

令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金」
「燃料デブリの取り出し工法の開発

(大型構造物取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発)」

2021年度実施分成果

2022年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

目次

1. 「燃料デブリの取り出し工法の開発(大型構造物取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発)」の目的と目標
2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容
3. 本事業の概要
4. 本事業の実施スケジュール
5. 本事業の実施体制
6. 本事業の実施内容
7. まとめ
8. 実施目的を達成するための具体的目標

1. 「燃料デブリの取り出し工法の開発(大型構造物取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発)」の目的と目標

【燃料デブリの取り出し工法の開発の目的】

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所(1F)では、核燃料が炉内構造物とともに溶融し、燃料デブリとして原子炉圧力容器(RPV)内及び原子炉格納容器(PCV)内に存在していると考えられる。

RPV及びPCV内部の燃料デブリは、現在未臨界状態にあると考えられるが、事故によって原子炉建屋(R/B)、RPV、PCV等が損傷している等、プラント自体が当初設計とは異なる不安定な状態に置かれているため、燃料デブリを取り出して燃料デブリの未臨界状態を維持し、放射性物質の拡散を防止して安定な状態にする必要がある。

上記の背景のもと、本事業は、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以降、中長期ロードマップ)に基づき、東京電力ホールディングス(株)(東京電力)が実施するエンジニアリングやプロジェクト管理と連携しながら、更なる規模を拡大した燃料デブリ取り出し作業を実現することを目標に検討を実施する。本事業での開発成果は、東京電力が行うエンジニアリングに活用する。

本事業は、1Fの廃炉・汚染水対策に資する技術の開発を支援する事業を、中長期ロードマップ及び「2021年度廃炉研究開発計画」(廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第86回))に基づき行うことで、1Fの廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、我が国の科学技術の水準の向上を図ることを目的とする。

「大型構造物取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発」においては、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て、大型構造物の取り出し及び搬送時における公衆、作業員の安全を確保するために重要となる放射性物質の閉じ込め、作業員の被ばく線量の低減のための隔離に関する要素技術の開発を実施する。

【開発全体の目標】

中長期ロードマップに基づき、更なる規模を拡大した燃料デブリ取り出し作業を実現することを目標に検討を実施する。

【実施期間】2021年12月～2023年3月(16ヶ月)

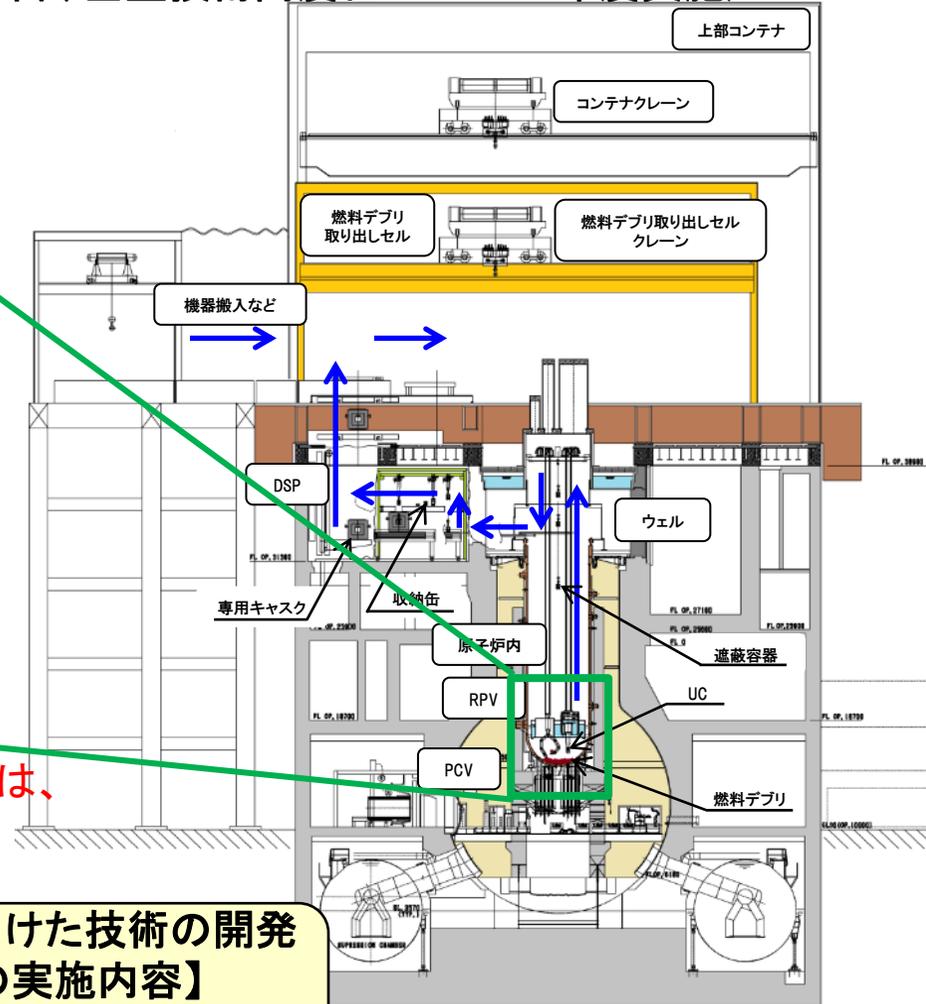
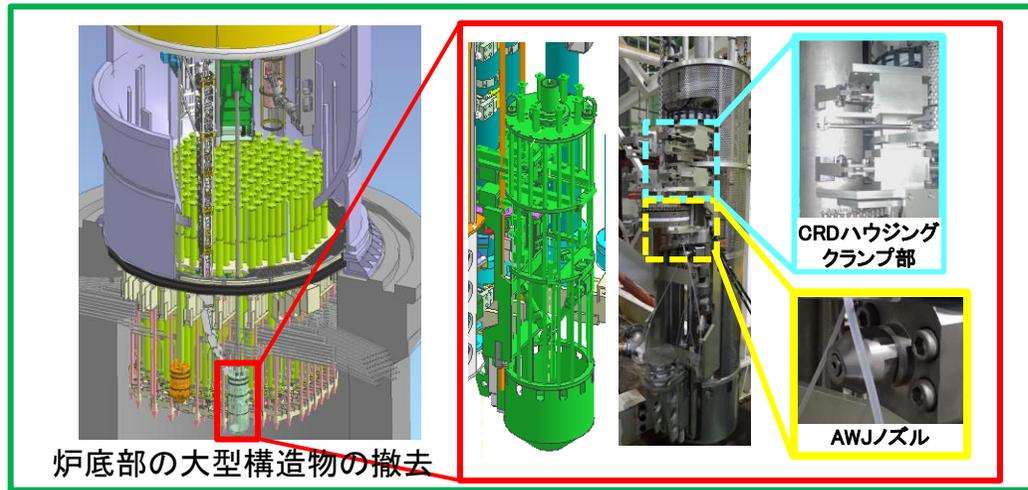
2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

過去の補助事業の実績および実施中の補助事業での検討内容について整理した。

(1) 上アクセス工法に関する過去の補助事業の実績

【燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化（以降、基盤技術高度化：2017-18年度実施）での主な検討成果】

- アクセスルート構築(干渉物撤去)イメージを作成し、炉底部について模擬構造体を用いた要素試験を実施して撤去手順の実現性を検証。
- 切り出し単位、切断部分の形状・厚さ、切断方法など手順の想定を行い、取り出し期間(スループット)の試算を実施。



PCV内で構造物を細断し、ユニット缶に収納して搬出する方法は、作業性・作業時間の観点から難易度が高い

**【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（以降、取り出し規模の更なる拡大：2019-20年度実施）での実施内容】
構造物をできるだけ大きく搬出し別建屋で細断する工法の実現性確認**

2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

(1) 上アクセス工法に関する過去の補助事業の実績

【新規上アクセス工法(構造物一体撤去・搬出)の概念】

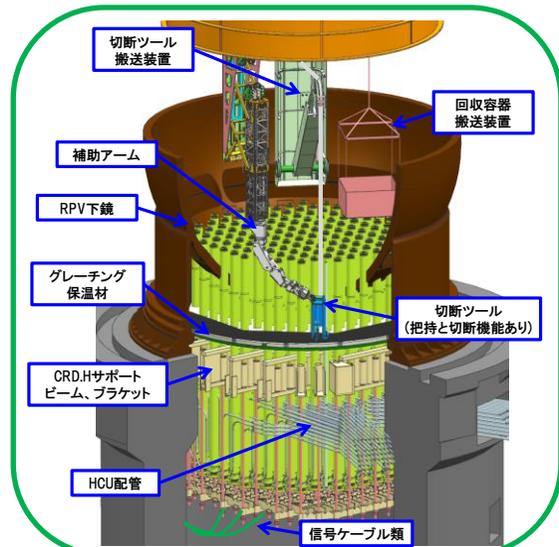
「取り出し規模の更なる拡大」にて検討した構造物一体撤去・搬出工法の概念を以下に示す。

- ✓ 構造物単位で一体で搬出。
- ✓ 炉心部は複数単位に分割、炉底部は下鏡を一体でRPVから切り離しを実施。
- ✓ 搬出対象物の遮蔽・気密は容器、アクセスルートまたはそれらの組合せにて対応。
- ✓ 取り出した構造物の細断、容器への収納はR/Bから離れた建屋にて実施。

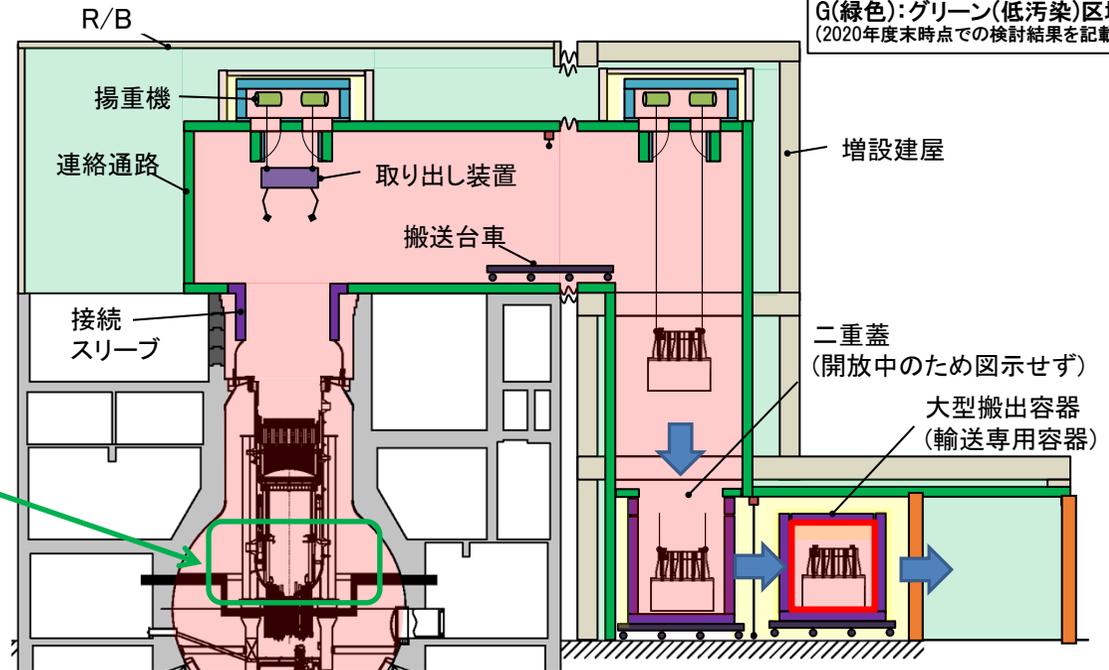
【「取り出し規模の更なる拡大」での検討内容】

19-20年度の補助事業(取り出し規模の更なる拡大)において以下を検討した。

- ✓ 一体搬出工法(搬出ルート)の検討。
- ✓ 炉底部解体方法の検討・要素試験。



炉底部干渉物撤去作業イメージ



検討中の一体搬出工法(搬出ルート)

【注記】
色で以下の汚染レベルを表記
R(赤色):レッド(高汚染)区域
Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
G(緑色):グリーン(低汚染)区域
(2020年度末時点での検討結果を記載)

2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

(2)「燃料デブリの取り出し工法の開発」(以降、取り出し工法:2021-22年度実施中)事業での検討内容
上アクセス工法に関し、①大型切断工法、②大型搬出容器、③大型搬送装置の技術開発を実施中。

① 大型切断工法

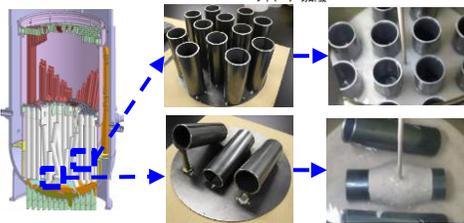
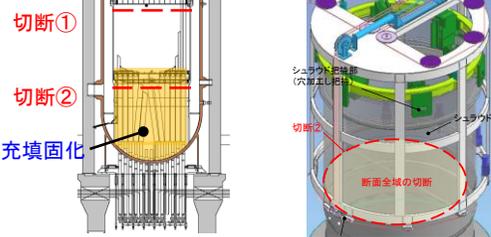


取り出し規模の更なる拡大(19-20年度)概念検討実施

炉内構造物以外の構造物切断工法

炉内構造物切断工法

充填切断イメージ

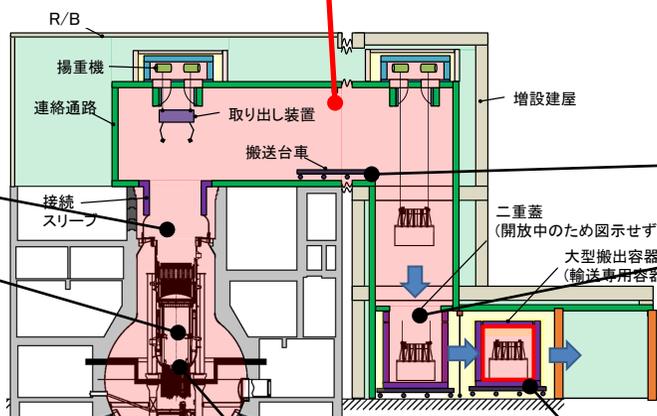


倒壊したCRGT*を模擬

ジオポリマ充填 (容器内径300mm)

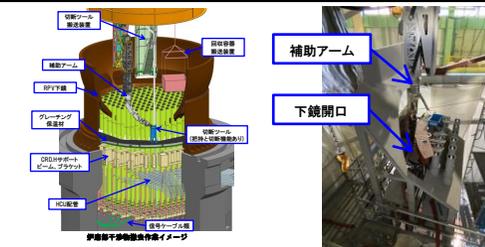
取り出し規模の更なる拡大(19-20年度)要素試験実施

連絡通路内の高汚染範囲を低減する方法について検討中
[本事業に関連]

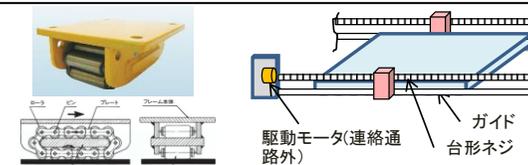


【注記】
色で以下の汚染レベルを表記
R(赤色):レッド(高汚染)区域
Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
G(緑色):グリーン(低汚染)区域
(2020年度末時点での検討結果を記載)

炉底部構造物切断



取り出し規模の更なる拡大(19-20年度)要素試験実施



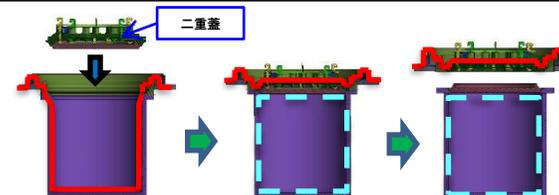
エンドレスコロ方式

台形ネジ駆動方式

取り出し規模の更なる拡大(19-20年度)概念検討実施

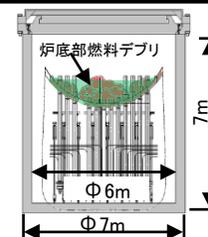
③ 大型搬送装置

二重蓋の気密機構



燃料デブリ取り出し作業時の安全確保に関わる
技術開発(20-21年度)要素試験計画

② 大型搬出容器



取り出し規模の更なる拡大(19-20年度)概念検討実施

2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

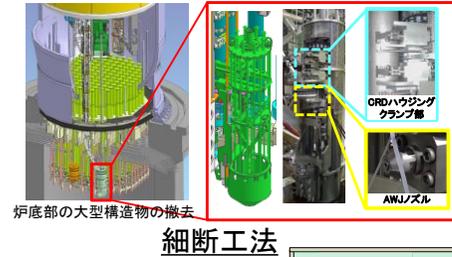
No.6

【これまでの開発内容と本事業との関連】

基盤技術高度化(2017-18年度実施)

