

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」

2022年度最終報告

2023年6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」の目的と目標
2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績
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
 - 1)横取り出し工法の開発
 - 2)上取り出し工法の開発
7. まとめ
8. 実施目的を達成する為の具体的目標と達成度評価

【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為、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)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、燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大における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。

「燃料デブリの取り出し工法の開発」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必要な機器・装置及びシステムに関わる技術やスループット確保の為の取り出し作業エリアの確保について、これまでに得られた研究開発成果に基づき、必要となる要素技術開発及び試験を実施する。

【開発全体の目標】

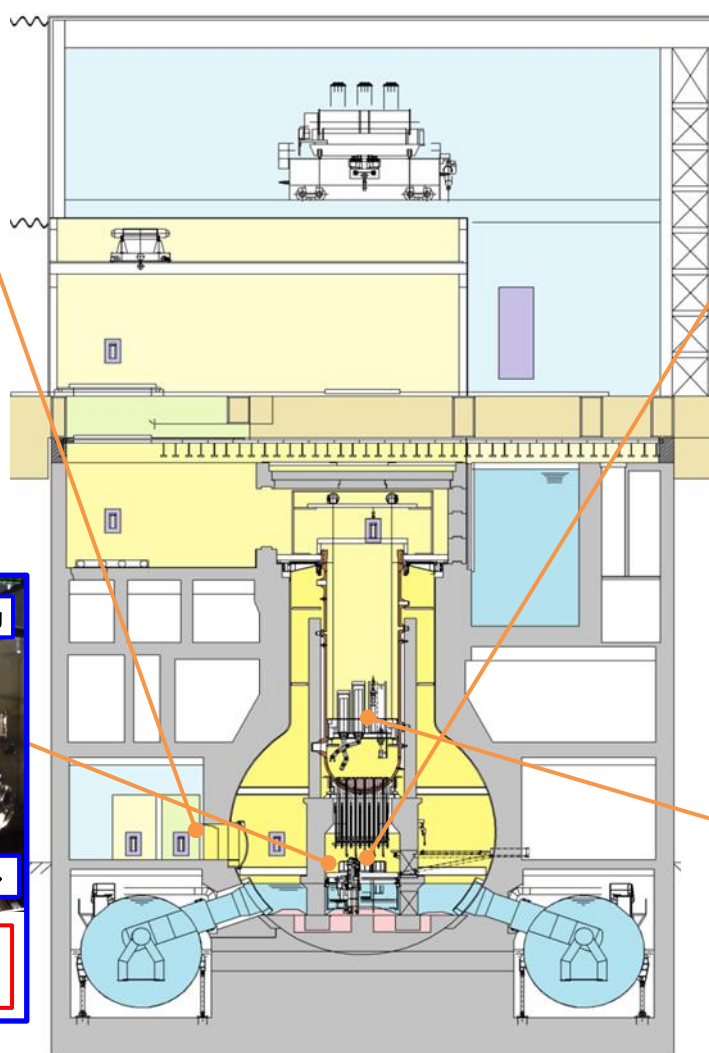
中長期ロードマップに基づき、燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大における作業を実現することを目標に検討を実施する。

【実施期間】2021年4月～2023年3月(2ヶ年)

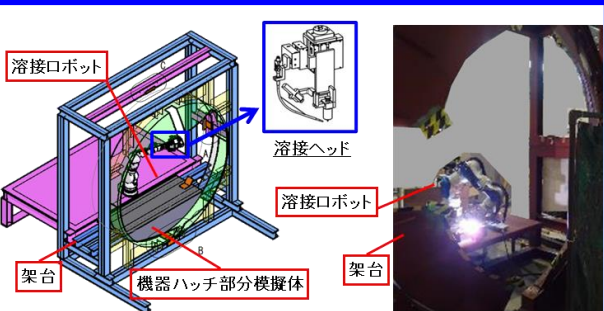
2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

本事業に係る燃料デブリ取り出し工法の実績を以下に整理した。

(1)～(5)について、次頁以降に詳細を示す。

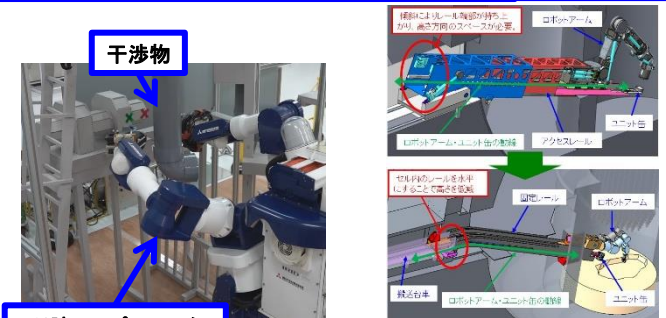


(2) アクセストンネル



実績: アクセストンネル設置(溶接)技術の開発

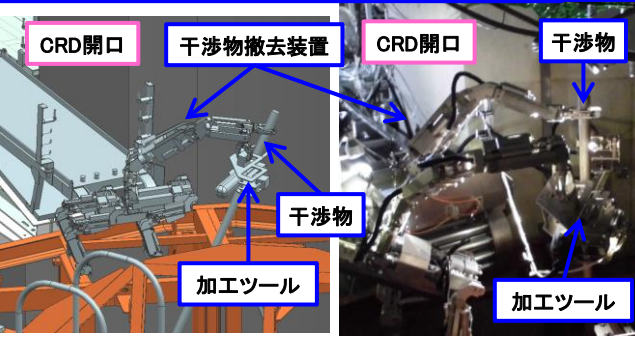
(1) セル設置に関わるアクセルート構築
(4) アクセス装置



実績: 遠隔操作支援手法の開発

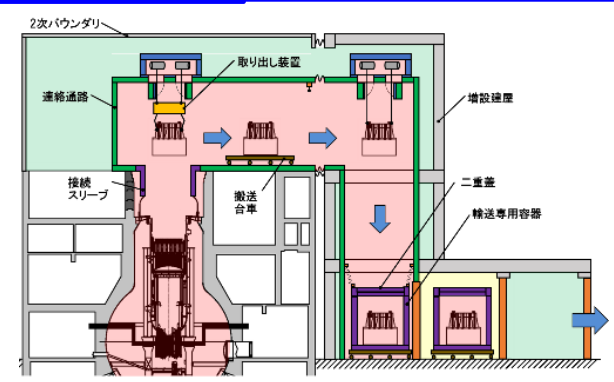
実績: セル設置に関わるアクセルート構築技術の開発

(3) アクセストンネルを用いる横アクセス工法



実績: 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(5) 上アクセス工法



実績: 干渉物および炉底部の撤去技術開発

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

No.4

(1)セル設置に関わるアクセスルート構築

【セル設置に関わるアクセスルート構築の概要】

- セルにてバウンダリを確保し、ロボットアームでPCV側面からアクセスすることにより、燃料デブリを回収する。
- ペDESTAL開口部へのアクセス性を考慮し、直線的な最短距離でのルートにてロボットアームを搬入して、燃料デブリにアクセスする。
- セルは重量物であり、R/B床面荷重の低減を図り設置する。

【2020年度までの実施内容】

①アクセス装置

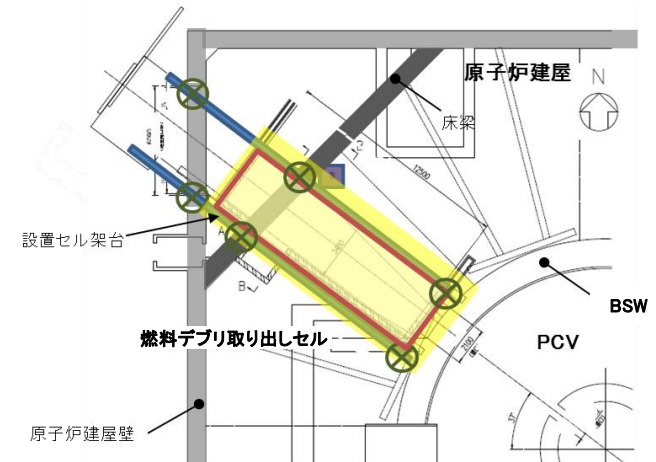
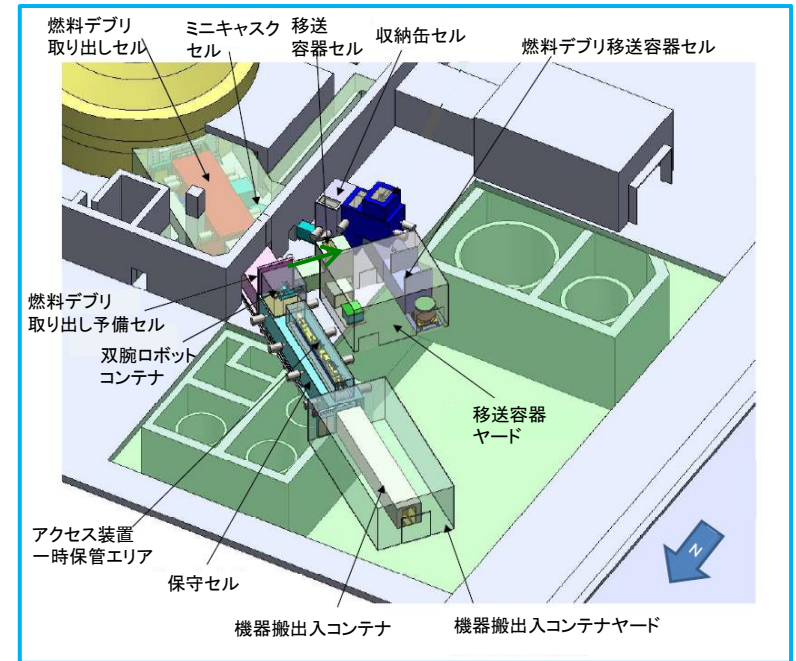
- アクセス装置は、アクセスレール方式から固定レール方式へ変更し、必要高さスペースの低減化等を図り、概念検討を完了した。

②セル(R/B内設置の燃料デブリ取り出しセル)

- 燃料デブリ取り出しセルの機能を明確にして、セル内機器を検討し、セル構造の具体化・小型化を図った。
- 遮蔽厚の合理化を行い、燃料デブリ取り出しセルを軽量化した。
- R/B内セル設置方法について、建屋の強度部材である壁及び床梁にセル設置架台を取付けてセル重量を支える方法を検討し、R/B各所の許容荷重の観点から設置可能であることを確認した。

③セル設置・据付方法の検討

- 準備工事からセル設置・据付までの成立性を見込みのあるステップ図を検討し、技術課題を抽出した。



2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

(1)セル設置に関わるアクセスルート構築

■ セル設置の課題：燃料デブリ取り出し2020年度最終成果報告資料※1から本事業に関わるものを抜粋

No.	課題	概要	本事業
1	遮蔽扉及びセル間の構造 詳細化	作業員の被ばく低減の為に効率的な据付方法の具体化の為に遮蔽扉の分割構造及びセル間の接続部構造などを詳細化を進める。	6.1)(1)①参照
2	セルアダプタ構造の具体化	遠隔操作作業によるセルアダプタ設置工法の為にセルアダプタの構造を具体化を行う。	6.1)(1)①参照
3	遮蔽扉及びセルアダプタの搬入・据付・設置工法の具体化	遮蔽扉、セルアダプタ及びセルの詳細化された構造を基に、搬入・据付・設置ステップの詳細化を図り、遠隔設置方法の要素試験を計画・実施し、実現性を確認する。	6.1)(1)①参照
4	セル設置・据付基準のマーキング手法の確立	ペDESTAL開口部やX-6ペネ等からセル設置・据付に必要な基準線を設定する為の事前計測およびマーキング手法を確立する。	6.1)(1)①参照

※1：「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開発」2020年度最終成果報告資料(2021年3月)

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

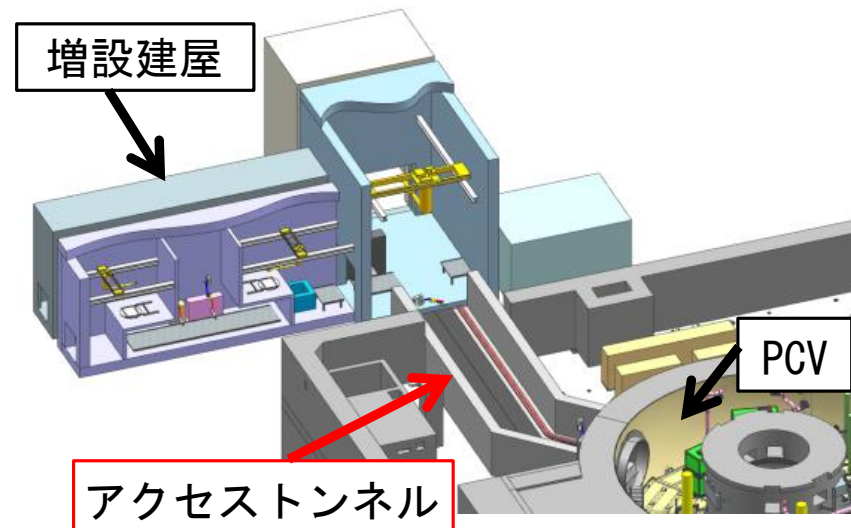
(2) アクセストンネル

【アクセストンネルの概要】

- R/B外の増設建屋とPCVを遮蔽機能を持ったアクセストンネルで接続し、搬出入ルートを構築する。
- 1階床荷重制限を守る為、アクセストンネルの荷重はR/B外壁とBSWで受ける。
- 作業員の被ばく低減の為、R/B外で組立を行い、遠隔で挿入して設定する。

【2020年度までの実施内容】

- 遠隔作業を考慮した機器ハッチ前遮蔽体取り外しからアクセストンネルのPCV接続までの作業手順を立案し、非遠隔作業について被ばく線量の試算を実施した。
- PCVとスリーブ、スリーブとアクセストンネルの取り合い構造を検討し、PCV(機器ハッチ)とスリーブの溶接接続に関する要素試験を実施し、ギャップ20mmの溶接においても溶接可能なことを確認した。



アクセストンネルの概要

条件出し試験	要素試験
<ul style="list-style-type: none">✓ 積層方法✓ 溶接姿勢✓ 溶接入熱✓ 溶接ギャップ	<ul style="list-style-type: none">✓ 溶接ギャップ (実機に近い設備)

実施済み



<アーク出し中>

<溶接機>

溶接試験の様子

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

No.7

(2) アクセストンネル

■ アクセストンネル全体の課題: 燃料デブリ取り出し2020年度最終成果報告資料※1から本事業に関わるものを抜粋

No.	課題	概要	本事業
1	アクセストンネルスリーブの設置精度	アクセストンネルスリーブはPCV機器ハッチシェルに溶接にて接続する。ギャップ20mmにおいても溶接ができることは確認できたが、現場施工性、溶接時の熱収縮の影響、品質を考慮するとギャップを可能な限り小さくすることが必要である。	6.1)(1)②参照
2	アクセストンネル本体送り出し重量の低減による送り出し設備の小規模化および設置工程の短縮	アクセストンネル本体の送り出し重量は約430ton、バランスウェイトを含めると1000tonを超える。その為、送り出し設備およびR/B外の整備が大規模であり、増設建屋建設工事などR/B周辺整備を開始できないなど課題がある。	6.1)(1)③参照
3	シールドブロック(1号機)およびBSWのブロックアウト(2、3号機)	(1号機)既設シールドプラグを引き抜いた後、アクセストンネル本体と干渉する為撤去が必要。 (2、3号機)BSWをブロックアウト。	6.1)(1)④参照

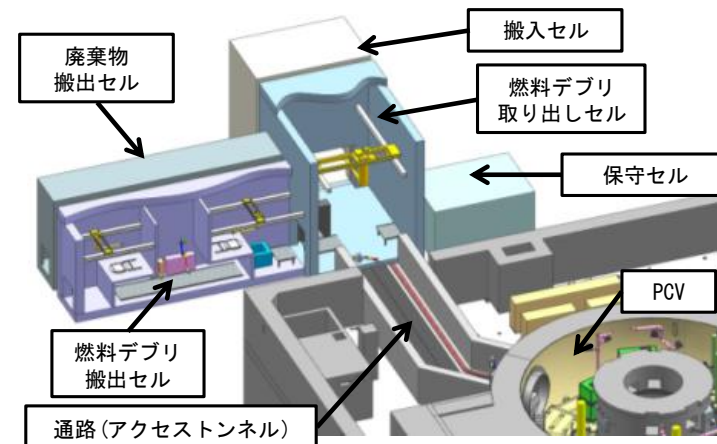
※1:「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術開発」2020年度最終成果報告資料(2021年3月)

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

(3) アクセストンネルを用いる横アクセス工法

【アクセストンネルを用いる横アクセス工法の概要】

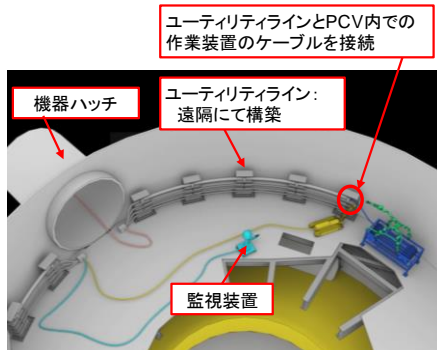
- ✓ PCVと増設建屋を通路(アクセストンネル)で接続。アクセストンネルは、R/B外から遠隔にて送り出すことで敷設する。
- ✓ 複数の遠隔作業装置を使用し、PCV内での干渉物撤去作業、燃料デブリ取り出し作業を実施。必要に応じ、PCV内で装置の組立を実施。
- ✓ 号機、ペDESTルの内外を問わない方法。



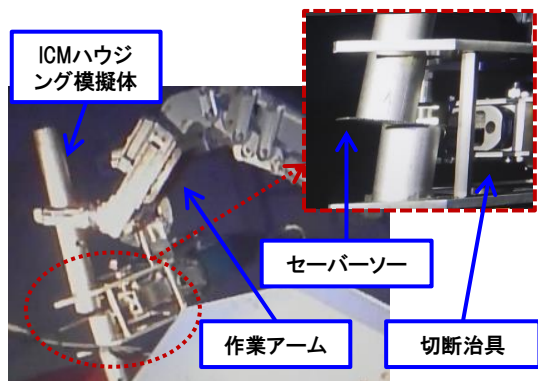
PCVと増設建屋の接続イメージ

【2020年度までの実施内容】

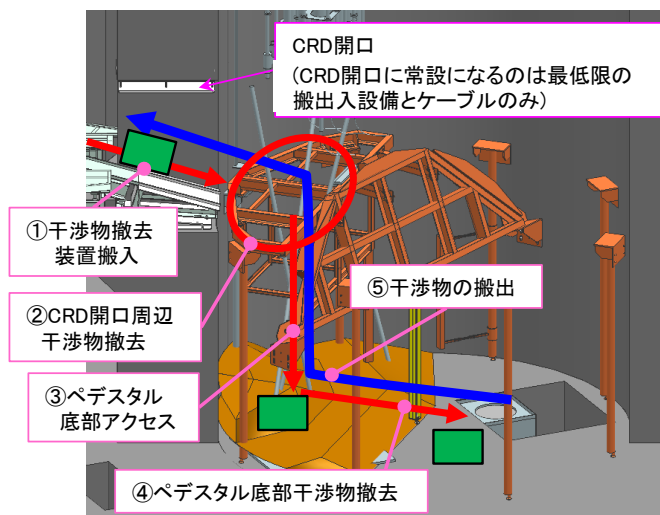
- ✓ 共用ユーティリティの構築作業(スタンドの組立、ユーティリティラインの接続)の実現性を確認。
- ✓ 遠隔操作により落下ICM(炉内核計装)ハウジングのような比較的小型の干渉物の撤去ができる見通しを得た。
- ✓ 複数台装置により、ケーブル処理作業や燃料デブリの加工作業を並行して行うことが可能な見通しを得た。



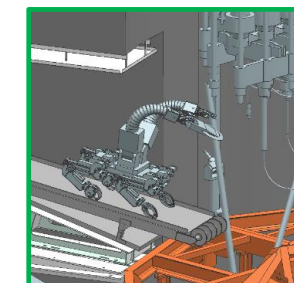
ユーティリティライン構築イメージ



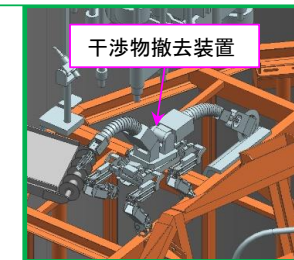
ICMハウジング模擬体の切断



ペDESTル内作業イメージ



CRD開口周辺干渉物撤去イメージ



干渉物撤去装置

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

No.9

(3) アクセストンネルを用いる横アクセス工法

■ 横アクセス工法の課題: 燃料デブリ取り出し2020年度最終成果報告資料^{※1}から本事業に関わるものを抜粋

No.	課題	概要	本事業
1	大型干渉物の撤去方法	CRD交換装置のように大型で燃料デブリ取り出し作業に大きな障害となるような干渉物を遠隔で撤去する方法を検討する。	6.1(2)①～③参照

※1:「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開発」2020年度最終成果報告資料(2021年3月)

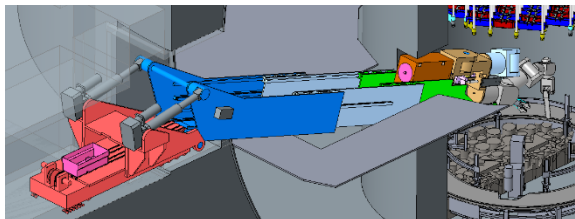
2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

No.10

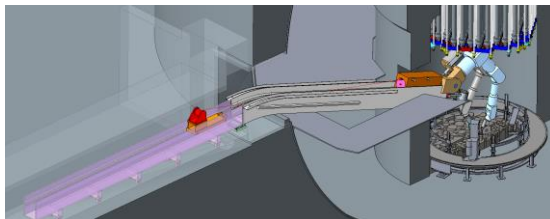
(4) アクセス装置

【アクセス装置の概要】

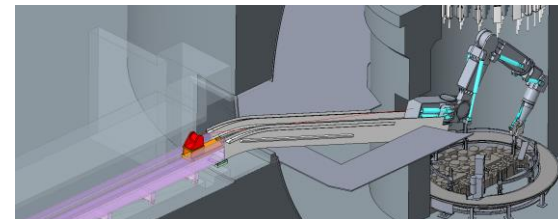
- PCV内のペDESTAL開口部に向けて直線的にアクセス装置を搬入して、アクセスルート上の干渉物及びペDESTAL内の燃料デブリを加工・回収する。



テレスコ式干渉物撤去装置
(双腕電動アーム)



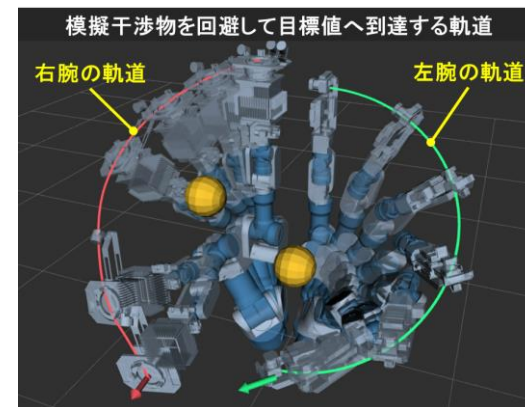
固定レール式双腕電動アーム



固定レール式液圧アーム

【2020年度までの実施内容】

- 干渉物、燃料デブリへのアクセス装置の以下概念検討が完了した。
 - 固定レール、テレスコ式案内装置の概念、構造、据付方法。
 - 双腕電動アームの概念、構造、搬入方法、非常脱出方法。
 - 液圧アームの固定レールへの適用方法。
- アクセス装置高さは、3mから2.2mに低減を図った。
- アクセス装置荷重によるペDESTALCRD開口の健全性に問題ないことを確認した。
- 干渉物、燃料デブリ取り出し手順をブラッシュアップして具体化を図り、技術課題抽出と対応方針検討を実施した。
- 作業効率化の為の遠隔操作支援手法の検討を行った。



遠隔操作支援手法による軌道生成

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

(4) アクセス装置

■ アクセス装置の課題:燃料デブリ取り出し2020年度最終成果報告資料※1から本事業に関わるものを抜粋

No.	課題	概要	本事業
1	先端ツールの概念検討	想定される干渉物、燃料デブリに対し、ある前提条件のもととなるが、切断方法や先端ツール概念を検討し、スループットを含め、全体的な作業を見通すことが必要である。	6.1)(3)①参照
2	ズレへの対応	マニピュレータの遠隔操作支援において、3Dモデルと現場の実物との違いや、ロボットの設置誤差によるズレに対応することが必要である。	6.1)(3)①参照
3	施工動作における遠隔操作支援の確立	切断・把持・回収などの施工動作において、遠隔操作支援を確立することが必要である。	6.1)(3)①参照

※1:「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開発」2020年度最終成果報告資料(2021年3月)

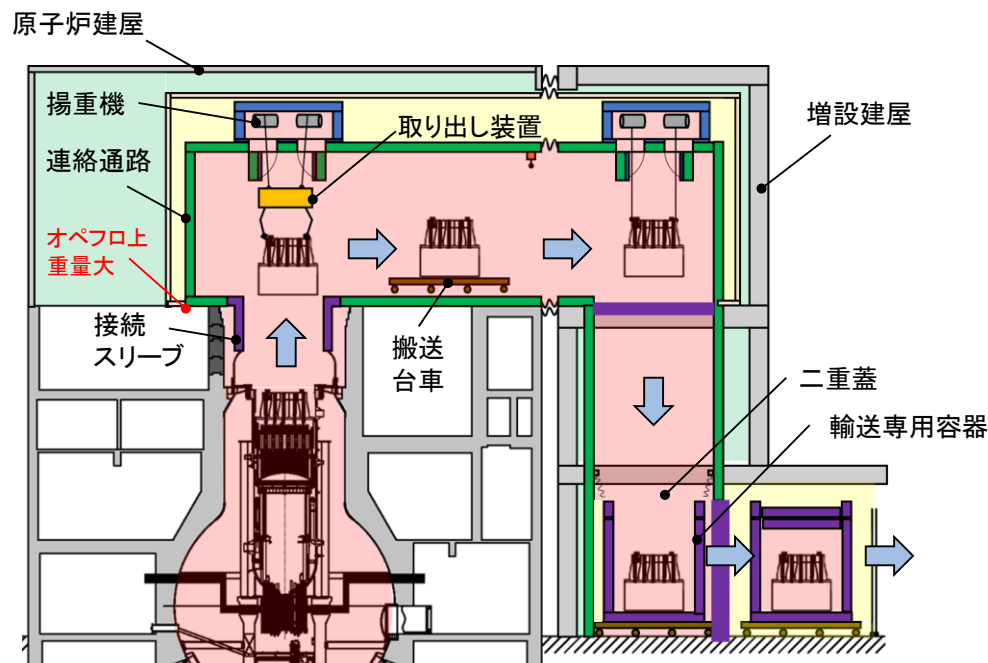
(5) 上アクセス工法

【新規上アクセス工法(構造物一体撤去・搬出)の概念】

- ✓ 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・気密は構造物輸送用の輸送専用容器、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、保管用容器への収納はR/Bから離れた建屋にて実施。

【2020年度までの実施内容】

- ✓ シールドプラグ撤去から原子炉底部まで各干渉物の取り出し方針・撤去方法を整理し、工法ステップ案を作成。
- ✓ オペフロ上部遮蔽重量の軽減策、揚重機や運搬手段について実現可能性があることを示し、大型輸送用容器の寸法や遮蔽重量などの仕様を作成。
- ✓ 狭隘でアクセス性が悪く、落下防止対策など作業手順が複雑な原子炉底部を対象とした要素試験を実施し、試験結果から得られた所用時間をスループットの試算に反映。



一体搬出工法イメージ図

2. 本事業に関わる2019～20年度実施事業の実績

(5) 上アクセス工法

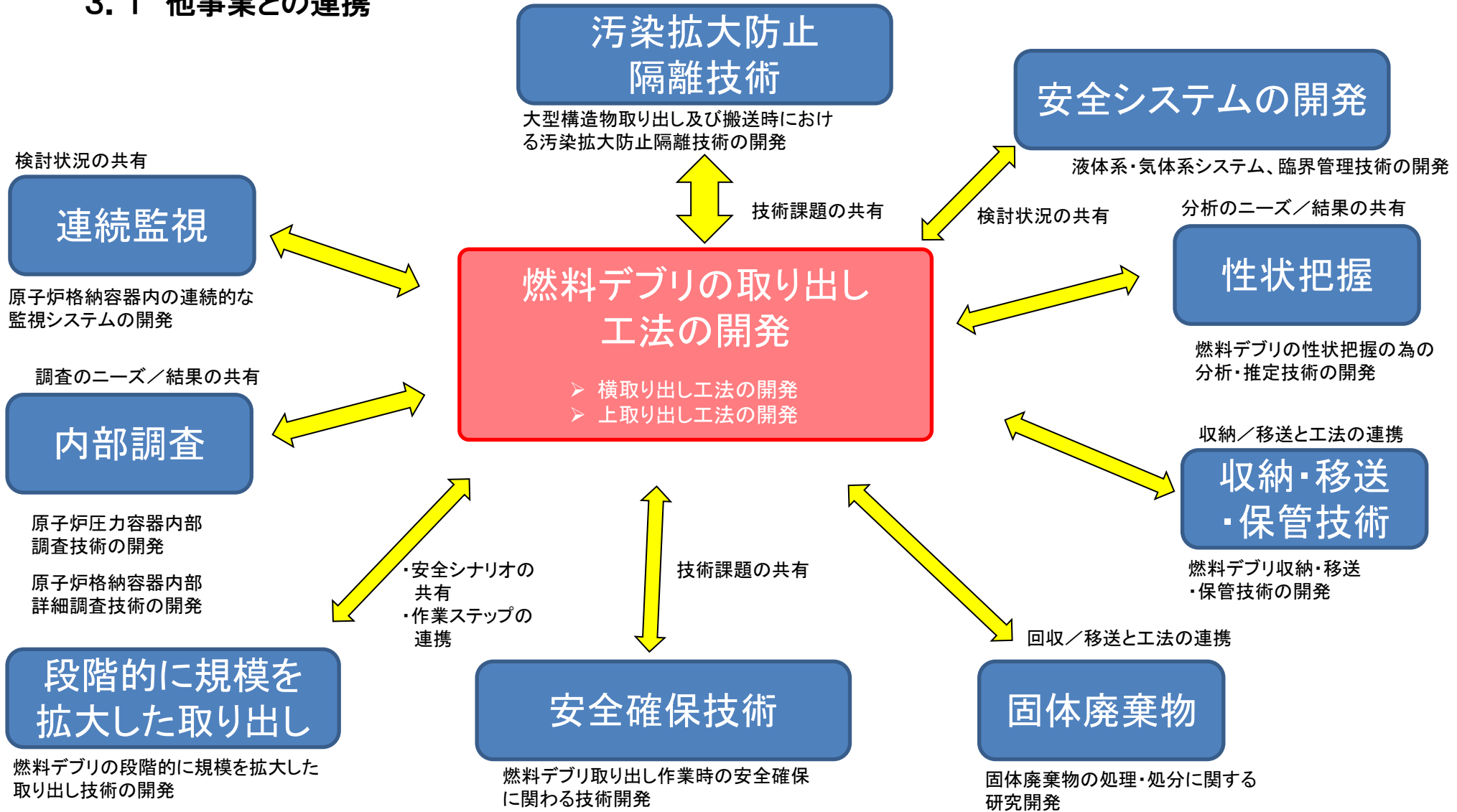
■ 上アクセス工法の課題：燃料デブリ取り出し2020年度最終成果報告資料※1から本事業に関わるものを抜粋

No.	課題	概要	本事業
1	炉底部以外の切断方法	概念検討では、シュラウドを上下に分割して取り出す作業ステップとした。シュラウドを含め、炉内構造物を切断する方法について再度検討し、切断方法の具体化検討を進める。	6.2)(1)①参照
2	大型搬出容器の具体化	構造物を新設建屋まで搬出する際の大型搬出容器(輸送専用容器)について概念検討を実施した。今後、大型搬出容器の構造について具体化し、製作性等も含めた構造成立性の検討を進める。	6.2)(1)②参照
3	搬送装置の具体化	概念検討では、大型容器に直接収納できない構造物は増設建屋で切断する作業ステップとした。また、線量率の高い構造物には局所遮蔽を組合せる。その為、取り出した構造物を搬送する手段の具体化検討と、増設建屋側での作業性に合わせた作業ステップの見直し検討を進める。	6.2)(1)③参照

※1:「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開発」2020年度最終成果報告資料(2021年3月)

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. 本事業の概要

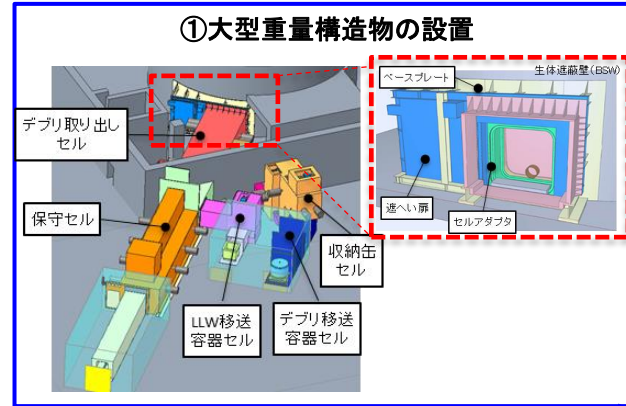
3.2 公募の開発項目と実施方針

1) 横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発

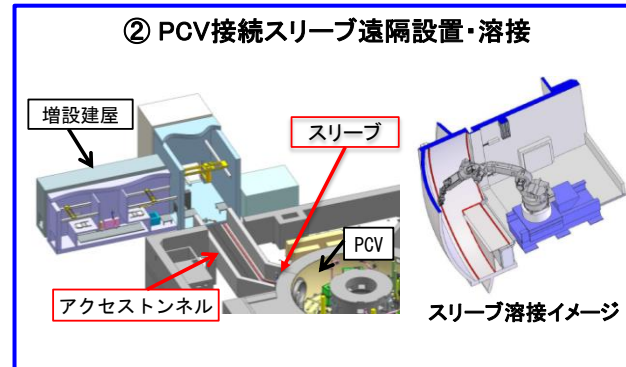
① 大型重量構造物の設置

・R/B内に設置するセル構造やアクセス用設備の構造の詳細化・据付工法の実現性確認



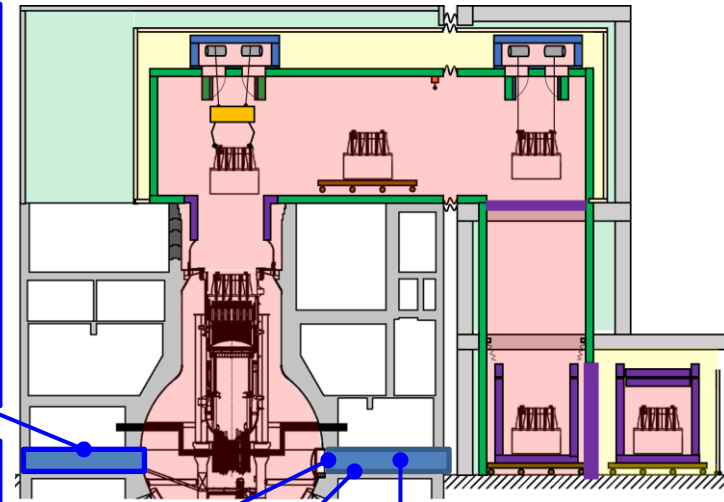
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

・スリーブの遠隔での設置・溶接、検査、保守等の方法検討／実現性確認



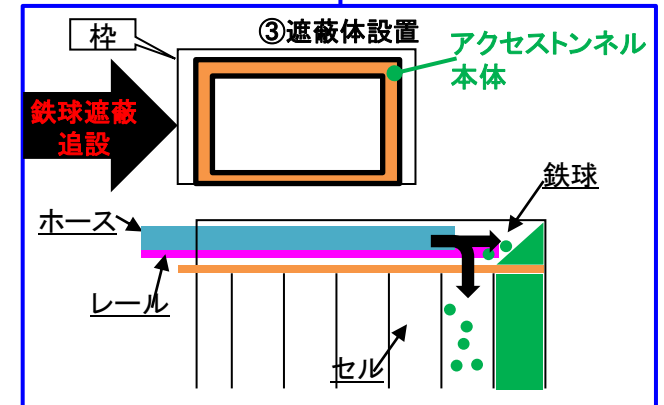
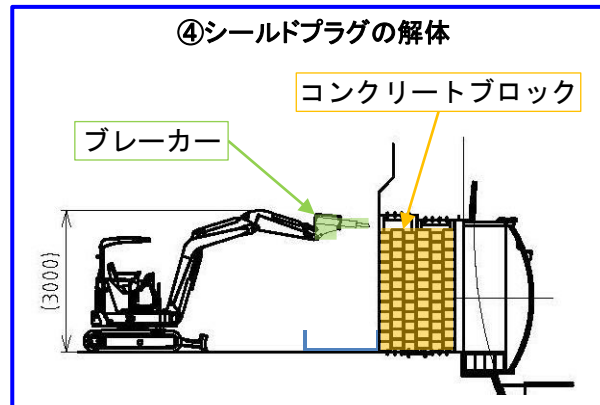
③ 遮蔽体設置

・付帯設備負荷軽減を目的とした、アクセストンネル遮蔽体追設方法の検討/実現性確認



④ シールドプラグの解体

・大型重量物であるシールドプラグ等 (シールドプラグ、ブロックアウト) の遠隔解体に関する技術検討／実現性確認



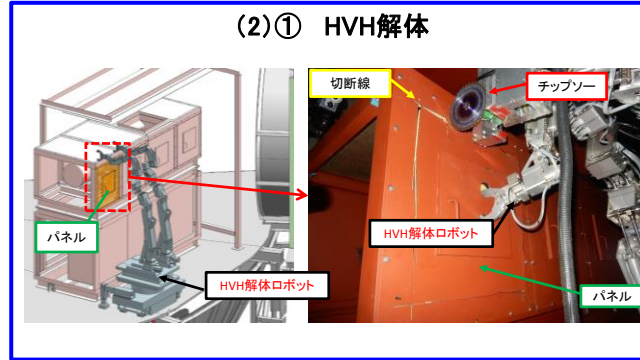
3. 本事業の概要

3.2 公募の開発項目と実施方針

- 1) 横取り出し工法の開発
- (2) 解体・撤去技術の開発

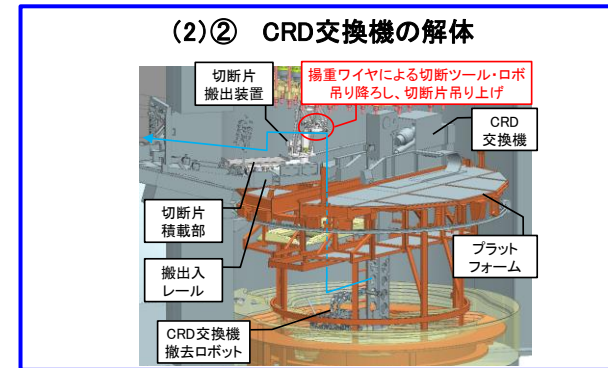
① HVH解体

・落下防止および遠隔作業を考慮したHVH撤去方法検討／実現性確認



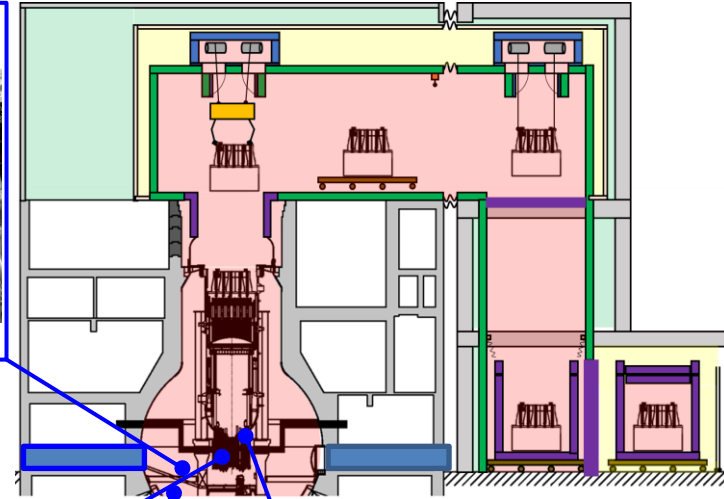
② CRD交換機の解体

・限られたエリア・装置での遠隔作業を考慮した、大型構造物であるCRD交換機の解体・撤去方法検討／実現性確認



③ ポンプピット内干渉物撤去

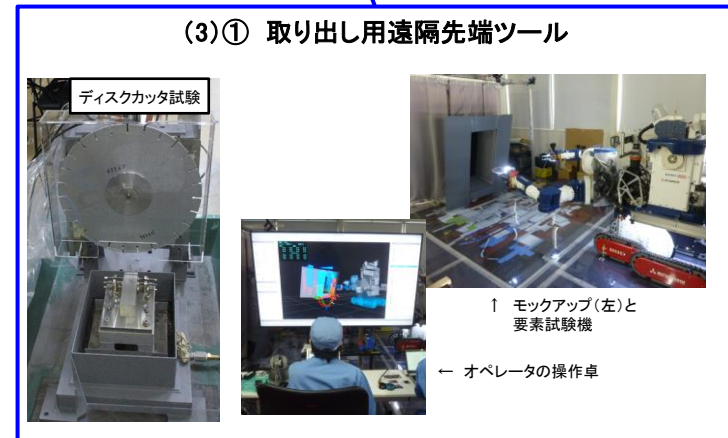
・遠隔にてピット内既設ポンプ等の干渉物を切断し、搬出する方法の検討／実現性確認



(3) 取り出し工法の高度化開発

① 取り出し用遠隔先端ツール

・PCV 内構造物の解体・撤去方法及び燃料デブリ加工・回収手順の確認。
・スループット評価用データの取得。



3. 本事業の概要

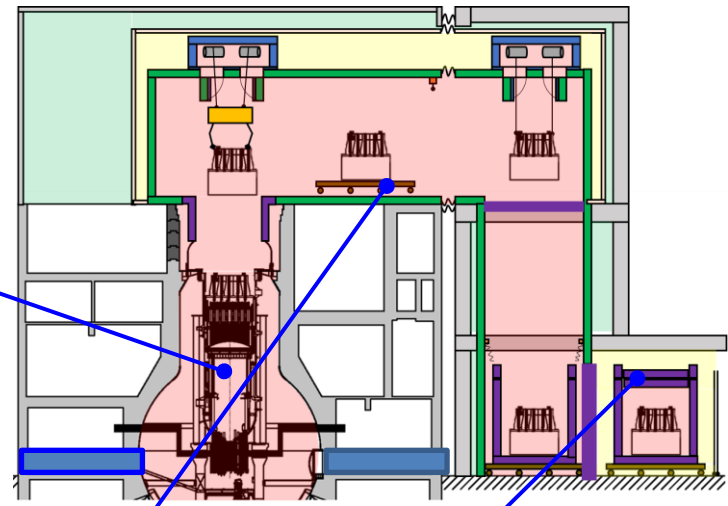
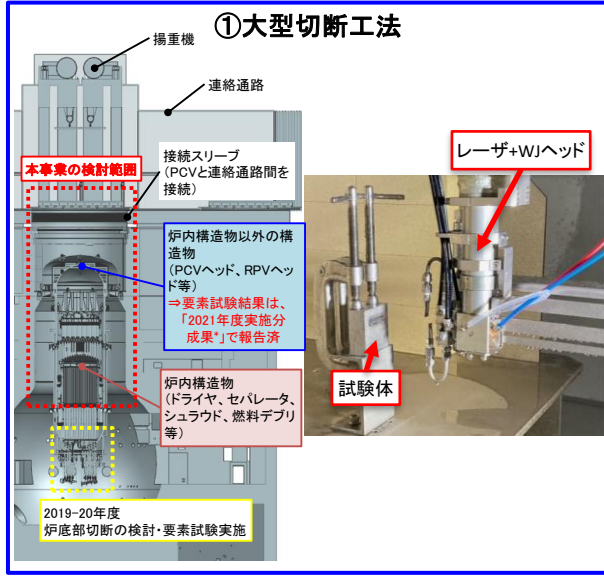
3.2 公募の開発項目と実施方針

2) 上取り出し工法の開発

(1) 大型構造物の取り出しコンセプト 実現に向けた技術開発

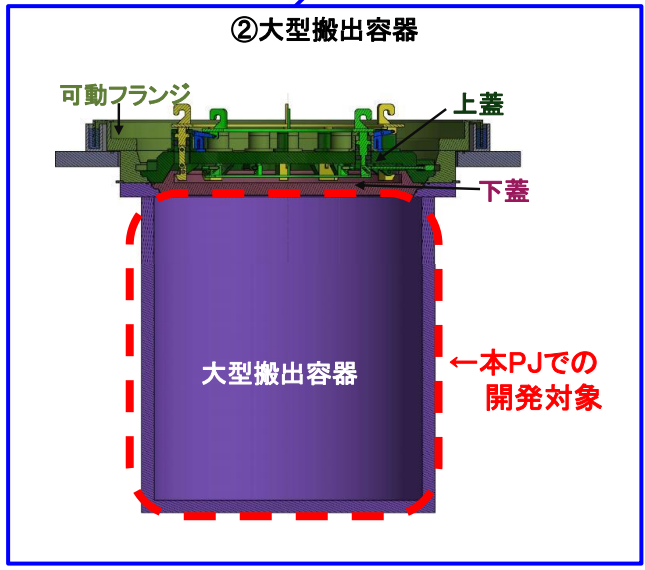
①大型切断工法

- ・充填材を含めた金属、セラミック系材料の混合体を切断して切り離す方法の検討／実現性確認
- ・切断後の構造物を大型搬送装置に搭載するまでの搬出方法検討／現場適用性評価



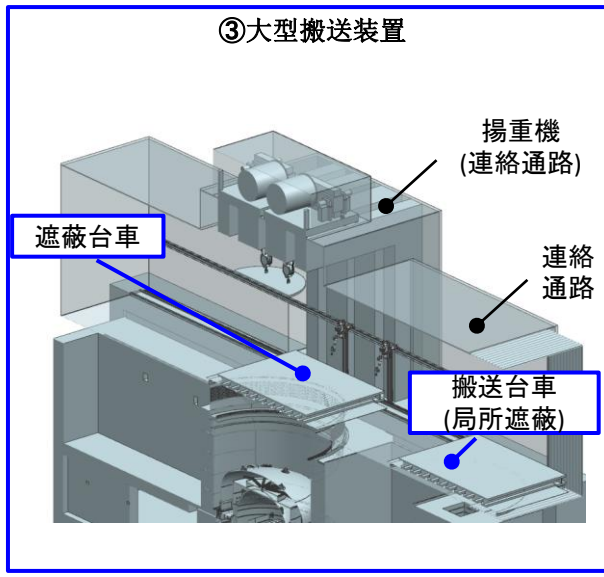
②大型搬出容器

- ・大型搬出容器への構造物収納方法を
含む搬出システムのプロトタイプ構築
- ・大型搬出容器全体の気密構造、製作手順等に関する詳細検討／実現性確認



③大型搬送装置

- ・気密ゲートへの適応性等、汚染した大型重量構造物を搬送する方法に関する調査・検討
- ・駆動機構を含む搬送装置の構造検討／現場適用性評価



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	参照ページ
1) 横取り出し工法の開発 (1) アクセス用設備の設置工法の開発	<p>① 大型重量構造物の設置 前提条件、要求仕様を明確にし、R/B内に設置するセル構造やアクセス用設備の構造の詳細化及び設置する工法の検討を実施し、模擬試験体等による要素試験によって、手順、設置精度、工法全体の効率を含めた工法の現場適用を踏まえた実現性を確認する。</p> <p>② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接 PCVに接続するスリーブ等の遠隔設置における要求事項を整理し、遠隔設置方法、機器・装置、手順について検討を行い、模擬試験体による要素試験を実施して精度評価など要求事項の実現性の確認を行う。また、接続部の閉じ込め技術としてスリーブ等の溶接、検査、保守における要求事項を整理し、一連の溶接手順、検査、保守を遠隔で実施する方法の検討を行い、模擬試験体による検証試験を実施して、溶接施工性・実現性を確認する。</p> <p>③ 遮蔽体設置 R/B内への搬送に要する付帯設備、R/B等の床荷重負担軽減化として、アクセストンネル遮蔽体の構造、搬送・設置方法の合理化の検討、開発を行う。</p> <p>④ シールドプラグの解体 大型でコンクリート等の重量物である既設の機器ハッチ前のシールドプラグ等(シールドプラグ、ブロックアウト)の撤去を行う必要がある為、狭隘部における効率的で安全な解体に関する技術の検討、開発を行う。</p>	<p>No.27～152</p> <p>No.153～228</p> <p>No.229～264</p> <p>No.265～293</p>
(2) 解体・撤去技術の開発	<p>① HVH解体 HVHの解体、撤去の要求事項の検討、整理を行った上で、これまでに開発してきた遠隔解体機器、装置による解体・撤去について、限られたエリアでの遠隔作業を考慮した模擬試験体による要素試験を計画、実施し、具体的な切断／回収方法について実現性を確認する。</p> <p>② CRD交換機の解体 CRD交換機の解体、撤去について、要求事項を検討、整理した上で、限られたエリアでの遠隔作業を考慮した模擬試験体による要素試験を計画、実施し、具体的な切断／回収方法について実現性を確認する。</p>	<p>No.294～321</p> <p>No.322～381</p>

3. 本事業の概要

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	参照ページ
1) 横取り出し工法の開発 (2) 解体・撤去技術の開発	③ ポンプピット内干渉物撤去 ピット内面とポンプの隙間は小さく、治具等のアクセスが難しい為、カメラ映像で対象物の状況を確認し切断等を行い搬出する方法の詳細検討および要素試験による実現性の確認を実施する。	No.382～411
(3) 取り出し工法の高度化開発	① 取り出し用遠隔先端ツール 先端ツール・操作システムの検討及び要素試験等により、PCV内構造物の撤去や燃料デブリの加工及びユニット缶への回収手順、各先端ツールの操作性、効率等を検証し、一連の作業成立性の確認を行う。また、作業手順の実績データを取得、整理し、スループット評価用データを取得する。	No.412～538
2) 上取り出し工法の開発 (1) 大型構造物の取り出しコンセプト 実現に向けた技術開発	① 大型切断工法 金属である炉内構造物とセラミック系の燃料デブリを考慮し、切断して切り離す方法の検討を行い、模擬試験体による要素試験を実施する。また、PCVヘッドなどを含む切断後の構造物を大型搬送装置に搭載するまでの搬出方法について検討し現場適用性を評価する。	No.539～614
	② 大型搬出容器 大型搬出容器への構造物収納方法を含む搬出システムの概念構築、及び蓋部を含む大型搬出容器全体の気密・遮蔽構造、製作手順等に関する詳細検討を実施する。また、大型搬出容器は再使用可能とすることを前提とし内部は除染が容易な構造とする。その上で実規模の搬出容器を試作し、要素試験によって性能検証を行い、成立性の確認と現場適用の課題抽出を実施する。	No.615～648
	③ 大型搬送装置 大型搬送装置の前提条件と必要開発項目について検討整理し、気密ゲートへの適応性など汚染した大型重量構造物を確実に搬送する方法について調査検討を実施し、駆動機構を含む搬送装置の構造検討及び要素試験によって、大型搬送装置の現場適用性に関する評価と課題整理を行う。	No.649～669

3. 本事業の概要

3.3 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】

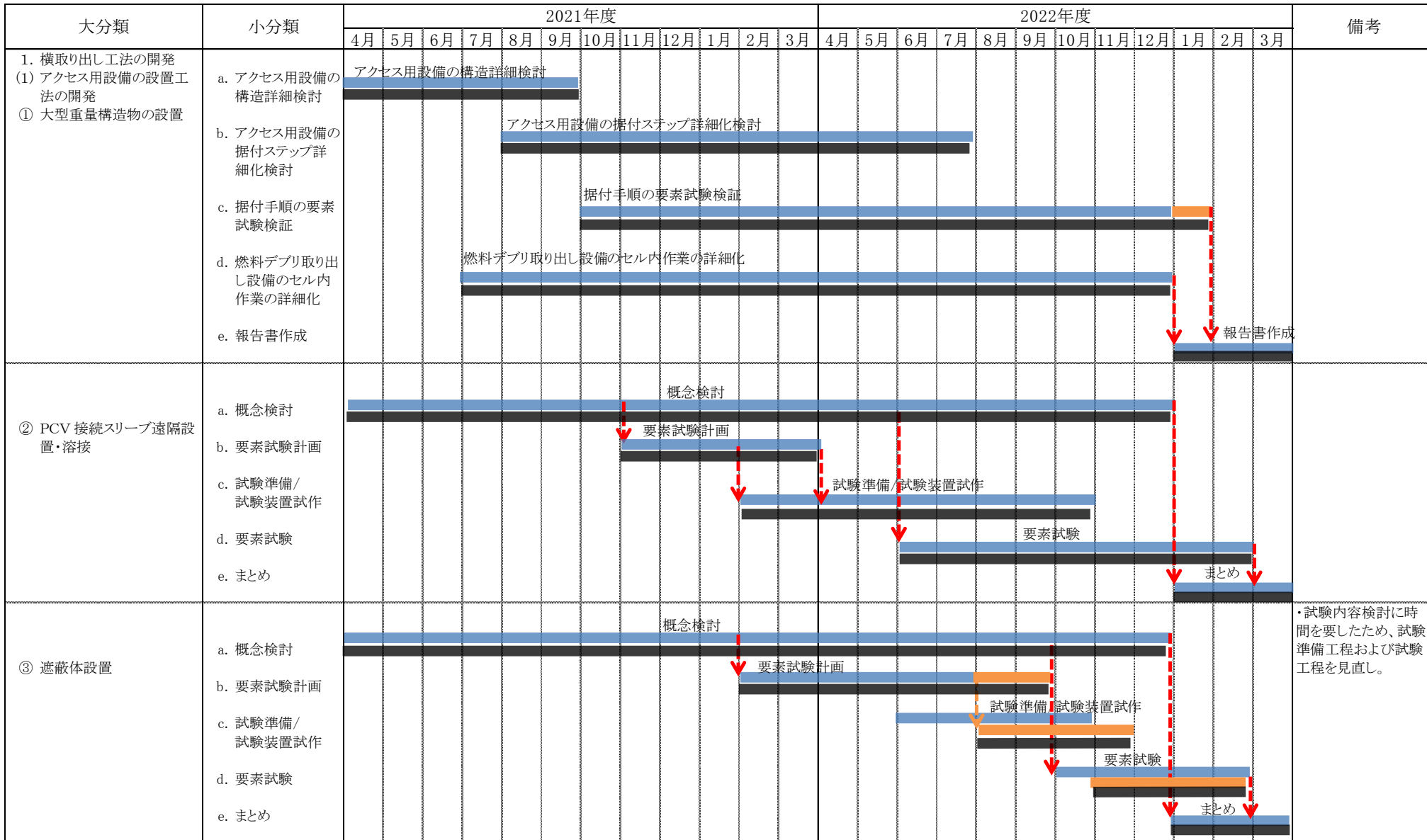
検討に際し、以下について遠隔で扱う装置の取り扱い性、保守方法を考慮した開発を行う。

- ・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。
- ・保守を行う為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

燃料デブリ取り出し工法の開発 実施スケジュール(1/4)

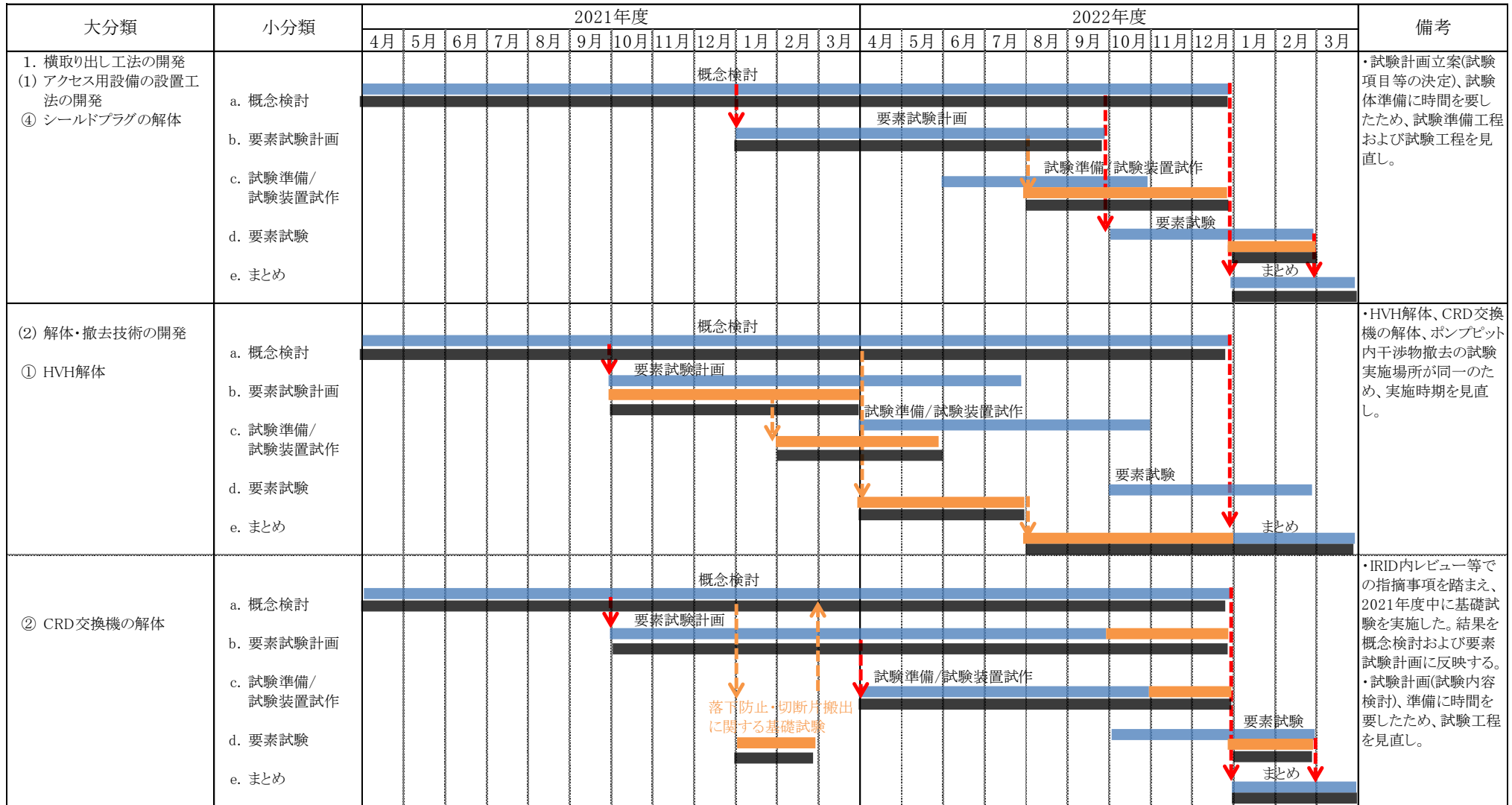
【凡例】
— : 計画
— : 見直し
— : 実績



4. 本事業の実施スケジュール

【凡例】
— : 計画
— : 見直し
— : 実績

燃料デブリ取り出し工法の開発 実施スケジュール(2/4)



4. 本事業の実施スケジュール

【凡例】
— : 計画
— : 見直し
— : 実績

燃料デブリ取り出し工法の開発 実施スケジュール(3/4)

大分類	小分類	2021年度												2022年度												備考
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
1. 横取り出し工法の開発 (2) 解体・撤去技術の開発 ③ ポンプピット内干渉物撤去	a. 概念検討	概念検討																								・HVH解体、CRD交換機の解体、ポンプピット内干渉物撤去の試験実施場所が同一のため、実施時期を見直し。
	b. 要素試験計画	要素試験計画																								
	c. 試験準備/試験装置試作													試験準備/試験装置試作												
	d. 要素試験													要素試験												
	e. まとめ													まとめ												
(3) 取り出し工法の高度化開発 ① 取り出し用遠隔先端ツール	a. スループット改善策の検討	スループット改善策の検討																								
	b. 先端ツール要素試験計画・準備	先端ツール要素試験計画・準備																								
	c. 要素試験(スループット評価用加工試験)													要素試験(スループット評価用加工試験)												
	d. 操作システムの検討	操作システムの検討																								
	e. 操作システムの開発・シミュレーション検証	操作システムの開発・シミュレーション検証																								
	f. 要素試験(操作システムを使った一連作業)													要素試験(操作システムを使った一連作業)												
	g. 報告書作成													報告書作成												

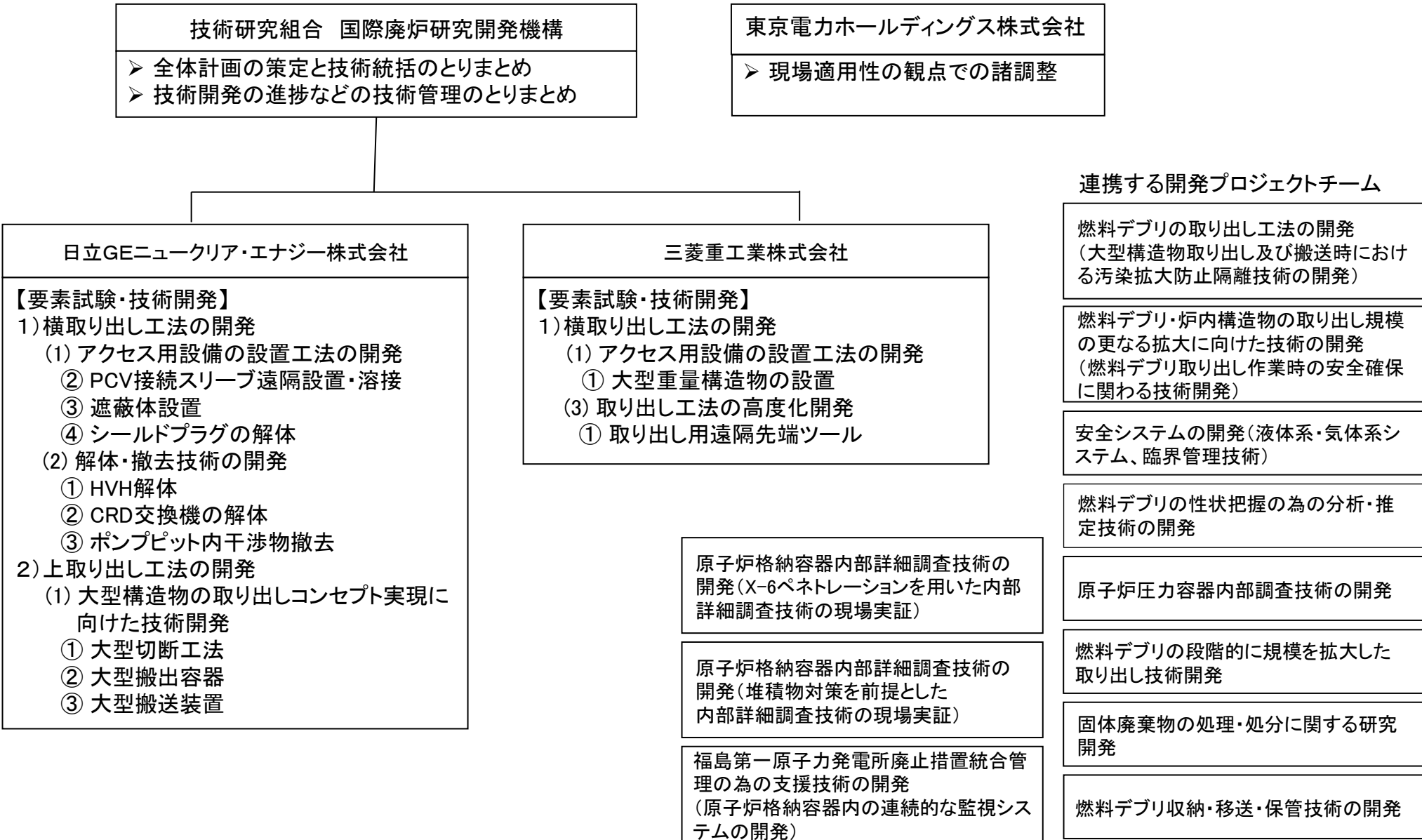
4. 本事業の実施スケジュール

【凡例】
— : 計画
— : 見直し
— : 実績

燃料デブリ取り出し工法の開発 実施スケジュール(4/4)

大分類	小分類	2021年度												2022年度												備考																																			
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月																																				
2. 上取り出し工法の開発 (1) 大型構造物の取り出しコンセプト 実現に向けた技術開発 ① 大型切断工法	a. 概念検討	概念検討																								<ul style="list-style-type: none"> RPVヘッドスタッドボルト切断要素試験について、他試験と試験時期が重複するため、2021年度中に要素試験を実施することで試験準備を実施し、要素試験を実施。21年3月に完了。 																																			
	b. 要素試験計画	要素試験計画												要素試験計画(炉内構造物切断)																																															
	c. 試験準備/試験装置試作	試験準備/試験装置試作												試験準備/試験装置試作																																															
	d. 要素試験	要素試験(RPVヘッド解体)												要素試験(炉内構造物切断)																																															
	e. まとめ	まとめ												まとめ																																															
② 大型搬出容器	a. 概念検討	概念検討																								要素試験は22年12月に完了。																																			
	b. 要素試験計画	要素試験計画												要素試験計画																																															
	c. 試験準備/試験装置試作	試験準備/試験装置試作												試験準備/試験装置試作																																															
	d. 要素試験	要素試験												要素試験																																															
	e. まとめ	まとめ												まとめ																																															
③ 大型搬送装置	a. 概念検討	概念検討																								<ul style="list-style-type: none"> 作業容器や隔離シートを含めた搬出入ステップに基づく課題整理後に要素試験項目の抽出等を行い要素試験計画を立案。 搬出入ステップ検討および課題整理に時間を要したため、試験計画の立案は2022年度から実施。 																																			
	b. 要素試験計画	要素試験計画												要素試験計画																																															
	c. 試験準備/試験装置試作	試験準備/試験装置試作												試験準備/試験装置試作																																															
	d. 要素試験	要素試験												要素試験																																															
	e. まとめ	まとめ												まとめ																																															
主要なマイルストーン		▲ 中間報告												▲ 年度末報告												▲ 中間報告												▲ 最終報告												▲ 実績報告書提出											

5. 本事業の実施体制



主な外注の内容

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

【外注の内容】

- ・PCV接続スリーブ遠隔設置試験、
アクセストンネル遮蔽体追設試験、
HVH解体要素試験、
CRD交換機の解体要素試験、
ポンプピット内干渉物撤去要素試験、
大型搬送装置要素試験
(東鉱商事株式会社)
- ・PCV接続スリーブ遠隔溶接試験
RPVヘッド解体に関する要素試験、
大型搬出容器の試作、気密性試験
(三菱重工業株式会社(旧三菱パワー株式会社))
- ・炉内構造物大型切断工法に関する要素試験
(株式会社スギノマシン)
- ・上アクセス大型一体搬出工法での充填固化
材に関する検討
(国立大学法人東京大学)
- ・横アクセス工法の検討に関する設計補助、
シールドプラグの解体要素試験
(株式会社日立プラントコンストラクション)
- ・上アクセス工法の検討に関する設計補助
(株式会社ジェイテック)

三菱重工業株式会社

【外注の内容】

- ・セル構造詳細化に関する設計補助
(MHI NSエンジニアリング株式会社)
- ・アクセス用設備据付方詳細化に関する設計補助
(MHI NSエンジニアリング株式会社)
- ・セルアダプタ遠隔設置性確認試験
(株式会社ダイヤ・エフ・エンジニアリング、MHI
NUSEC株式会社)
- ・建屋内外セル設置架台配置検討
(日本建設工業株式会社)
- ・設置位置設定技術確認試験
(株式会社ダイヤ・エフ・エンジニアリング、MHI
NUSEC株式会社)
- ・構造物、燃料デブリ加工方法に関する設計補助
(MHI NSエンジニアリング株式会社)
- ・構造物、燃料デブリ加工試験
(MHI NSエンジニアリング株式会社)
- ・障害物回避の軌道計算ロジック妥当性評価
(国立大学法人 神戸大学)
- ・障害物回避ソフトウェアのコーディング作業
(MHI NSエンジニアリング株式会社)

6. 本事業の実施内容

1) 横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発

① 大型重量構造物の設置

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、横取り出し工法のアクセス用設備として、大型重量構造物であるセル設置に係る検討を進めてきている。R/B内への的確なセル設置においては、セル構造とPCVとの接続に対し、設置精度確保と据付作業の効率化の検討、開発が必要となっている。

大型重量構造物であるセル構造をPCV接続部に取り付ける為には、R/B内の床荷重制限を満足しつつ、セル構造を精度よくPCVとの接続部に位置出しして、PCVの開口部に閉じ込め機能及び地震変位対処機能を備えた構造を介して遠隔接続する必要がある。R/B内にセル構造のアクセス用設備を設置する工法の検討、確認試験を行い、工法全体の効率化や手順の実現性を確認する。

セル構造の遠隔設置については、ペDESTAL開口部の改造、変更が困難である為、アクセス設備の設置個所であるX-6ペネ等のPCV開口部への接続における、両開口位置の相対関係（開口を結ぶ軸線等）に十分配慮して、精度良く設置することが求められる。アクセス設備をX-6ペネからペDESTAL開口部へと至る軸線に沿って設置する為、先ず、この要件に適合するセル構造の搬入、据付及び接続構造を介した遠隔設置工法について地震への対応を考慮し検討を行う。次に、模擬試験体による要素試験によって、手順、設置精度、効率を含めた工法の現場適用を踏まえた成立性を確認する。

① 大型重量構造物の設置

目次

- (1) これまでの開発成果と本事業の関連
- (2) 本研究の背景と目的
- (3) 目標
- (4) 開発工程
- (5) 実施事項とその関係、他研究との関連
- (6) 実施事項
 - (6)-1:a. アクセス用設備の構造詳細検討
 - (6)-2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討
 - (6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証
 - (6)-3-2:c. 据付手順の要素試験検証(遠隔据付装置への要求仕様整理)
 - (6)-4:d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化
- (7) まとめ

① 大型重量構造物の設置

(2) 本研究の背景と目的

✓ 本研究が必要な理由

- 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、横取り出し工法においては、PCVのペDESTAL内へのアクセス装置、PCVとの接続及び閉じ込めの為のセルアダプタ、遮蔽扉及びセルより構成されるアクセス設備に対して検討を進めてきた。2020-2021年度では、アクセス用設備に関し、原子炉建屋内に設置するセルの小型化や重量物であるセルの荷重支持方法、更にこれら燃料デブリ取り出し設備の設置・据付の作業をステップを検討した。
- 本補助事業では、アクセス用設備に対して、以下の要求事項がある。
 - 大型重量構造物であるセル構造をPCV接続部に取り付ける為には、原子炉建屋内の床荷重制限を満足しつつ、セルを精度よくPCVとの接続部に位置出し、PCVの開口部に閉じ込め機能及び地震変位対処機能を備えた構造を介して遠隔接続する為の構造及び要求事項の明確化。
 - セル構造の遠隔設置については、ペDESTAL開口部の改造、変更が困難である為、アクセス設備の設置個所であるX-6ペネ等のPCV開口部への接続における、両開口位置の相対関係(開口を結ぶ軸線等)に十分配慮して、アクセス設備をX-6ペネからペDESTAL開口部へと至る軸線に沿って設置する為、先ず、この要件に適合するセル構造の搬入、精度良く設置する手順の確立が必要。
- 従って、原子炉建屋内への的確にアクセス用設備を設置する為に、セル構造とPCVとの接続に対し、設置精度確保と据付作業の効率化の検討、開発が必要である。

✓ 本研究の期待される成果と反映先とその寄与

- 期待させる成果: アクセス用設備の設置手順の構築及び遠隔装置の要求仕様の確定。
- 反映先とその寄与: 横アクセス工法に於ける原子炉建屋内のアクセス用設備の設置工法の確立。

① 大型重量構造物の設置

(3) 目標

✓ 成果反映先からの要求

- PCVのペDESTAL開口よりアクセス装置を進入させて燃料デブリを取り出す計画である。
- 上記**アクセス装置の為のアクセスルート**をペDESTAL開口からX-6ペネの直線上に構築する必要がある。
- その為、**大型重量構造物である遮蔽扉やセルなどを精度良く、その直線上に設置する必要がある。**
- また、原子炉建屋の1階フロアに設置する**セルとPCV間の接続部は、地震発生時の変位を吸収する為、ベローズ構造を有するセルアダプタを用いる。**
- 更にセルアダプタ、遮蔽扉及びセルは、閉じ込め機能を確保する必要がある。
- また、**セルアダプタは、BSWを開口後に設置する為、PCVからの高放射線環境下での据付作業となり、遠隔操作による据付が必要となる。**

✓ 上記要求に対する目標

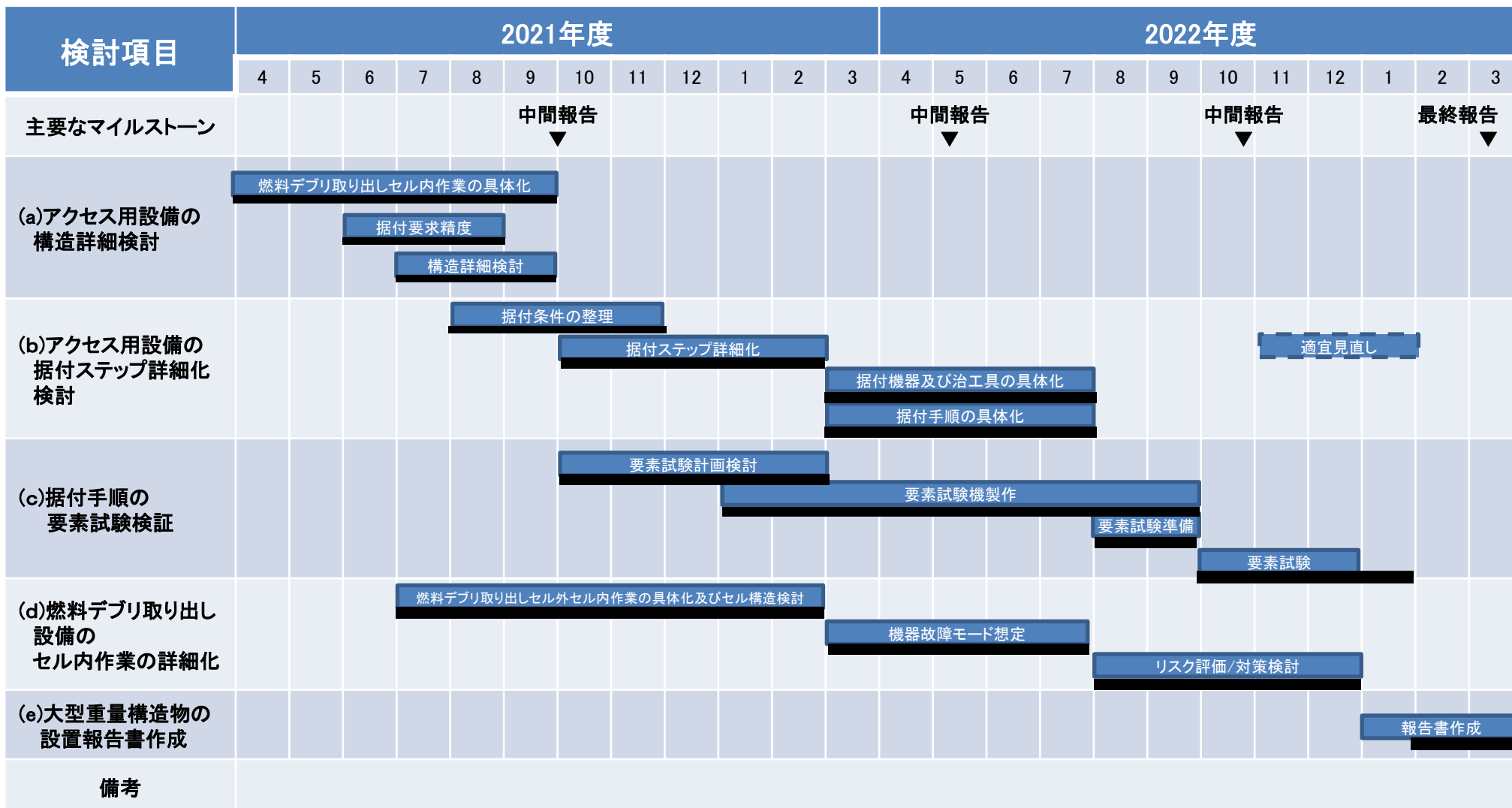
- 大型重量構造物である**アクセス用設備について、地震変位吸収及び閉じ込めなどの要求機能に加えて、据付要求精度や調整方法など検討して構造の具体化を図る。**
- **アクセス用設備の据付手順を詳細化する。**
- 据付手順において検証すべき事項を整理し、要素試験検証を実施する。
- 要素試験結果を踏まえて、**遠隔据付装置の要求仕様を整理する。**

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(4) 開発工程

【凡例】計画: 実績:

