パワマニ
梱包	⑧	汚染拡大防止	開梱セル	ダブルドア
搬送	⑨	搬出	トラックバイ	構内搬送トラック

*MSM : Main / Secondaryマニピュレータ パワマニ : パワーマニピュレータ

7.3.4 施設内動線・配置検討 (1/11)

<遠隔保守施設の建屋配置図>

- 各作業フローに基づき、施設内動線および機器配置の検討を行った。
- 各セルは不定形輸送(横工法エンクロージャ)を取り扱うことが可能な寸法とした。
- 本配置図を用いた動線図および3D建屋配置図を次ページ以降に示す。



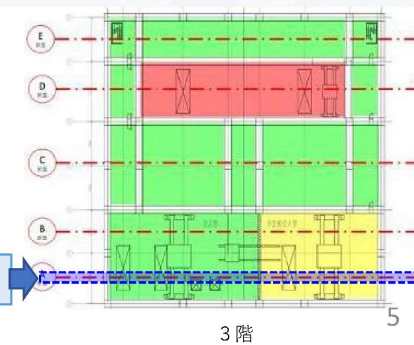
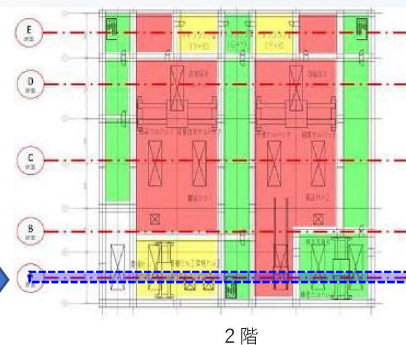
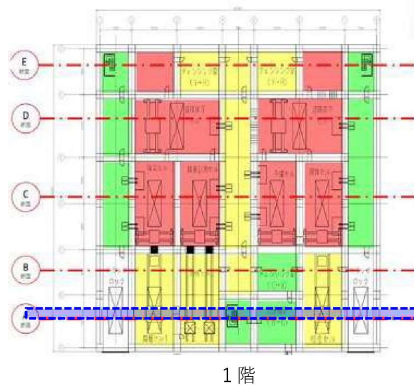
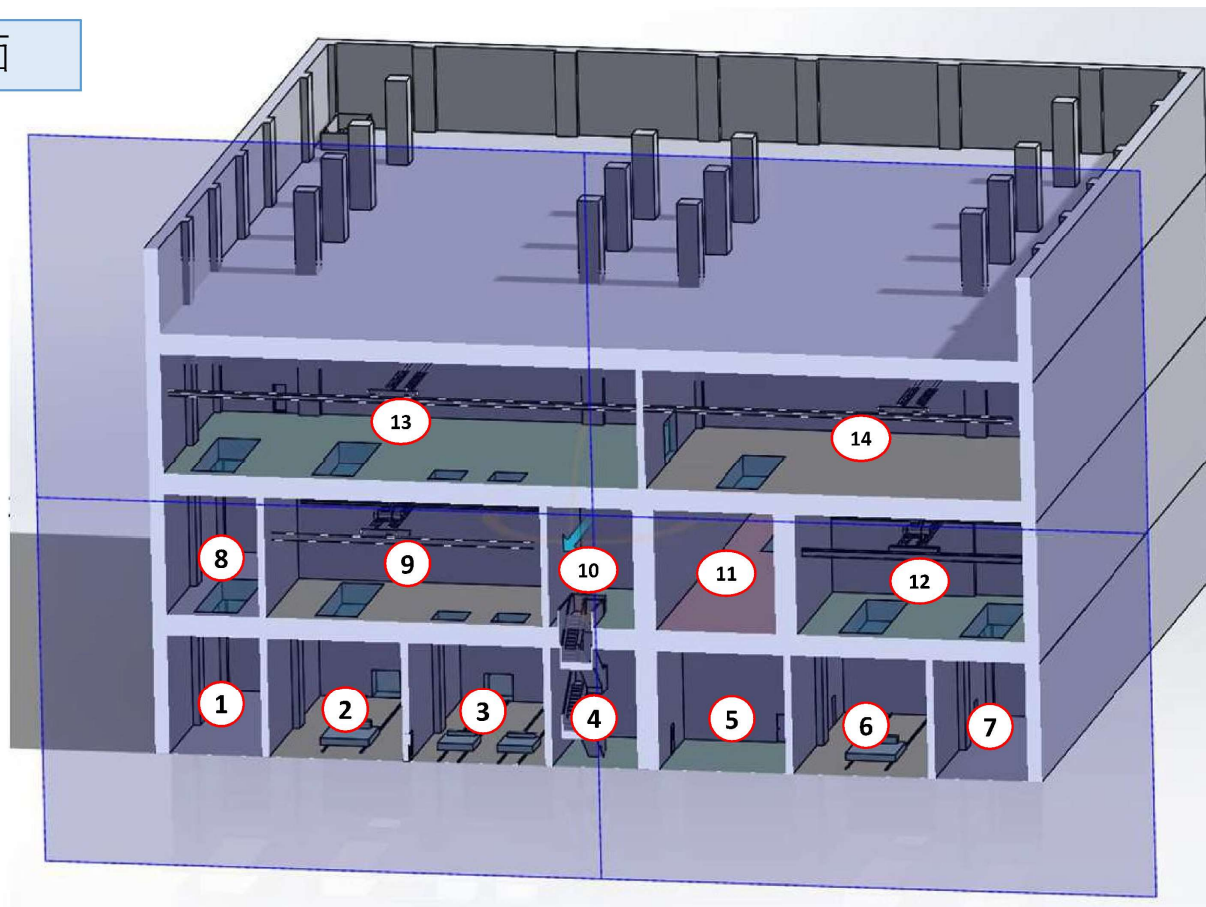
注記：B1FLは廃液処理等に用いる予定だが、本図では省略している。また、4FLは成立性に大きく影響しないため配置検討を省略した。

7.3.4 施設内動線・配置検討 (2/11)