【PCV内細断工法の検討】

- 炉底部構造物模擬体を用いた要素試験の実施
- スループット試算、課題の抽出

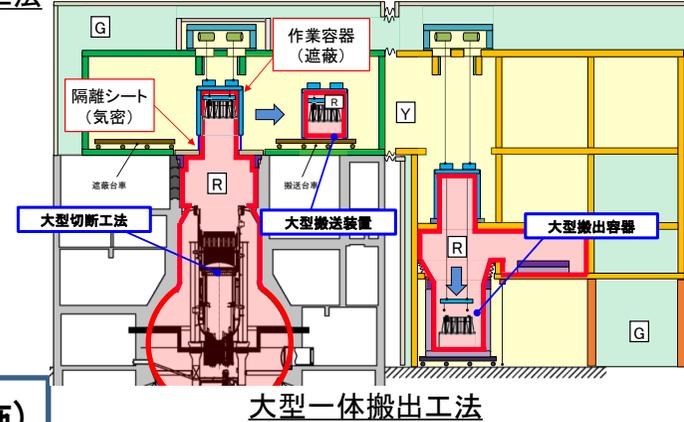
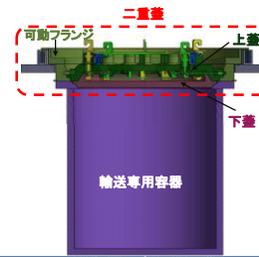


【注記】
色で以下の汚染レベルを表記
R(赤色):レッド(高汚染)区域
Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
G(緑色):グリーン(低汚染)区域

取り出し規模の更なる拡大(2019-20年度実施)

【一体搬出工法の検討】

- 炉底部解体に関する要素試験の実施
- 大型搬出容器に関する概念検討
- 容器収納までの臨界管理方法の検討



取り出し工法(2021-22年度実施)

【取り出しコンセプト実現のための技術開発】

- 大型切断工法の検討
- 大型搬出容器(本体)の検討
- 大型搬送装置の検討

安全確保(2020-21年度実施)

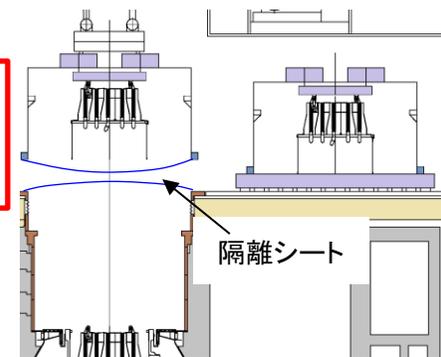
【大型搬出容器蓋の実現性確認】

- 容器蓋の気密機構の開発・要素試験
- 容器収納後(移送中)の臨界管理方法の検討

本事業

【汚染拡大防止隔離技術の開発】

- 隔離技術の開発・要素試験



今後の検討項目

- エンジニアリングや技術開発で抽出された開発課題の検討 等

2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

【2020年度までの開発成果(検討内容)】

連絡通路内の高汚染範囲を低減する方法の概念検討を実施した。

【注記】
色で以下の汚染レベルを表記*
R(赤色):レッド(高汚染)区域
Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
G(緑色):グリーン(低汚染)区域
*主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記

	(連絡通路方式)	(連絡通路方式)改1 ゲートで仕切り追加	(連絡通路方式)改2 作業容器で仕切り追加
概念図			
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取り出し手順がシンプル ・ 設備構成も少なく、廃棄物量少 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 切断中の放射性ダストはゲート閉にて連絡通路への拡散を低減 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 切断中の放射性ダストは作業容器にて連絡通路への拡散を低減 ・ 構造物運搬時は、作業容器も使用して運搬することで放射性ダストが連絡通路に拡散することを低減
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 切断中の放射性ダストは直接連絡通路に拡散(放射性ダストの蓄積大) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 搬送台車のレール、走行駆動部がゲート閉時に干渉が生じる。 ・ 構造物運搬時は、付着した放射性ダストが連絡通路に拡散 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業容器追加により二次廃棄物量が増える。 <p>注記: 作業容器は下面の閉止はないため、搬送台車に移送時は一時的に開放される。</p>

連絡通路内への放射性ダストによる汚染拡大防止のため、(改2)の方法を主案として検討。

但し、(改2)の作業容器は下面の閉止がないため、搬送台車への移送時は一時的に汚染が広がる。

⇒ * 燃料デブリ取り出しは長期の作業となる可能性があり、装置類の保守、非常時の対応等を考慮した場合、汚染拡大範囲を可能な限り低減することが望ましいことから、21年度の燃料デブリの取り出し工法の開発PJにて継続して検討

2. 上アクセス工法に関する補助事業での検討実績・内容

No.8

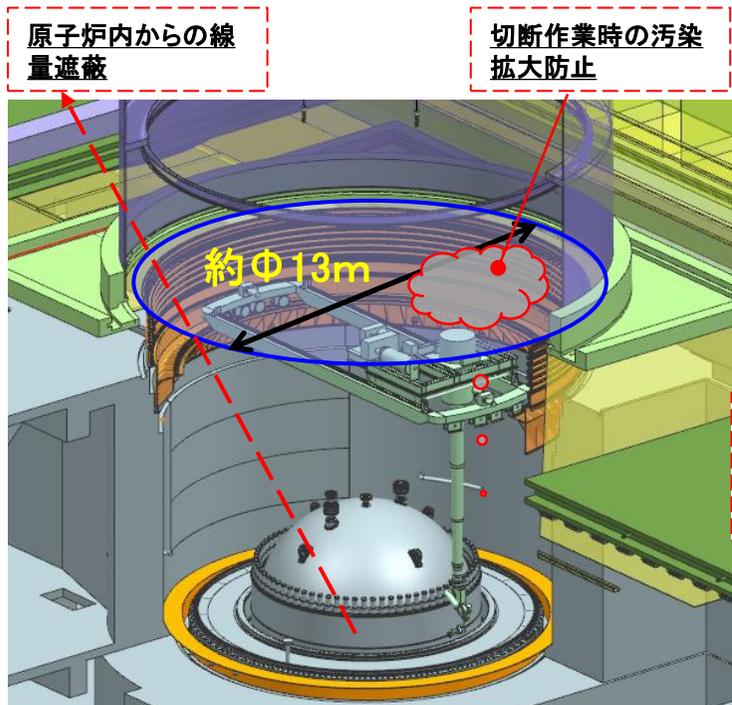
【2020年度までの開発成果(検討内容)】

◆ 作業容器の条件 [(連絡通路方式)改2: 作業容器で仕切り追加]

- ①作業容器切り離し時の原子炉ウエル側と作業容器下面側を同時に閉じ込めを行う
- ②作業容器の重量低減を念頭に作業区分に応じて寸法の異なる容器を使い分ける

切断作業用作業容器

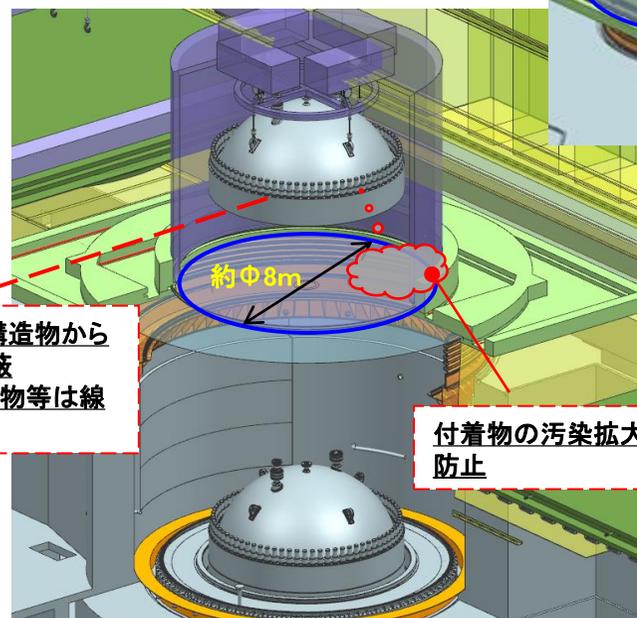
- ・原子炉ウエル全域をカバーする寸法(内径大)
- ・原子炉内からの線量低減を考慮した
最小限の板厚(板厚小)
→ 作業容器の重量低減



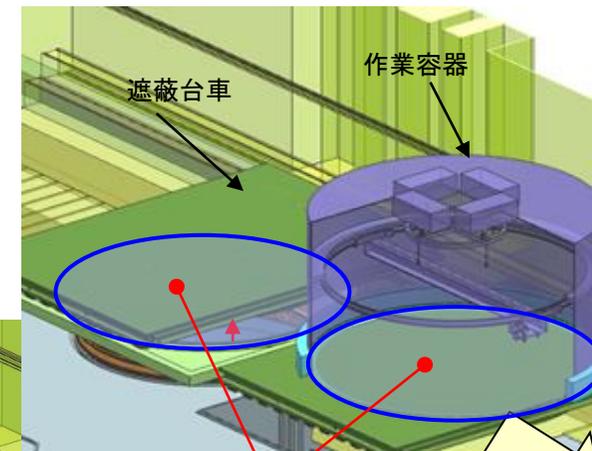
切断(解体)作業時(イメージ例)

構造物搬出用作業容器

- ・搬出する構造物に対応する最小限の寸法(内径小)
- ・搬出する構造物から線量低減を考慮した板厚(板厚大)
→ 作業容器の重量低減



搬出作業時(イメージ例)

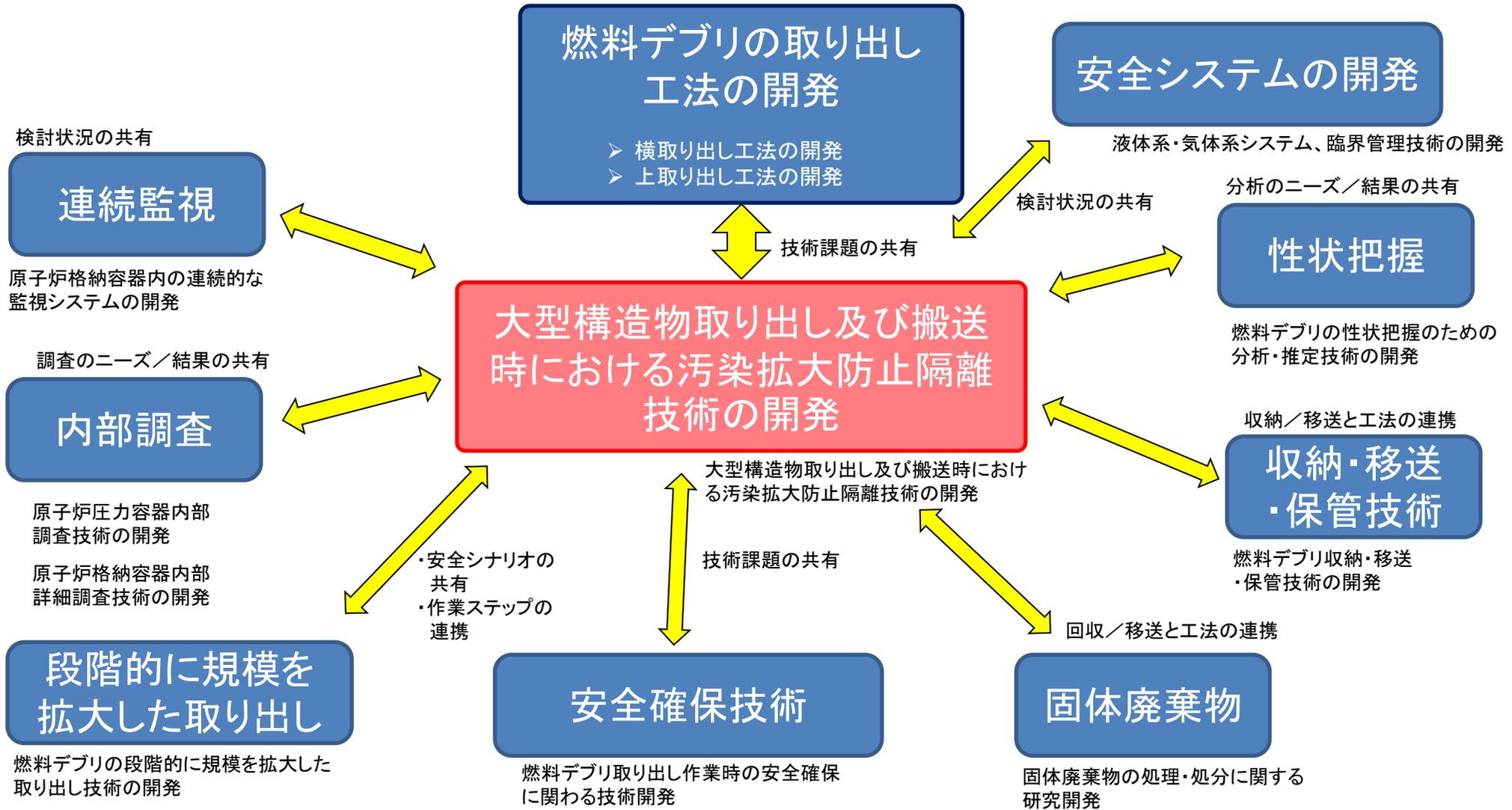


作業容器を切り離し時に
原子炉ウエル側と作業容器下面
側を同時に閉じ込めを行う

移送作業時(共通)
(イメージ例)

3. 本事業の概要

3.1 他事業との連携



本事業では上記事業と連携し、必要に応じて合同会議を実施。

3.2 公募の開発項目と実施方針

公募の開発項目	実施方針
1) 大型構造物取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発	<p>燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに関しては、上アクセス工法のスループット向上のため大型一体搬出工法について2019年度からの開発中であり、原子炉内構造物を可能な限り大型一体で切断し、切断した構造物をR/Bオペレーションフロアまで引き上げ、大型搬送装置により増設建屋へ搬出する方法を検討している。</p> <p>放射性物質の閉じ込め、作業員の被ばく線量の低減のため、R/Bオペレーションフロアから増設建屋までの連絡通路は可能な限り汚染しないよう計画する必要があるため、原子炉内での切断、増設建屋までの搬出において作業容器を設けることにより汚染した構造物を覆うこと、また、作業容器を原子炉内からR/Bオペレーションフロアへ搬出する際には隔離機構を設けることにより、放射性物質の連絡通路への拡散を防止する方法の概念を検討中である。</p> <p>汚染拡大防止策を具体化するため、作業により発生する汚染物質、その拡大する経路などを整理し、連絡通路に要求する汚染エリア区分を明確にした上で、汚染拡大防止のための隔離機構について装置、運用方法などの技術開発を実施する。</p>

3. 本事業の概要

3.3 本事業の目的

No.11



大型構造物の取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発(本事業)

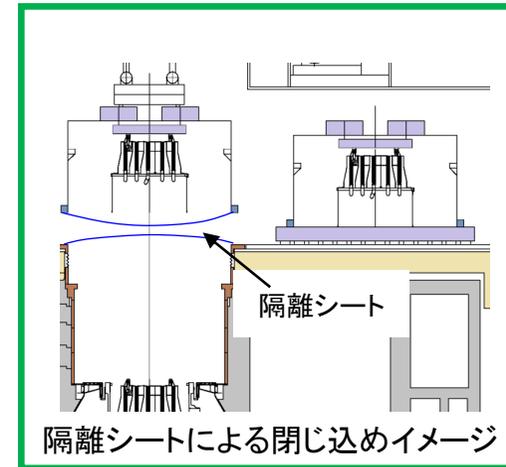
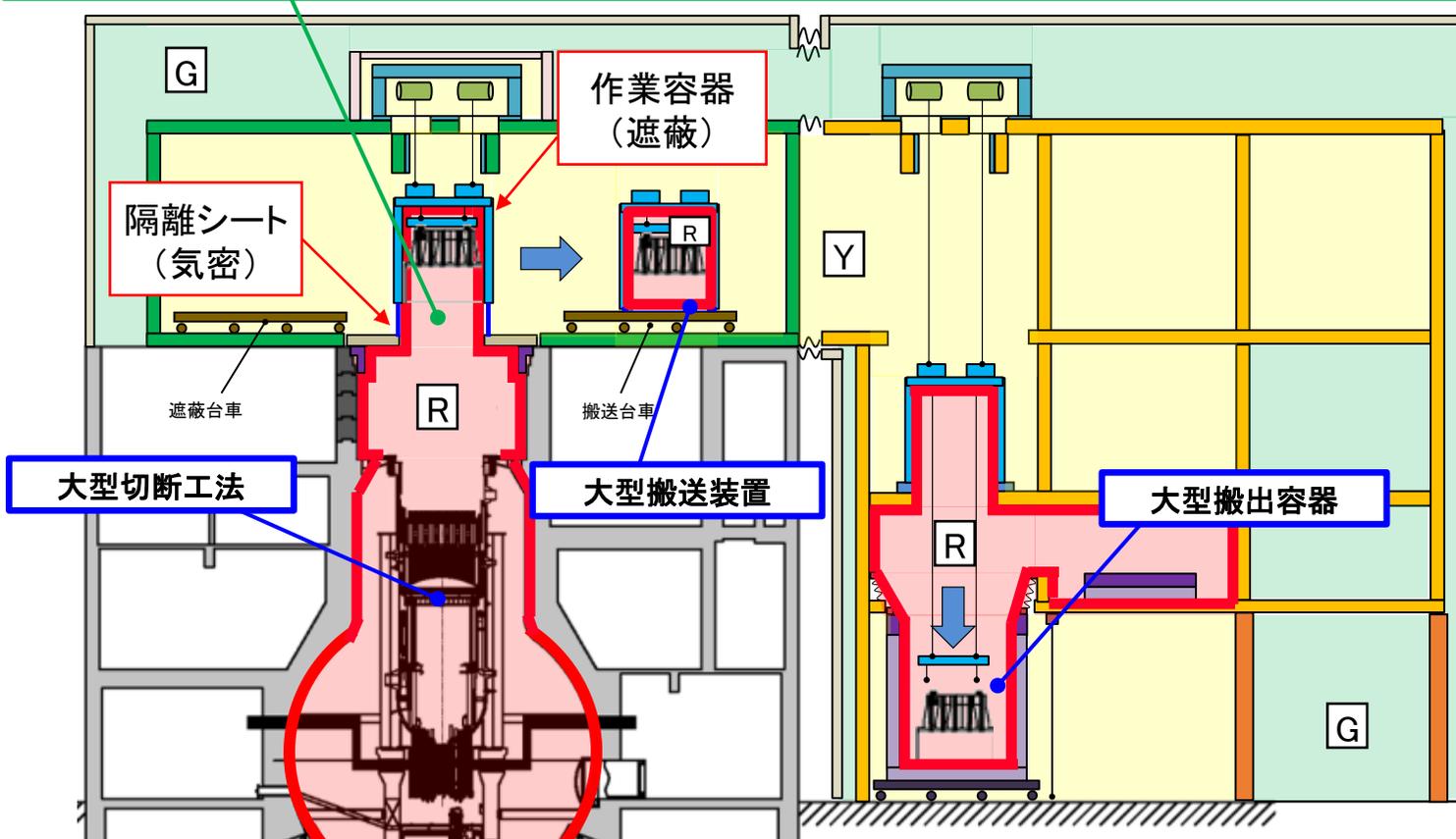