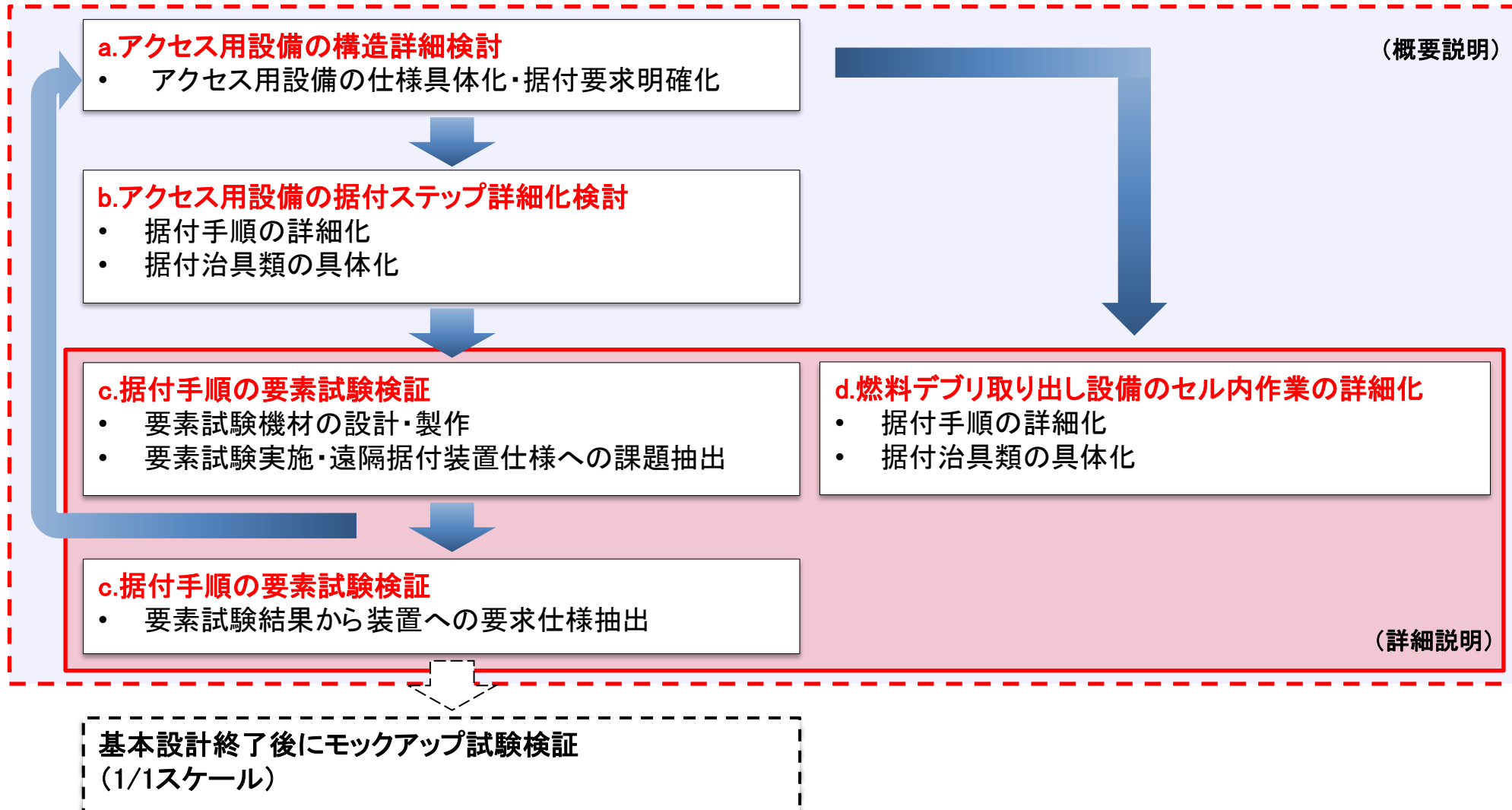


6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(5) 実施事項とその関係、他研究との関連

✓ 本研究の実施項目及び実施項目間の関連性



6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(5) 実施事項とその関係、他研究との関連

✓ 本研究の実施項目及び実施項目間の関連性

 : 2021-2022年度に大型構造物の設置で対象としている項目

 : 2021-2022年度に特に検討対象としている項目

作業ステップ	原子炉建屋前整地	原子炉建屋内干渉物撤去 (RHR配管撤去等)	X-6ペネ周辺・エアロック前 BSW撤去	R/B建屋壁開口
ステップ図	<p>①現状 ① TP+8,900-300mm掘り下げ 掘り下げ ②コンクリートにて整地 コンクリートにクッション 砕石 砕石</p>	<p>撤去用クレーン 作業員はエアロックから立ち入り</p>	<p>ステップ①: 設備の撤去 ステップ②: 新設壁への設置</p>	<p>作業員出入用開口 材料取り出しセル用壁開口部 ミニキャスクセル用壁開口部 簡易テントハウス</p>
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施 		<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施
作業ステップ	<h3>遮蔽扉ベースプレート 遮蔽扉設置</h3> <p>アンカー打設範囲 ベースプレート トラック 設置用台車 遮蔽扉</p>	<h3>屋外ヤード設営</h3> <p>開閉部 撤出入用クレーン 屋外ヤードイメージ (天井開閉式テントハウス)</p>	<h3>セル設置架台敷設</h3> <p>セル用ベースプレート セル設置架台 ベースプレート敷設 ベースプレート設置 セル設置 セル設置</p>	<h3>BSW開口/X-6ペネ切断</h3> <p>仮設遮蔽 遮蔽扉 G/H X-6ペネ切断 ベネプラグ切断 PCV ベネプラグ 閉止板 コアポリング</p>
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: ベースプレート、遮蔽扉の構造具体化、設置方法詳細化検討実施 		<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 据付基準線のマーキング手法の検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2018年度: BSW開口については東芝殿開発工法(穴開工法)転用予定 2021-2022年度: 3Dスキャナ計測によるPCV鋼板形状把握工法の検討実施

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(5) 実施事項とその関係、他研究との関連

✓ 本研究の実施項目及び実施項目間の関連性

 : 2021-2022年度で大型構造物の設置で対象としている項目

 : 2021-2022年度に特に検討対象としている項目

作業ステップ	セルアダプタの搬入・設置	燃料デブリ取り出しセル・他設置	耐圧検査・セル機能試運転	アーム導入・PCV壁開口
ステップ図				
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: セルアダプタ据付方法、干渉確認及び据付装置の要求仕様を抽出 	<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 模擬体による全体構築確認(バウンダリ構築確認)実施 		<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施
作業ステップ	ペDESTAL外干渉物撤去 (1) (テレスコ式双腕ロボット)	ペDESTAL外干渉物撤去 (2) (テレスコ式双腕ロボット)	ペDESTAL内干渉物撤去 (1) (テレスコ式双腕ロボット)	ペDESTAL内干渉物撤去 (2) (テレスコ式双腕ロボット)
ステップ図				
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度: 先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

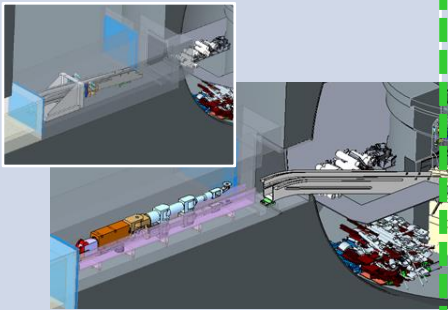
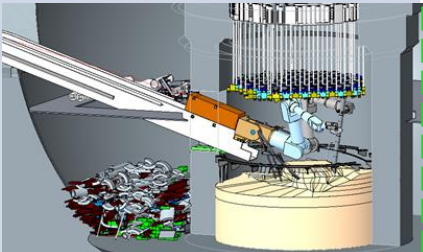
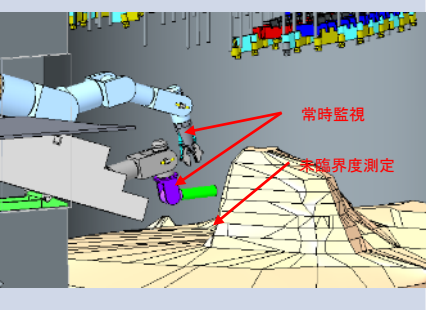
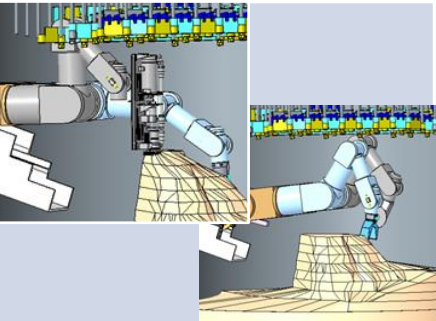
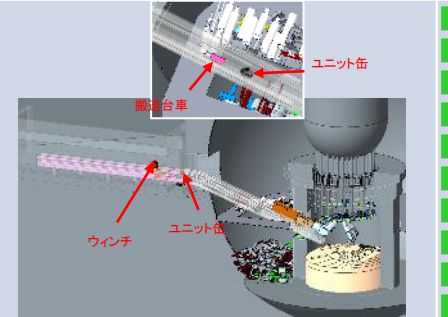
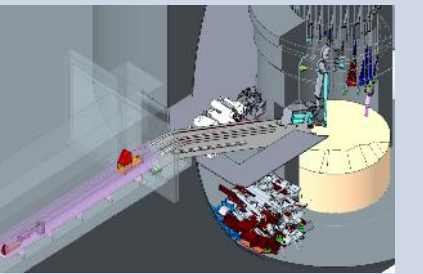
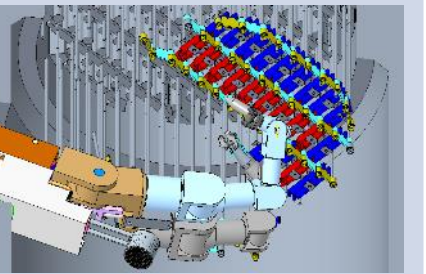
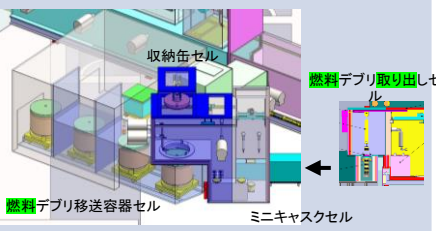
① 大型重量構造物の設置

(5) 実施事項とその関係、他研究との関連

✓ 本研究の実施項目及び実施項目間の関連性

 : 2021-2022年度で大型構造物の設置で対象としている項目

 : 2021-2022年度に特に検討対象としている項目

作業ステップ	固定式レール設置 (固定レール式双腕アーム)	ペDESTAL内干渉物撤去 (3) (固定レール式双腕アーム)	未臨界度測定	燃料デブリ取り出し (固定レール式双腕ロボット)
ステップ図				
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施
作業ステップ	燃料デブリの搬出	燃料デブリ取り出し (液圧式アーム)	CRD撤去	燃料デブリの払い出し
ステップ図				
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 2021-2022年度先端ツールの切削機能確認、障害物自動回避機能の開発実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2017-2020年度: 工法概念検討実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2019-2020年度: 工法概念検討実施

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 目的

- 大型重量構造物であるセル構造をPCV接続部に取り付ける為には、原子炉建屋内の床荷重制限を満足しつつ、セルを精度よくPCVとの接続部に位置出し、PCVの開口部に閉じ込め機能及び地震変位対処機能を備えた構造を介して遠隔接続する為の構造及び要求事項の明確化。
- 横取り出し工法の燃料デブリ取り出し設備に適用できる床荷重の制約を守り、且つ閉じ込め機能等を有するアクセス用設備の具体化を図る。

✓ 目標

- アクセス用設備を構成するセルアダプタ、遮蔽扉及びセルの構造を具体化する。
- 閉じ込め機能、地震変位吸収機能の仕様と構造を検討する。
- また、構造検討において、据付要求精度や据付時の位置調整方法を加味する。

✓ 既存技術との比較

- アクセス用設備の構成機器であるセルアダプタ、遮蔽扉及びセルは、既存の原子力施設に存在する技術である。
- 既存技術に対して、福島第一原子力発電所の既設原子炉建屋内へ大型重量物構造物であるアクセス用設備を精度良く据え付けること、また、セルアダプタに関しては遠隔操作による据付作業となる為、据付装置への要求事項を満足させる必要がある。

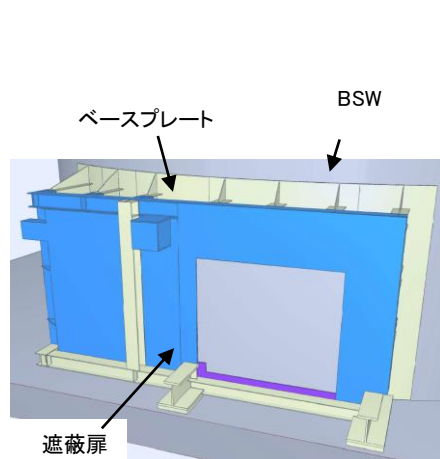
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

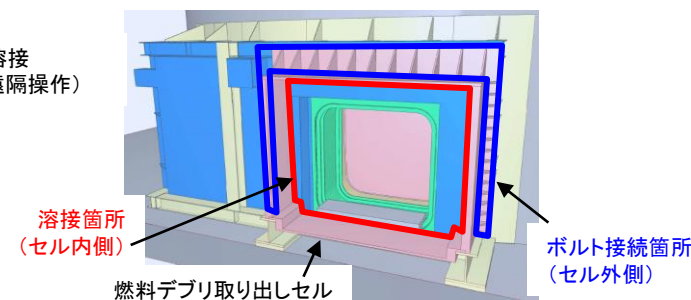
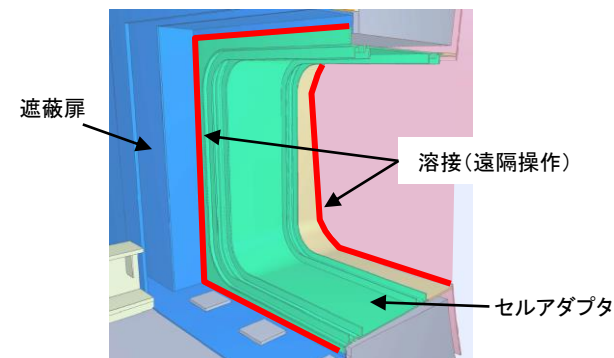
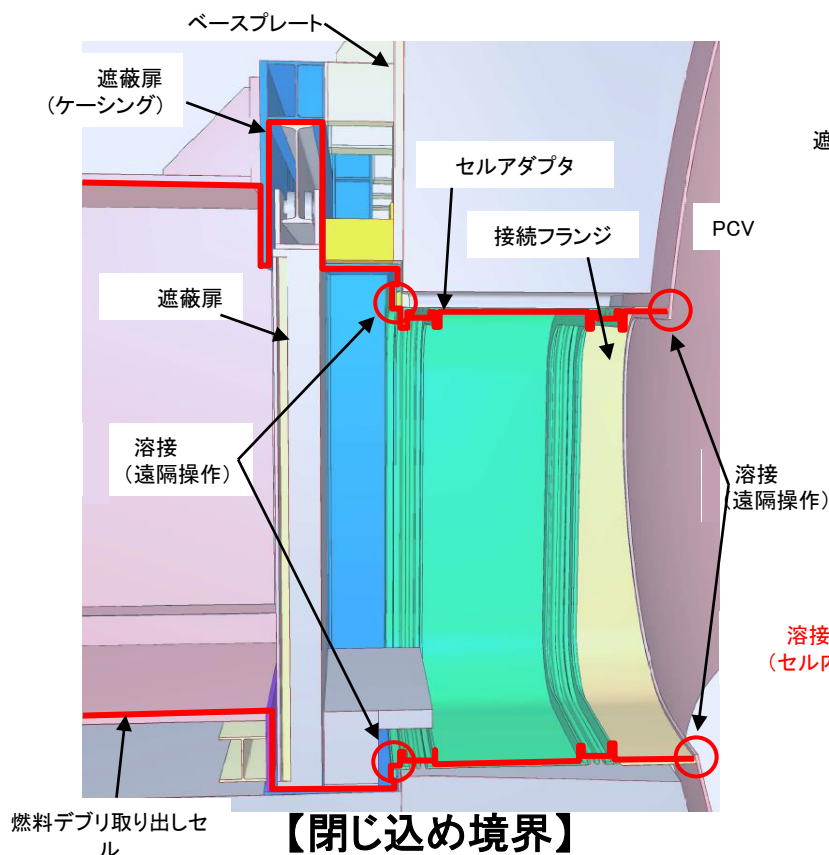
1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(1/7)

- BSWに荷重を支えるベースプレートを設けて遮蔽扉を設置
- PCVと遮蔽扉間はセルアダプタを溶接接続
- 遮蔽扉と燃料デブリ取り出しセルは溶接/ボルト接続
- 燃料デブリ取り出しセル、遮蔽扉(ケーシング)及びセルアダプタにて閉じ込めバウンダリを構成



【遮蔽扉設置イメージ】

- 【各質量】
- ・セルアダプタ: 3 ton
 - ・ベースプレート: 70 ton
 - ・遮蔽扉: 25 ton
 - ・燃料デブリ取り出しセル: 140 ton
 - ・セル内機器/付属機器(余裕分含む): 42ton



【各接続方法】

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

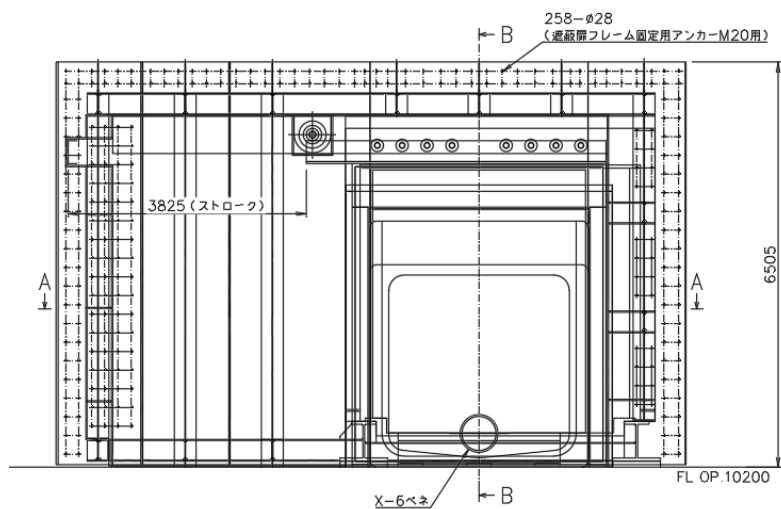
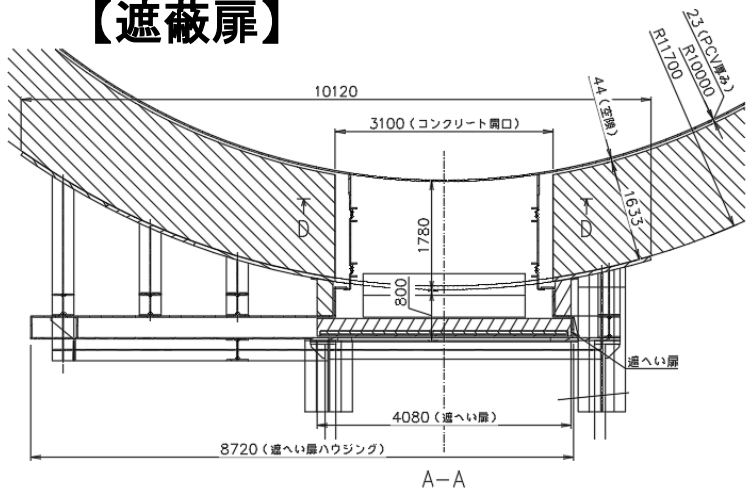
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

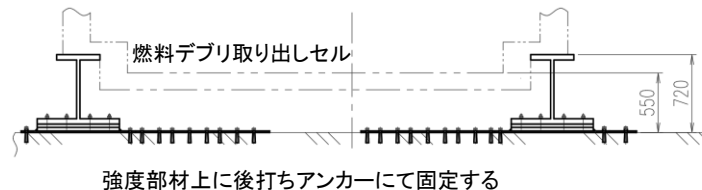
✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(2/7)

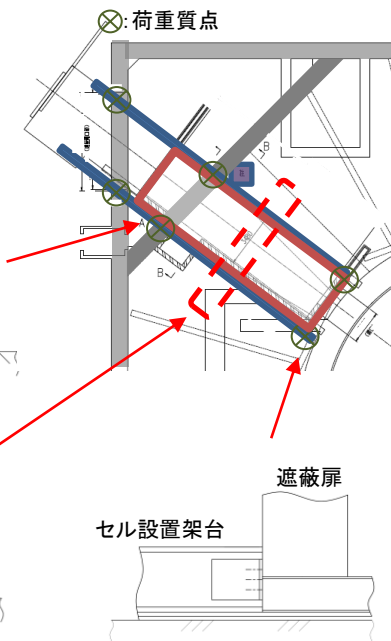
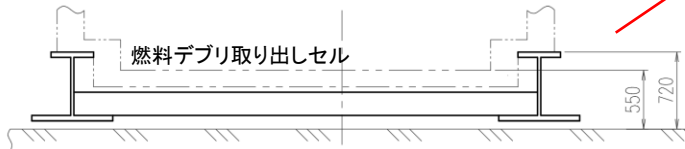
【遮蔽扉】



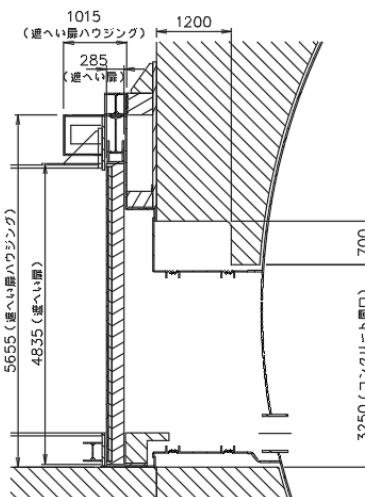
セル設置架台 アンカー打設部(拡大図)



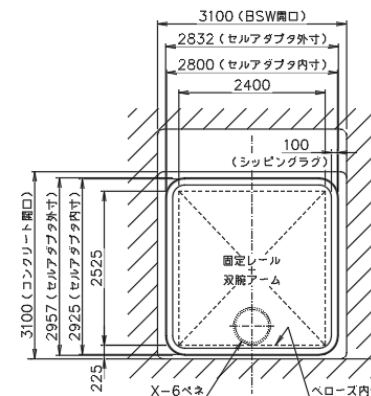
セル設置架台 (拡大図)



遮蔽扉とセル設置架台の接続部(拡大図)



B-B



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(3/7)

【バウンダリ部】

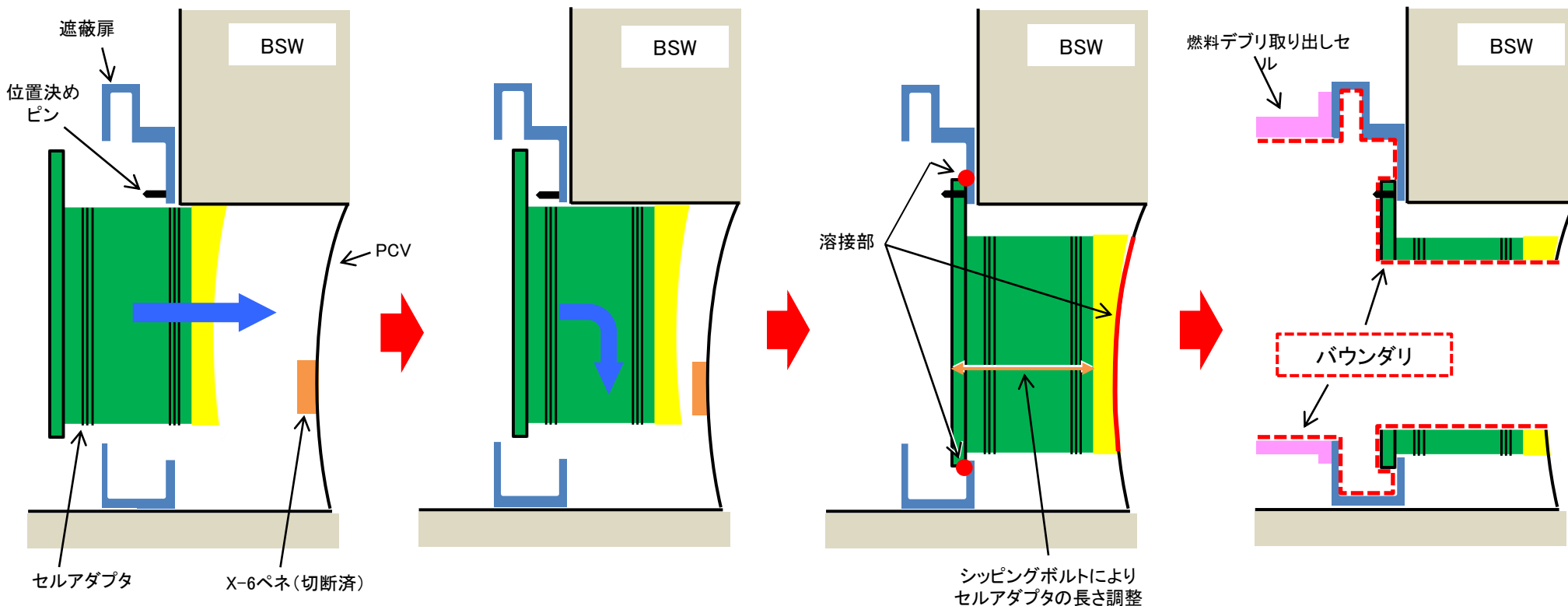
セルアダプタのフランジ部を遮蔽扉に引っ掛けることができる構造

【セルアダプタの搬入①】

【セルアダプタの搬入②】

【セルアダプタの長さ調整／仮止め／溶接】

【PCVの開通】



6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(4/7)

セルアダプタ、BSW開口および遮蔽扉の寸法設定根拠を以下のとおり整理する。

<幅/高さ> ⇒ アーム&レールサイズの必要開口から挿入時裕度100mm※を確保しBSWの開口サイズを設定

No.	名称	幅 (mm)	根拠	高さ (mm)	根拠
1	必要開口 (アーム&レール)	2,400	アーム&レール	2,525 225	アーム&レール 床からの高さ
2	セルアダプタ内寸	2,800	200mm(= SHIPPINGラグ高さ100mm +裕度100mm) × 2 = 400mm	2,925 (2,525+400)	200mm(= SHIPPINGラグ高さ100mm +裕度100mm) × 2 = 400mm
3	セルアダプタ外寸	2,832	板厚16mm × 2 = 32mm	2,957	板厚16mm × 2 = 32mm
4	BSW開口	3,032 ≒ 3,100	外寸+裕度100mm × 2 (=200mm)	3,057	外寸+裕度100mm (床面からセルアダプタ外寸+100mm)

※ 裕度値は、大型重量物の設置における当社工事実績から設定したものである。

<長さ/奥行> ⇒ PCV鋼板から遮蔽扉までの距離を計測し決定する。

No.	名称	長さ (mm)	根拠
1	セルアダプタ	約1,780 (実際には測定結果 に合わせる)	PCVとBSWの隙間(44mm)、BSWの厚さ(1,676mm)、ベースプレート板厚(60mm)、 44 + 1,676 + 60 = 1,780mm
2	遮蔽扉の奥行	800	固定レール用架台(350mm)、遮蔽扉厚(285mm)、遮蔽扉板厚(45mm、20mm)、隙間合計(100mm) 350 + 285 + 45 + 20 + 100 = 800mm

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

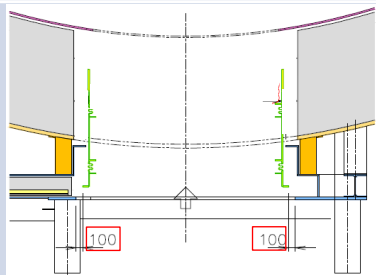
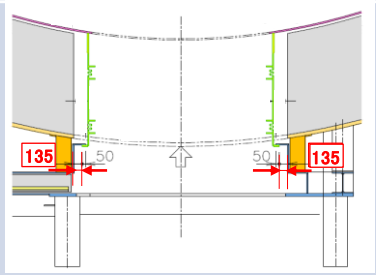
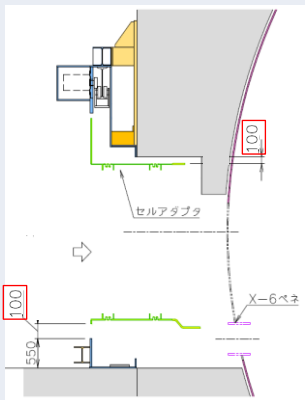
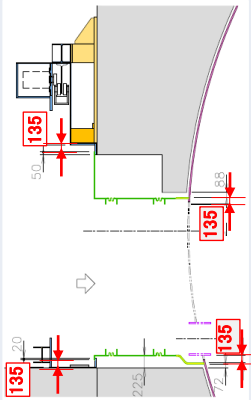
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(5/7)

セルアダプタ搬入時の遮蔽扉、BSW開口とのクリアランス⇒遠隔溶接ロボットからの要求寸法から設定

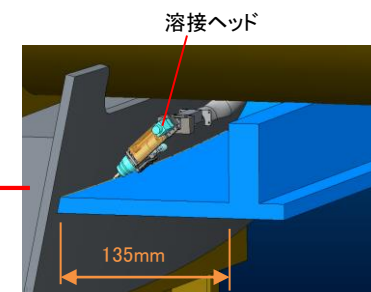
		据付け挿入時の隙間 (ステップ1:干渉回避)	設置完了時 (ステップ2:溶接施工用隙間確保)
クリアランス	幅	200mm (100+100)	270mm (135+135)
	高	200mm (100+100)	270mm (135+135)
平面			
側面			

遠隔溶接ロボットからの要求



溶接供試体
模擬X-6ペネ マニピュレータ (IRID所有品)

狭隘部溶接イメージ



溶接ヘッドのアクセスの為溶接部は最低135mmのクリアランスが必要

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.43

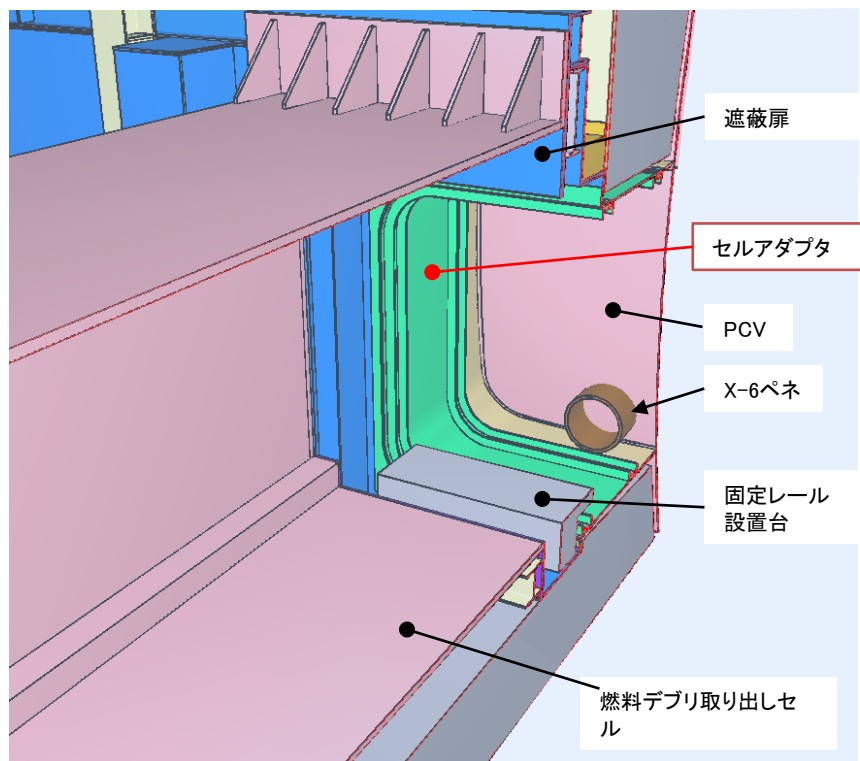
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(6/7)

【バウンダリ構造3D-CAD】

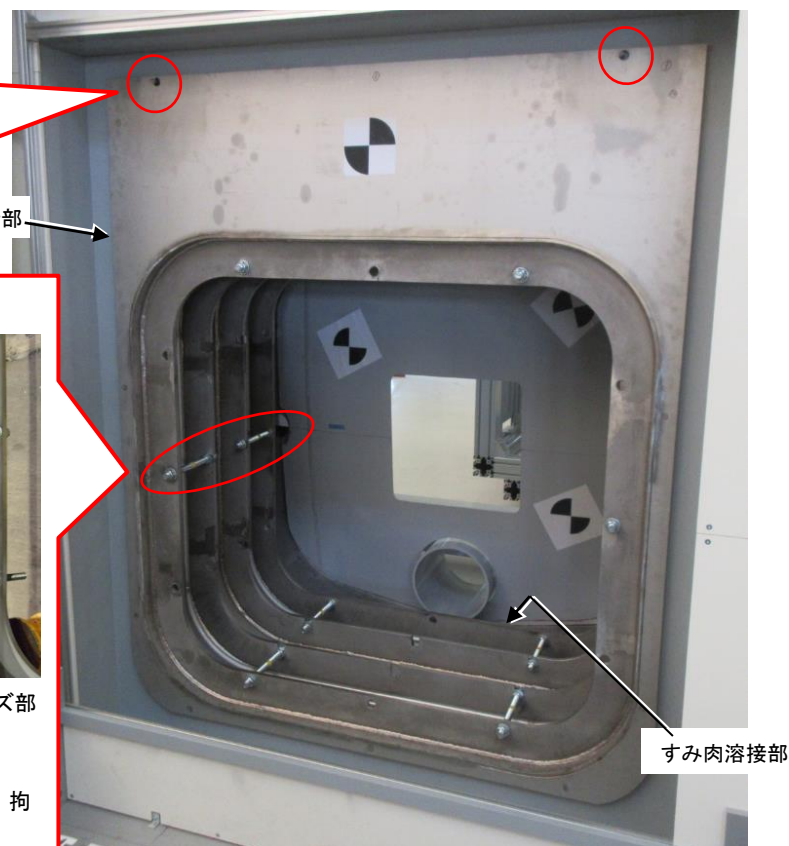
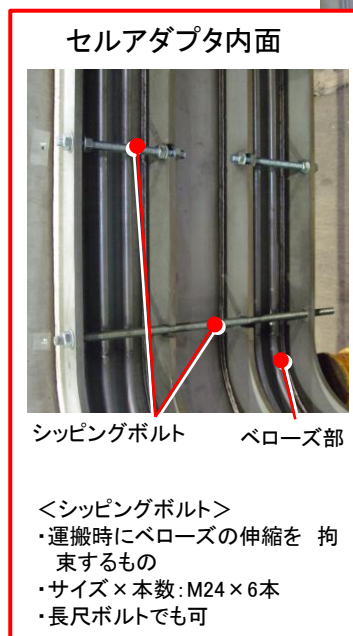


【セルアダプタ(角型ベローズ)の原子力施設の使用実績例】

- ・高速増殖実験炉 主排気ダクト
- ・高温焼却炉排ガス処理設備
- ・グローブボックス間接続



すみ肉溶接部 (Welded joint)



6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

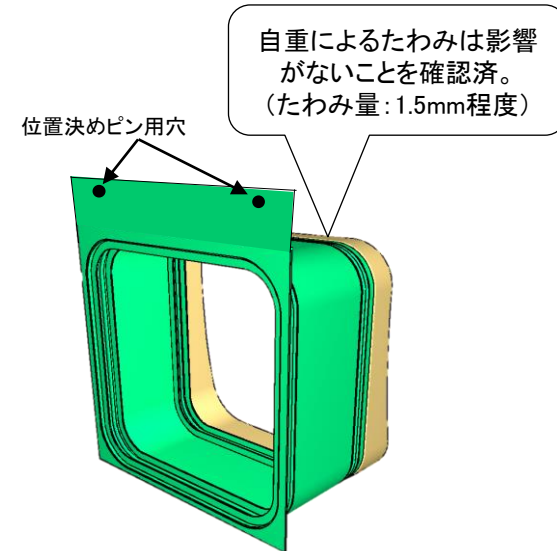
(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

1)PCVとのバウンダリ部の接続構造(7/7)

【セルアダプタの設計仕様】

No.	項目	単位	数 値
1	サイズ	mm	2800 × 2925
2	全長	mm	1500
3	材質	—	SUS
4	設計圧力	kPa	20.0
5	設計温度	°C	40.0
6	軸方向変位置量(水平)	mm	10.0 / -10.0
7	軸直方向変位置量(垂直)	mm	5.0 / -5.0
8	位置決めピン(取り合い穴)	本	2本



No.4 設計圧力

- 可逆性を確保する為に、PCV鋼板開口後も必要に応じて水が張れるように水圧に耐えられる設計。
- セルアダプタに付加される最大水頭圧から、セルアダプタの設計圧力を設定。

$$\text{最大水頭圧} = \text{TP10064(現状水位)} - \text{TP8764(R/B1FL)} = 1.3\text{m}(0.0127\text{MPa(g)}) \approx 0.02\text{MPa(g)}$$

No.5 設計温度

- PCV内温度より設定

No.6,7 軸方向変位置量/軸直方向変位置量

- 2022年2月22日東電殿入手資料より、以下のとおり設定。

(1)水平は最大値1.2mmに対して、900galの場合を考えて、十分余裕をとり±10mm。

(2)垂直は水平の1/2 = ±5mm。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

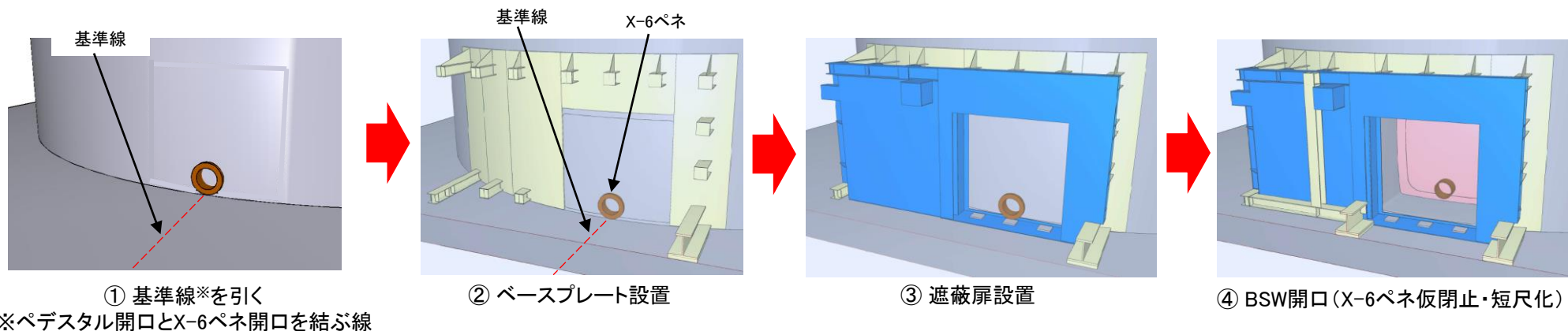
No.45

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

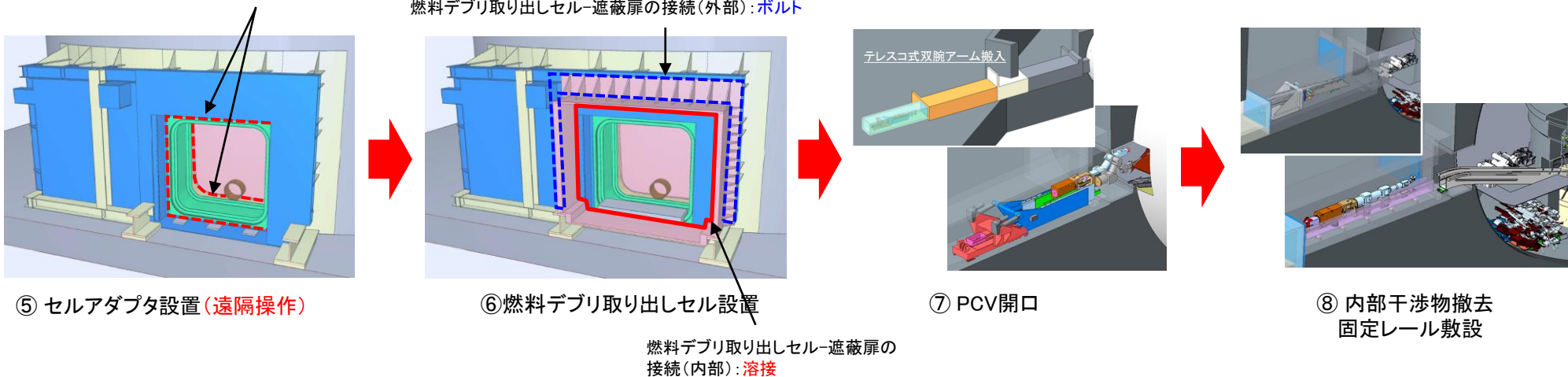
✓ 実施事項、成果

2)PCVとのバウンダリ部の接続手順(案)



遮蔽扉-セルアダプタの接続: 溶接(2箇所)

燃料デブリ取り出しセル-遮蔽扉の接続(外部): ボルト



① 大型重量構造物の設置

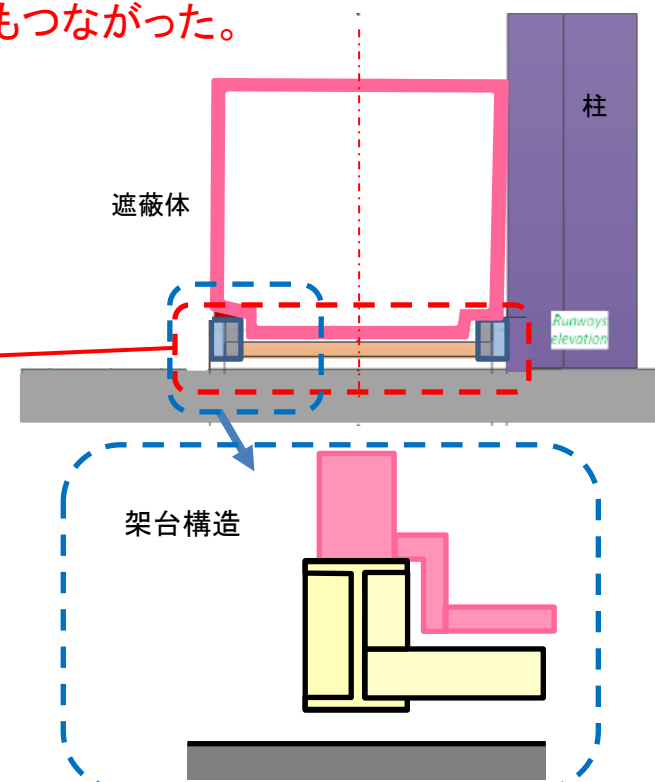
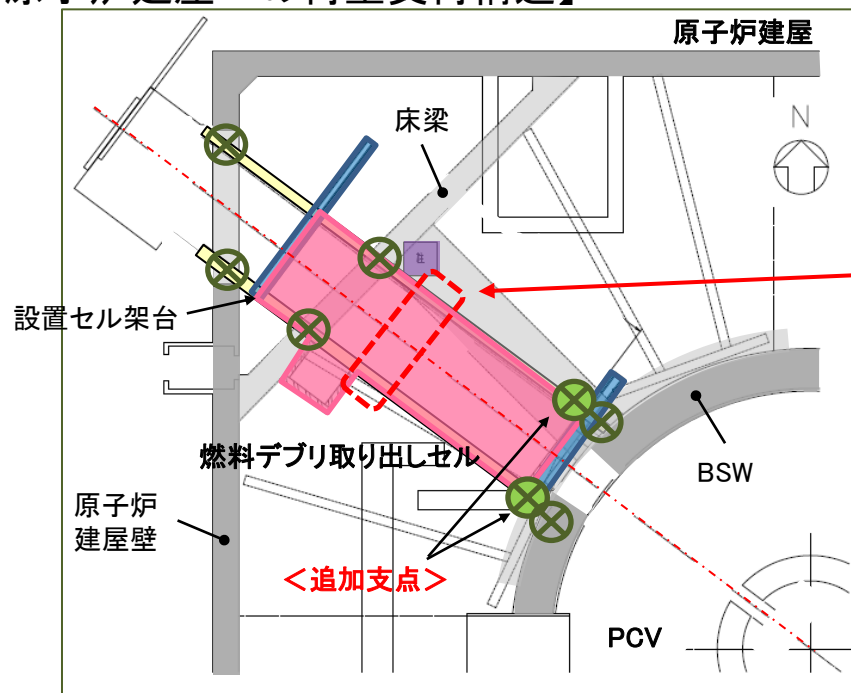
(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

3-1)アクセス用設備の強度検討 ～ 設置架台による床面荷重の分散化

- 遮蔽体の合理化も加えることにより、セル重量は、270ton。
- セル重量は直接原子炉建屋床面に分散荷重せず、原子炉建屋の床梁や壁の強度部材にて支える構造とした。
- 現場調査結果等から、BSWに加え近傍床も強度部材として採用する見通しを得ることができた為、評価の見直しを行った (⊗:荷重支点 / ⊙:追加支点)。
- その結果、施工性が改善でき、作業員の被ばく低減の改善にもつながった。

【原子炉建屋への荷重負荷構造】



6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

3-2)アクセス用設備の強度検討 ～ セル設置架台固定用アンカーボルト評価

目的:BSWへのアンカー打設は、作業員被ばく低減の観点から施工性の改善が必要と判断。

BSWのアンカー打設範囲が広い2021年度実施分成果*報告時の架台形状を見直した。

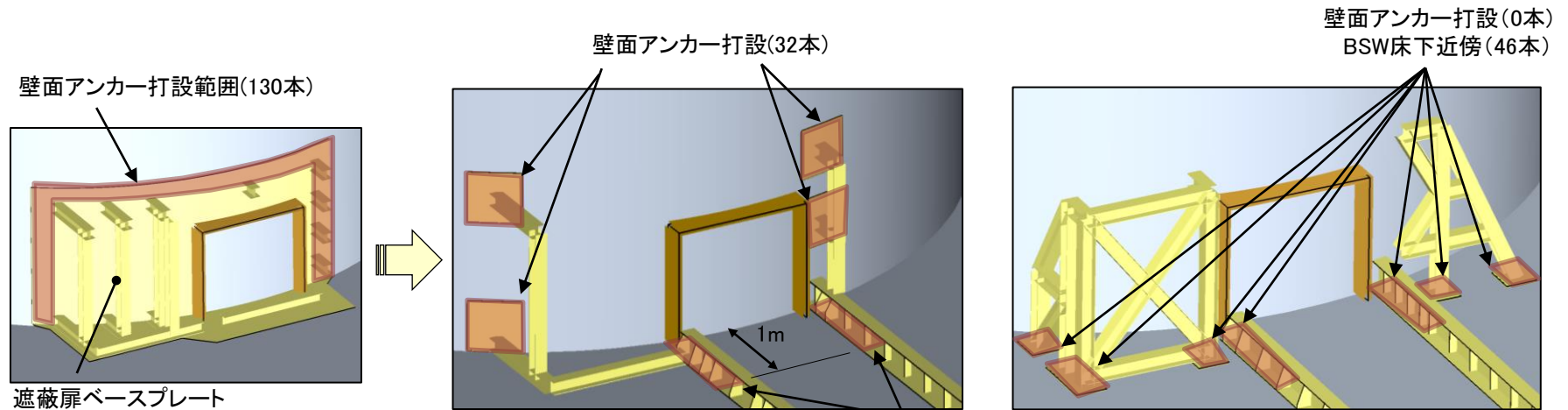
【ケース1:主案】 BSW及び床面支持案

➤ セル設置架台のアンカー打設範囲をBSWのみから、BSWとその床下近傍及び一部床梁に分散。

【ケース2:追加検討】 床面全面支持案

➤ 更なる低減を目指してケース1からBSWへのアンカー打設をなくした極端なケースを検討。

➤ セル設置架台のアンカーをBSWのみから、BSWの床下近傍及び床梁に分散、架台を補強。



2021年度実施分成果(*)報告時
燃料デブリ取り出しセル構造

ケース1:主案

ケース2:追加検討

(*) https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022007_deburitoridashi.pdf

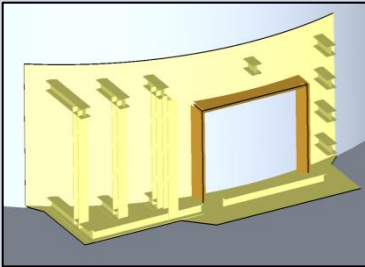
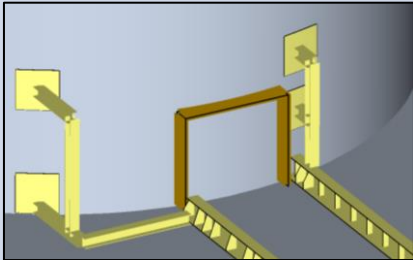
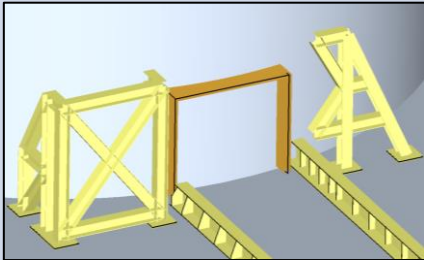
6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

3-2)アクセス用設備の強度検討 ～ セル設置架台固定用アンカーボルト評価

項目		前回報告時	ケース1:主案	ケース2:追加検討
BSW壁面構造				
ボルト 本数	BSW壁面	130本	32本	0本
	BSW床下近傍	0本	48本	46本
	他、セル設置架台部	277本	148本	62本
	合計	407本	228本	108本
メリット		<ul style="list-style-type: none"> BSW壁面と建屋壁面で構造物を支持する斜材の無いシンプルな構造 	<ul style="list-style-type: none"> BSW壁面アンカー打設本数の低減 全体のアンカー打設本数を低減 	<ul style="list-style-type: none"> BSW壁面アンカー打設本数の低減 全体のアンカー打設本数を低減
デメリット		<ul style="list-style-type: none"> BSW壁面のアンカー打設本数が比較的多い 全体のアンカー打設本数が比較的多い 	<ul style="list-style-type: none"> セルを支える耐震用斜材、もしくは、セルの剛性を上げる必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽扉を支える架台が必要 セルを支える耐震用斜材、もしくは、セルの剛性を上げる必要がある

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

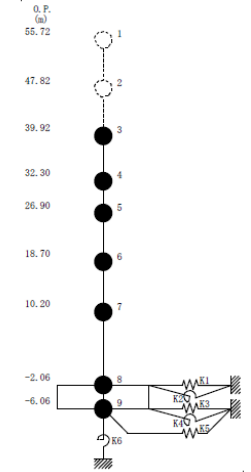
(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

3-3)アクセス用設備の強度検討 ～ 原子炉建屋強度評価

(BSW、原子炉建屋壁面開口をモデル化した概略強度評価)

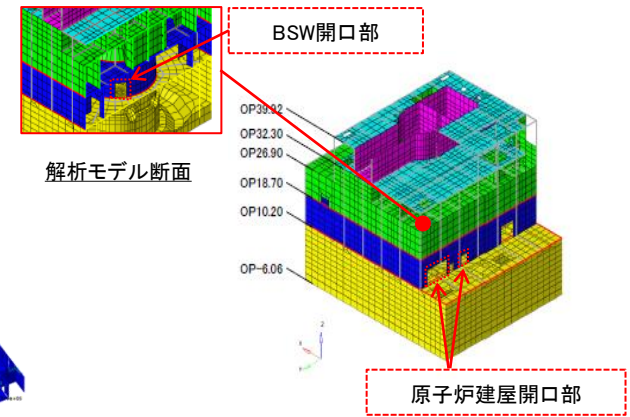
- 解析モデル:現状の3号機原子炉建屋モデルに、アクセス用設備の設置に必要なBSW及び原子炉建屋壁面の開口部を反映し、横取り出し工法を考慮した重量条件を負荷した多質点モデル(建屋-地盤連成系モデル)
- 地震動:安全側に厳しい値として検討用地震動Ss900に対する地震応答解析を実施
- 地震応答解析結果:耐震壁のせん断ひずみ(0.19×10^{-3})は、評価基準値(4.0×10^{-3})に対して十分余裕があることを確認した。



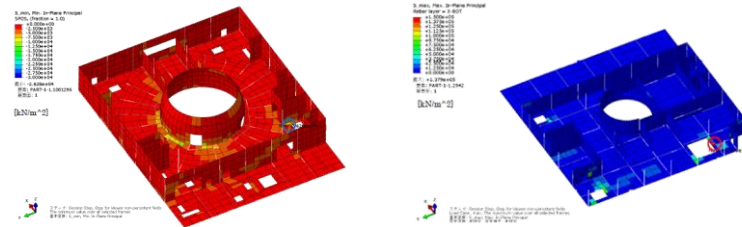
地震応答解析モデル

(開口をモデル化した詳細強度評価)

- 3次元弾塑性FEM解析モデルにて、長期鉛直荷重(自重)及び地震時荷重に対し、原子炉建屋の耐震壁の機能維持検討を実施した。
- 評価の結果、コンクリートの圧縮ひずみ(957μ)及び鉄筋の引張ひずみ(673μ)は、評価基準値(圧縮ひずみ: 3000μ 、引張ひずみ: 5000μ)以下であることを確認した。



3次元弾塑性FEM解析モデル



6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

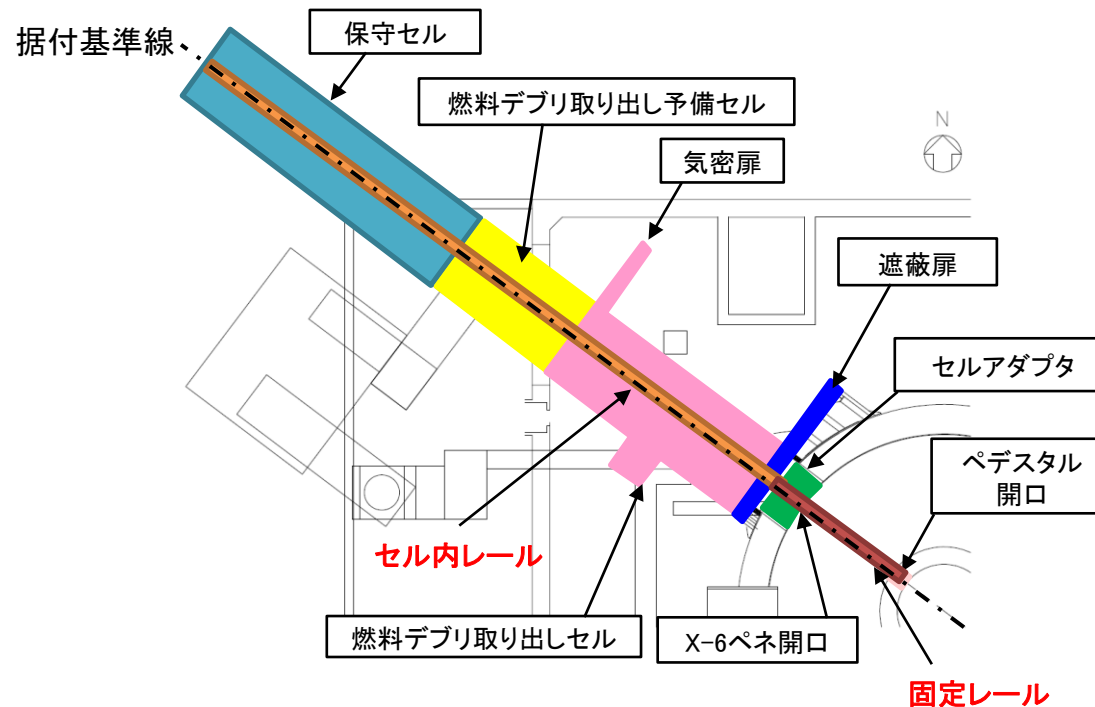
(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(1/7)

a)据付時の要求

- ペDESTAL開口に対してX-6ペネ開口部からロボットアームが直線的にアクセスできるルートを構築する。
- つまり、固定レール及びセル内レールをペDESTAL開口部とX-6ペネ開口部を結ぶ直線軸上に設置する必要がある。



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(2/7)

b)据付時のズレの発生

[1] 回転方向 (ある中心に向かった線からの角度的なズレ方向) (基準線からのズレ角度)

角度に対しては、中心位置から距離が遠くなる程、ズレ量が大きくなる。

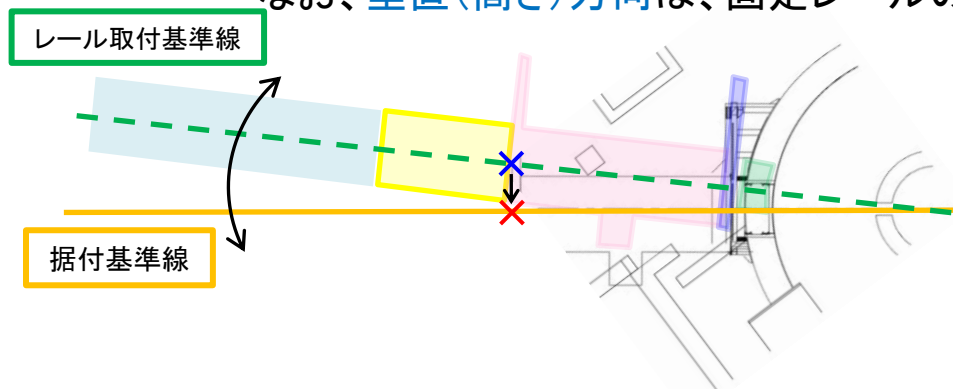
→中心位置から可能な限り距離を取った位置にて、据付基準線とレール取付基準線を合わせる
ことによりズレ量を抑えることが可能。

[2] 水平方向

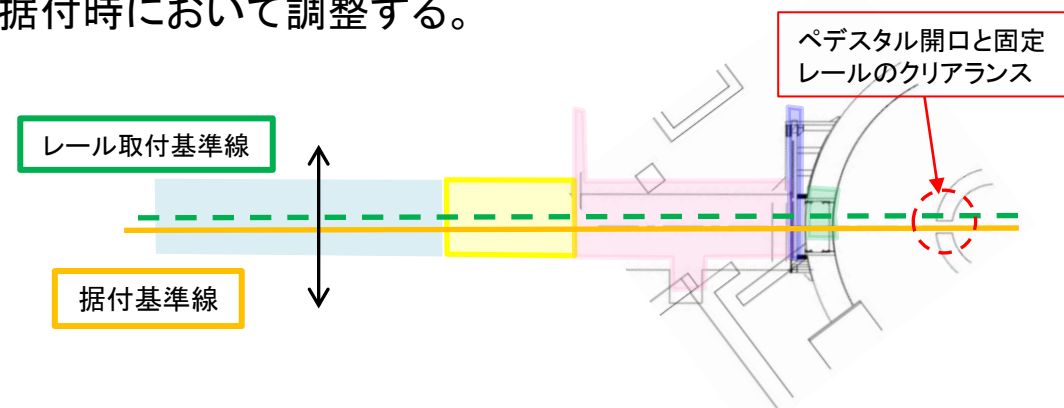
ペDESTAL開口と固定レールのクリアランス内にて、据付時のズレ量を抑える。

→他の部位、例えばBSWとセルアダプタのクリアランスは、ズレ量を十分に確保することが可能
であり、それにより対応可能。

なお、垂直(高さ)方向は、固定レールの据付時において調整する。



[1] 回転方向



[2] 水平方向

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(3/7)

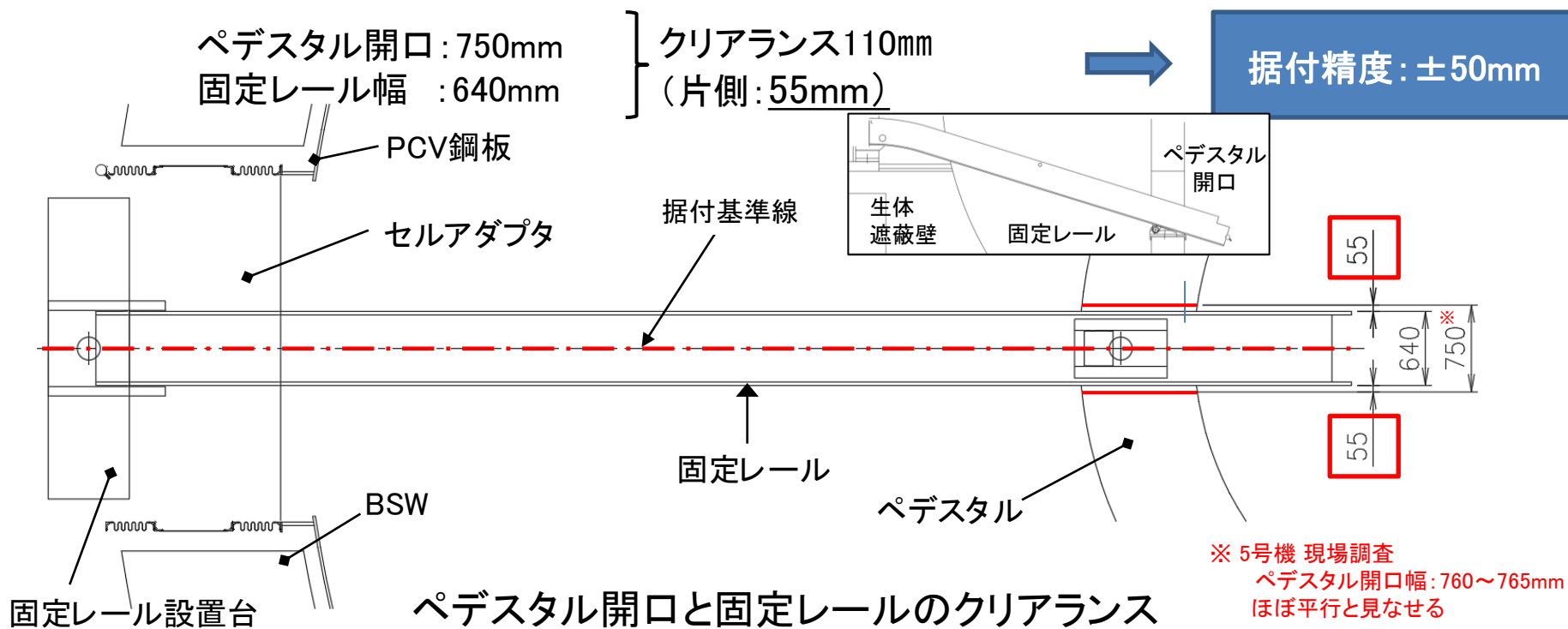
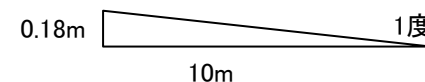
c)回転方向の据え付け精度の設定

➤ 1度以内とする。(暫定:下記水平精度との分配を図る。)

d)水平方向の据付精度の設定

➤ ペDESTAL開口と固定レール幅のクリアランス内にて据え付ける必要がある。

➤ 以下の通り、据付精度を設定する。



ペDESTAL開口と固定レールのクリアランス

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(4/7)

e)その他:セルアダプタの据付精度

セルアダプタの据付時の中心軸が上下、水平方向にずれた場合に開先ギャップに関する影響度を評価。

【評価条件】

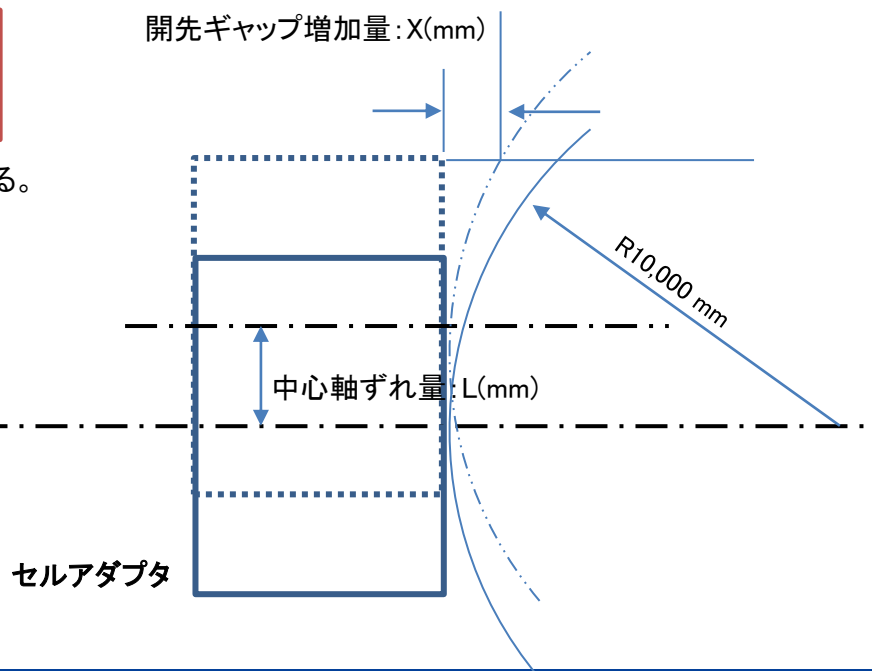
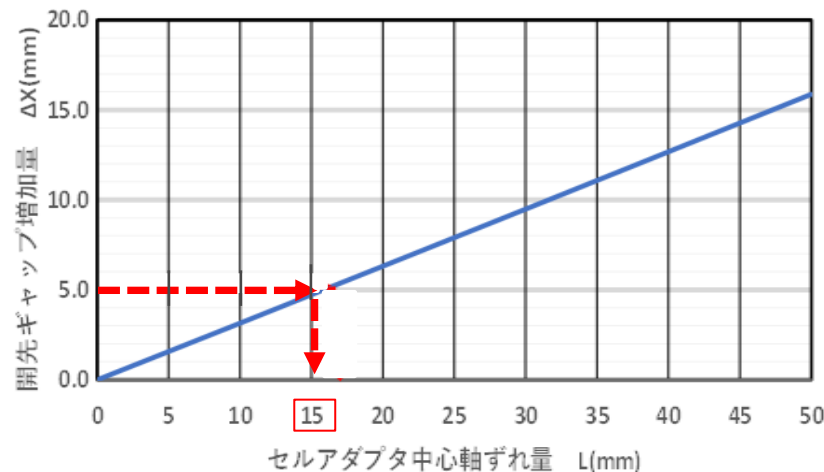
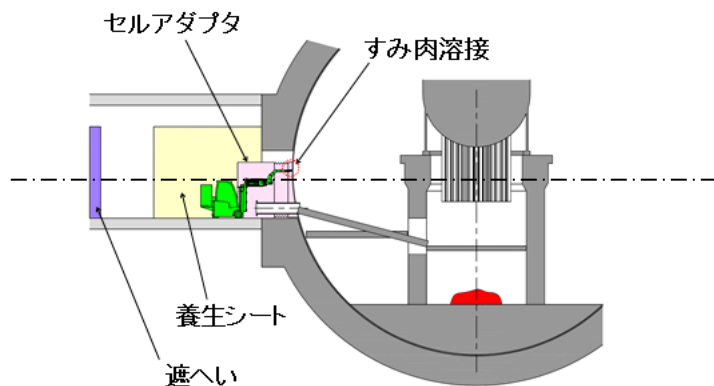
PCV外径=20,000mm

セルアダプタ寸法=3,000mm

※セルアダプタの中心はPCV球殻部中心と仮定

溶接部の隙間5mm以内に抑える必要がある為、
セルアダプタ据付精度: 15mm以内

※セルアダプタは、据付位置を調整して溶接部の隙間が5mm以内となるように合わせる。
 なお、必要に応じて、セルアダプタを押し付けることにより隙間を無くすことも考える。



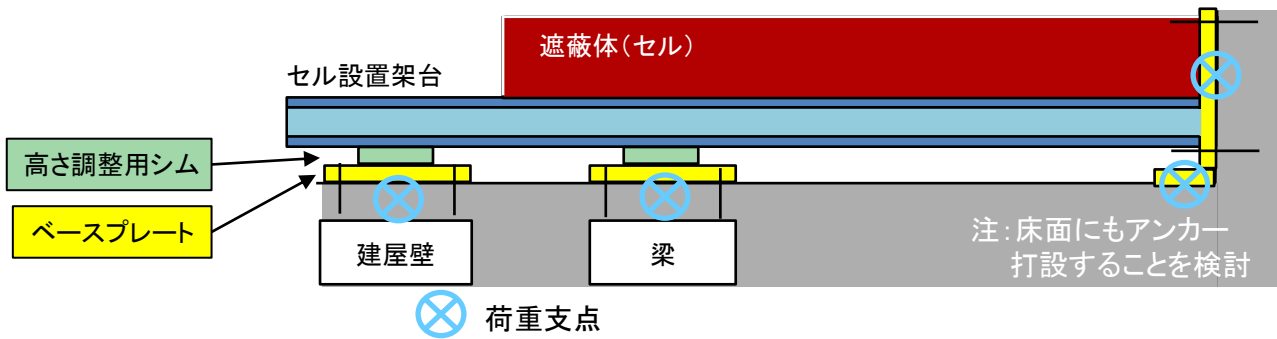
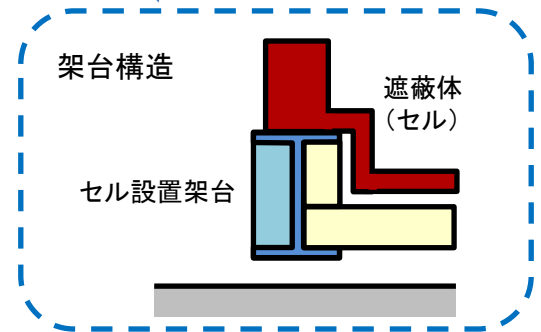
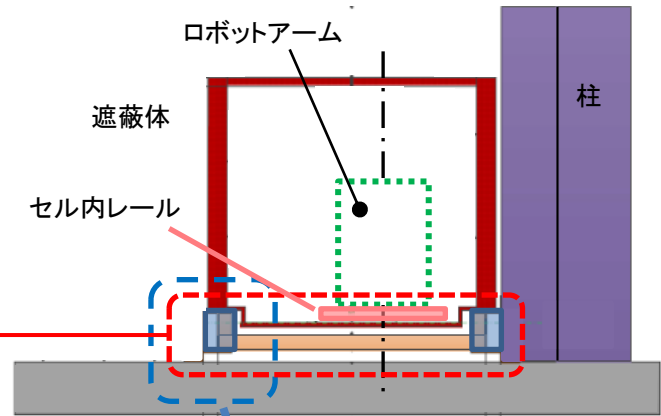
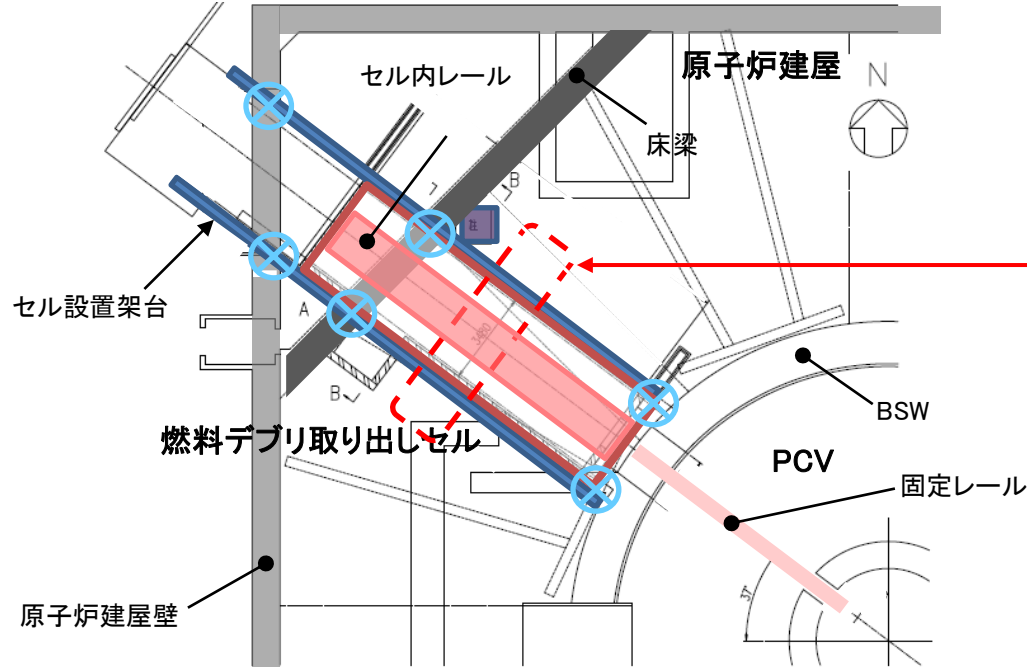
6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(5/7)



- セル重量を直接原子炉建屋床面に分散荷重せず、原子炉建屋の床梁や壁の強度部材にて支える構造とする。
- 原子炉建屋床面へのセル設置架台の固定方法。
 - 原子炉建屋床面にベースプレートを設置
 - ベースプレートにセル設置架台を溶接固定 (高さ調整はシム板により行う)

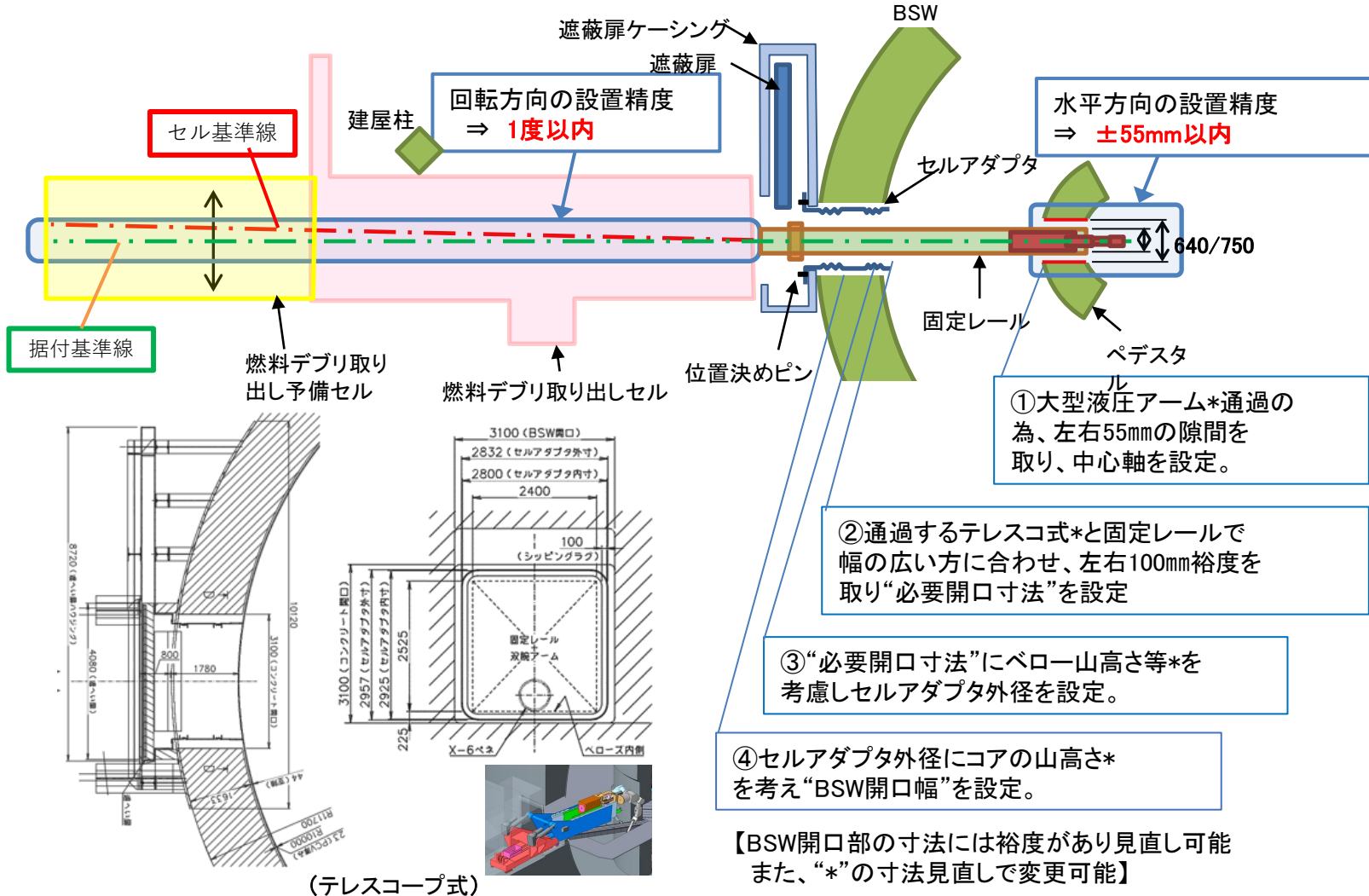
6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(5/7) - 据付方法について



【BSW開口部の寸法には裕度があり見直し可能
また、“*”の寸法見直しで変更可能】

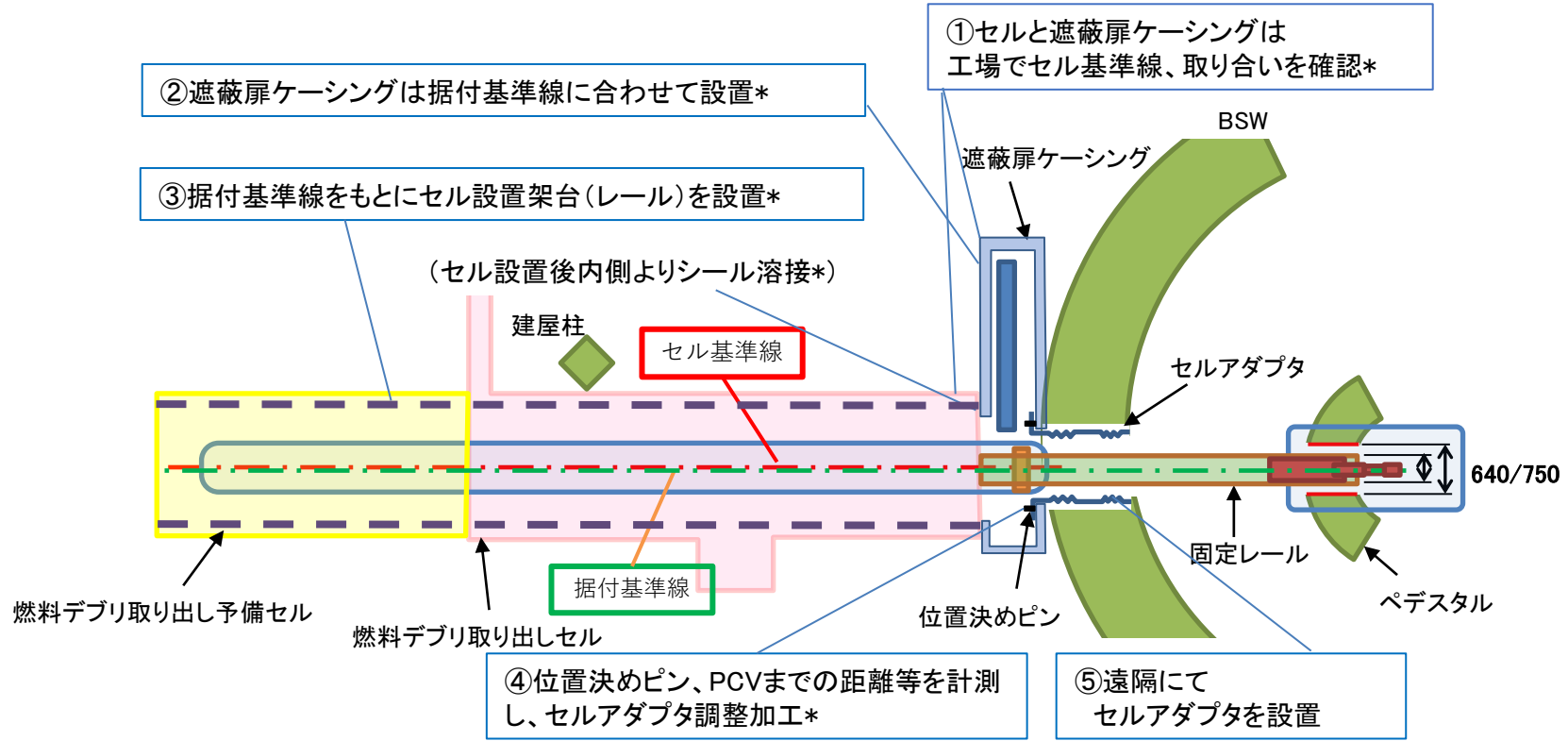
6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