<遠隔保守施設の3D建屋配置図 (1/3) >

共用保守建屋 A断面

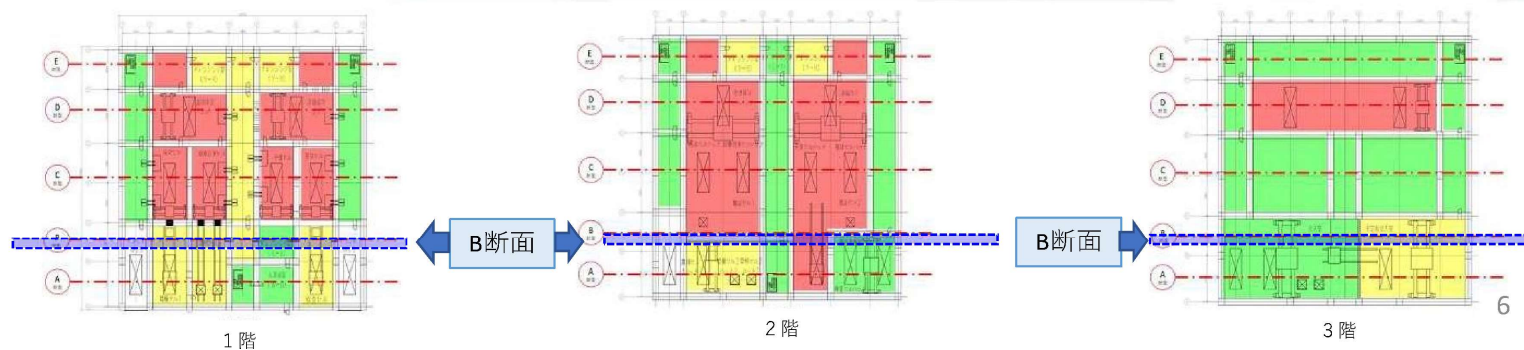
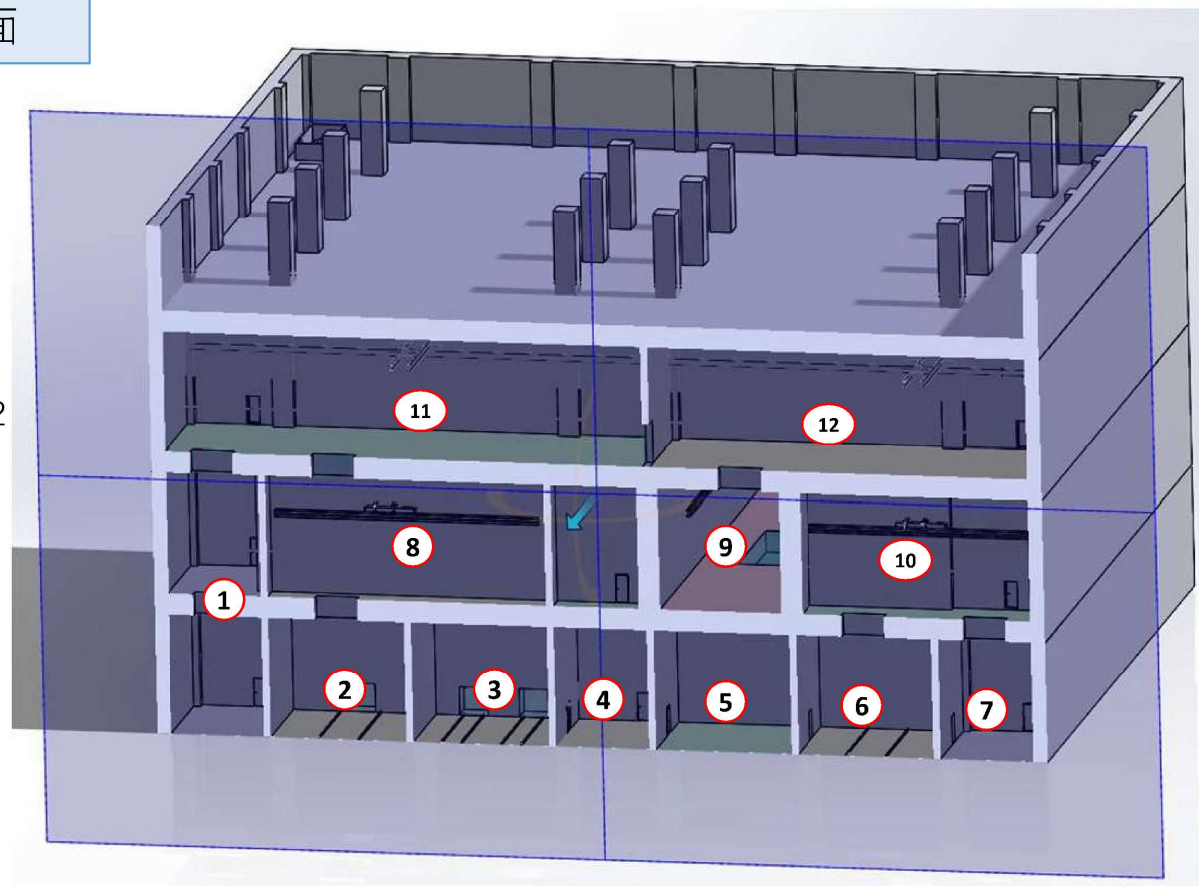
- ① トラックロック(入口)
- ② 開梱セル1
- ③ 開梱セル2
- ④ 階段室
- ⑤ 入退域室(W→G)
- ⑥ 検査セル
- ⑦ トラックロック(出口)
- ⑧ トラックロック(入口)
- ⑨ 開梱セル1・開梱セル
- ⑩ 階段室
- ⑪ 遠隔保守セル
- ⑫ 搬出準備室
- ⑬ 受入室
- ⑭ 不定形受入室



<遠隔保守施設の3D建屋配置図 (2/3) >

共用保守建屋 B断面

- ① トラックロック(入口)
- ② 開梱セル1
- ③ 開梱セル2
- ④ 階段室
- ⑤ チェンジング室
- ⑥ 検査セル
- ⑦ トラックロック(出口)
- ⑧ 開梱セル1・開梱セル2
- ⑨ 遠隔保守セル
- ⑩ 搬出準備室
- ⑪ 受入室
- ⑫ 不定形受入室

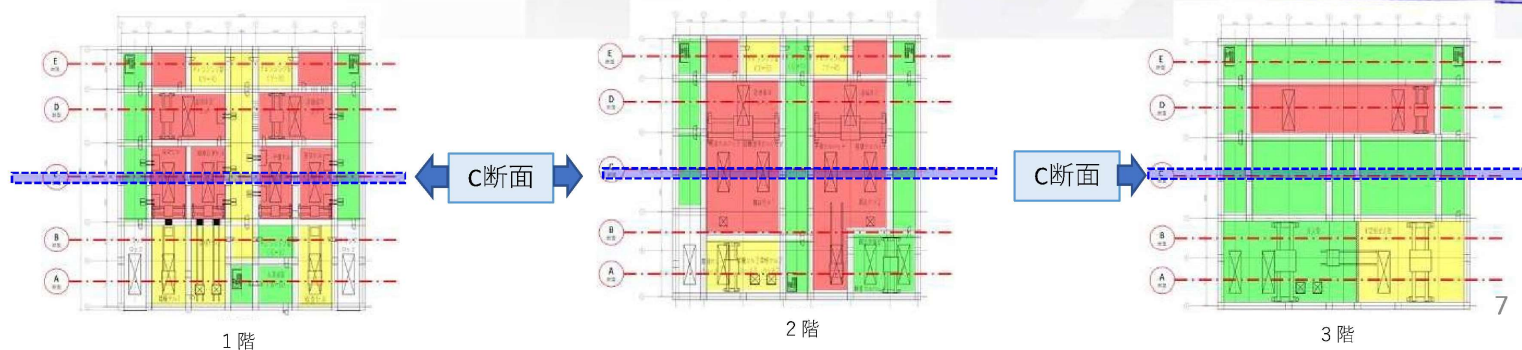
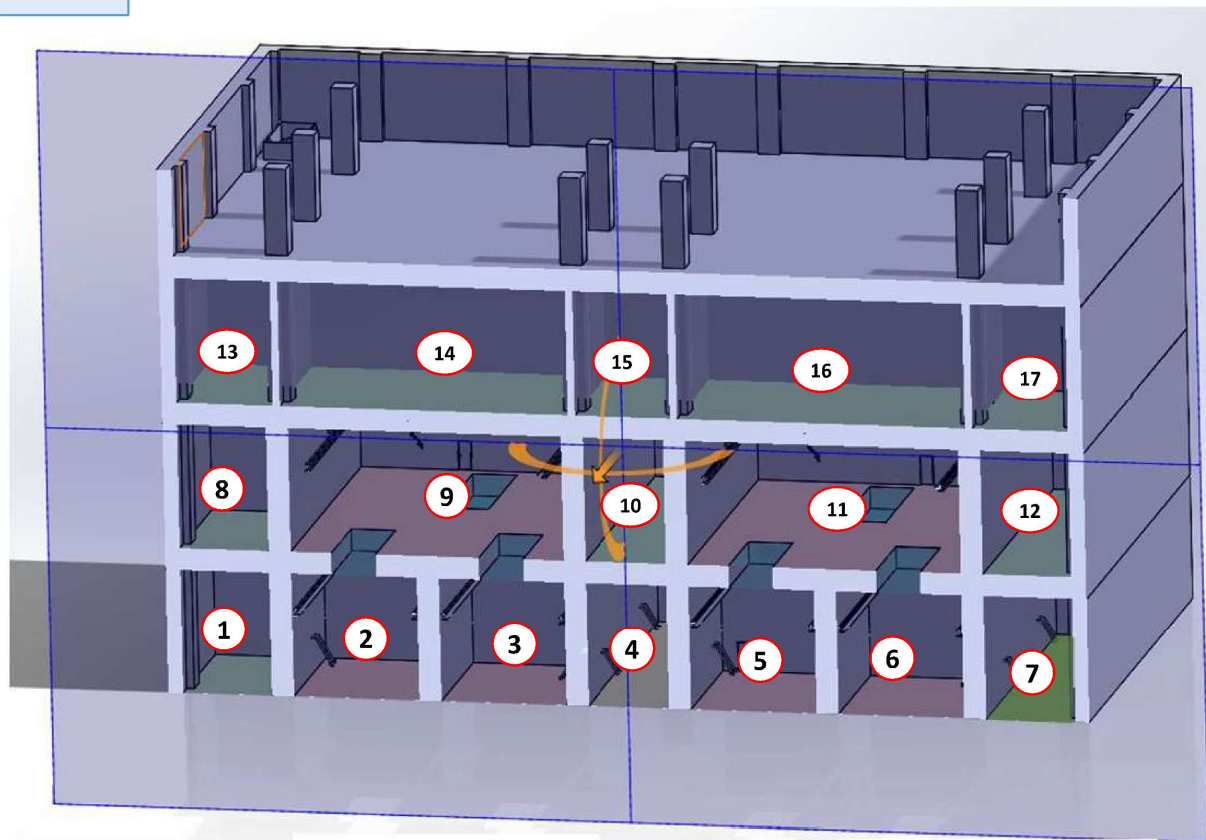