燃料デブリの取り出し工法の開発(2021~2022年度)

連絡通路内の汚染範囲を低減するため、遮蔽機能を有する作業容器と隔離シート等の隔離技術を用いた取り出し工法のイメージを下図に示す。

現在開発を実施している大型搬出容器および二重蓋と共存可能な構成で検討を実施する。

汚染拡大防止隔離技術(本事業) → 作業容器下面からの汚染拡大防止を図る隔離シート等隔離技術の開発
(連絡通路内の汚染レベル低減、作業員被ばく低減、揚重機等のメンテナンス性向上)



【注記】
色で以下の汚染レベルを表記*
R(赤色):レッド(高汚染)区域
Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
G(緑色):グリーン(低汚染)区域
*主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
レッド区域は赤枠で囲って示す。

作業容器での連絡通路内汚染低減イメージ

3. 本事業の概要

3.4 本プロジェクトを進めるうえでの留意事項

本事業における計画を遂行するにあたり、留意事項について以下に記載する。

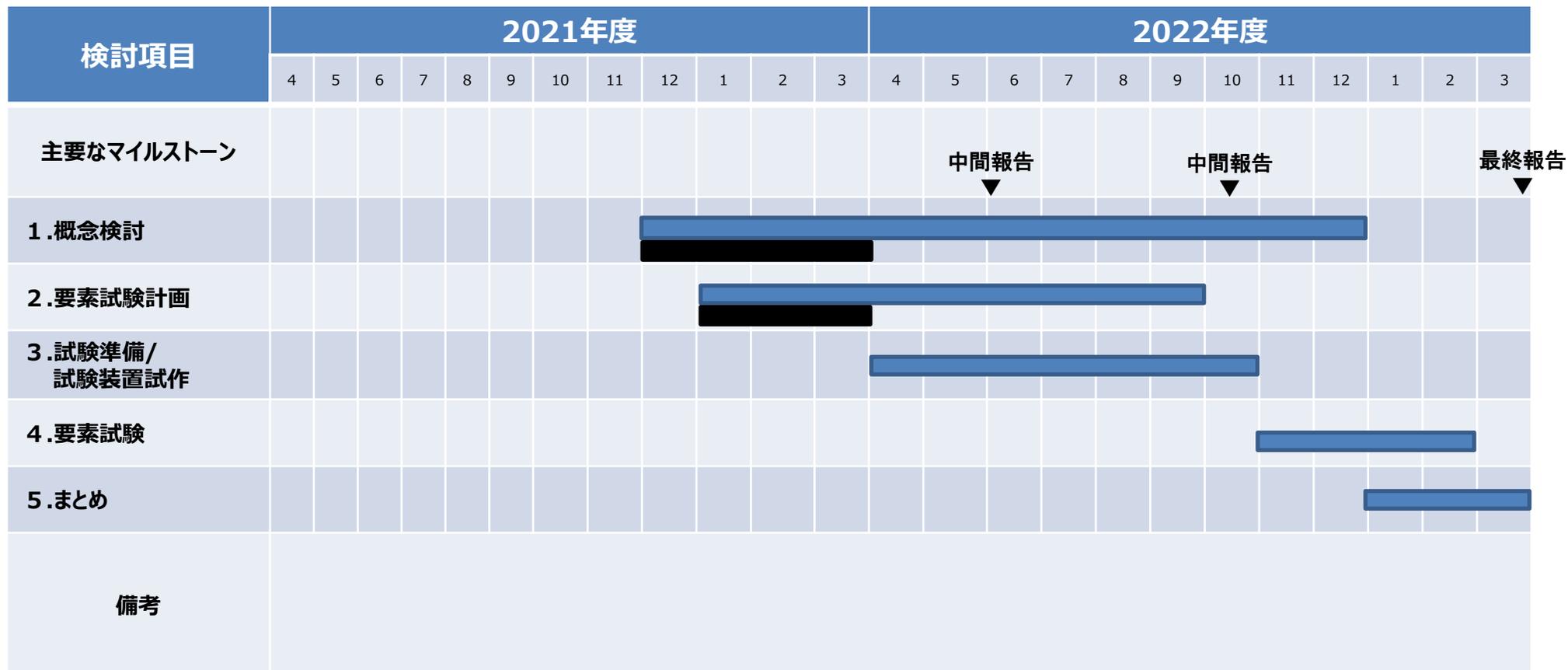
【留意事項】

検討に際し、以下について遠隔で扱う装置の取り扱い性、保守方法を考慮した開発を行う。

- ・高線量エリアに設置することから、遠隔での保守が原則となる。
- ・装置の汚染と必要な除染に配慮する必要がある。
- ・保守を行うための作業エリアが限られる。
- ・保守作業によって発生する廃棄物を極力抑える必要がある。
- ・臨界監視装置の設置、取り扱いに配慮する必要がある。

4. 本事業の実施スケジュール

■ :計画
■ :実績



技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

- 全体計画の策定と技術統括のとりまとめ
- 技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ

東京電力ホールディングス株式会社

- 現場適用性の観点での諸調整

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

【要素試験・技術開発】
 (1) 大型構造物の取り出し及び搬送時における汚染拡大防止隔離技術の開発

【外注の内容】

- ・汚染拡大防止隔離技術に関する技術開発 (東鉱商事株式会社)

以下は外注先未定

- ・汚染拡大防止隔離技術に関する設計補助(予定)

連携する開発プロジェクトチーム

原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発 (X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証)

福島第一原子力発電所廃止措置統合管理のための支援技術の開発 (原子炉格納容器内の連続的な監視システムの開発)

原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発 (堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)

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 (燃料デブリ取り出し作業時の安全確保に関わる技術開発)

原子炉圧力容器内部調査技術の開発

燃料デブリの取り出し工法の開発

燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術開発

安全システムの開発 (液体系・気体系システム、臨界管理技術)

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発

燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

公募実施内容を記載

燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに関しては、上取り出し工法のスループット向上のため、大型一体搬出工法について2019年度から開発を進めている。本工法においては、原子炉内の炉内構造物などの構造物を可能な限り大型一体で切断し、切断した構造物をR/Bオペレーションフロアまで引き上げ、大型搬送装置により増設建屋へ搬出する方法を検討している。放射性物質の閉じ込め、作業員の被ばく線量の低減のために、R/Bオペレーションフロアから増設建屋までの連絡通路は可能な限り汚染しないよう計画する必要がある。このため、原子炉内での切断、増設建屋までの搬出において作業容器を設けることにより汚染した構造物を覆うこと、また、作業容器を原子炉内からR/Bオペレーションフロアへ搬出する際には隔離機構を設けることにより、放射性物質の連絡通路への拡散を防止する方法の概念を検討している。

本事業では、これらの汚染拡大防止策を具体化するために、作業により発生する汚染物質、その拡大する経路などを整理し、連絡通路に要求する汚染エリア区分を明確にした上で、汚染拡大防止のための隔離機構について装置、運用方法などの技術開発を行う。開発に当たっては、閉じ込め性、遠隔作業の確実性・容易性、頑強性・耐久性、点検・保守性などの観点で評価、選定し、最適な技術について検討する。また、検討した技術を用いた模擬試験体による要素試験を実施し現場適用性を評価する。

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【課題】

- ・ 連絡通路で気密を確保をする場合、連絡通路内全体に汚染が拡散するリスクがある。
- ・ 燃料デブリ取り出し工事の現地施工性を考慮し、汚染拡大防止を図る必要がある。

【実施内容】

- ・ 燃料デブリ取り出し作業により発生する汚染物質、その拡大する経路などを整理し、連絡通路に要求する汚染エリア区分を明確化する。
- ・ 大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め方法、および手順の検討を行う。
- ・ 汚染拡大防止のための隔離機構について、閉じ込め性、遠隔作業の確実性・容易性、頑強性・耐久性、点検・保守性などの観点で評価、選定し、最適な技術について検討する。
- ・ 検討した技術について、模擬試験体による要素試験を実施し、製作性・装置への収納性・気密性等の確認を行い、現場適用性を評価する。

【得られる成果】

- ・ 汚染した大型構造物搬送時の汚染拡大防止方法の提示。

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【連絡通路に要求する汚染エリア区分の明確化】

◆連絡通路内エリア条件の目標

●燃料デブリ取り出し作業時

- ① 公衆被ばく低減
 - ・敷地境界での線量低減
 - ・環境への放射性ダストの漏洩防止
- ② 作業員被ばく低減
 - ・遠隔操作・自動化

●保守・点検作業時

- ① 公衆被ばく低減
 - ・敷地境界での線量低減
 - ・環境への放射性ダストの漏洩防止
- ② 作業員被ばく低減
 - ・遠隔操作・自動化

【注記】
 色で以下の汚染レベルを表記*
 R(赤色): レッド(高汚染)区域
 Y(黄色): イエロー(中汚染)区域
 G(緑色): グリーン(低汚染)区域
 *主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
 レッド区域は赤枠で囲って示す。

本開発の見直し点

・作業環境の改善: 連絡通路内の汚染拡大防止を図ることで
 作業員による直接保守による対応が期待できる
 (大型揚重機等連絡通路内の固定機器類)

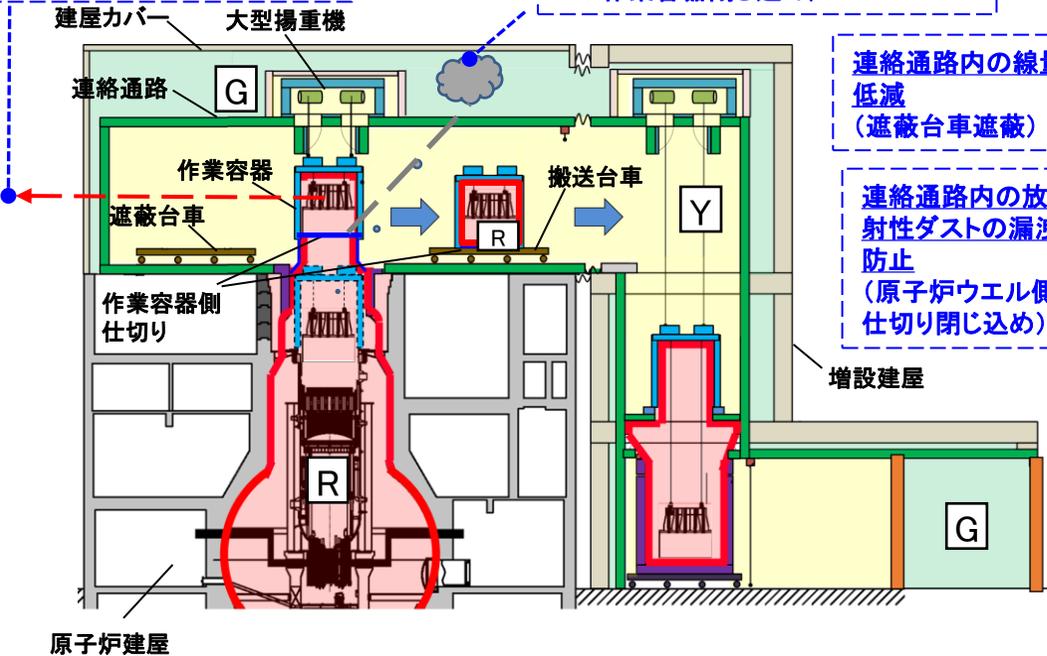
敷地境界での線量低減
 (連絡通路
 + 作業容器遮蔽)

環境への放射性ダストの漏洩防止
 (連絡通路
 + 作業容器閉じ込め)

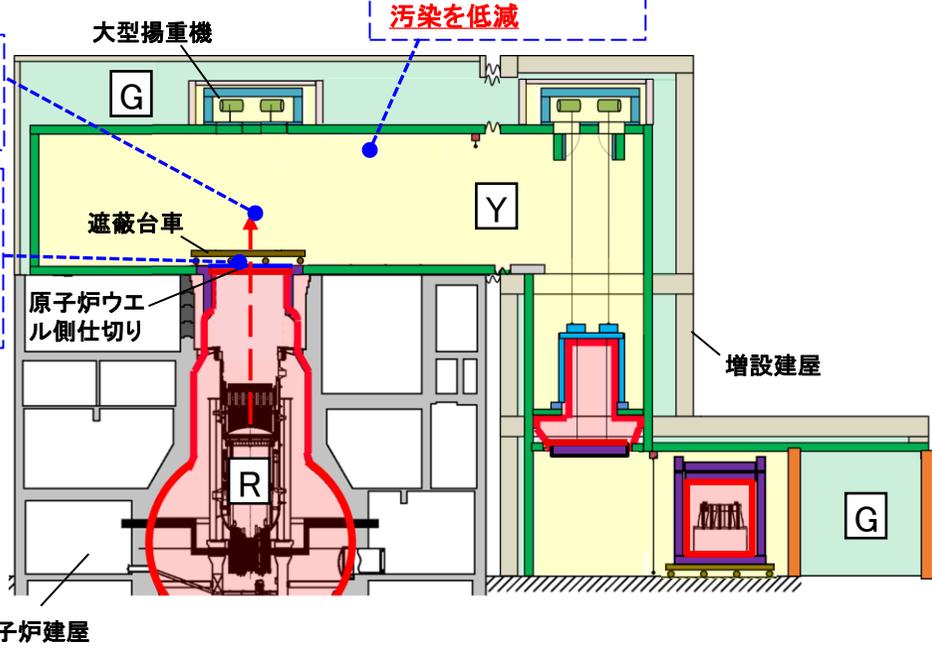
連絡通路内の線量
 低減
 (遮蔽台車遮蔽)

連絡通路内の放射
 性ダストの漏洩
 防止
 (原子炉ウエル側
 仕切り閉じ込め)

連絡通路内の内面
 汚染を低減



原子炉建屋
 燃料デブリ取り出し作業時

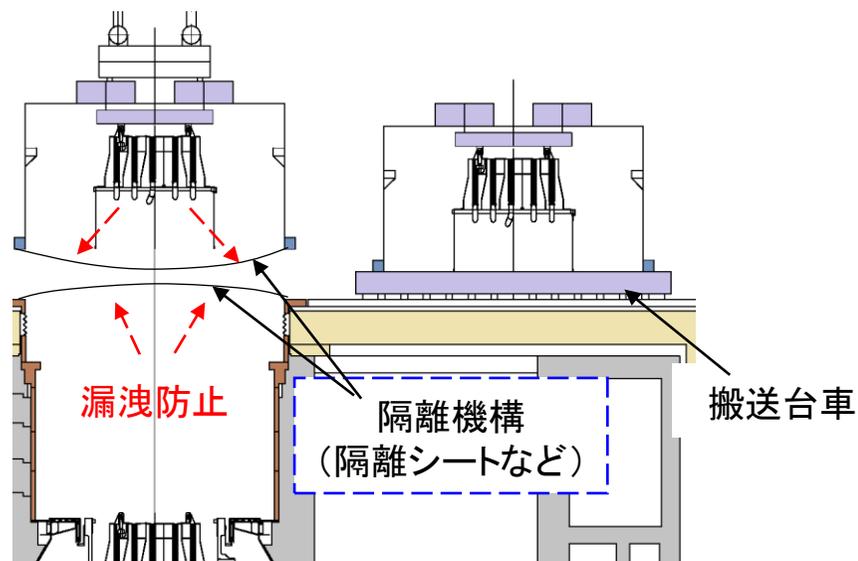
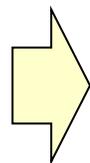
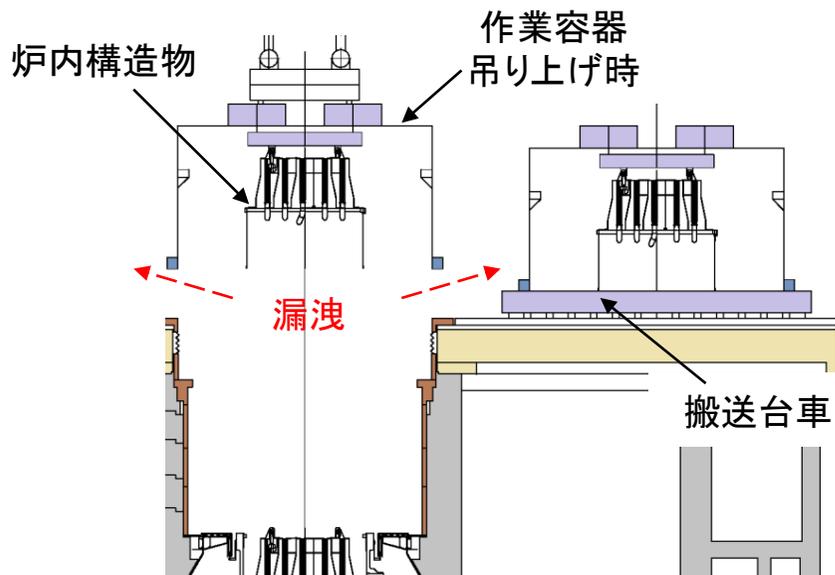