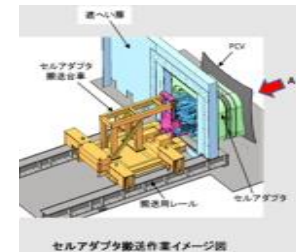
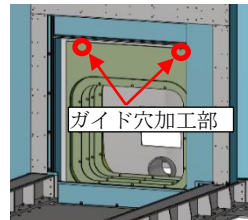
(6)実施事項 (6)-1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(5/7) - 据付方法について



【*: 遮蔽扉の活用等にて人手にて実施可能】



6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

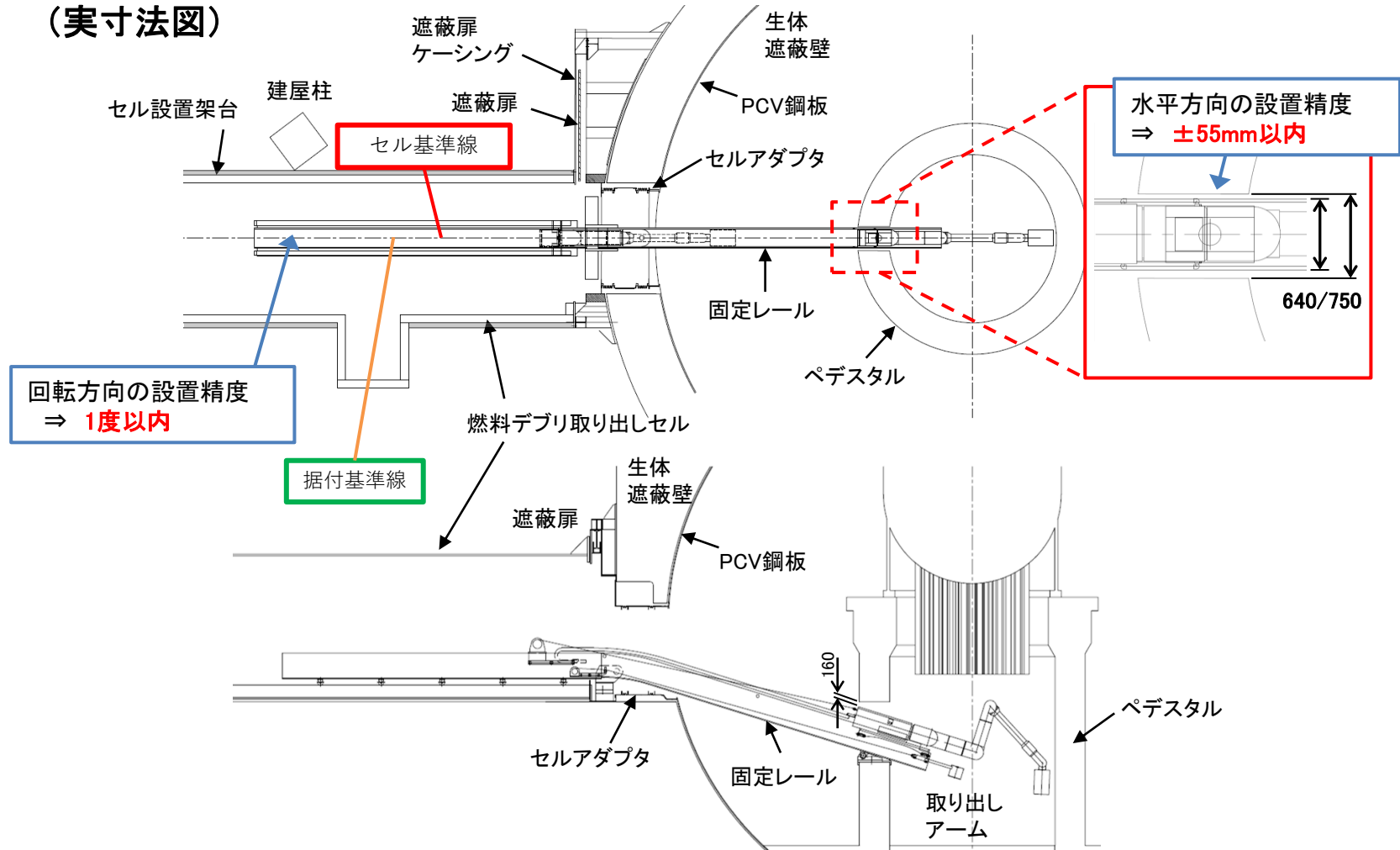
① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6) - 1 : a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4) アクセス用設備の据付要求精度の検討(5/7) - 据付方法について

(実寸法図)



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(6/7)

f) その他:据付作業中の地震発生時の対応

据付作業期間は、1年程度と短いものの、その作業中に地震が発生する可能性はある。ここでは、据付作業期間中に万が一地震が発生した場合の対応を整理する。

[1] 閉じ込め機能の維持について

- PCV壁面の開口作業は、アクセス用設備(セル)の据付を完了し、耐圧試験を実施した後としており、また、内部を負圧維持した状態で、ロボットアームにより実施する。従って、開口作業時に地震が発生してもPCV～セルアダプタ～遮蔽扉～セルにてバウンダリは確保されている。
- 原子炉建屋の外壁やBSWの開口作業時は、G/Hを設けることにより作業時に発生するダストの周囲拡散を防止対策する。

[2] 据付位置の地震によるズレの対応

- 大地震発生の場合は、据付基準線を引く為に設定した座標とR/BとPCVに設けておく基準点*とズレがないか確認する。
 - * :X-6ペネがある場合はX-6が基準点。
X-6ペネ撤去時にはR/BとPCVに新たに基準点を設けておく。

- ズレが確認された場合は、据付基準線を再設定して据付位置を再調整する。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 実施事項、成果

4)アクセス用設備の据付要求精度の検討(7/7)

g) まとめ(1/2)

1 据付要求精度

1)セル据え付け精度

①基準線に対して回転方向1度以内、水平方向±50mm以内

2)セルアダプタ

①据え付け線より±15mm以内

3)施工時の地震発生時の対応

①据付基準線とR/BとPCVに設けておく基準点とのズレの確認

2 構造の構築

1)PCV～セルアダプタ～遮蔽扉ケーシング～セルまでのバウンダリ構築

①ケーシング据付け、狭隘部作業、溶接作業を含め成立性の確認

②遠隔装置への仕様の提示(No.116に記載)

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.60

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-1 : a. アクセス用設備の構造詳細検討

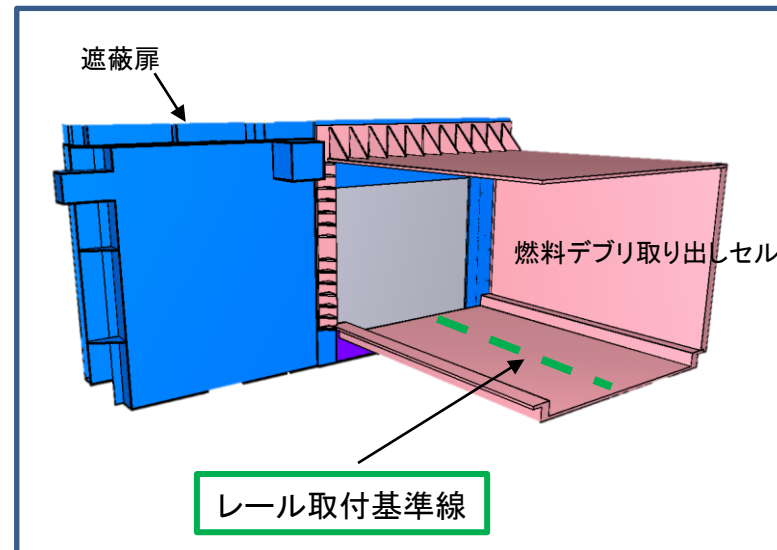
✓ 実施事項、成果

4) アクセス用設備の据付要求精度の検討(7/7)

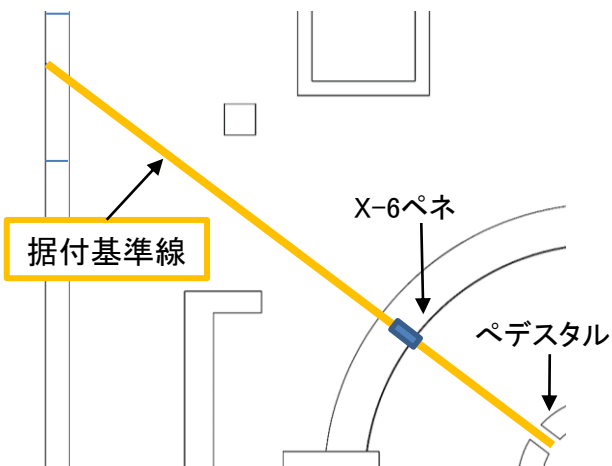
g) まとめ(2/2)

3 据付方法の方針

- [1] ペDESTAL開口とX-6ペネ開口を結ぶ据付基準線を設ける。
- [2] セル(遮蔽扉など含む)には、レール取付位置の基準線を工場にて組み上げた後に設定する。
- [3] 据付時は、セルのレール取付位置基準線と据付基準線を合わせたところへ据え付ける。

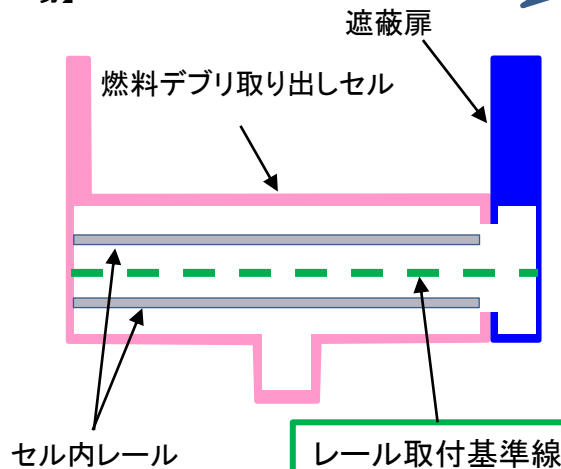


【原子炉建屋】



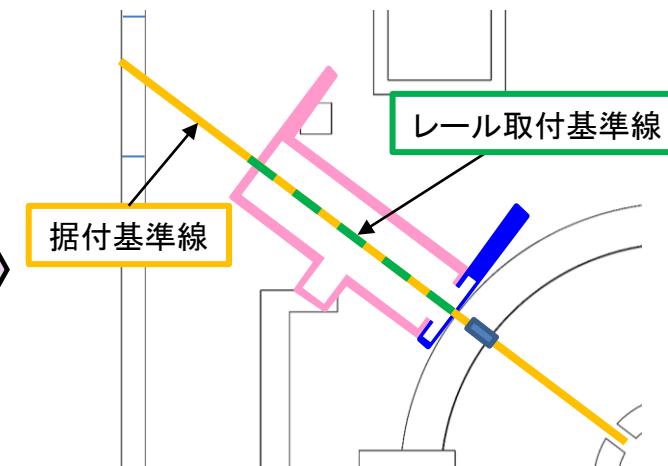
[1] 据付基準線の設定

【工場】



[2] レール取付基準線の設定

【原子炉建屋】



[3] レール取付基準線→据付基準線と合わせたところへ据付

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 成果の反映先への寄与

- 横取り出し工法の燃料デブリ取り出し設備において、**ペDESTAL開口部より内部の燃料デブリを取り出すアクセスルート構築の為のアクセス設備の具体化**ができる。
- アクセス用設備は、閉じ込め機能、**地震時の変位吸収機能を有**することができる。
- セルアダプタに関しては、据付時の作業員の被ばく低減の為、**遠隔据付作業工法を確立**できる。

✓ 現場への適用性の観点における分析

- セルアダプタは、BSW開口後、PCVからの高放射線環境下で設置する為に遠隔装置による据付（寸法、要求精度）を考慮している。（ご参照：No.35～40、42）
- 現場での溶接作業などを極力低減した構造としている。（ご参照：No.35～42）
- BSW開口後、作業手順等にて、遮蔽扉を閉止し、作業被ばく低減を考慮している。更に、万が一の可逆性を考慮し、遮蔽扉に閉止板を設置して完全に密閉できる構造としている。

（ご参照：No.35、36）

✓ 課題

- 遮蔽扉やセルは、BSWにベースプレートの後打ちアンカーにて取り付ける計画である。現場を調査して、**壁内の配筋の状況を確認した上で打設位置を考慮しベースプレートの固定部構造を検討・決定する必要**がある。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－1 :a. アクセス用設備の構造詳細検討

✓ 目標に照らした達成度

- 閉じ込め機能、地震発生時の変位吸収機能などを備えた**アクセス用設備の仕様と構造の具体化が図れた**。(ご参照:No. 35～40、42)
- 上記具体化においては、**据付精度や据付時の調整方法を検討し、その結果を構造へ反映した**。

✓ 今後の予定

- アクセス用設備の仕様及び構造に対して、更に実現可能な様に要素試験検証の結果をフィードバックして見直す。
- BSW開口時のダスト飛散影響を検討する。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

【目的】:大規模燃料デブリ横取り出し工法の現場適用を踏まえた実現性確認

【目標】:燃料デブリ取り出しに係るアクセス用設備据付の手順詳細化
手順を成立させる上での課題抽出及び課題解決方法の検討

✓ 既存技術との比較

- ・据付工法は『既存技術』を基に組合せや応用にて実施する。
一般的な技術及び過去の研究成果を活用に合わせて、福島安定化特有の環境(従事者被ばく低減・汚染拡大防止・ダスト低減等)を照らし合わせることで現実的な検討を行う。

✓ 実施事項、成果

- ・R/B内に設置するアクセス用設備(遮蔽扉、セルアダプタ、大型セル)の設置/据付に係る手順詳細化及び工法検討の検討。

【成果】:① アクセス用設備に係る全体手順の詳細化(据付ステップ)
② 技術的難易度が高いと考えられるセルアダプタの据付手順の詳細化(据付ステップ)
③ 据付手順の課題抽出・課題解決方法の明確化

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

【成果】全体ステップ図

	1. 原子炉建屋屋外整地作業	2. 原子炉建屋内RHR配管撤去	3. X-6ペネ周辺・エアロック前BSW撤去
イメージ図	<p>整地範囲 西側道路</p> <p>現状の屋外 整地作業後</p>	<p>RHR配管 機材搬入経路 作業員はエアロックから立ち入り</p> <p>隔離部屋イメージ RHR配管切断イメージ</p>	<p>機材搬入経路 作業員はエアロックから立ち入り ステップ①: BSWの撤去 ステップ②: 仮設遮へいの設置</p>
手順	<p>R/B建屋外の西側エリアの盛土をR/B建屋床面と同じフロアレベルとなるよう平坦化処置する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋内: TP.8.9m 原子炉建屋外: TP.9.4m ⇒ TP.8.9m 	<p>RHR配管周辺線量および配管内残留物確認後、遮蔽材・サポートを撤去する。</p> <p>配管切断用にG/Hを設置し、配管撤去範囲の両側内部にバルーン設置及び発泡材充填後、配管切断し開口部を閉止する。</p>	<p>X-6ペネ周囲遮蔽壁及びパーソナルエアロック前・西側通路BSWを電動重機により撤去、パーソナルエアロック前に仮設遮蔽設置する。その後BSW表面形状の3D計測を行う。</p>
課題	埋設物がある場合は埋設処理等	作業時のダスト抑制対策 RHR配管切断時の発砲材充填方法	エアロック前BSW撤去方法(遠隔重機) 追加仮設遮蔽の具体化

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

□ □ : 今回の検討対象

【成果】全体ステップ図

		課題：野書き精度	課題：構造の具体化
	4. R/B建屋壁開口作業	5. 建屋内外芯出し(据付基準線)野書き作業	6. 遮蔽扉ベースプレート設置
イメージ図			
手順	<p>飛散防止処置として屋内はG/H・ビニール養生、屋外は簡易テントハウスを設置、被ばく防止処置(仮設遮蔽設置)し、建屋壁をワイヤソーで3箇所開口。</p>	<p>R/B建屋内のBSW(開口部)、遮蔽扉ベースプレート設置位置及びセル設置架台敷設位置等の野書きを行った後に屋外ヤードに床面の野書きを延長する。</p>	<p>鉄筋探査を行った後、遮蔽扉ベースプレートを後施工アンカー打設により固定する。</p>
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・グリーンハウスの構造 ・開口時の飛散防止対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・据付基準位置の把握手法 ・床面レベル出し方法(要求精度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・埋設物(鉄筋等)対応 ・搬入・設置方法検討

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

【成果】全体ステップ図

: 今回の検討対象

	課題：設置方法検討	課題：野書き精度	
イメージ図	<p>7. 遮蔽扉設置</p> <p>遮蔽扉設置イメージ</p>	<p>8. セル設置架台敷設</p>	<p>9. 屋外テントハウス設置</p>
手順	<p>遮蔽扉フレーム/遮蔽扉を設置用台車等で搬入しボルトで接合する。</p>	<p>R/B内にセル設置架台を設置し、R/B外はクレーン等でベースプレート及びセル設置架台を設置する。セル設置架台敷設後、建屋内外でレール芯出し及びレベル出しを行う。</p>	<p>R/B外の整地場所にテントハウスを設置。付帯設備・ユーティリティ設備を設営。</p>
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・搬送・位置合わせ及び設置方法の具体化 	<ul style="list-style-type: none"> ・据付基準位置の把握手法 ・セル設置架台接続方法 ・R/B外のセル設置架台固定方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外テントハウスの寸法(必要サイズ)

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

□ □ : 今回の検討対象

【成果】全体ステップ図

課題 : ダスト抑制		課題 : バウンダリ構築にかかわる工程	
イメージ図	<p>10. BSW開口・X-6ペネ切断</p> <p>仮設遮へい グリーンハウス 遮へい扉 BSW PCV 切削屑回収・廃水処理機器 搬送装置 仮設ハウス内換気装置 仮設ハウス内クレーン 開口装置 コアポーチン(開口方法一例) ベネプラグ PCV X-6ペネ 切断 閉止板</p> <p>(ベネプラグ(封止)は内部調査or内部3D計測後に設置を想定)</p>	<p>11. セルアダプタの搬入・設置</p> <p>溶接用ロボットアーム セルアダプタ 把持アーム 溶接装置・ツールラック セルアダプタ セルアダプタ搬送台車 PCVコンクリート壁 遮へい扉 セルアダプタ 溶接箇所</p>	<p>12. 装置/機器搬出入系統セル設置</p> <p>ミニキャスクセル 収納セル デブリ移送容器セル LLW移送容器セル 気密扉 遮へい扉 閉込めバウンダリ 高圧箇所 デブリ搬出しセル セルアダプタ</p>
	<p>手順</p> <p>開口作業用セルを設置しBSWを開口する。また、X-6ペネ短尺化を行い、閉止板を設置する。</p>	<p>PCV壁面清掃・3D計測・セルアダプタ開先作業を実施後、セルアダプタをセルアダプタ搬送台車で搬入、設置する。PCV鋼板及び遮蔽扉とセルアダプタを溶接にて接合する。</p>	<p>遮蔽扉閉止後、クローラークレーンでセルをセル設置架台上に仮置き、搬入・結合(溶接)する。結合完了後はセル内の耐圧試験を実施する。各セルも同様に搬入・設置を行う。</p>
	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開口作業用仮セル仕様 ・X-6ペネ撤去および汚染管理 (注) ・BSWとPCV間隙間へのダスト流出対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV表面仕上げ・計測及び計測を製作に反映 ・セルアダプタの遠隔搬入による設置 (位置決め、設置方法詳細化) ・遠隔装置化に伴う設備の要求仕様検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・セル固定方法

注) : 本PJでは検討対象外の為、あえて見え消しとしています

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

【成果】セルアダプタ据付手順に関する課題及びその対応

【凡例】

- 要素試験① 全体構築確認試験
- 要素試験② 5号機 現場調査
- 要素試験③

作業ステップ		課題	課題解決方法	試験計画	手作業・遠隔作業の区分		備考
					要素試験	実機	
1. 事前準備							
(1) セル設置位置の計測・マーキング		X-6ペネ位置からCRD開口部までのスキャン方法及びセルのマーキング手法の確立	・スキャン方法・マーキング手法を机上検討 ・検討手法について模擬体で成立性を確認	【要素試験①】 ・模擬体1/1スケール ・3Dスキャン計測で座標把握	手作業	手作業	・5号機状態確認 (2022年度)
2. 遮蔽扉の設置							
(1) 遮蔽扉ベースプレートの設置		後施工アンカーボルトを打設するためのBSW鉄筋状況の確認 BSWの強度が不明	・200mmピッチで鉄筋が入っており、製作図面通りに施工されていることを確認 (5号機 現場調査)	—	—	手作業	・5号機鉄筋探査 (2022年度)
(2) 遮蔽扉設置		遮蔽扉の搬入、運搬、設置方法	・机上検討	—	—	手作業	—
(3) PCVコンクリート壁開口・X-6ペネ切断		①コンクリート開口 ②X-6切断方法 ③コンクリート開口時のダスト挙動	①既実施補助事業を活用予定 ②机上検討 ③解析にて状況推定	—	—	遠隔作業	③ダスト挙動の解析
3. セルアダプタの加工							
(1) PCV 壁面接合面の表面研磨		遠隔化での表面研磨方法の検討	・机上検討 (遠隔化に関する要求仕様の抽出)	—	—	遠隔作業	—
(2) PCV 壁面接合面の 3D 計測		据付け基準線のマーキング位置を基準としたPCV鋼板の3Dスキャン方法の検討	・手法の机上検討 ・検討手法について模擬体で成立性を確認	【要素試験②】 ・模擬体1/2スケール ・3Dスキャン計測で形状把握 ・セルアダプタの模擬体製作 ・図面形状との比較検証	手作業	遠隔作業	—
(3)	工場 作業	セルアダプタの製作	・(2)の3D計測結果を用いて試験的にセルアダプタ製作し、3D計測による加工の成立性を確認	【要素試験②】 ・模擬体1/2スケール ・3Dスキャン計測で形状把握 ・セルアダプタの模擬体製作 ・図面形状との比較検証	手作業	手作業	—
(4)		セルアダプタ接続フランジ加工			手作業	手作業	—
(5)		セルアダプタとフランジ接続			手作業	手作業	—

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)ー2:b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

【成果】セルアダプタ据付手順

【凡例】

- 要素試験① 全体構築確認試験
- 要素試験② 5号機 現場調査
- 要素試験③

作業ステップ	課題	課題解決方法	試験計画	手作業・遠隔の区分		備考	
				要素試験段階	実機段階		
4.セルアダプタ接続作業							
(1) セルアダプタのBSW内へ挿入	遮へい扉・BSWコンクリートの加工面との干渉	・模擬体を使用した挿入作業で干渉確認 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出	【要素試験③】 ・模擬体1/2スケール (干渉確認部は1/1スケール) ・干渉の確認 ・位置出しの確認 (精度±7.5mm以下) ・隙間計測の確認	手作業	遠隔作業	—	
(2) セルアダプタの位置合わせ/溶接/検査							
① セルアダプタの PCV 側の位置合わせ	セルアダプタのPCV鋼板への位置出し方法の確立	・手法の机上検討 (ガイドピンで位置出し) ・検討手法について模擬体で成立性を確認 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出		手作業	遠隔作業	—	
② セルアダプタの遮へい扉側の位置合わせ	セルアダプタの遮へい扉側への位置出し方法の確立	・手法の机上検討 (ガイドピンで位置出し) ・検討手法について模擬体で成立性を確認 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出		手作業	遠隔作業	—	
③ セルアダプタとPCV表面の隙間計測	遠隔化での隙間計測方法の確立	・模擬体を使用して検討 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出		手作業	遠隔作業	—	
④ セルアダプタと遮へい扉フレームの隙間計測	遠隔化での隙間計測方法の確立	・模擬体を使用して検討 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出		手作業	遠隔作業	—	
⑤ セルアダプタとPCV壁面を溶接	遠隔によるセルアダプタと PCV 鋼板の溶接方法の確立	・机上検討 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出 (既補助事業の成果流用)	—	—	遠隔作業	—	
⑥ セルアダプタと遮へい扉側を溶接	遠隔によるセルアダプタと遮へい扉の溶接方法の確立	・机上検討 ・遠隔化に関する要求仕様の抽出	—	—	遠隔作業	—	
5.セル設置							
(1) 遮へい扉閉止	—	—	—	—	遠隔作業	—	
(2) セル搬入	PCV鋼板～セルまでのパウンダリ構成の確立	・模擬体 (セル設置架台含む) を使用し、一般的な方法 (チルローラ等) で搬入後、パウンダリ構成を最終確認	【全体構築確認試験】 ・模擬体1/2スケール (セル長さは2m程度)	手作業	手作業	—	
6.パウンダリ検査							
(1) 耐圧試験	—	—	—	—	遠隔作業	—	

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－2: b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

✓ 成果の反映先への寄与

- ・横取り出し工法におけるR/B内でのアクセス用設備据付手順の具体化に寄与。

✓ 現場への適用性の観点における分析

- ・3号機原子炉建屋内の構造を基に手順検討を実施しており、現場適用性を考慮し工法検討を行った。
- ・据付に必要な各々の工法はできる限り、一般的な技術を組合せることで、現場適用性を考慮。

✓ 課題

X-6を介して行う作業及びBSW撤去後の作業は難易度が高く、高線量環境下となる為、遠隔作業となる(特に以下作業については課題があることが分かった)。

- ・アクセス用設備を据付けする為に必要な基準位置把握及び罫書き方法。
- ・セルアダプタとPCV鋼板の接続時の形状把握方法。
- ・セルアダプタのBSWへの遠隔による位置決め方法。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)－2: b. アクセス用設備の据付ステップ詳細化検討

✓ 目標に照らした達成度

【目標】: 燃料デブリ取り出しに係るアクセス用設備据付の手順詳細化
手順を成立させる上での課題抽出及び課題解決方法の検討

【達成状況】

- ① アクセス用設備に係る全体手順の詳細化
: 全体のステップ検討は完了。
基準線の設置工法についても詳細検討完了。
- ② 技術的難易度が高いと考えられるセルアダプタの据付け手順の詳細化
: セルアダプタの搬入・据付手順検討完了。
- ③ 据付手順の課題抽出・課題解決方法の明確化
: 据え付け手順にて以下の課題抽出及びその解決案の明確化完了。
 - 1) レーザスキャナを使用した基準位置把握及び罫書き工法
 - 2) セルアダプタとPCV鋼板の位置合わせ方法
 - 3) セルアダプタ搬入、据付け時の遠隔位置確認方法

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証

【目的】:大規模燃料デブリ横取り出し工法の現場適用を踏まえた実現性確認

【目標】:(6)-2にて抽出した以下課題について要素試験により成立性を確認

また、遠隔操作となった場合の作業性について確認を行う。

1)レーザスキャナを使用した基準位置把握及び罫書き工法

2)セルアダプタとPCV鋼板の位置合わせ方法

3)セルアダプタ搬入、据付け時の遠隔位置確認方法

試験は遠隔ではなく簡易的に搬入・据付を行い遠隔化装置への要求仕様の明確化までが対象。

✓ 既存技術との比較

・据付工法は『既存技術』を基に組合せや応用にて実施する。

一般的な技術及び過去の研究成果を活用に合わせて、福島安定化特有の環境(従事者被ばく低減・汚染拡大防止・ダスト低減等)を照らし合わせることで現実的な検討を行う。

✓ 実施事項、成果

・(6)-2にて抽出した以下課題について供試体を用いた要素試験を完了し、工法成立性を確認。

【成果】:① 要素試験計画(完了)

② 要素試験内容及び供試体の検討・手配(完了)

③ 要素試験の実施、結果を各工法の詳細化検討にフィードバック(完了)

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証

【成果】: 要素試験計画①-2 据付基準線マーキング手法の確立

(狙い)

- ・ ロボットアームをペDESTAL開口へ直線的にアクセスさせる為、開口の中心軸とセルの据付基準線を一致させる必要がある。
- ・ その為ペDESTAL開口の中心軸をセル設置床面へ延伸する為、手順の具体化及び検証試験を行う。

(得られる成果)

- ・ (3Dスキャンを利用した) 据付基準線マーキング手法の確立とマーキング精度の検証及び改善点。

- R/B壁面、X-6ペネ、ペDESTAL開口を3Dスキャン計測して座標を求め、セルの据付基準線をマーキングする手法を採用し、以下検証した。
 - ・ 検討した3Dスキャン手順で3D計測し、計測結果の合成により座標位置を把握する。
 - ・ 座標データに基づき据付基準線を建屋床面にマーキングし、精度を確認する。
- ⇒ 3Dスキャン計測による据付基準線を把握する方法の成立性を確認。

隔離部屋バックハッチを開けた状態で3D計測
(ターゲット①、②のデータA採取)

隔離部屋バックハッチ閉止し、気密扉解放

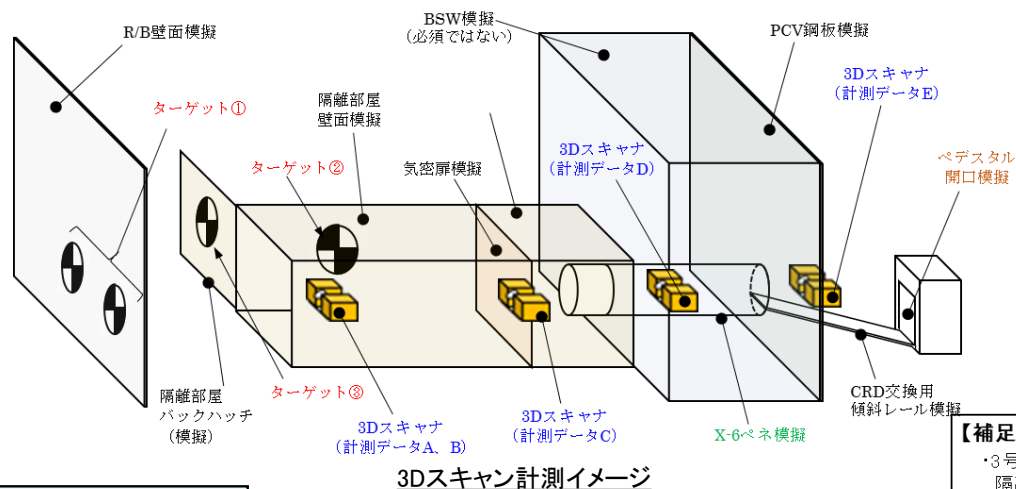
気密扉を開けた状態で3D計測
(ターゲット②、③、X-6ペネのデータB採取)

3DスキャナをX-6ペネ近傍まで移動し、
3D計測(ターゲット③、X-6ペネ内のデータC採取)

3DスキャナをX-6ペネ内に挿入し、
3D計測(X-6ペネ内のデータD採取)

スキャナPCV内へ挿入し、PCV内にて3D計測
(X-6ペネ、ペDESTAL開口部のデータE採取)

計測データA～EによりR/B壁面、X-6ペネ、ペDESTAL開口部の関係を座標上で把握し、
隔離部屋撤去後のR/B床面に据付基準線をマーキング(精度確認)



【補足】

- ・ 3号機の「PCV内部詳細調査」時に計測できるものとし、隔離部屋が設置されていると想定。
- ・ 模擬体は1/1スケール
- ・ 3Dスキャンはレーザートラッカーの一種

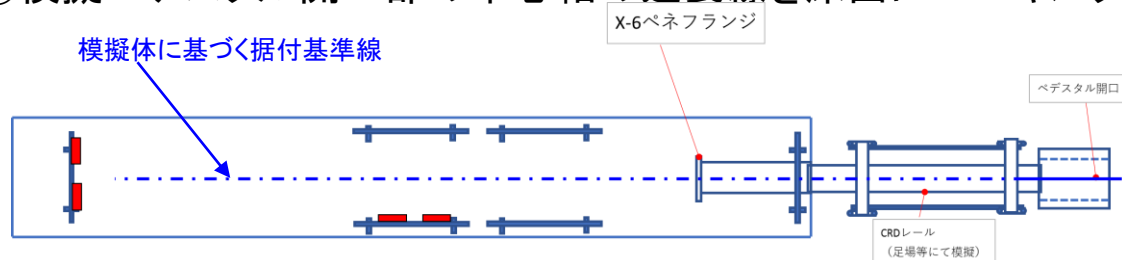
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-2据付基準線マーキング手法の確立

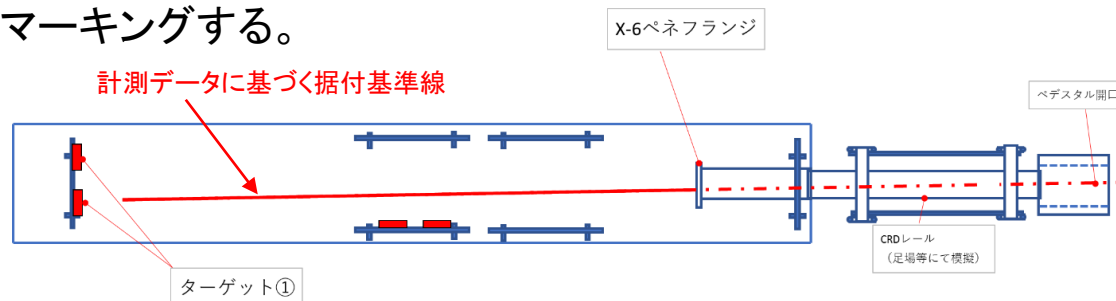
・マーキング精度の確認

① 模擬ペDESTAL開口部の中心軸の延長線を床面にマーキングする。

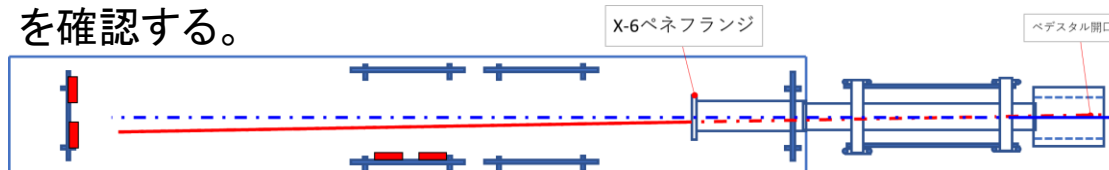


② 3D計測データA～Eを合成し、計測データに基づくペDESTAL開口部の中心軸の延長線の座標を求める。

③ ターゲット①とX-6ペネフランジを基準点とし、①の延長線を床面にマーキングする。



④ ②と③の据付基準線を比較し、計測データに基づくマーキング精度を確認する。



レーザ墨出し器を活用してマーキング



【精度確認の考え方】

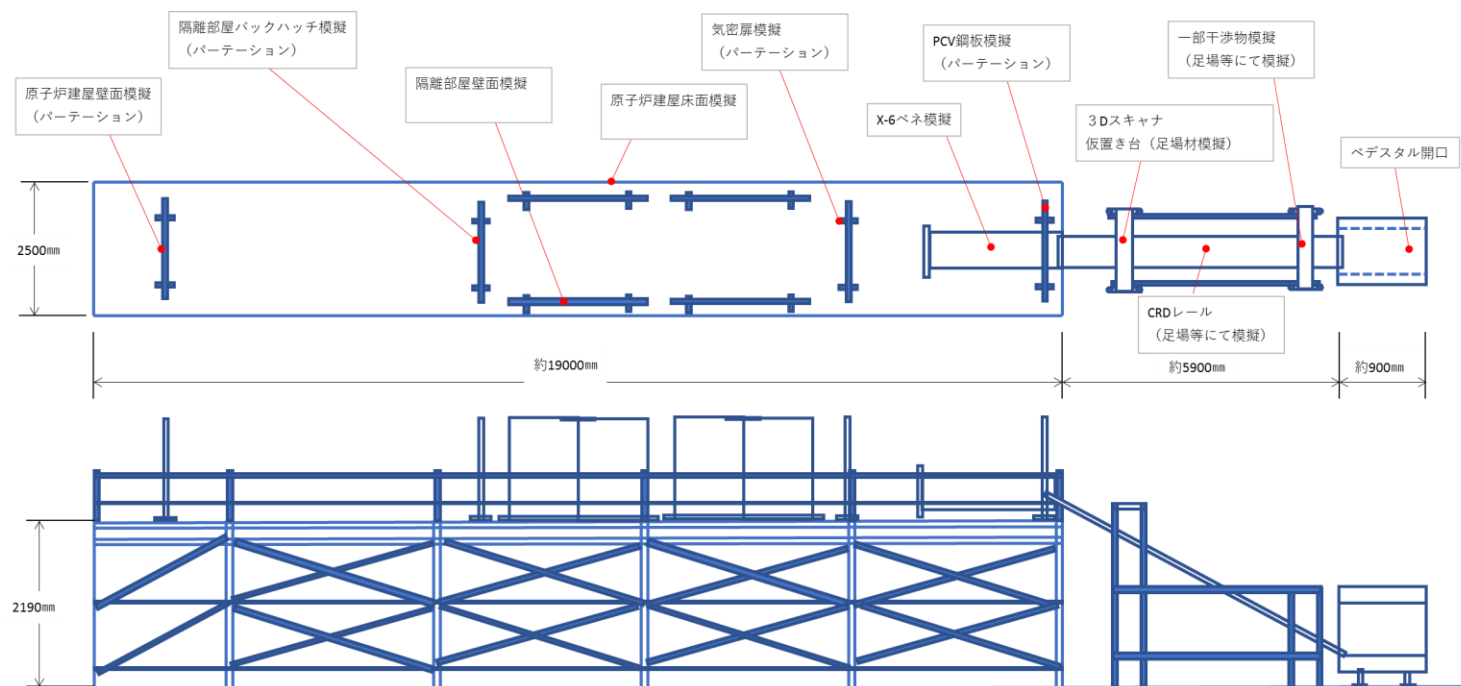
据付基準線がペDESTAL開口部に要求される据付精度(±50mm)以内に入っていることを第一条件とし、実力値を確認

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-2据付基準線マーキング手法の確立

- ・実施時期:2022年10月中旬～(試験完了)
- ・場 所:三菱重工神戸造船所構内
- ・供 試 体 :1/1スケール

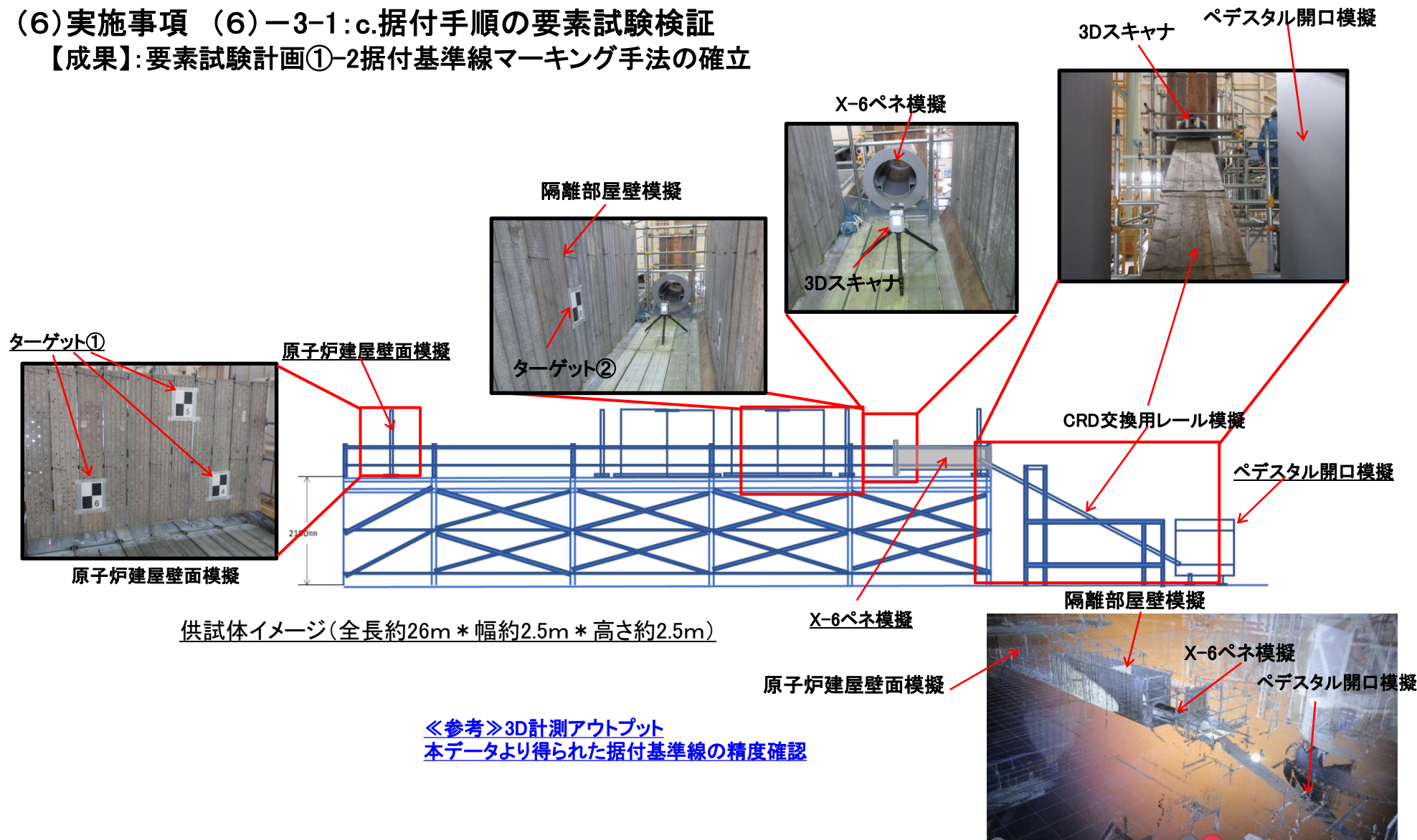


供試体イメージ(全長約26m * 幅約2.5m * 高さ約2.5m)

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-2据付基準線マーキング手法の確立



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

・計測データA～Eの合成方法

共通計測対象を用いて各3D計測データの重ね合わせることで、計測データA～Eを合成

- ・ターゲット②により、計測データA、Bを合成 ⇒ 合成データ①
- ・ターゲット③、X-6ペネフランジにより、計測データB、Cを合成 ⇒ 合成データ②
- ・X-6ペネ内部により計測データC、D、Eを合成 ⇒ 合成データ③

計測データ	計測対象 (○:該当部)					
	ターゲット①	ターゲット②	ターゲット③	X-6ペネフランジ	X-6ペネ内部	ペDESTAL開口
A	○	○				
B		○	○	○		
C			○	○	○ (RB側)	
D					○ (RB/PCV側)	
E					○ (PCV側)	○

- ・計測データBにより、合成データ①、②を合成⇒ 合成データ④
- ・計測データCにより、合成データ②、③を合成⇒ 合成データ⑤

合成データ②により、合成データ④、⑤を合成し、計測データA～Eの合成完了

合成データ	合成元計測データ				
	A	B	C	D	E
①	○	○			
②		○	○		
③			○	○	○

合成データ	合成元合成データ		
	①	②	③
④	○	○	
⑤		○	○

ペDESTAL開口の中心軸とターゲット①の相関が完成

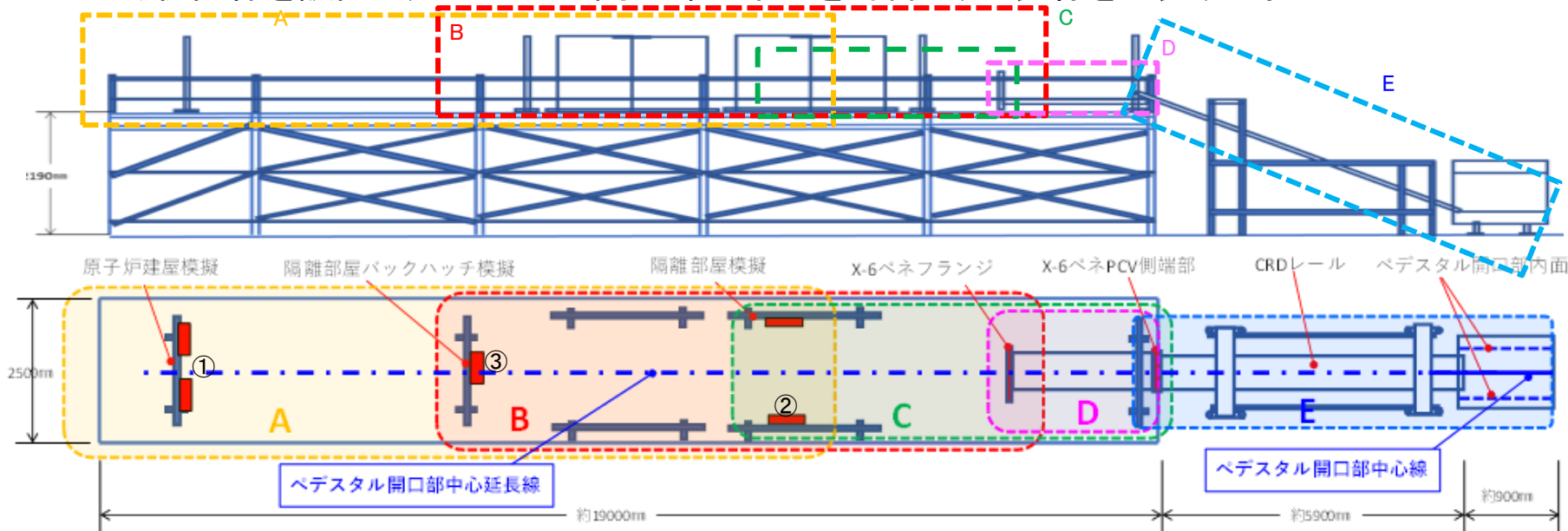
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

○試験方法

0) 供試体を設置し、ペDESTAL開口部の中心を野書き、延長線を延長する。



領域	測定区間					備考
A	ターゲット①	T③	T②			<ul style="list-style-type: none"> ターゲットを設置し精度向上を図る。 全て区間内の多数点を測定し、3-Dとして評価。 構造形状をもとにする為詳細に測定 ペDESTAL開口部は面として評価し中心軸を得る
B		T③	T②	X-6フランジ		
C			T②	X-6フランジ	X-6端部	
D				X-6フランジ	X-6端部	
E					X-6端部	

(重ね合わせて座標を得る)

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.79

① 大型重量構造物の設置

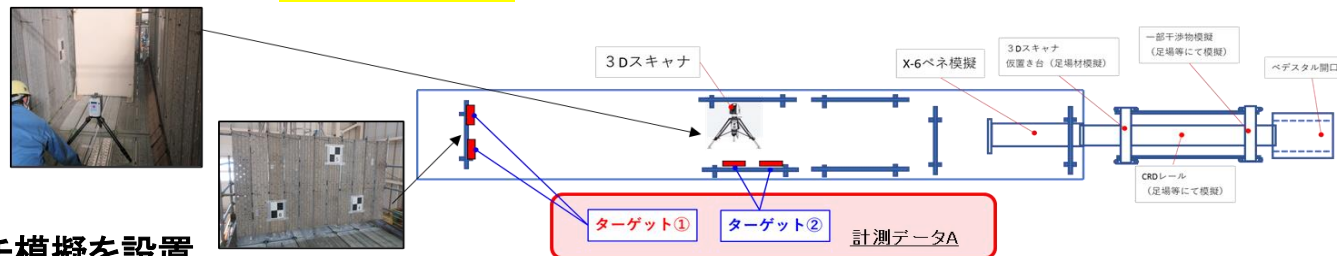
(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

○試験方法

1) モックアップの原子炉建屋壁面模擬と隔離部屋壁面模擬にターゲット①、②を設置

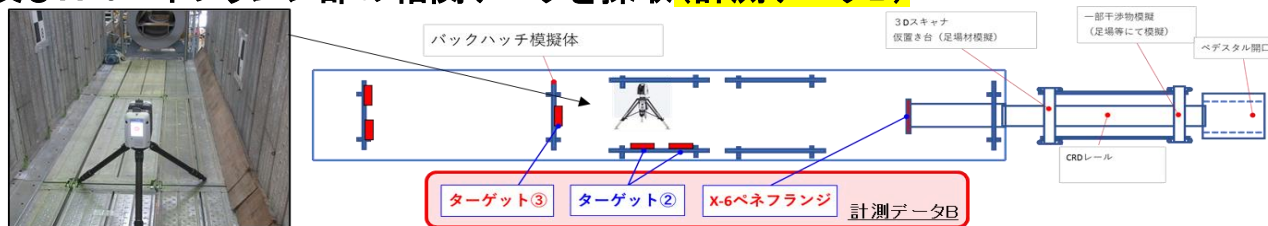
2) 3Dスキャナにてターゲット①、②の相関データを採取(計測データA)



3) 気密扉模擬を撤去し、バックハッチ模擬を設置

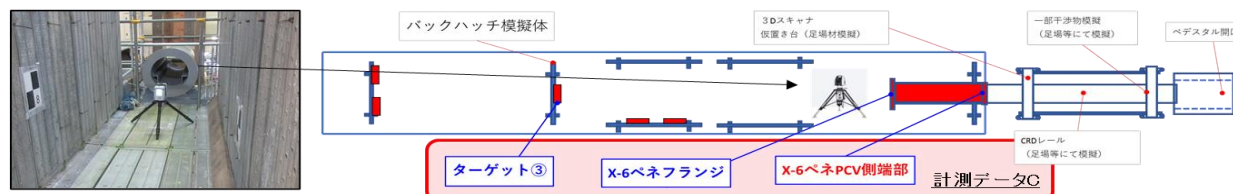
4) バックハッチ模擬の隔離部屋内側にターゲット③を設置

5) 3Dスキャナにてターゲット②、③及びX-6ペネフランジ部の相関データを採取(計測データB)



6) 3DスキャナをX-6ペネフランジ近傍に移動

7) 3Dスキャナにてターゲット③とX-6ペネのフランジからX-6ペネPCV側端部までの相関データを採取(計測データC)



① 大型重量構造物の設置

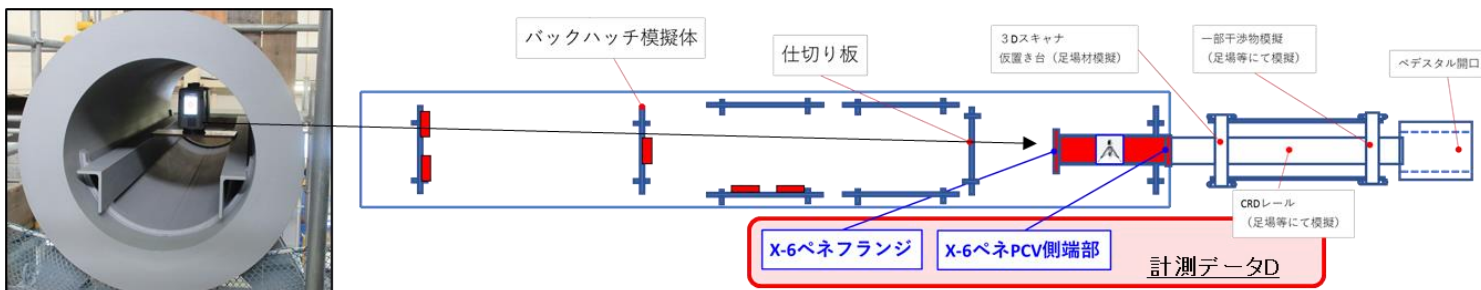
(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

8)3DスキャナをX-6ペネ内の中央部に移動

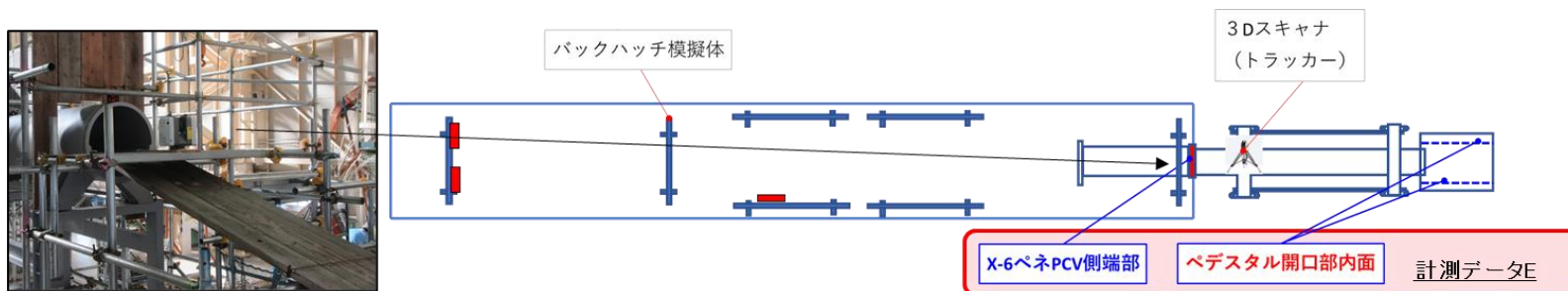
9)ターゲット③とX-6ペネフランジの間に仕切り壁を設置

10)3Dスキャナにてターゲット③とX-6ペネのフランジからX-6ペネPCV側端部までの関連データを採取(計測データD)



11)3DスキャナをCRDレール模擬部の仮置き台上に設置

12)3DスキャナにてペDESTAL開口とX-6ペネPCV側端部の関連データを採取(計測データE)



① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証

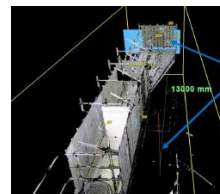
【成果】: 要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

13) 計測データA~Eを合成し(No.78シート)、座標(1)(ターゲット①)、座標(3)・座標(4)(ペDESTAL開口)を取得。

3Dスキャナ得られた
点群データを座標に変換



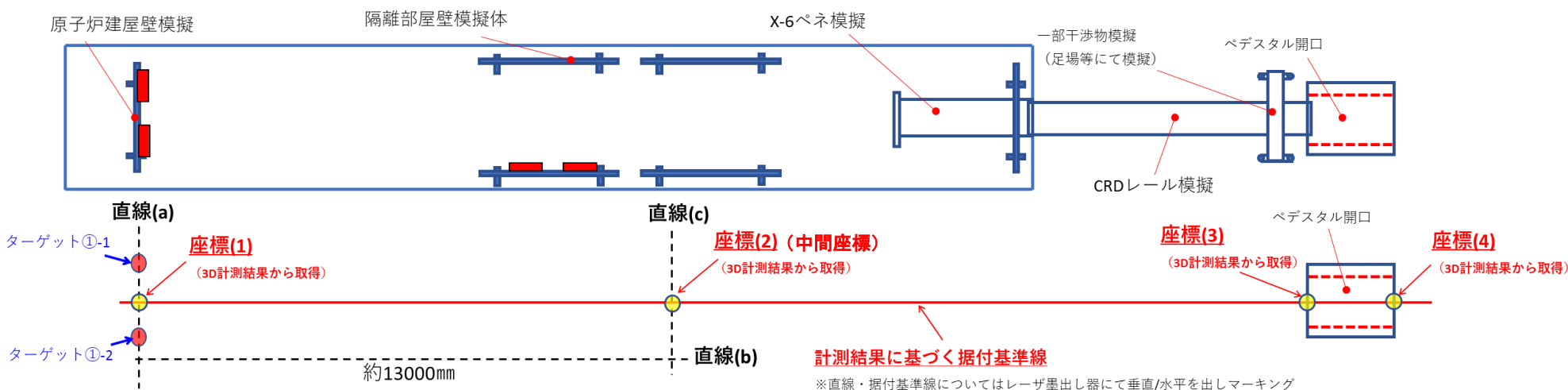
① 点群データの合成



② 合成データから座標取得



③ 使用する座標の取得



14) ペDESTAL開口から原子炉建屋壁面の模擬部まで距離があり、マーキング作業性の観点から中継座標を設ける為レーザ墨出し器を使用して直線(a)、(b)、(c)の野書きを行う。直線(c)と交わる座標(2)を求める。

15) 3D計測後の合成データ上で把握した各座標が通過する直線の野書きを行う。
(この直線が据え付け基準線となる。)

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

○採取データの分類

3D計測は3回実施しそれぞれのデータをN-1、N-2、N-3とした。

また、計測データA～Eの合成方法については以下の3ケースで実施した。

◆ケース1

- ・計測データ(A～C)はターゲットのみで合成。
- ・計測データ(D、E)はターゲットがない為供試体構造で合成。

◆ケース2

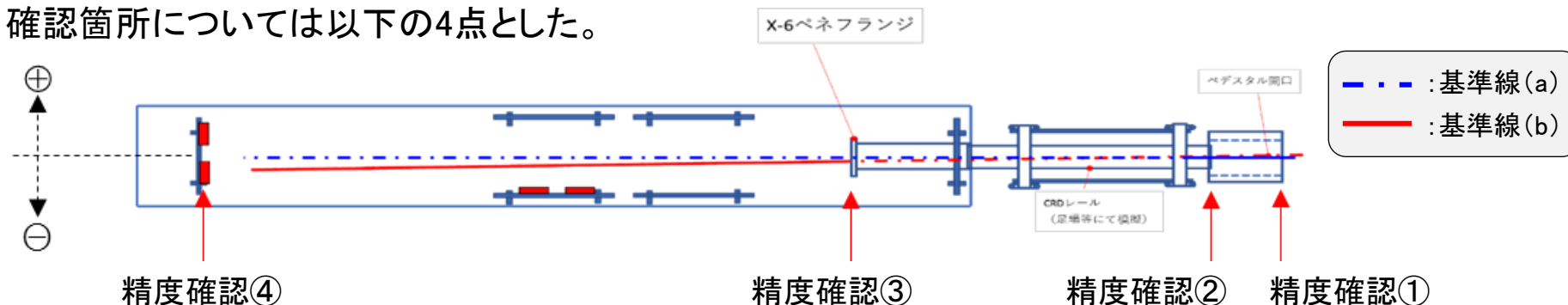
- ・計測データ(A～C)はターゲットだけでなく供試体構造も含めて合成。
- ・計測データ(D、E)はターゲットがない為供試体構造で合成。

◆ケース3

- ・計測データ(A～E)は、すべてのデータを使用して合成(ターゲット、供試体、建屋等)。

○精度確認方法

供試体組立時の据付基準線(a)と計測データに基づいた基準線(b)とを実測し、その誤差を確認した。
確認箇所については以下の4点とした。



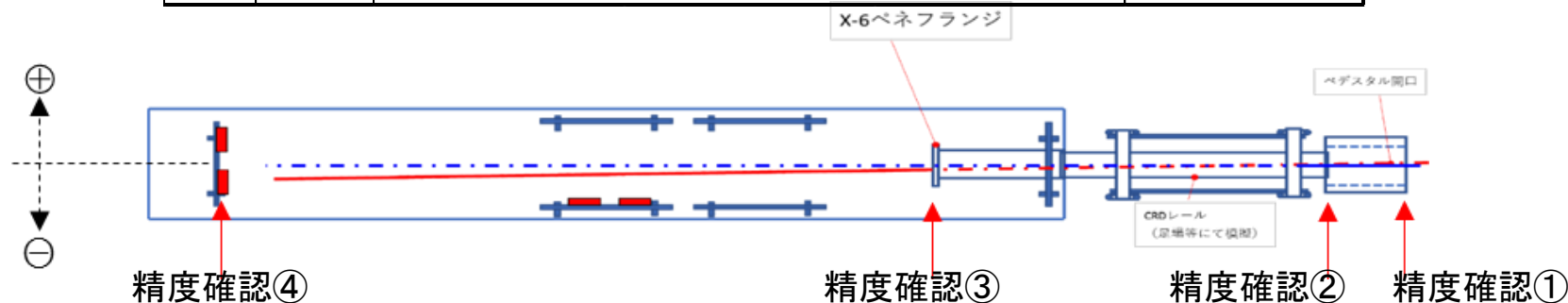
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

○試験結果

データ	計測項目	ケース1	ケース2	ケース3	備考
N-1	①	-8.1 mm	7.8 mm	4.2 mm	基準：≦50mm
	②	-8.1 mm	7.8 mm	4.8 mm	
	③	-1.8 mm	4.8 mm	8.5 mm	
	④	8.1 mm	-0.9 mm	16.1 mm	
	角度ズレ	-0.04°	0.02°	-0.03°	参考値（計算値）
N-2	①	最大値 25.0 mm	21.2 mm	1.8 mm	基準：≦50mm
	②	24.9 mm	21.2 mm	2.5 mm	
	③	17.3 mm	17.5 mm	4.9 mm	
	④	4.1 mm	12.1 mm	10.1 mm	
	角度ズレ	0.05°	0.02°	-0.02°	参考値（計算値）
N-3	①	-19.0 mm	-8.1 mm	-1.6 mm	基準：≦50mm
	②	-18.0 mm	-8.0 mm	-0.5 mm	
	③	-3.5 mm	0.5 mm	1.6 mm	
	④	23.1 mm	15.1 mm	8.1 mm	
	角度ズレ	-0.10°	-0.06°	-0.02°	参考値（計算値）
共通	⑤	23920 mm			角度計算用



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画①-3据付基準線マーキング手法の確立

○試験結果と考察

- 1) ケース1では最大誤差25.0mm、ケース2では最大誤差21.2mm、ケース3では最大誤差16.1mm
ペDESTAL開口部における誤差は50mm以内(許容誤差)であり、**いずれのケースも誤差範囲内であった。**
- 2) 3Dスキャナ計測によりペDESTAL開口部からR/B壁面までの相対位置関係を把握することで
据付基準線を求めることが可能であることを確認できた。
- 3) 合成対象物が最も多いケース3の誤差が最小であり、**計測データ合成は対象物をすべて活用
するほうがより精度が向上することが判った。**

実スケール(1/1)の試験結果より、3Dスキャナを使用した据付基準線でセルを設置した場合、ペDESTAL開口中心軸に25mm以内の誤差精度が確保でき、現状のロボットアームの大きさでも挿入することが可能となる見通しを得た。

○今後の課題

- 1)PCV内の環境要因(スキャナの高線量環境下)での影響、2)PCV内部の状況(粉塵等)の影響が
想定され、リスク裕度を確保する為に、今後以下を考慮する必要があると判断する。
 - ①3Dスキャナの高線量下での影響確認
 - ②構造側の見直しによる据付けリスク裕度の向上
 - ・セル内のアーム挿入用レールを調整(可動)できるようにし向上を図る。
 - ・アーム、特に駆動部の(適切な)縮小化を図り、裕度を向上する。
 - ・アームの駆動部が横にずれた場合、セルと干渉の恐れがあるセル内壁部分の拡張を図る。

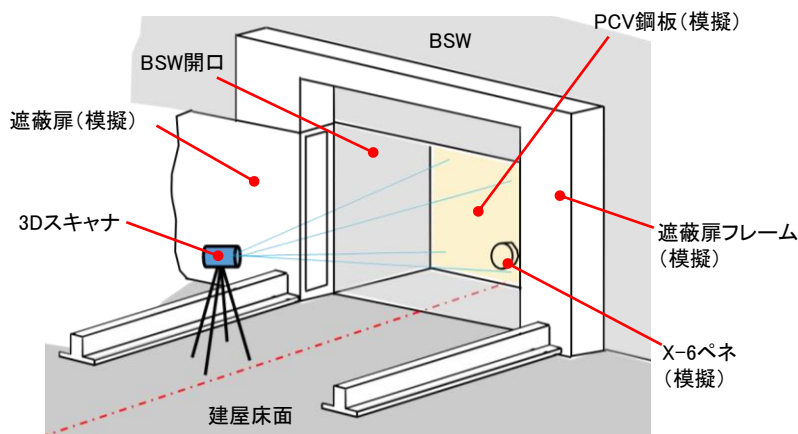
① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証

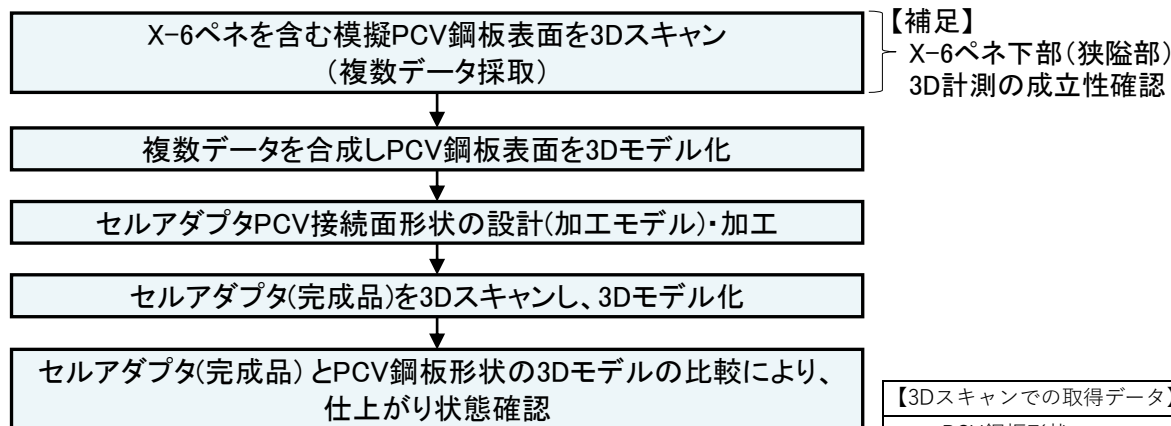
【成果】: 要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

- (狙い)
- ・セルアダプタのPCVとの溶接接続面は、ギャップ量を5mm以下に設定する必要がある。
 - ・その為、据え付け精度のみならず、セルアダプタのPCV接続面の精度を良好なものにする必要がある。
 - ・そこで、PCV面の3次元データを取得し、3D加工を行う事を考え、データ取得方法の具体化及び検証試験を行う。
- (得られる成果)
- ・3Dスキャンを利用した3D加工データの取得手法の確立及びセルアダプタ加工精度の検証。

- 模擬PCV鋼板を3Dスキャンして得たデータに基づきセルアダプタのPCV接続面を加工し、計測データに基づいた設計形状に仕上がっているか確認する。
- ・ 模擬PCV鋼板表面を3Dスキャンし、PCV接続面形状の設計に必要なデータを採取する。
 - ・ 3Dスキャンデータからセルアダプタの加工モデルを作成する。
 - ・ 加工モデルに基づきセルアダプタPCV接続面を加工し、仕上がり状態を確認する。
- ⇒ X-6ペネ下部(狭隘部)の3D計測の成立性を確認(複雑形状のPCV接続面の加工可否を確認)



所定の位置にて3Dスキャナを行いその結果にて製作PCV鋼板表面のスキャン試験イメージ



【補足】
模擬体は1/2スケール(試験中の作業性考慮)

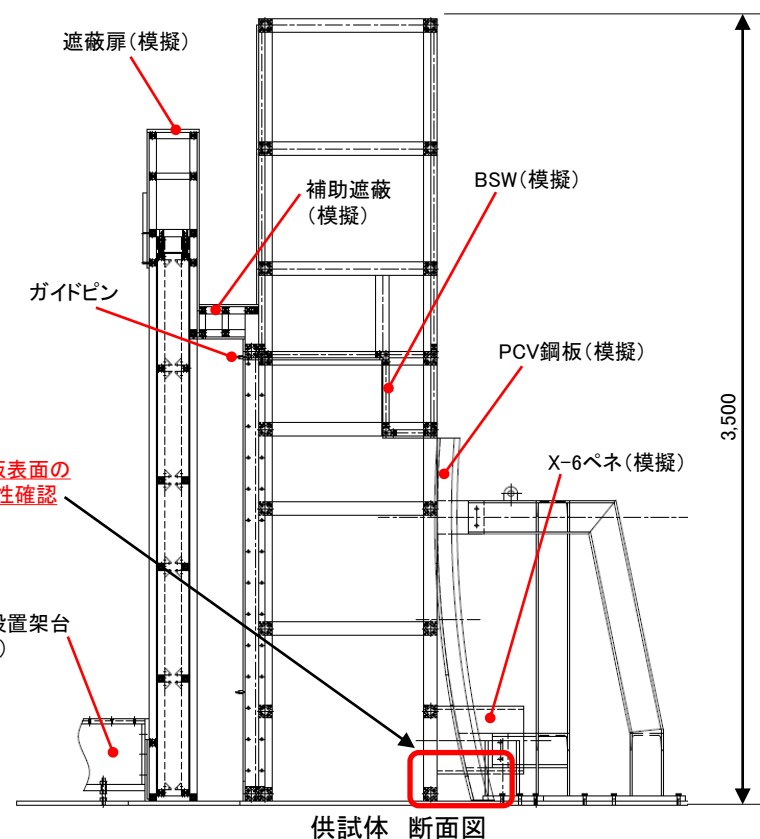
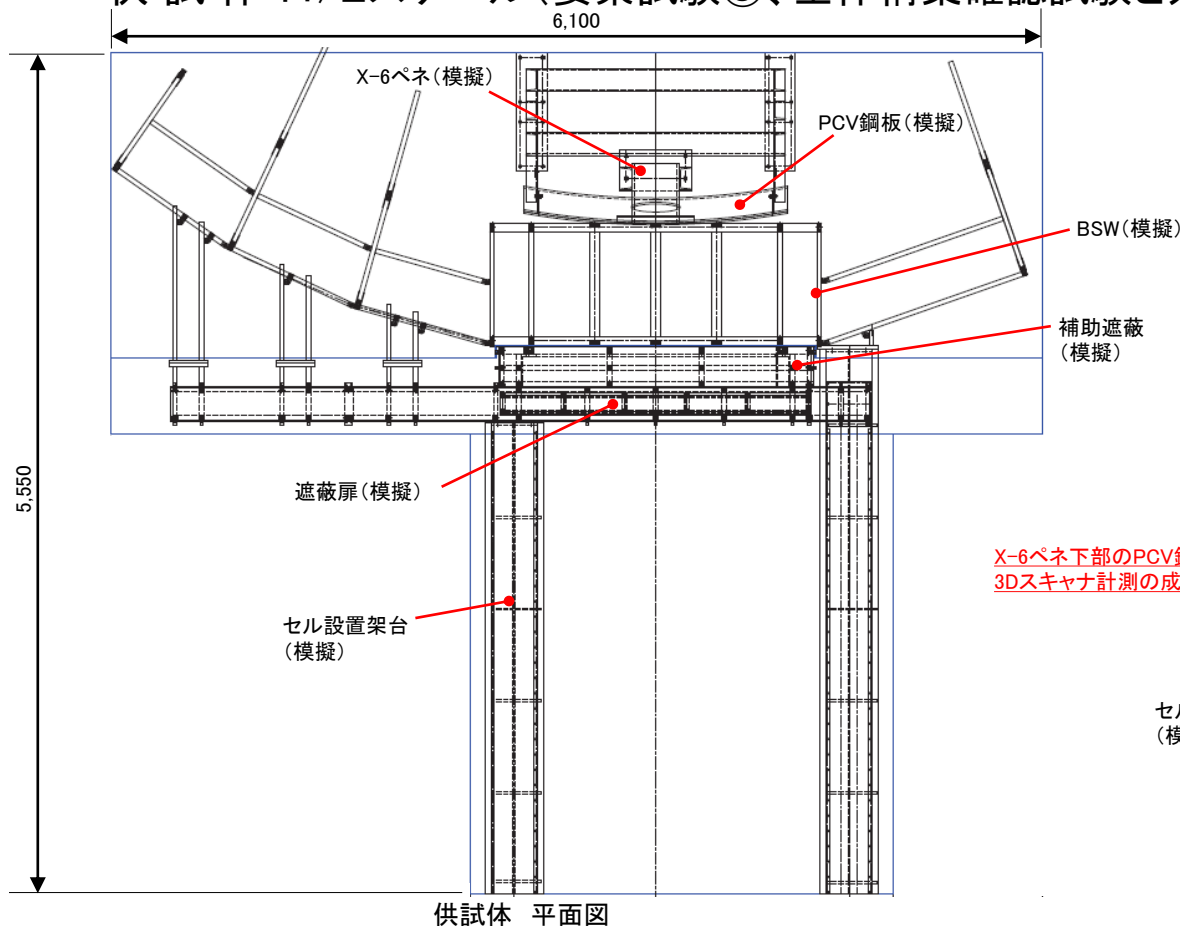
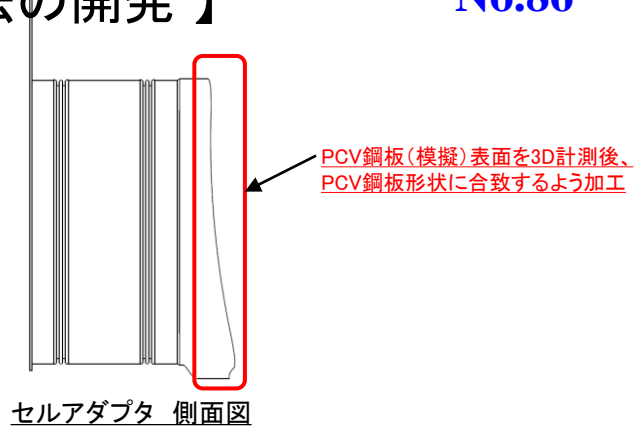
【3Dスキャンでの取得データ】
・ PCV鋼板形状
・ セルアダプタの必要長さ
・ ガイドピン位置

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

- ・実施時期:2022年10月上旬～(試験完了)
- ・場 所:三菱重工神戸造船所構内
- ・供 試 体 :1/2スケール(要素試験③、全体構築確認試験と共用)



① 大型重量構造物の設置

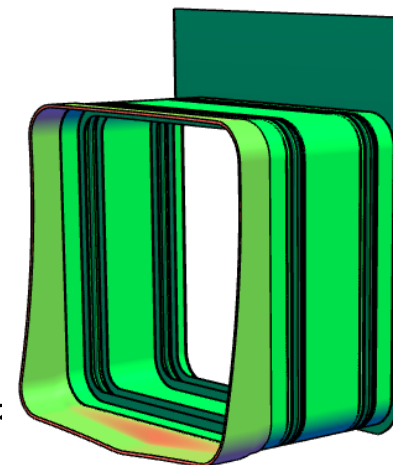
(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

・セルアダプタの仕上がり状態の確認

① PCV鋼板との接続面を加工したセルアダプタを3Dスキャン計測し、セルアダプタを3Dモデル化する。

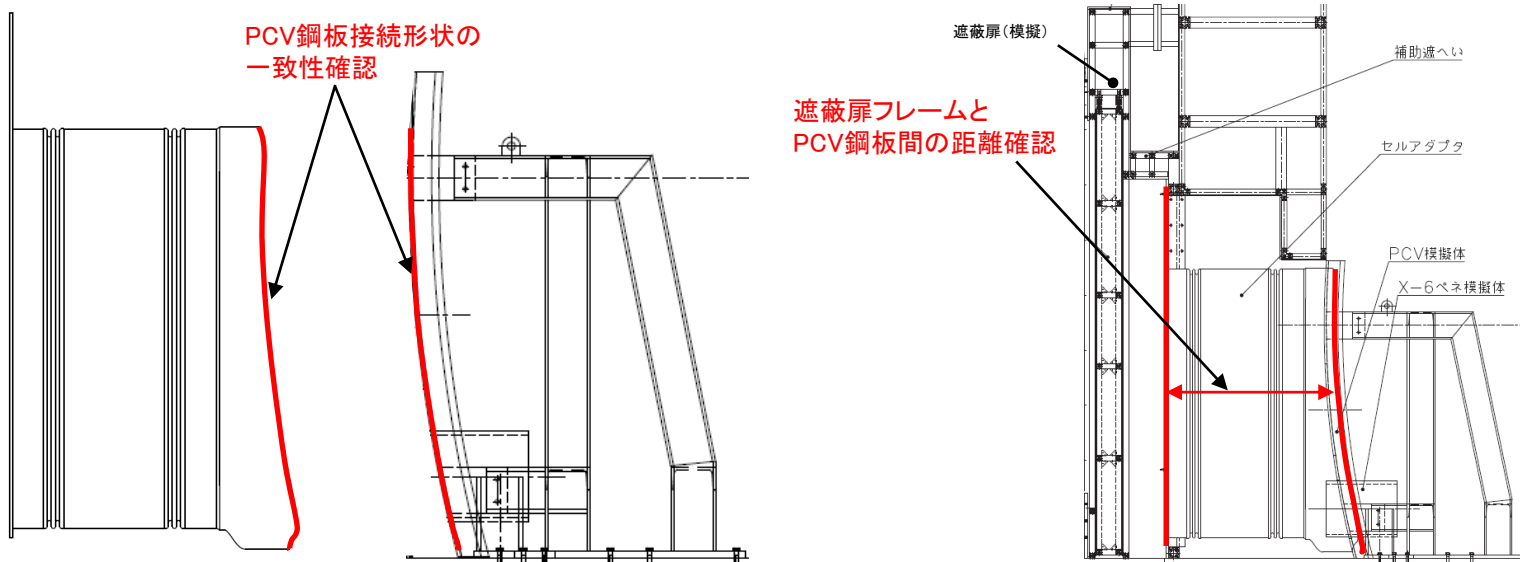
② 加工後のセルアダプタの3DモデルとPCV鋼板表面形状の3Dモデル比較し、セルアダプタのPCV接続面の仕上がり状態を確認する。



加工後のセルアダプタ3Dモデル(イメージ)

【加工性可否判断の考え方】

参考として仕上がり状態を確認し、要素試験③のセルアダプタ挿入後の隙間確認結果で最終判断



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

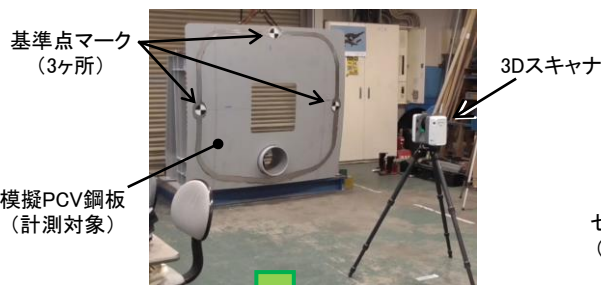
・模擬PCV鋼板の3Dスキャンデータに基づきセルアダプタを製作。

・セルアダプタのPCV接続面の仕上がり状態を3D上で確認。

⇒ モデル上では4mm程度の隙間があることを確認。(実測でも同等の計測結果)