7.3.4 施設内動線・配置検討 (4/11)

<遠隔保守施設の3D建屋配置図 (3/3) >

共用保守建屋 C断面

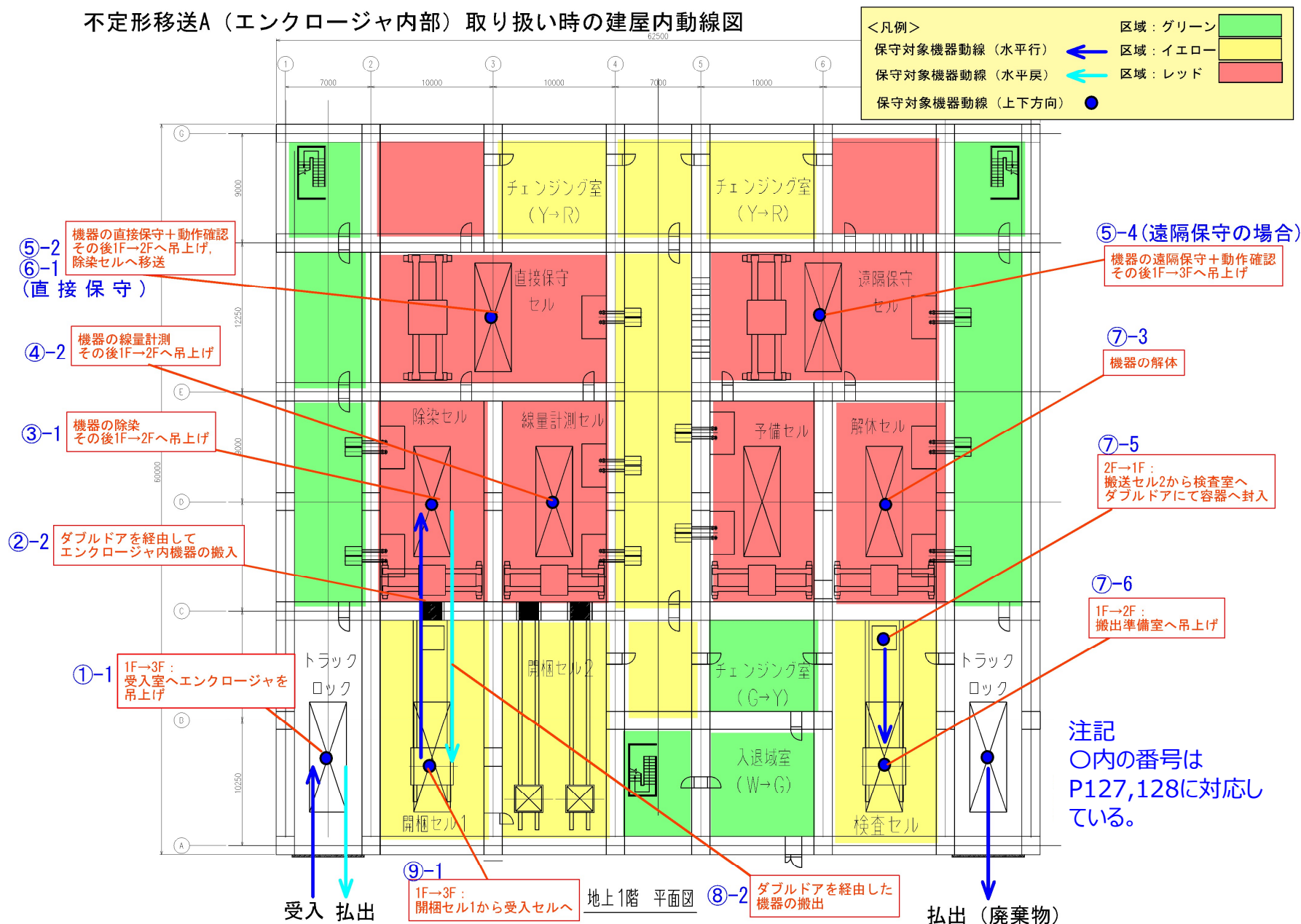
- ① 通路
- ② 除染セル
- ③ 線量計測セル
- ④ 通路
- ⑤ 予備セル
- ⑥ 解体セル
- ⑦ 通路
- ⑧ 通路
- ⑨ 搬送セル1
- ⑩ 通路
- ⑪ 搬送セル2
- ⑫ 通路
- ⑬ 通路
- ⑭ 通路
- ⑮ 通路
- ⑯ 通路
- ⑰ 通路



7.3.4 施設内動線・配置検討 (5/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (不定形物の例 (1/3)) >