原子炉建屋
 保守・点検作業時

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め概念】

◆ 隔離機構による閉じ込め



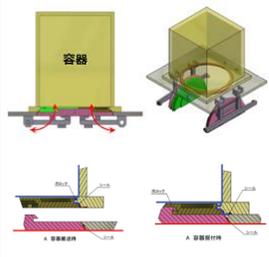
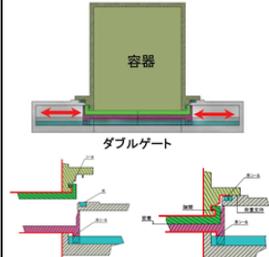
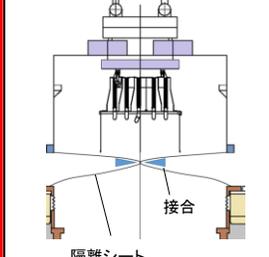
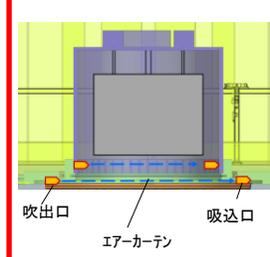
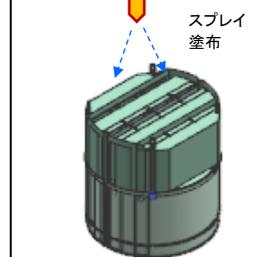
* 作業容器は下端の閉止はないため、搬送台車に移送時は一時的に開放

* 大型作業容器内の構造物からの汚染拡大防止、及び原子炉内からの汚染拡大防止を図る

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【隔離機構に関する最適な技術の検討】

◆作業容器切り離し時の容器下面の閉じ込め方法の比較(一次評価結果)

No	項目	開閉方式		接合方式 隔離シート	トラップ方式 エアーカーテン	飛散防止方式 表面塗布
		ダブルドア	ダブルゲート			
1	概要	<ul style="list-style-type: none"> 容器側と接続先である原子炉ウエル側の両方に気密性の蓋を設け、相互の蓋を接触・密着させた状態のまま一体で旋回することで開閉する。 	<ul style="list-style-type: none"> 容器側と原子炉ウエル側の両方に気密性のゲートを設け、相互のゲートを接触・密着させた状態のままスライドして開閉する。 	<ul style="list-style-type: none"> 容器側と原子炉ウエル側を連結した円筒状のシート類において、中央部を絞り込み接合・切断する。 	<ul style="list-style-type: none"> 容器側と原子炉ウエル側の両方に空気の吹出口と吸込口を相対させてエアーカーテンを形成し切り離す。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造物表面の汚染源を塗料等により固めて剥離、飛散を防止 
2	閉じ込め性 ・気相(粒子)	○ ・気相(粒子)の閉じ込めは可能	× ・ゲート開時の側面からの汚染物質のリーク	○ ・気相(粒子)の閉じ込めは可能	× ・気相(粒子)を完全に閉じ込めることは困難 ・JPDR解体実地試験(実績)ではエアーカーテン内外の空气中濃度比約1/30*1)	× ・炉内構造物の内面、隙間を確実に塗布することは困難
3	閉じ込め性 ・液相(水滴した)	○ ・容器側の蓋で受けは可能	○ ・容器側ゲートで受けは可能	○ ・容器側の下面シートで受けは可能	× ・水滴の受けは困難	× ・表面の水滴への対処に課題あり
4	取り扱い時の 干渉有無	× ・開動作時に、原子炉ウエルと干渉	○ ・連絡通路下面に空間確保	○ ・連絡通路下面に空間確保	○ ・連絡通路下面に空間確保	— (開閉不要)
5	寸法の異なる 作業容器の切り 替え可否	× ・相互の蓋は同一寸法、形状を合わせる必要あり。 ・原子炉ウエル側蓋を含めた全取り換えが必要	× ・相互のゲートは同一径で合わせる必要あり。 ・原子炉ウエル側ゲートを含めた全取り換えが必要	○ ・径の異なるシートを積層して対応(次紙に一例)	○ ・容器側の寸法に合わせて吹出口/吸込口を配置	— (開閉不要)
6	結論	×	×	○	×	×

注記*1) 出典: 日本原子力学会誌Vol. 38, No.7(1996)「JPDR解体実地試験の概要と成果」

一次評価として隔離シートを選定した。評価軸を更に追加(耐久性、保守性等)して検討中。

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【隔離機構に関する最適な技術の検討】

◆作業容器切り離し時の容器下面の閉じ込め方法(隔離シートに関する補足説明)

- ①異なる作業容器寸法に適用できる柔軟性の高い閉じ込め方法
- ②連絡通路(一次バウンダリ)内で使用するもので、簡易的な方法(シート状等)の適用可能性がある。

→ シート状の材料を利用した閉じ込め方法(隔離シート)の開発

過去の補助事業成果

2014年度補助事業*

汚染構造物を包み込む隔離シートの要素試験
(素材の検討、大型シートの製作性等)



ポリウレタンシートによる単純円筒



複合シート(試作1)による単純円筒



複合シート(試作1)による蛇腹シート

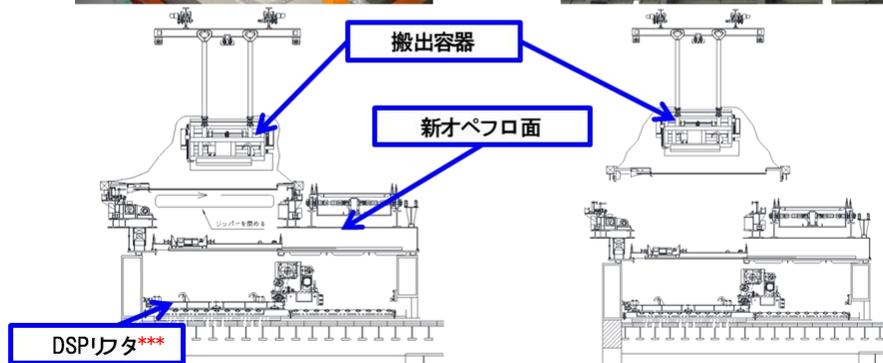


2015-2016年度補助事業**

作業ステップ単位での1/4スケールモデル試験
(汚染拡大防止シートの適用)



ジッパー閉止部



汚染拡大防止用シートによる搬出イメージ

ジッパー閉止切り離し状態イメージ

***DSP: 機器貯蔵プール

成果の
応用

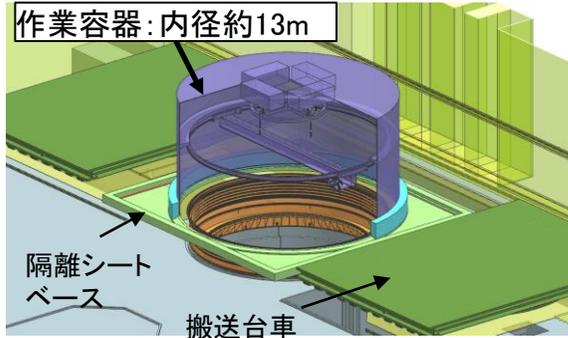
作業容器と
組み合わせを考慮し
た隔離シート
の開発

6. 本事業の実施内容

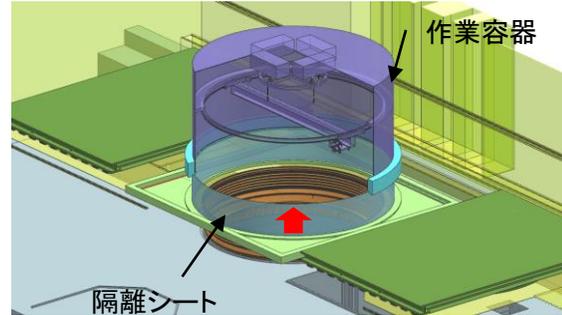
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

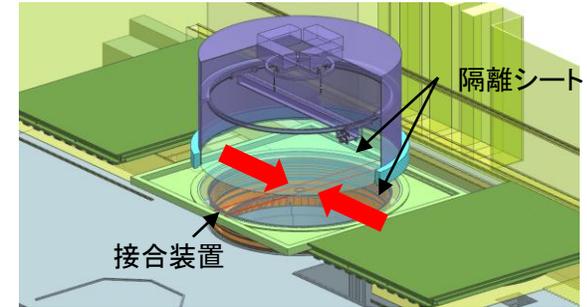
◆ 隔離シートによる閉じ込め手順の検討



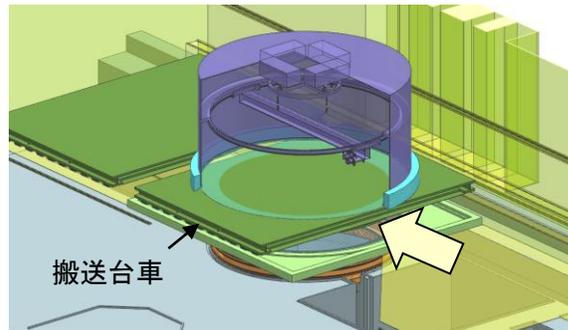
① 作業容器使用時



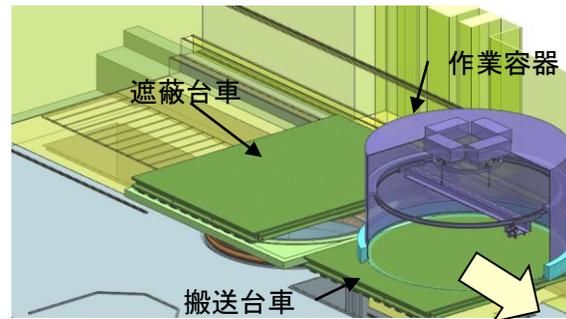
② 作業容器持ち上げ



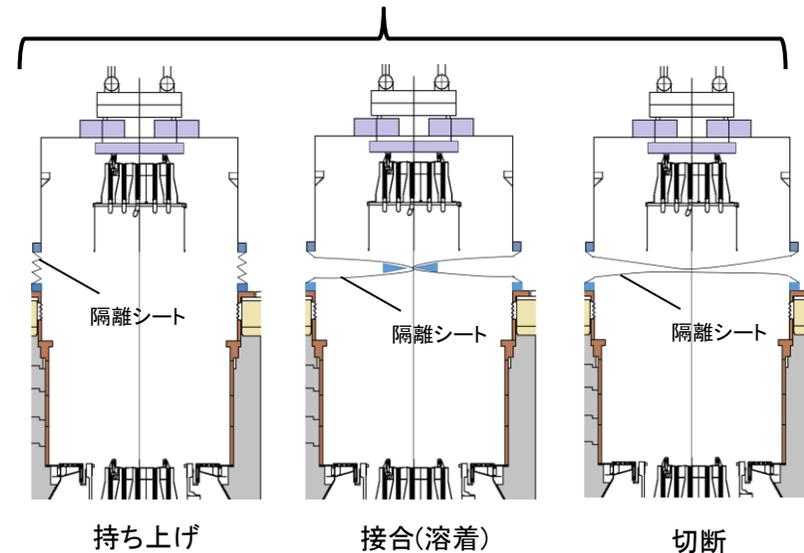
③ 隔離シート絞り込み・接合(溶着)・切断/作業容器移動



④ 搬送台車移動



⑤ 作業容器搬出



※ 構造物の大型搬出容器への収納手順や隔離シートの交換方法等も含め、上記手順の具体化を実施中。

内径約13mの作業容器下面を隔離シートで閉じ込め

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆作業容器概要

工法PJ（燃料デブリの取り出し工法の開発PJ）で検討中の作業容器を以下に示す。

作業容器は重量低減のため、作業区分に応じて寸法の異なる容器を使い分けることを検討中である。

表 作業内容に応じた作業容器の要求機能

要求機能	切断時	搬出時
作業	切断作業用の大型の解体装置を搭載可能	構造物を作業容器内に収納可能な揚重機を搭載可能
遮蔽	切断作業中の炉内からの線量の遮蔽が可能	作業容器に収納した構造物の遮蔽が可能



作業容器を共通化しようとする、大型で非常に重くなってしまうため、作業区分に応じて作業容器を使い分ける。

	切断作業用作業容器	構造物搬出用作業容器
作業容器 設置イメージ		
備考	切断作業用の大型装置を搭載可能であり、切断作業時の炉内からの線量の遮蔽が可能。	構造物を作業容器内に収納可能な揚重機を搭載可能であり、作業容器に収納した構造物の遮蔽が可能。

【注記】
 色で以下の汚染レベルを表記*
 R(赤色):レッド(高汚染)区域
 Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
 G(緑色):グリーン(低汚染)区域
 *主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、レッド区域は赤枠で囲って示す。

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆作業容器使い分けの例

【注記】
作業容器内はレッド(高汚染)区域となるため、赤色で表記する。
(本頁は作業容器に関する説明がメインのため、見やすさを考慮し、作業容器以外の汚染区域についての表記は省略する)

炉内構造物あるいは炉底部を吊り上げる際は、遮蔽の合理化、揚重機の揚程を考慮し、作業容器をRPVのフランジ面上に設置する。

構造物	原子炉ウエル内	炉内構造物	炉底部
作業容器設置位置	オペフロ上	RPVフランジ面上	RPVフランジ面上
作業容器設置イメージ			
備考	PCVヘッド、RPVヘッド保温材、RPVヘッド撤去時に使用	炉心部の撤去時に使用	炉底部重量約250ton、揚程20m以上のため炉底部用作業容器は揚重機大型化

表 構造物に応じた作業容器の使い分け(現状案※)

構造物	作業容器設置位置	切断時	搬出時
原子炉ウエル内	オペフロ上	作業容器A	作業容器B
炉内構造物	RPVフランジ面上	作業容器C	作業容器D
炉底部			作業容器E

※作業容器の使い分けについては、一連の作業ステップ検討後、合理化して個数を減らすことが可能かを再度検討。

左表中の作業容器A～Eは寸法、遮蔽厚等が異なるものを想定。(詳細検討中)

6. 本事業の実施内容

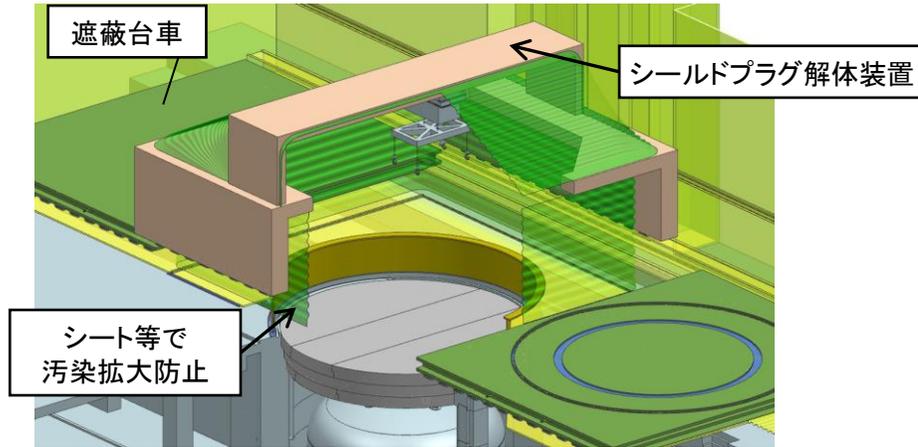
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