そこから接続部の微調整を行い判定基準内に入る寸法に仕上がった。(判定基準:2.5mm>結果2.4mm)

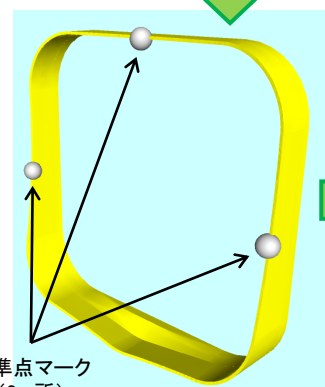
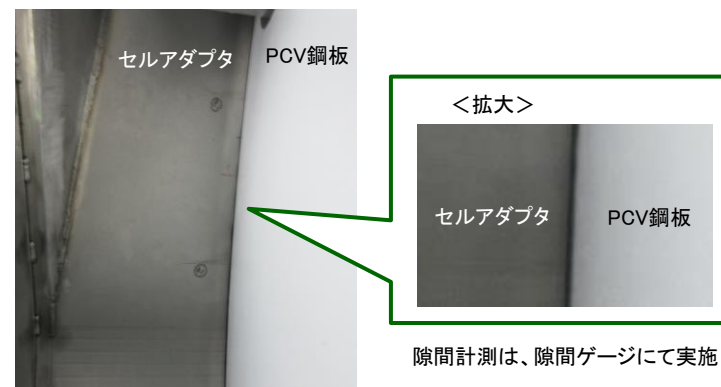
模擬PCVの3D計測



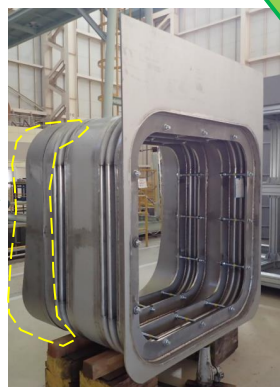
セルアダプタのPCV接続面の3D計測



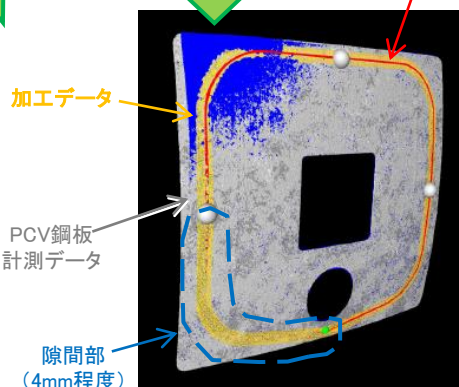
セルアダプタとPCV接続部



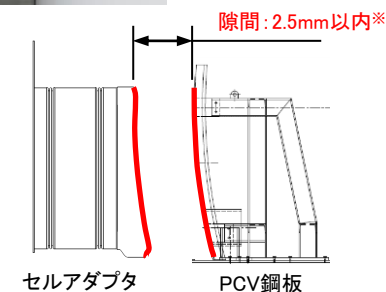
3Dモデル上でのセルアダプタ接続部



完成したセルアダプタ



3Dモデル上での先端部の重ね合わせ結果



※判定基準:2.5mm以内の根拠
⇒遠隔溶接装置からの要求寸法。実機は5mmの為1/2の2.5mmと設定

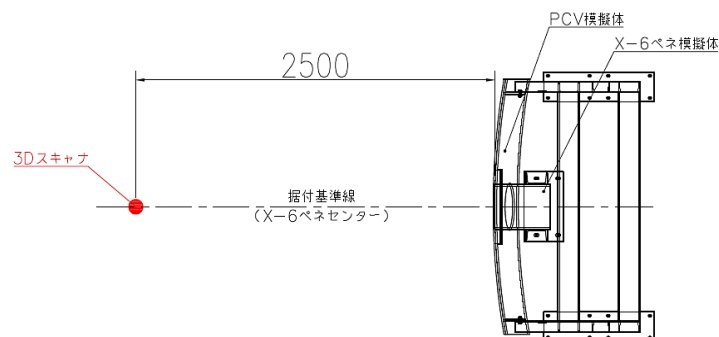
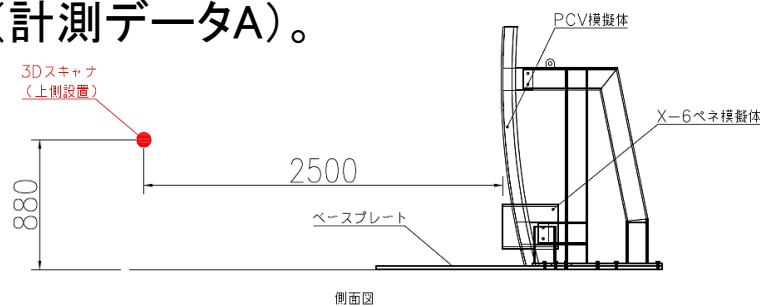
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

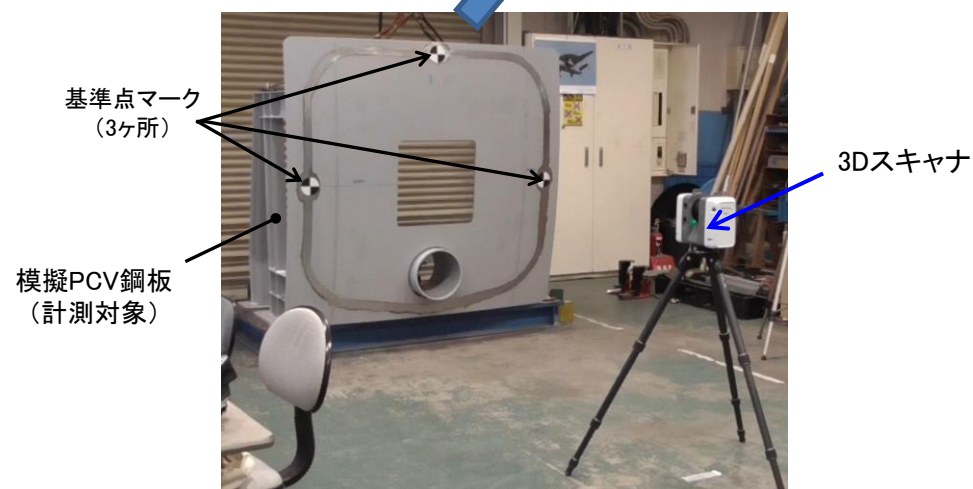
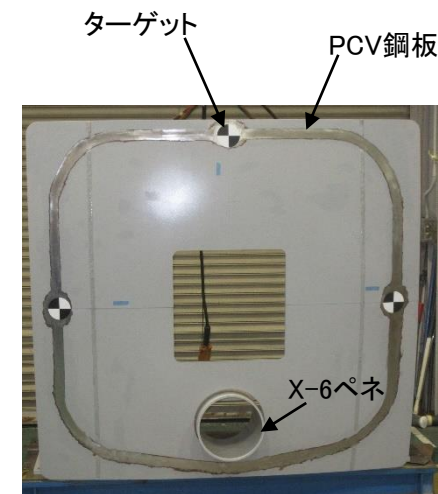
【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

○試験方法

- 1) PCV鋼板部の模擬体を設置し、据付基準線上のX-6ペネから2500mm(遮蔽扉フレームから約1000mmの位置)の位置に高さ880mmで3Dスキャナを設置。
- 2) 3Dスキャナにて、PCV鋼板正面の3Dスキャナデータを採取(計測データA)。



3Dスキャナ設置位置イメージ(据付基準線上)



模擬PCVの3D計測

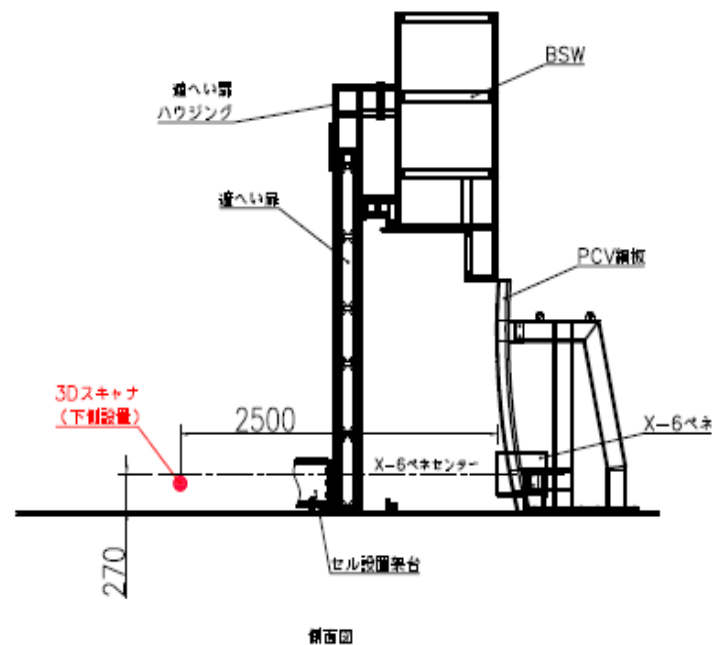
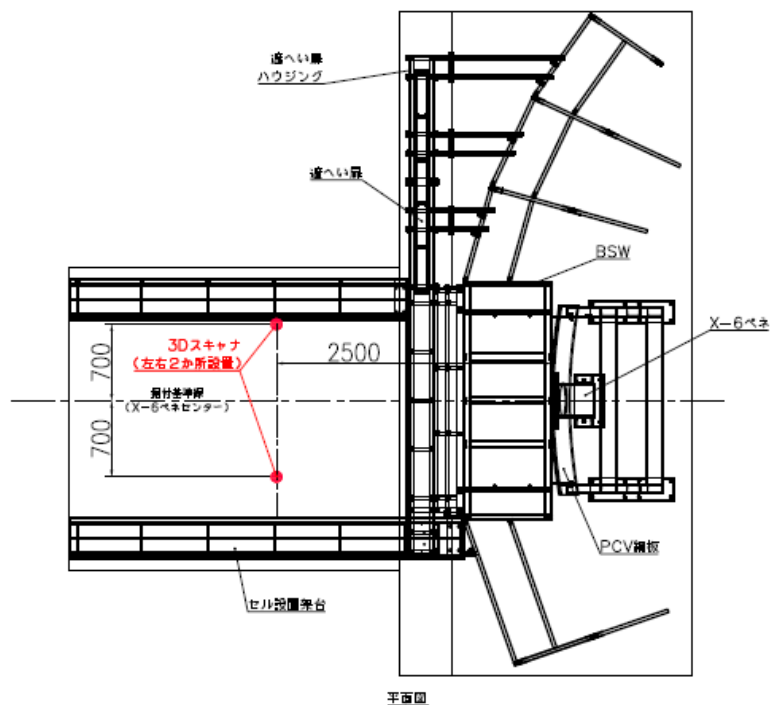
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

○試験方法

- 3) 据付基準線のX-6ペネ端から2500mmの位置において左右に700mmずらした2箇所において高さ270mm以下で3Dスキャナを設置。
- 4) 3Dスキャナ位置左右それぞれにて、PCV鋼板の3Dスキャナデータを採取(計測データB、C)。



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

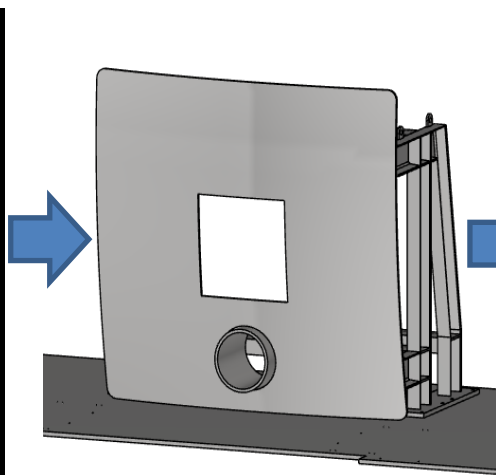
【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

○試験方法

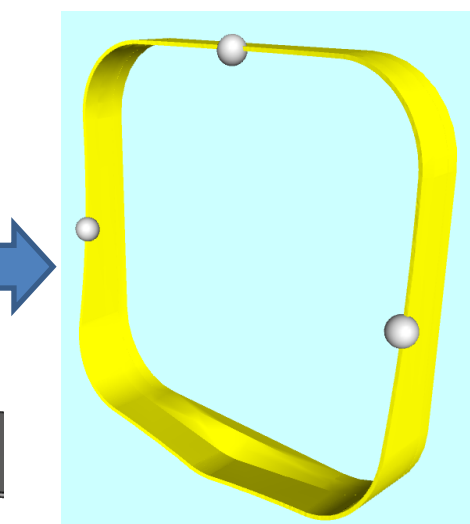
- 5) 計測データA～Cを合成し、PCV鋼板形状を把握。
- 6) PCV鋼板の3D-CADモデルを作成。
- 7) PCV鋼板の3D-CADデータから取合いのセルアダプタ先端の形状を3D-CAD化。
- 8) セルアダプタ先端部の加工データ処理を行い、機械加工機にてセルアダプタを加工。



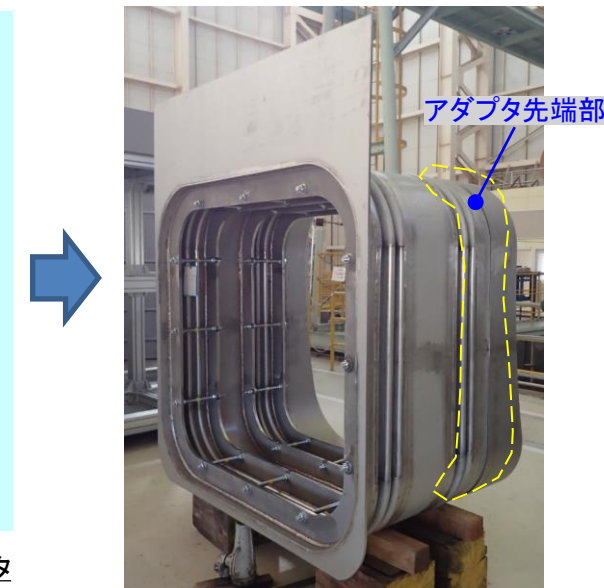
3D点群データ(サンプル)



PCV鋼板3Dモデルイメージ



セルアダプタ先端部の3D-CADデータ



セルアダプタ先端部加工

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

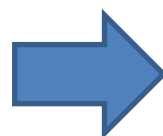
○試験結果

【X-6ペネ下側隙間を含む3Dスキャン計測の成立性】

1) PCV鋼板正面の据付基準線上の高さ約850mm及びX-6ペネ下端部のデータを採取する為、据付基準線の左右位置(左側550mm、右側700mm)の高さ約250mmの合計3か所(A, B, C)に3Dスキャナ装置を設置して計測することでX-6ペネ下側の隙間部を含むPCV鋼板のセルアダプタ接続部が問題なくデータ採取できることが確認できた。



計測対象(写真)



3Dスキャン



拡大



点群データ

PCV鋼板3Dスキャナ結果【点群データ】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

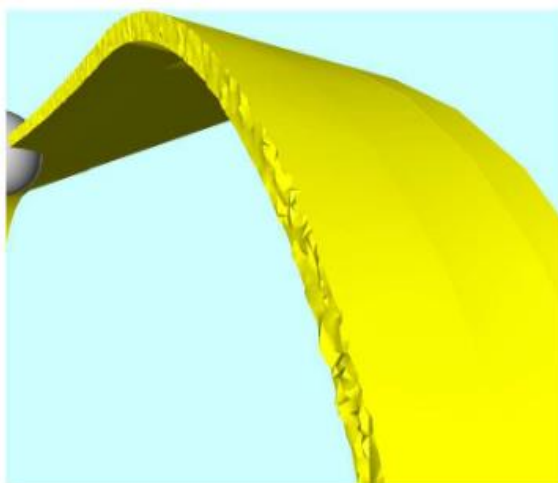
○試験結果

【3Dスキャンデータに基づくセルアダプタの加工形状】

・PCV鋼板の3D計測結果に基づきセルアダプタのPCV接続面の形状を特定。

3D計測の計測誤差により隣り合う点群データを直線で結んだ際に、表面状態が凸凹となったので、セルアダプタの加工前に平滑化処理※を実施。

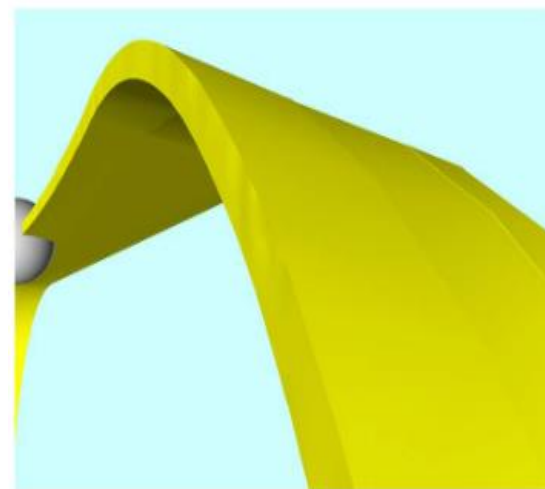
※明らかにノイズであるデータの除去及び接続に影響のない範囲での微細な平滑処理



処理前の形状(3D-CAD)



平坦化処理



処理後の形状(3D-CAD)

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

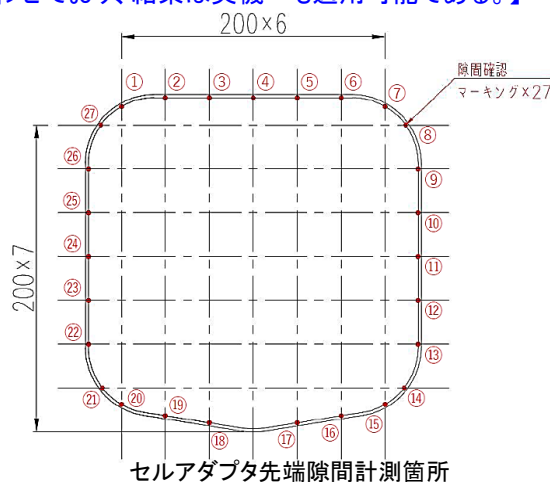
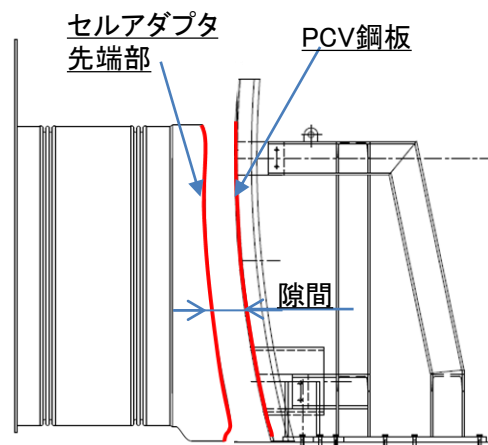
【成果】:要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

○試験結果

【セルアダプタとPCV鋼板接続面を加工し、仕上がり状態確認】

- 1) 隙間計測の初回結果では許容隙間2.5mm以内に対して最大で4.0mmであった。
- 2) 初回結果をもとにセルアダプタの先端部を調整加工し、再挿入後に隙間確認を行った。
- 3) 調整後は許容隙間2.5mm以内に対して最大2.4mmにすることができた。
- 4) 上記から初期据付けで調整が必要となっても初期据付隙間のデータにて再度調整加工することで十分据付けすることが可能。
- 5) また、ガイドピンを使い挿入する工法としたことにより、ピンとピン穴の隙間範囲内で据え付けが可能となり、再現性(再調整)も容易とした。

【今回試験を1/2スケールで実施したが、形状・曲率・許容隙間を合わせており、結果は実機へも適用可能である。】



計測箇所	計測結果 (調整前)	計測結果 (調整後)	計測箇所	計測結果 (調整前)	計測結果 (調整後)
①	2.0	0.7	⑩	2.0	0.9
②	1.5	0.7	⑪	1.5	1.2
③	2.0	0.7	⑫	2.0	0.0
④	2.5	1.6	⑬	3.5	1.5
⑤	3.0	1.3	⑭	4.0	1.7
⑥	3.0	1.5	⑮	4.0	2.3
⑦	4.0	1.8	⑯	3.5	2.0
⑧	4.0	2.2	⑰	3.0	1.7
⑨	4.0	2.4	⑱	2.0	1.0
⑩	4.0	2.0	⑲	2.0	1.0
⑪	3.0	1.4	⑳	2.0	0.9
⑫	3.0	0.4	㉑	2.0	0.8
⑬	2.0	0.9	最大	4.0	2.3
⑭	1.0	0.0	最小	1.0	0.0
⑮	1.0	0.7	評価基準	≦2.5mm	

セルアダプタ先端部隙間計測結果

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-3-1:c. 据付手順の要素試験検証

【成果】: 要素試験計画②-1セルアダプタPCV接続面の加工可否確認

○ 試験結果と考察

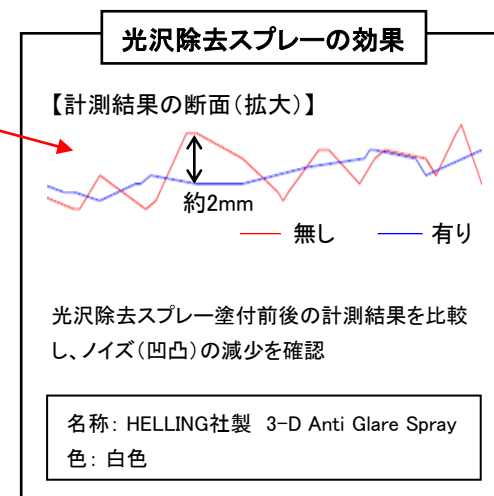
1) 初期隙間計測結果で4mm誤差が出た要因としてはPCV表面の鏡面状(光沢)が影響した可能性がある。

2) 作業手順として当初は3Dスキャナ計測を実施する前にPCV鋼板表面の塗装を除去する作業を想定していた為、光沢がある状態で撮影していた。

実機では光沢面が影響しないようレーザスキャナ用と光沢除去スプレー等※を使用し計測する対応を行う。



PCV鋼板写真



※ 追加試験にて光沢除去スプレーを使用した計測結果をもとにセルアダプタ端部を再製作した結果、最大隙間 1.6mmであった。

【実機での運用について】

実機手順を見直し3Dスキャナ計測結果に基づき加工した剛性のあるテンプレート部材を一度挿入し、挿入後の隙間を確認したうえでテンプレートを引抜き、PCV鋼板接続面を追加工して隙間を許容値以内に収める形状を確定させ、その後セルアダプタを加工。その後セルアダプタを加工し、据付ける手順とし、より精度向上をはかるものとした。

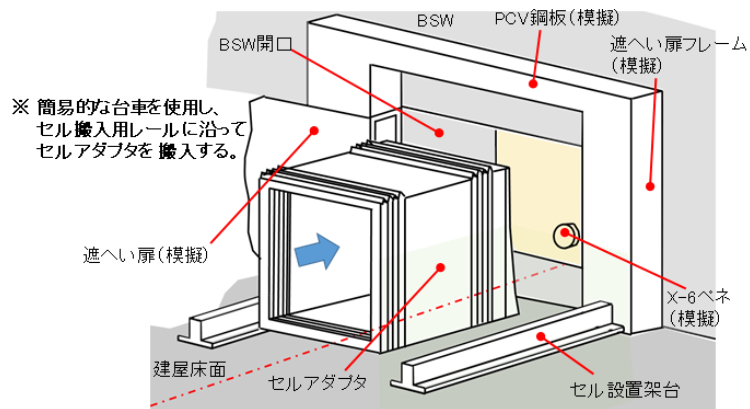
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

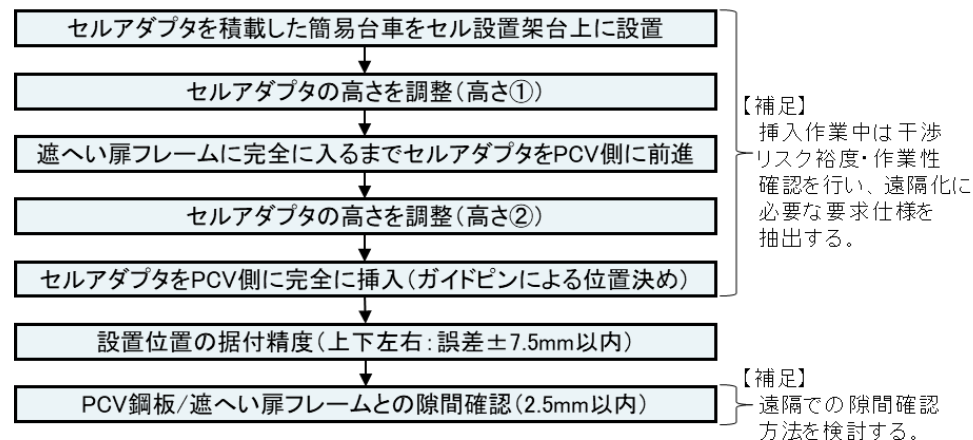
【成果】:要素試験計画③-1 セルアダプタの遠隔据付方法確認

- (狙い)
- セルアダプタは高線量環境である為遠隔操作での搬入/設置が要求され、またPCVとの溶接接続面は溶接健全性確保の為ギャップ量を5mm以下に設定する必要がある。
 - その為セルアダプタの搬入方法、設置方法の具体化を行い、試験にて挿入手順を確認することで検討した構造の妥当性及び遠隔操作となった場合に必要な要求仕様を抽出する。
- (得られる成果)
- セルアダプタ搬入・据付方法確立及び据付精度の検証、バウンダリ構造妥当性、遠隔装置の要求仕様の明確化。

- セルアダプタ(要素試験②で製作)を模擬体に挿入し、干渉リスク・位置決め・作業性を確認する。
 - セルアダプタを簡易台車に積載し、セル設置架台に沿ってBSW開口内に挿入する。
 - セルアダプタの挿入作業中は遮蔽扉やBSW開口部、X-6ペネとの干渉リスク裕度を確認する。
 - 遮蔽扉フレーム/PCV鋼板表面とセルアダプタの隙間が許容範囲内であるかを確認する。



セルアダプタ搬入作業イメージ ※模擬体は要素試験②と共用



① 大型重量構造物の設置

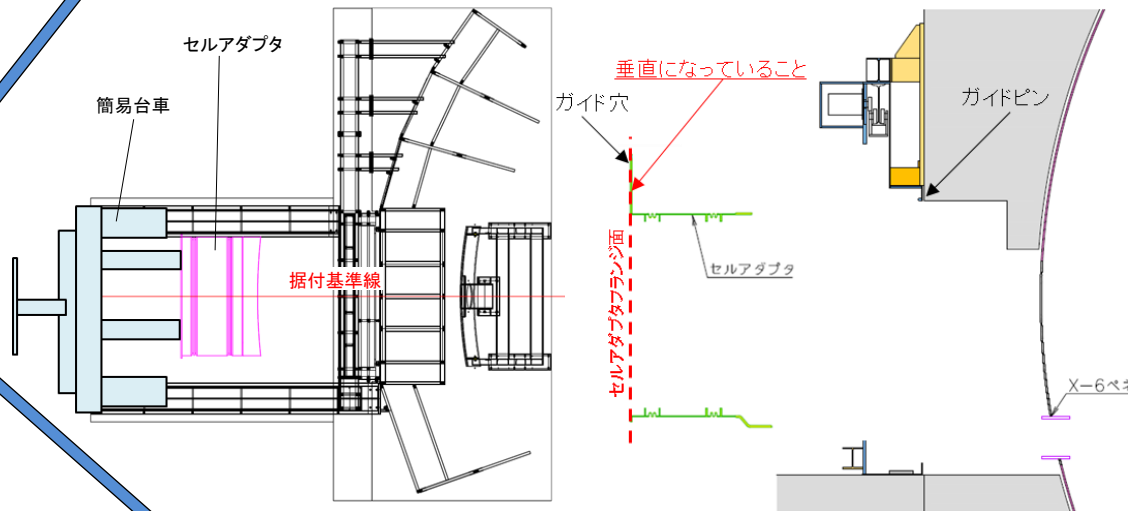
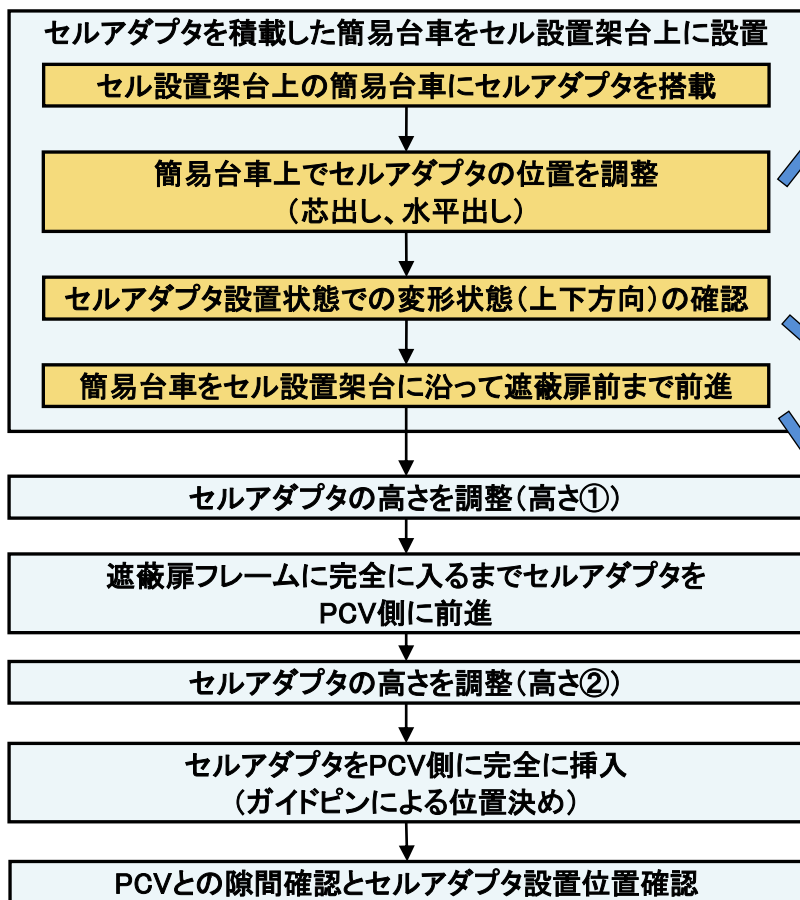
(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③－2セルアダプタの遠隔据付方法確認

セルアダプタの位置決めに関連する重要ポイント

- ・セルアダプタの水平調整(セルアダプタフランジ面が垂直になっていることを確認)
- ・セルアダプタの据付基準線に対する芯出し

セルアダプタ挿入作業フロー



- ・簡易台車搭載状態でのセルアダプタの変形状態(上下方向)
セルアダプタは SHIPPING ボルトで保持しているためベローズ部が垂れることはないが、参考として確認する
- ・セルアダプタの位置がぶれずに前進できること
前進後にセルアダプタの位置状態を再確認
- ・ガイド穴に対して、ガイドピンをセンタリング(上下方向の微調整)

本要素試験で、ガイドピン方式によるセルアダプタの位置決めの実成性を確認

【位置修正が必要な場合の処置】隙間が許容値を超えた場合
ガイド穴に±2.5mm* のクリアランスを設定しておき、
隙間が2.5mm以内になるようにセルアダプタの位置を
微調整(台車に調整機能を持たせる)

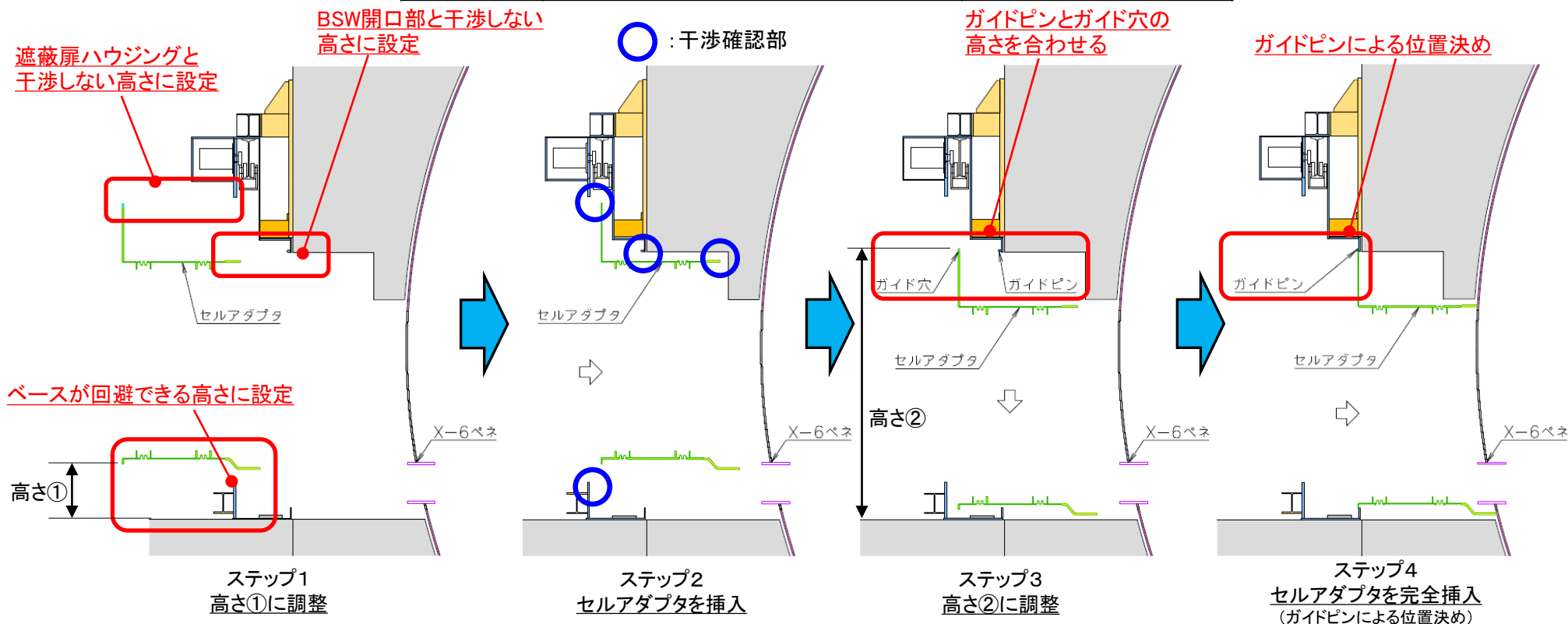
* 横ずれ裕度±7.5mm(暫定値)に対して、保守的に設定

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-3セルアダプタの遠隔据付方法確認

工程	確認項目	備考(寸法値は、1/2スケール基準)
ステップ1	セルアダプタ高さ①	設計値:360~460mm
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度	—
ステップ3	セルアダプタ高さ②	設計値:2000mm
ステップ4	設置位置のズレ	詳細は次頁
	セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間	詳細は次頁
	セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間	詳細は次頁



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

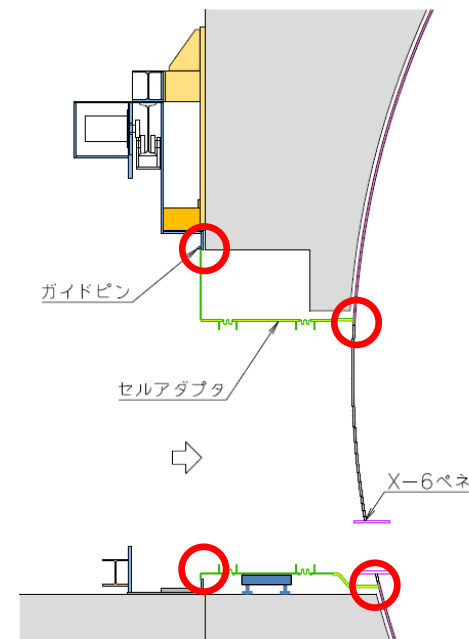
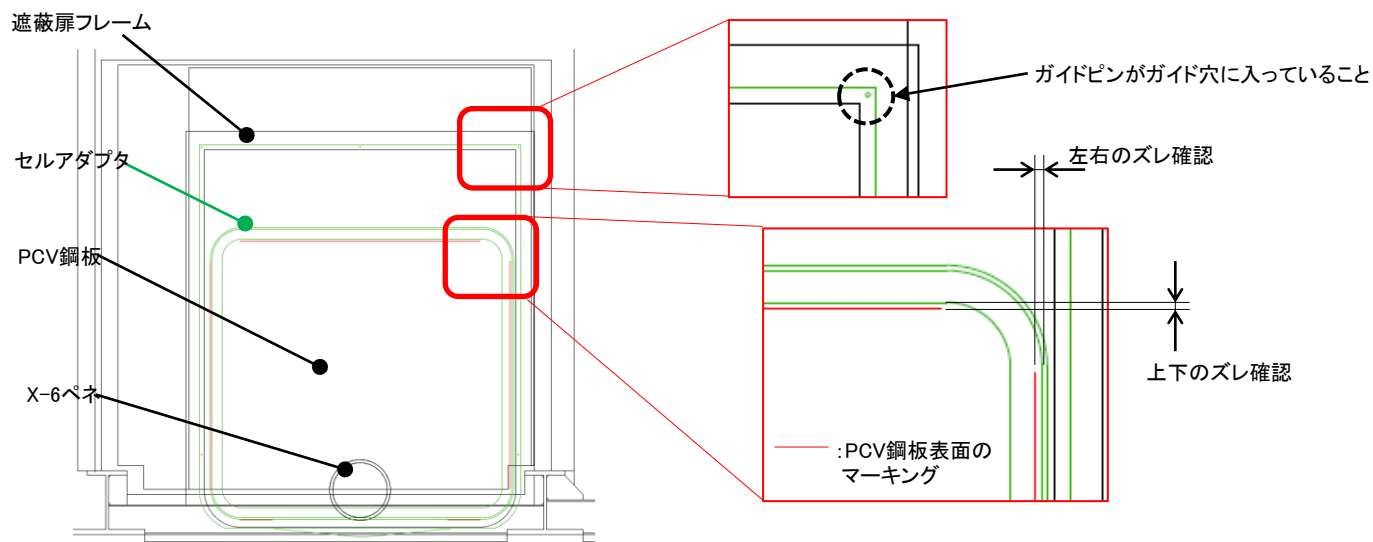
【成果】:要素試験計画③-4セルアダプタの遠隔据付方法確認

・セルアダプタ挿入後の確認

① 設置位置の据付精度が許容値内(1/2スケール: $\leq \pm 7.5\text{mm}$)であることを確認する。

【確認方法】

- ・遮蔽扉フレーム側 : ガイド穴にガイドピンが挿入されていること。
- ・PCV鋼板側 : PCV鋼板側のセルアダプタ接続予定位置のマーキングとセルアダプタのズレを確認。



○ : 隙間確認部

② セルアダプタと遮蔽扉フレームの隙間、及び、セルアダプタとPCV鋼板表面の隙間を確認し、許容値内(1/2スケール: $\leq 2.5\text{mm}$)であることを確認する。

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

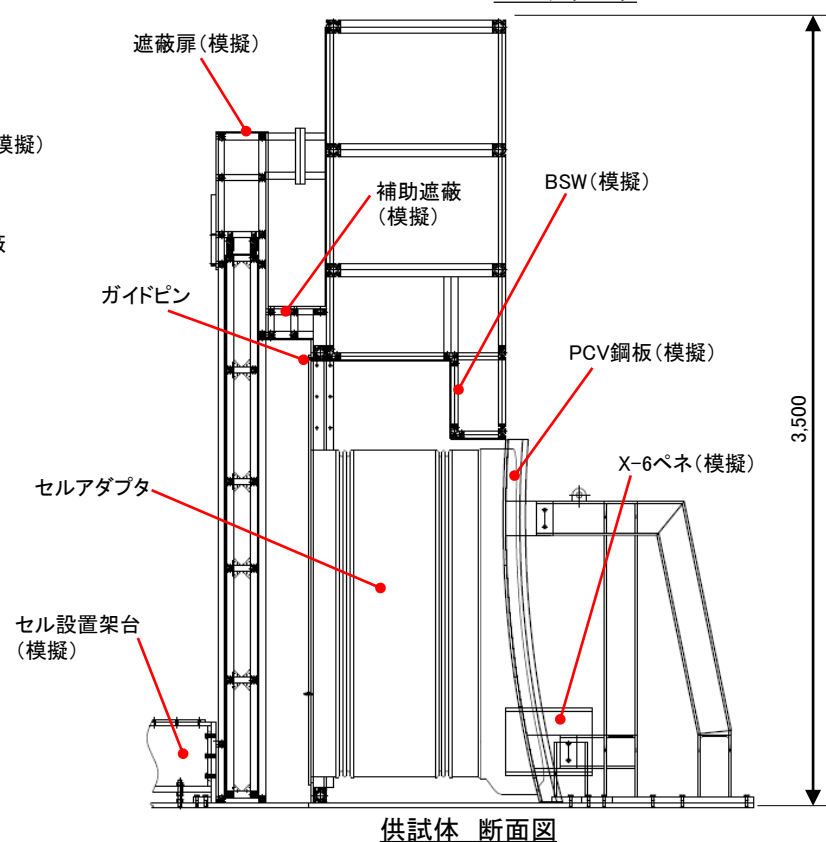
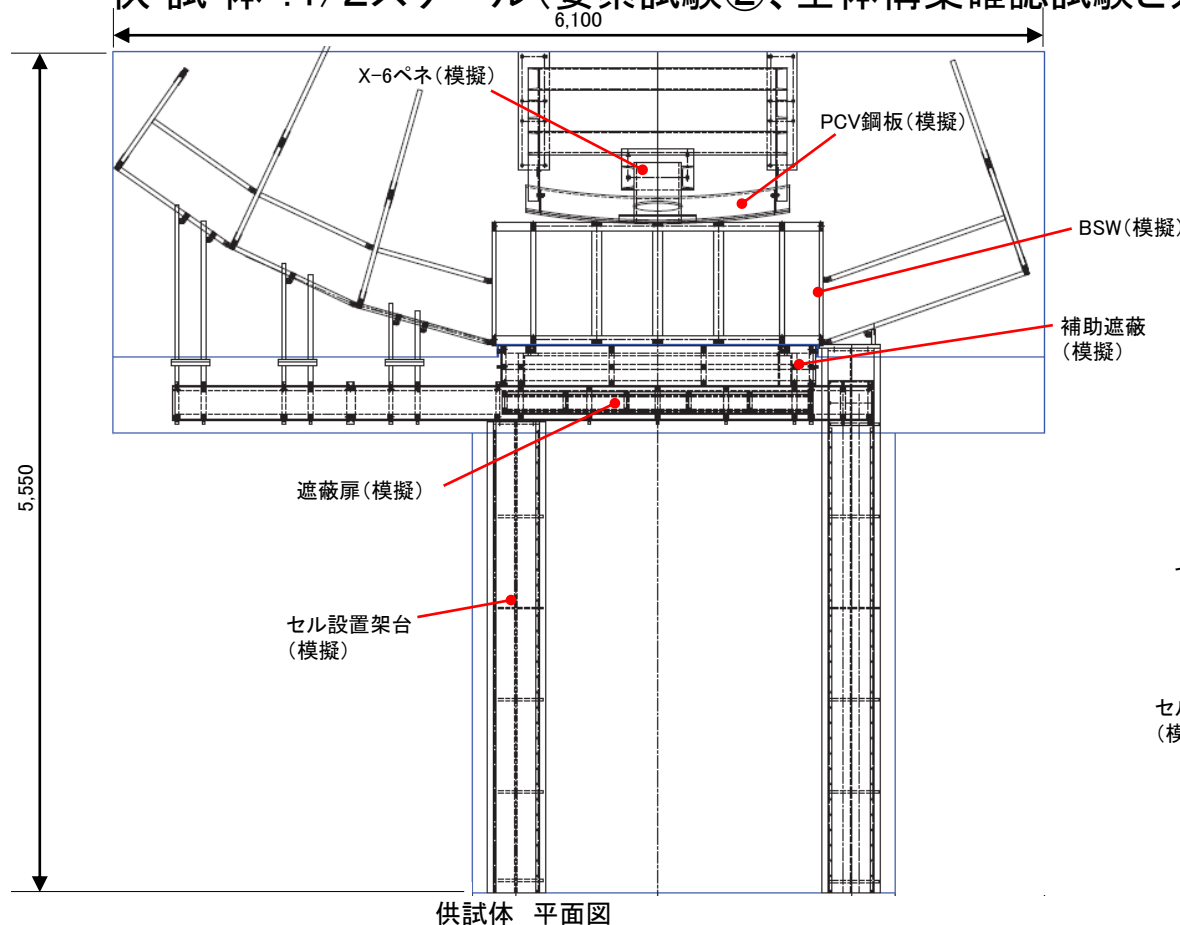
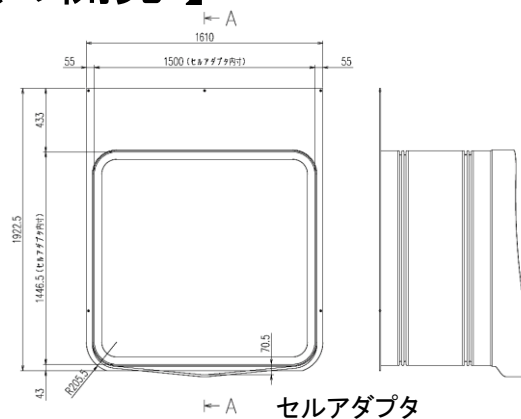
No.100

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6) - 3 - 1 : c. 据付手順の要素試験検証

【成果】: 要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

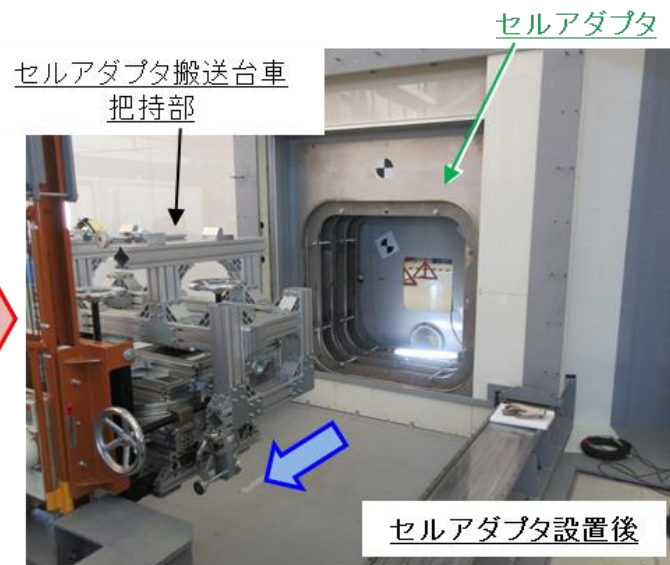
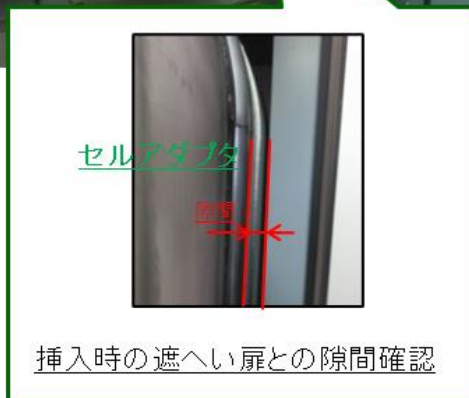
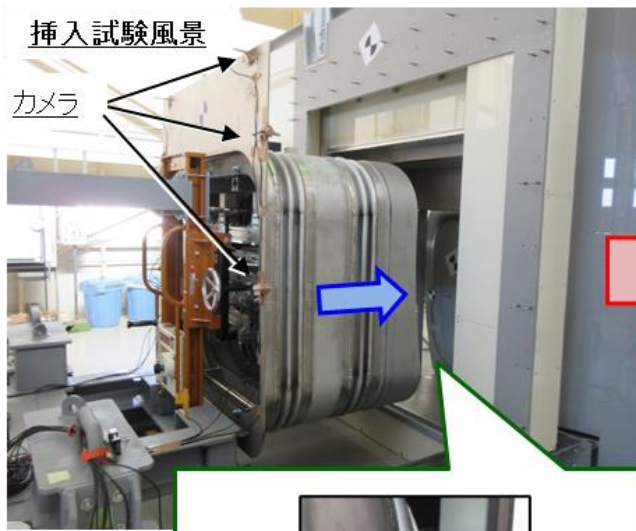
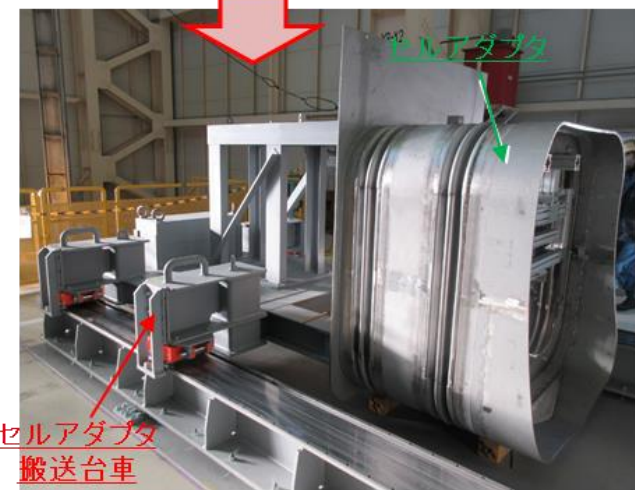
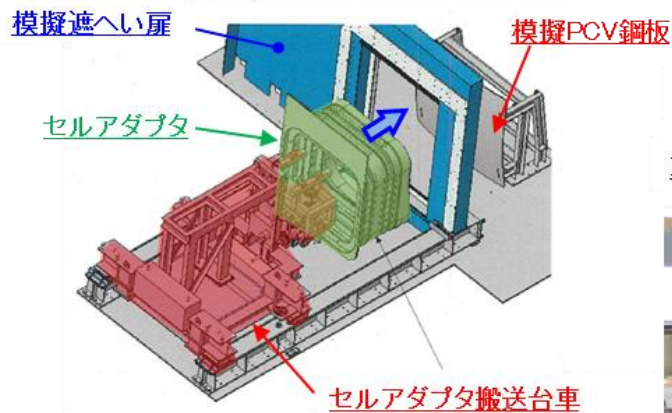
- ・実施時期: 2022年12月上旬～(試験完了)
- ・場 所: 三菱重工神戸造船所構内
- ・供 試 体 : 1/2スケール(要素試験②、全体構築確認試験と共用)



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認



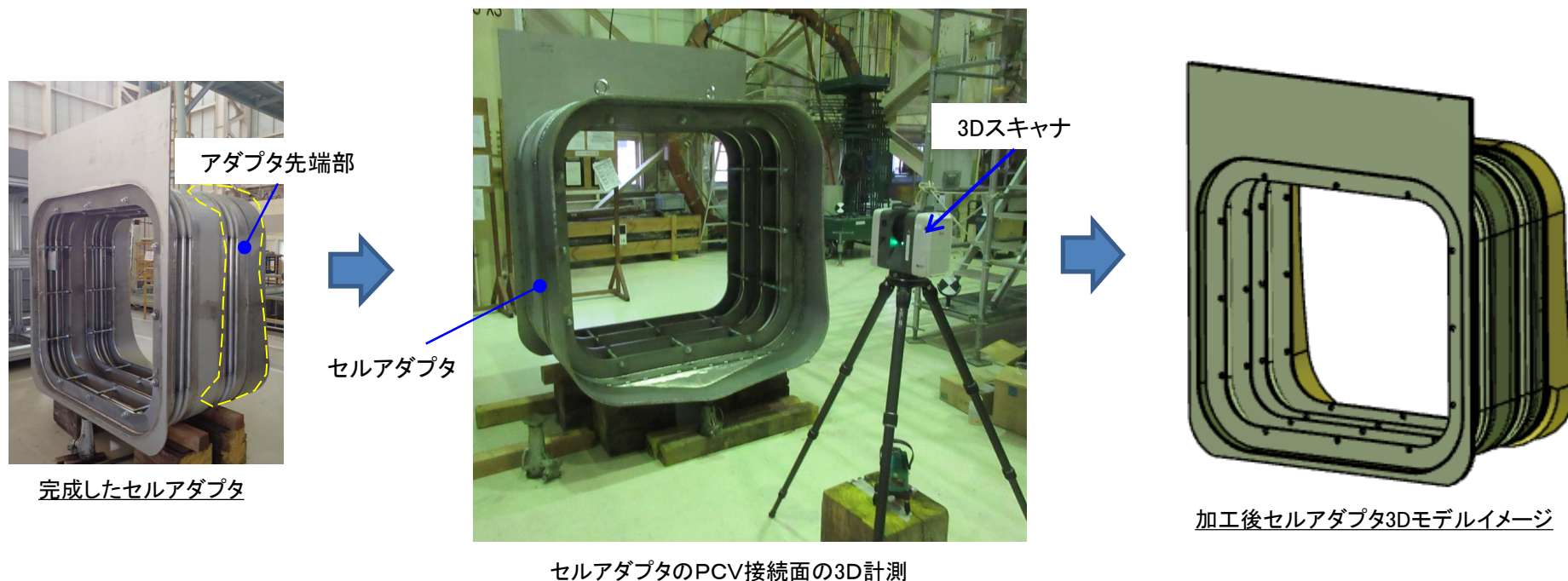
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験方法

1) PCV鋼板と加工後のセルアダプタを3Dスキャナで計測し、3Dモデル化を行う。



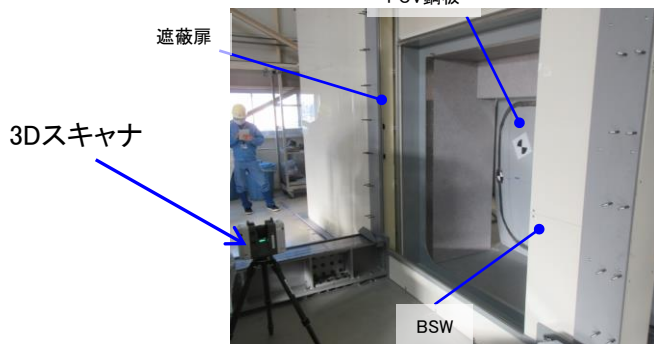
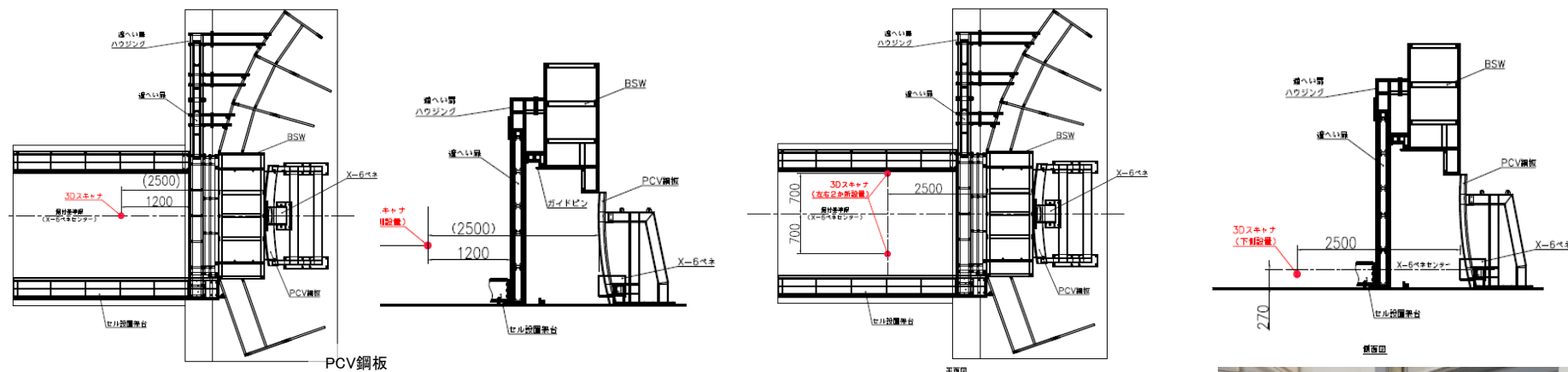
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

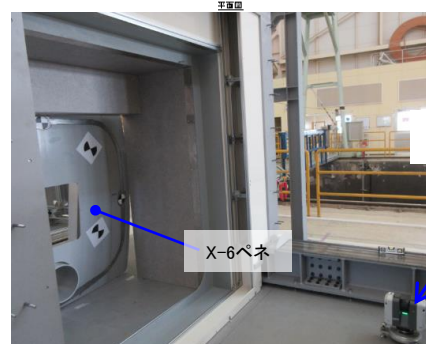
【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験方法

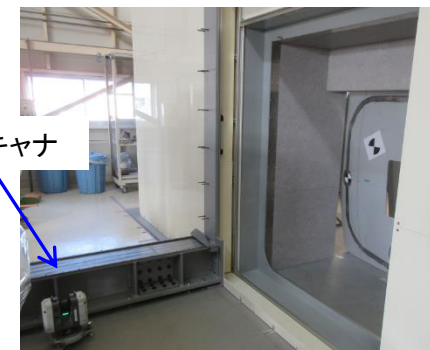
2) PCV鋼板・X-6ペネ・BSW・遮蔽扉を組付けた状態で、3D計測データを採取する。



供試体中央部の3Dスキャナ



供試体右部の3Dスキャナ



供試体左部の3Dスキャナ

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

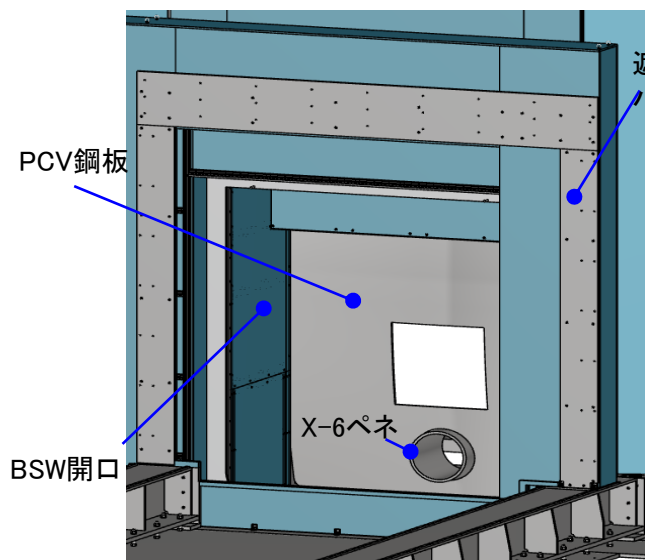
【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験方法

3) 前述の計測データを組合せて次の事項を確認

(a.) セルアダプタフランジ部のガイド穴位置の特定

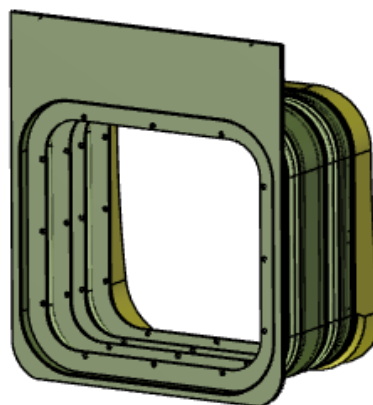
(b.) セルアダプタを挿入した際の計画上の隙間の把握



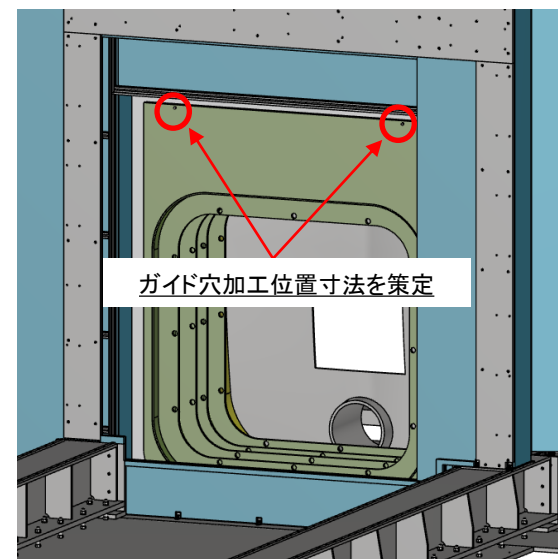
モックアップ側3Dモデル

遮蔽扉
ハウジング

+
CAD上で
組み込み



加工後セルアダプタ3Dモデルイメージ



ガイド穴加工位置寸法を策定

3DCAD上で組み込み
(ガイド穴加工部の位置把握)

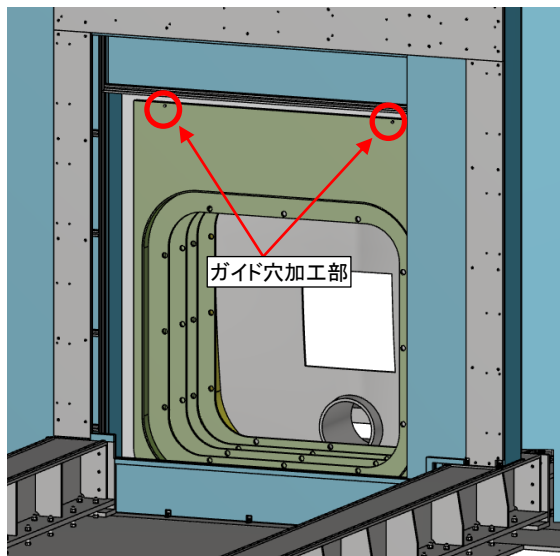
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

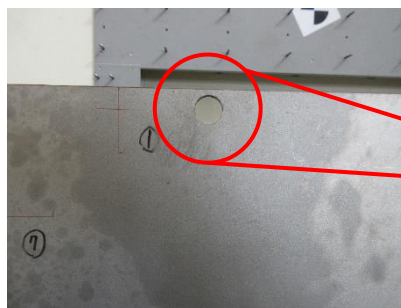
【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験方法

4)3DCAD上で確認した位置寸法でセルアダプタガイドピン穴を加工する。



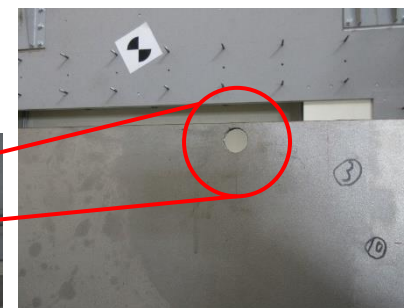
3DCAD上でのガイド穴加工部の位置



右側のガイドピン穴



セルアダプタガイドピン穴加工



右側のガイドピン穴

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

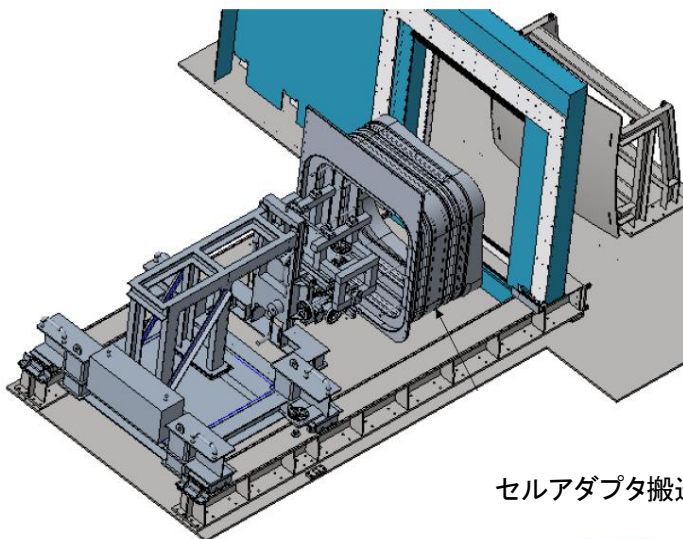
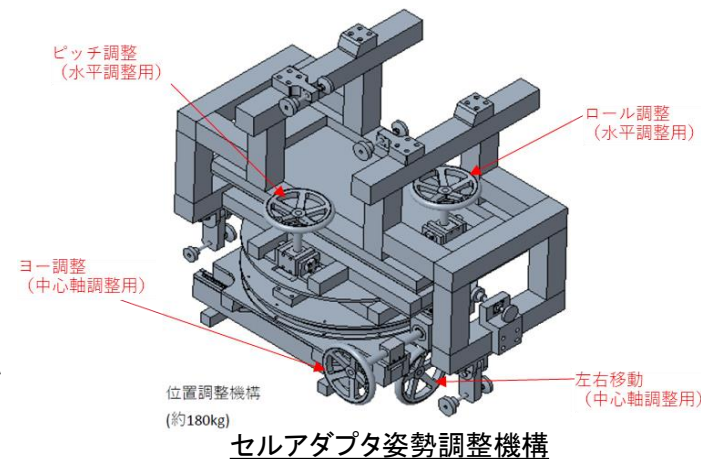
○試験方法

5)簡易台車にセルアダプタを搭載。

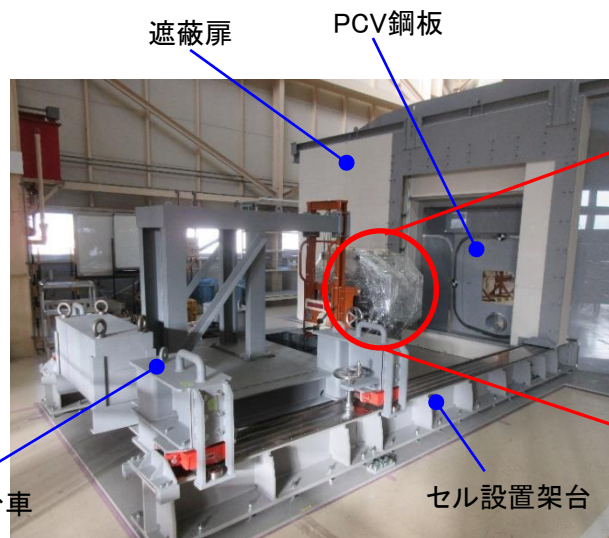
6)セルアダプタ挿入開始前のセルアダプタ位置出し。

- ・ セルアダプタの水平出し
- ・ セルアダプタの中心軸と据付基準線を一致させる
- ・ セルアダプタの変形(上下方向の垂れ)程度の確認

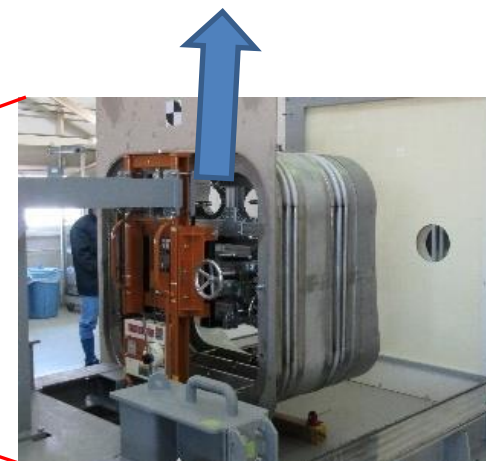
7)遮蔽扉を全開。



セルアダプタ搬送台車設置状況(3D CAD)



セルアダプタ搬送台車設置状況(写真)



セルアダプタ搭載状況(写真)

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

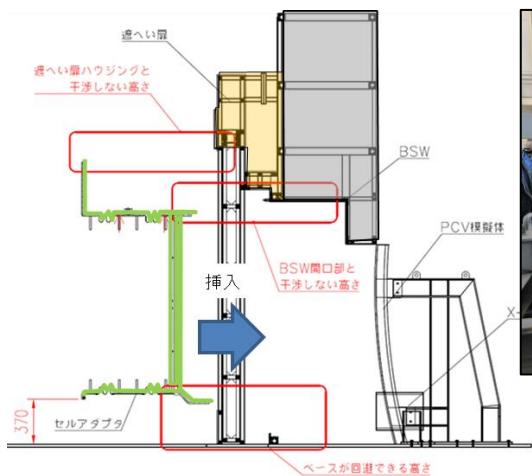
○試験方法

8)セルアダプタの挿入。

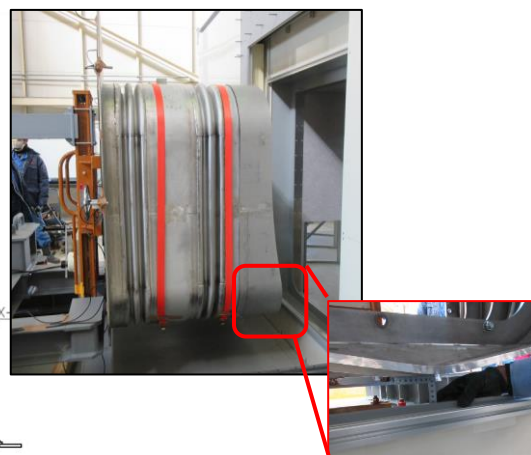
a) セルアダプタが遮蔽扉の遮蔽扉フレームとBSW開口を通過できる高さに調整 (各高さ位置を確認)。

b) 干渉を確認しながら、セルアダプタのフランジ部が遮蔽扉フレーム端よりPCV側に 入るまで前進 (干渉裕度及び各高さ位置を確認)。

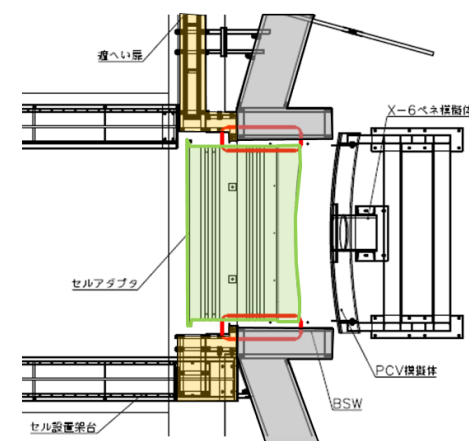
工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のズレ セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間 セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間



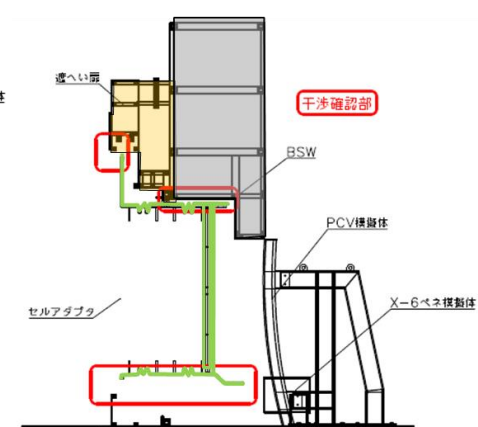
ステップ1断面



ステップ1状況(写真)



ステップ2上面



ステップ2断面

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

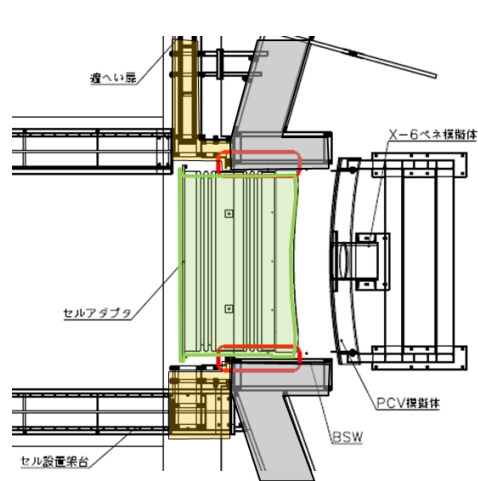
○試験方法

工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のズレ セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間 セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間

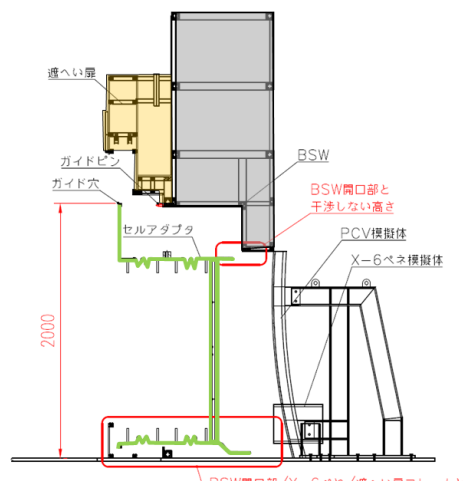
8)セルアダプタの挿入

c.) 遮蔽扉フレーム側のガイドピンとセルアダプタのガイド穴の高さが一致するようにセルアダプタの高さを下げる（干渉裕度及び各高さ位置を確認）。

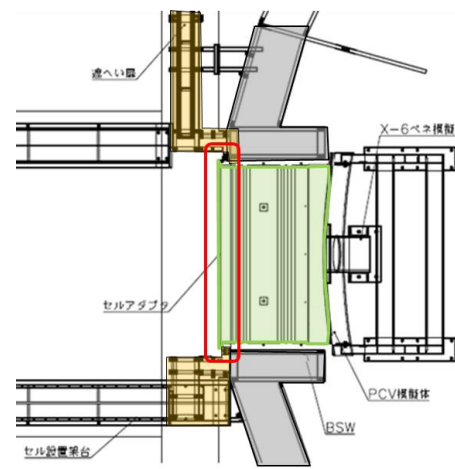
d.) 干渉裕度と遮蔽扉フレーム側のガイドピンがセルアダプタのガイド穴に入ることを確認しながら、セルアダプタ先端がPCV鋼板表面に接触するまでセルアダプタを前進。必要に応じてセルアダプタの位置を微調整する（干渉裕度及び各高さ位置を確認）。



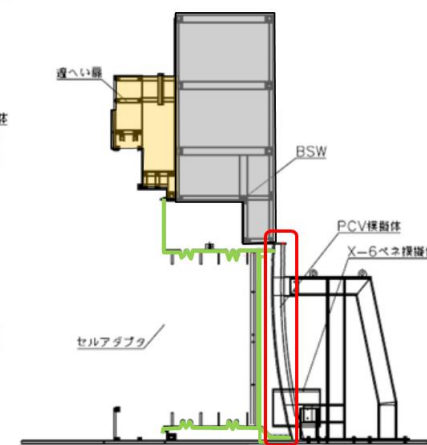
ステップ3上面



ステップ3断面



ステップ4上面



ステップ4断面

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

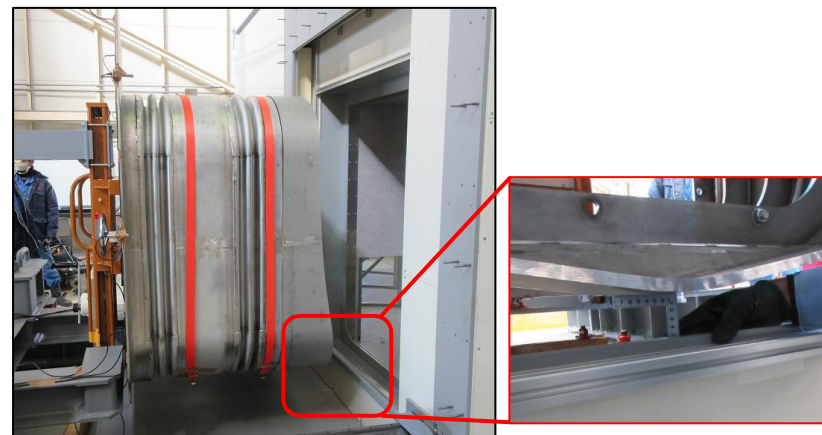
工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のズレ セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間 セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間

○試験方法

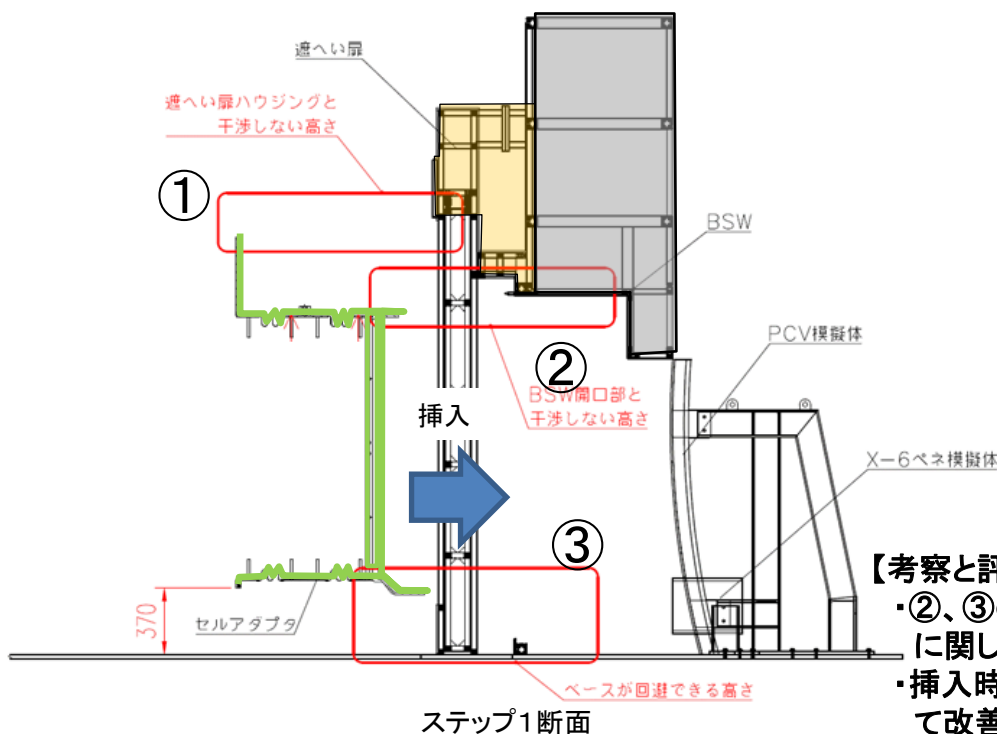
【セルアダプタ挿入時の遮蔽扉・BSW開口面との干渉裕度確認】

a.)ステップ1の干渉裕度確認

・搬入前の初期状態の為、位置設定のみ。



ステップ1状況(写真)



No.	確認部位		実測値 (mm)	設計値 (mm)
	セルアダプタ側	干渉対象物		
①	先端上面	BSW開口上面	100	95
②	フランジ部上端	遮へい扉ハウジング	91	71
③	先端下面	遮へい扉ハウジング	51	71