不定形移送A (エンクロージャ内部) 取り扱い時の建屋内動線図

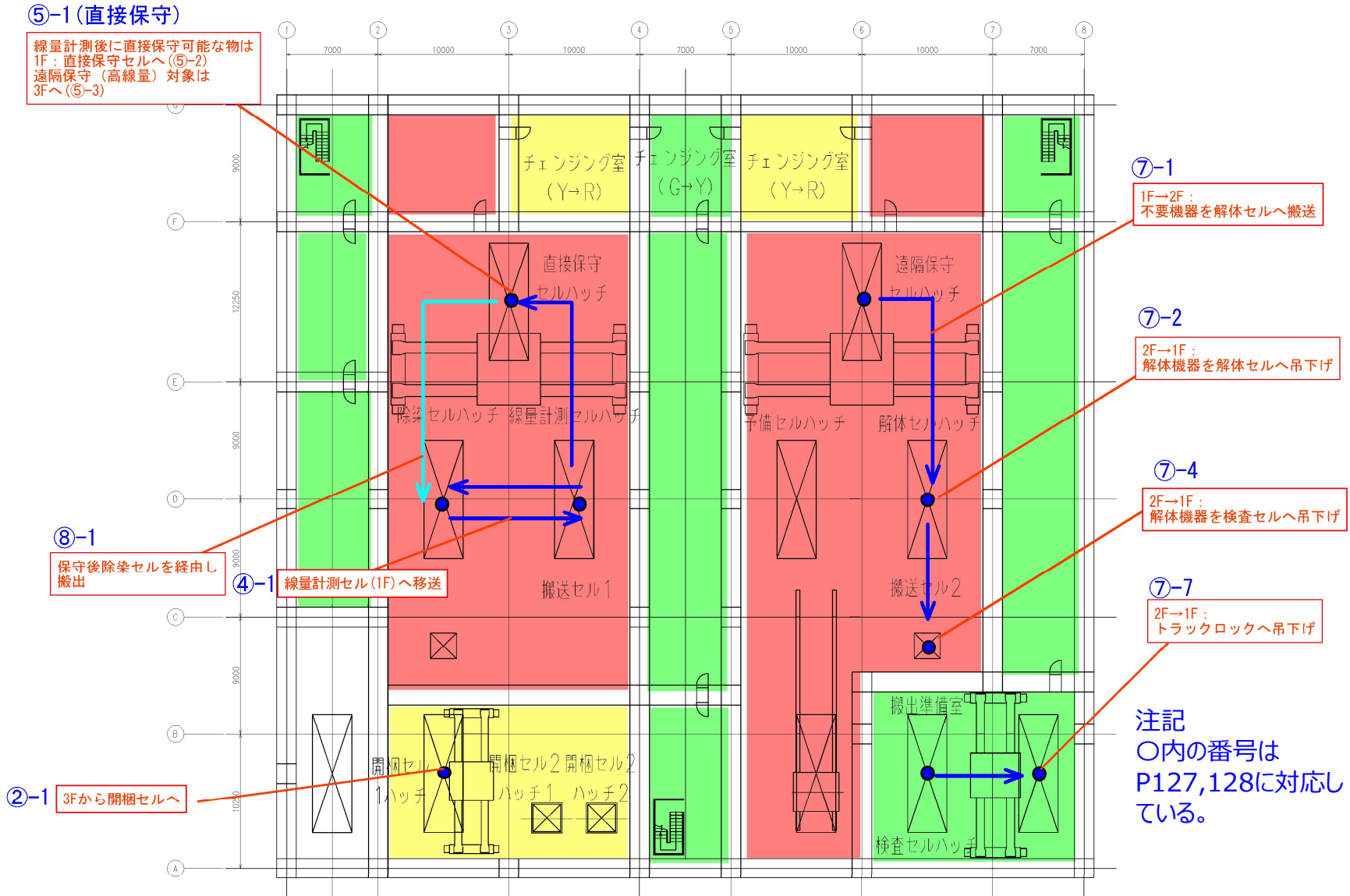


地上1階 平面図

7.3.4 施設内動線・配置検討 (6/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (不定形物の例 (2/3)) >

不定形移送A (エンクロージャ内部) 取り扱い時の建屋内動線図

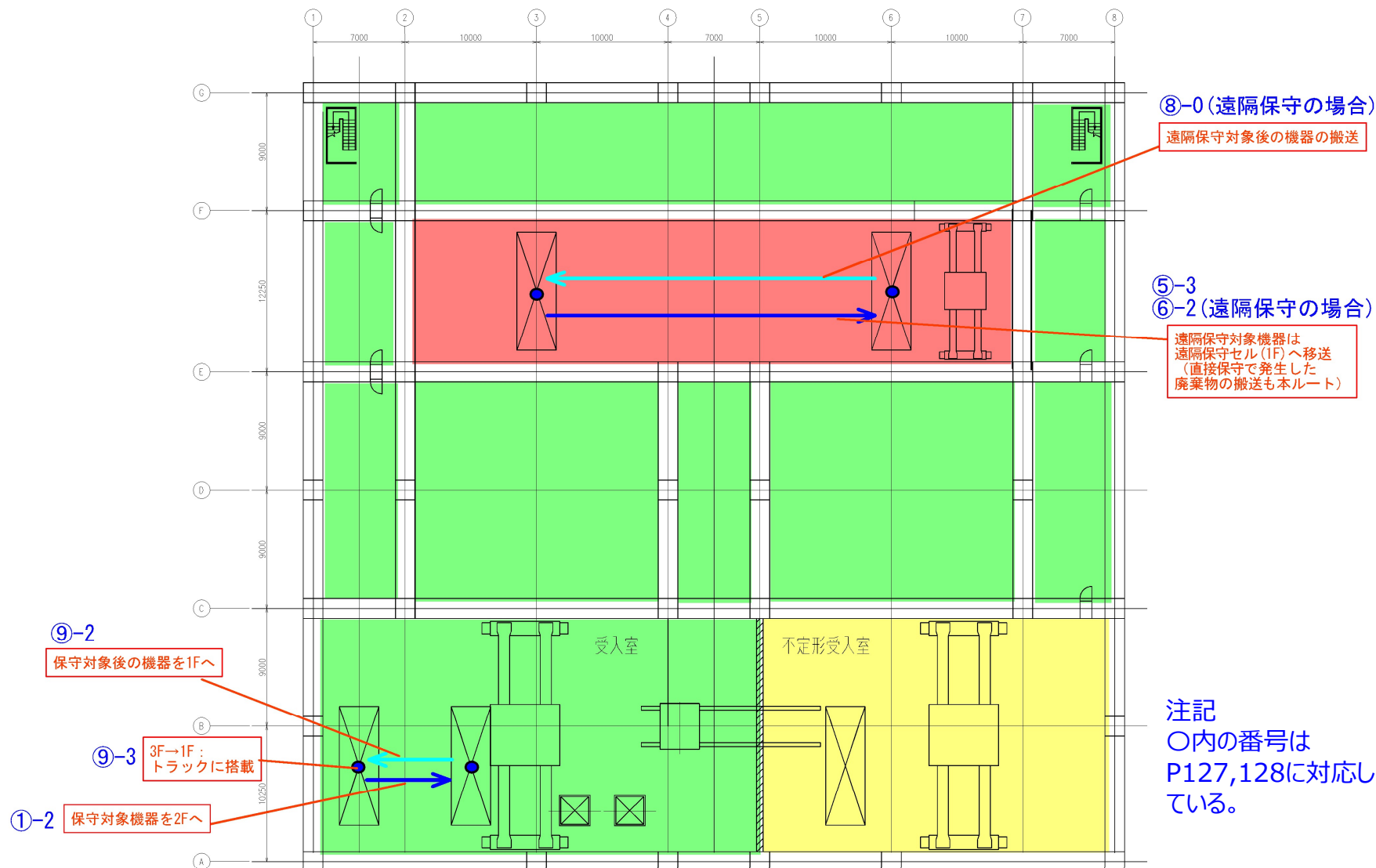


地上2階 平面図

7.3.4 施設内動線・配置検討 (7/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (不定形物の例 (3/3)) >