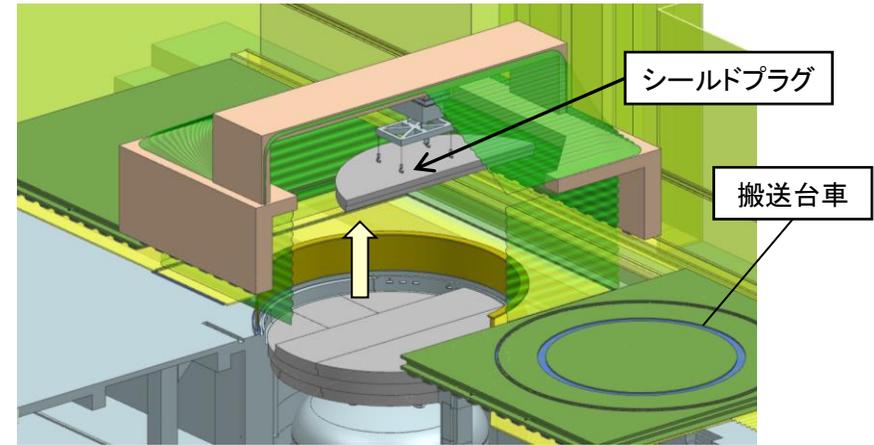
◆シールドプラグ取り出し

工法PJで検討中のシールドプラグ取り出しステップ案を以下に示す。

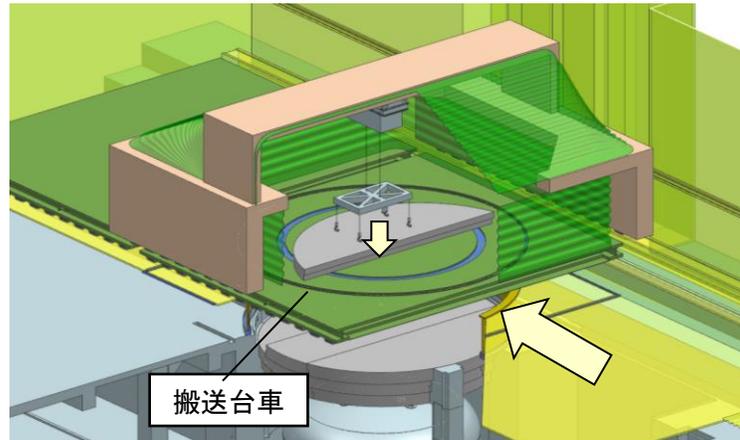
1. シールドプラグ解体装置搬入



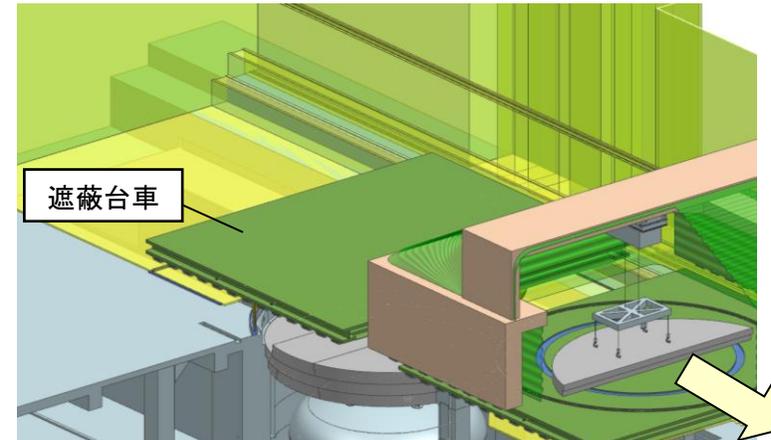
2. シールドプラグ吊り上げ



3. 搬送台車がプラグ下方に移動し、プラグを積載



4. シールドプラグ解体装置と搬送台車・遮蔽台車を一体で移動

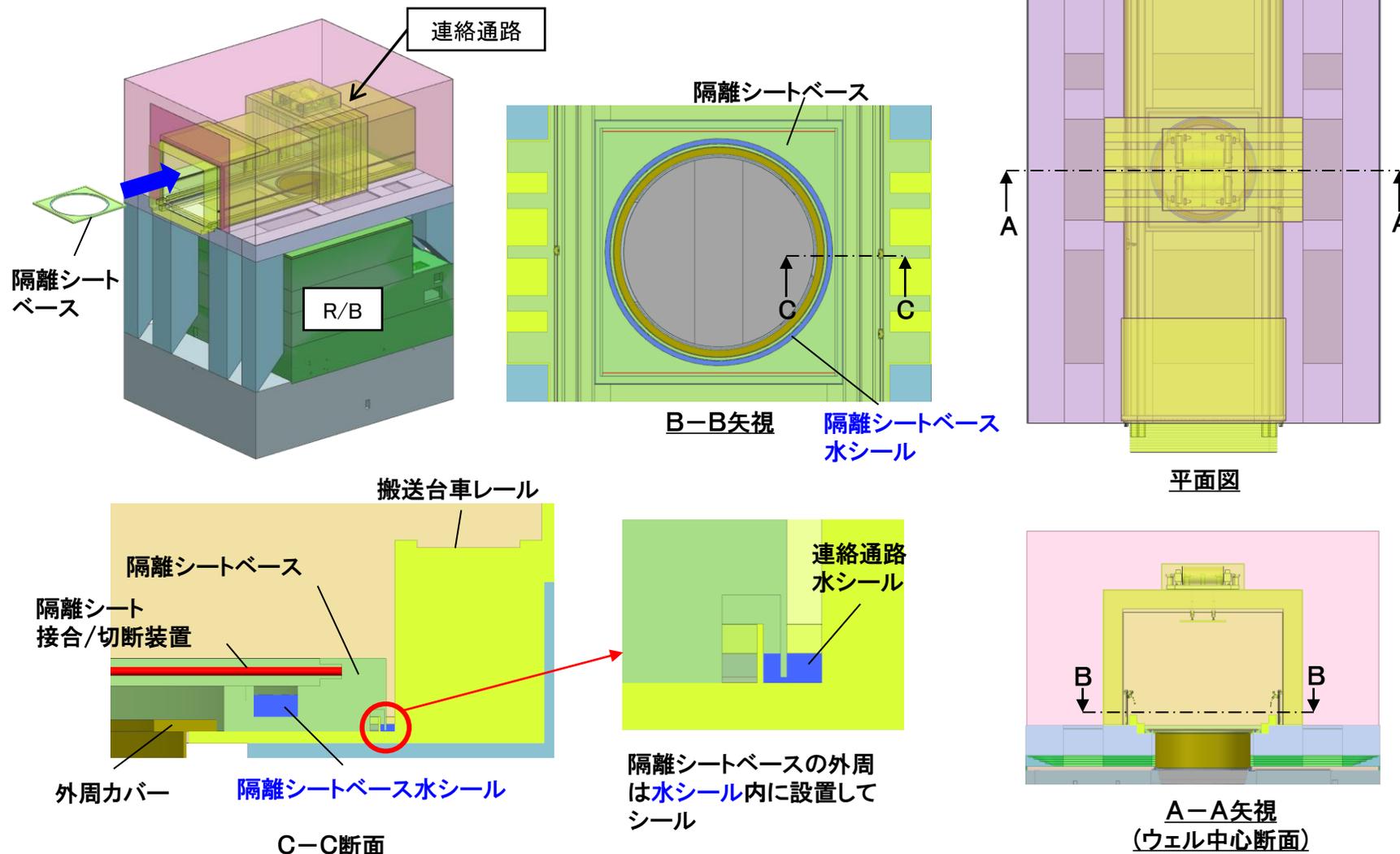


1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆ 隔離シートベースの設置作業概略

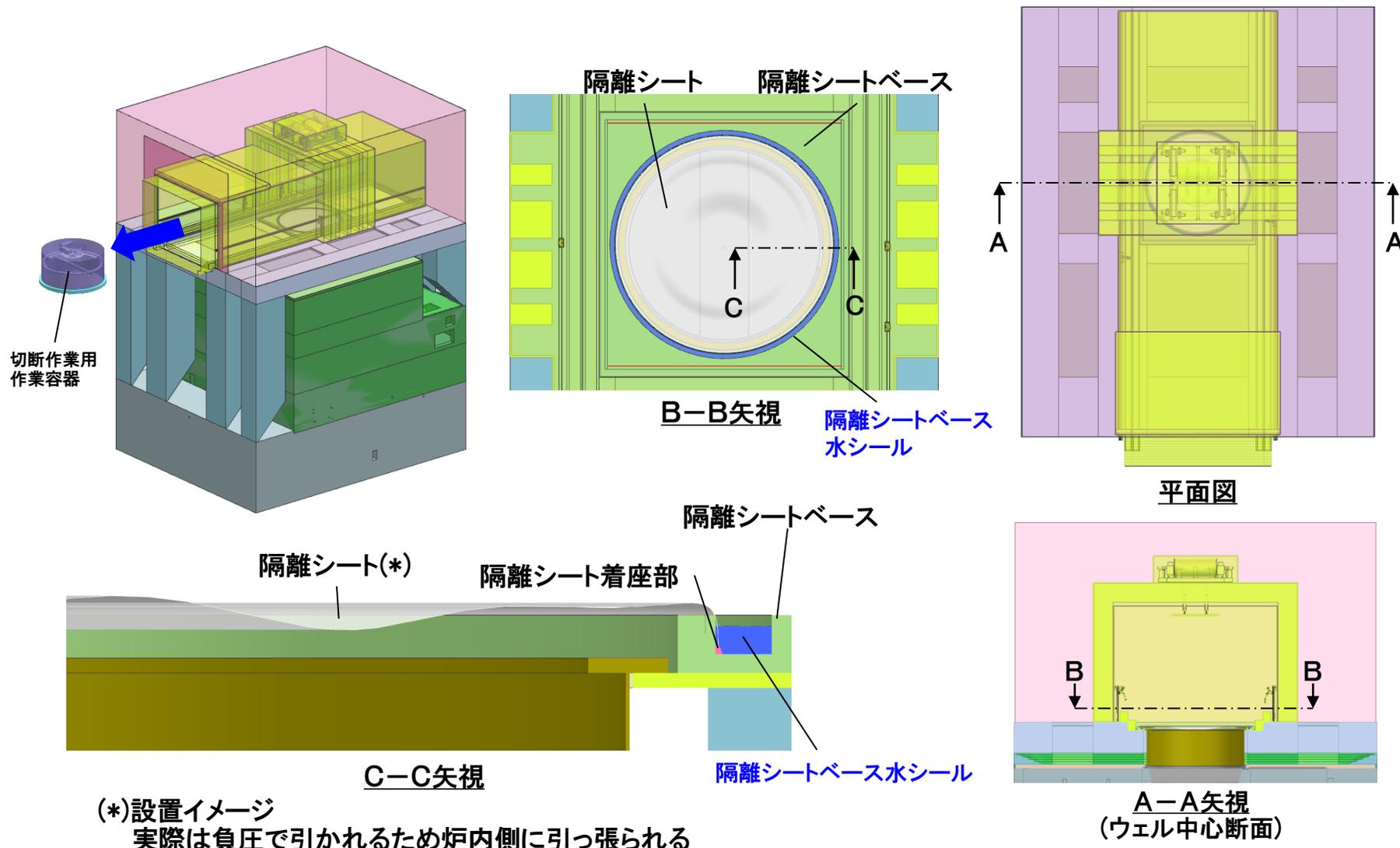
シールドプラグ撤去後、隔離シートを取り付けるためのベースを設置する。



1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆ 隔離シート設置イメージ



6. 本事業の実施内容

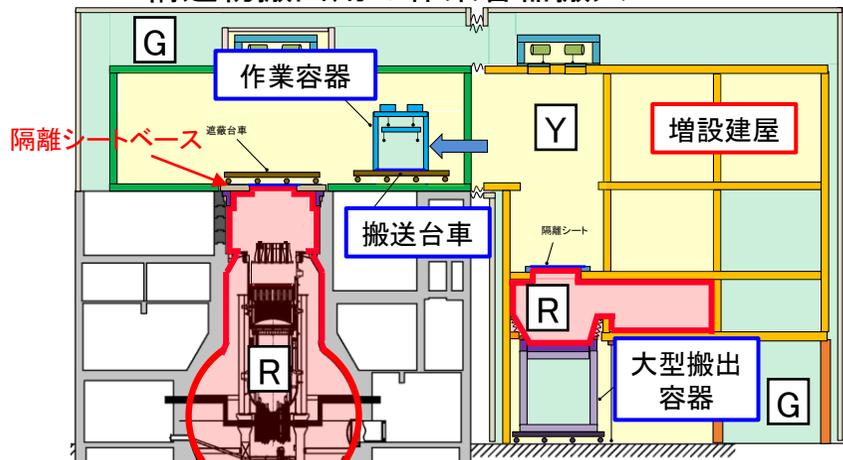
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

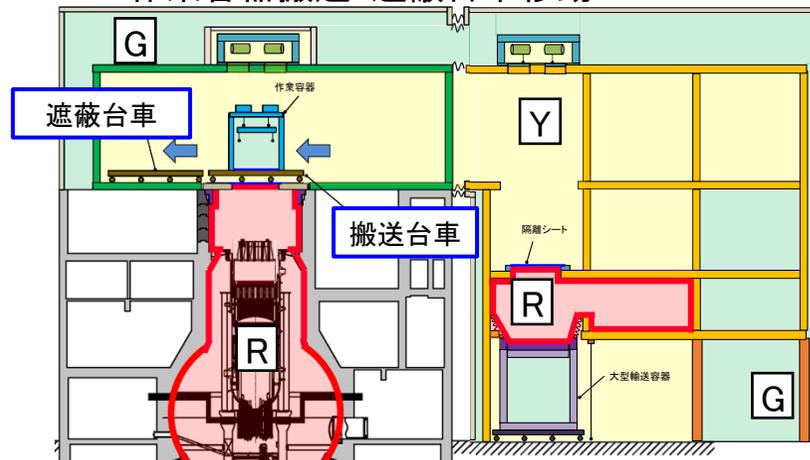
◆ドライヤ取り出し作業ステップ(1/3) ※前提: 切断作業用作業容器、解体装置にて切断作業は完了済み
ドライヤ取り出し(搬出)作業ステップを例に、搬出手順と搬出作業に伴う汚染区域の変化を以下に示す。

【注記】
色で以下の汚染レベルを表記*
R(赤色): レッド(高汚染)区域
Y(黄色): イエロー(中汚染)区域
G(緑色): グリーン(低汚染)区域
*主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
レッド区域は赤枠で囲って示す。

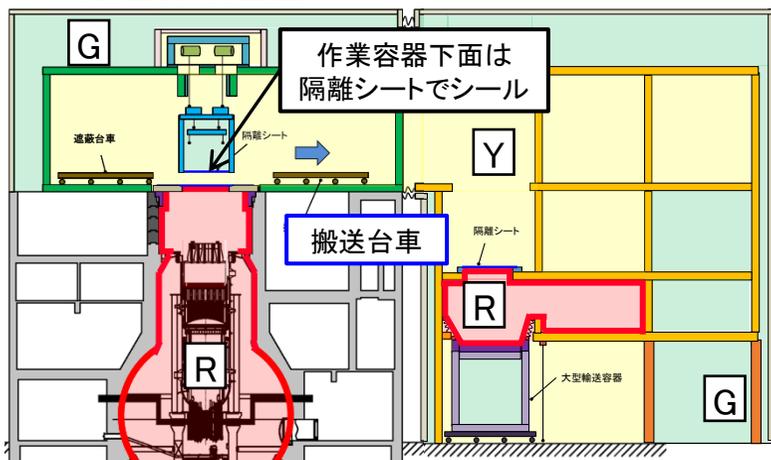
1. 構造物搬出用の作業容器搬入



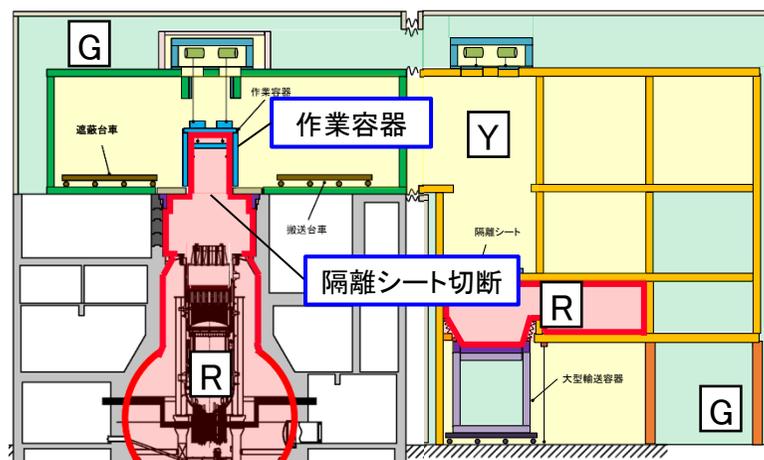
2. 作業容器搬送・遮蔽台車移動



3. 搬送台車退避



4. 作業容器吊り下げ・作業容器下面の隔離シート切断



6. 本事業の実施内容

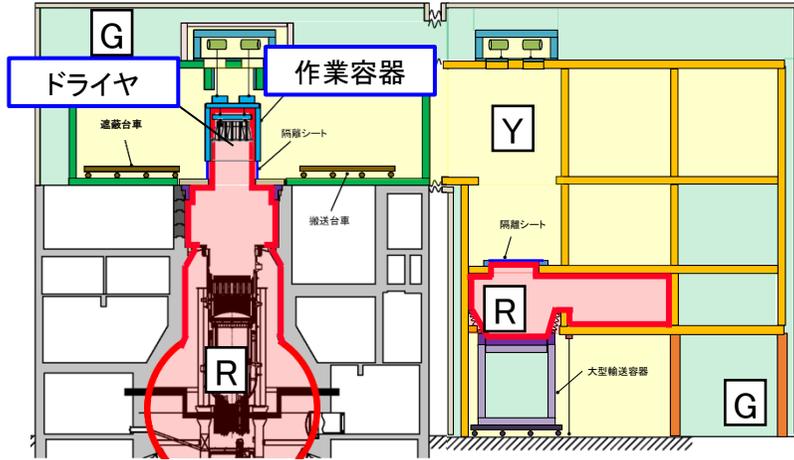
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