【考察と評価】

- ・②、③の差異はセルアダプタのフランジの為、上端とBSWの隙間に関して視認性確保の観点からを広く設定した(下端側は視認可能)。
- ・挿入時の初期設定であり、実機作業も同様な設定もしくはカメラ等にて改善予定。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.110

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

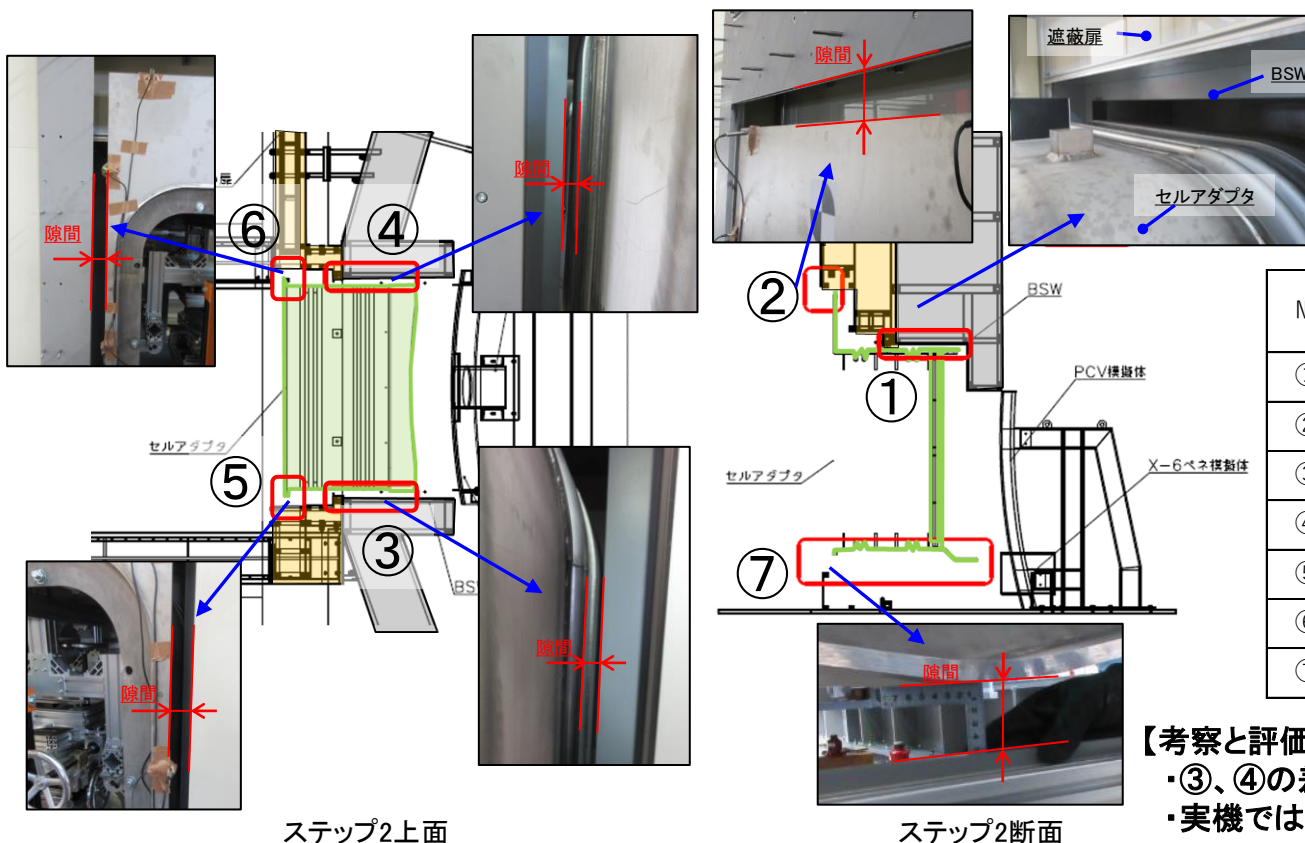
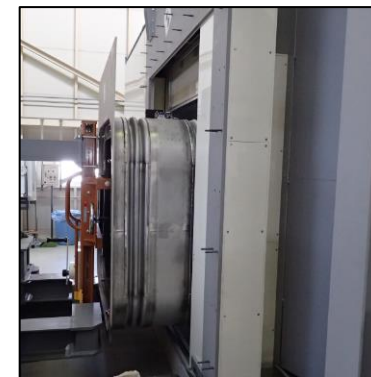
○試験方法

【セルアダプタ挿入時の遮蔽扉・BSW開口面との干渉裕度確認】

b.)ステップ2の干渉裕度確認

・BSWの開口が厳しく、先端左右については裕度を広げる方が良いと判断。

工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のズレ
	セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間
	セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間



No.	確認部位		実測値 (mm)	設計値 (mm)
	セルアダプタ側	干渉対象物		
①	先端上面	BSW開口上面	100	95
②	フランジ部上端	遮へい扉ハウジング	91	77
③	先端右面	BSW開口右面	8	16
④	先端左面	BSW開口左面	23	16
⑤	フランジ部右端	遮へい扉ハウジング	62	77
⑥	フランジ部左端	遮へい扉ハウジング	59	77
⑦	先端下面	遮へい扉ハウジング	51	71

【考察と評価】

- ・③、④の差異は挿入時のズレにより発生したと考えられる。
- ・実機では常時カメラで監視し挿入することで改善される予定。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.111

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験方法

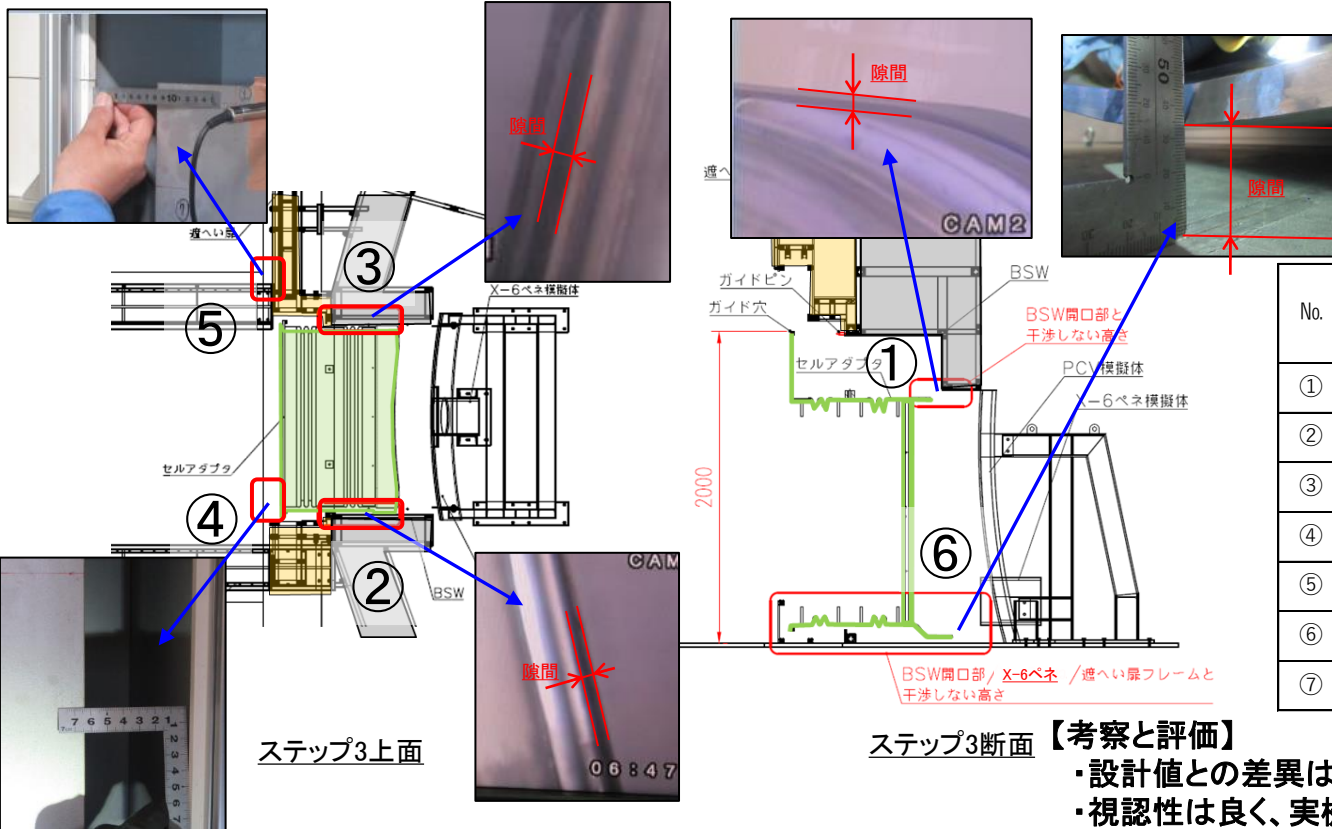
【セルアダプタ挿入時の遮蔽扉・BSW開口面との干渉裕度確認】

c.)ステップ3の干渉裕度確認

・挿入時にはセルアダプタフランジ部で先端が目視できない為、カメラ等にて確認を行う。



工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のスレ
	セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間
	セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間



No.	確認部位		実測値 (mm)	設計値 (mm)
	セルアダプタ側	干渉対象物		
①	先端上面	BSW開口上面	51	47
②	先端右面	BSW開口右面	25	30
③	先端左面	BSW開口左面	35	30
④	フランジ部右端	遮へい扉ハウジング	62	67
⑤	フランジ部左端	遮へい扉ハウジング	77	67
⑥	先端下面	X-6ベネ下端	72	64
⑦	先端下面	BSW開口下面	34	39

【考察と評価】

- ・設計値との差異は据え付け時の途中段階の数字で問題なし。
- ・視認性は良く、実機では常時カメラで監視し挿入する予定。

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.112

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6) - 3 - 1 : c. 据付手順の要素試験検証

【成果】: 要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

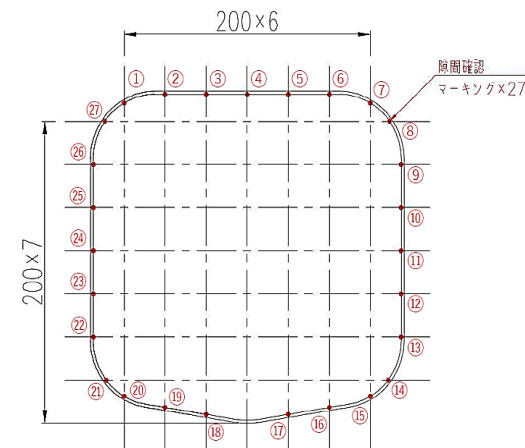
○ 試験結果

【セルアダプタ挿入時の遮蔽扉・BSW開口面との干渉裕度確認】

【考察と評価】

- 1) 挿入後に開口部との隙間を確認したが、ほぼ十分な隙間が確保され、据付けが良好に可能であることを確認できた。
- 2) 挿入後のセルアダプタと許容隙間2.5mm以内に対し最大2.4mmにすることができた。
- 3) セルアダプタの位置決め時に全長を調整する必要があるが、ベローズ間の SHIPPING ボルトにて調整可能 (SHIPPING ボルトによる調整の有効性を確認)。

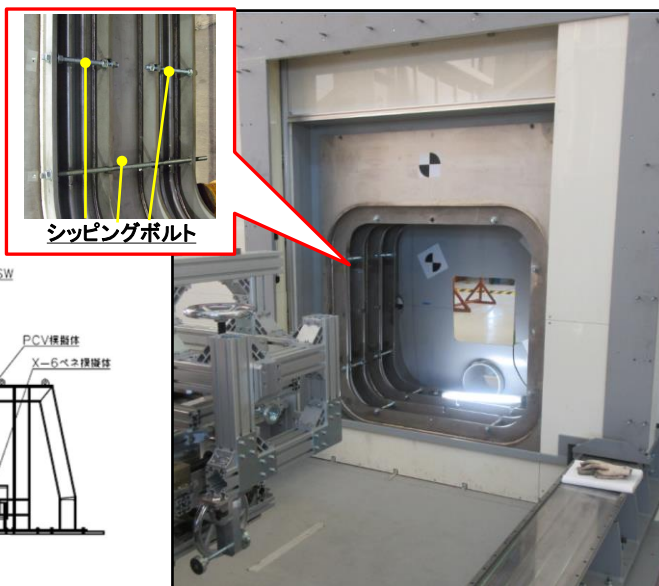
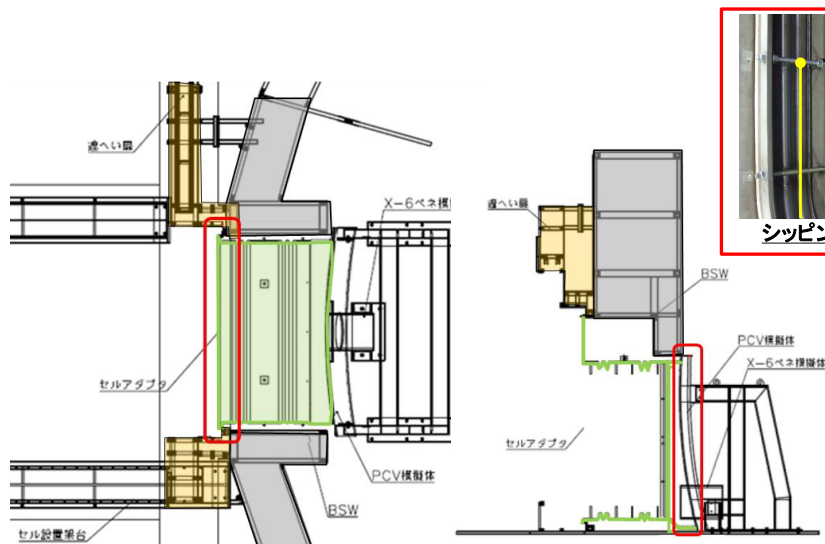
工程	確認項目
ステップ1	セルアダプタ高さ①
ステップ2	各干渉確認部のリスク裕度
ステップ3	セルアダプタ高さ②
ステップ4	設置位置のスレ セルアダプタ/遮へい扉フレームの隙間 セルアダプタ/PCV鋼板表面の隙間



【隙間計測結果】

評価基準：≦2.5mm

計測箇所	隙間計測結果 (mm)	計測箇所	隙間計測結果 (mm)	計測箇所	隙間計測結果 (mm)
①	0.7	⑪	1.4	⑳	1.7
②	0.7	⑫	0.4	㉑	2.3
③	0.7	⑬	0.9	㉒	2.0
④	1.6	⑭	0.0	㉓	1.7
⑤	1.3	⑮	0.7	㉔	1.0
⑥	1.5	⑯	0.9	㉕	1.0
⑦	1.8	⑰	1.2	㉖	0.9
⑧	2.2	⑱	0.0	㉗	0.8
⑨	2.4	⑲	1.5		
⑩	2.0	⑳	1.7		



ステップ4上面

ステップ4断面

据付後の状況

据付後のセルアダプタとPCV鋼板との隙間確認結果

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験結果

【セルアダプタ挿入時の遮蔽扉・BSW開口面との干渉裕度確認】

- 1) セルアダプタの挿入時の開口部との隙間を確認したが、ほぼ、十分な隙間が確保され、据え付けが良好に可能であることを確認できた。
- 2) 但し、セルアダプタ先端部と遮蔽扉フレームとの隙間に8mm、23mmの偏りができた(原因は挿入時のズレ等と想定)。
- 3) 実機ではカメラ等で連続監視する為問題ないと判断するが、リスク裕度(含、隙間確認時の視認性等)の向上を図り、遮蔽扉ハウジングとセルアダプタフランジ接続プレート部の左右方向の開口寸法(左右方向)を50mm程度(1/1スケール)の隙間を増やすことも考える。

尚、今回試験を1/2スケールで実施したが、形状・隙間・許容値を合わせており、次葉以降の結果も含めて1/1となる実機へ適用可能である。また、試験時ベローズは SHIPPINGボルトで剛性を保っており挿入時の干渉・隙間計測に対して問題とはならない。

さらに、SHIPPINGボルトによる長さ調整が可能であることが分かった。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

○試験結果

【ガイドピン及びガイド穴位置・径の妥当性】

- 1)セルアダプタ挿入時ガイドピンに位置決めしながら挿入する方法とし、ピン径 ϕ 12mm・穴径は ϕ 22mmとした。
(BSWとセルアダプタとの隙間が約25mmであったことからピン穴径を約22mmとした。) また、セルアダプタに設置するガイド穴位置はPCV鋼板及びセルアダプタとの接続面を3Dスキャナデータ上で確認し決定した。
- 2)セルアダプタ挿入完了状態に対して、ガイドピンがガイド穴に問題なく挿入され、ガイドピンとガイド穴隙間が1mm以上確保されることを確認した。(実機でもセルアダプタ搬送台車のカメラにてガイドピンを目視把握し、それに基づいて位置調整が可能)。また、挿入位置についてもガイドピンの範囲内で再現可能。
- 3)ガイドピンを活用する据付工法は問題なく実施可能であることを確認した。



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

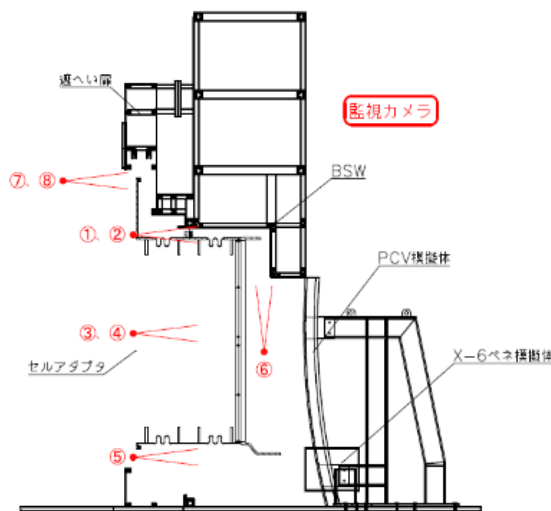
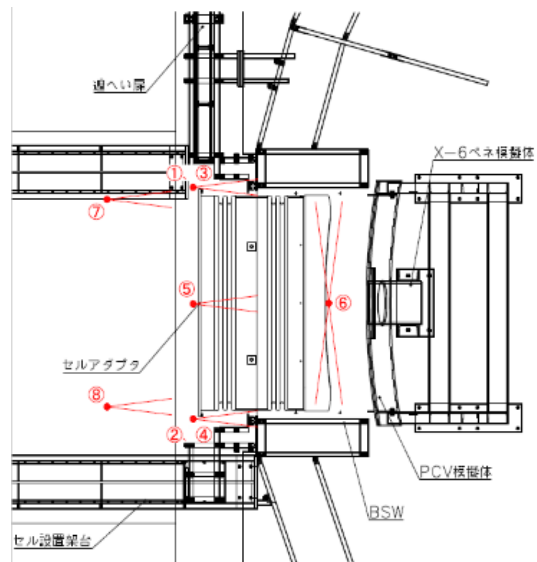
○試験結果

【セルアダプタ挿入時の遠隔監視ポイント】

- 1) 遮蔽扉ハウジングやBSWの開口部との干渉およびガイドピンに対する位置決めを遠隔カメラで確認。
- 2) 本試験でも監視カメラを設置し挿入時の遠隔監視ポイントを確認。
- 3) また、目視で監視したポイントについても遠隔監視ポイントとして抽出した。

以上より下記ポイントにてカメラを設置することで隙間状況を遠隔目視確認しながら挿入することが可能と判断。

今後はセルアダプタとの固定方法及びケーブル処理方法について詳細な検討を行う。



- ・監視カメラ①、②
:セルアダプタ上面側干渉確認用
- ・監視カメラ③、④
:セルアダプタ側面側干渉確認用
- ・監視カメラ⑤
:セルアダプタ下面側干渉確認用
- ・監視カメラ⑥
:セルアダプタ先端上部干渉確認用
- ・監視カメラ⑦、⑧
:ガイドピン/ガイド穴確認用

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

セルアダプタ搬送台車への要求事項の整理

セルアダプタ遠隔搬入装置の仕様について、今回の試験結果より要求事項、必要機能を記す。
尚、遠隔で行う当該部の工事について、前後の必要な遠隔装置と分担する計画とした。

No.	必要装置	要求事項	必要機能
1	BSW掘削装置	BSWの開口作成	必要開口(□3100mm)の掘削 PCV鋼板の検知
2	X-6ペネの切断装置	X-6ペネプラグ、X-6ペネの切断	X-6ペネプラグの確認(カメラ)、切断、撤去 X-6ペネの確認(カメラ)、切断、撤去
3	PCV鋼板を仕上げる装置	PCV鋼板の塗膜除去、既設溶接ビードの除去	PCV鋼板の確認(カメラ) バフ研磨等による表面処理
4	セルアダプタ搬送台車	セルアダプタの把持、挿入、 位置決め、仮溶接、隙間計測	セルアダプタの把持機構 ・搬入機構(2軸:進行、昇降) ・位置決め機構(4軸:水平、ヨー、ピッチ、ロール) ・動作ピッチ(回転軸:0.5°、移動ストローク:5mm/回転) セルアダプタと遮蔽扉の隙間監視(カメラ・隙間ゲージ) セルアダプタの隙間計測 セルアダプタとPCV鋼板の隙間監視(カメラ) セルアダプタとPCV鋼板の仮止め・溶接 セルアダプタと遮蔽扉の仮止め・溶接
5	セルアダプタとPCVの溶接装置	溶接、外観検査	溶接および溶接後の外観検査(カメラ)
6	セルアダプタと遮蔽扉の溶接装置	溶接、外観検査	溶接および溶接後の外観検査(カメラ)
7	SHIPPINGボルト撤去装置	SHIPPINGボルトの撤去(切断)	SHIPPINGボルトの切断、撤去 SHIPPINGボルトの位置確認、切断後の確認(カメラ)

今回試験を1/2スケールとし、形状・隙間等は合わせて実施して遠隔装置への要件を提示した。実機と重量と剛性が異なるが、ベローズはSHIPPINGボルトで剛性を保っており支障なく、要件はそのまま適用可能である。但し、実機においては重量への対応を考慮する必要がある。

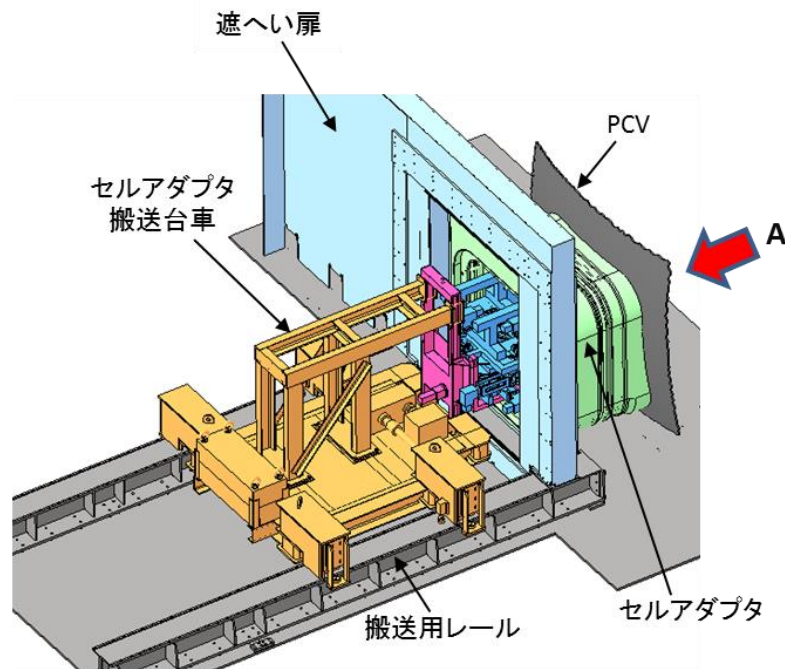
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3－1:c.据付手順の要素試験検証

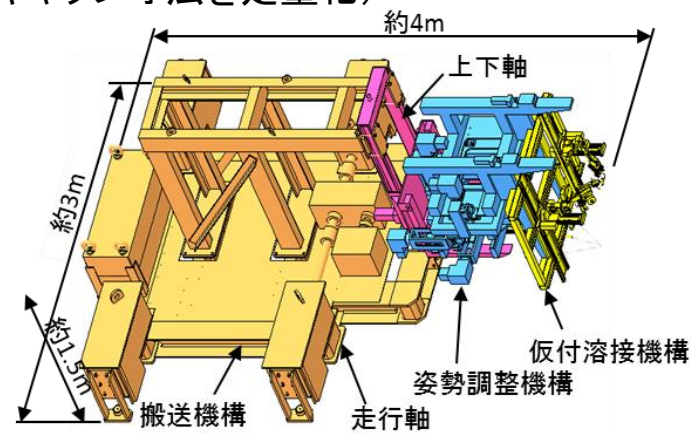
【成果】:要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

実機向け搬送台車の設計コンセプト

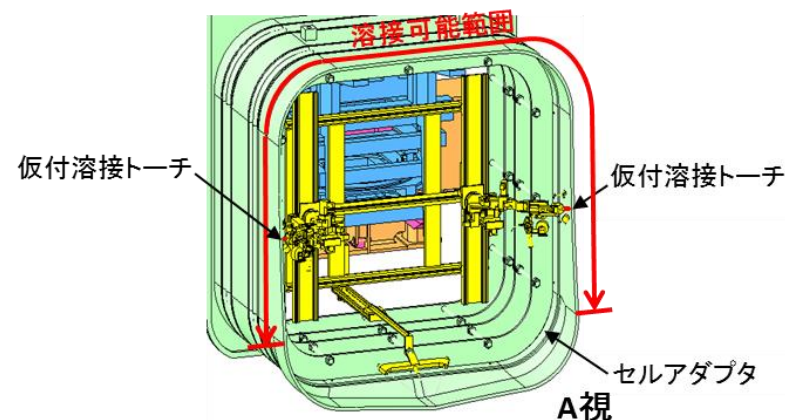
- 1) セルアダプタ搬送・位置決め作業と仮付け溶接作業を同一台車で実施可能とする
- 2) セルアダプタ搬送・姿勢調整機構をベースに下記機能を搭載
 - (a.) 開先ギャップ目視確認機能(画像処理により、ギャップ寸法を定量化)
 - (b.) セルアダプタ仮付け溶接機能
(溶接トーチ動作機構、ワイヤ送給機構を搭載)



セルアダプタ搬送作業イメージ図



セルアダプタ搬送台車全体イメージ図

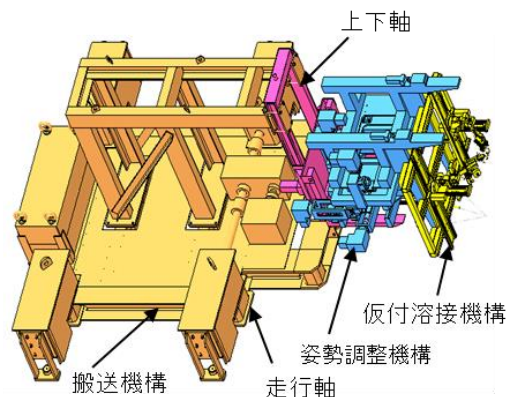


① 大型重量構造物の設置

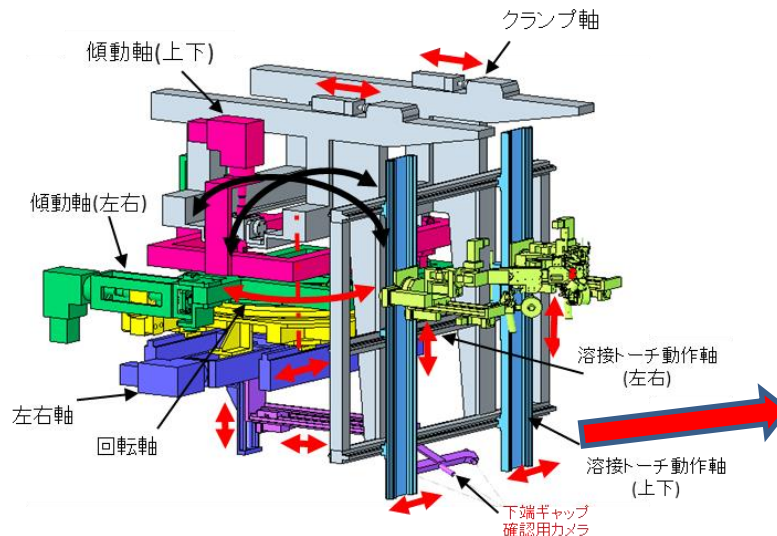
(6) 実施事項 (6) - 3 - 1 : c. 据付手順の要素試験検証

【 成果 】 : 要素試験計画③-5セルアダプタの遠隔据付方法確認

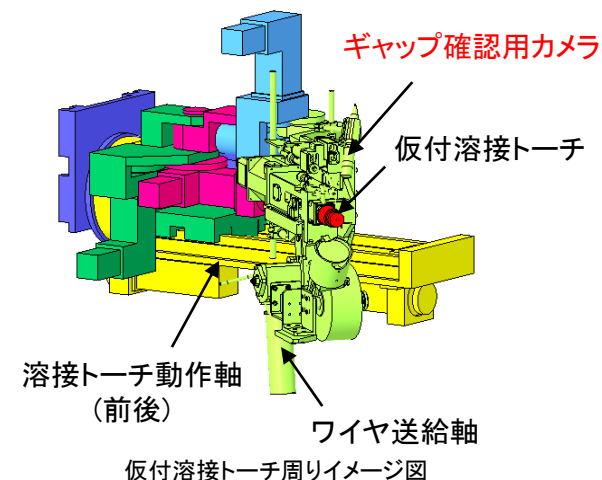
装置仕様について



セルアダプタ搬送台車全体イメージ図



姿勢調整機構・仮付溶接機構イメージ図



仮付溶接トーチ周りイメージ図

項目		仕様
主要材質		SS400、SUS304、アルミ合金
機能		セルアダプタの搬送、位置決め、 開先ギャップ確認 、仮付溶接機能(Tig溶接) * 2か所同時溶接可能
搬送機構	軸構成	走行軸、上下軸
	アクチュエータ	水圧シリンダ、電動モータ
姿勢調整機構	軸構成	クランプ軸、左右軸、回転軸、傾動軸(上下・左右)
	アクチュエータ	電動モータ
仮付溶接機構	軸構成	溶接トーチ動作軸(前後・上下・左右)、ワイヤ送給軸
	アクチュエータ	電動モータ

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6) - 3 - 1 : c. 据付手順の要素試験検証

【成果】: 要素試験計画④(全体構築確認試験)-1 バウンダリ構成の成立性確認

(狙い)

- セルを含めた、全体構成要素(遮蔽扉及び、セルアダプタ、セル据付架台)の設置方法の具体化及びバウンダリ構成の検証を行う。

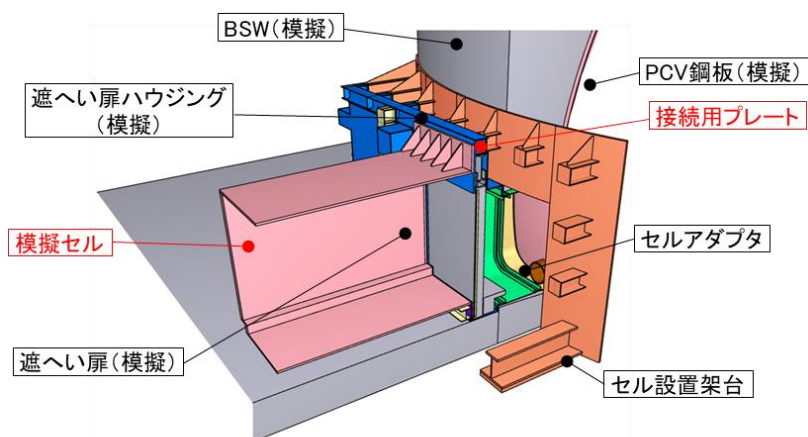
(得られる成果)

- 全体構成要素の搬入・据付方法の確立及びバウンダリ構成の成立性。

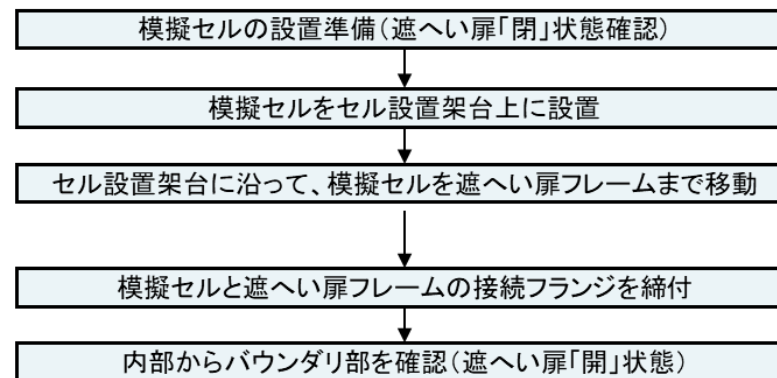
➤ 要素試験②、③で使用する試験設備に燃料デブリ取り出しセルの模擬セル(部分模擬)を設置し、バウンダリ構成の確認を行う。

- ・模擬セルをセル設置架台上に設置し、セル設置架台に沿って遮蔽扉側まで移動させる。
- ・模擬セルと遮蔽扉ハウジングの接続用プレートを締付ける。
- ・バウンダリ部を確認する。

⇒ **バウンダリが構成されていることを確認**



模擬セル設置イメージ ※模擬体は要素試験②、③と共用



【補足】

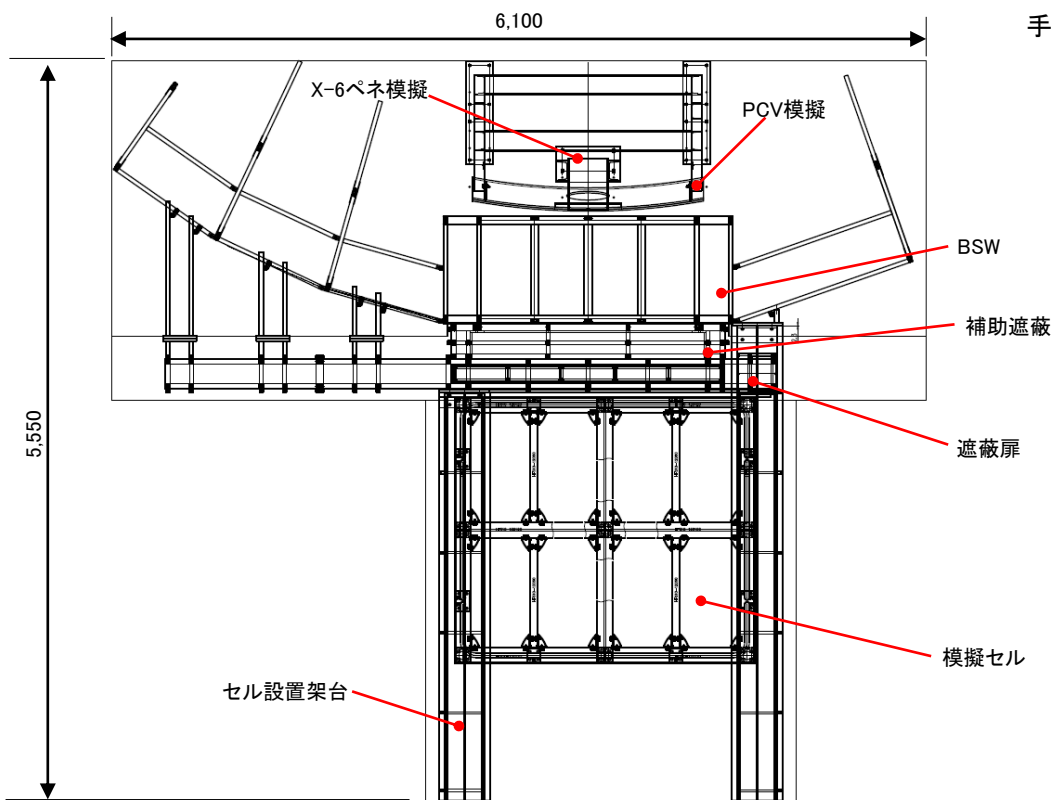
※模擬体は1/2スケール

① 大型重量構造物の設置

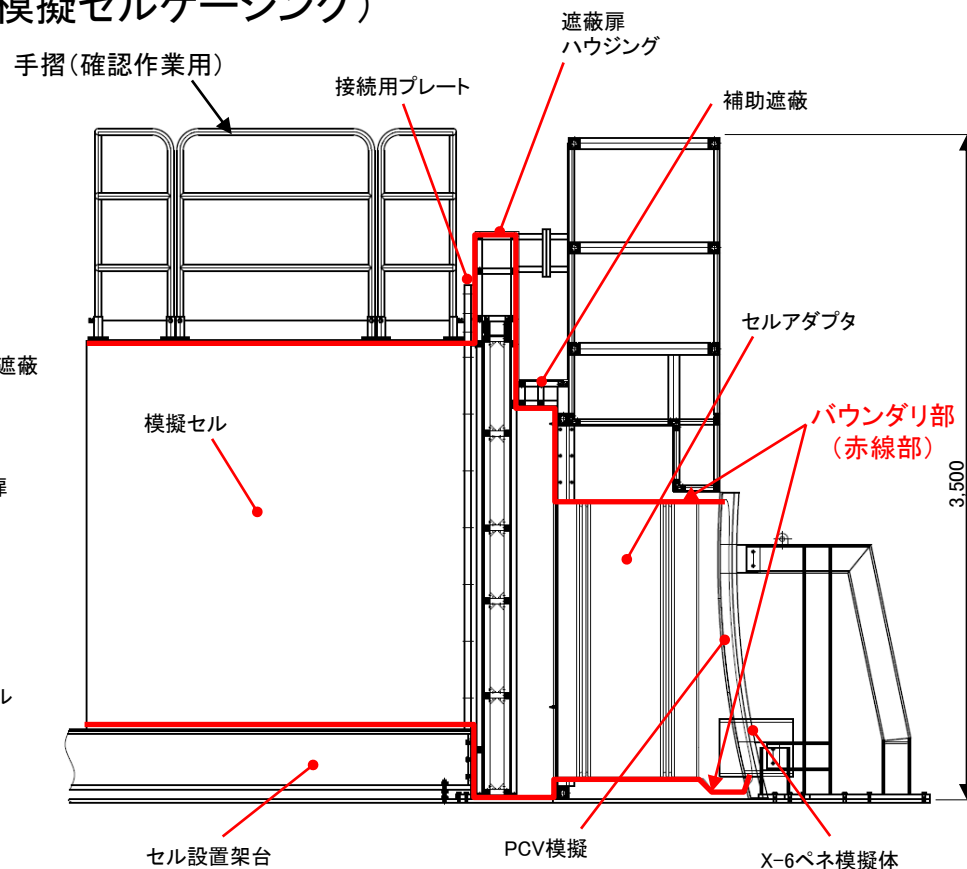
(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【成果】:要素試験計画④(全体構築確認試験)-2 バウンダリ構成の成立性確認

- ・実施時期:2022年12月中旬～(試験完了)
- ・場 所:三菱重工神戸造船所構内
- ・供 試 体 :1/2スケール(要素試験②、③と共用+模擬セルケーシング)



供試体 平面図



供試体 側面図

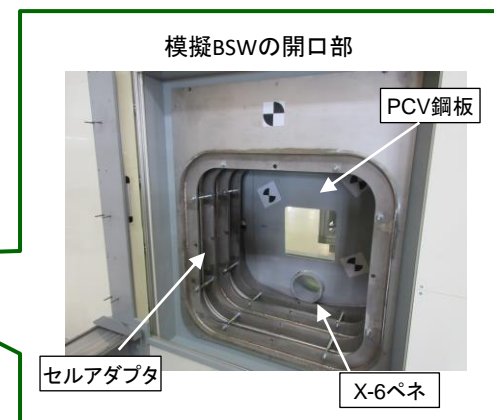
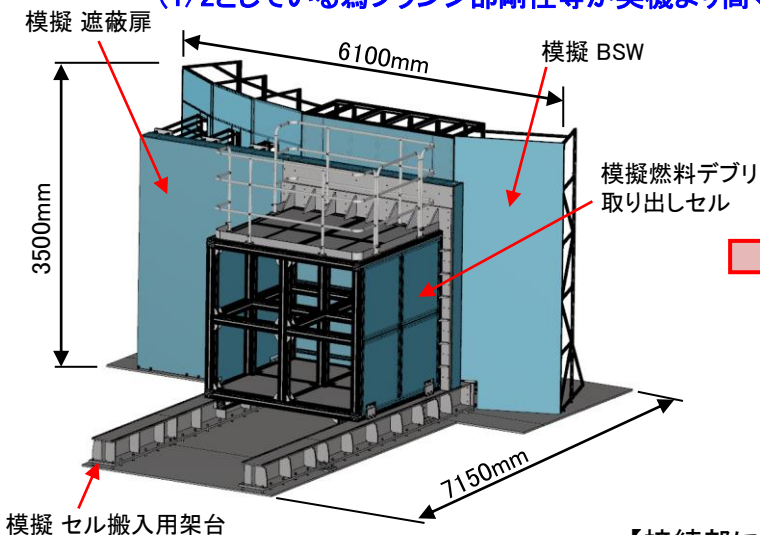
① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6) - 3 - 1 : c. 据付手順の要素試験検証

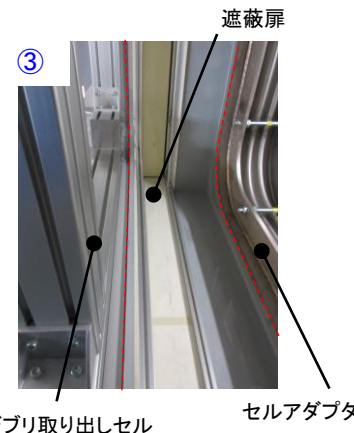
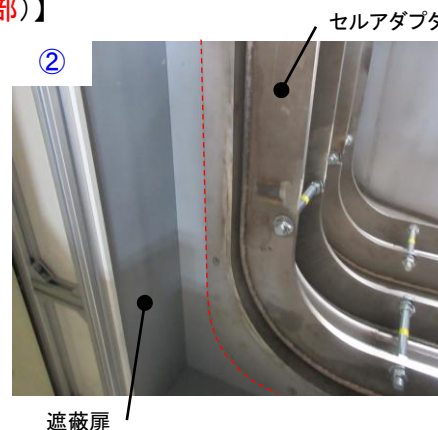
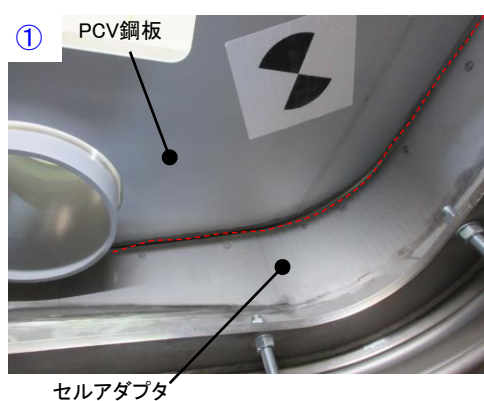
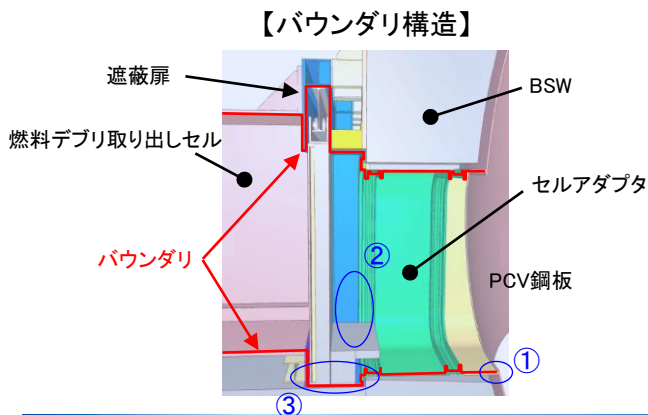
【成果】: 要素試験計画④(全体構築確認試験)-2 バウンダリ構成の成立性確認

・模擬燃料デブリ取り出しセル模擬を設置し、セルからPCV鋼板までバウンダリが構築されていることを確認。

【尚、今回試験を1/2スケールで実施したが、バウンダリ部の形状・隙間・曲率等を合わせており、1/1となる実機へ適用可能である(1/2としている為フランジ部剛性等が実機より高くなりますが設計時に十分配慮できる範囲と判断します)。】



【接続部におけるバウンダリの確認(赤点線部)】



6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

No.122

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)－3-1:c.据付手順の要素試験検証

【【成果】:要素試験計画 主要確認項目

【主要結果】

試験	確認項目	確認方法	評価基準	結果	模擬体 スケール	今後の検討	技術的成立性/実現性
要素試験①	据付基準線の マーキング手法	実機ベースの長さを模擬し、 3Dスキャナで求めた据付基準 線の実力値確認	許容誤差 ≤±50mm	最大誤差25mm	1/1	3Dスキャナの耐放射性影響	遮蔽構造の検討の見通しにより実現の見通し
						誤差裕度の更なる確保 (セル・アームの裕度検討)	今後の詳細設計により 成立
要素試験②	セルアダプタの加 工性可否	加工後のセルアダプタ形状と PCV鋼板形状との比較	PCV鋼板とセルアダ プタとの隙間: ≤2.5mm	初回計測: 4mm (PCV鋼板の金属光沢が影響) 調整加工後: 2.4mm (光沢除去スプレー使用で 誤差2mm(に向上))		調整加工及び光沢除去スプ レー使用を実機要領に反映	実機の運営要領の見直 しにて実現の見通し
						隙間確認用テンプレートの 検討	今後の詳細設計により 成立
要素試験③ (挿入性確認)	挿入の干渉リスク 裕度	セルアダプタと遮蔽扉フレーム の干渉	挿入走行時に干渉が発 生しないこと	ほぼ設計値に通り隙間が確保され ており、挿入可能。 (一部視認性の観点から位置をずら して挿入)		干渉裕度を考慮したBSW開 口部寸法の検討	今後の詳細設計により 成立
		セルアダプタとBSWとの干渉					
		X-6ペネ部通過の目視確認					
	ガイドピンによる 位置決め成立 性確認	ガイドピン挿入方法の有効性 確認	ガイドピン範囲内で位置 決め可能及び再現性が あること	・位置決め挿入性は問題なく実施可 能。 ・ガイドピン隙間範囲内で挿入再現 性もあり	1/2	—	ガイドピン方法は弊社で の実績があり、実現の見 通し。
要素試験③ (要求仕様抽 出)	セルアダプタ挿入 及び位置決め方 法動作の確認	位置調整に関わる方向確認	動作軸数確認	・搬入機構: 2軸 (進行・昇降) ・位置決め機構: 4軸 (水平・ヨー・ピッチ・ロール)		遠隔化装置の概念及び コンセプト検討	今後の詳細設計により 成立
		位置調整のピッチ確認	動作ピッチ確認	回転軸: 0.5° 移動ストローク: 5mm			
		挿入速度の確認	速度確認	約10mm/sec			
		位置調整確認事項抽出	監視位置の抽出	監視ポイントでの挿入が可能			
全体構築確認 試験	バウンダリ構築確 認	目視確認	バウンダリの目視確認	バウンダリ部に隙間がないことを確 認		フルスケールでの全体モック アップ試験	今後の詳細設計により 成立

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-3-1 :c. 据付手順の要素試験検証

✓ 成果の反映先への寄与

・横取り出し工法におけるR/B内でのアクセス用設備据付手順の具体化に寄与。

✓ 現場への適用性の観点における分析

・3号機原子炉建屋内の構造及び供試体についてはBSW開口/PCV鋼板の形状等、必要に応じ可能な限り模擬しており、現場適用性を考慮。

1)レーザスキャナを使用した基準位置把握及び罫書き工法

ペDESTAL開口部及びX-6ペネ及び建屋間の距離を実機大で模擬する必要がある為、

1/1にて模擬を行う。(ご参照:No.73~84)

2)セルアダプタとPCV鋼板の位置合わせ、搬入・据付時の位置確認方法及びセル等

据付手順検証の確認試験

R/B内のX-6ペネ周辺のPCVとBSWを部分模擬、セルアダプタ、遮蔽扉及び燃料デブリ取り出しセルを模擬(燃料デブリ取り出セル長さはPCV接続側の2m程度を模擬)。

供試体サイズは誤差の計測精度と作業性から1/2にて実施。(ご参照:No. 85~122)

・据付に必要な各々の工法はできる限り、一般的な技術を組合せることで、現場適用性を考慮。

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-3-1 : c. 据付手順の要素試験検証

✓ 目標に照らした達成度

【目標】:(6)-2 にて抽出した以下課題について要素試験により成立性を確認

- 1) レーザスキャナを使用した基準位置把握及び罫書き工法
- 2) セルアダプタとPCV鋼板の位置合わせ方法
- 3) セルアダプタ搬入、据付け時の遠隔位置確認方法
簡易的に搬入・据付を行い遠隔化装置への要求仕様の明確化まで。

【達成状況】

- 1) 据付基準線マーキング手法の確立
 - ・基準位置把握方法の検討完了(罫書きは一般的な墨出し)。
 - ・要素試験を行い成立していることを確認(誤差範囲 $\leq 50\text{mm}$ に対して $\leq 25\text{mm}$ であることを確認)。
- 2) セルアダプタPCV接続面の加工可否確認
 - ・レーザスキャナによる形状把握方法の検討完了。
 - ・スキャナ結果に基づくセルアダプタ先端形状の加工要素試験を行い成立していることを確認(誤差範囲 $\leq 2.5\text{mm}$ に対して $\leq 2.4\text{mm}$)。
- 3) セルアダプタの遠隔据付方法確認
 - ・セルアダプタ搬入時のPCV鋼板との挿入・据付方法の検討完了。
 - ・検討している構造での搬入・据付の要素試験を行い、問題ないことを確認。
また、遠隔化(装置化)に必要な仕様を明確化。
- 4) バウンダリ構成の成立性確認
 - ・検討している構造での搬入・据付の要素試験を行い、構造に問題ないことを確認。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-3-2 :c. 据付手順の要素試験検証(遠隔据付装置への要求仕様整理)

【目的】:大規模燃料デブリ横取り出し工法の現場適用を踏まえた実現性確認

【目標】:セルアダプタ搬入、据付け時の要素試験結果を踏まえ、遠隔化に必要な装置の要求仕様明確化

- 1)セルアダプタ搬入・据付手順の明確化
- 2)搬入・据付作業手順に対する装置への要求事項整理
- 3)要素試験結果を踏まえた装置の要求事項明確化

✓ 既存技術との比較

- ・据付についてはできる限り既存技術の組合せにて実施する。

✓ 実施事項、成果

セルアダプタ搬入、据付け時の要素試験結果を踏まえた装置の要求仕様明確化完了。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-3-2:c. 据付手順の要素試験検証(遠隔据付装置への要求仕様整理)

✓ 成果の反映先への寄与

- ・横取り出し工法におけるR/B内でのアクセス用設備据付手順の具体化に寄与。

✓ 現場への適用性の観点における分析

- ・3号機原子炉建屋内の構造及び供試体について、縮尺は1/2として重量の模擬はしていないものの、小型で取扱いを楽にして、据え付けに必要な環境条件(BSW開口/PCV鋼板の形状等)を模擬し、現場での作業性の確認をしやすくした。
- ・現地での作業手順を検討し、その結果を反映することで現地工事を考慮。

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-3-2:c. 据付手順の要素試験検証(遠隔据付装置への要求仕様整理)

✓ 目標に照らした達成度

【目標】:セルアダプタ搬入、据付け時の要素試験結果を踏まえ、遠隔化に必要な装置の要求仕様明確化

- 1)セルアダプタ搬入・据付手順の明確化
- 2)搬入・据付作業手順に対する装置への要求事項整理
- 3)要素試験結果を踏まえた装置の要求事項明確化

【達成状況】

- 1)セルアダプタ搬入・据付手順の明確化完了
- 2)搬入・据付作業手順に対する装置への要求事項整理完了
- 3)要素試験結果を踏まえた装置の要求事項明確化完了

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

その他:セル内作業の詳細化

a) 検討の目的

- スループット算出においては、セル内でのユニット缶の取扱いなどの作業時間が関係する。
- スループット向上の為、燃料デブリ取り出し作業時のセル内作業を詳細化し、スループット算出結果の精度向上を図る。

なお、安定的に連続して燃料デブリ取り出し作業を行う為には、燃料デブリ取り出し設備内の機器が故障した場合にも、早期に交換あるいは保守を行い取り出し作業を再開させる必要がある。そこで、以下の検討も合わせて実施し、燃料デブリ取り出し設備のリスクアセスメントを行う。

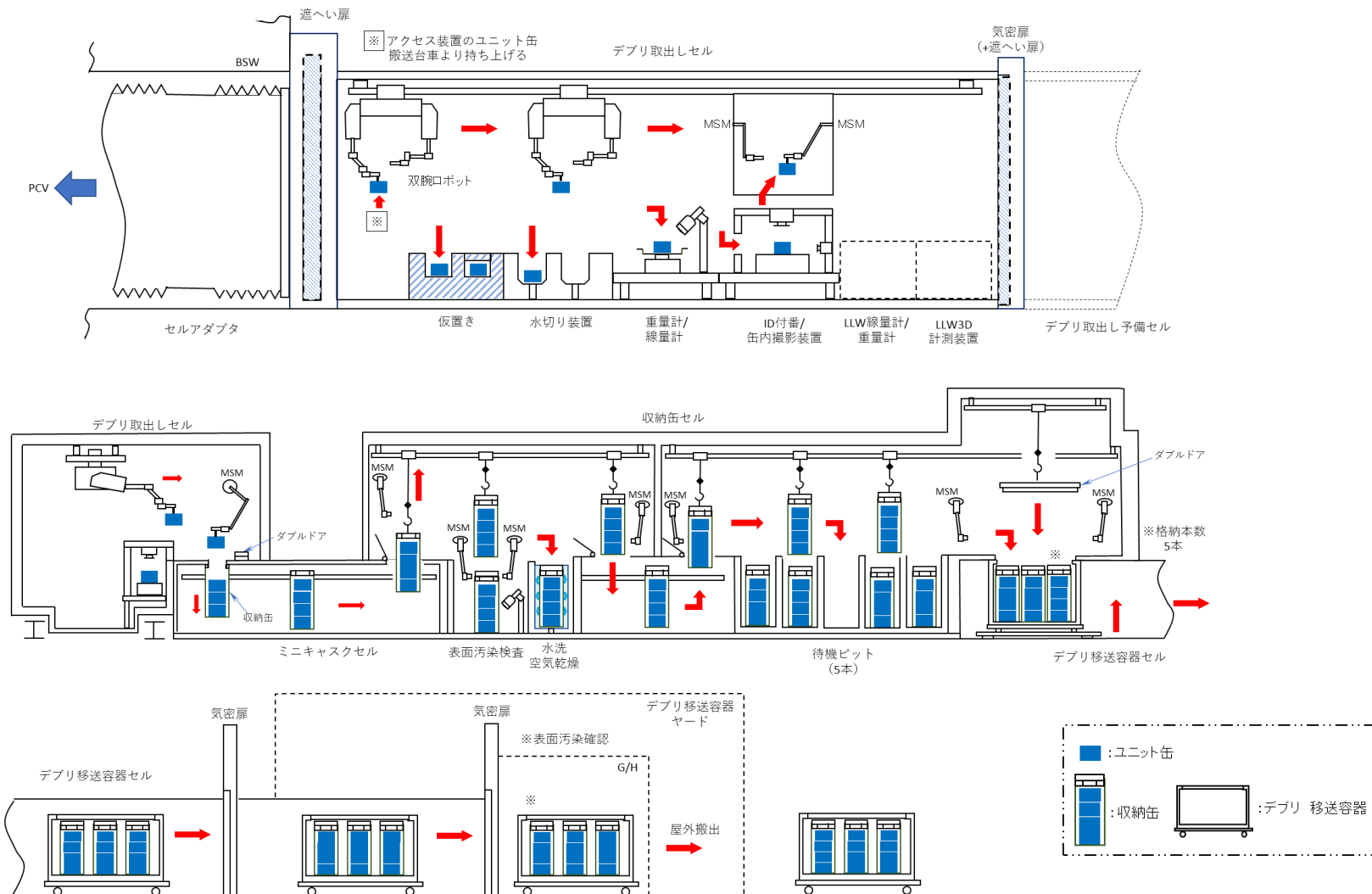
- セル内機器に対する故障モードを想定
- 取り出し作業への影響程度を評価
- 長期運転停止させない為の対策検討

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-1 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取扱いライン)



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-1 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取扱いライン)

- | | | |
|--------------|---|---|
| 燃料デブリ取り出しセル | } | ① PCV内から搬送台車にて燃料デブリの入ったユニット缶が運ばれる。 |
| | | ② 双腕ロボットにてユニット缶を把持し、遮蔽付きの仮置き容器に一時仮置きする。 |
| | | ③ 双腕ロボットにてユニット缶を仮置き容器から取り出し、水切り装置内に装着し、水切り処理をする。 |
| | | ④ 双腕ロボットにて水切処理装置内からユニット缶を取り出して、ユニット缶の重量及び線量を計測する。 |
| | | ⑤ 双腕ロボットにてユニット缶を持ち上げ、ユニット缶内を撮影しIDを付番する。 |
| | | ⑥ 天井走行式クレーンにてユニット缶を吊り上げて、ダブルドアを介して収納缶内に挿入する。 |
| | | ⑦ 収納缶のダブルドアを壁面のMSMにて閉じる。 |
| ミニキャスクセル | } | ⑧ 収納缶を搬送機構にて収納缶セルとの接続口まで移送する。 |
| 収納缶セル | } | ⑨ 天井クレーンにて収納缶をミニキャスクセルから吊り上げて受け入れる。 |
| | | ⑩ 収納缶を二重目の蓋の取り付けと表面汚染検査を行う。 |
| | | ⑪ 表面汚染検査結果より必要に応じて収納缶を水洗及び空気乾燥の処理を行う。 |
| | | ⑫ 天井クレーンにて収納缶を搬送通路より吊り上げて、待機ピット内へ収納する。 |
| | | ⑬ 燃料デブリ移送容器の蓋を天井クレーンで取り外した後に、収納缶を燃料デブリ移送容器内に入れる。 |
| | | ⑭ 専用クレーンとMSMにより、燃料デブリ移送容器の蓋を閉じる。 |
| 燃料デブリ移送容器セル | } | ⑮ 燃料デブリ移送容器にて燃料デブリ移送容器ヤードまで移送する。 |
| 燃料デブリ移送容器ヤード | } | ⑯ 燃料デブリ移送容器の外観検査、気密試験、表面汚染検査などの搬出前の検査を行う。 |
| | | ⑰ 燃料デブリ移送容器を輸送車両により燃料デブリ移送容器を保管準備前施設へ搬送する。 |

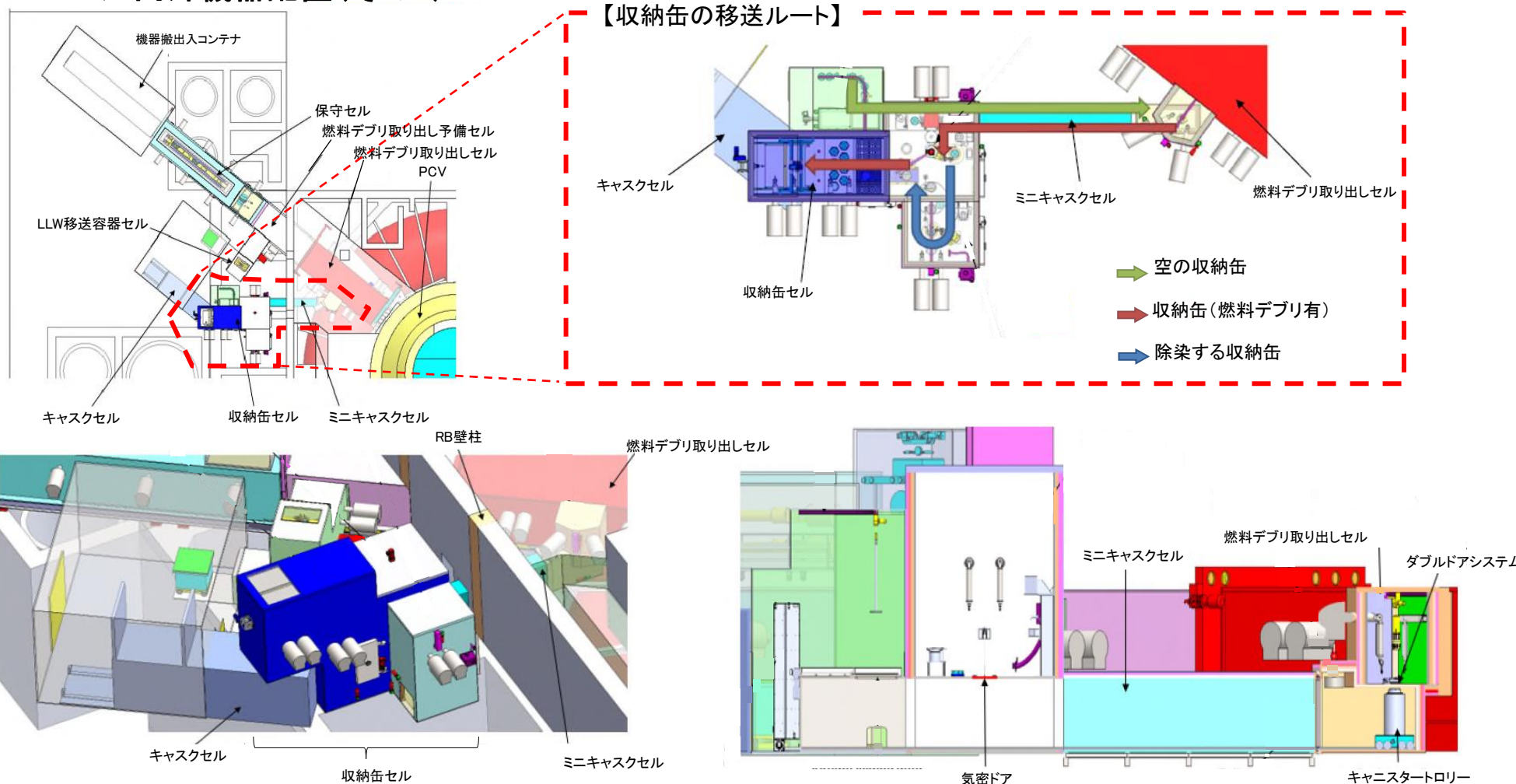
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-1 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取扱いライン)

・セル内外機器配置(その1)



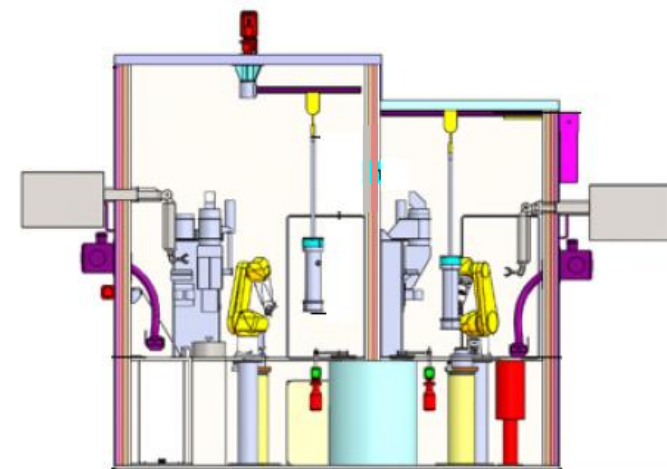
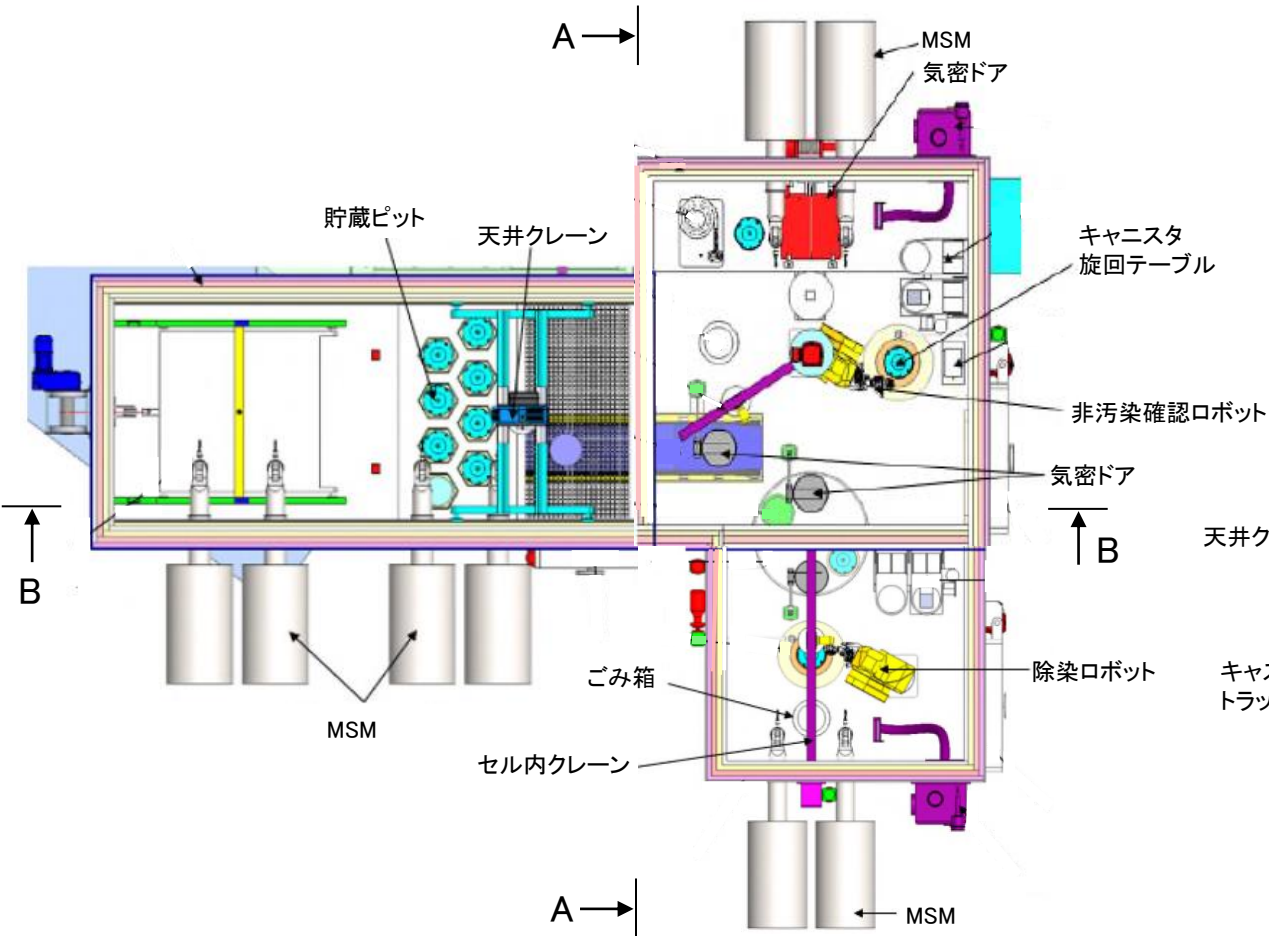
① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

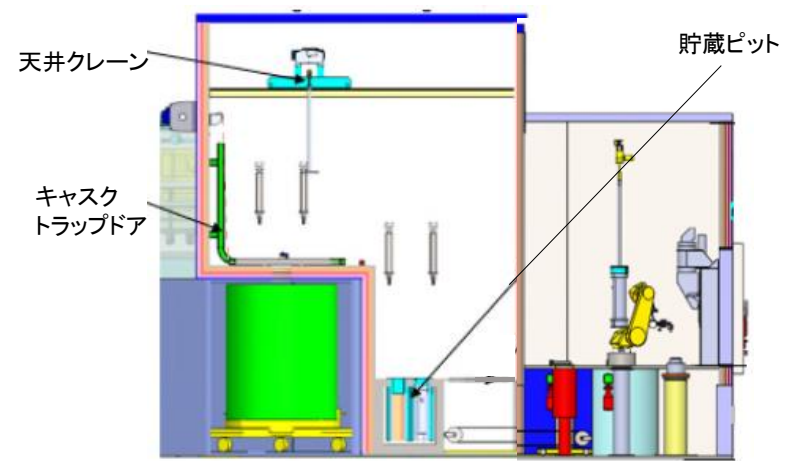
✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-1 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取扱いライン)

・セル内外機器配置(その2)



A-A(縮小図)



B-B(縮小図)

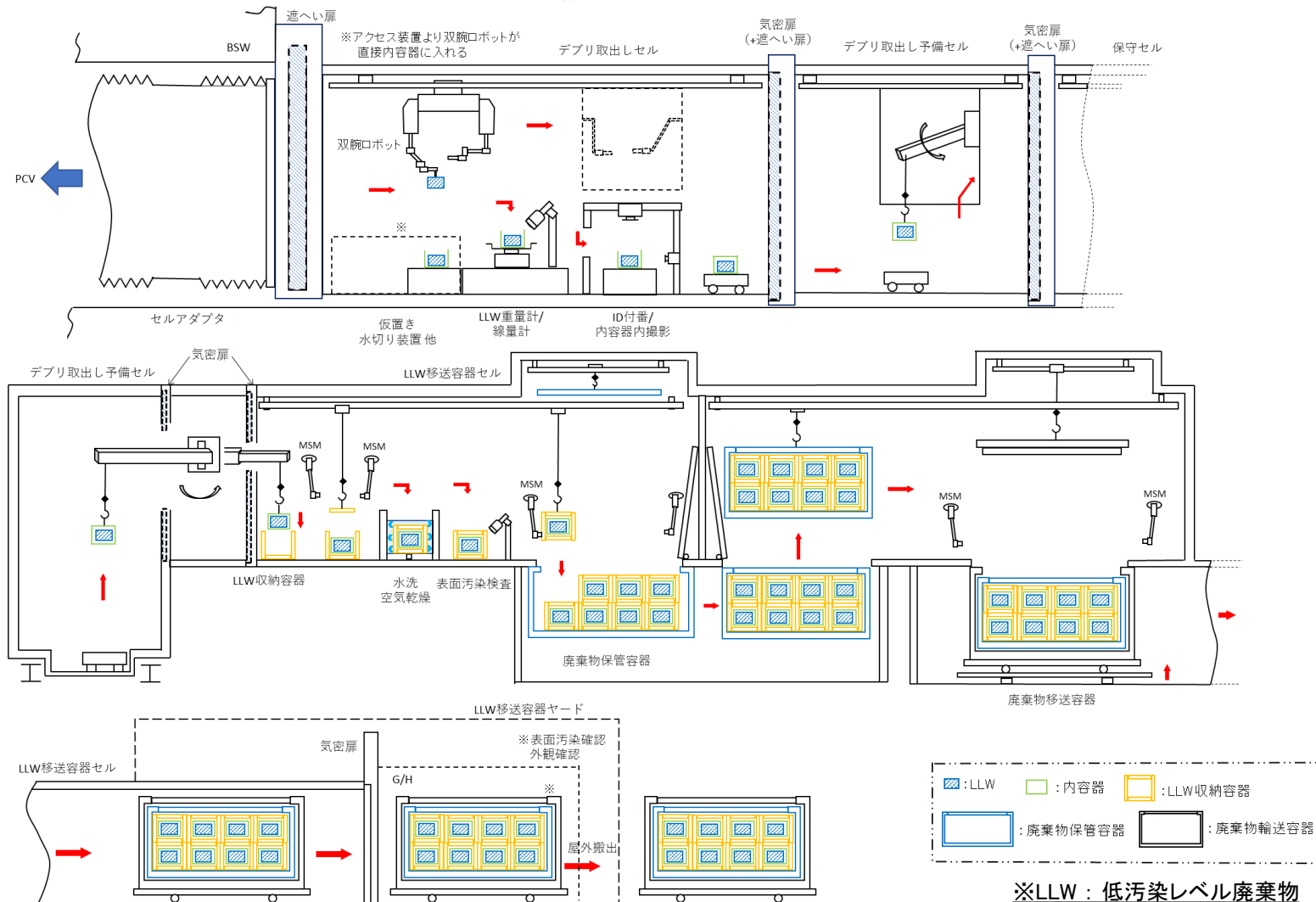
6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-2 マテリアルハンドリングフロー(LLW※取扱いライン)



※LLW：低汚染レベル廃棄物

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-2 マテリアルハンドリングフロー(LLW取扱いライン)

- ① PCVから搬送台車にてLLWの入った内容器が運ばれる。
- ② 双腕ロボットにて内容器を持ち上げて、重量及び線量を計測する。
- ③ 双腕ロボットにて内容器を持ち上げ、ユニット缶内を撮影しIDを付番する。
- ④ 双腕ロボットにて内容器を搬送台車に載せ、燃料デブリ取り出し予備セルへ搬送する。
- ⑤ ジブクレーンにて内容器を吊り上げて、LLW移送容器セルへ払い出す。
- ⑥ ジブクレーンにて吊り上げられたLLWを、LLW移送容器セル内に受け入れる。
- ⑦ ジブクレーンにてLLW収納容器内に内容器を入れる。
- ⑧ 天井クレーンとMSMIによりLLW収納容器の蓋を閉止する。
- ⑨ 天井クレーンにてLLW収納容器を吊り上げて、容器表面の汚染検査を行う。
- ⑩ 表面汚染検査結果より必要に応じて天井クレーンにてLLW収納容器洗浄エリアにて水洗及び空気乾燥の処理を行う。
- ⑪ 専用の天井クレーンにて廃棄物保管容器の蓋を開けた後に、LLW収納容器を天井クレーンにて廃棄物保管容器内に収納する。
- ⑫ 専用の天井クレーンにて廃棄物保管容器の蓋を閉止する。
- ⑬ 廃棄物移送容器を搬送台車でLLW移送容器ヤードへまで移送する。
- ⑭ 廃棄物移送容器の外観検査、表面汚染検査などの搬出前の検査を行う。
- ⑮ 廃棄物移送容器を輸送車両へ積載する。
- ⑯ 輸送車両により廃棄物移送容器を固体廃棄物保管保管施設などへ搬送する。

燃料デブリ取り出しセル

燃料デブリ取り出し予備セル

LLW移送容器セル

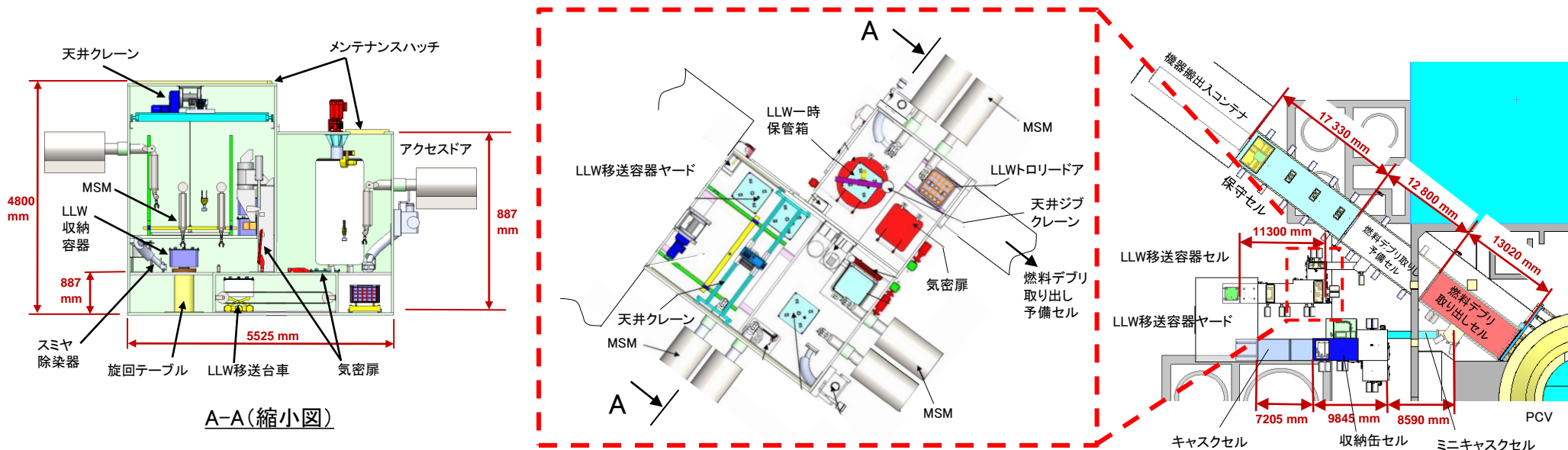
LLW移送容器ヤード

① 大型重量構造物の設置

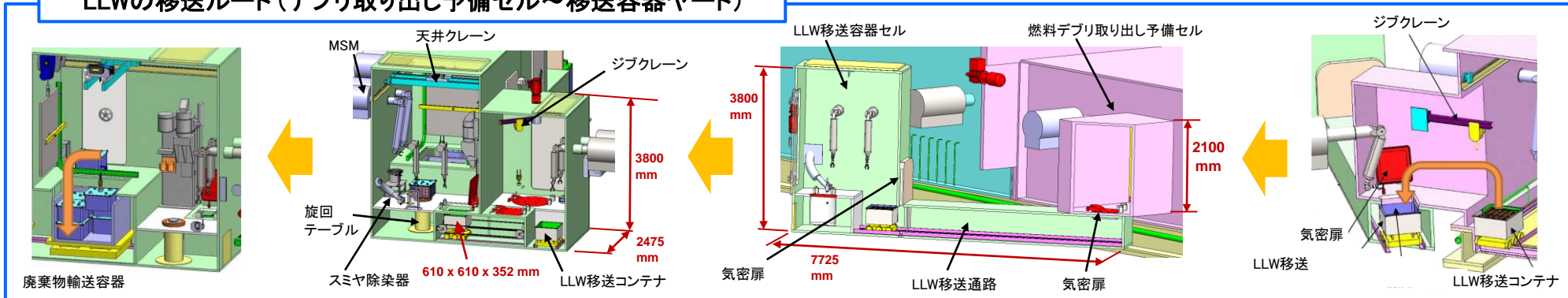
(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-2 マテリアルハンドリングフロー(LLW取扱いライン)



LLWの移送ルート (デブリ取り出し予備セル～移送容器ヤード)