不定形移送A (エンクロージャ内部) 取り扱い時の建屋内動線図

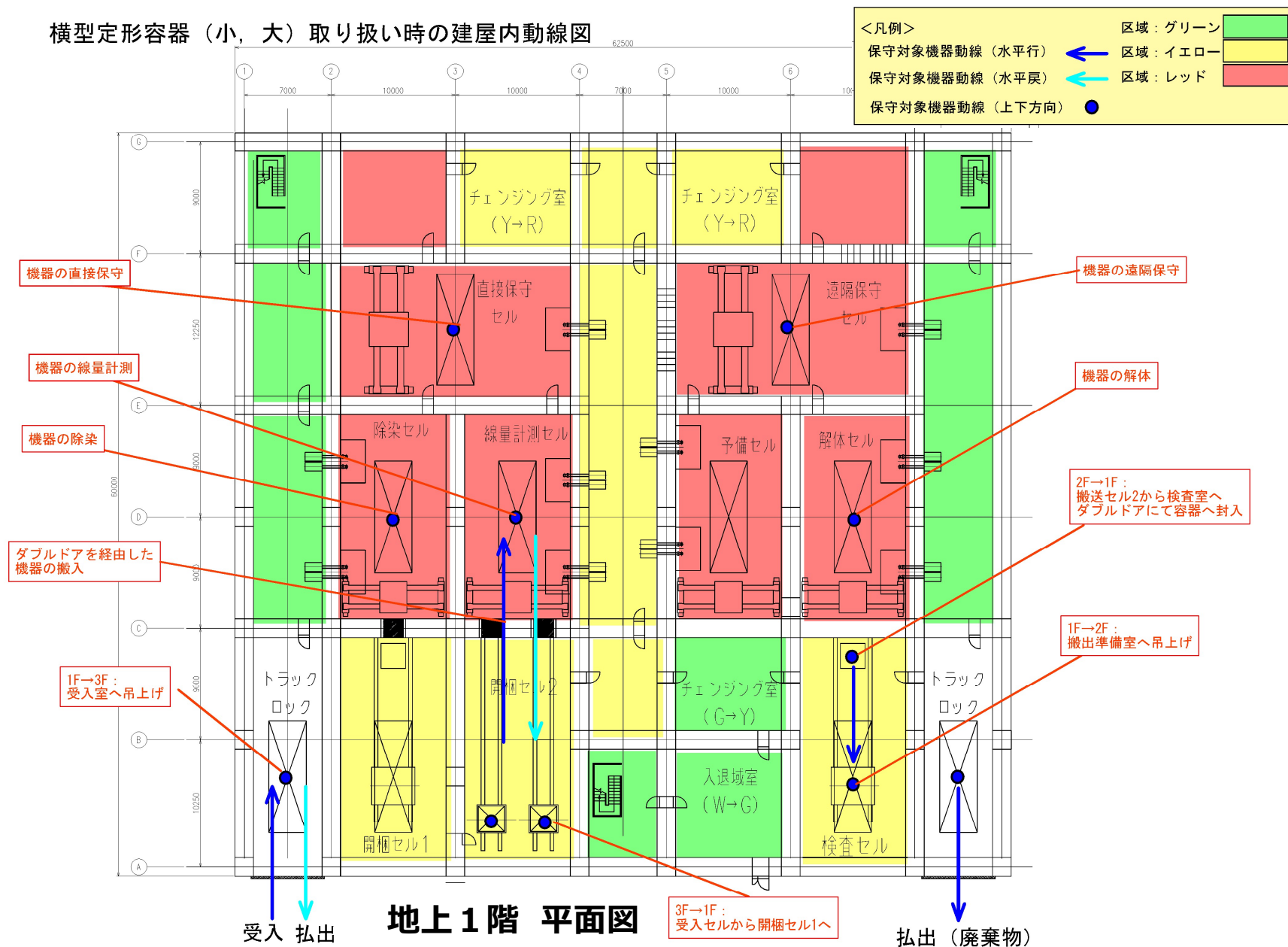


地上3階 平面図

7.3.4 施設内動線・配置検討 (8/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (定形容器の例 (1/3)) >

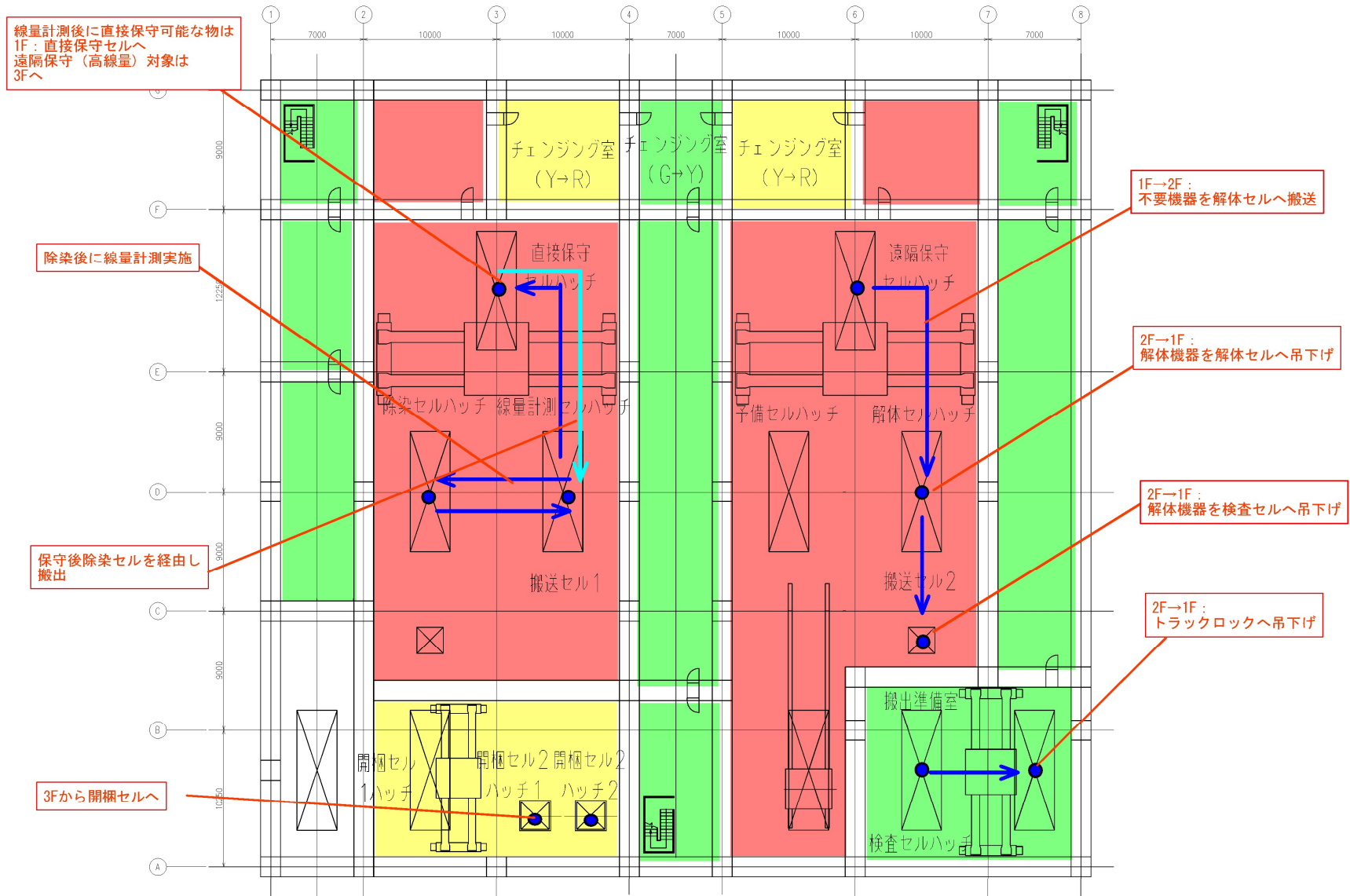
横型定形容器 (小, 大) 取り扱い時の建屋内動線図



7.3.4 施設内動線・配置検討 (9/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (定形容器の例 (2/3)) >