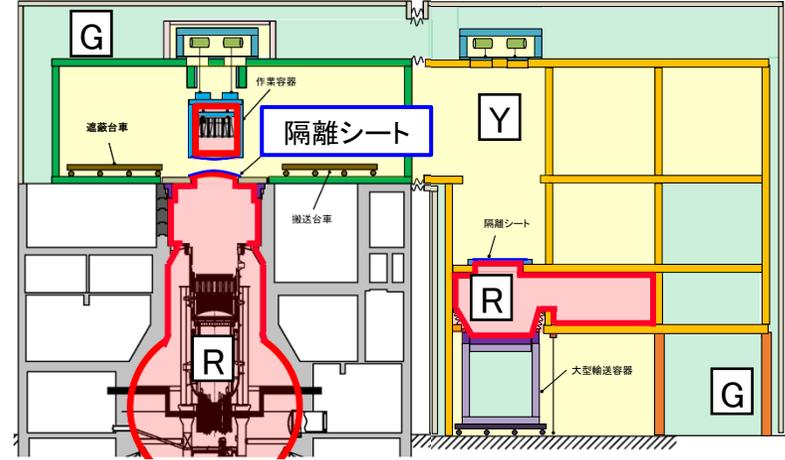
◆ドライヤ取り出し作業ステップ(2/3)

【注記】
 色で以下の汚染レベルを表記*
 R(赤色):レッド(高汚染)区域
 Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
 G(緑色):グリーン(低汚染)区域
 *主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
 レッド区域は赤枠で囲って示す。

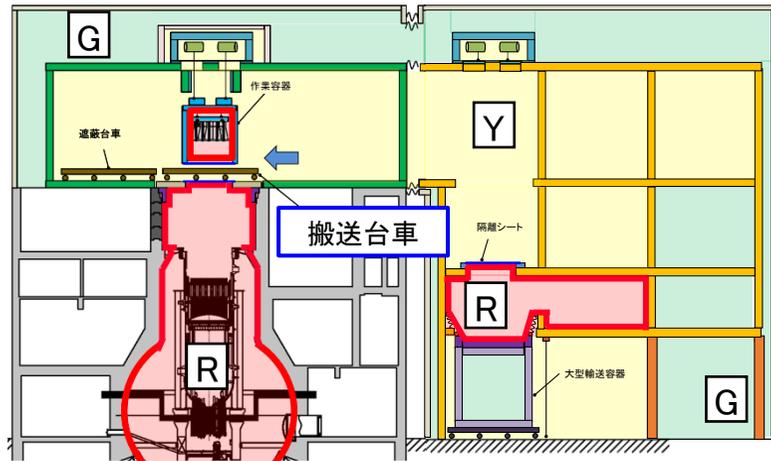
5. ドライヤ取り出し



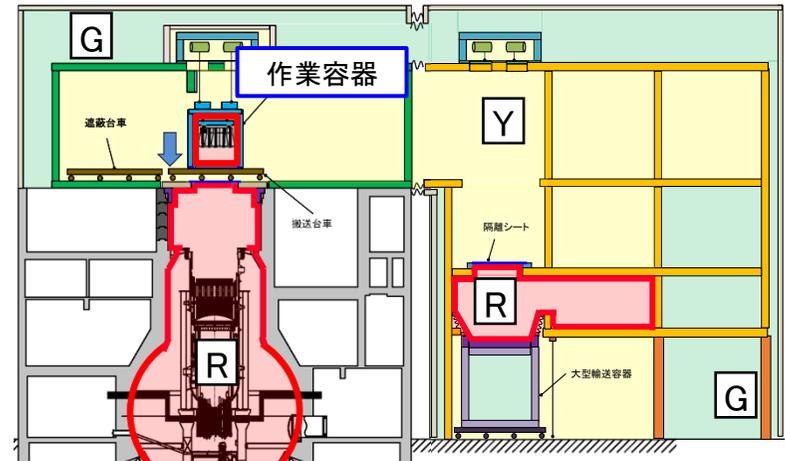
6. 隔離シート溶着・切断



7. 搬送台車移動



8. 作業容器吊り下げ、ドライヤ着座



6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆ドライヤ取り出し作業ステップ(3/3)

【注記】

色で以下の汚染レベルを表記*

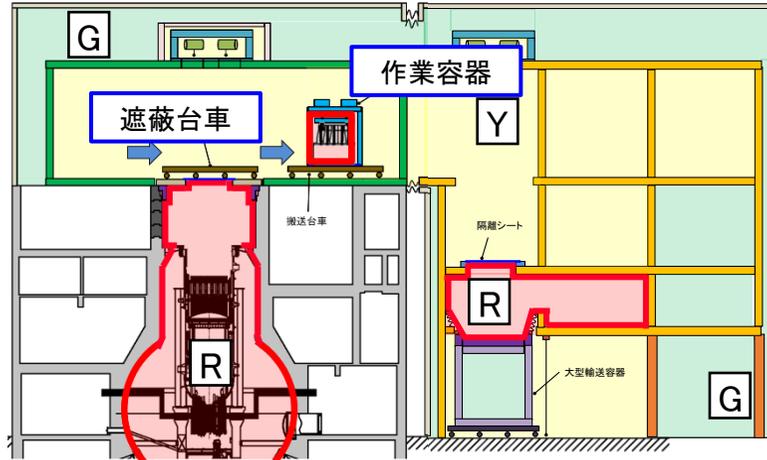
R(赤色):レッド(高汚染)区域

Y(黄色):イエロー(中汚染)区域

G(緑色):グリーン(低汚染)区域

*主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
レッド区域は赤枠で囲って示す。

9. 作業容器搬送・遮蔽台車移動



6. 本事業の実施内容

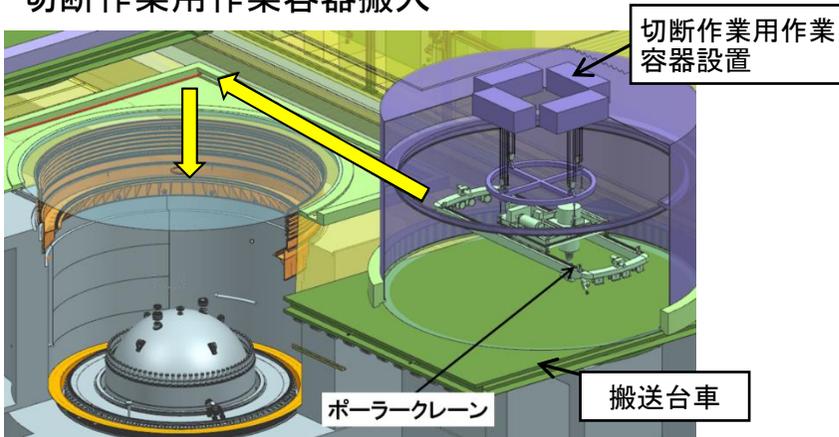
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

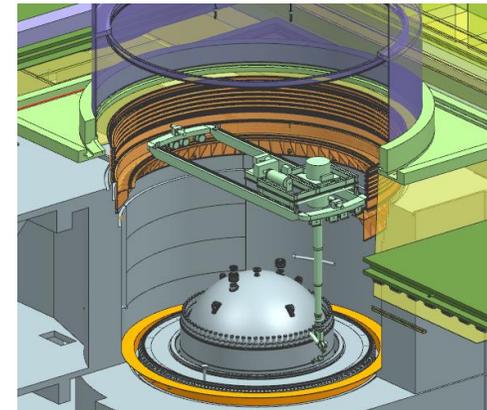
◆RPVヘッド取り出し作業概要

工法PJで検討中の作業容器で遮蔽、気密を確保しながらRPVヘッドを搬出するイメージを以下に示す。

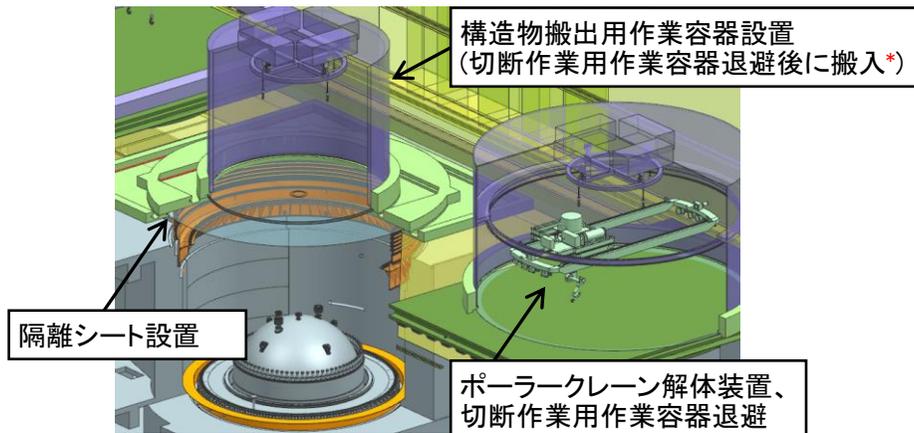
1. 切断作業用作業容器搬入



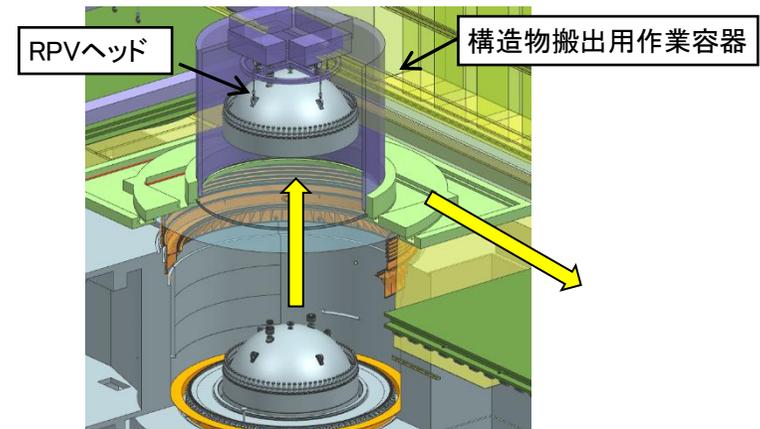
2. RPVヘッドボルト切断



3. 切断作業用作業容器退避、構造物搬出用作業容器搬入*



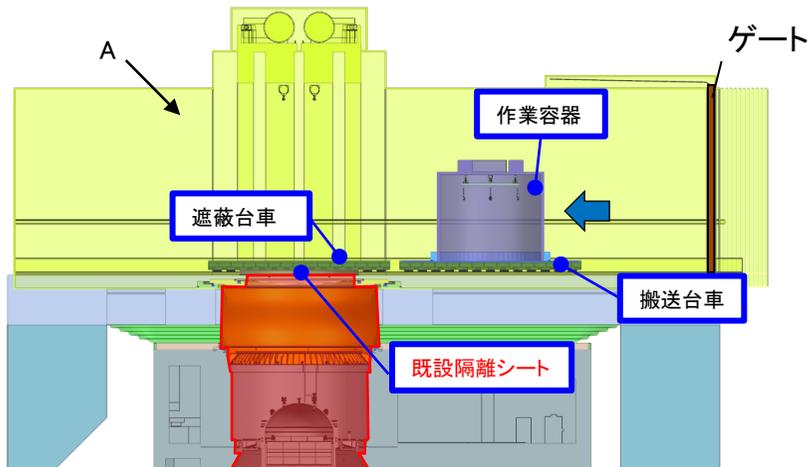
4. RPVヘッド搬出



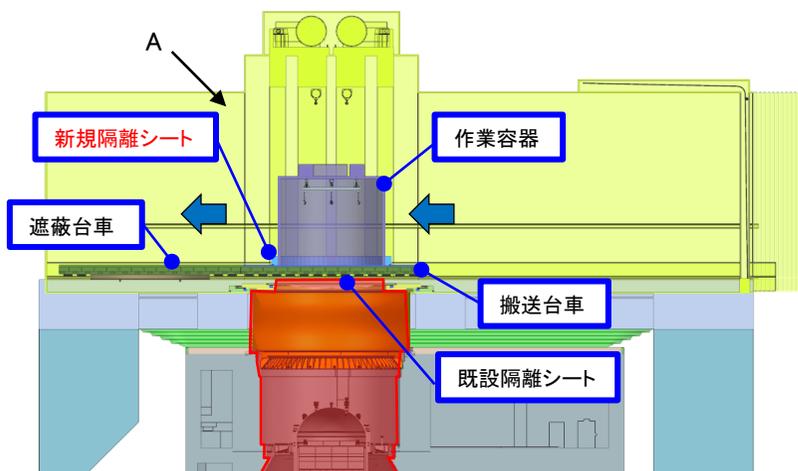
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

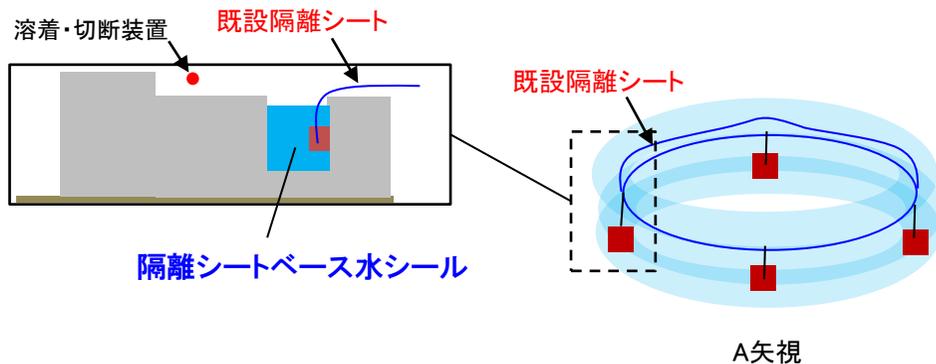
◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(1/6) ※前提:RPVヘッドボルト切断作業完了、切断作業用作業容器退避済



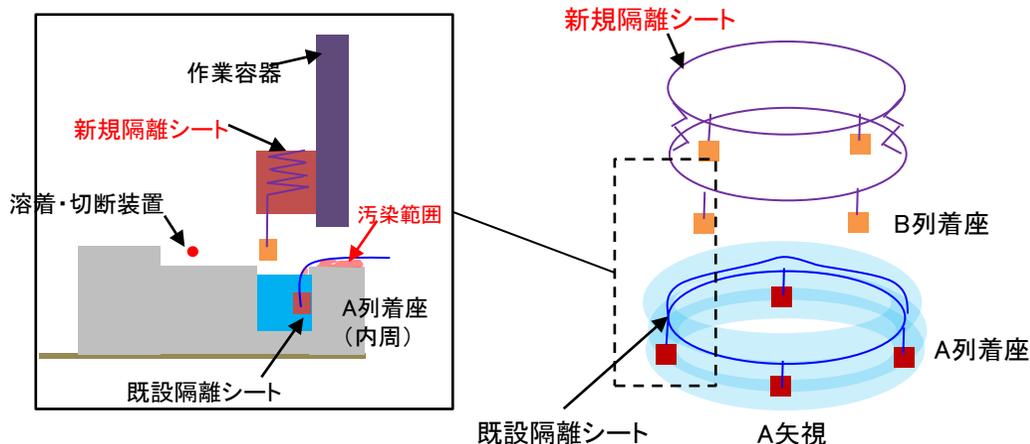
1. 構造物搬出用作業容器搬入



2. 作業容器搬送・遮蔽台車移動



ステップ1の隔離シートイメージ

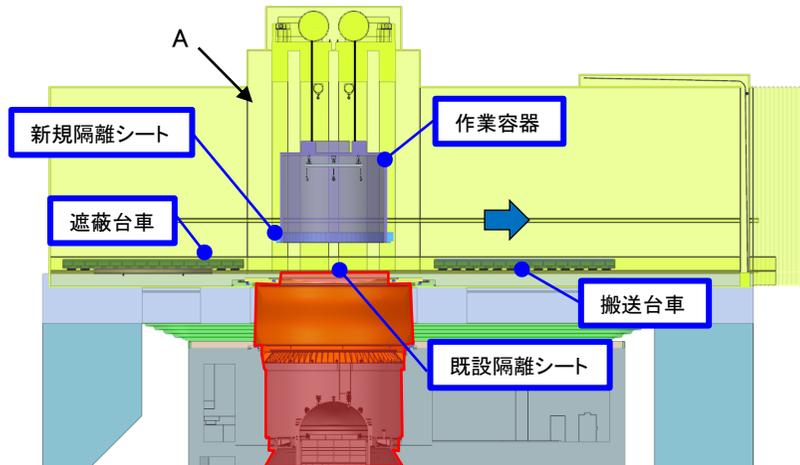


ステップ2の隔離シートイメージ

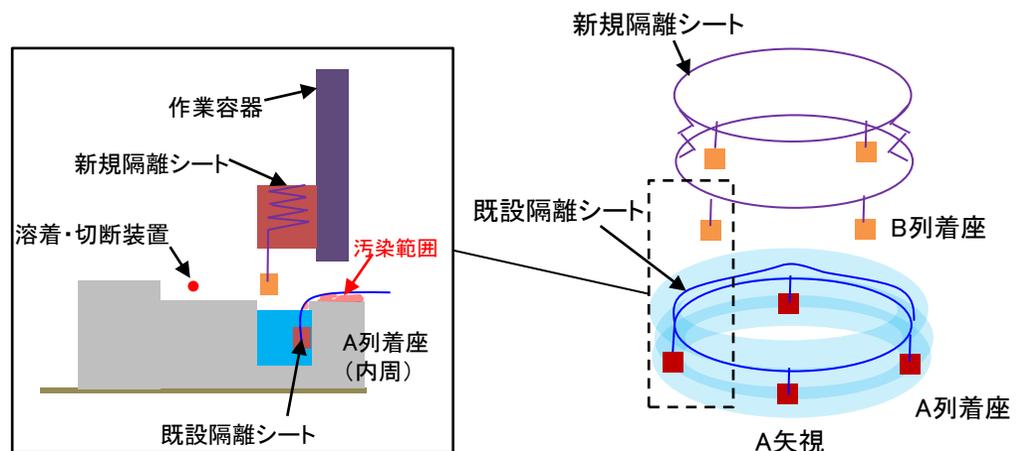
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