6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

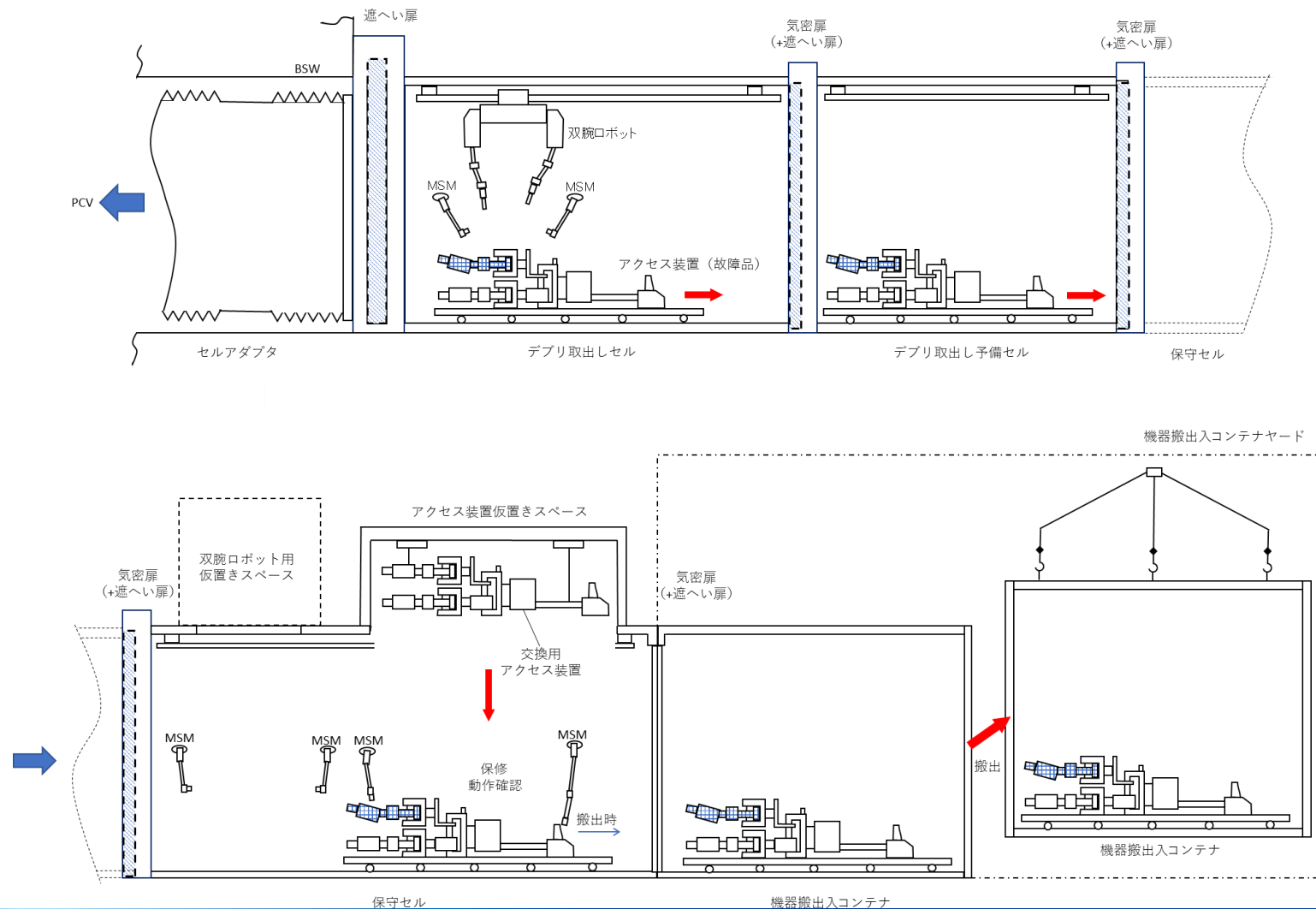
No.136

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-3 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取り出し用ロボットアーム取扱いライン)



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-3 マテリアルハンドリングフロー(燃料デブリ取り出し用ロボットアーム取扱いライン)

搬出時

- | | | |
|---------------|---|--|
| 燃料デブリ取り出しセル | } | ① PCV内から引き揚げられたアクセス装置を受け入れる。 |
| | | ② アクセス装置を水洗除染する。 |
| | | ③ アクセス装置から電源供給ケーブル等を切り離す。 |
| | | ④ 自走式の搬送装置にてアクセス装置を燃料デブリ取り出し予備セルへ移動する。 |
| 燃料デブリ取り出し予備セル | } | ⑤ 自走式の搬送装置にてアクセス装置を保守セルへ移動する。 |
| 保守セル | } | ⑥ アクセス装置を再び水洗除染する。 |
| | | ⑦ 保守セルに接続された機器搬出入コンテナへアクセス装置を収納する。 |
| 機器搬出入コンテナヤード | } | ⑧ 機器搬出入コンテナを保守セルより切り離す。 |
| | | ⑨ 機器搬出入コンテナの外観検査、表面汚染検査などの搬出前の検査を行う。 |
| | | ⑩ 機器搬出入コンテナを輸送車両へ積載する。 |
| | | ⑪ 輸送車両により機器搬出入コンテナをメンテナンス施設へ搬送する。 |

搬入時

下記内容以外は、上記の逆転手順となる。

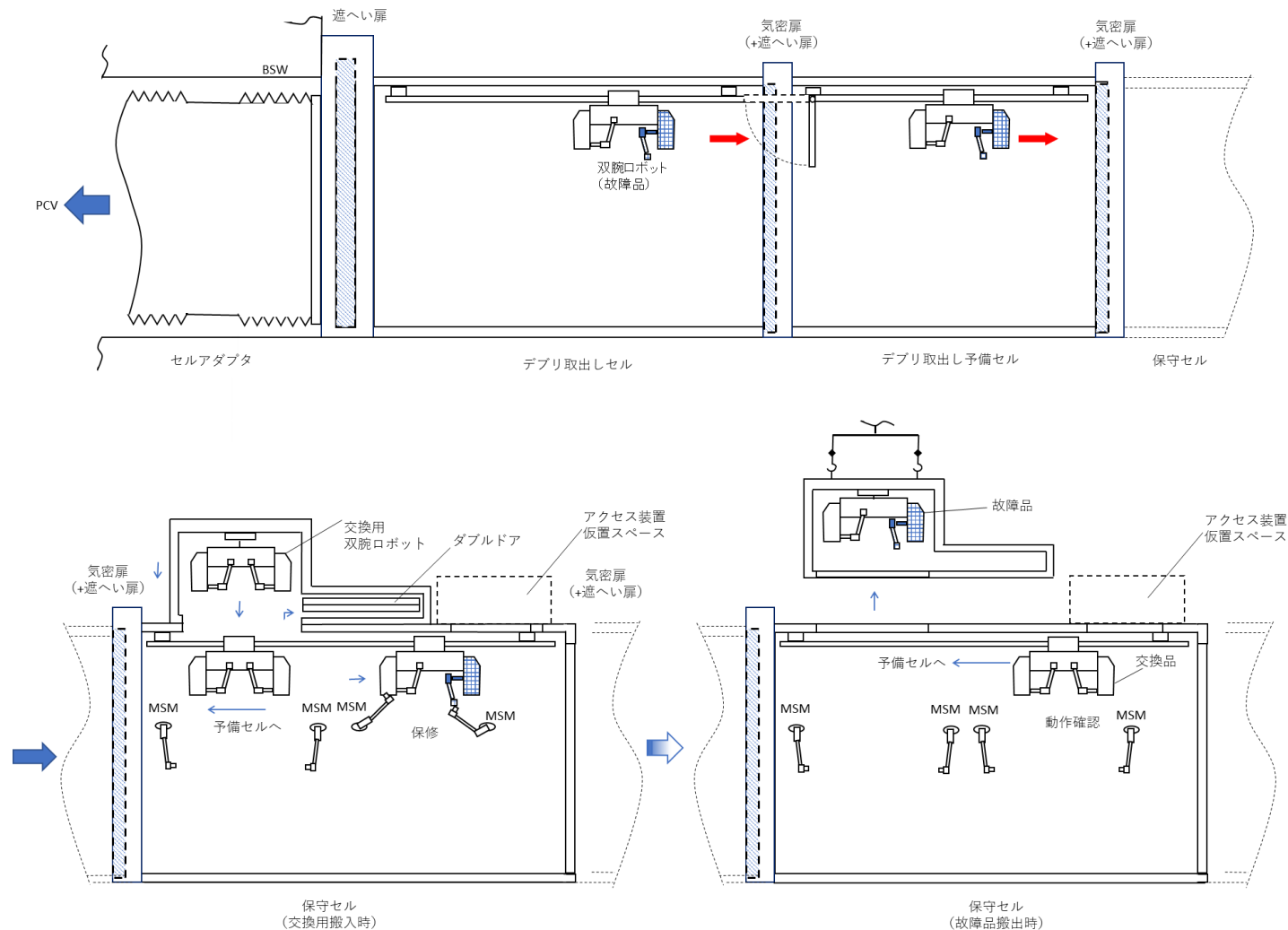
- ・必機器搬出入コンテナを積載した輸送車両を受け入れた後、必要に応じて保守セル内のアクセス装置仮置きスペースに一時仮置きする

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-4 マテリアルハンドリングフロー(天井走行型双腕ロボット取扱いライン)



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

b)-4 マテリアルハンドリングフロー(天井走行型双腕ロボット取扱いライン)

搬出時

燃料デブリ取り出しセル

- ① 故障した双腕ロボットを可能な範囲で除染する。
- ② 双腕ロボットを燃料デブリ取り出し予備セルへ移動する。

燃料デブリ取り出し予備セル

- ③ 双腕ロボットを保守セルへ移動する。

保守セル

- ④ 双腕ロボットを再び水洗除染する。
- ⑤ 保守セルに接続された専用コンテナへ双腕ロボットを収納する。
- ⑥ 保守セルから専用コンテナを切り離す。
- ⑦ 専用コンテナの外観検査、表面汚染検査などの搬出前の検査を行う。
- ⑧ 専用コンテナを輸送車両へ積載する。
- ⑨ 輸送車両により専用コンテナをメンテナンス施設へ搬送する。

搬入時

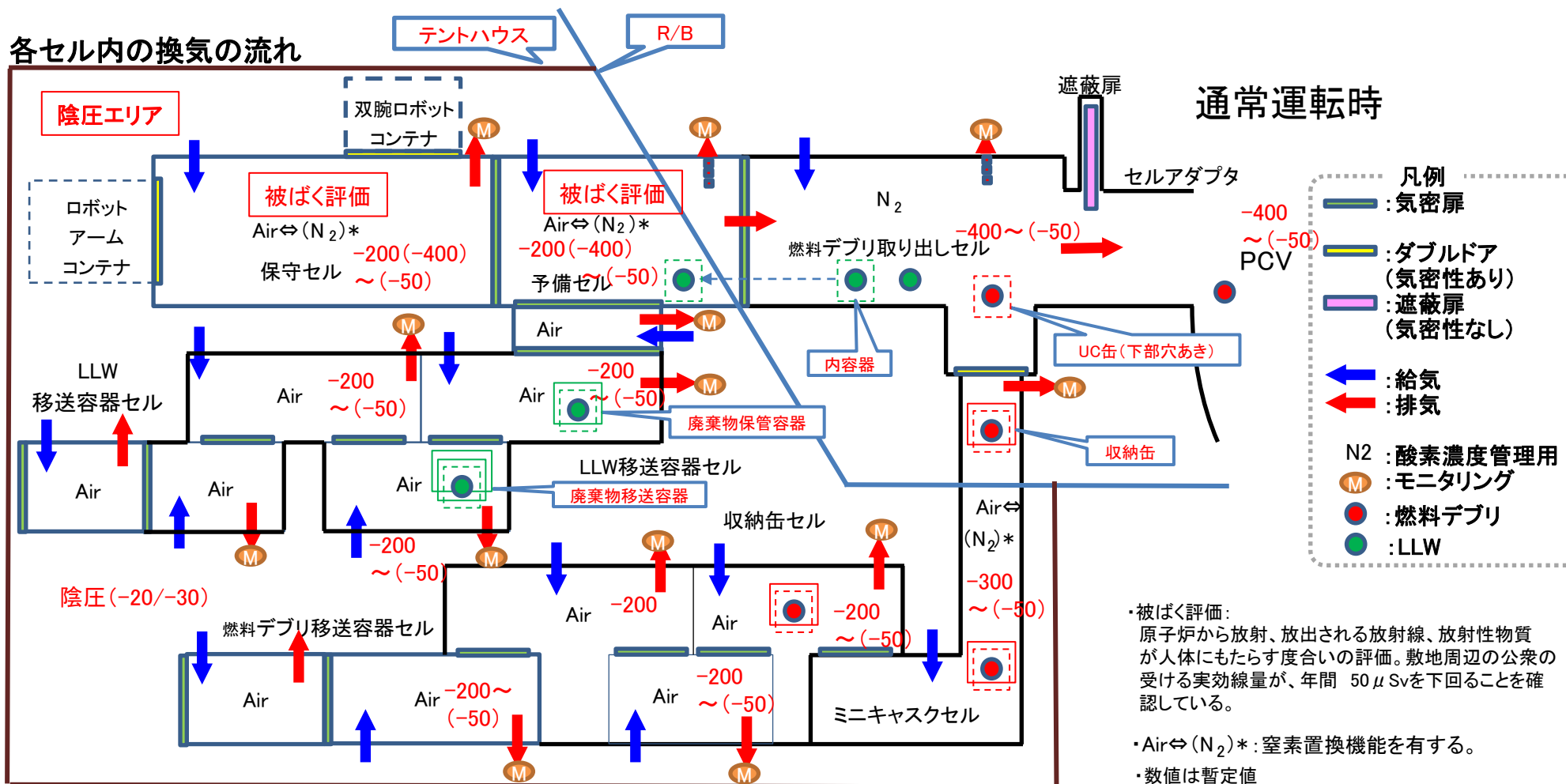
上記の工程を反転し燃料デブリ取り出しセルへ搬入する。

① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項 (6)-4 : d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他: セル内作業の詳細化

c) 各セル換気空調



6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

d) リスクアセスメント(1/4)

➤ 各セルにおいて想定されるリスクを洗い出し、その被ばく影響ならびに作業工程への影響を検討。

また、その対応策について検討。

■ :可能性/影響が低い

■ :可能性/影響が高い

想定される事象・発生要因		リスク						リスクに対する打ち手					
		対象エリア (○:該当、-:非該当)						発生の可能性 (理由)	被ばく影響 (公衆)	被ばく影響 (作業員)	作業工程への影響	発生防止	発生時の影響緩和
		FDRセル	ミキヤスクセル	収納缶セル	空母セル	燃料デブリ移送	燃料デブリ移送 容器ヤード						
通常作業時の リスク	ユニット缶や収納缶の 取り扱い時の燃料デブリ または容器の表面汚 染からのダスト飛散	○	○	○	-	-	— (通常作業により発生)	小 (セルのバウンダリに よる閉じ込め効果に期 待できる為影響小)	同左	— (通常作業の為)	—	セルの負任管理	
	燃料デブリや収納缶の 水切り処理に伴う ダスト飛散	○	-	○	-	-	— (通常作業により発生)	小 (セルのバウンダリに よる閉じ込め効果に期 待できる為影響小)	同左	— (通常作業の為)	—	セルの負任管理、水切 り装置周辺への局所 排風機の設置による ダスト回収	
動的閉じ込め 機能喪失	排気ファンが停止する ことによりセル内の負 圧が喪失し、フィルタを 介さない経路からの ダスト漏洩	○	○	○	-	-	低 (排気ファンの故障や 電源喪失等が原因で あり、複数の発生防止 策が考えられる為、発 生の可能性は低い)	大 (ユニット缶や収納缶 の落下などダスト飛散 を伴う事象と重畳した 場合、排気ファン停止 により、フィルタを介さ ない経路からダスト漏 洩が生じる可能性がある)	大 (ユニット缶や収納缶 の落下などダスト飛散 を伴う事象と重畳した 場合、排気ファン停止 により、フィルタを介さ ない経路からダスト漏 洩が生じる可能性がある)	大 (遠隔操作やセル外で の有人作業により復旧 可能であれば影響小。 装置の故障等により装 置取替などの大規模 な工事が必要となる場 合、大幅な工程遅延が 想定される)	排気ファンを複数系統 設置し、異常時にはイ ンターロックなどにより 窒素供給が停止する 設計とする	セルへの窒素供給の 停止	
静的閉じ込め 機能喪失	シール部の経年劣化 等によりバウンダリの 一部の損傷し、フィルタ を介さない経路から ダスト漏洩が生じる	○	○	○	-	-	低 (長期間の使用による 経年劣化が原因であり、 動的閉じ込め機能喪 失と重畳しない限り リークは発生しない)	大 (ユニット缶や収納缶 の落下などダスト飛散 を伴う事象と重畳した 場合、排気ファン停止 により、フィルタを介さ ない経路からダスト漏 洩が生じる可能性がある)	大 (ユニット缶や収納缶 の落下などダスト飛散 を伴う事象と重畳した 場合、排気ファン停止 により、フィルタを介さ ない経路からダスト漏 洩が生じる可能性がある)	大(部品の交換等の簡 便な作業で復旧可能 であれば影響小。シー ル部の故障等により大 規模な工事が必要とな る場合、大幅な工程遅 延が想定される)	セルの負任度を監視し、 気密性の低下を検知し た場合は、バウンダリ の補修や排気量増加 により閉じ込め機能を 維持させる	—	

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

d) リスクアセスメント(2/4)

:可能性/影響が低い

:可能性/影響が高い

想定される事象・発生要因		リスク						リスクに対する打ち手					
		対象エリア (○:該当、-:非該当)						発生の可能性 (理由)	被ばく影響 (公衆)	被ばく影響 (作業員)	作業工程への影響	発生防止	発生時の影響緩和
		FDR-1A	ミニモクセル	収納缶セル	燃料デブリ移送 容器セル	燃料デブリ移送 容器ヤード	燃料デブリ移送 容器セル						
汚染水の漏洩	水洗した収納缶の水切り不足により汚染水が漏洩し、汚染が拡大する	○	-	○	-	-	低 (モックアップ試験等により、水切りの方法などに対する効果を確認しておく)	小 (概ね水切りされた後である為、ほとんど無視できる為影響小)	大 (有人作業による異常の復旧が必要な場合は、従事者に対して著しい被ばく影響を与える可能性がある)	小 (大量の放射性物質が放出されることは考えにくい)	収納缶の水切りを十分に 行う為の方法などの 検討	セルの負任管理	
	収納缶の洗浄時に発生する汚染水を回収する為の配管や容器が破損し、汚染水が漏洩する	○	-	○	-	-	低 (汚染水が大量に発生し、容器や配管の破損を引き起こすような状況はまれである)	小 (水切りで発生する汚染水は少量と考えられる為影響小)	大 (有人作業による異常の復旧が必要な場合は、従事者に対して著しい被ばく影響を与える可能性がある)	大 (遠隔操作やセル外での有人作業により復旧可能であれば影響小。装置の故障等により装置取替などの大規模な工事が必要となる場合は、影響大)	汚染水を回収する為の配管や容器の定期的な健全性確認	セルの負任管理	
遮蔽機能の喪失	遮蔽扉の開固着による復旧不能	○	-	-	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中、常時使用している単一の機器の故障で生じ得る事象であり、可能性は比較的高い)	小 (敷地境界に対して十分な距離がある為、影響小)	大 (セル内での有人作業に必要な場合、従事者に対して被ばく影響を与える可能性がある)	大 (セル外から装置を復旧させることができない場合、復旧させる方法の検討が必要であり、大幅な工程遅延が想定される)	装置類の異常停止時に、セルに立ち入ることなく燃料デブリの回収ができる設計とし、遠隔による異常復旧の手順を整備しておく	-	
	遮蔽に期待する容器の蓋閉め失敗により適切にユニット缶などを収納できず、露わな状態となる	○	-	○	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中繰り返し行われる作業であり、発生の可能性は高い)	小 (敷地境界に対して十分な距離がある為、外部線量の影響小)	大 (セル近傍に存在する従事者に対して被ばく影響を与える可能性がある)	大 (簡便な作業で復旧可能であれば影響小。容器が損傷して復旧不能となった場合、大幅な工程遅延が想定される)	容器の蓋が確実に把持されていることを遠隔で確認する手段の検討など	補助遮蔽の設置	

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

d) リスクアセスメント(3/4)

:可能性/影響が低い

:可能性/影響が高い

想定される事象・発生要因		対象エリア (○:該当、-:非該当)						リスク				リスクに対する打ち手	
		FDRセル	ミキヤスクセル	収納缶セル	容器セル	燃料デブリ移送容器セル	燃料デブリ移送容器ヤード	発生の可能性 (理由)	被ばく影響 (公衆)	被ばく影響 (作業員)	作業工程への影響	発生防止	発生時の影響緩和
放射能濃度上昇 (ダスト飛散)	ユニット缶などの落下または転倒に伴う内容物および付着汚染物の飛散	○	○	○	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中繰り返し行われる作業であり、発生の可能性は高い)	小 (セルは負圧管理されており、セルのパウンダリによる閉じ込めに期待できる為、影響小)	小 (セル内は負圧管理されている為、セル周辺の従事者被ばくはほとんどない)	大 (セル外から落下した燃料デブリを回収することができない場合、復旧させる方法の検討が必要であり大幅な工程遅延が想定される)	ユニット缶などを確実に把持されていることを遠隔で確認する手段の検討など	セルの負圧管理	
	重量物が燃料デブリの上に落下し、衝撃によりダストが飛散	○	-	○	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中繰り返し行われる作業であり、発生の可能性は高い)	小 (セルは負圧管理されており、セルのパウンダリによる閉じ込めに期待できる為、影響小)	小 (セル内は負圧管理されている為、セル周辺の従事者被ばくはほとんどない)	大 (セル外から落下した燃料デブリを回収することができない場合、復旧させる方法の検討が必要であり大幅な工程遅延が想定される)	重量物が確実に把持されていることを遠隔で確認する手段の検討など	セルの負圧管理	
	燃料デブリ移送容器と周辺構造物との接触等による燃料デブリ移送容器転倒に伴う内容物の飛散	-	-	-	○	○	高 (燃料デブリ取り出し期間中繰り返し行われる作業であり、発生の可能性は高い)	大 (衝撃によって移送容器が破損した場合は、多量のダスト飛散が発生し得るが、健全が保たれる場合は移送容器による閉じ込めに期待できる)	同左	大 (衝撃によって移送容器が破損した場合、復旧させる方法の検討が必要であり、大幅な工程遅延が想定される)	衝突および転倒防止の為移送容器の加速度に制限を設ける	-	
臨界の発生	(容器は形状管理されており、臨界の可能性はない)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
燃料デブリ冷却機能の異常	(ユニット缶や収納缶では燃料デブリの強制冷却を想定していない)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

d) リスクアセスメント(4/4)

:可能性/影響が低い

:可能性/影響が高い

想定される事象・発生要因		リスク						リスクに対する打ち手					
		対象エリア (○:該当, -:非該当)						発生の可能性 (理由)	被ばく影響 (公衆)	被ばく影響 (作業員)	作業工程への影響	発生防止	発生時の影響緩和
		FDRセル	ミキヤスクセル	収納缶セル	燃料デブリ移送 容器セル	燃料デブリ移送 容器ヤード	燃料デブリ移送						
窒素供給停止 (セル内での火災・爆発)	窒素雰囲気維持に失敗し、水素燃焼、金属火災が生じる	○	○	○	-	-	低 (異常を検知してPCVからの燃料デブリの受け入れを停止し、セル内の燃料デブリを外部に搬出することにより発生防止できる為、発生の可能性は低い)	大 (火災・爆発に伴いパウンダリが損傷した場合、セル内の放射能が外部に飛散し得る)	同左	大 (破損したセルや装置の復旧、原因の究明や再発防止などにより、大幅な工程遅延が想定される)	復旧まで作業を停止する窒素供給系を複数系統設置し、異常時には予備の系等に切り替え可能な設計とする。	火災発生時については、消火設備により消火を行う	
容器内での火災・爆発	燃料デブリの乾燥不十分により密封状態が継続し、容器内水素濃度が可燃限界(4%)に達することにより水素燃焼が発生	-	○	○	○	○	低 (乾燥不十分と容器側の水素排出機能喪失の2重の異常により発生するものであり、発生の可能性は低い)	大 (火災・爆発に伴いパウンダリが損傷した場合、セル内の放射能が外部に飛散し得る)	同左	大 (破損したセルや装置の復旧、原因の究明や再発防止などにより、大幅な工程遅延が想定される)	燃料デブリの十分な乾燥処理とその確認	火災発生時については、消火設備により消火を行う	
装置停止による復旧不能	双腕ロボット、クレーン、搬送台車など、マテリアルハンドリングに係る機器の異常停止による復旧不能	○	○	○	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中、常時使用している単一の機器の故障で生じ得る事象であり、可能性は比較的高い)	-	大 (セル内での有人作業による異常の復旧が必要な場合は、従事者に対して被ばく影響を与える可能性がある)	大 (セル外から装置を復旧させることができない場合、大幅な工程遅延が想定される)	装置類の異常停止時に、燃料デブリの回収ができる設計とし、遠隔による異常復旧の手順を整備しておく	-	
	その他装置類の故障	○	-	○	-	-	高 (燃料デブリ取り出し期間中、常時使用している単一の機器の故障で生じ得る事象であり、可能性は比較的高い)	-	小 (セル内での有人作業による装置の復旧が必要となる可能性はあるが、セル内を除染した後立ち入ることで従事者被ばくを十分に抑えられる)	小 (燃料デブリをセル内から搬出し、セル内を除去することでセル内での有人作業による復旧が可能となる為、作業工程への影響は小さいと考えられる)	装置類の定期的な健全性確認	-	

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.145

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

e) 装置停止時の復旧対応(ミニキャスクセル・収納缶セル)

(1)保守・補修(セル内)

セル	No.	機器名称	故障モード	保守方法	使用機器	
					遠隔MSM	天井クレーン
ミニキャスクセル	1	キャニスタートローラ	駆動部の故障 等	・セル外に設置した駆動部を切り離す ・メンテナンス設備へ移動し保守	—	—
	2	キャニスター昇降機器	駆動部の故障 等	・外部駆動軸により回収位置まで移動し搬出する (駆動部は二重化)	—	—
	3	ダブルドアシステム	定期交換	・燃料デブリ取り出しセル側の遠隔MSMにより扉の交換	○	※
収納缶セル	4	天井クレーン (貯蔵ピットエリア)	—	—	—	—
	5	セル内クレーン (除染エリア)	—	—	—	—
	6	遠隔MSM	スレーブアーム故障	・スレーブアームをセル壁面から取り外し	※	○
	7	気密ドア (貯蔵ピットエリアと除染エリア間)	定期交換	・遠隔MSMによる扉の交換(パッキンの交換)	○	※
	8	キャニスタ回転 テーブル	—	—	—	—
	9	非汚染確認ロボット	検出器の故障	・検出器のケーブルコネクタの取り外し	○	※
	10	除染ロボット	除染器の故障	・除染器の取り出し	○	※
	11	キャスクトラップドア	定期交換	・シール材を交換	○	※

※は、作業性を向上させる観点から、必要に応じてサポートをすることを考慮する。

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

e) 装置停止時の復旧対応(ミニキャスクセル・収納缶セル)

(2) 保守・補修(セル外)

セル	No.	機器名称	故障モード	保守方法
ミニキャスクセル	1	キャニスタートロリー		—
	2	キャニスター昇降機器	—	—
	3	ダブルドアシステム	—	—
収納缶セル	4	天井クレーン (貯蔵ピットエリア)	駆動部の故障	・天井から駆動部を交換(駆動部は二重化)
	5	セル内クレーン (除染エリア)	駆動部の故障	・天井から駆動部を交換(駆動部は二重化)
	6	遠隔MSM	駆動モジュールの故障	・駆動モジュールをホイストにて吊りアームからアーム接続部を切り離す ・専用台車に載せる ・メンテナンス設備へ移動し保守
	7	気密ドア (貯蔵ピットエリアと除染 エリア間)	—	—
	8	キャニスタ回転テーブル	回転駆動部の故障	・駆動部を取り外し交換(駆動部は二重化)
	9	非汚染確認ロボット	駆動部の故障 等	・駆動部を取り外し交換(駆動部は二重化)
	10	除染ロボット	駆動部の故障 等	・駆動部を取り外し交換(駆動部は二重化)
	11	キャスクトラップドア	駆動用ワイヤの交換	・外部駆動部の交換(駆動部は二重化)

保守・補修作業は原則、作業員により行う。

6. 本事業の実施内容 【 1) (1) アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

f) ダスト評価(1/3)

BSWコンクリート開口及びX-6ペネ切断方法概念検討を実施しているが、BSWコンクリート開口時にBSWとPCV鋼板との隙間にダストが流入する可能性があることからダスト流入評価を実施。

	【 PCV内部調査時 】 X-6ペネ フランジ開放・堆積物除去(隔離部屋内作業)	【 内部調査後or遮蔽扉設置後 】 ① X-6ペネフランジ開放・ペネ封止(隔離部屋内作業)	10.BSWコンクリート開口 (開口用隔離設備内作業)
イメージ図			
手順	<p>隔離部屋を設置し、ペネ内部の堆積物(ケーブル等)が残存している場合は除去を行う。</p>	<p>X-6ペネ封止の為、隔離部屋を設置し、ペネ内部の洗浄を行う。 洗浄後、充填剤(ジオポリマー等)を注入しX-6ペネとPCV内部を隔離する。</p>	<p>開口作業用セルを設置し、BSWを開口する。 また、X-6ペネ短尺化を行い、閉止板を設置する。</p>
課題	<p>・PCV内部調査時期及び調査内容の具体化検討</p>	<p>・X-6ペネ充填剤による封止方法の具体化 ・作業時の汚染管理</p>	<p>・開口作業用仮セル仕様 ・BSWとPCV間隙間へのダスト流出対策</p>

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

f) ダスト評価(2/3)

BSW開口作業時のダスト発生による作業員被ばくの影響を評価する為に、原子炉建屋ダスト流出量評価及び作業員被ばく量の評価を行った

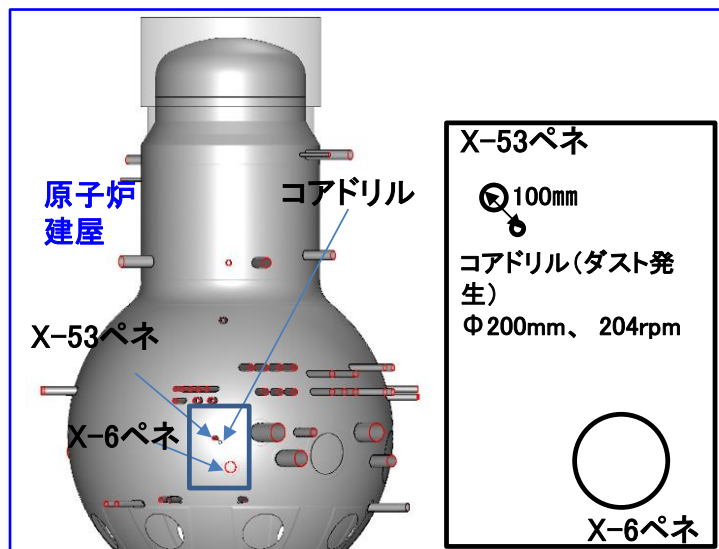
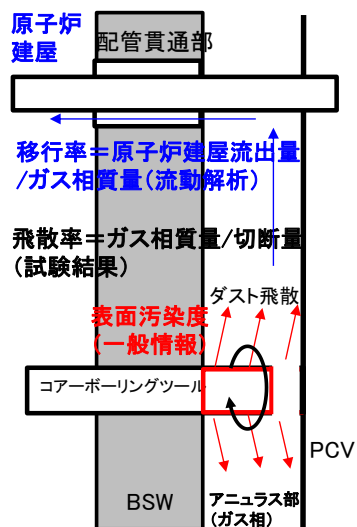
① 流動解析 ガス流れ、ダスト軌跡評価

(ダスト挙動)

(流動解析モデル)

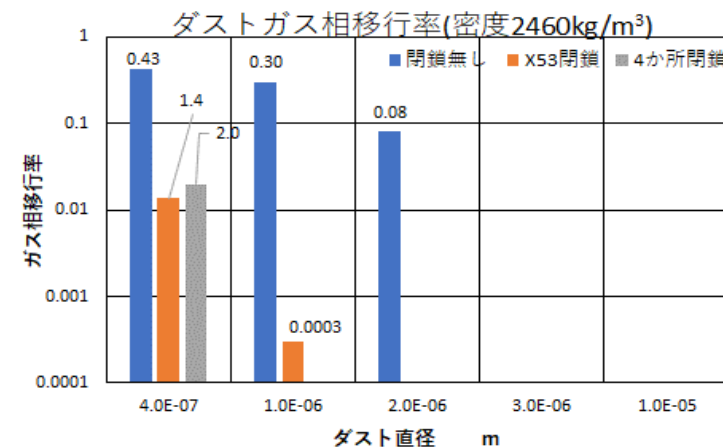
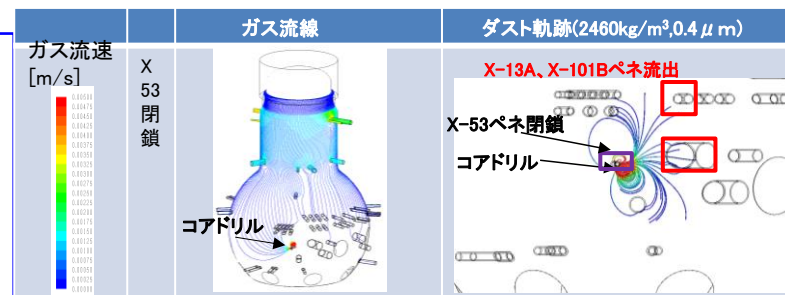
(流動解析結果)

原子炉建屋ダスト流出量
= 切断量 × 飛散率 × ガス相移行率



解析方法

- ・解析モデルは貫通部原子炉建屋側までを模擬
- ・最初の開口作業を想定
- ・コアドリルはアニュラス部に全貫通回転
- ・コアドリルで誘起されるガス流れ場計算
- ・コアドリル表面から、密度、直径を有するダストを発生し、軌跡を計算
- ・原子炉建屋に流出するダスト移行率を評価



* :ダスト飛散率(平成28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基盤技術の高度化補助事業成果より)

		回収粉じん(mg)	飛散率(%)
単孔	表層部	47.7	0.028%
	中間部	3.0	0.0028%
	後部(PCV側)	0.2	0.00003%
連孔	表層部	6.1	0.0072%
	中間部	13.8	0.0019%
	後部(PCV側)	39.2	0.013%

① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項 (6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

f) ダスト評価(3/3)

② 原子炉建屋ダスト流出率評価

- ✓ 原子炉建屋ダスト流出率(g/g)は1gBSWを削った時、ダストの飛散率、粒径分布、粒径ごとのガス相移行率に基づき評価する。
- ✓ 粒径分布は2種類、飛散率は数種類あるが、飛散率は大中小の値を抽出し、原子炉建屋ダスト流出率を評価した。
- ✓ 原子炉建屋ダスト流出率は、ペネ閉鎖無しでは最大、約 1×10^{-4} で、貫通部を閉鎖すると 2×10^{-6} 相当になる。

③ 原子炉建屋ダスト被ばく評価

【被ばく評価方法及び条件】

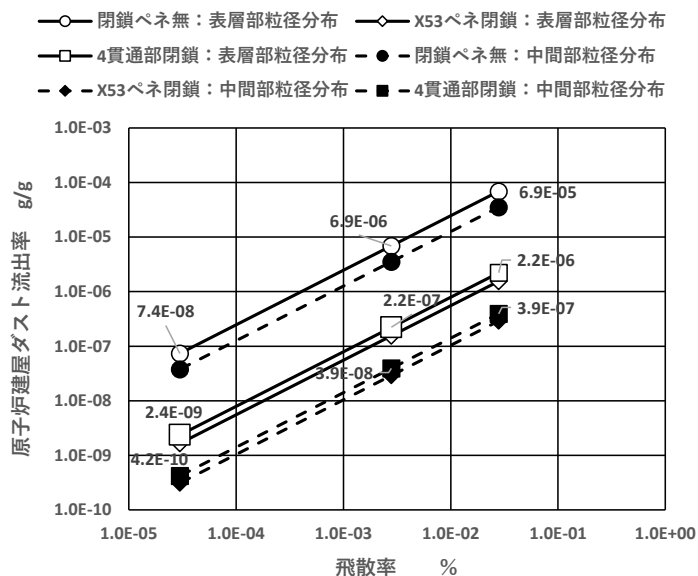
- CFD解析結果に基づき、BSW開口時に発生した放射性ダストのRB流出率(=開口により飛散しRBへ流出した放射性ダスト量/開口範囲内に存在する放射性物質質量)はX53ペネ閉鎖ケースを想定し $1.0E-03\%$ と設定
- その他の条件は、福島第一原子力発電所の特定原子力施設に係る実施計画^[1](以下、「実施計画」)及び「廃止措置工事環境影響評価ハンドブック(第3次版)」^[2](以下、「廃炉ハンドブック」)等を参考に設定

項目	単位	値	備考
汚染密度①	Bq/cm ²	Cs :8.5E+06 Pu :2.1E+05	補助事業報告書 より設定
開口面積	cm ²	314.2	補助事業報告書 より、コアカッターの直径(20cm)に対応した面積
放射性ダストのRB内への流出率②	%	1.0E-03	CFD解析結果に基づき設定
RB作業区画体積	m ³	825	2号機の実施計画 ^[1] で想定されているRB区画体積(1階部の1/4区画)
γ線実効エネルギー	MeV	Cs :5.97E-01 Pu :1.73E-03	廃炉ハンドブック ^[2] より
内部被ばく線量換算係数	mSv/Bq	Cs :3.9E-05 Pu :1.2E-01	廃炉ハンドブック ^[2] より
呼吸率	m ³ /h	1.2	成人活動時の呼吸率
マスクによる被ばく低減効果(DF)	—	50	全面マスクの着用を想定

【評価結果】

- マスクありで $2.3E-03$ mSv/h、マスク無しで $1.2E-01$ mSv/hであり、BSW開口時のRB内への放射性ダスト流出による作業員被ばく影響は小さいと考えられる。

	単位	線量率 (マスクあり)	線量率 (マスクなし)
外部被ばく	mSv/h	1.4E-07	同左
内部被ばく		2.3E-03	1.2E-01
合計		2.3E-03	1.2E-01



① 大型重量構造物の設置

(6) 実施事項

「フランジ部遠隔溶接の為のPCV溶接装置に関する試験」

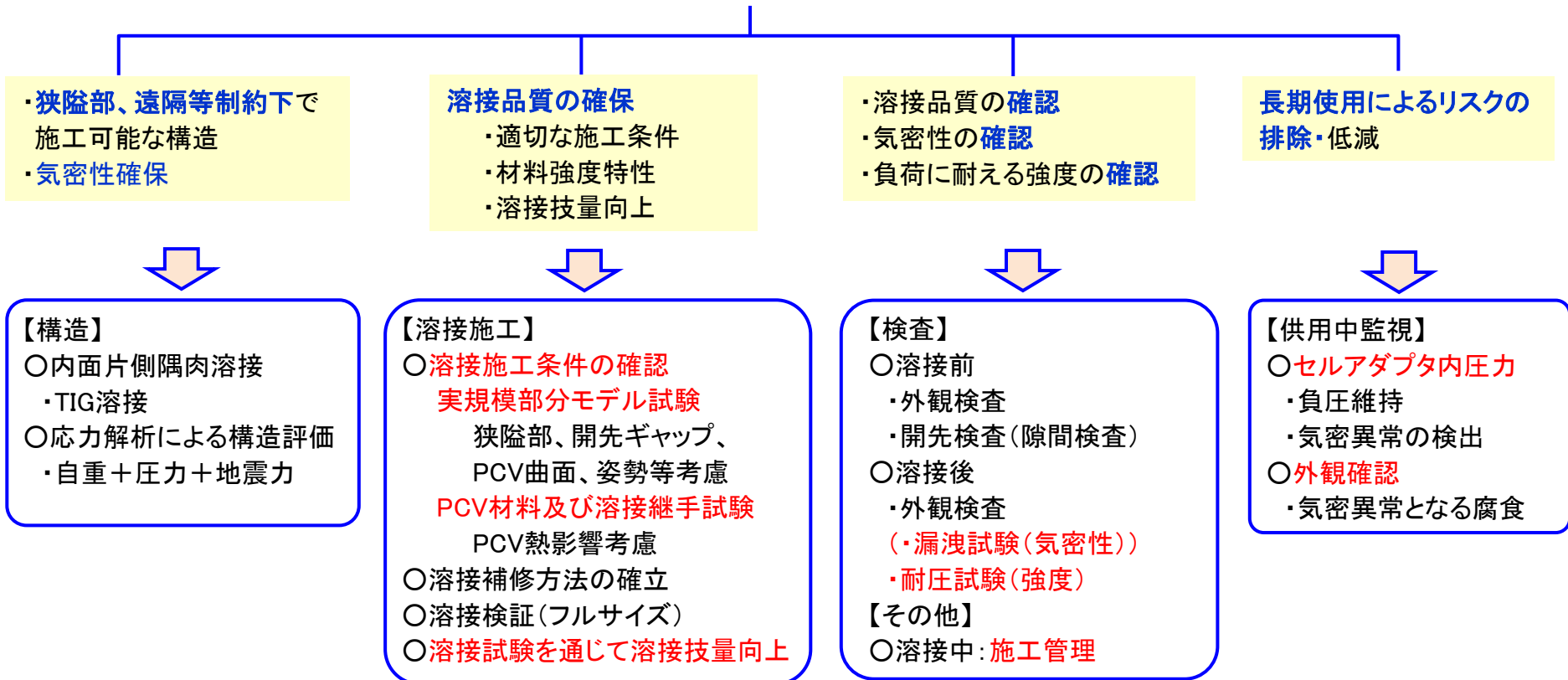
機能要求担保の考え方について

機器クラス、安全機能

- ノンクラス(発電設備ではない現状に基づく設定)
- 負圧維持の為の気密性(通常時、地震時)



遠隔溶接施工による安全機能の確保・維持を考慮して検討



① 大型重量構造物の設置

(6)実施事項

(6)-4 :d. 燃料デブリ取り出し設備のセル内作業の詳細化

✓ その他:セル内作業の詳細化

✓ 目標に照らした達成度

- 燃料デブリ取り出し設備内のセル内作業について、以下の取扱い物ごとに必要な作業、機器及び作業の流れをマテリアルハンドリングフロー図に整理した。
 - 燃料デブリ
 - LLW
 - 燃料デブリ取り出し用ロボットアーム
 - 天井走行型双腕ロボット
- セル内の取扱い物とその形態を踏まえて、閉じ込めの観点よりセル内は負圧とすることを基本とし、汚染拡大防止、PCVと連通し同じ雰囲気環境となることなどを考慮し、セル内の換気空調システムを検討した。具体的には、給気/排気の流れ、セル内雰囲気ガスの種類及びモニタリング位置である。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

① 大型重量構造物の設置

(7)まとめ

- アクセス用設備のセルアダプタ、遮蔽扉及び燃料デブリ取り出しセルに関するバウンダリ部(接続部、組合せ部及び設置部)に着目し構造の詳細化を行った。
- アクセス用設備及びその他の燃料デブリ取り出し設備のセルは、最短距離のアクセスルート構築の為、ペDESTAL開口部とX-6ペネ開口部の直線上に精度良く据え付ける必要がある。この為、据付手順、構造を検討し、据付精度を考慮し、全体として実現可能な構造・据付け案を構築した。
- スループットの向上を図る為の検討の一環として、スループット算出結果の精度を上げる為にセル内の作業の詳細化を図った。
- 大型重量構造物の据付作業ステップの詳細化及び見直しを行い、各ステップにおける課題を抽出し、対処方針及びその確認の為必要な要素試験(据付け基準位置の設定、セルアダプタフランジ部の3D加工手法確認、挿入性の確認及び全体構築)を立案し、試験完了。
- 高線量環境下の据付作業となる為、遠隔装置による据付を要求されるセルアダプタに対して、据付手順の詳細ステップの整理と課題を整理した。また、具体化した構造をもとに、遠隔装置への要求条件を明確にする為の試験計画を立案し、試験完了。

② P C V 接続スリーブ遠隔設置・溶接

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、P C V内へのアクセスにあたり接続部の気密性を確保する為の検討を進めてきている。P C Vに接続するスリーブ等設備のP C Vへの取り付けにおいては、高線量、狭隘なエリア等の作業環境・設置条件の下で、遠隔で精度よく設置し、接続部の閉じ込め機能を確保できる技術の開発が必要となる。

P C Vに接続するスリーブ等の遠隔設置における要求事項を整理し、遠隔設置方法、機器・装置、手順について検討を行い、模擬試験体による要素試験を計画、実施し、精度評価など要求事項の実現性の確認を行う。この検討においては、P C V側も変形している可能性を考慮した接続方法や、R/Bの床面耐荷重等を考慮した検討を行う。

接続部の閉じ込め技術としてスリーブ等の溶接、検査、保守における要求事項を整理し、遠隔による据付精度を考慮した方法、遠隔溶接装置及び必要な治具の開発、溶接前の磨きなどの前処理を含む一連の溶接手順、検査、保守を遠隔で実施する方法の検討を行う。その上で、模擬試験体による検証試験を計画、実施し、要求事項について溶接施工性、成立性を確認する。

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

目次

- アクセストンネル概要
- アクセストンネルに関するこれまでの開発成果と本事業との関連
- 2020年度までの検討状況
- 課題、実施内容、得られる成果
- 実機概略手順

(a)遠隔設置

- 要求事項
- 遠隔設置装置の選定
- 全体図、動作軸、概略設置ステップ
- 設置手順
- 模擬範囲
- モックアップ装置構造
- 実機との比較
- 試験計画、試験フロー
- 計測関連相関図
- 試験結果、課題

- 開発工程、まとめ

(b)溶接

- 試験計画、試験結果
 - 1)溶接試験
 - 2)研磨試験
 - 3)蛍光PT試験
 - 4)寸法測定
 - 5)低温割れ試験
- 試験結果まとめ

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

アクセストンネルの概要を以下に示す。

【工法のコンセプト】

- R/B床の耐荷重を考慮し、R/B床に荷重をかけない工法

【工法概要】

- ① アクセストンネルはR/B外から送り出して設置する
- ② 荷重はR/B壁とBSWの開口床面で支持する

(注記) アクセストンネルは機器ハッチに接続することを計画中 (1~3号機共通)

(注記) R/B壁とBSWの開口床面の耐荷重 : 750ton/m²、R/B_1階床面の耐荷重 : 約4.9ton/m²

【開発課題】

- ① 送り出し工法の実現性

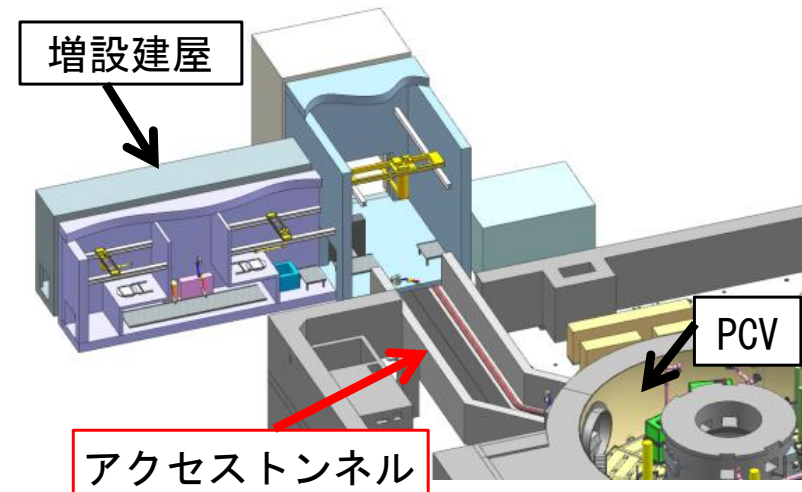
→形状模擬による送り出し方法の実現性確認(2018年度実施)

質量模擬による旋回部実現性確認(2020-21年度実施 : 安全確保PJ)

- ② BSWの厚さ1800mmで荷重支持と地震時の変位吸収が必要

→変位吸収機構の実現性確認 (2020-21年度実施 : 安全確保PJ)

スリーブ設置、溶接方法の検討 (本事業)



6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

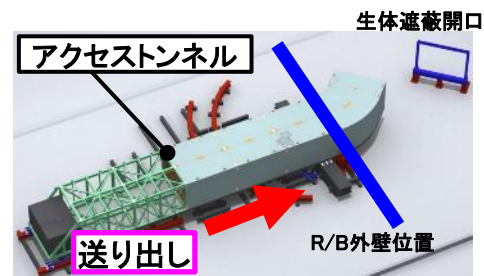
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

アクセストンネルに関し、これまでの開発成果と本事業との関連について以下に示す。

工法・システム高度化(2017-18年度実施)

【工法実現性の確認(形状寸法模擬要素試験実施)】

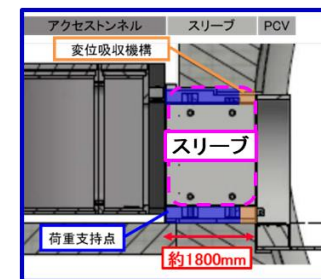
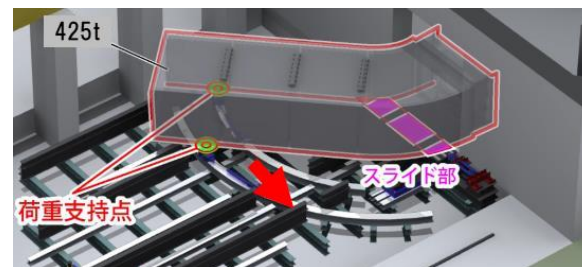
- トンネルパーツの送り出し
- 狹隘開口における曲面トンネルの送り出し
- 遠隔作業監視、位置決め精度



取り出し規模の更なる拡大(2019-20年度実施)

【接続方法の検証】

- 上記で抽出した課題の検討
- BSWとの接続方法(スリーブ溶接試験)
- スリーブ(変位吸収機構)構造検討



今回実施

【実機を見据えた実現性検証】

- スリーブ遠隔設置・溶接方法の検討
(実規模での確認)
- 遮蔽体追設・シールドプラグ解体

安全確保(2020-21年度実施)

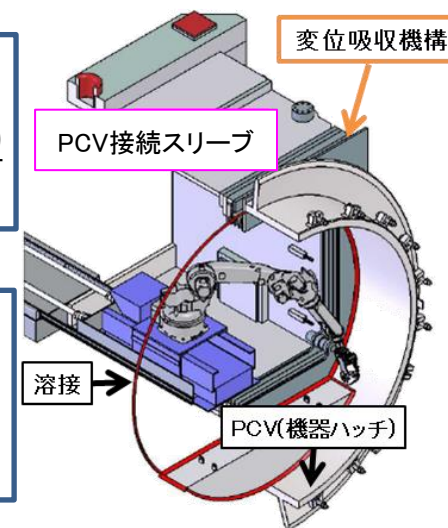
【試験による実現性確認】

- 重量物送り出し(スライド部の確認)
- 変位吸収機構(漏洩量確認)

東京電力HD委託(2020-21年度実施)

【PCV接続スリーブ遠隔設置装置概念検討】

- スリーブ遠隔設置案の選定
- 概念設計および課題の抽出



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 PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【2020年度までの検討状況】

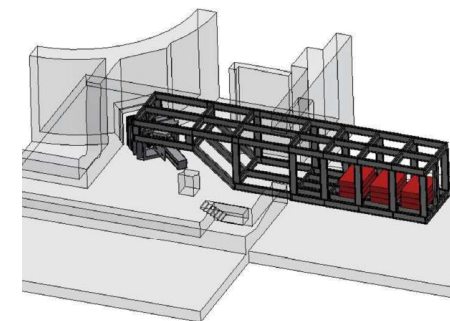
〈PCV接続スリーブ溶接〉

- 機器ハッチシェルとPCV接続スリーブの溶接条件の整理
- 溶接要素試験(溶接可能ギャップの確認)
- 研磨材の選定
- 研削装置の検討(事前確認試験実施)

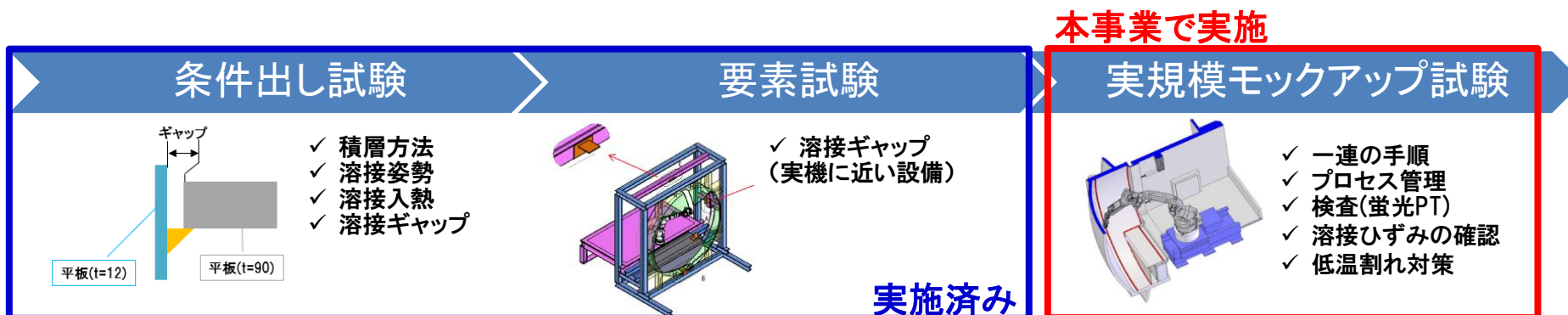
⇒溶接の要素試験により、ギャップ20mmにおいても溶接ができることを確認した。

20年度までの溶接要素試験結果を踏まえ、**実規模での溶接試験(実規模モックアップ試験)を実施**する。

更に、現場施工性、溶接時の熱収縮の影響、品質を考慮するとギャップを可能な限り小さくすることが必要。
実規模でのPCV接続スリーブ遠隔設置精度について、設置装置を試作し、検証する。



PCV接続スリーブ設置イメージ(3号機)



本事業で実施

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【課題】

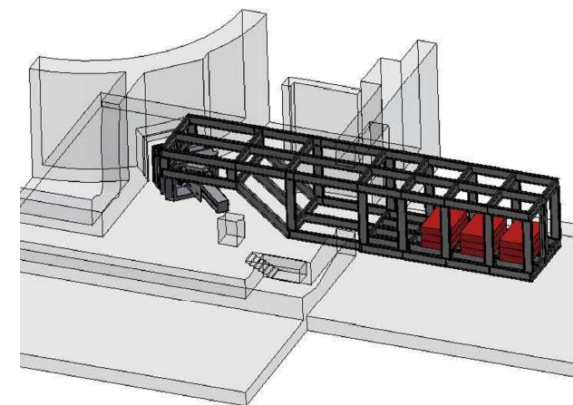
- 溶接の現場施工性や品質を考慮すると、PCVとスリーブ間のギャップを可能な限り小さくすることが求められる。作業環境(線量等)を踏まえ、PCV接続スリーブを遠隔で精度良く設置することが課題である。
- また、遠隔設置精度(ギャップ)を考慮した遠隔溶接方法の確立が課題である。

【実施内容】

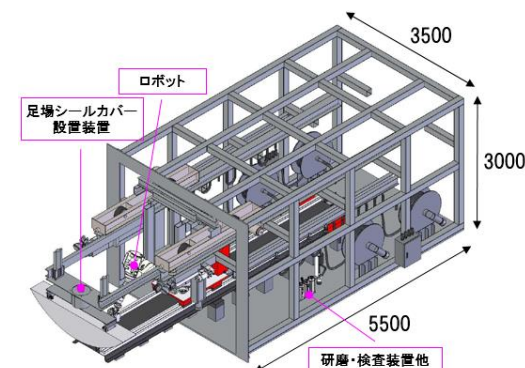
- 検討に関わる前提条件を整理する。
- PCVに接続するスリーブの遠隔設置における要求事項を整理し、遠隔設置方法、機器・装置、手順の検討を行う。
(PCV側も変形している可能性を考慮した接続方法や、R/Bの床面耐荷重等を考慮する。)
- スリーブの溶接、補修、検査、保守における要求事項を整理し、遠隔による据付精度を考慮した方法、遠隔溶接装置及び必要な治具の開発、溶接前の磨きなどの前処理を含む一連の溶接手順、検査、保守を遠隔で実施する方法の検討を行う。
- スリーブ遠隔設置方法及び溶接手順について要素試験を計画、実施して実現性を確認する。

【得られる成果】

- スリーブに関する遠隔設置方法の提示。
- スリーブに関する一連の遠隔溶接手順、遠隔保守方法の提示。



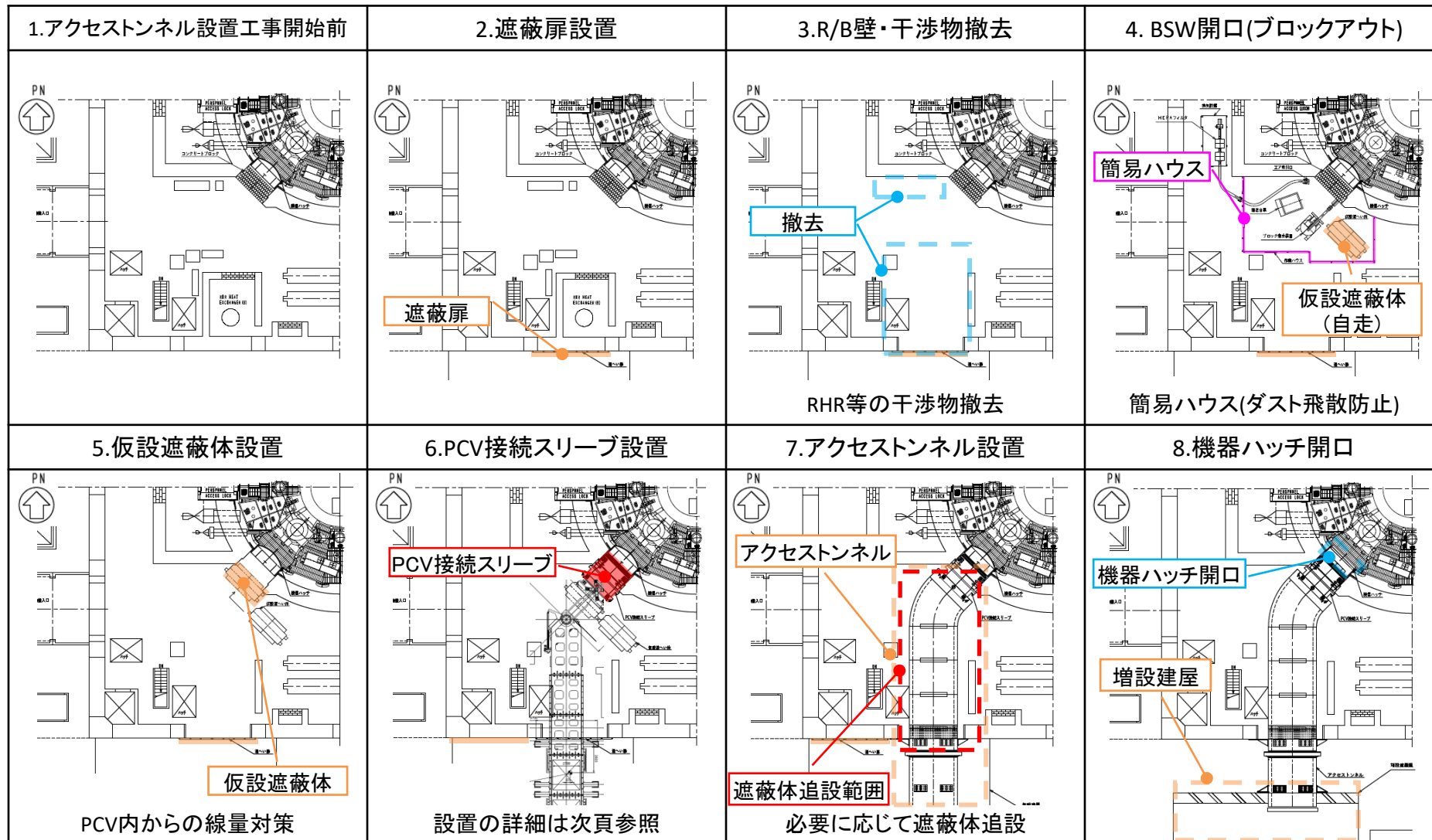
PCV接続スリーブ遠隔設置イメージ(3号機)



PCV接続スリーブ溶接装置イメージ

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【実機概略手順(1/2)】

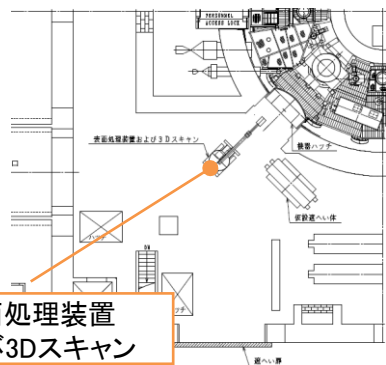


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

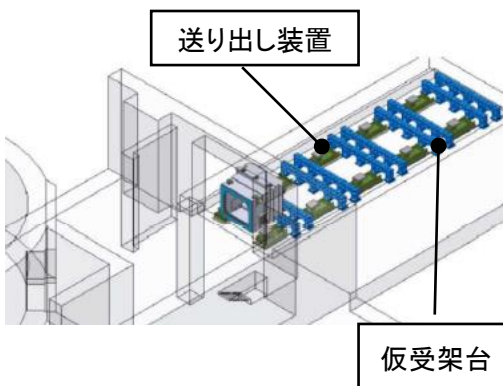
【実機概略手順(2/2)】

6.PCV接続スリーブ設置

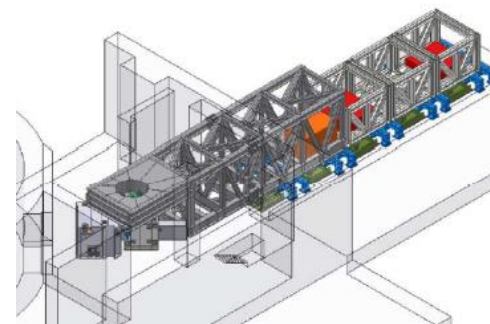
6.1表面処理および開口調査(3Dスキャン等) →PCV接続スリーブへ形状反映



6.2遠隔設置装置の設置

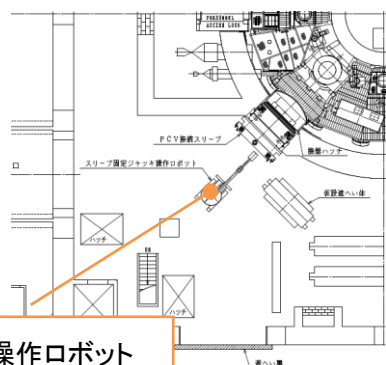


6.3PCV接続スリーブの設置

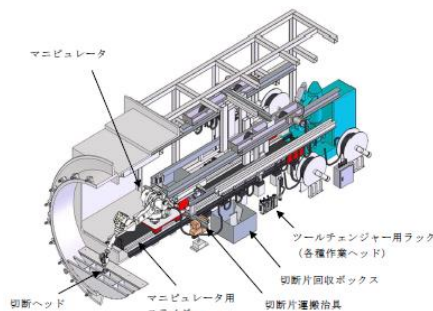


6.PCV接続スリーブ設置

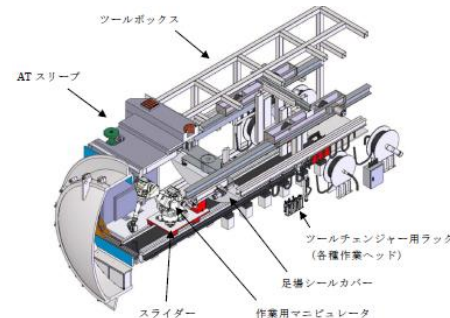
6.4PCV接続スリーブの固定



6.5足場撤去装置の搬入/足場の撤去



6.6溶接装置の搬入/溶接/検査



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

目次

(a)遠隔設置

- 要求事項
- 遠隔設置装置の選定
- 全体図、動作軸、概略設置ステップ
- 設置手順
- 模擬範囲
- モックアップ装置構造
- 実機との比較
- 試験計画、試験フロー
- 計測関連相関図
- 試験結果、課題

(b)溶接

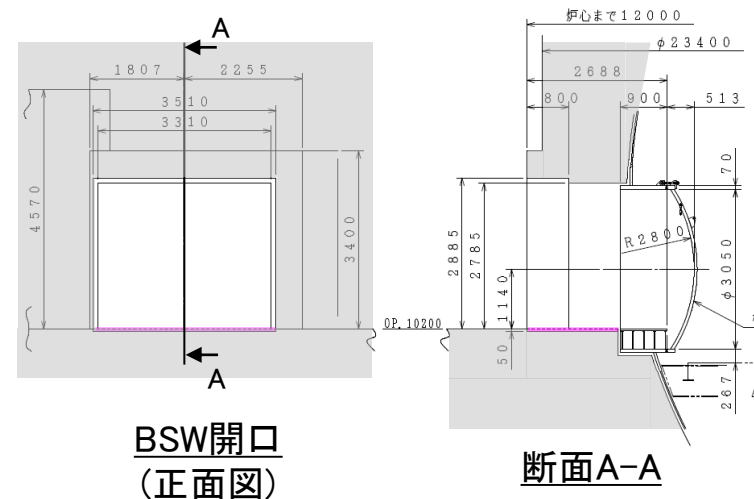
- 試験計画、試験結果
 - 1)溶接
 - 2)研磨試験
 - 3)蛍光PT試験
 - 4)寸法測定
 - 5)低温割れ試験
- 試験結果まとめ

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

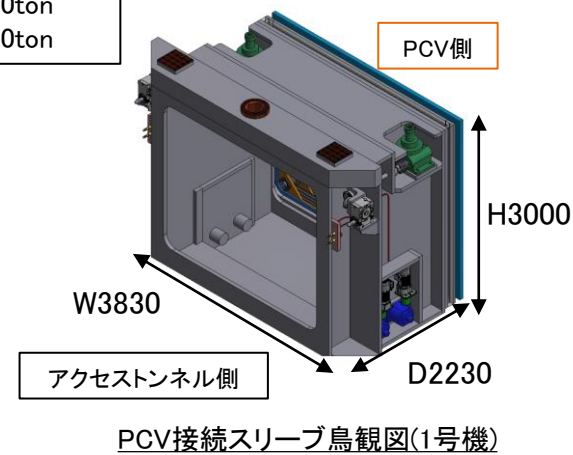
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【要求事項(前提条件の整理)】

No	項目	前提条件	備考
1	対象	1号機:北側から設置 2号機:南側から設置 3号機:南側から設置	全号機アクセストンネル本体と同じ開口から設置
2	R/B床面許容荷重	約4.9ton/m ²	BSW開口およびR/B壁開口後の許容床面荷重は750ton/m ²
3	R/B想定開口開口寸法	1号機:W5060×H6000mm 2号機:W6300×H6100mm 3号機:W6100×H6100mm	
4	R/B壁から機器ハッチまでの距離	1号機:約16m 2号機:約18m 3号機:約18m	
5	R/B内・外干渉物	全て撤去済みであること	
6	BSW開口(床面)	1階フロアと同じレベル 且つ平坦であること	
7	機器ハッチシェル	錆などが撤去されてること。	



PCV接続スリーブ重量
1号機:約25ton
2号機:約40ton
3号機:約40ton



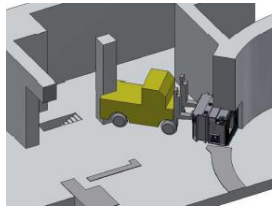
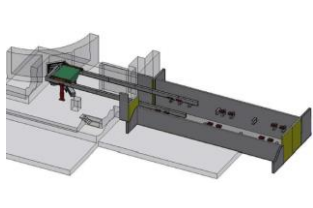
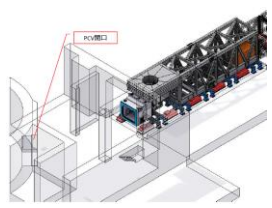
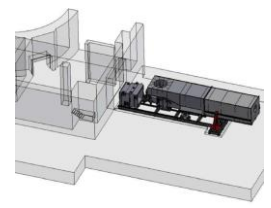
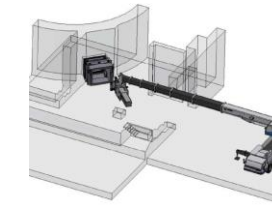
精度要求	備考
PCV接続スリーブと機器ハッチシェルの隙間が7.5mm以下(目標値)	2019-20年度補助事業において、20mm以下のギャップの溶接ができることを確認したが、現地施工性を考慮すると、7.5mm以下のギャップであることが望ましい為、目標値を7.5mmと設定する。

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【遠隔設置装置の選定】

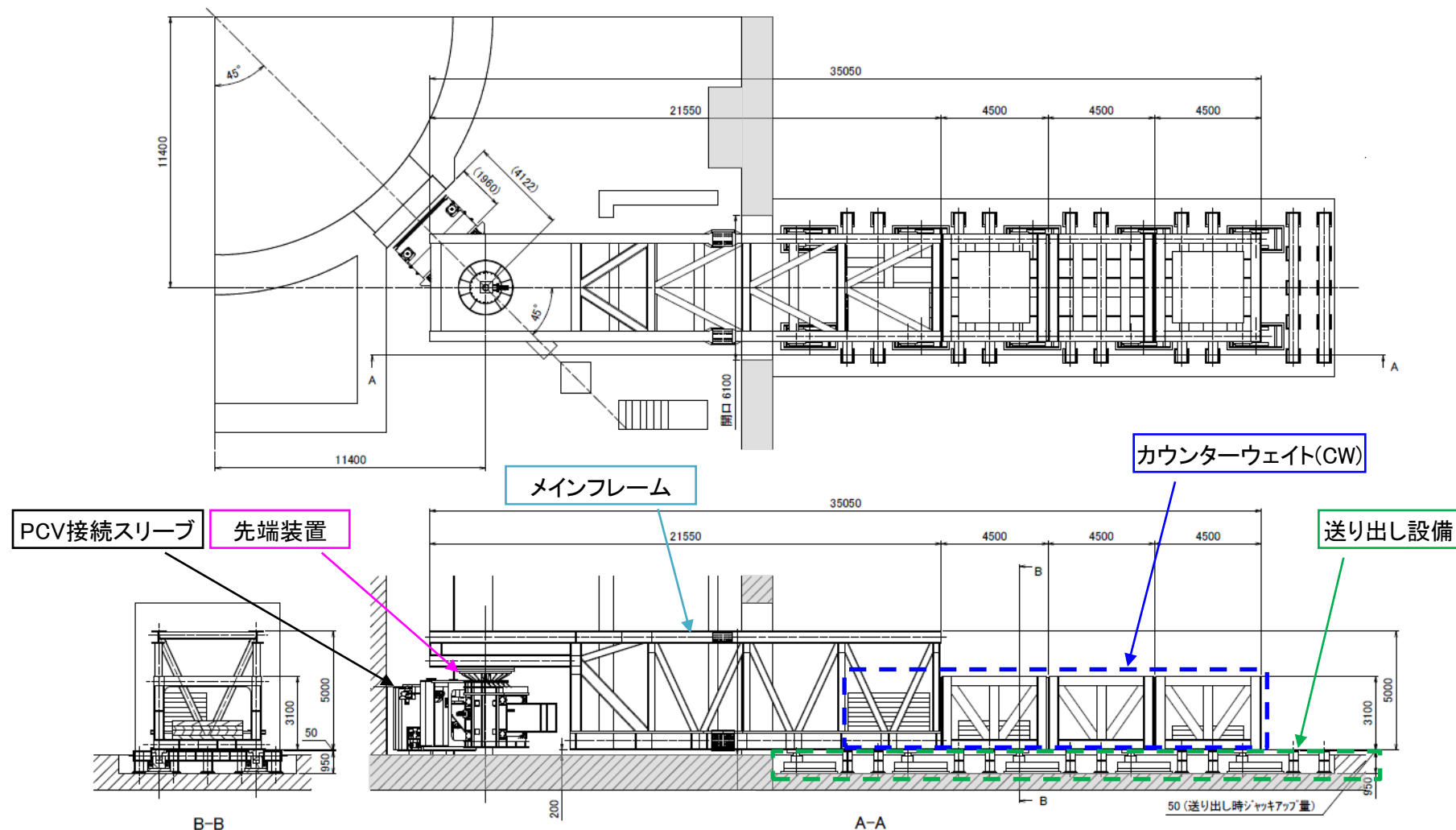
案3と案4の評価「○」。案3はアクセストンネル本体送出しと同じ送出し方法にて送り出す為、実績がある。また、同じ設備を使用することで工程的にも他案より優位。→下表赤枠で示す案3を選定。

	(案1)フォークリフト方式	(案2)走行レール方式	(案3)全体送出し方式	(案4)レール送出し方式	(案5)ブーム方式
					
建屋床面許容荷重 (3号機:4.9tm ²)	△ (解析が必要)	× (先端脚部耐荷重×)	○ (片持ちの為床面への接触無)		△ (エアキャストによる荷重)
設備規模	小	大	大	大	中
R/B外の掘り込み	無	規模小(または無し)	有	有	規模小(または無し)
実績	有	無	有 (アクセストンネル本体モックアップ)	無 (機械要素としては一般的)	無 (ブームの伸縮は実績有)
実現性	×	×	○	○	△
	(製作)可能。 (工法)先端でモーメントを受ける為、小型化が困難であり、干渉を回避できない。	(製作)複雑ではあるが可能。 (工法)開口挿入時の床面への荷重軽減が困難であり、床面耐荷重を満足できない。	(製作)可能。 (工法)可能。送出しについてはMU実施済み。前後の工程を考慮する必要あり。	(製作)可能。 (工法)可能。荷重支持点の検討が必要。	(製作)可能。 (工法)不明。エアキャストの成立性確認や風圧による汚染拡散の対策が必要。
致命的な課題	有(柱との干渉)	有(耐荷重)	無	無	有(非常時の連続的なエアの供給)
他号機への適用性	× (柱との干渉)	○ (床面耐荷重を除く)	○	○	○ (床面耐荷重を除く)
工程への影響	小	大	中	大	小
評価	×	×	○	○	×

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

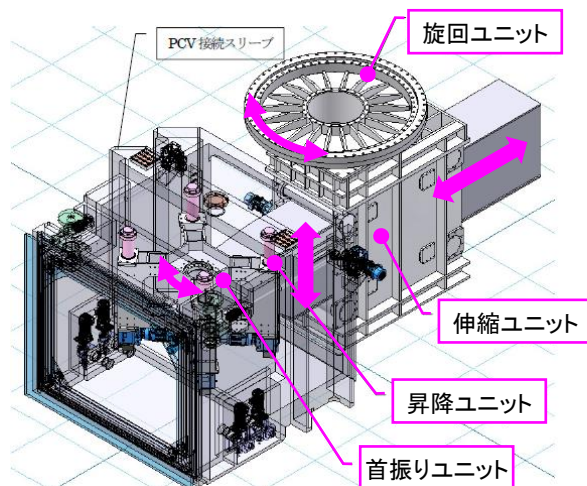
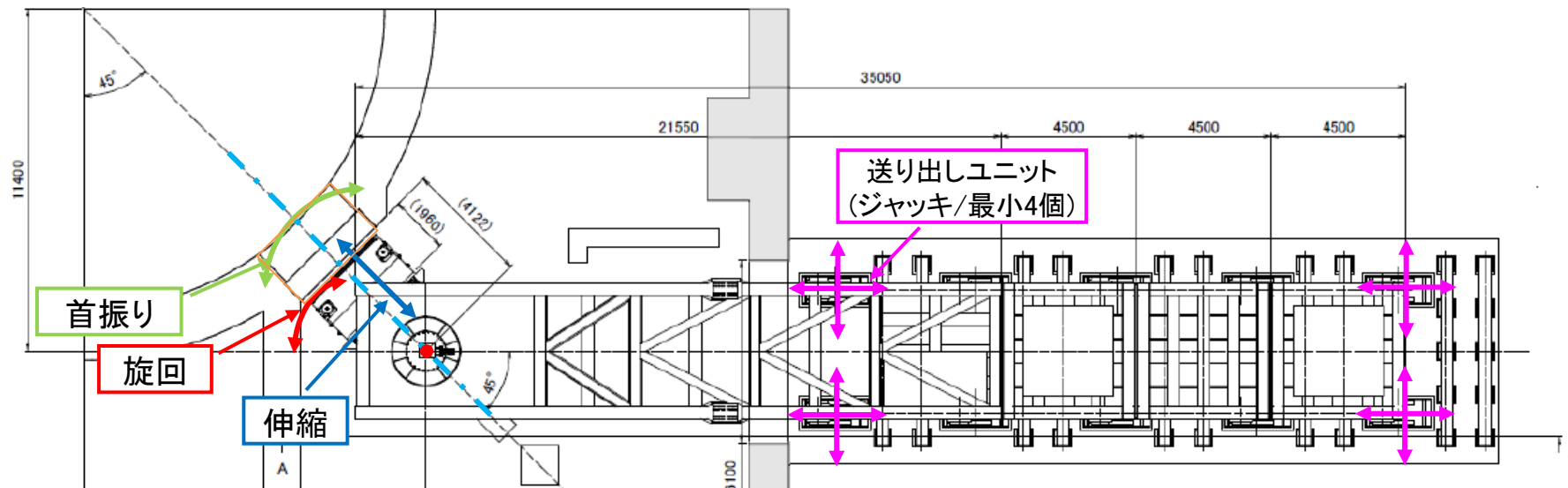
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【概念設計_全体図(案3)】 注) 図は3号機



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【動作軸】



先端装置イメージ

ユニット	構成	用途
送り出し	XYZジャッキ4基 (単軸操作可能)	BSW開口前までの位置決め
回転	回転モータ1基	BSW開口前までの位置決め
伸縮	伸縮モータ1基	BSW開口内挿入/最終微調整
首振り	回転モータ1基	最終微調整(機器ハッチ端面との面合わせ)
昇降	昇降モータ4基 (4基独立操作可能)	最終微調整、着座/たわみ補正(水平出し)