横型定形容器 (小, 大) 取り扱い時の建屋内動線図

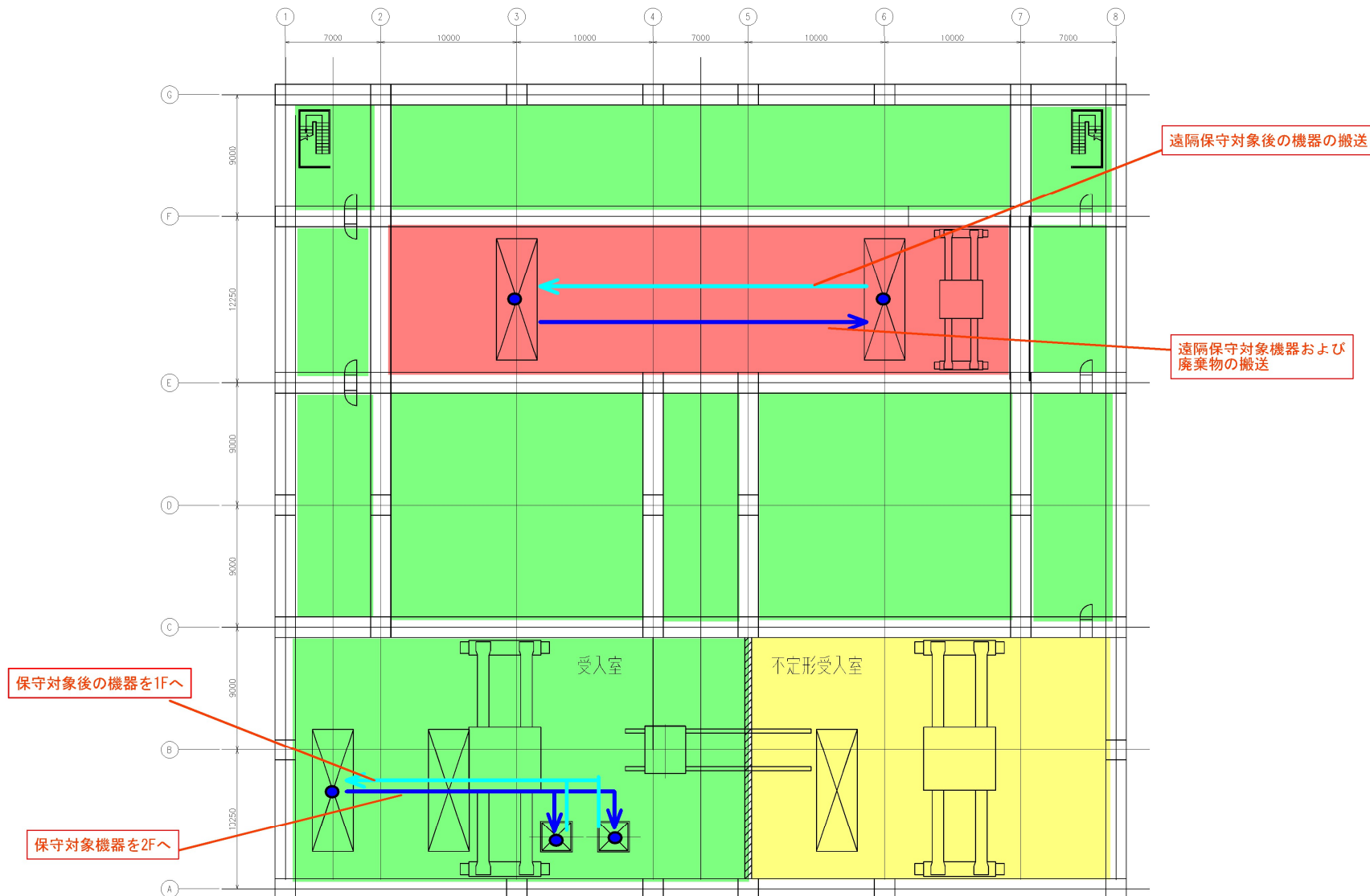


地上2階 平面図

7.3.4 施設内動線・配置検討 (10/11)

< 遠隔保守施設内での保守動線図 (定形容器の例 (3/3)) >

横型定形容器 (小, 大) 取り扱い時の建屋内動線図



地上3階 平面図

7.3.4 施設内動線・配置検討(11/11)

<建屋配置図設計思想>

1. 耐震クラスはBクラスを想定し，排水・廃液を除き地下階は使用しない。
2. MSMを操作する廊下は，MSM引き抜きのため最低幅4mを確保する。
3. 各部屋のゾーン分けは以下のとおりとする。
(1F構内で使われている汚染管理区分を参考に設定)
汚染物質の暴露：R， 暴露の可能性がある：Y
通常運転で汚染ほぼ無しの建屋内：G 建屋外と直結：W
なお部屋の名称は，R,Yゾーンは〇〇セル，Gゾーンは〇〇室とする。
4. チェンジングルームは10人程度が同時に着替えできる寸法とする。
5. 各セルの寸法は想定上最大寸法である横工法エンクロージャを取り扱える寸法とする。
6. 保守対象機器の輸送による汚染拡大防止のために，各部屋は気密扉または床ハッチにより区分けをする。
7. 汚染機器を取り扱うセルは極力上下に部屋分けし，汚染機器との接触をクレーンフックのみとし，汚染拡大を防止する。

8. 技術課題・開発要素の抽出

IHI

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出

8.2 開発要素の提案

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出

燃料デブリ取り出し装置の保守のための遠隔除染・保守施設における作業フローと遠隔除染・保守施設の建屋構造の概念検討結果に基づいて、遠隔除染・保守施設の技術課題を抽出する。

8.2 開発要素の提案

上記で抽出した技術課題を解決するための技術開発要素を提案する。

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出(1/5)

技術課題を抽出するために、原子力施設の運転や保守に詳しい国内外の原子力関連機関にレビューを依頼した。下記の通り、レビューに当たっては、事業者視点、メーカ視点、および作業視点でレビュー依頼項目を設定した。

大項目	小項目	IHI報告書に対するレビュー例
事業者 (オペレータ) 視点	ハンドリング動線（建屋レイアウト）	・保守フロー、建屋階層、各セル配置に関するレビュー
	機器等の操作性	・カメラ、マイク等の視聴覚システムの配置個数、設置位置等に関する要望 ・遠隔操作性を向上させるために必要な機材の情報
	廃棄物の処理	・解体廃棄物の仕分け、分別、管理方法 ・解体した廃棄物の保管エリアの確保有無およびサイズ ・廃棄物保管の注意点
	放射線管理	・区域区分、汚染区分（グリーン、イエロー、レッド）の区分けレビュー
	部屋サイズ	・部屋サイズに関するレビュー（チェンジング室、操作室等の作業および汚染管理に関する知見等含む）
	必要機器	・実プラントにて保守で使用している機器の情報（IHIが製作した機器以外で事業主殿が導入したもの）
	予備品保管	・実プラントにて確保している予備品保管エリアサイズ情報
メーカ視点	施設の大きさ	・平面積および地上・地下のサイズ感
	ハンドリング動線（建屋レイアウト）	・保守フロー、建屋階層、各セル配置に関するレビュー
	移送（受入）容器	・実際に用いている保守対象機器の移送容器の情報
	不定形機器の移送	・様々な保守対象機器の移送に対応するための方法
	保守対象機器への要求	・汚染物質付着防止のための表面粗さ管理 ・水洗いのためのIP管理
	除染・解体方法	・実際の除染、解体実績および方法（実際に用いた機器、除染効果）
作業視点 (直接保守)	補修作業	・直接保守方法（グローブボックス、フロッグマンの使用実績等） ・遠隔保守方法（マニプレータ、ロボット、クレーン等の使用実績および方法）
	被ばく低減策	・作業時間の管理等、被ばく低減のために実際に行っていることの情報等
	必要機器	・直接保守、解体で実際に用いている機器（治具）および装備の情報
	放射線管理	・実際に保守を行った最大人数（1班の最大） ・実際のレッド区域内作業の流れ ・放射線管理方法
	作業エリア	・脱装エリア（パネルハウス）のサイズ

レビュー依頼先：

- 日本原燃株式会社（日本）・・・原子燃料サイクル事業を展開。遠隔技術に関する豊富な技術的知見を有する。
- 青森プラント株式会社（日本）・・・原子力を含む各種産業プラントにおける保守メンテナンス業務に実績を有する。
- ORANO（フランス）・・・原子力サイトの運営サポート分野（ロジスティクス、特殊メンテナンス、放射線安全）における基幹的サプライヤ。
- ONET（フランス）・・・長年にわたり原子炉のエンジニアリングと保守、廃炉、放射性廃棄物管理業務を展開。
- SE&C（米国）・・・米国の原子力施設（ハンフォードサイトなど）の廃止措置のコンサルタント会社。

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出(3/5)