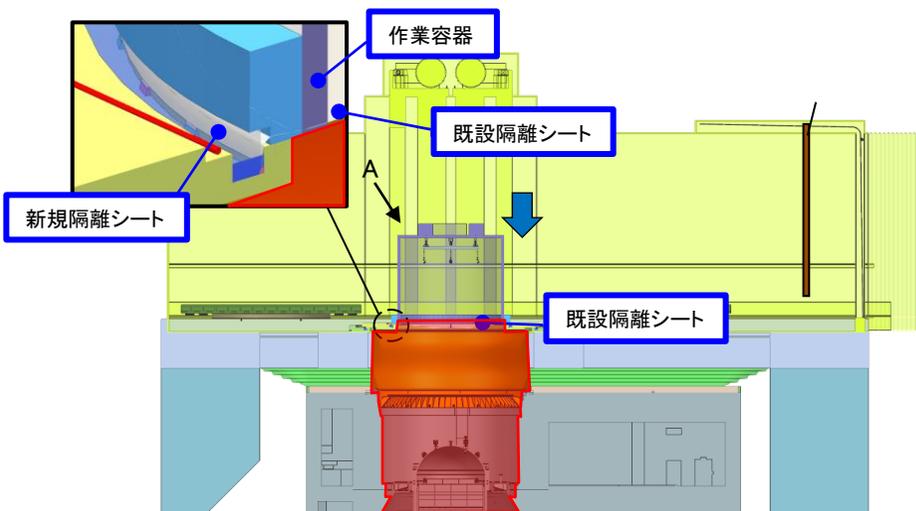
◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(2/6)



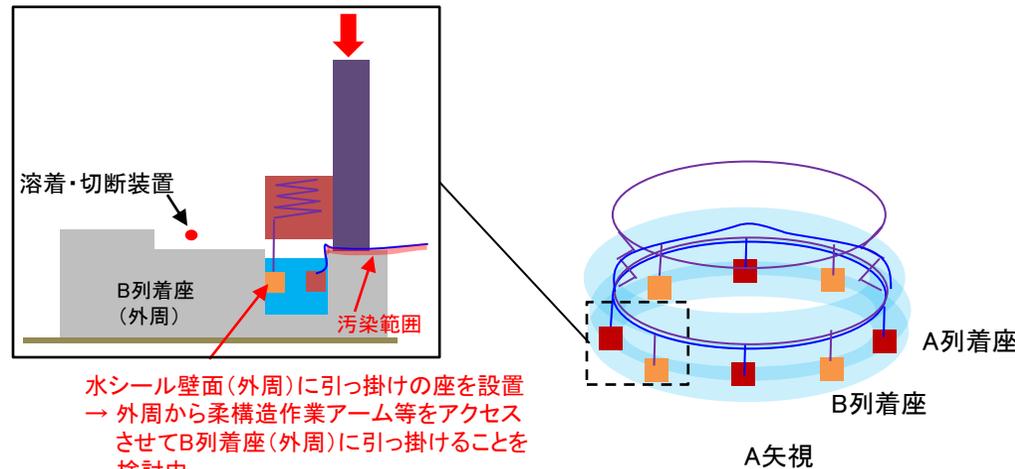
3. 搬送台車撤退



ステップ3の隔離シートイメージ



4. 作業容器吊り下げ・新規隔離シート設置



水シール壁面(外周)に引っ掛けの座を設置
→ 外周から柔構造作業アーム等をアクセス
させてB列着座(外周)に引っ掛けることを
検討中

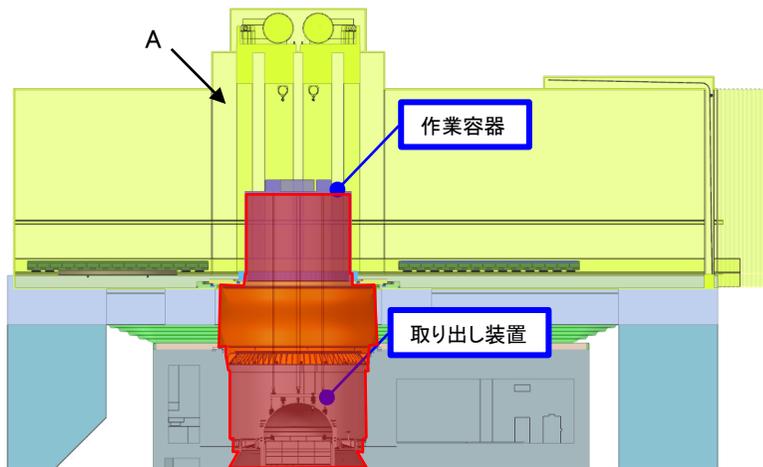
ステップ4の隔離シートイメージ

6. 本事業の実施内容

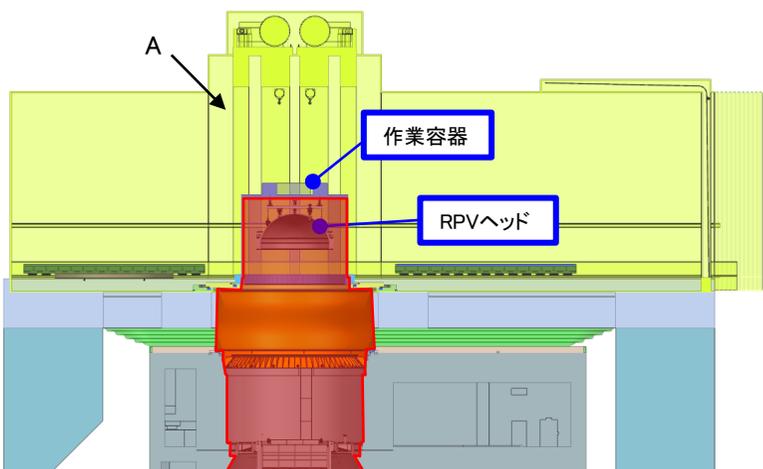
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

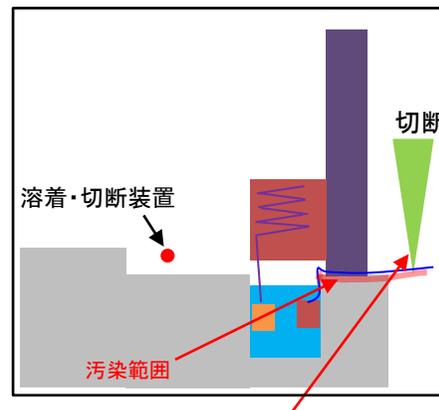
◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(3/6)



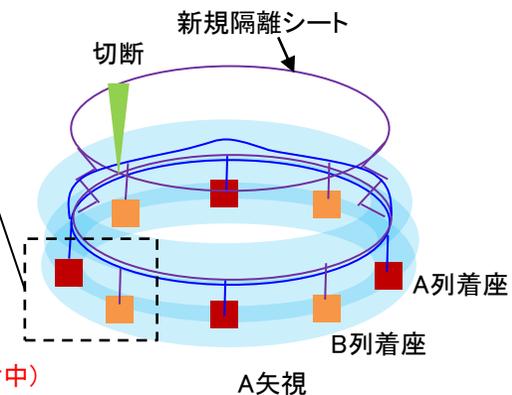
5. 既設隔離シート切断、取り出し装置吊り下げ



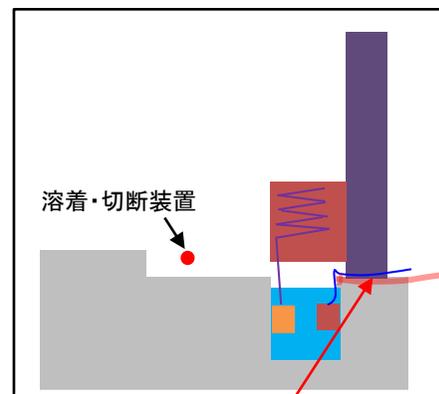
6. RPVヘッド取り出し



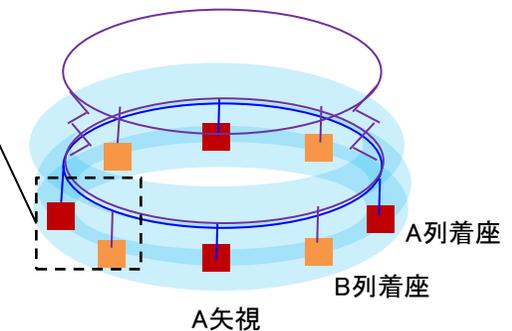
作業容器内側で切断(切断位置等検討中)



ステップ5の隔離シートイメージ



汚染範囲

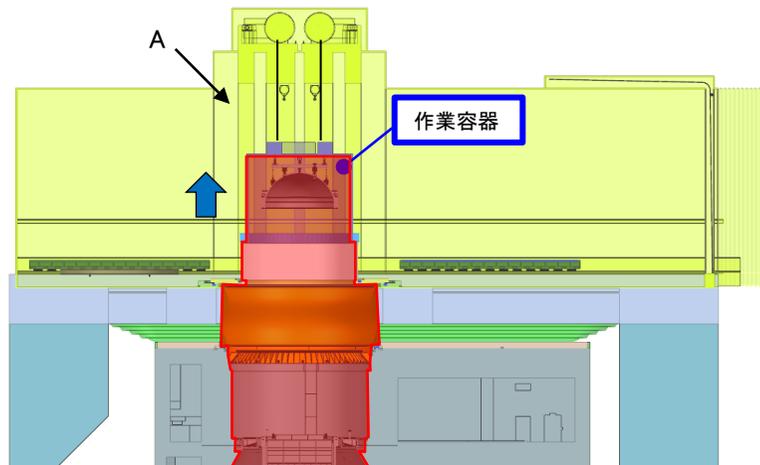


ステップ6の隔離シートイメージ

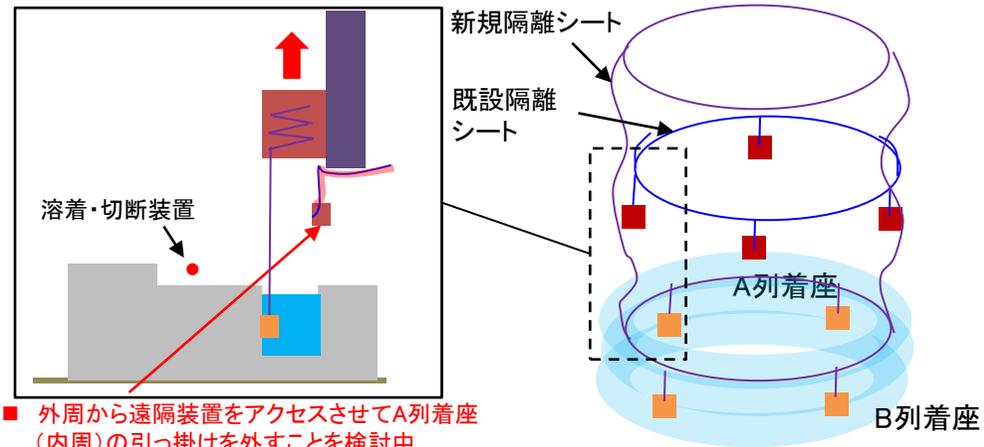
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(4/6)



7. 作業容器吊り上げ



- 外周から遠隔装置をアクセスさせてA列着座(内周)の引っ掛けを外すことを検討中
- 新規隔離シートの内側にA列着座部を引き込み回収

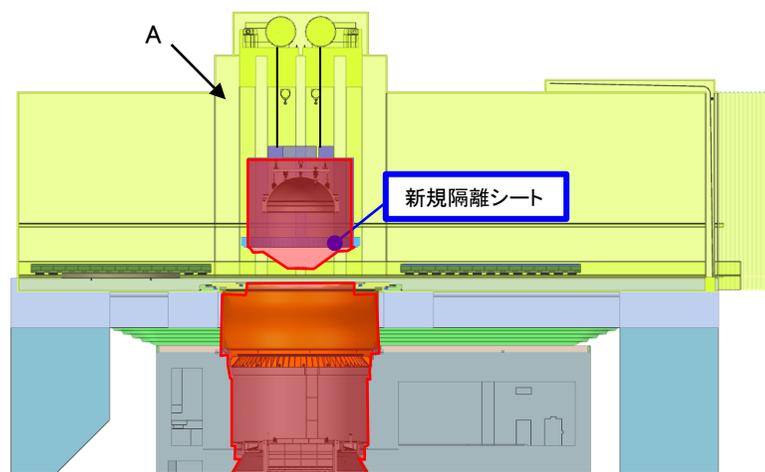
ステップ7の隔離シートイメージ

6. 本事業の実施内容

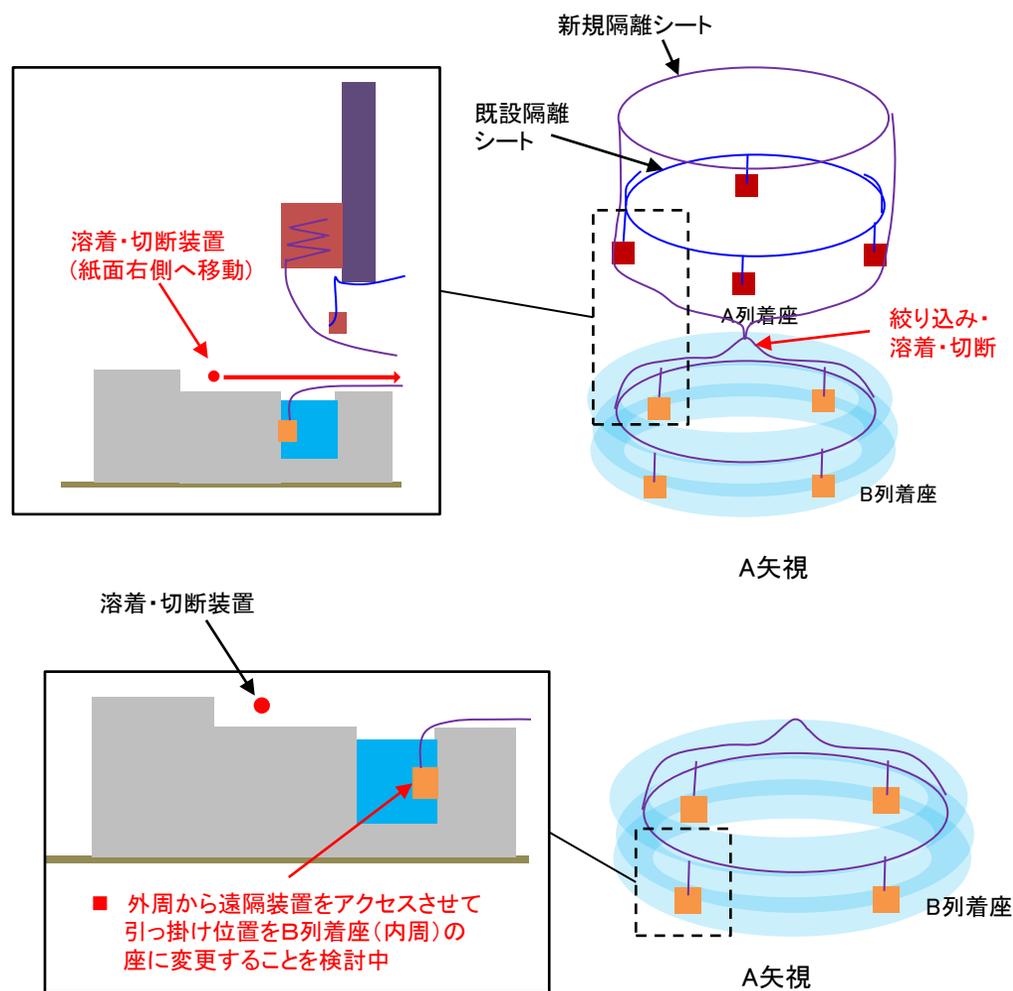
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(5/6)