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

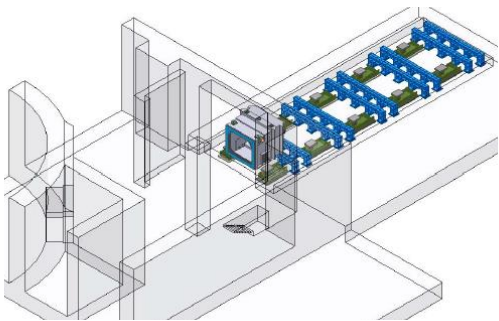
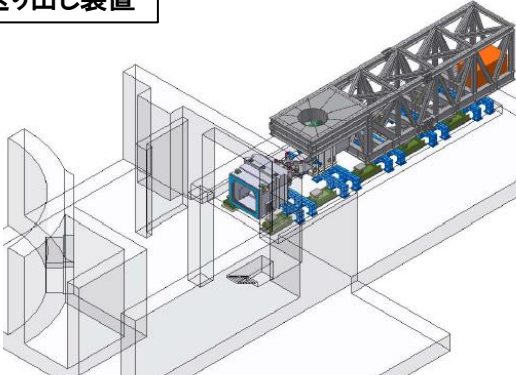
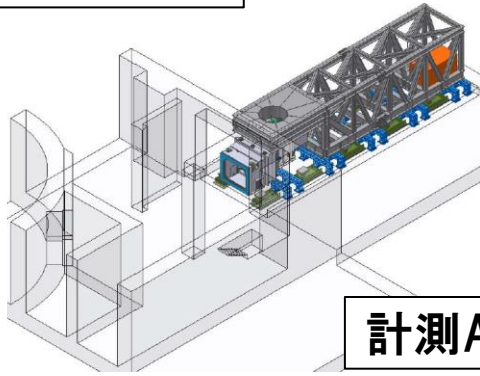
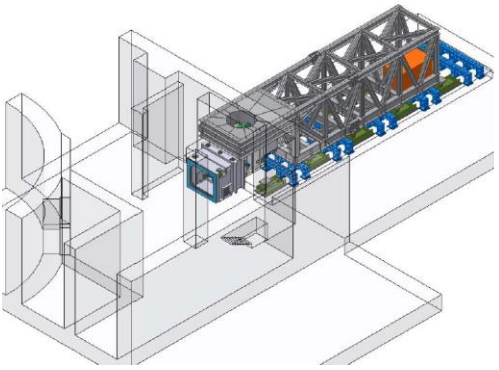
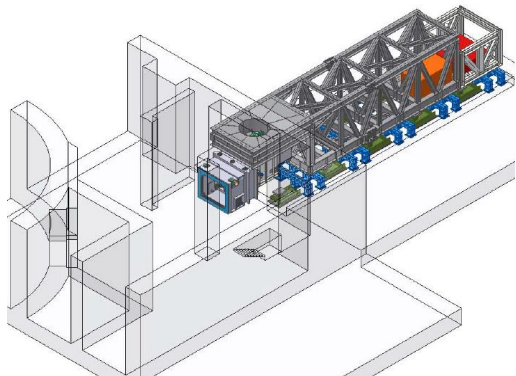
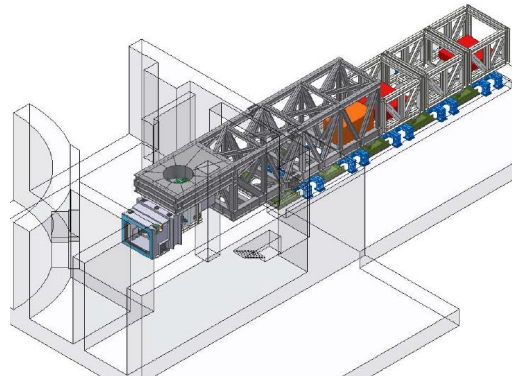
【概念設計_概略設置ステップ】

- 事前準備および装置設置は人為作業(非遠隔)。送り出しは遠隔作業。
- 補助線やマーキングは送り出しの補助的な役割。最終の確認はカメラや計測機器を用いて行う。

ステップ	項目	概要	作業
1	事前準備	送り出し装置設置前に必要な補助線施工やマーキング等を実施する。	非遠隔
2	装置設置	地盤改良を含む送り出し装置の設置を行う。	非遠隔
3	送り出し(1)	BSW開口直前までの送り出しを行う。	遠隔
4	送り出し(2)	先端装置にて機器ハッチシェル直前まで送り出し、カメラ等で全周のギャップを確認しながら、微調整を行う。	遠隔
5	着座	昇降ユニットにて、BSW床面に着座させる。	遠隔
6	固定	反力ジャッキ(固定ジャッキ)を操作し、BSWに固定する。	遠隔
7	退避	送り出し装置を退避させる。	遠隔

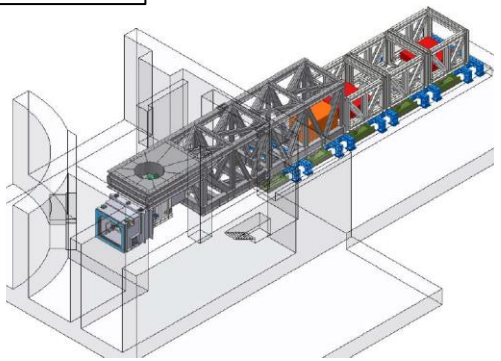
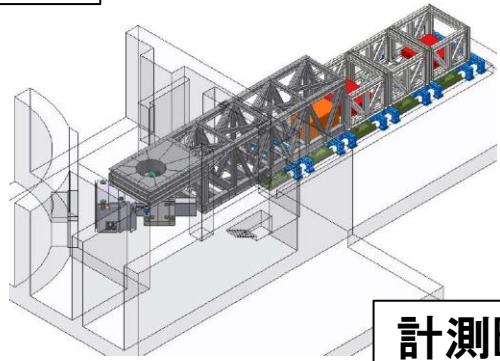
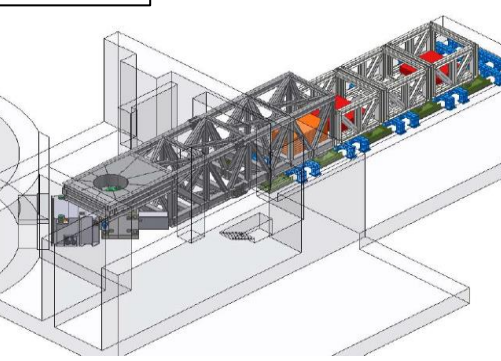
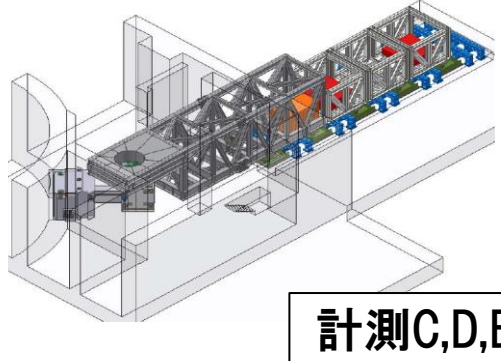
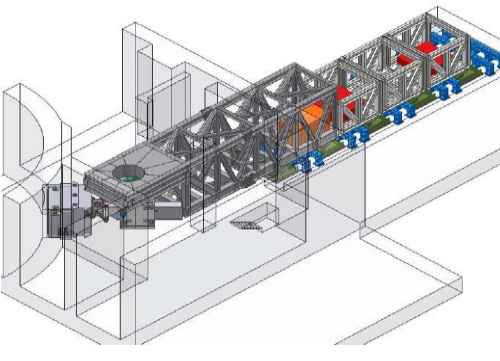
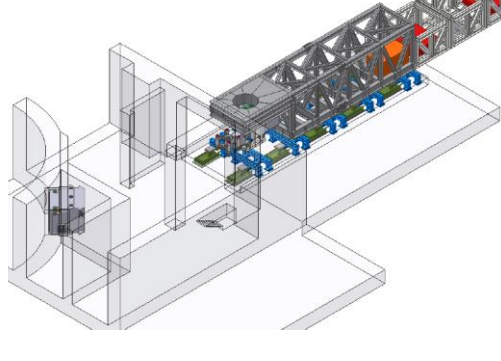
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【設置手順(1/2)】

<p>1. 送り出し装置 / PCV接続スリーブの設置</p>  <p>※送り出し装置設置前の掘り込み含む</p>	<p>2. メインブーム / CW1の設置</p> <p>送り出し装置</p> 	<p>3. メインブームを3m前進 / PCV接続スリーブの保持</p> <p>送り出し装置/先端装置</p>  <p>計測A</p>
<p>4. メインブームを4m前進</p> <p>送り出し装置</p> 	<p>5. CW2の接続</p>  <p>CW2と同様にCW3,4を接続する</p>	<p>6. CW設置完了</p> 

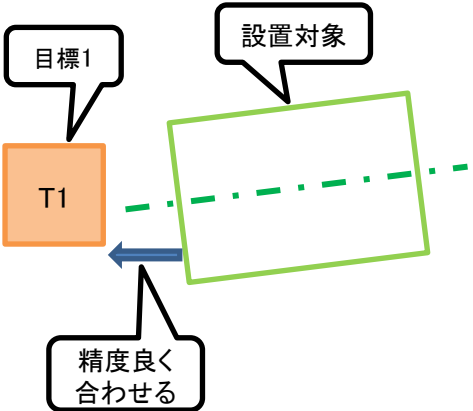
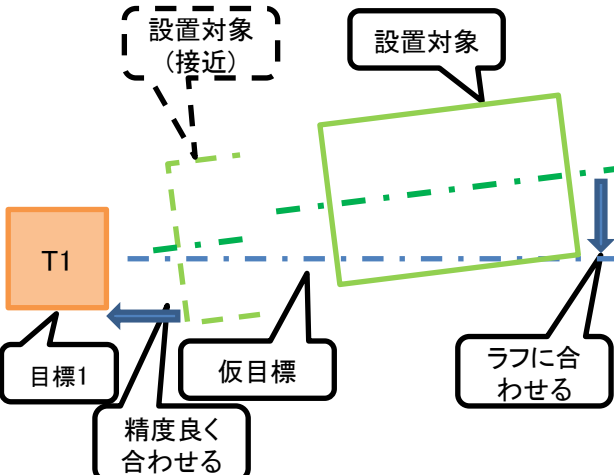
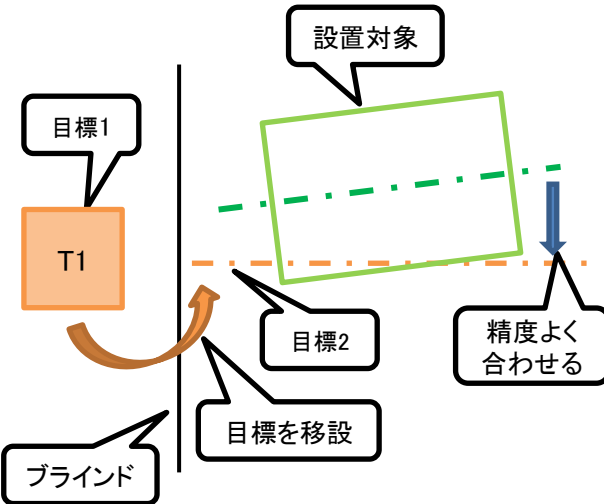
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【設置手順(2/2)】

<p>7.メインブームを2.4m前進</p> <p>送り出し装置</p> 	<p>8. 45度旋回</p> <p>先端装置</p>  <p>計測B</p>	<p>9.メインブームを前進</p> <p>送り出し装置</p> 
<p>10. PCV接続スリーブ位置合わせ / 挿入 / 着座</p> <p>先端装置</p>  <p>計測C,D,E</p>	<p>11. ブーム(伸縮ユニット)を退避</p> <p>先端装置</p> 	<p>12. メインブームを退避</p> <p>送り出し装置</p> 

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

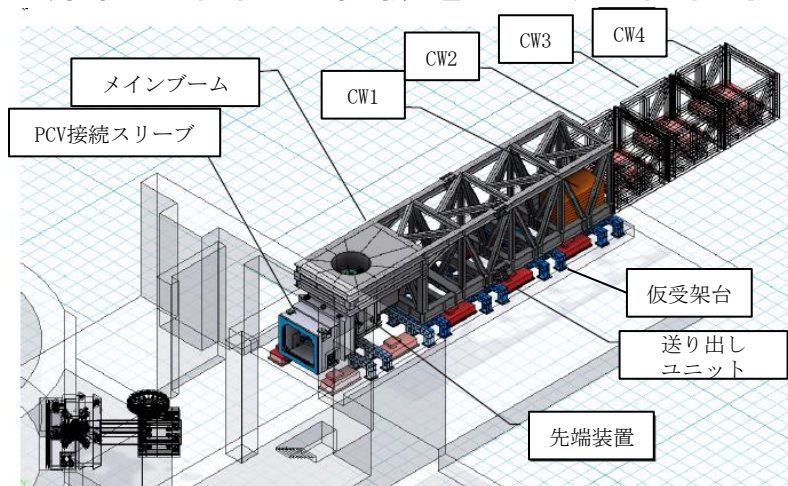
【設置の考え方】赤枠が本工法(PCV接続スリーブ遠隔設)の考え方

対象を直接確認できる場合	対象を直接確認できない場合
 <p>※目標と設置対象が近い場合</p>	 <p>※目標と設置対象が遠い場合</p>
<p>目標を直接確認できる場合は、目標を直接確認しながら位置合わせを実施する。</p> <p>(上記の場合は以下)</p> <p>①目標1を直接確認しながら設置対象の位置合わせを実施する。</p>	<p>目標を直接確認できるが遠い場合は、仮目標を設置し、目標に接近するまでは仮目標を目印にラフに位置合わせを実施する。目標に接近後、目標を直接確認しながら位置合わせを実施する。</p> <p>(概略手順)</p> <ol style="list-style-type: none"> ①仮目標を設定する。 ②仮目標に対し、設置対象をラフに合わせる。 ③目標1に接近したら、目標1を直接確認しながら設置対象の位置合わせを実施する。
	<p>目標を直接確認できない場合や確認が難しい場合は、目標を移設し、移設後の目標を正として位置合わせを実施する。</p> <p>(概略手順)</p> <ol style="list-style-type: none"> ①目標1を移設し、目標2を正とする。 ②目標2に対し、設置対象の位置合わせを実施する。 <p>(注記)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目標2が正となっている為、目標2に対して正確に位置決めを行う必要がある。 ・目標の移設精度も必要。

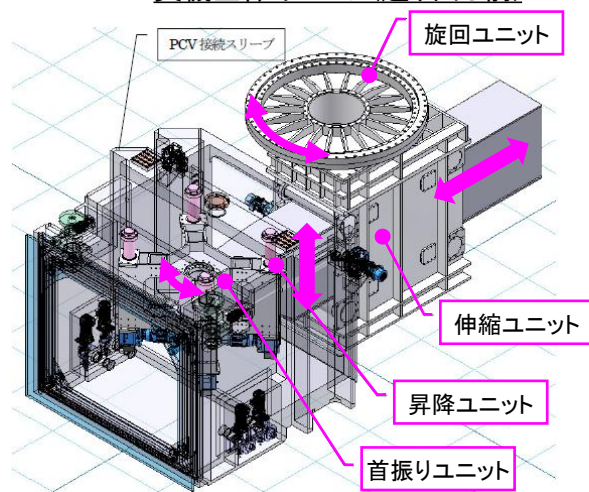
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【模擬範囲】

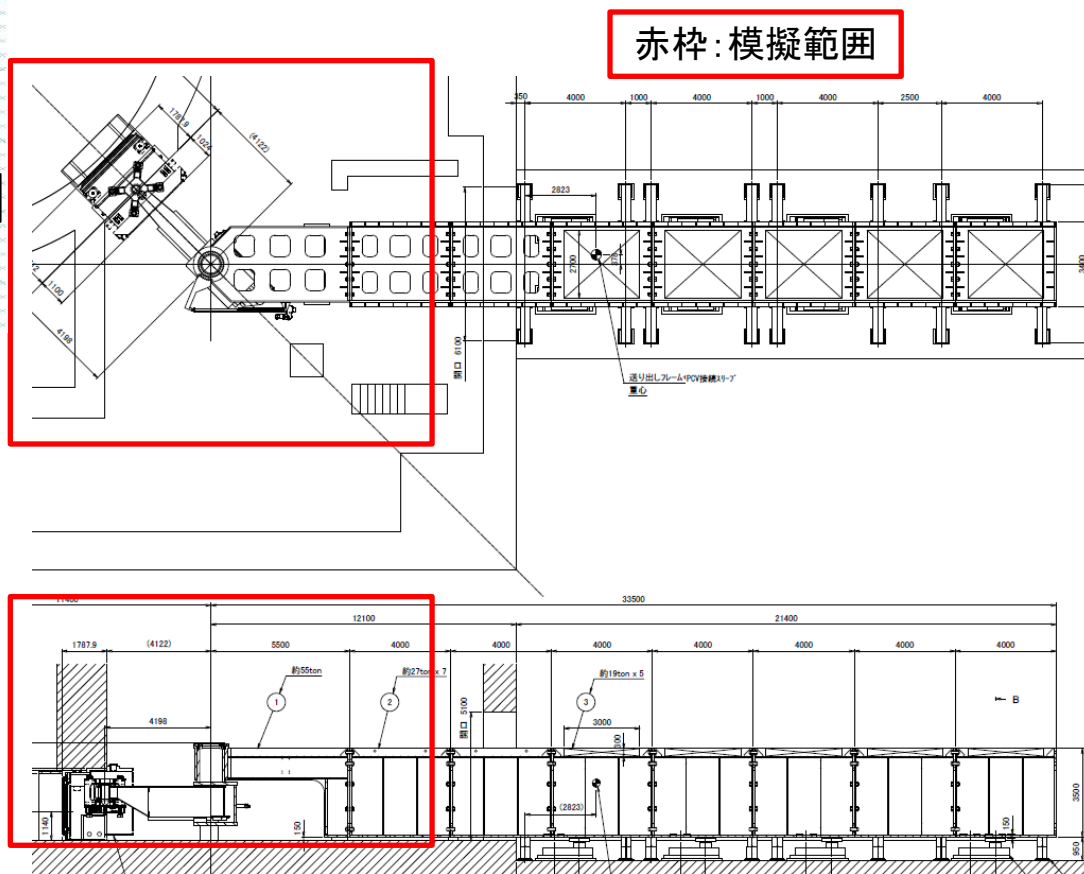
赤枠の範囲の模擬を行い、確認試験を実施する。



実機全体イメージ(送り出し前)

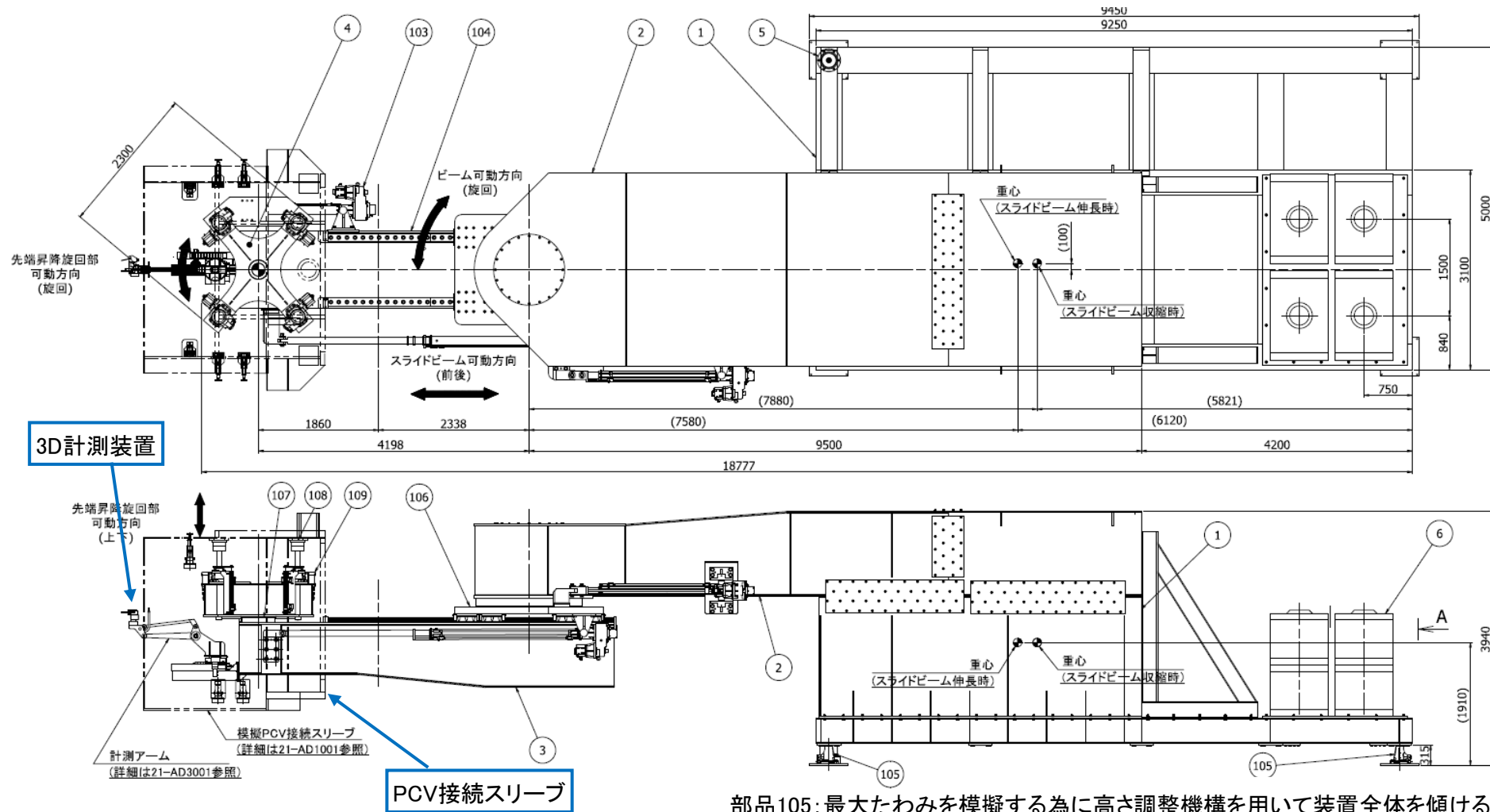


先端装置イメージ



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【モックアップ装置構造】



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【実機との比較】遠隔設置装置機器仕様(1/2)

No.	項目		実機(想定)	モックアップ
0	全体	動作軸構成	送り出しユニット:3軸(X,Y,Z)	模擬しない (模擬開口を動かすことで代替)
			先端装置:7軸(旋回、伸縮、首振り、昇降×4)	同左
1	送り出し ユニット	構成	油圧ジャッキ×4基	模擬しない (模擬開口を動かすことで代替)
		設置精度 (分解能)	20mm以下	
2	旋回ユニット (先端装置)	構成	パワーシリンダ	同左
		動作範囲	0~45° (最大 50°)	
		速度	定格:0.03 rpm(約 4.2min @ 45° 旋回) 最大:0.05 rpm(約 2.5min @ 45° 旋回)	
		分解能	0.0014° / rev (1.5mm/rev @ PCV接続スリーブ先端)	
3	伸縮ユニット (先端装置)	構成	パワーシリンダ	同左
		動作範囲	0~1900 mm(+10mm/-100mm)	
		速度	定格:0.24 m/min(4.0 mm/s) 最大:0.60 m/min(10.0 mm/s)	
		分解能	0.4 mm/rev	

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【実機との比較】遠隔設置装置機器仕様(2/2)

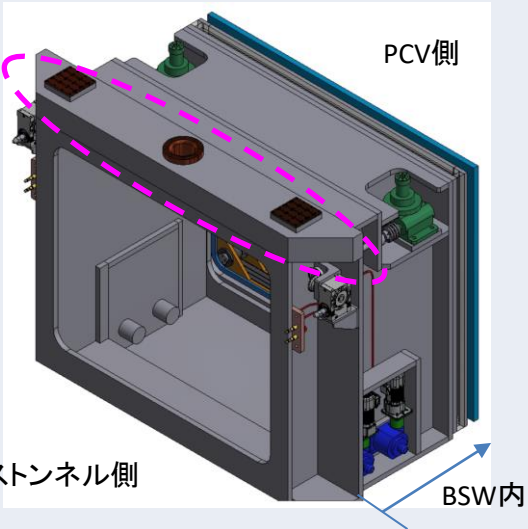
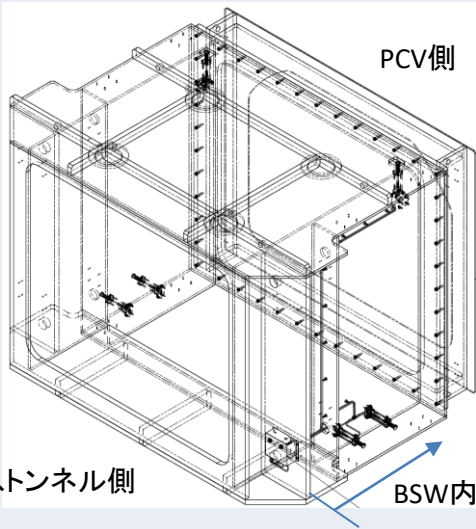
No.	項目	実機(想定)	モックアップ	
4	首振り ユニット (先端装置)	構成	パワーシリンダ	同左
		動作範囲	±5° (最大 31.5°)	
		速度	定格:0.03 rpm(約 28sec @ 5° 旋回) 最大:0.05 rpm(約 17sec @ 5° 旋回)	
		分解能	0.025° /rev (0.75mm/rev@PCV接続スリーブ先端)	
5	昇降ユニット (先端装置)	構成	サーボモータ+台形ネジ	同左
		動作範囲	最大 St.500mm	
		速度	定格:0.06 m/min(1.0 mm/s) 最大:0.075 m/min(1.25 mm/s)	
		分解能	0.025 mm/rev	
		能力	20 ton / 基	

備考

- 先端装置各ユニットの位置検出はエンコーダ(26bit)を用いる。
- 試験にて最適な速度を確認する。
- 動作の終端はリミットスイッチを用いて検知する。


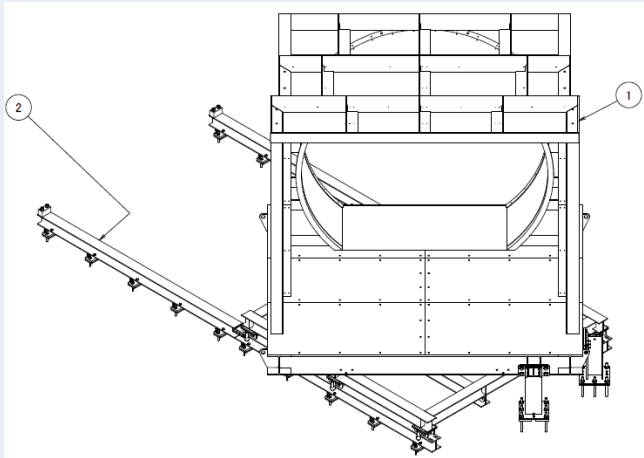
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【実機との比較】PCV接続スリーブ

項目	実機(想定)	モックアップ
仕様	対象:1F-3 外形寸法:W3730×L2812×H3025(mm) 重量:約40ton	対象:1F-3 外形寸法:W3730×L2812×H2785(mm) 重量:約12ton
イメージ		
備考	高さ:BSWより外側部分(設置完了時/点線部)は干渉などがなく、設置性に影響がない為模擬しない。BSW内の寸法については実機外形寸法を模擬した。	

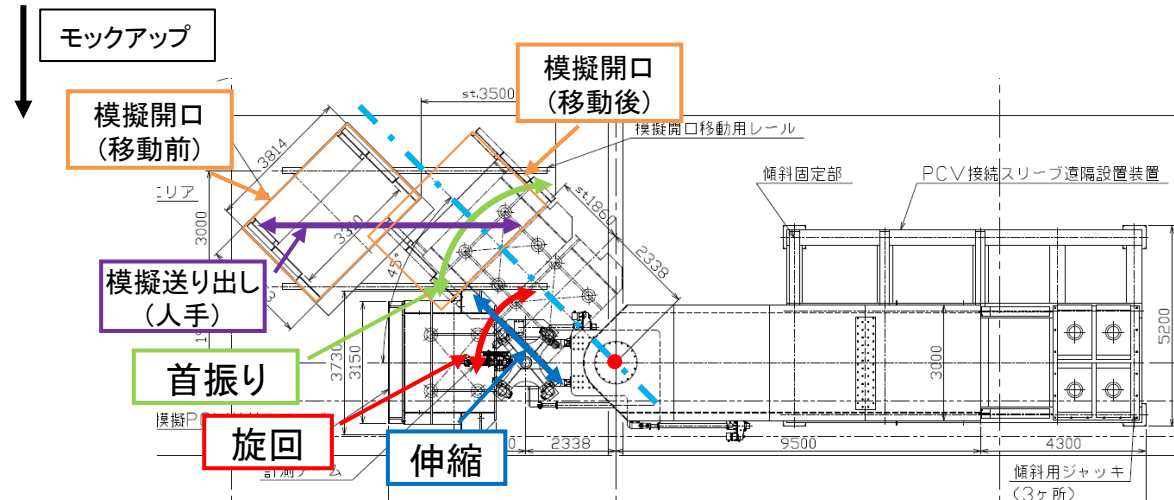
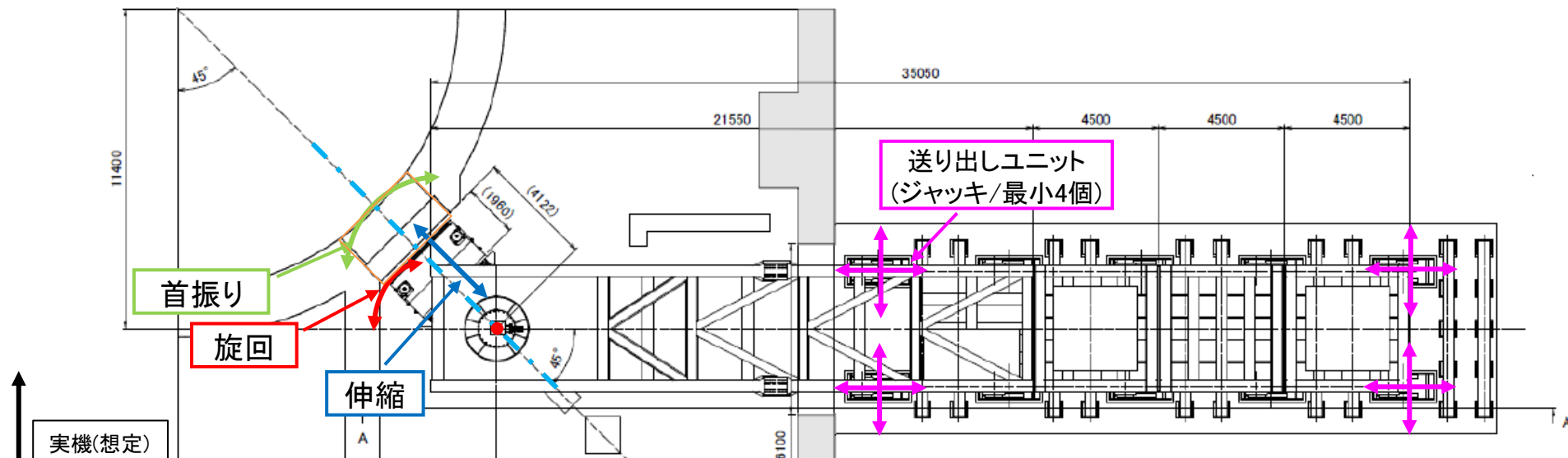
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【実機との比較】BSW開口/機器ハッチ

項目	実機(想定)	モックアップ
仕様	対象: 1F-3 ・BSW開口 内寸(狭い側): W3310 × D998 × H2785(mm) 内寸(広い側): W3510 × D800 × H2885(mm) ・機器ハッチ シェル: φ 3050 × t70mm	対象: 1F-3 ・BSW開口 内寸(狭い側): W3310 × D998 × H2785(mm) 内寸(広い側): W3510 × D800 × H2885(mm) ・機器ハッチ シェル: φ 3050 × t70mm
イメージ		
備考	—	

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【実機との比較】動作軸および概略ステップ



手順	実機概略手順	モックアップ概略手順
1	送り出し(約10m)	—(模擬しない)
2	40度旋回	同左
3	送り出し(約2.8m)	模擬送り出し(約2.8m)
4	送り出し(約0.7m/計測値) + 旋回(約5度/計測値)	模擬送り出し(約0.7m/計測値) + 旋回(約5度/計測値)
5	伸縮(約1.8m)	同左
6	微調整(伸縮/首振り/昇降)	同左
7	着座(昇降)	同左

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

No.177

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験計画(1/2)】

確認項目	実施内容	監視・測定 記録項目	判定基準
検討および試験による確認			
カメラ等の視認性の確認	各ステップにおけるカメラの設置位置および視認性を検討し、確認を行う。	➤ カメラ画像	➤ カメラ映像に基づき遠隔で作業が可能であること。
詳細手順の確認	設置手順の詳細検討を行い、次ステップに移行する為の判断基準等をまとめ、試験にて確認を行う。	➤ 各機器の操作データ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 検討した手順にて遠隔で作業が可能であること。 ➤ 各ホールドポイントにおける判定基準を満足すること(次頁参照)。
設置精度	模擬PCV接続スリーブを用いて設置精度の確認を行う。	➤ 設置精度	➤ 20mm以下 (目標:7.5mm以下)
検討による確認			
設置対象の確認	機器ハッチシェルとBSWの現在の状態を確認する方法および確認後の形状反映方法の検討を行う。		—
最終ギャップの確認	最終のギャップの確認方法の検討を行う。 ①20mm以下(目標:7.5mm以下)であることの確認。 ②ギャップの推定		
着座検知の方法	PCV接続スリーブをBSWに着座させた際の検知方法の検討を行い、確認を行う。		
固定方法の確認	PCV接続スリーブのBSW固定手順の詳細検討を実施する。		

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

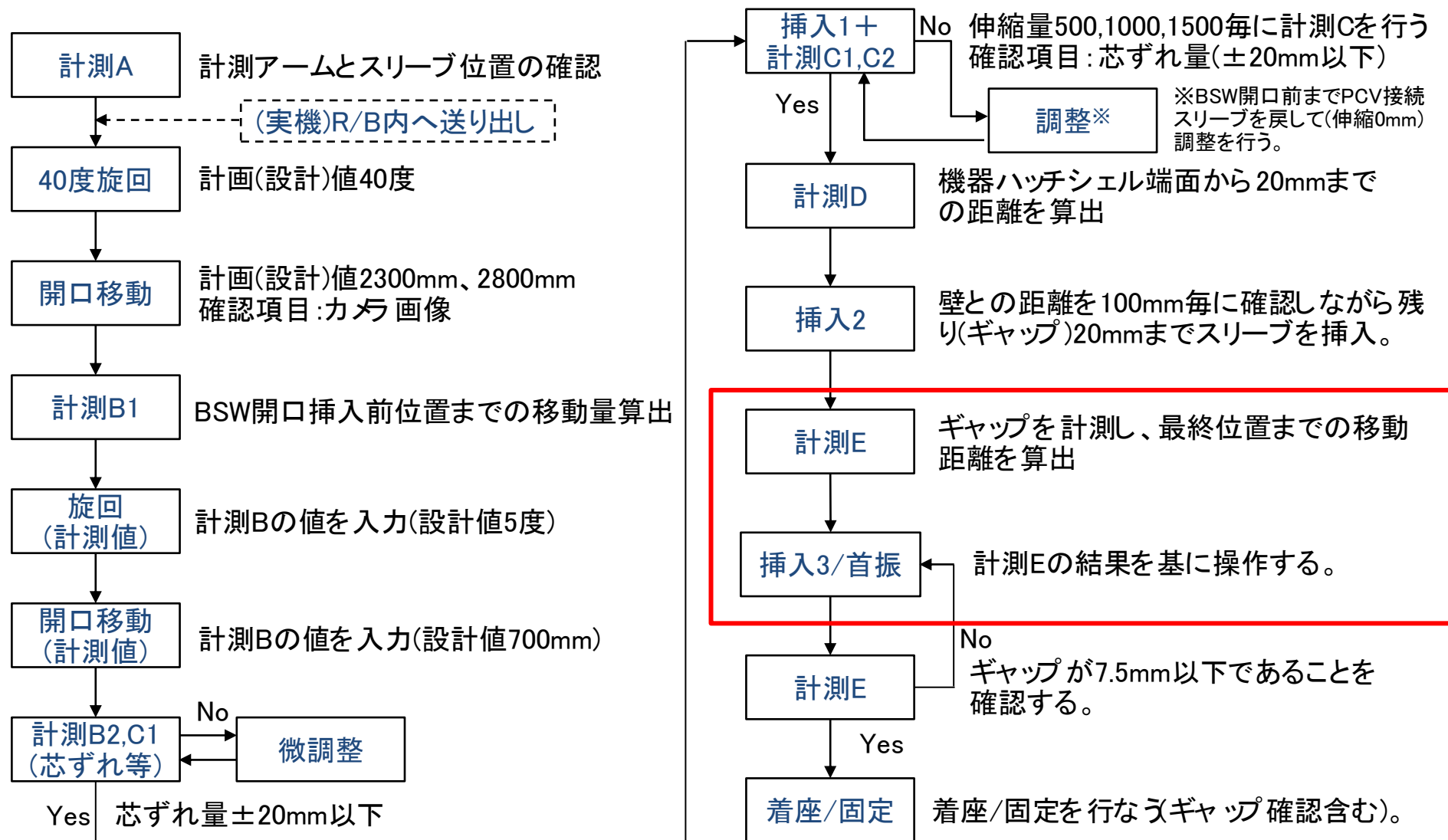
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験計画(2/2)】次ステップに行く為の判定基準

項目	BSW開口前	最終位置
<p>ホールド ポイント(HP)</p>		
<p>計測</p>		
<p>判定基準</p>	<p>芯ずれ: 20mm以下 BSW開口とPCV接続スリーブ面の角度: 1度以下</p>	<p>ギャップ: 20mm以下(目標7.5mm以下)</p>

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

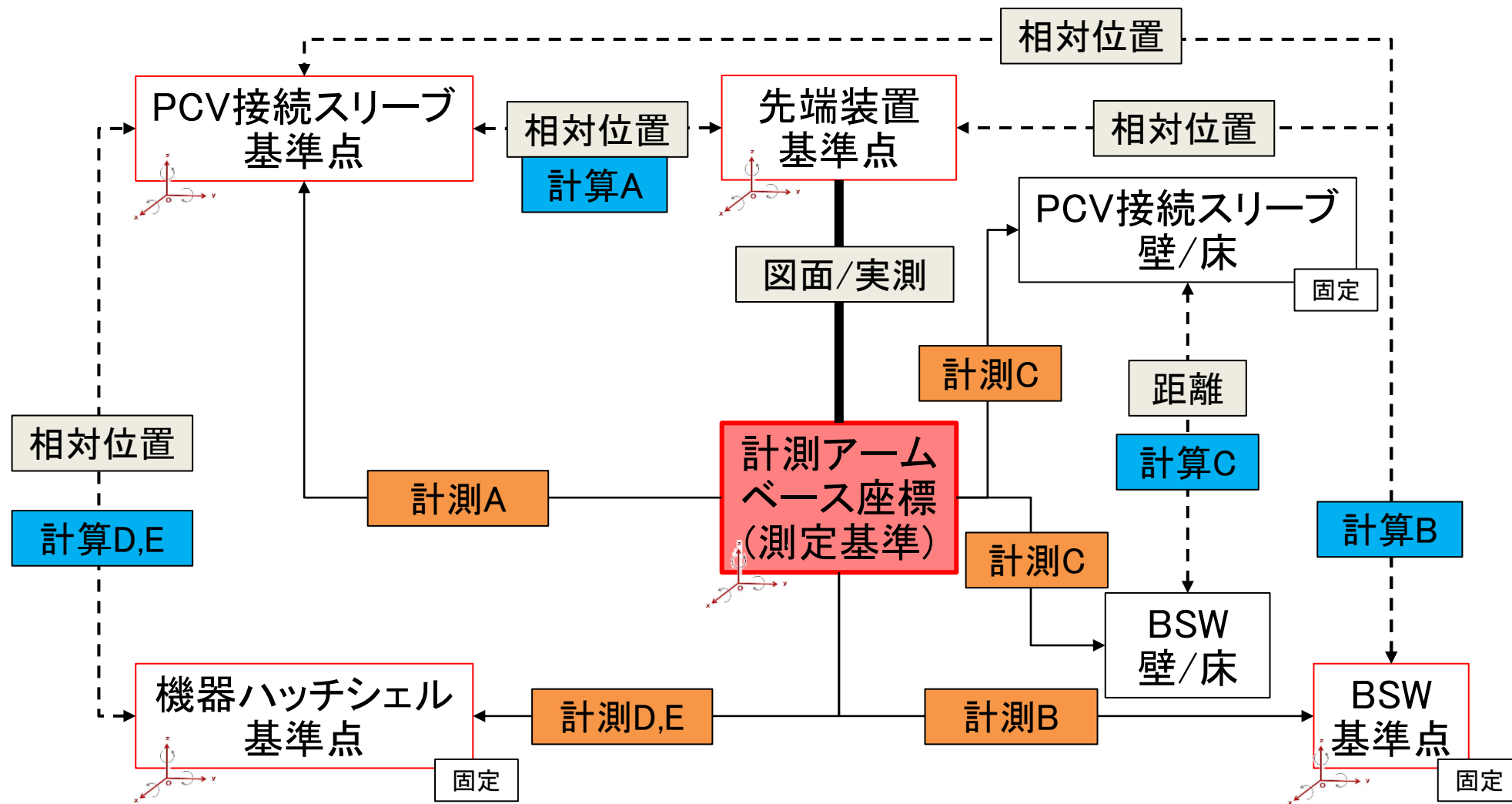
【試験フロー】



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【計測関連相関図】

注) 計測アームベースは移動する為、ロボット工学でいうツール座標系に相当する。

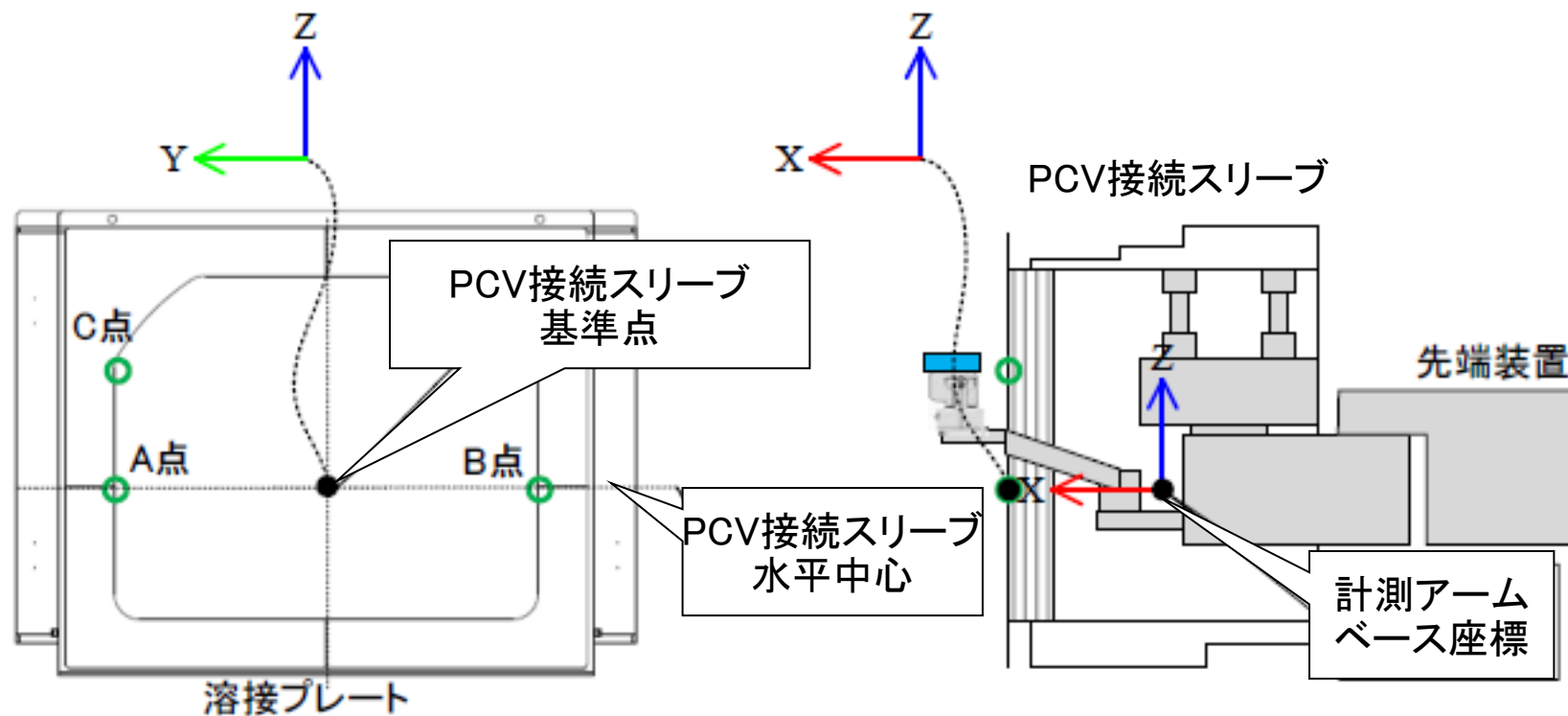


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

計測A

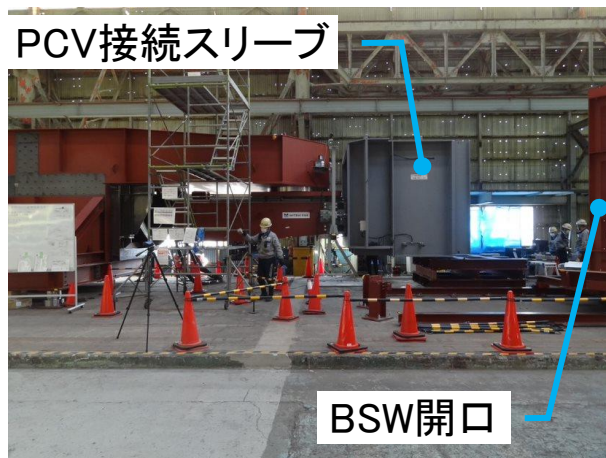
PCV接続スリーブの端面3か所の計測を行い、計測アームベース座標とPCV接続スリーブ基準点の相対位置を確認する。A.B点計測により中心位置を確認し、任意のC点を計測することで基準面(基準点)を作成する。



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

40度
旋回



旋回前(0度)



旋回(40度)

開口
移動



開口移動(2300mm)



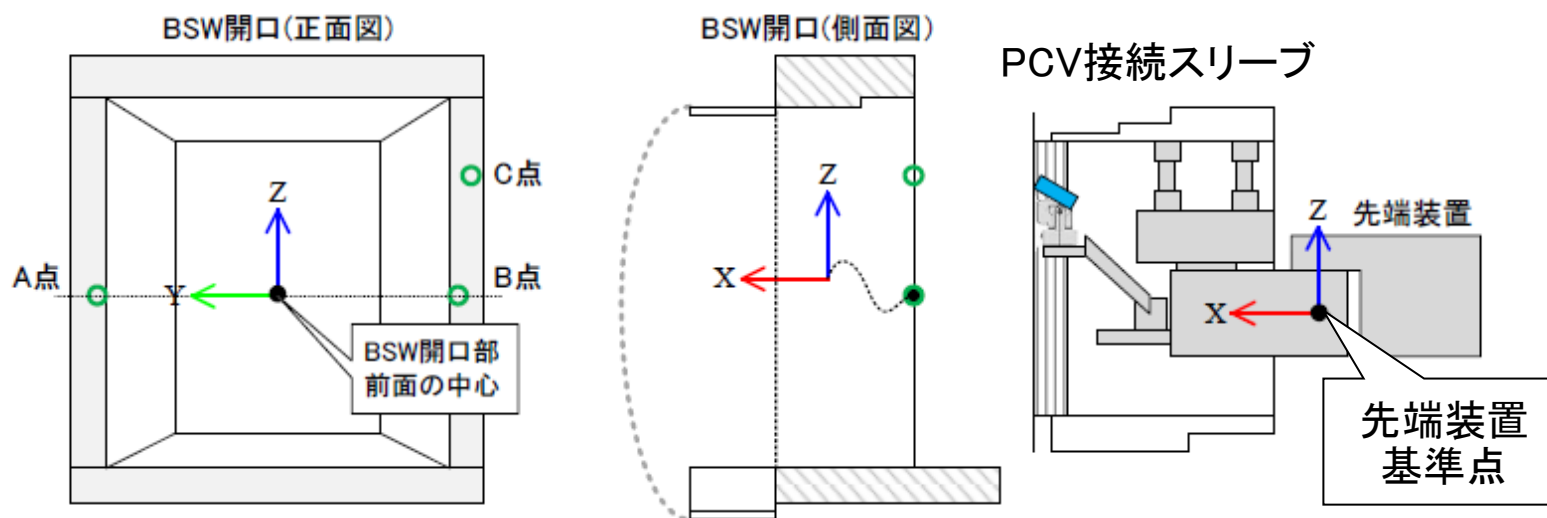
開口移動(2800mm)

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

計測B1

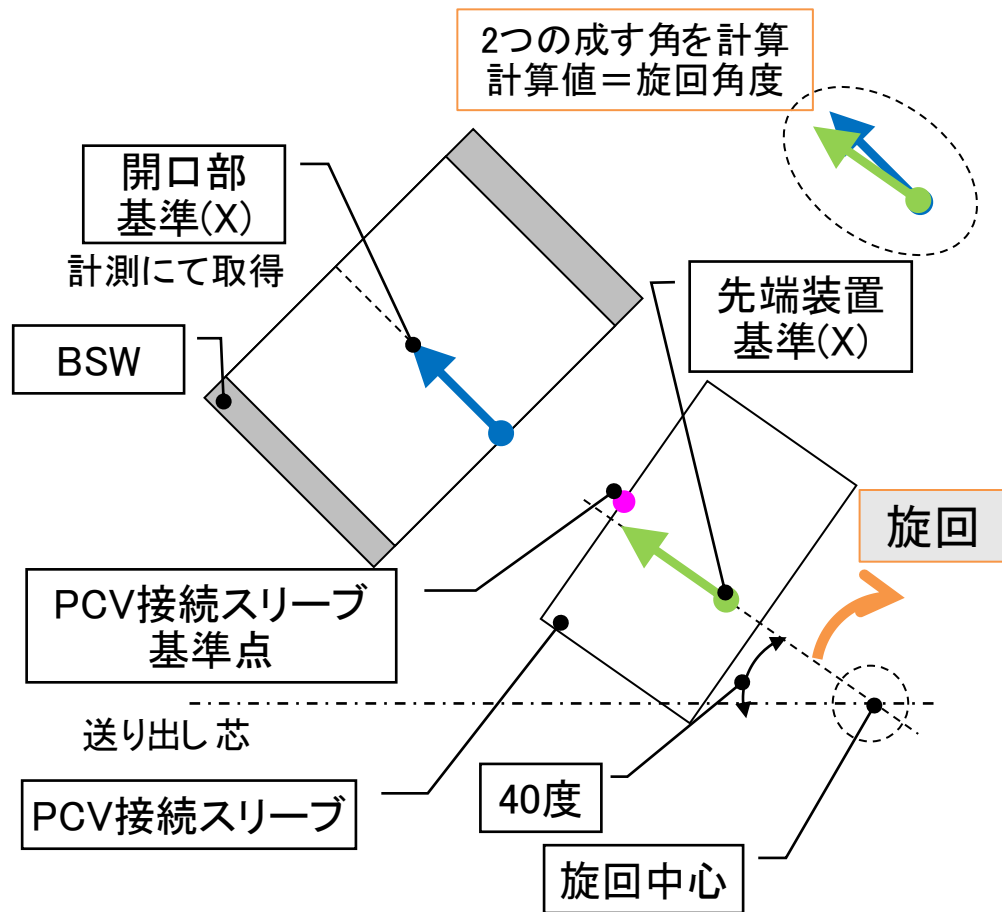
BSW開口面3か所の計測を行い、旋回角度および送出し距離を算出する。A.B点計測によりおおよその中心位置を確認し、任意のC点を計測することで基準面(基準点)を作成する。



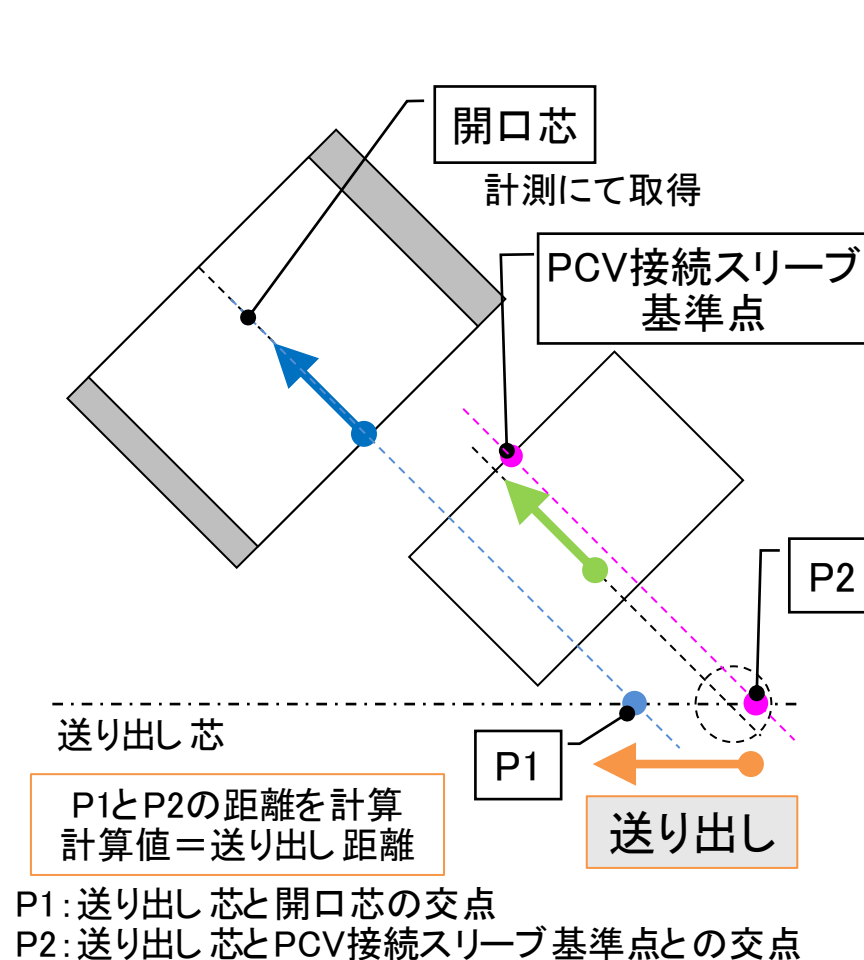
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

旋回 旋回ユニットにて計測値に従い旋回。



開口移動 計測値に従い開口を移動(送り出し)。

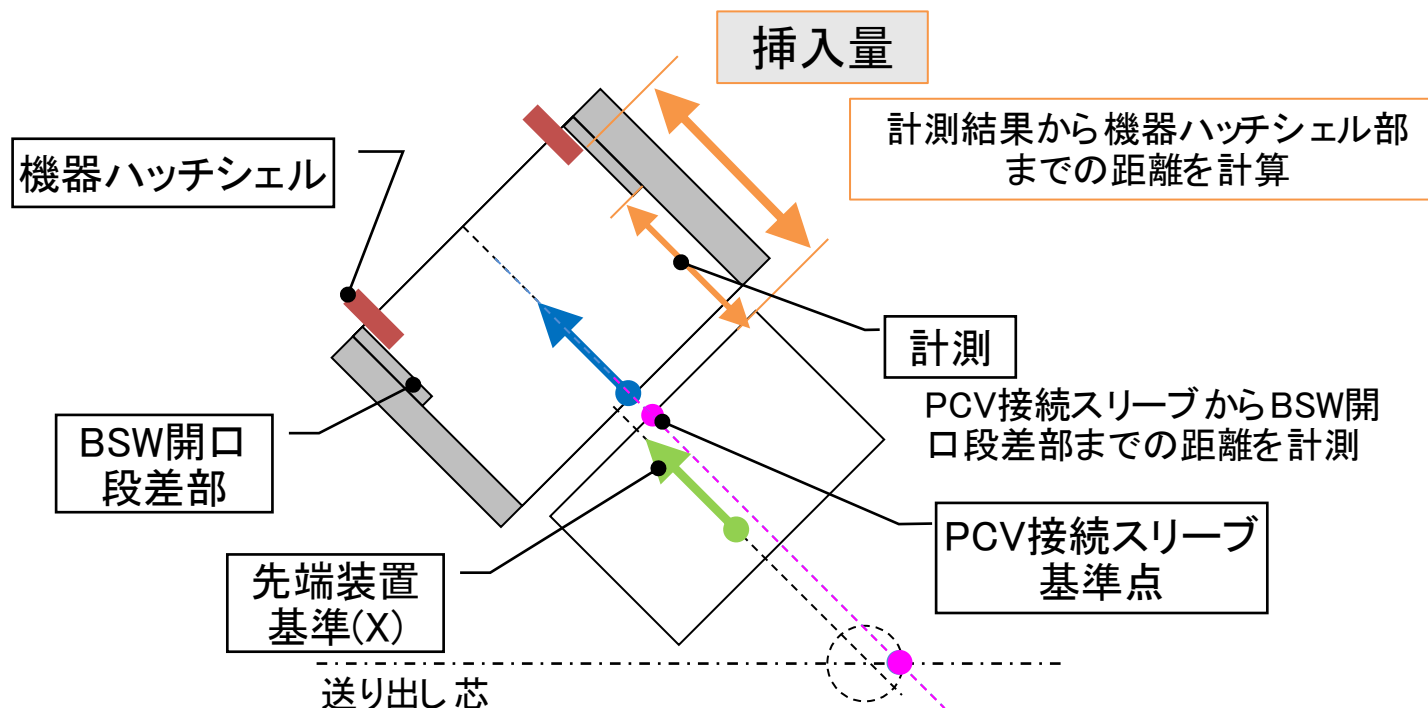


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

計測B2

BSW開口段差部の計測を行い、PCV接続スリーブから機器ハッチシェルまでの距離を算出する。算出結果が伸縮ユニットのストローク(1900mm)以下であることを確認する。

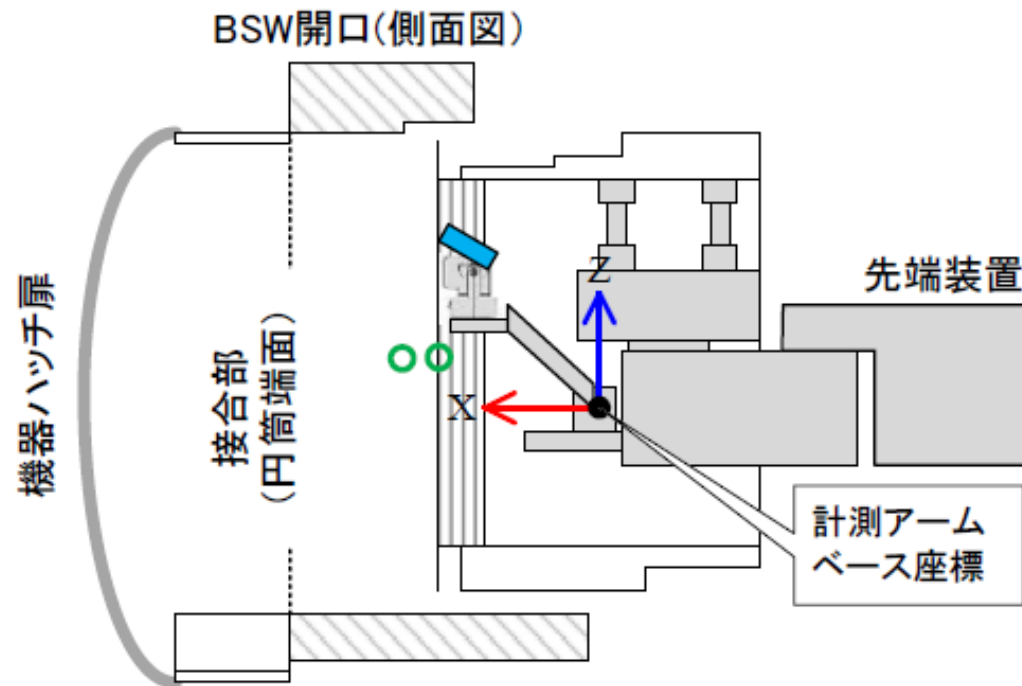
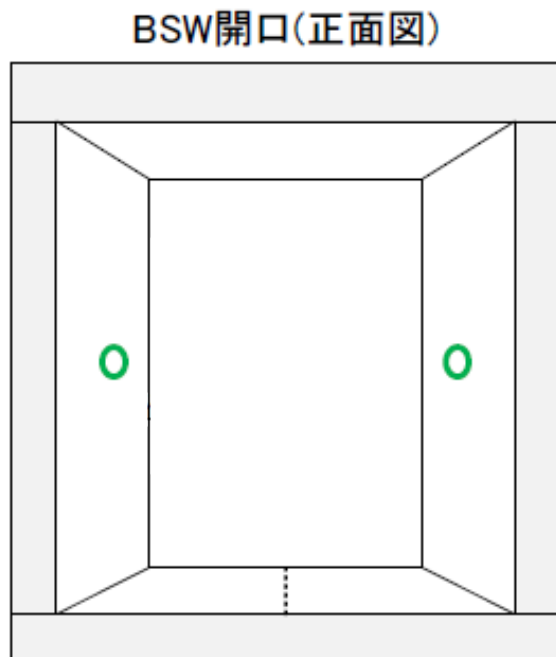


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

計測C1

BSW開口壁面(片側1か所/合計2か所)とPCV接続スリーブ壁面(片側1か所/合計2か所)の距離計測を行い、芯ずれ量が許容値±20mm以下であることを確認。芯ずれの許容値を超える場合は「旋回」と「送り出し(開口移動)」にて調整。



(注記)

- ・伸縮ストローク500mmピッチで実施
- ・BSW内側面とPCV接続スリーブ外面の最小ギャップは片側45mm

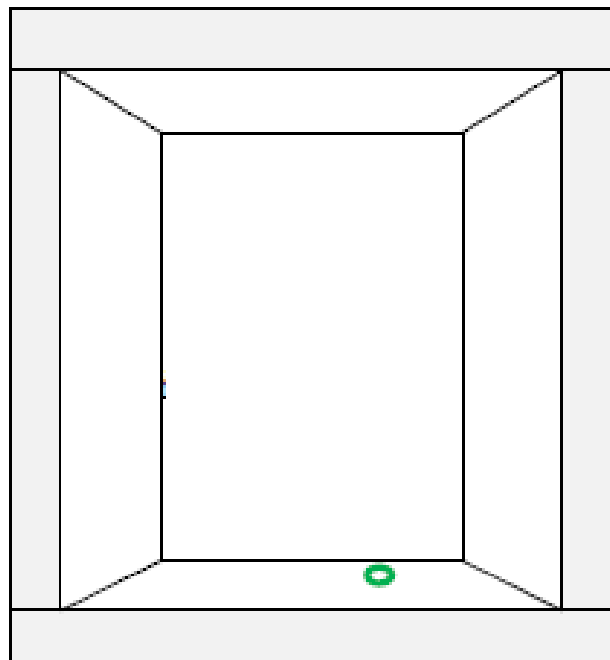
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

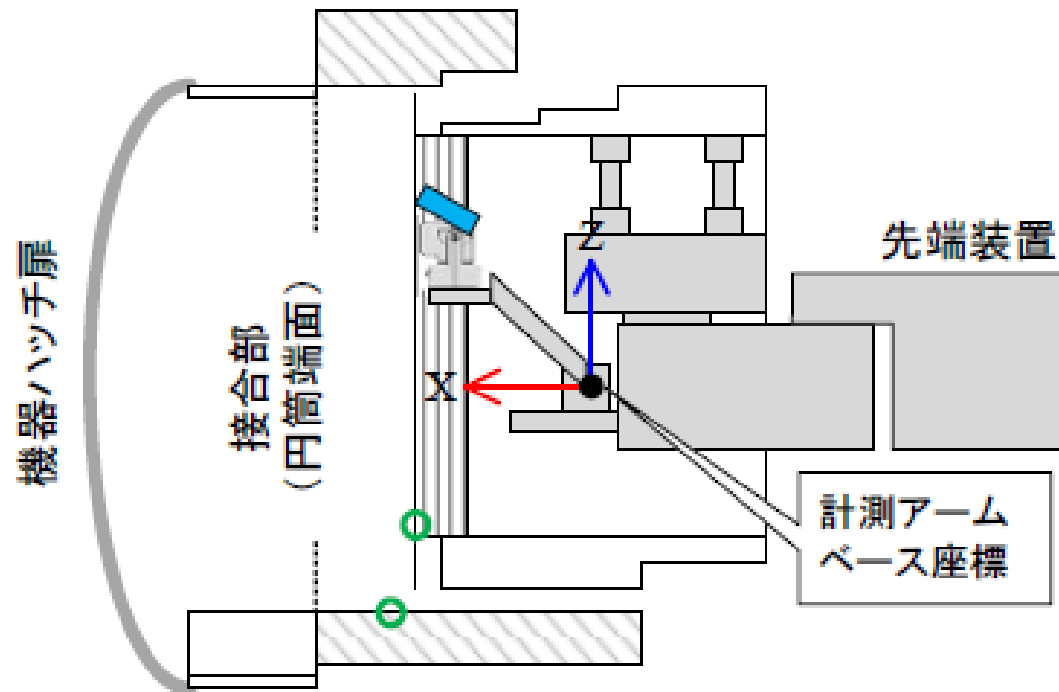
計測C2

BSW開口床面(1か所)とPCV接続スリーブ床面(1か所)の距離計測を行い、BSW床面からの高さを確認する。

BSW開口(正面図)



BSW開口(側面図)



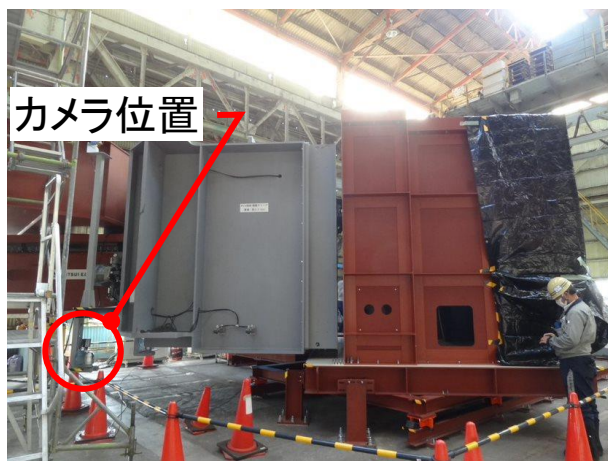
注) 伸縮ストローク500mmピッチで実施

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

挿入1

カメラでBSW壁とPCV接続スリーブの隙間を確認しながら、PCV接続スリーブを挿入する。



カメラ位置

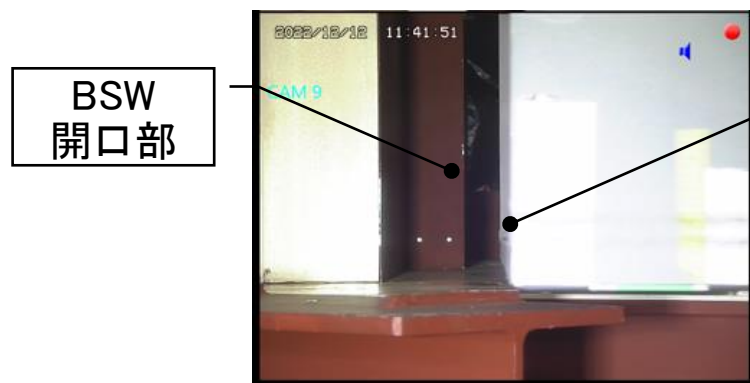
挿入前(伸縮ストローク:0mm)



挿入(伸縮ストローク:500mm)



挿入(伸縮ストローク:1500mm)



BSW
開口部

PCV接続
スリーブ側面

挿入(伸縮ストローク:500mm)/後方カメラ画像/左側



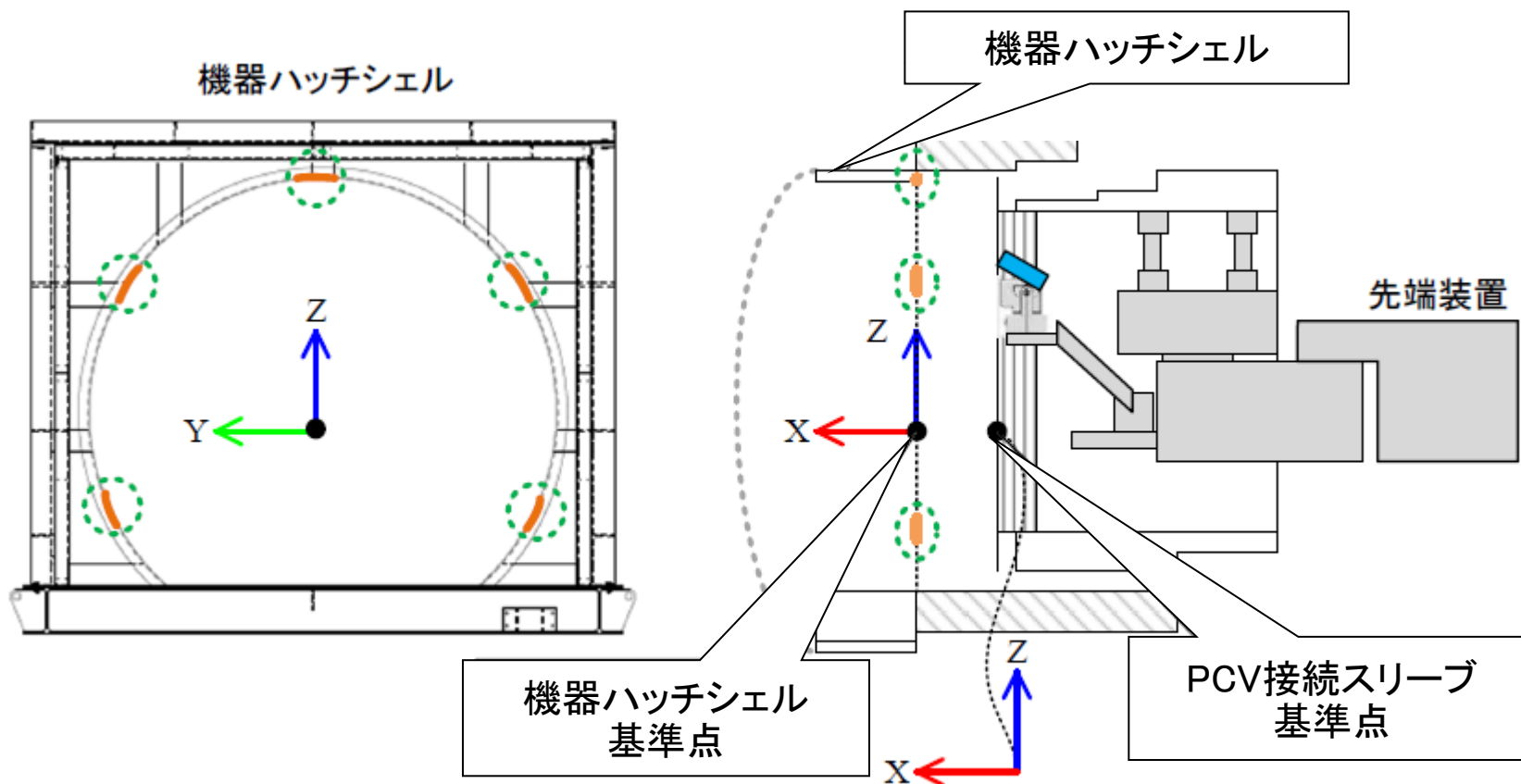
挿入(伸縮ストローク:500mm)/後方カメラ画像/右側

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

計測D

伸縮ストロークが1500mmの位置で機器ハッチシェル端面までの距離を計測し、機器ハッチシェル約20mm手前位置までの移動量を算出する。

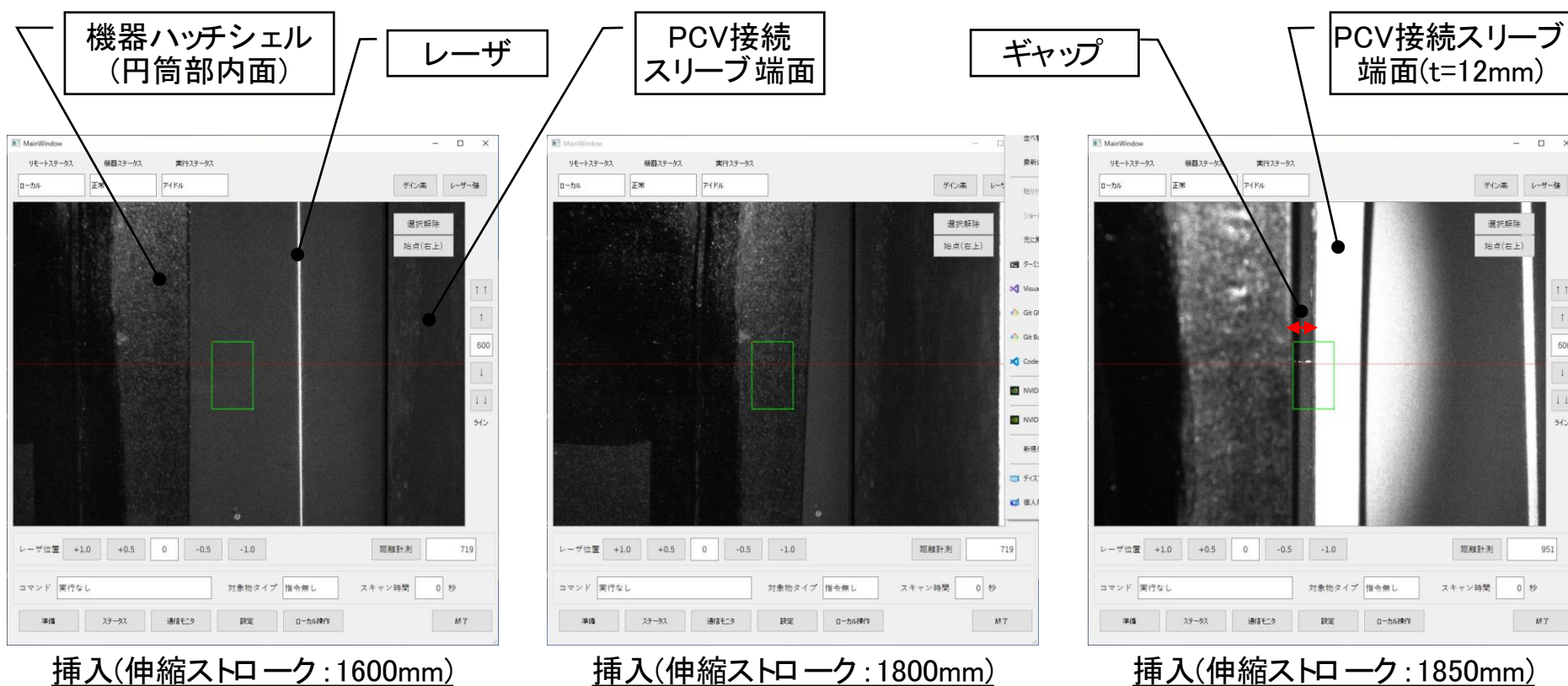


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

挿入2

1800mmまで挿入後、3D計測装置のカメラで機器ハッチシェルとPCV接続スリーブの位置を確認しながら、約20mm手前までPCV接続スリーブを挿入する。

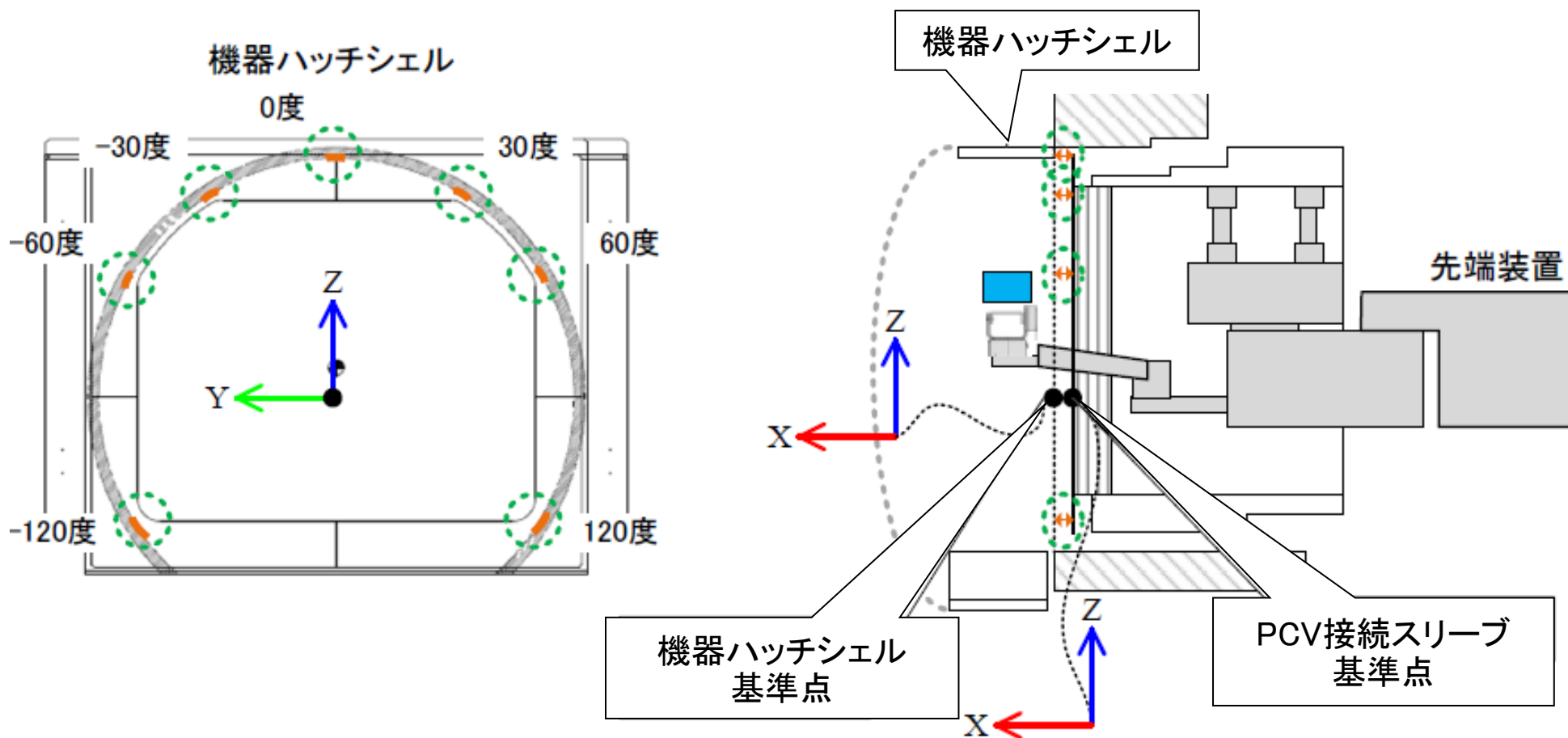


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】最終目標まで約20mmまでの位置

計測E

機器ハッチシェル端面とPCV接続スリーブの隙間(ギャップ)を7点(0度、±30度、±60度、±120度)計測し、最終移動量を算出する。

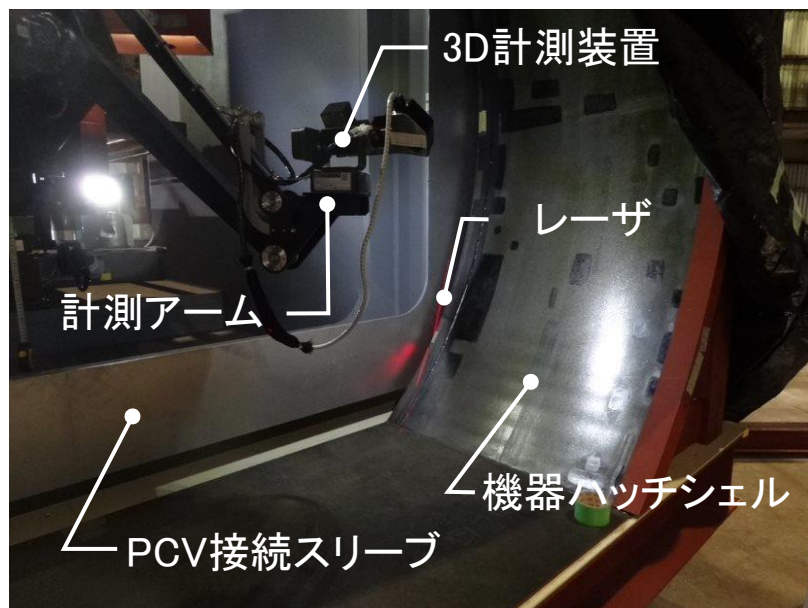


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

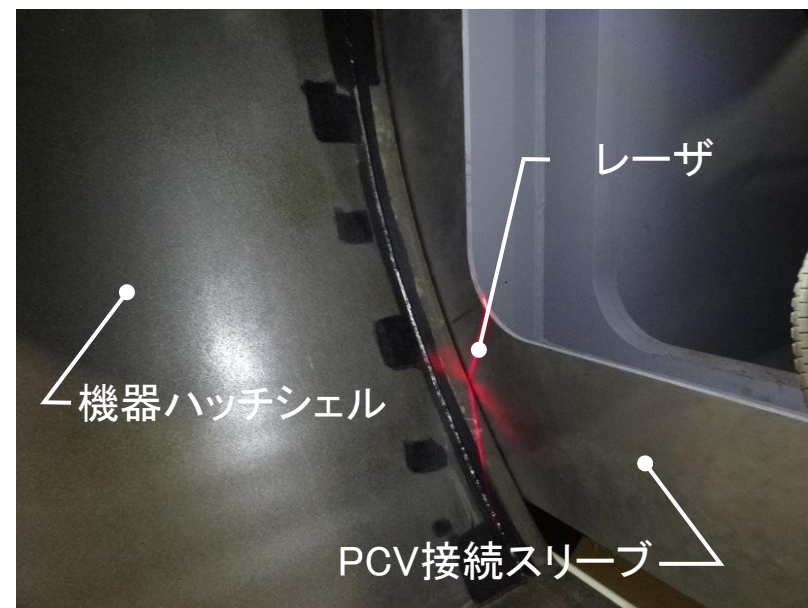
【各手順説明】最終目標まで約20mmまでの位置

計測E

機器ハッチシェル端面とPCV接続スリーブの隙間(ギャップ)を7点(0度、±30度、±60度、±120度)計測し、最終移動量を算出する。



計測位置-120度



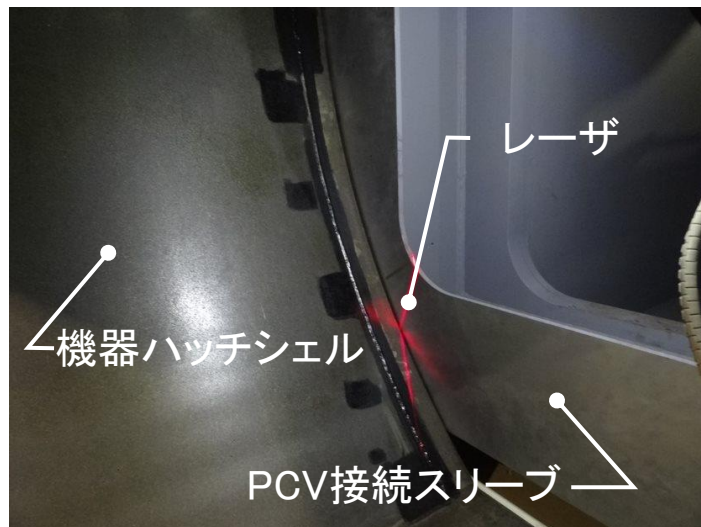
計測位置120度

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

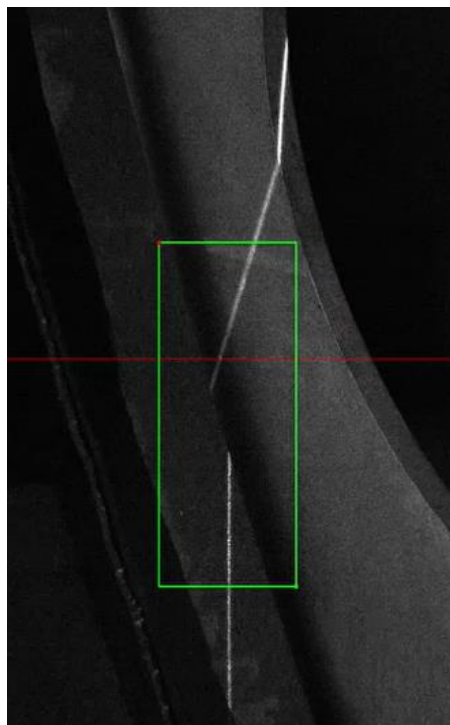
【各手順説明】最終目標まで約20mmまでの位置

計測E

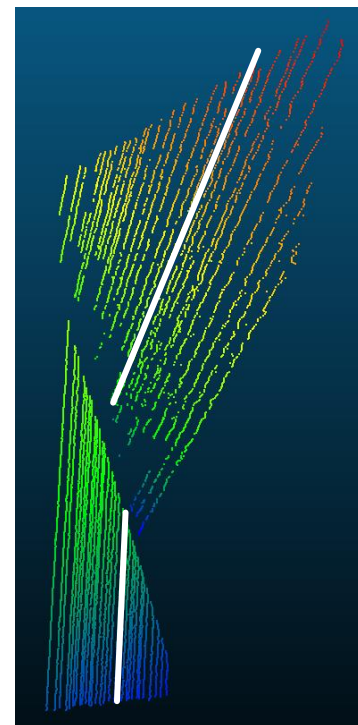
機器ハッチシェル端面とPCV接続スリーブの隙間(ギャップ)を7点(0度、±30度、±60度、±120度)計測し、最終移動量を算出する。