- 各社のレビュー結果のうち、主要なコメントを下表に示す。

	項目	指摘事項/推奨事項
施設	ハッチやセルの大きさ	横アクセスエンクロージャに合わせて施設のハッチやセルが大きく設計されている。 空調設備が大規模になるというデメリットが予想される。(対策案) エンクロージャ内部の部品の解体部屋を施設に付属して作り、解体後に施設に持ち込む、など。
	汚染区分	1階平面図によると、ライン4と5の間にYELLOWゾーンの恒久的な作業エリアがあるが、恒久的な作業エリアはGREENゾーンにすべき。(対策案) マニピュレータの取り出し方法を工夫することでGREENゾーンに維持する、など。
	バッファエリア	(推奨) 保守対象物品の仮置き場や廃棄物の仮置き場が必要。
	チェンジングルーム	男女別の更衣室が必要。
	通路幅	機械式マニピュレータの仕様が決定した際に通路幅を設定する。
動線	物品の移動	保守を終えた物品が入口から搬出。クロスコンタミ発生の可能性がある。 (対策案) 一方方向の直線的な物品の流れを考える、など。
	移送容器の移動	クレーンにより移送容器が揚重される。重量物の落下リスクがある。 (対策案) 落下評価の実施、物理的な落下影響低減対策の実施。根本的には、可能な限り水平方向の移動に配慮、など。
空調 (HVAC)	ハッチ開口時の空気の乱れ	開口部が大きいと、汚染の拡がりを抑制するに十分な風速を維持することは易しくない。
	気流分析	(推奨) セル間を物品が移動する際の詳細な気流分析。空調システムと排出HEPAフィルタシステムの基本的なフローダイアグラム。
	静的格納性	(推奨) 空調不具合時の汚染拡大防止のために静的格納性を確保。
	換気ダクト	(推奨) 高汚染セルの場合、ダクト長を短くするためにフィルタ設備を至近に設置。

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出(4/5)

項目		指摘事項/推奨事項
除染	除染方法	(推奨) 多くの除染方法があり、それぞれの長所・短所を考慮の上、1Fに適した方法を選択。
	水利用の除染	(推奨) 水の排水点の設置、床に緩い勾配を付けるなどの水管理ネットワーク。
	除染対象	(推奨) 除染を容易にするためにケーシングにステンレススチールを使用、粗面を減らす、角を取る、など。
保守	解体	機械切断：大きな構造物や厚さのある構造物に有効。消耗品の交換頻度やマニピュレータへの反力に配慮が必要。熱的切断（レーザー切断）：振動が無く、金属以外の物品にも適用可能。
	直接保守	遠隔保守よりは容易でも、素手の器用さは期待できない。
被ばく低減	ALARA	(推奨) 作業員被ばくを低減するための直接保守と遠隔保守のバランスを施設設計の段階から追求。
	物理的防護手段	放射線防護のための鉛エプロン、鉛ブロックの利用。汚染防止のための顔面マスクなど。
	作業時間	全面マスクでの作業時間は1時間以内（脱装の時間を除くと実質40分）など、線量と熱中症対策から設定。
	簡易除染	高線量が予想される機器などは作業前に遠隔で簡易除染を実施。
放射線管理	汚染ゾーンの区分け	機械式マニピュレータ操作室にGREENゾーンおよびYELLOWゾーンが存在。考え方の整理が必要。
	エリアの養生	事前に多重に準備。
	放射線測定	α , β , γ のどれを測定対象とするか今後の燃料デブリ特性評価に基づいて決定すべき。
	直接保守セルの汚染レベル	直接保守セルは除染しやすい構造にして（セル壁面のコーティング、セル内に複雑な機械を置かないなど）YELLOWゾーンにすべきである。そうすることで作業員の作業時間を長く取ることができる。

8.1 概念検討に基づく技術課題の抽出(5/5)

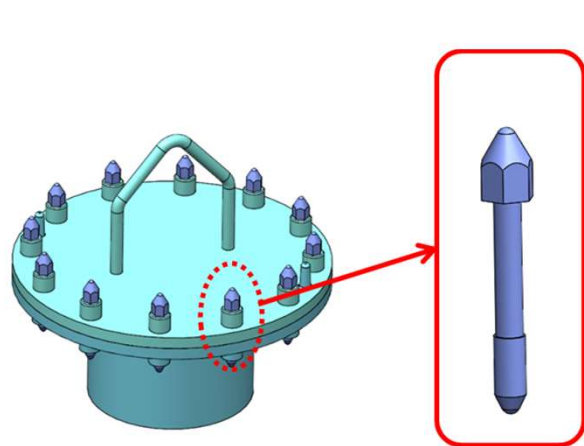
項目		指摘事項/推奨事項
廃棄物	廃棄物管理のワークフロー	(推奨) 生成される廃棄物と廃棄物貯蔵施設(別施設)の仕様がマッチするように廃棄物の調整手段を施設設計の初期段階で検討。
	廃棄物容器	何種類かの廃棄物容器が必要になると考えられる。廃棄物容器の設計は、予想される内容物の線量を仮定して行うことになり、手間と時間のかかる作業である。
	廃棄物貯蔵エリア	<ul style="list-style-type: none"> - 必要とされる貯蔵エリアの大きさは、廃棄物の生成速度に始まり容器の準備期間やその払い出し速度などに依存。 - 廃棄物の特性評価、再梱包、分別および必要に応じて減容が行えるように設計すべき。 - 保守に関わる各作業は定常的に進まないことがあり生成される廃棄物も事前に定まらないことも多いため、専用の十分な貯蔵スペースが必要。払い出しのための手続きに時間が掛かる可能性もある。
その他	火災ハザード	(推奨) 火災ハザードの管理は複雑な作業であり、原子力安全分野の専門家による個別検討が必要。
	予備品ショップ	小規模の予備品ショップを施設内に持つ、大きなサイトなら総合的な予備品建屋を建てる、或いは予備品管理を外注する、など。
	Hotマシンショップ	(推奨) 汚染品の扱えるマシンショップがあれば非常に便利。ツールの交換や一般的な機械加工などが行える。
	モックアップ施設	直接保守・遠隔保守のトライアルおよび練習を行えるモックアップ施設があると、事前に課題の抽出等が出来、役に立つ。

今回の事業において明らかとなった遠隔除染・保守施設への要求，および燃料デブリ取り出し装置への要求を具体化するために，前項で抽出された技術課題の解決も含め，現段階でIHIが重要と考える開発要素を以下のとおり提案する。

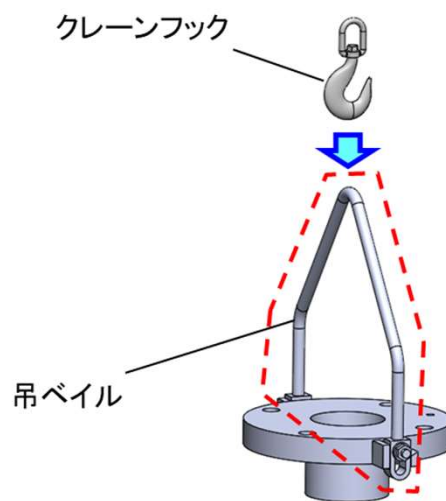
1. 取り出し装置に対する要求（設計基準の整備）
2. 遠隔除染・保守施設への移送容器の開発
3. 遠隔除染技術の開発

1. 取り出し装置に対する要求（設計基準の整備）

- 燃料デブリ取り出し装置の保守時の最大寸法・重量，保守機器と燃料デブリ取り出し機器の取り合い部の設計（把持部・吊部，ボルトやコネクタ形状など），さらには，燃料デブリ取り出しや保守施設で使用する廃棄物容器の仕様は共通化が望ましい。
- そこで，遠隔除染・保守施設に関連する機器に対する要求仕様（設計基準）を整備することを提案する。
- 本事業において抽出した取り出し装置に対する要求機能は，「7.2.4 要求事項の分類・深掘り（2）保守対象機器」を参照すること。