8. 新規隔離シート絞り込み・溶着・切断



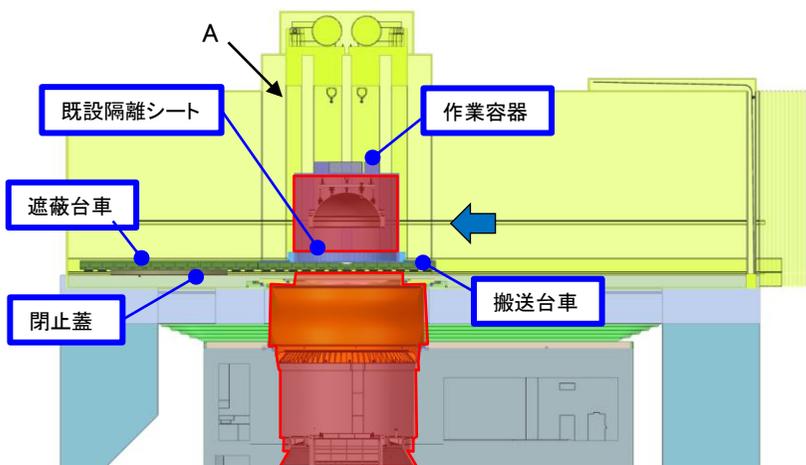
ステップ8の隔離シートイメージ

6. 本事業の実施内容

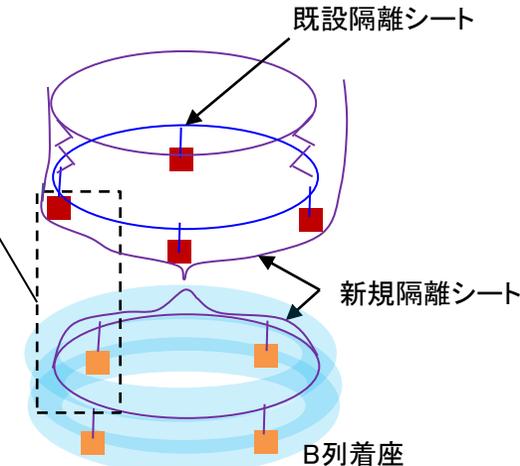
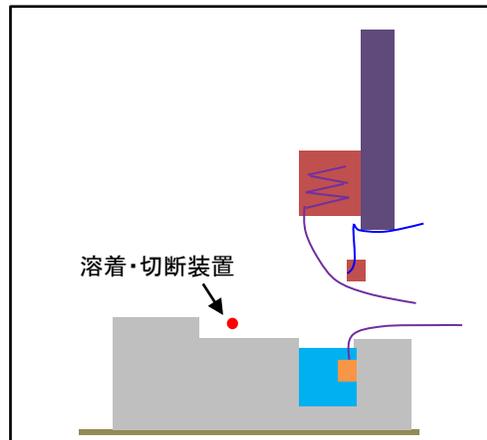
1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆RPVヘッド取り出し作業ステップ(6/6)

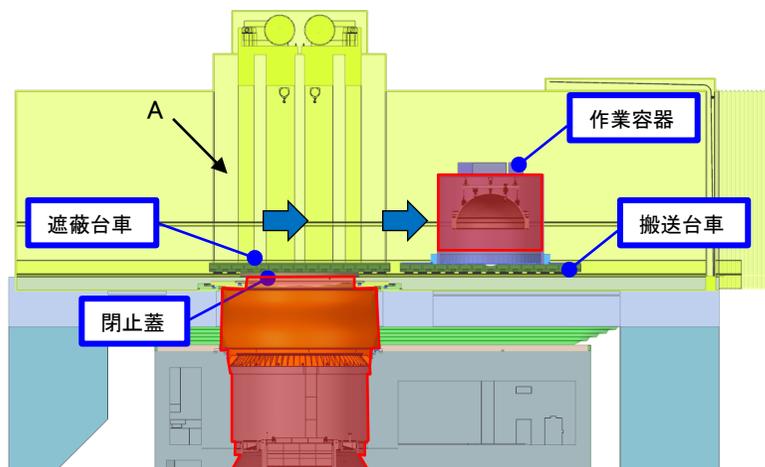


9. 搬送台車移動、作業容器吊り下げ

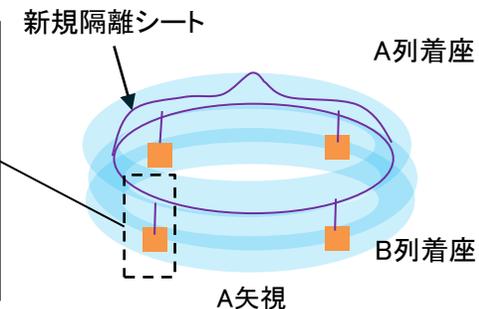
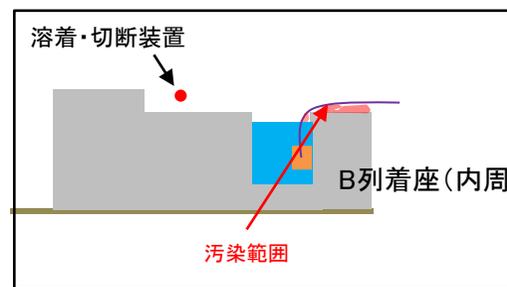


A矢視

ステップ9の隔離シートイメージ



10. 作業容器搬送・遮蔽台車移動



A矢視

ステップ10の隔離シートイメージ

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

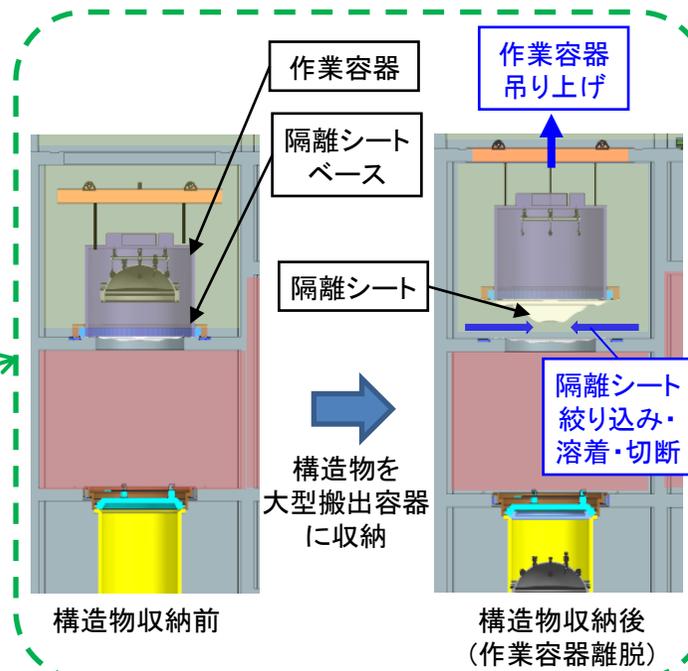
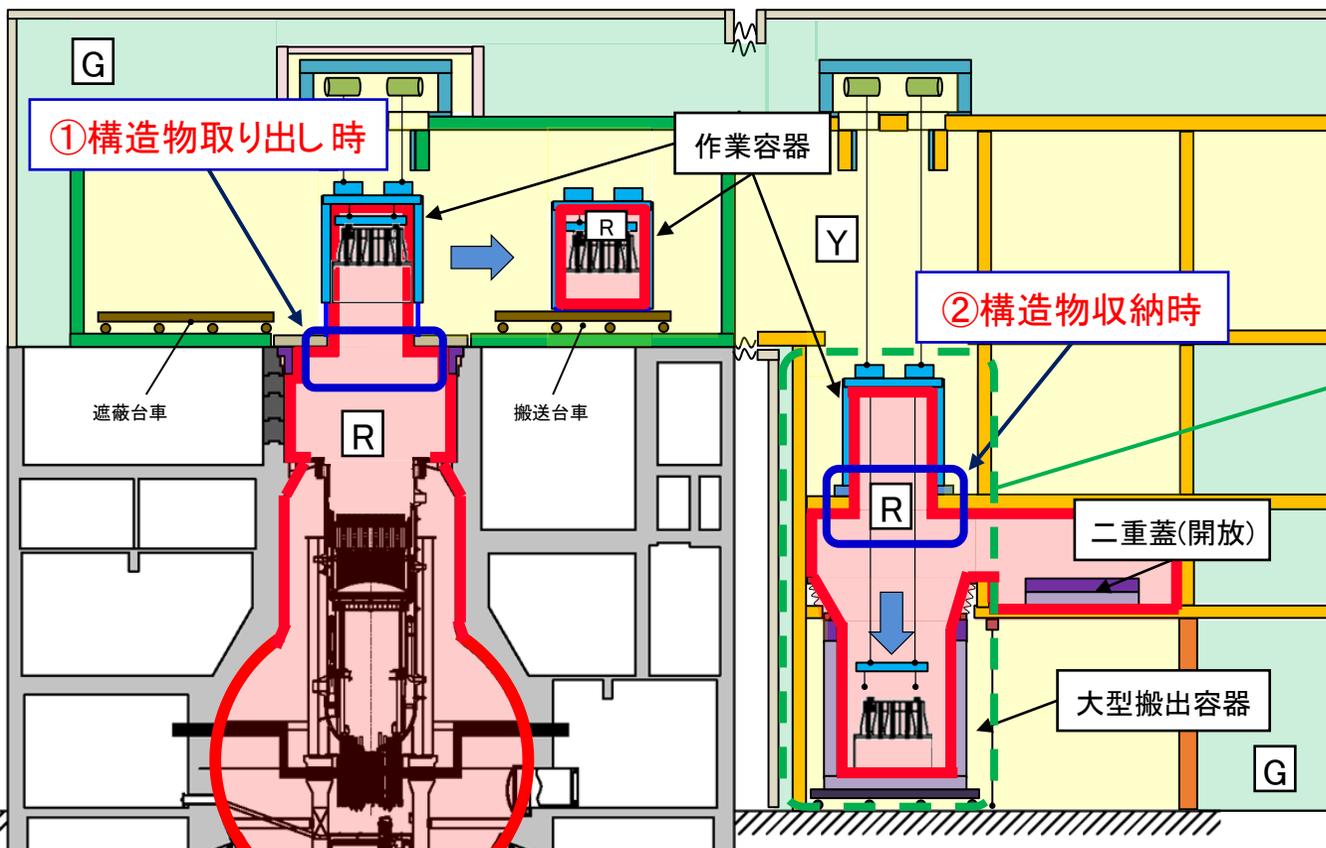
【大型構造物取り出し及び搬送時における汚染物の閉じ込め手順の検討】

◆ 構造物取り出し後の隔離シート(使用済隔離シート)の取り扱いに関する検討

隔離シートは主に下図①構造物取り出し時および②大型搬出容器への構造物収納時に用いる計画である。使用済の隔離シートの取り扱いについては検討中であるが、検討状況を以下に示す。

- ①構造物取り出し時: 切断した隔離シートは取り出し装置等を用いて構造物と共に作業容器へ搬入
- ②構造物収納時: 上記①の使用済隔離シート、収納時の隔離シート、構造物を全て大型搬出容器へ搬入
→ 増設建屋から搬出後、別建屋にて保管等のために大型搬出容器から構造物を取り出す際、隔離シートも取り出し、廃棄物として処理。

【注記】
色で以下の汚染レベルを表記*
R(赤色): レッド(高汚染)区域
Y(黄色): イエロー(中汚染)区域
G(緑色): グリーン(低汚染)区域
*主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記し、
レッド区域は赤枠で囲って示す。



構造物収納時の隔離シートイメージ
(注記)①構造物取り出し後、増設建屋にて作業容器外周に新規隔離シート(離脱用)を設置する。

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

【隔離シートに関する検討】

本事業において、以下の検討を実施中である。

① 隔離シート取り扱いステップの検討（全体ステップは工法PJで検討中）

→隔離シートに関する工法ステップを検討中。(No.21～37参照)

ステップを基にして隔離シートの要求仕様(強度、切断性等)を検討中。

② 隔離シート素材の調査および物性評価、隔離シートの検討

→No.21記載の通り、内径最大約13mの作業容器下面を閉じ込めることを検討中。

適用可能な素材を調査し、必要な物性を評価中。

強度向上のため、ナイロン等の繊維を入れることも検討中。

③ 溶着・切断方法の検討

→上記②と合わせて、隔離シートの溶着・切断方法について検討中。

④ スケールモデル等による評価

→上記①、②、③の検討結果を踏まえ、スケールモデル等を用いた要素試験により実現性を確認する。

(試験項目案を次頁に示す。)

⑤ 隔離シート遠隔取り扱い装置の検討

→実機において、隔離シートは遠隔で取り扱う必要がある。

上記③の検討結果を踏まえ、遠隔で取り扱う装置(遠隔で接合する等)を検討する。

6. 本事業の実施内容

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

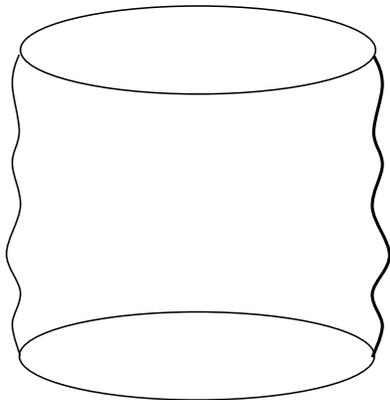
【模擬試験体による要素試験】

◆要素試験での確認項目(案)

No	項目	内容	備考(具体的な確認内容の案)
1	製作性	● 隔離シートを試作し、製作性を確認する。	・実機寸法での製作可否(一体もので大型のシートを製作困難な場合は、シート同士を接合して大型化する)等
2	収納性	● 隔離シートを設置する際に収納しやすい方法を検討し、試験にて確認する。	・シートが想定寸法内に折り畳めるか(折り畳み方法、シート接合面が折り畳めるか)等
3	気密性	● 隔離シートを収束させ(絞り込み)、溶着等により気密をとる方法を検討し、試験にて確認する。	・漏洩率等
4	切断性	● 隔離シートの切断性について確認する。	・遠隔を想定した切断方法、作業性の検討等

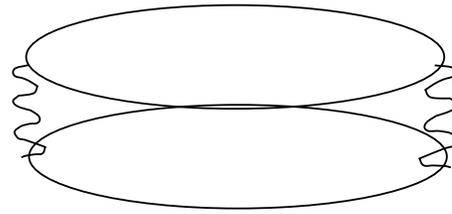
(備考)

- ・スケールモデル等により上記を確認する。確認項目(目標値・判定基準等)は今後、具体化する。
- ・本計画は設計進捗により変更となる可能性がある。



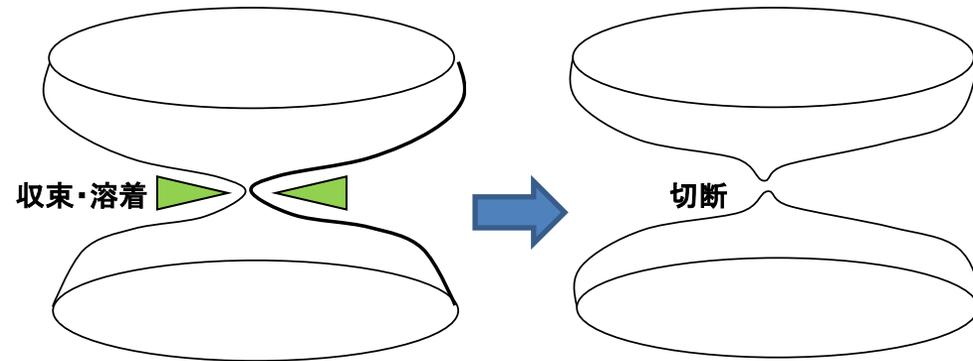
【製作性イメージ】

- ・接合(絞り込み余長含む)を考慮した寸法検討



【収納性イメージ】

- ・折り畳み方法、収納する場合の必要寸法検討



【気密性(収束・溶着)および切断性イメージ】

- ・収束・溶着および切断方法の検討

※寸法等は検討中。

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発

- 大型構造物取り出し時や搬送時における汚染物の閉じ込め(隔離機構)に関する技術を検討中。隔離機構として、開閉方式、接合方式、トラップ方式および飛散防止方式を検討・比較し、一次評価を行い、閉じ込め性や取り扱い性から接合方式(隔離シート)を選定した。
- 隔離シートによる閉じ込め手順を検討中。隔離シートの接合・切断方法、構造物の大型搬出容器への収納手順、隔離シートの交換方法等も含めて具体化中。
- 隔離シートの実現性を確認するための試験項目および試験内容を検討中。

8. 実施目的を達成するための具体的目標

1) 汚染拡大防止隔離技術の開発	作業により発生する汚染物質、その拡大する経路などを整理し、連絡通路に要求する汚染エリア区分が明確になっていること。汚染拡大防止のための隔離機構(装置、運用方法など)について、閉じ込め性、遠隔作業の確実性・容易性、頑強性・耐久性、点検・保守性などの観点で評価、選定され、要素試験により現場適用性が評価されていること。 (終了時目標TRL※:レベル3)
------------------	---

TRLレベル	説明	フェーズ
TRL7	実用化が完了している段階。	実運用
TRL6	現場での実証を行う段階。	フィールド実証
TRL5	実機ベースのプロト機を製作し、工場等で模擬環境下での実証を行う段階。	模擬実証
TRL4	開発、エンジニアリングのプロセスとして、試作レベルの機能試験を実施する段階。	実用化研究
TRL3	従来経験を活用、組み合わせによる開発、エンジニアリングを進めている段階。または、従来経験のほとんど無い領域で基礎データに基づき開発、エンジニアリングを進めている段階。	応用研究
TRL2	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。	応用研究
TRL1	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。	基礎研究