遠隔ボルトの例



吊りベイルの例



遠隔操作作用流体コネクタ
STÄUBLI社カタログより



遠隔操作作用電気コネクタ
SOURIAU社カタログより

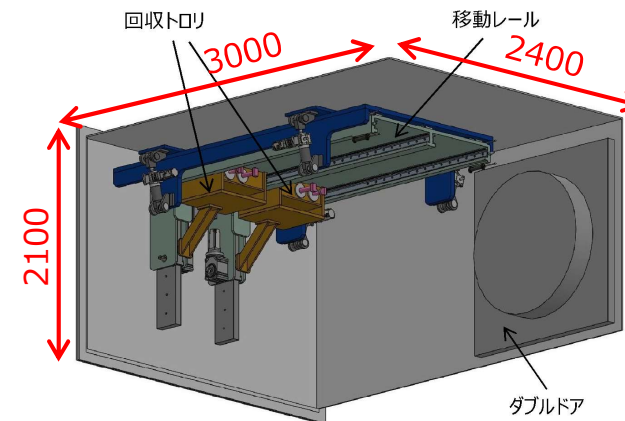
遠隔着脱コネクタの例

2. 遠隔除染・保守施設への移送容器の開発

- 取り出し装置(モジュール)の移送に用いる容器は、モジュールの寸法に加え、予想される内容物の線量を仮定して行うことになる。
- さらに、大・小および横開口・上開口といった複数種類が必要になり、燃料デブリ取り出しに用いる容器との共用化も考慮が必要。
- 遠隔除染・保守施設に設置されるダブルドアやハンドリング機器は、この移送容器に基づき設計される。従って、遠隔除染・保守施設の設計開始時には移送容器の仕様が決まっていることが望ましい。
- IHIはこの移送容器の寸法や仕様の設計に加え、製作性・落下に対する耐久性・機能性などの検証のために試作機製作、実証を提案する。



横型定形容器(小)の例
(内容器寸：φ270 x D400mm)



横型定形容器(大)の例
(装置保守用搬送台車)

3.遠隔除染技術の開発

- 取り出し装置の保守の際は、可能な限り除染を行い、直接保守を行うことが合理的な保守の在り方という調査結果を得た。
- 除染方法には高圧水、化学、泡、レーザー、表面研磨、ふき取りといった様々な方法が存在するが、1F環境で発生する汚染に対し遠隔操作による除染を行う場合、どの方法が最適か実証が必要。
- そのため、汚染の形態に応じた高度な除染を可能にする[遠隔除染技術の開発・実証と発生する廃棄物の管理技術の開発](#)を提案する。



レーザー除染の例



高圧水除染の例

出典：ONET TECHNOLOGIES社のHP
(www.onet-technologies.jp)

9. 補助事業のまとめ

IHI

9. 補助事業のまとめ(1/4)

◆ 事業背景と目的

- 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けては、原子炉建屋（R/B）、原子炉格納容器（PCV）に存在する干渉物撤去技術、燃料デブリ取り出し工法の各種技術に係わる技術開発が進められている。
- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大においては、以下の観点から、装置の遠隔保守技術の確立が求められる。
 - 安全確実な燃料デブリ・炉内構造物の取り出しの継続
 - 廃棄物発生量の低減
 - 燃料デブリの取り出し～移送・処理～保管作業の全体最適化
- 燃料デブリの取り出し～移送・処理～保管に係わる一連のプロセスを考慮し、全体最適での遠隔除染・保守の概念を明確化する。
 - ✓ 保守内容に応じた、保守計画の提示
 - ✓ 遠隔除染・保守施設の概念の提示
- 具体的な開発要素とその優先順位の立案を実施する。

◆ 実施内容

(1) 国内外の類似事例の調査

遠隔保守システムおよび燃料デブリ取り出し装置に対する要求事項を整理する際の参考とするために、長期的運用が行われている国内外の原子力関連施設等における類似事例を調査・評価し、多くの有益な情報を得た。そして、1Fへ反映すべき教訓・反映事項として整理した。

(2) 遠隔保守システムに関する要求事項の整理

燃料デブリ取り出しを対象とした遠隔除染・保守システムに必要な設備・機器（共通事項、保守エリア、保守用機器、除染システム、移送、閉じ込め）を整理し、その構成要素ごとに遠隔保守システムに関する要求事項を整理した。

(3) 取り出し装置に対する反映事項の整理

(1) 類似事例の調査結果および (2) 遠隔保守システム側への要求事項の整理結果に基づき、取り出し装置の使用環境や状態、その設計思想を整理した上で、具体的な対象機器を設定した。そして、取り出し装置に対する反映事項・設計思想を整理した。

◆ 実施内容

(4) 遠隔除染・保守の概念検討

IHIが実施した大規模取り出しの検討成果をベースに具体的な遠隔保守施設の概念検討を実施した。概念検討は保守内容の整理に基づく作業フローを作成し、遠隔保守施設に必要な機能・機器を抽出した上で具体的な施設内動線・配置を検討した。

(5) 技術課題・開発要素の抽出

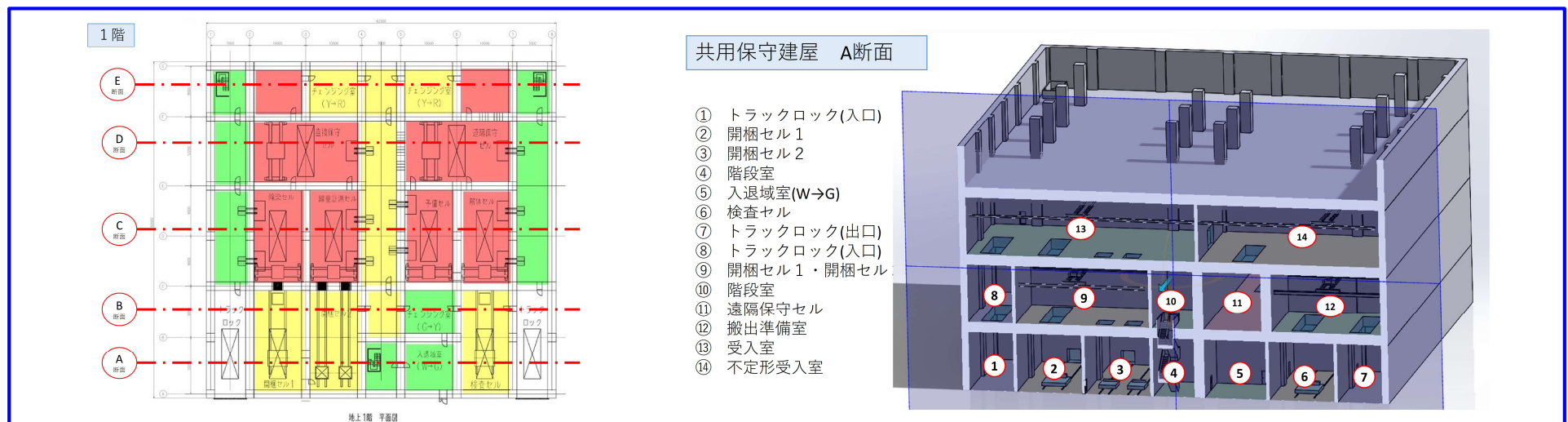
(4) 遠隔保守施設の概念検討の結果に対して、遠隔技術、保守メンテナンス技術、プラント運用面での知見を有する国内外の組織にレビューを受け、技術課題・開発要素を抽出した。

9. 補助事業のまとめ(4/4)

◆ まとめ

将来の燃料デブリの取り出しにおいて、安全確実な燃料デブリ・炉内構造物の取り出しを継続することは極めて重要であり、燃料デブリ取り出しの全体最適化を達成するためには1F全体での利用を可能とする遠隔除染・保守施設の必要性は高いと考える。

遠隔除染・保守施設の実現までには、概念設計、基本設計、詳細設計、許認可対応、個別機器製作、建屋建設、試運転のステップがある。そのため、燃料デブリ取り出し方法の開発と並行して、2031年度の大規模燃料デブリ取り出しの開始を見据えながら、燃料デブリ取り出しプロジェクトとも協力しながら継続的に検討を進めることが重要と考える。



本事業の成果例（遠隔除染・保守施設のモデル）

IHI

Realize your dreams