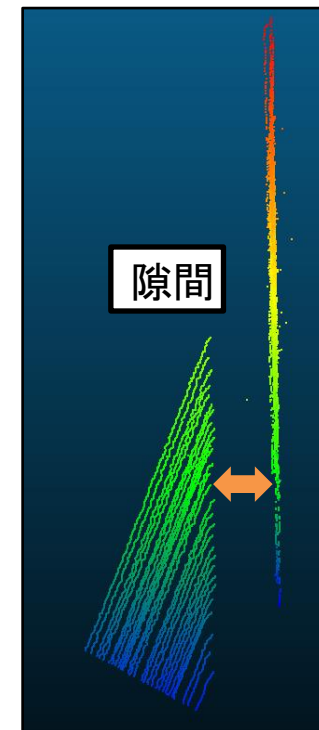
計測位置120度
(デジカメ画像)



計測位置120度
(3D計測カメラ画像)



点群データ
(画像と同一アングル)



点群データ
(隙間確認用)

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

No.194

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【各手順説明】

挿入3/
首振り

計測Eの結果を基に昇降、首振り、伸縮の順で装置を操作し、最終位置へ移動する。機器ハッチ端面からの停止距離を設定する。

計測Eの結果

機器ハッチシェル基準点とPCV
接続スリーブ基準点のずれ

最終の移動量を算出。

E.最終位置決め

計測点(度) 平均值 最小値 最大値 計測回数

間隔計測 -120 度 5.1 4.6 5.4 mm 7 回

リセット

平均 3.8 mm
最小 0.1 mm
最大 5.6 mm

回数	計測点(度)	平均(mm)	最小(mm)	最大(mm)
1	120.0	4.3	3.4	5.6
2	60.0	2.0	0.1	2.9
3	30.0	2.6	0.6	3.9
4	0.0	3.8	3.4	4.6
5	-30.0	4.2	3.1	5.4
6	-60.0	4.5	3.9	5.4
7	-120.0	5.1	4.6	5.4

円パラメータ計算 X 4.1 mm θ_y -0.03 θ_z -0.04 度 半径 1525 mm

操作量計算

左前(D)	右前(A)	スライド
263.8 mm	258.7 mm	1859.12 mm
左後(C)	右後(B)	首振り

停止距離 3 mm

243.3 mm 238.2 mm 0.48 度

削除

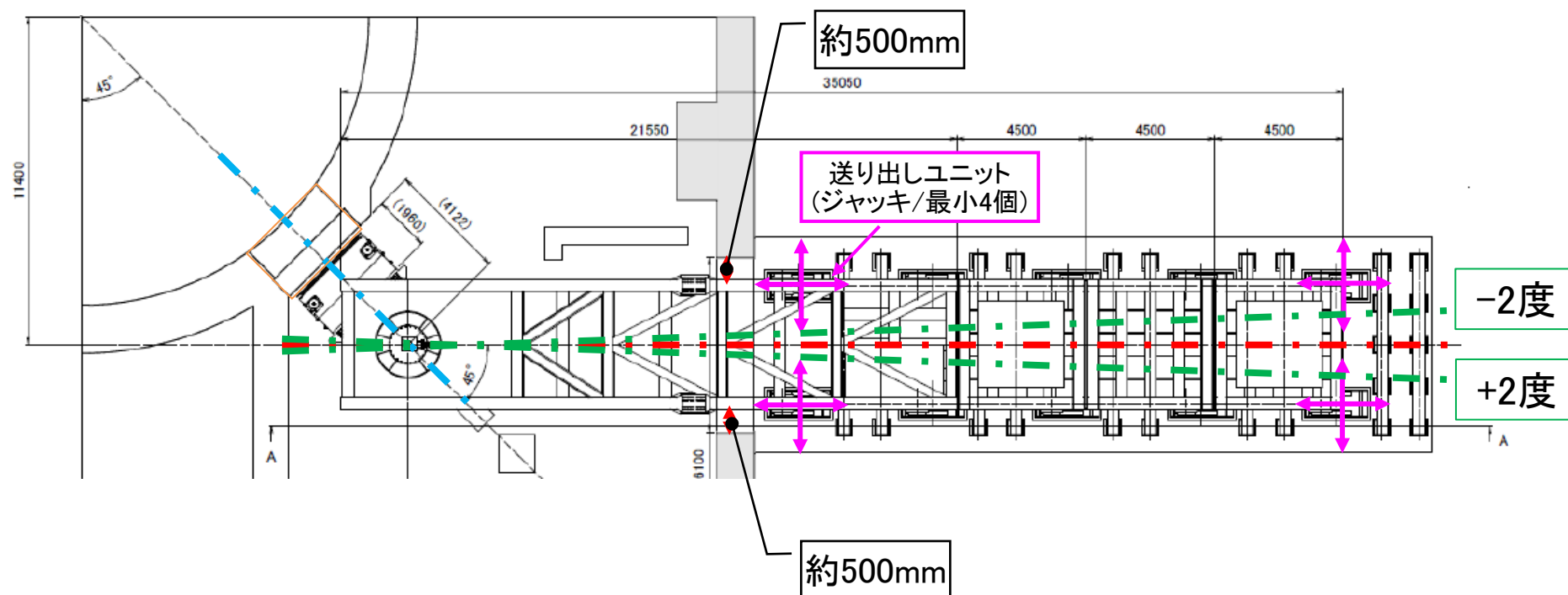
PLC転送

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験条件の選定①】

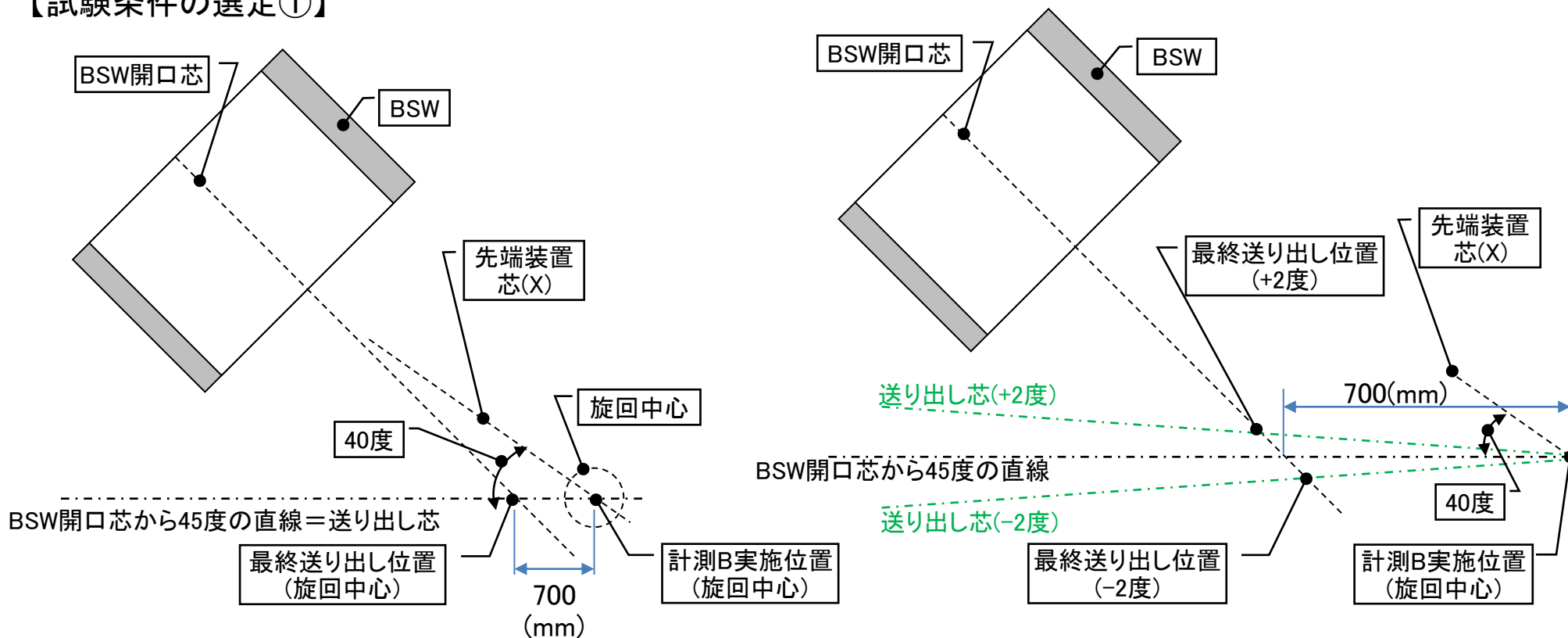
PCV接続スリーブ遠隔設置装置とR/B開口部のクリアランスは片側約600mmである。挿入角度が±2度ずれた場合、R/B開口付近では約500mmのずれが発生することから、±2度ずれた場合においても計測および計算できることを確認する試験を実施した。

なお、モックアップ装置は動かすことができない為、計測B時の巡回ユニットの角度を40度±2度とし試験を実施した。



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験条件の選定①】

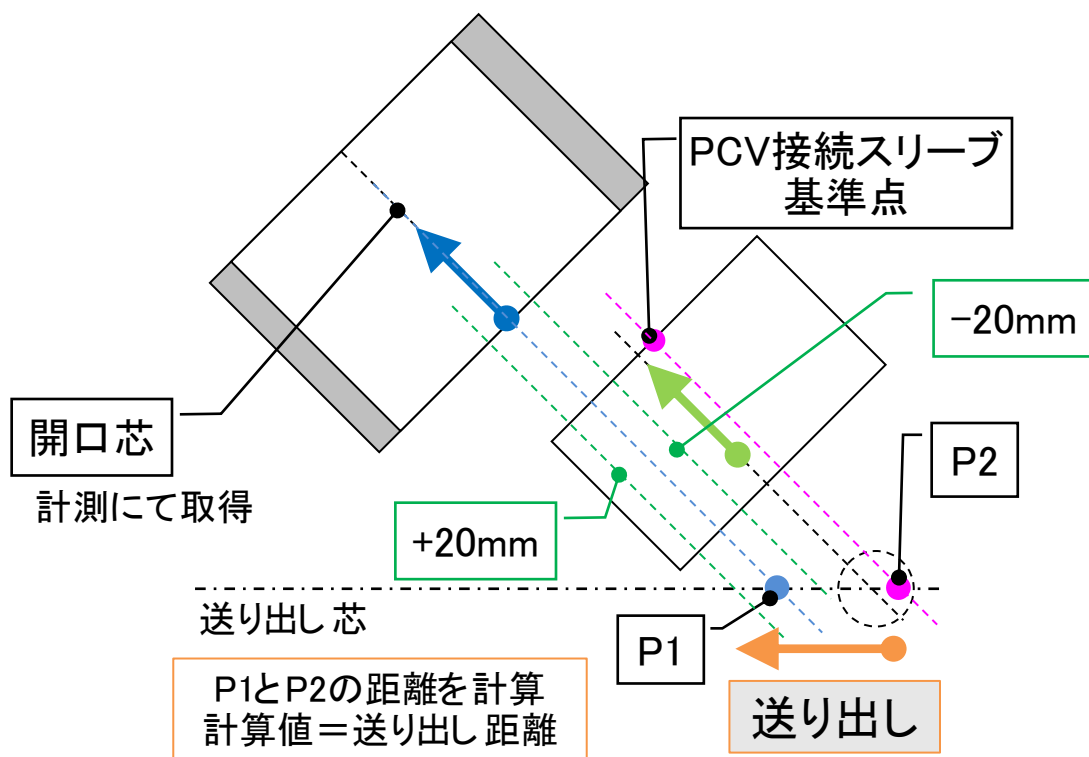


- 「BSW開口芯」と「BSW開口芯から45度の直線」との交点が図面における旋回中心の最終送り出し位置となる。
- 上記より700mm手前(R/B外側)位置が計測Bを実施する位置となる。
- 計測アームの可動範囲および計測可能範囲(計測レンジ)を考慮すると、計測B実施位置の直径100mm程度に旋回中心があれば計測Bは実施可能である。送り出しユニット(精度±20mm)にて調整可能。計測位置については必要に応じて事前にマーキングを施し、カメラにて確認する。
- 計測時、旋回角度は機械的に40度とする為、「BSW開口芯から45度の直線」と「送り出し芯」がずれている場合においても計測(計算)可能であることを確認した。

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験条件の選定②】

計測Bにより送り出し距離を算出し、送り出し装置にて移動を行う。送り出し装置の精度は±20mmであることから、計測Bにて算出した送り出し量±20mm模擬開口を移動する試験を実施した。



P1: 送り出し 芯と開口芯の交点
 P2: 送り出し 芯とPCV接続スリーブ基準点との交点

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【試験結果】

- 全ての条件において要求仕様である「隙間7.5mm以下」を満足する結果となった。
- 計測と実測の誤差は約±2mm以下である。計測値と実測の誤差が2mm以上となったのは、試験No.2,5の120度である。理由は次頁参照。

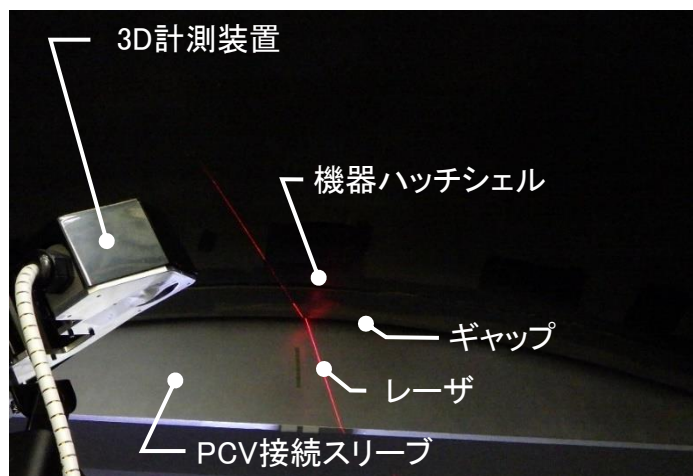
No.	試験条件	初期 旋回 (°)	計測B		実送 出量 (mm)	計測C1 (芯ずれ)		計測E(最終) (mm)							実測(最終) (mm)						
			旋回 角度 (°)	送 出量 (mm)		計測 (mm)	実測 (mm)	0°	30°	60°	120°	-30°	-60°	-120°	0°	30°	60°	120°	-30°	-60°	-120°
1	誤差なし	40	44.8	683.1	684	0.1	0.5	2.4	2	0.4	4.1	2.7	3.9	4.6	3	3	2	4	2	3	3
2	角度ずれ-2度	38	44.6	671.1	672	-2.3	-2	2.4	1.8	1.9	0.4	1.5	2.5	3.1	2	3	3	6	1	1	2
3	角度ずれ+2度	42	44.6	662.2	662	-1.5	-3	2.5	2.1	2	4.7	2.1	-	3.5	3	3	3	6	2	1	2
4	送り出し誤差+20mm	40	44.8	684.6	705	18	20	4.8	3.9	3	5	4.6	4.4	4.7	4	4	4	6	4	4	4
5	送り出し誤差-20mm	40	44.8	675	655	-20.2	-20	2	1.1	0.7	0.8	2.6	4.4	3.2	2	1	0	3	2	3	2

注記:着座前(BSW開口設置前)の計測結果

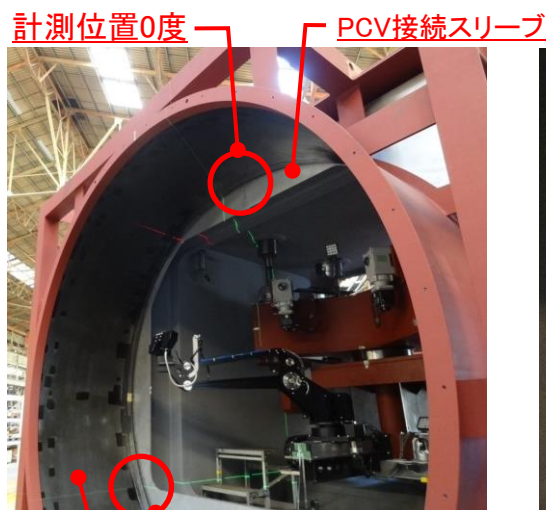
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置

【課題】計測精度

計測Eでは光切断法により点群データを取得し、ギャップの計測を行っている。レーザーはギャップに対して直角に当てることが望ましい。しかし、±120度の位置ではレーザーがギャップと平行に近い状態となる為、点群データの取得が難しい。その結果、精度が良くない場合が発生する。本事象は計測アーム(3D計測器の位置決め装置)の軸数を現在の5軸から6軸に増やすことで解決可能であり、実機においては要求仕様に応じて追加することを検討する。

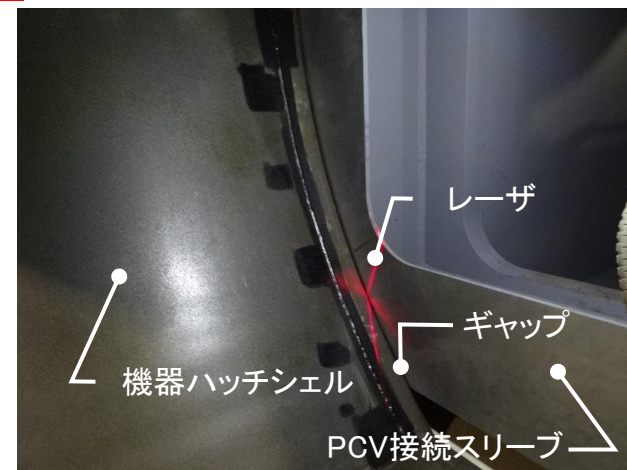


良い例:計測位置0度



PCV側からの写真

機器ハッチシェル 計測位置120度



計測位置120度

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

目次

(a)遠隔設置

- 要求事項
- 遠隔設置装置の選定
- 全体図、動作軸、概略設置ステップ
- 設置手順
- 模擬範囲
- モックアップ装置構造
- 実機との比較
- 試験計画、試験フロー
- 計測関連相関図
- 試験結果、課題

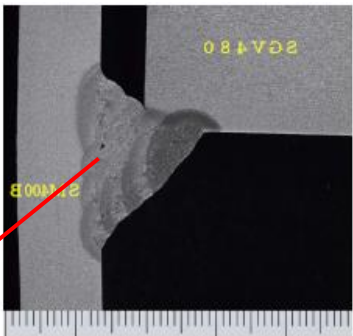
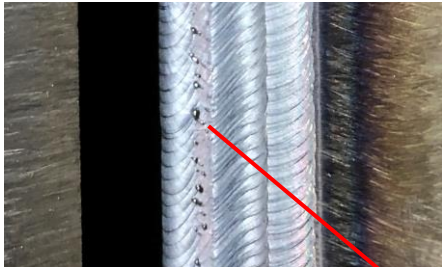
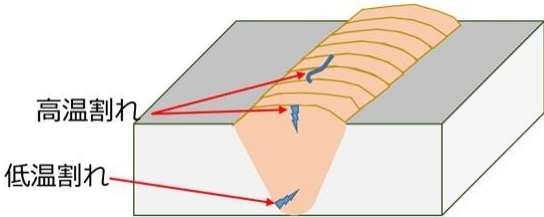
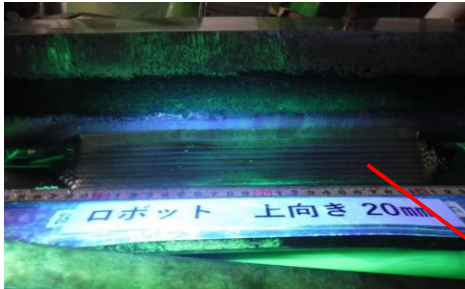
(b)溶接

- 試験計画、試験結果
 - 1)溶接試験
 - 2)研磨試験
 - 3)蛍光PT試験
 - 4)寸法測定
 - 5)低温割れ試験
- 試験結果まとめ

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

【2020年度までの成果】

2019-20年に実施した要素試験においては、20mm以下のギャップ溶接が可能であることを確認した。合わせて遠隔施工を考慮した課題の抽出も行った。

課題①融合不良	課題②酸化物の発生
<p>2019-2020年度補助事業の試験結果より</p>  <p>融合不良の例</p>	 <p>2019-2020年度補助事業の試験結果より</p> <p>酸化物</p>
課題③低温割れの懸念	課題④検査の遠隔手法の必要性
 <p>高温割れ</p> <p>低温割れ</p> <p>厚板の溶接(低温割れの懸念)</p>	 <p>2019-2020年度補助事業の試験結果より</p> <p>蛍光PT</p>

本課題の検討および実規模試験を実施し、遠隔施工性の確認を行う。

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

【2020年度までの成果】

No.	検討確認する由来 (2019-20年度補助事業で抽出された課題)	検討/確認項目	検討概要
①	融合不良	プロセス管理の具体化	実機は遠隔施工であり、カメラ視野も限られる。その為、トーチの狙い位置や角度等をモックアップにて確認しておく必要があり、何を確認するのか具体化を行う必要がある。
②	酸化物の発生	小型溶接ヘッドの検討 (シールド性の向上)	条件出し試験においては酸化物の発生は見られなかった。ガスノズルの最適化により、酸化物の発生を抑え研磨の回数を極力減らす必要がある。
③-1	低温割れの懸念	低温割れ試験の検討	試験(T字継手など)の実施により予熱無しにおける低温割れ防止の検証方法や溶接方法の検討を実施する。
③-2	低温割れの懸念	予熱方法	機器ハッチの予熱方法(部分および全体)の検討を実施する。 (③-1で実施できる場合はこの限りではない)
④	検査の遠隔手法の必要性	蛍光PT以外の検査方法の検討	遠隔で実施可能な方検査法について引き続き検討を行う。
⑤	立向下進溶接 (課題ではないが試験結果を受けて検討が必要な項目)	溶接の手順等の詳細 (仮止めや溶接の順番)	2019-20年度補助事業において立向下進は立向上進で代替できる為、ギャップ7.5mmまでの溶接条件の確認とした。しかし、溶接の手順によっては立向下進で実施した方が作業性等が良い場合も考えられる。まずは、手順等を検討することにより、立向下進の必要性を明らかにする。
⑥	疑似欠陥の発生 (課題ではないが試験結果を受けて検討が必要な項目)	選定した研磨材の実環境適用性	本補助事業において取得したデータを基に、実環境における適用性を検討・評価する必要がある。

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

【課題および検討が必要な項目】

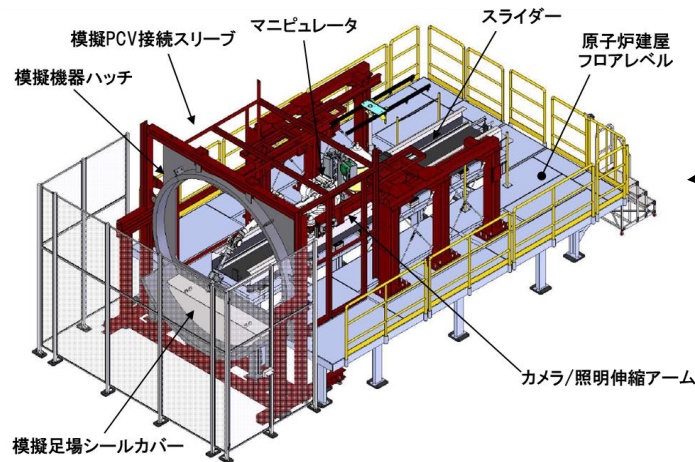
ステップ	項目	課題および検討が必要な項目	検討	試験/確認
1	事前準備	後工程(溶接)を考慮した足場の撤去方法	—	—
		錆取り(ブラスト)装置の検討	—※	—
		足場シールカバー設置装置の検討	—※	—
2	溶接	(1)プロセス管理の具体化	○	○
		(2)シールド性の向上および小型化	○	○
		(3)予熱方法および施工法の検討	○	○
		(4)溶接手順の検討(不均一ギャップの積層手順など)	○	○
3	研磨	研磨装置の検討および磨き要領の検討	○	○
4	検査	(1)蛍光PT装置の検討および検査条件の検討(蛍光液の噴射圧など)	○	○
		(2)蛍光PT以外の検査方法の検討(必要な検査の整理含む)	○	○
		(3)寸法測定の精度の確認(ロボットのタッチセンサーによる)	○	○
5	補修	補修装置および方法の検討	—※	—
6	耐圧試験	耐圧試験方法の検討(アクセストンネル本体接続後)	—	—

注)「—」については実機エンジニアリングにて実施
 ※2020年度までに検討を実施。

21-22年度は、20年度までに抽出した課題に対して赤枠で示す溶接、研磨、検査の試験を立案し、試験を実施

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

実規模の機器ハッチシェル模擬体およびパワーマニピュレータ(ロボット)を用いて溶接の一連の手順を確認する。



試験設備

確認内容	確認項目	監視・測定記録項目	判定基準
溶接試験	<ul style="list-style-type: none"> 不均一ギャップ溶接の確立 溶接変形(ひずみ)の確認 遠隔における作業性の確認 	<ol style="list-style-type: none"> 溶接条件などプロセス管理項目 溶接変形量 非破壊試験結果(染色PT、VT) 	<ul style="list-style-type: none"> 健全な溶接部であること 非破壊試験に合格すること 必要のど厚を確保すること
研磨試験	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔による研磨作業の確認 	<ol style="list-style-type: none"> 研磨ツールの選定 研磨要領 	<ul style="list-style-type: none"> 蛍光PTに支障のない磨きができること
蛍光PT試験	<ul style="list-style-type: none"> 実機適用性の確認 	<ol style="list-style-type: none"> 浸透液の吹付条件 余剰液洗浄条件 インディケーションの判別 	<ul style="list-style-type: none"> 欠陥の検出が可能なこと 遠隔作業が可能なこと
寸法測定	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔での寸法測定要領の確認 	<ol style="list-style-type: none"> 寸法測定要領 断面観察 	<ul style="list-style-type: none"> 寸法測定精度の把握

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

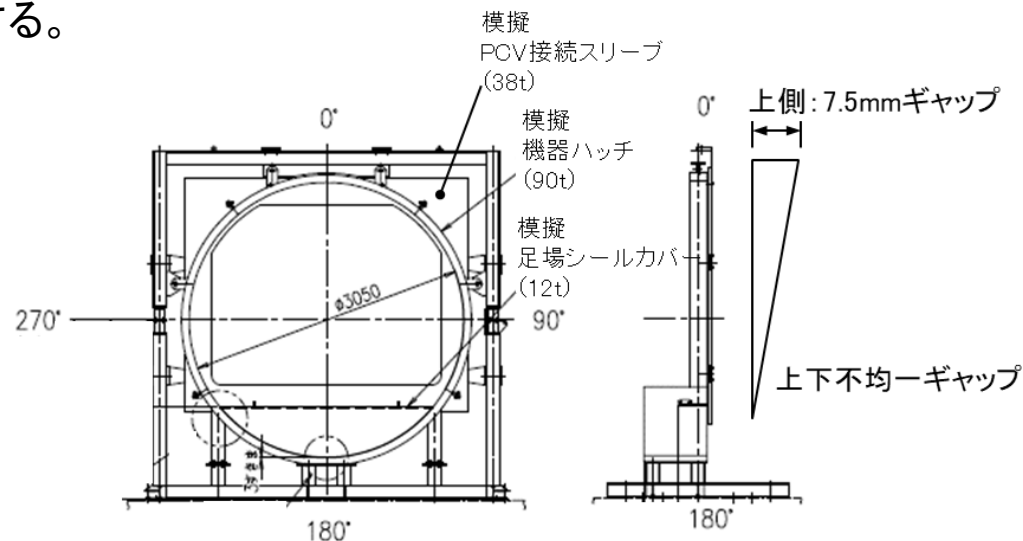
1) 溶接試験

確認項目	監視・測定記録項目	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> 不均一ギャップ 溶接の確立 溶接変形(ひずみ)の確認 遠隔における作業性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ①非破壊試験結果(染色PT、VT) ②寸法測定結果(必要のど厚) ③溶接変形量 ④溶接条件などプロセス管理項目 	<ul style="list-style-type: none"> ✓健全な溶接部であること ・非破壊試験に合格すること ・必要のど厚を確保すること

・遠隔MU試験での溶接はカメラ画像により操作する。



【組合せ試験】



【遠隔MU試験体】

試験	ギャップ	材質	目的
組合せ試験	7.5mm均等	SS400	遠隔施工管理項目の抽出
遠隔MU試験	7.5mm上下不均一	SGV480/SM400B	一連の溶接手順の確認

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

① 不均一ギャップ溶接の確立

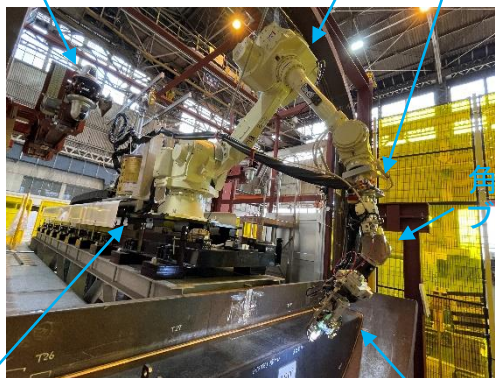
○ 溶接設備

溶接材料(TG-S50)



スライダー後方

伸縮俯瞰カメラ
(両サイド配置2台×2)
ストローク:1760mm



スライダー前方

スライダー
ストローク:3820mm
最大可搬質量:1200kg

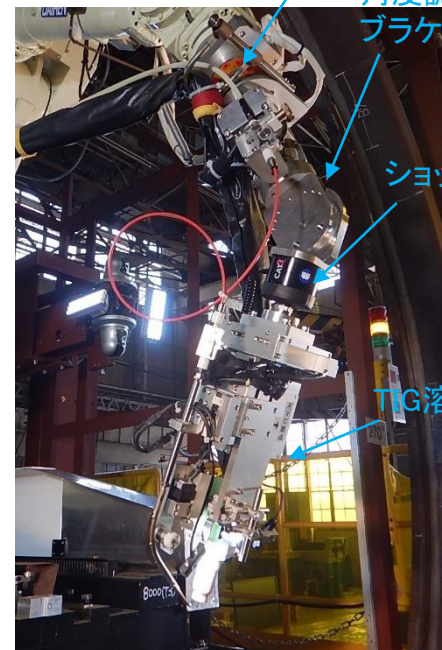
マニピュレータ(6軸)
本体質量:640kg
可搬能力:50kg

ツールチェンジャー

ツールチェンジャー
角度調整用
ブラケット

角度調整用
ブラケット

TIG溶接ヘッド



ショックセンサ

TIG溶接ヘッド

TIG溶接ヘッド
AVC、OSC機構付き



俯瞰カメラ
ロボット

溶接電源

研磨装置

オービマTIG500 II
AVC、OSC装備



溶接操作リモコン

制御装置(ロボット、研磨装置、俯瞰カメラ)&溶接電源

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

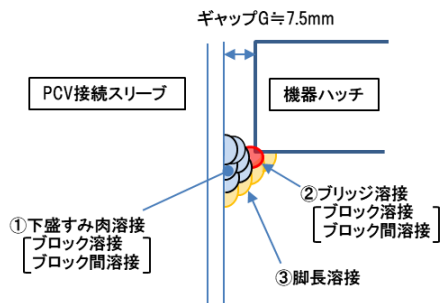
1) 溶接試験

① 不均一ギャップ溶接の確立

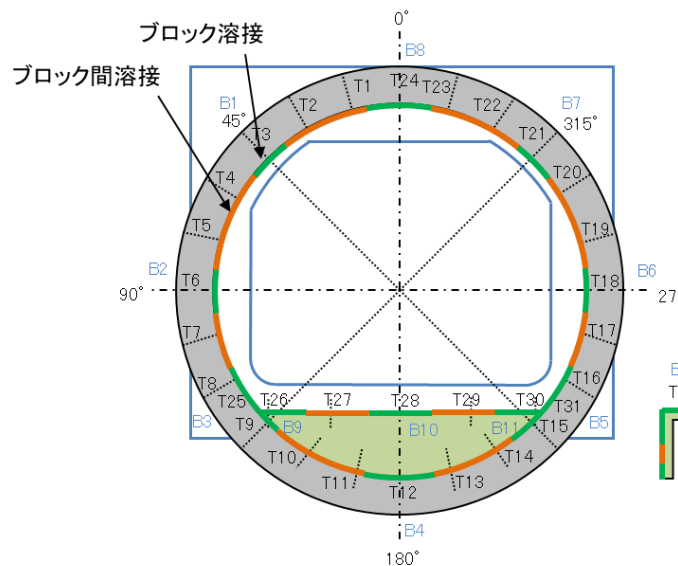
○ 溶接手順



1. ギャップ測定
2. ギャップ2mm以下を仮付け溶接
3. 溶接は周方向分割*で施工 * : ブロック溶接 (下盛すみ肉溶接～ブリッジ溶接まで)
4. ブロック間を溶接 (下盛すみ肉溶接～ブリッジ溶接まで) (全周シール溶接完了)
5. 脚長溶接 (必要な「のど厚(4.3mm)」になるまで溶接)



ギャップ有りでの積層



- T*: 仮付け溶接計画位置
 B*: ブロック溶接計画位置
 Tは15° ピッチ、Bは45° ピッチ
- ブロック溶接手順
 B3→B5→ B8→B4→B10→B11
 →B9→B6→B7→B2→B1
- ブロック間溶接手順
 B4～B3→B10～B9→B11～B10
 →B2～B1→B4～B5→B6～B7
 →B7～B8→B11～B6→B1～B8
 →B9～B2

下盛すみ肉及びブリッジ溶接の分割位置

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

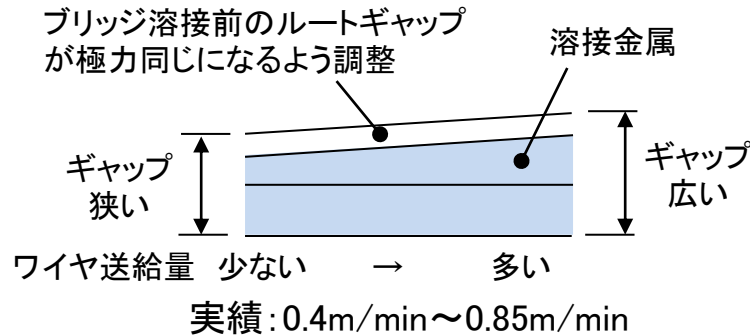
① 不均一ギャップ溶接の確立

○ 溶接条件

- ① 溶接方法は非破壊検査を考慮して比較的ビードが綺麗なTIG溶接とする
- ② 溶接は仮付け溶接含め基本溶接条件で施工
- ③ 不均一ギャップ間(ギャップの変化)に対してはワイヤ送給量を変えて溶着量を調整
- ④ ブロック溶接のパス数は、ギャップが一番大きな箇所のパス数に合わせ、溶接箇所(方位)によってギャップが異なっても、ブロック溶接のパス数は変えない(ブロック間溶接考慮)

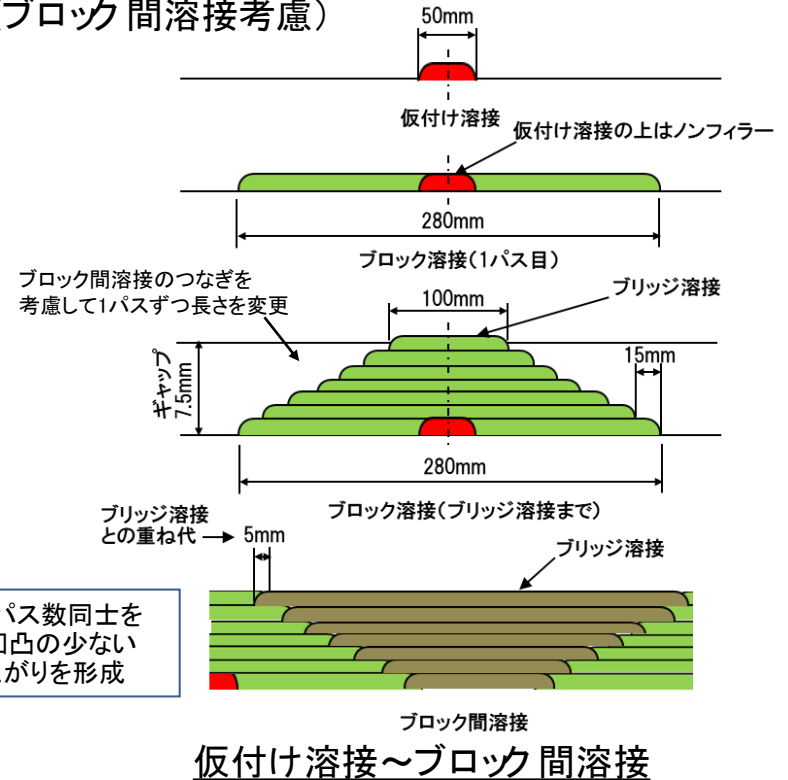
基本溶接条件

電流 P(A)	電流 B(A)	電圧 (V)	ワイヤ送給 (m/min)	溶接速度 (mm/min)
200	160	11	0.85	80



不均一ギャップ間の溶接イメージ図

ブロック溶接の同じパス数同士をつなぐことによって凹凸の少ないなだらかな溶接仕上がりを形成



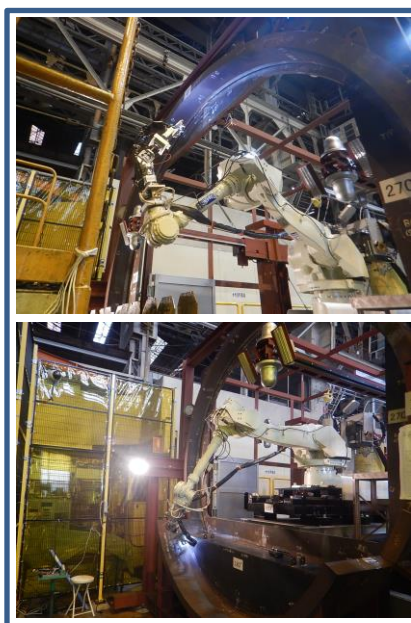
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

① 不均一ギャップ溶接の確立

○ 試験結果

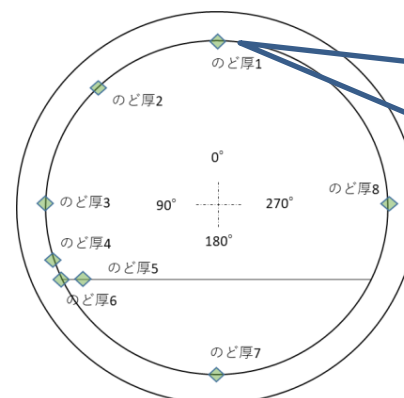
判定基準	試験結果
✓ 健全な溶接部であること ① 非破壊試験に合格すること ② 必要のど厚を確保すること	不均一ギャップに対し、マニピュレータによる遠隔溶接を行い、健全な溶接部であることを確認した ① 全周溶接後、染色PTを行い、欠陥は認められず ② 断面マクロ観察により、のど厚(4.3mm以上)を確保した



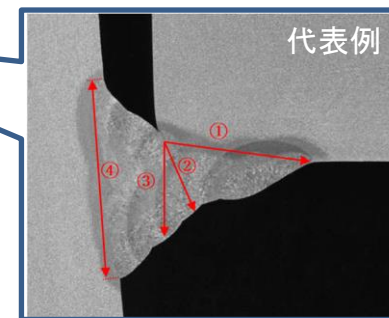
マニピュレータによる
遠隔溶接状況



① 全周溶接後の染色PT



のど厚測定箇所



断面マクロ観察による寸法確認

測定箇所	1	2	3	4	5	6	7	8
測定値 (mm)	7.3	10.8	11.5	9.4	8.1	8.2	8.1	11.1

② 断面マクロ観察によるのど厚測定結果(判定: $\geq 4.3\text{mm}$)

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

② 溶接変形(ひずみ)の確認

溶接中および全層溶接後に溶接変形量を測定し、変位量を確認

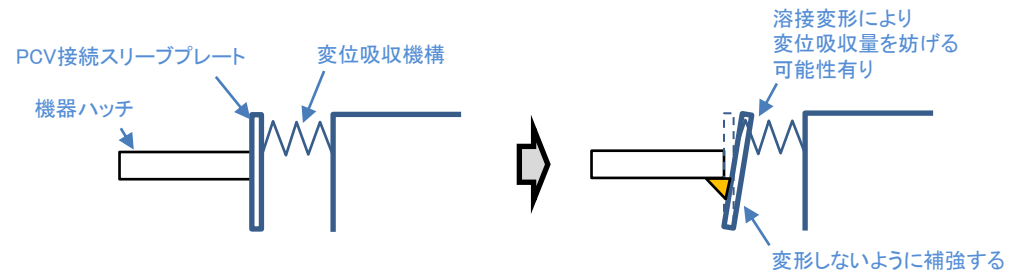
<変位量測定結果>

1. 溶接中はブリッジ溶接でギャップが変化し、脚長溶接でPCV接続スリーブプレートの変形が大きくなる傾向
2. 機器ハッチより内側は「-」側(機器ハッチ側)に変形しており、最大で約14mm変形。
(測定点はPCV接続スリーブプレート開口から10mmの位置)
3. 機器ハッチより外側は「+」側(アクセストンネル側)に変形しており、最大で約36mm変形。
(測定点はPCV接続スリーブプレート端部から20mmの位置)

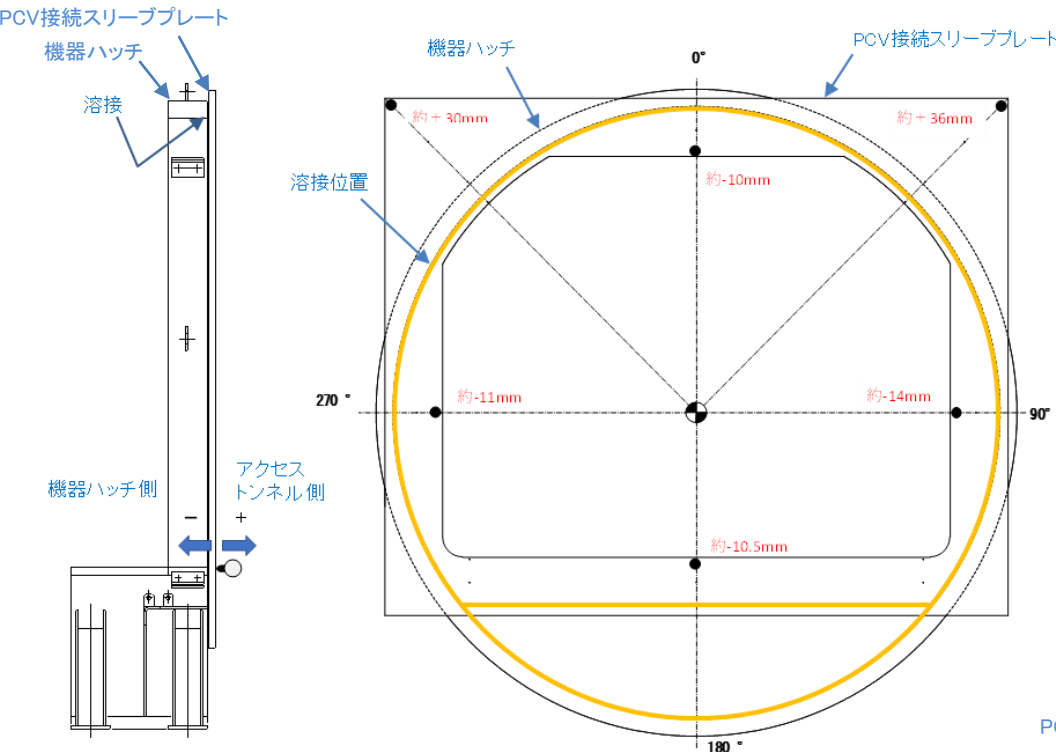


<実機への反映事項>

- ・溶接中にブリッジ溶接でギャップが変化しており、ブロック間溶接前にギャップを確認し、溶接プログラムを補正する
⇒ 施工ステップへ反映する
- ・変位吸収機構の機能を損なわないよう、試験で得られた変位量をPCV接続スリーブの設計に反映し、補強などを検討する



溶接後の変位量測定結果(代表箇所)



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

③ 遠隔作業性の確認

No.	確認内容／改善内容	実機工事に向けての対応案	改善項目
1	溶接は溶接ヘッドのカメラにより遠隔操作が可能であった(進行方向に対し前後2台)	更なる改善としてカメラの数を増やすなど視認性の向上を検討する。	視認性①
2	溶接の軌道をティーチングする必要があるが、カメラの映像だけでダイレクトティーチング(教示点に対して、アームの姿勢を決めて直接タッチ)することは困難であり、ダイレクトティーチングは作業者の目で確認しながら行った	オフラインプログラムを活用する。 オフラインプログラムとは・・・パソコン上で溶接軌道およびマニピュレータの作業姿勢を作製し、マニピュレータにインストールしておく。 インストールしたプログラムと実物に差がある場合には、溶接ヘッドのカメラで遠隔で補正する。	操作性①
3	溶接に市販の多層盛りプログラムを使用。溶接パス毎に最初のパスからの長さ変更を指定できるが、変更の上限(99.9mm)があり、上限を超える場合は、プログラムの追加が必要であった。	長さ変更の上限を超えても、上限を超える前のビード長さをベースにプログラムを追加すれば対応は可能であるが、長さ制限のない多層盛りプログラムを開発し、作業効率の向上を図る。	操作性②
4	溶接ヘッドによるギャップ測定が可能であった。(オシレーション使用)	施工手順へ反映する。さらに精度をよくなる為に、溶接ヘッドへのタッチセンサーの導入を検討する。	操作性③
5	不均一ギャップ間は、作業者がカメラで確認しながらワイヤ送給量を調整することで溶接が可能であった。	更なる改善として、アップスロープ、ダウンスロープ機能を導入して、ワイヤ調整のタイミングを数値管理することも検討する。	操作性④
6	俯瞰カメラがマニピュレータの両側配置であった為、マニピュレータの背後からの映像となり、作業監視中に死角が生じた	俯瞰カメラの配置および必要な数を調整する。 (機器ハッチ側からの映像取得)	視認性②
7	俯瞰カメラだけでは、どの位置でビードの状態が悪かったかなど、正確な作業位置(正確な方位や距離)を把握できなかった	既存機器ハッチに目印をつけることは困難な為、新しく準備するPCV接続スリーブに目印を付けるなどして、カメラ(目視)にて位置情報を取得できる工夫が必要。また、俯瞰カメラにエンコーダをつけて、映像場所の位置情報が取得できるようにする。	操作性⑤
8	タングステンの交換が必要であった(作業者の手作業で交換)。	タングステン交換装置を準備する。溶接ヘッドは遠隔交換に対応するよう改造する。	設備①
9	溶接ヘッドの向きを変える(右回りから左回りの)ときや溶接ヘッドを収納した後の溶接では、溶接材料(ワイヤ)がトーチの狙い位置から外れる可能性があった	溶接ヘッドのワイヤ固定方法を変更(調整)、ワイヤ供給ルートの改善を図る。	設備②

視認性:2件/操作性:5件/設備:2件の改善項目を確認

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

1) 溶接試験

まとめ

No.	成果
1	7.5mm不均一ギャップの遠隔溶接を行い、健全な溶接を施工することができ、施工手順や溶接条件、積層方法など、必要な施工管理項目を確認することができた。
2	溶接によるPCV接続スリーブの変形傾向を把握することができた。
3	遠隔作業性を確認し、実機工事に向けた課題を抽出することができた。



7.5mmギャップまでは本試験で得られた施工管理で溶接は可能と考える。但し、20mmギャップについては積層方法や溶接条件の見直しが必要になる可能性があると考えます。

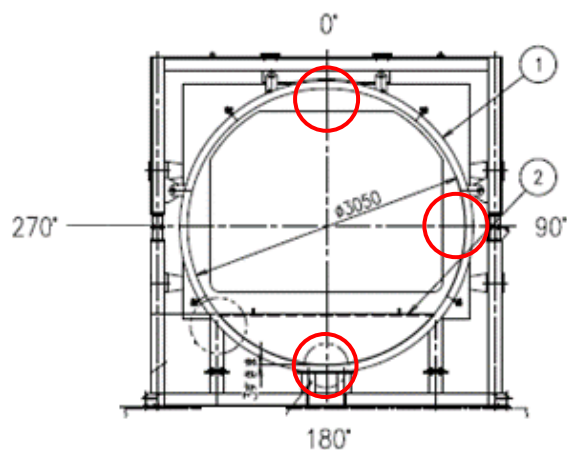
実機工事実現に向けて・・・

No.	課題	対応	対応期限
1	溶接による変形傾向をPCV接続スリーブの設計にフィードバックし、変位吸収機構に影響しない構造とする(必要に応じてリブなどの変形防止を導入する)。	検討	実機工事まで
2	遠隔作業性の確認で抽出した課題を解決する(遠隔に適した設備を準備する)。	検討	実機工事まで

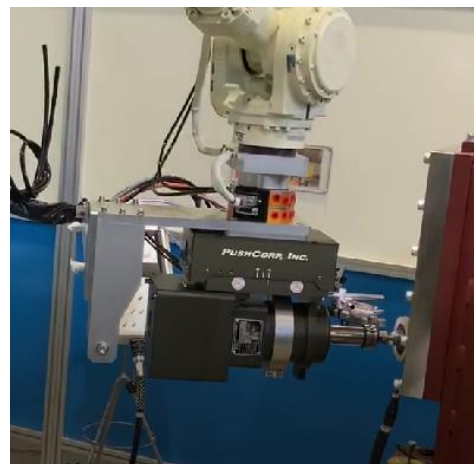
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

2) 研磨試験

確認項目	監視・測定記録項目	判定基準
・遠隔による研磨作業の確認	①研磨ツールの選定 ②研磨要領	✓ 蛍光PTに支障のない磨きができること



研磨作業確認箇所
代表姿勢
(下向き、横向き、上向き)
で確認する
(赤丸で囲う位置)

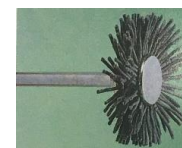


研磨作業の確認
・研磨姿勢
・回転数
・押付け力
・進行速度



磨き残しによる疑似欠陥の例

< 蛍光PTの結果が良好であった研磨ツール >



日本ユニット
ダイヤモンド
ナイロンブラシ



日本ユニット
金属ブラシ
(アザミ型)



3M
ラジアルブリッスル
マーガレットディスク

実機形状に適した研磨ツールの選定

溶接部へのアプローチを考慮し、2020年度に
選定した研磨ツールまたはアプローチに適した
ツールを選定する

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

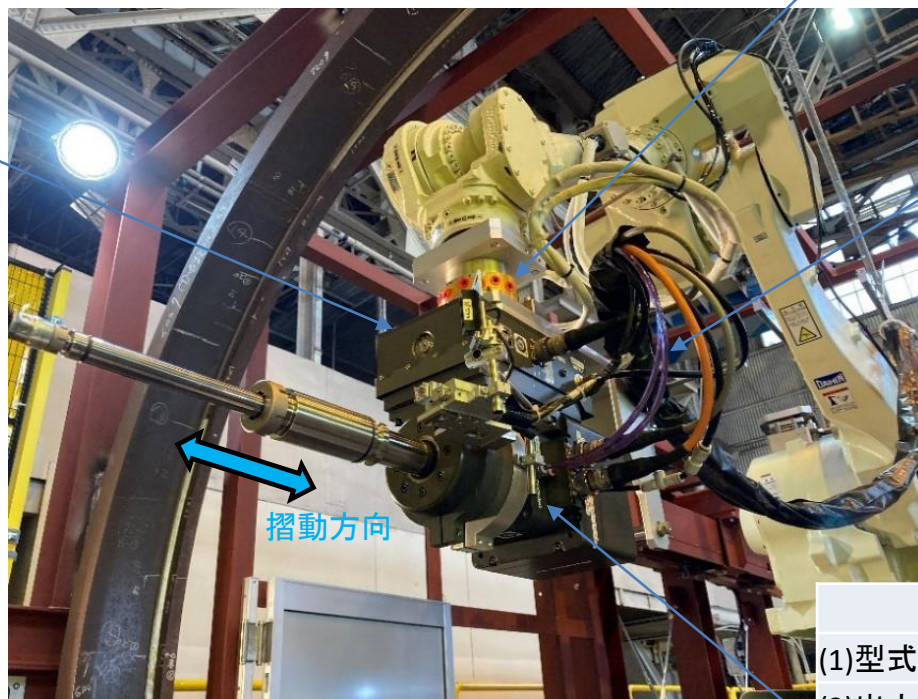
2) 研磨試験

○ 研磨ヘッド

アクティブコンプライアンス装置

(1)型式	: AFD310-2
(2)出力	: 267N(MAX.)
(3)最大積載荷重	: 27.2kg
(4)摺動ストローク	: 20mm
(5)質量	: 5.5kg

水冷スピンドルモータを支持するとともに反力を検知し反力の大きさが一定になるようにスピンドルモータを自動でスライドさせる。
これによりマニピュレータの過負荷を防止する。



研磨ヘッド(Push Corp社製 反力緩衝装置)

水冷スピンドルモータ

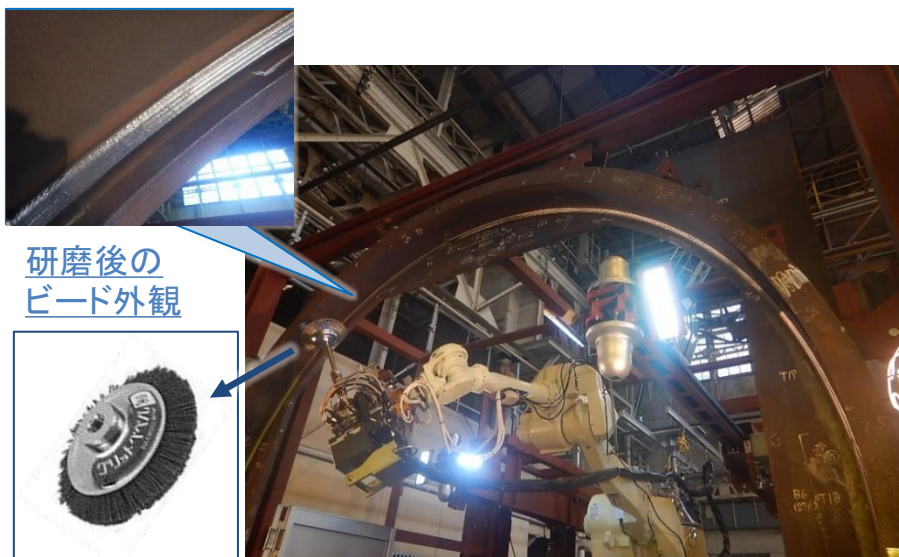
(1)型式	: STC1503-B T 30
(2)出力	: 2.2 kW
(3)トルク	: 3.5N・m
(4)回転数	: 60~15000rpm
(5)質量	: 12.7kg

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

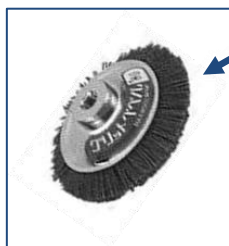
2) 研磨試験

○試験結果

判定基準	試験結果
✓ 蛍光PTに支障のない磨きができること	マニピュレータにより、蛍光PTに支障ない磨きができることを確認した



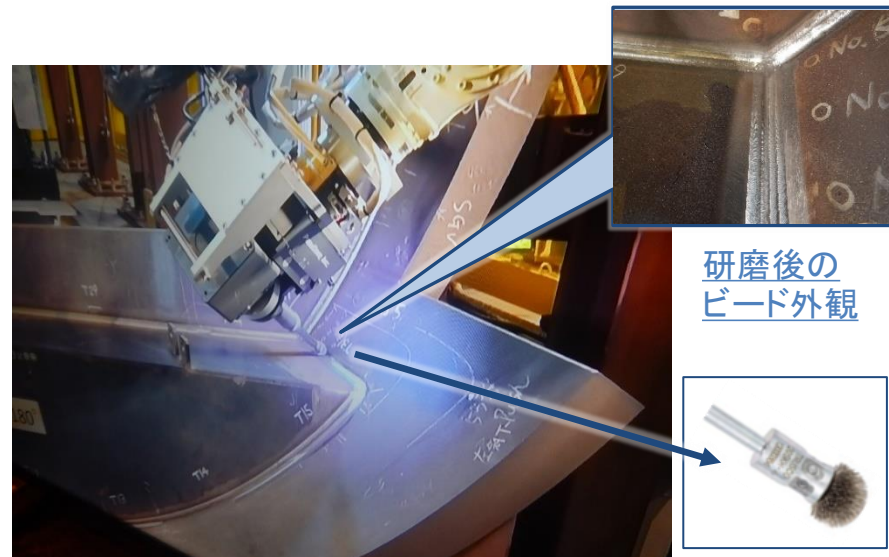
研磨後の
ビード外観



ベベルブラシ

・外径: φ200/線径0.3mm

研磨状況①



研磨後の
ビード外観



金属ブラシ

・外径: φ30/線径:0.3mm

研磨状況②

< 研磨条件 >

研磨条件	回転数 (rpm)	送り速度	押付け力	アクセス範囲
ベベルブラシ	500	100mm/min	20N	足場シールカバーサイドを除く範囲
金属ブラシ	2000	100mm/min	20N	全周研磨可能

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

2) 研磨試験

まとめ

No.	成果
1	研磨ツールを選定し、ツールごとの研磨条件を確認し、溶接部全ての範囲を研磨することができることを確認した。また、研磨後の仕上がりは、蛍光PTに支障ないことが確認できた。



研磨ツールは2種類選定したが、金属ブラシは消耗が大きく、交換が頻繁に必要な為、実機工事ではベベルブラシをベースにベベルブラシで研磨できない範囲を金属ブラシで対応する。

実機工事実現に向けて・・・

No.	課題	対応	対応期限
1	作業時の視認性の確保。ツール先端が確認できるカメラの適切な位置への配置と俯瞰カメラの配置検討が必要。	検討	実機工事まで
2	先端が柔らかい研磨ツールに対して、オフラインプログラムの適用が可能か確認が必要(研磨作業ステップの構築)。	検討	実機工事まで
3	研磨ツールの自動交換設備の導入。	検討	実機工事まで
4	研磨時に発生する磨き粉に対する養生と回収	検討	実機工事まで

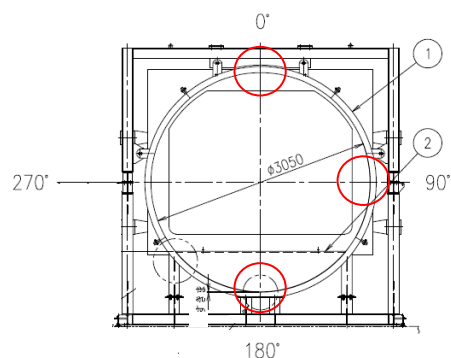
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

3) 蛍光PT試験

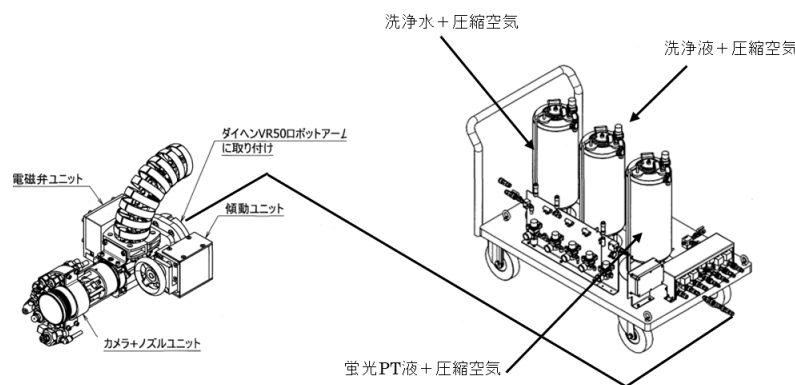
確認項目	監視・測定記録項目	判定基準
・実機適用性の確認	①浸透液の吹付条件 (圧力、距離、吹付時間) ②余剰液洗浄条件 (圧力、距離、吹付時間) ③インディケーションの判別	✓欠陥の検出が可能なこと (テストピースを用いて実施※) ✓遠隔作業が可能なこと (実規模試験にて実施)

- ・浸透液、洗浄水はスプレーにより吹き付け
- ・浸透液、洗浄水吹付時の被検物との距離、吹付時間をパラスタして、試験条件を確認
- ・確認した試験条件で実規模大試験体の蛍光PT状況を確認する(確認は代表姿勢)

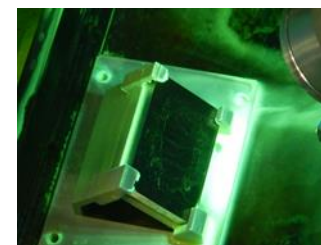
※実規模試験の染色PTにて欠陥を検出した場合には、蛍光PTにて同様の欠陥の検出ができるか確認する。



蛍光PT確認箇所
(赤色で囲う位置)



検査装置



条件だし試験

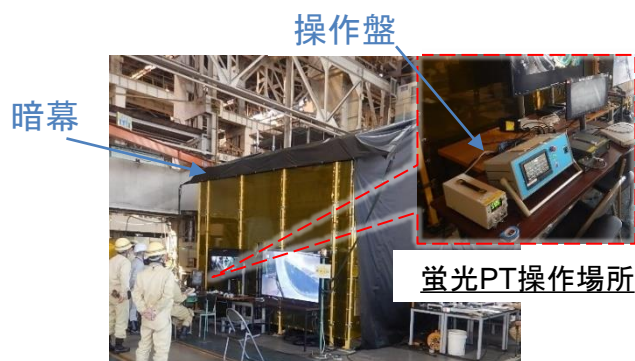
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

3) 蛍光PT試験

○試験結果

判定基準	試験結果
✓ 欠陥の検出が可能なこと (テストピースを用いて実施) ✓ 遠隔作業が可能なこと	・欠陥検出が可能な条件をテストピースを用いて確認 ・マニピュレータを遠隔操作し、蛍光PTでの観察可能であることを確認した

○蛍光PTの手順



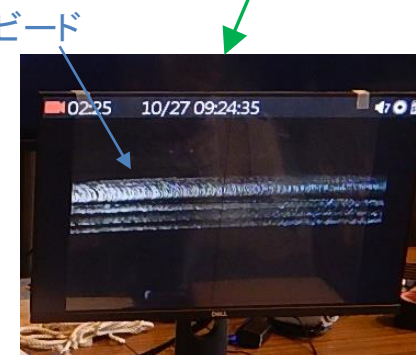
試験設備外観



蛍光浸透液吹付状況



余剰液除去 (UV照射)



観察 (蛍光PTヘッドのカメラ画像)

< 主な施工条件 (条件だし試験結果より設定した条件) >

作業項目	洗浄	乾燥エア一	浸透液吹付	余剰液除去	乾燥エア一	観察
施工条件	移動: 30mmピッチ 噴射圧力: 0.2MPa 吹付時間: 0.3s/回	移動速度: 10mm/s 噴射圧力: 0.1MPa	移動: 30mmピッチ 噴射圧力: 0.2MPa 吹付時間: 0.3s/回	移動速度: 10mm/s 噴射圧力: 0.25MPa	移動速度: 10mm/s 噴射圧力: 0.1MPa	移動: 30mmピッチ 観察: 30s/1カ所

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

3) 蛍光PT試験

まとめ

No.	成果
1	欠陥検出可能な条件を確認することができた。
2	マニピュレータを遠隔操作し、代表姿勢での蛍光PTが観察できることが確認できた。



マニピュレータによる遠隔作業が可能なこと、蛍光PTの施工条件は確認できたが、溶接部の検査については、廃液を出さないVTのみでの適用なども含めて、シール溶接に対する安全要求が決定した段階で合理的な選択肢を検討する。

蛍光PTを実機に採用するにあたり・・・

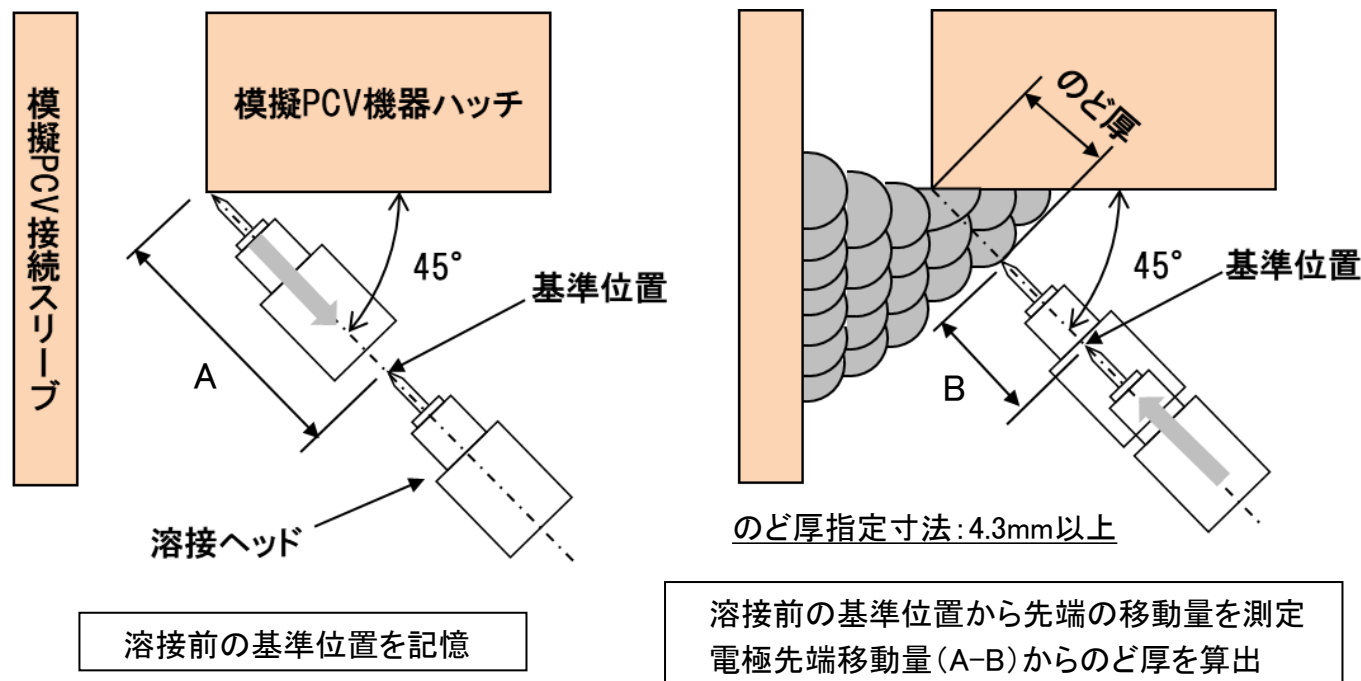
No.	課題	対応	対応期限
1	使用する廃液処理の方法を含む、施工手順の確立(検査手順の構築)。	検討	実機工事まで
2	実機施工用の検査ヘッドの開発(試験ヘッドの改良)。	開発	実機工事まで
3	指示模様の大きさの判断(合否判定)方法と検出された場所の特定、記録。	検討	実機工事まで
4	蛍光PT後の錆び発生防止(防錆剤入り洗浄水の効果確認)	検討	実機工事まで

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

4) 寸法測定

確認項目	監視・測定記録項目	判定基準
・遠隔での寸法測定要領の確認	・寸法測定要領 ・断面観察	✓寸法測定精度を把握すること

- ・溶接ヘッドの電極タッチにより「のど厚」の寸法を測定する
- ・溶接後、断面観察を行い、電極タッチの寸法測定精度を確認する

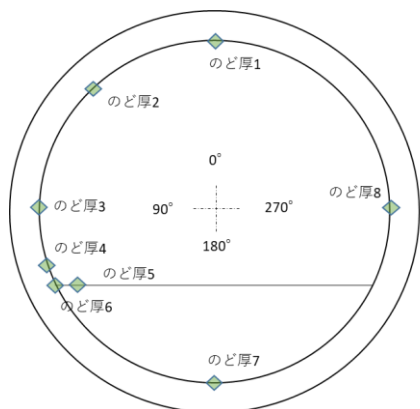


② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

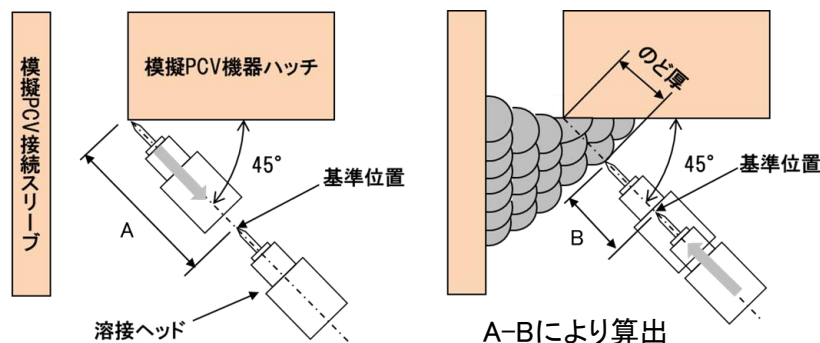
4) 寸法測定

○ 試験結果

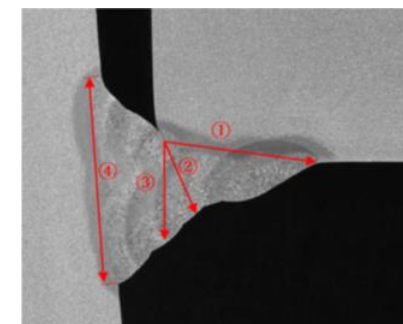
判定基準	試験結果
✓ 寸法測定精度を把握すること	<ul style="list-style-type: none"> ・誤差は-2.0～1.3。溶接ヘッドの方がほぼ過小評価であるが、断面マクロでは溶け込みが含まれている為、ほぼ同等の値と考える。 ・のど厚4については、溶接ヘッドでの測定姿勢が機器ハッチの中心方向からではなかった為、測定の誤差が大きくなったものとする。



測定箇所



溶接ヘッドのストロークによる測定



断面マクロにて測定

< 溶接ヘッドと断面観察での寸法測定結果の比較 >

単位: mm

測定箇所	1	2	3	4	5	6	7	8
溶接ヘッド	6.2	8.8	11.3	10.7	8.1	8.4	7.2	10
断面観察	7.3	10.8	11.5	9.4	8.1	8.2	8.1	11.1
誤差	-0.9	-2.0	-0.2	1.3	0	0.2	-0.9	-1.1

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

4) 寸法測定

まとめ

No.	成果
1	溶接ヘッドを使用したすみ肉溶接ののど厚測定精度を確認することができた。



今回の積層手順で施工すれば、のど厚は指定寸法よりも大きく製作される為、測定姿勢の管理をすれば、実機でも溶接ヘッドを使ったのど厚の管理(Min寸法判定)は可能と考える。

実機工事実現に向けて・・・

No.	課題	対応	対応期限
1	測定姿勢の管理(特に溶接姿勢が溶接に対して垂直な姿勢でない場合)。	検討	実機工事まで
2	タングステン交換装置の導入(測定前に新規タングステンに交換する)。	開発	実機工事まで

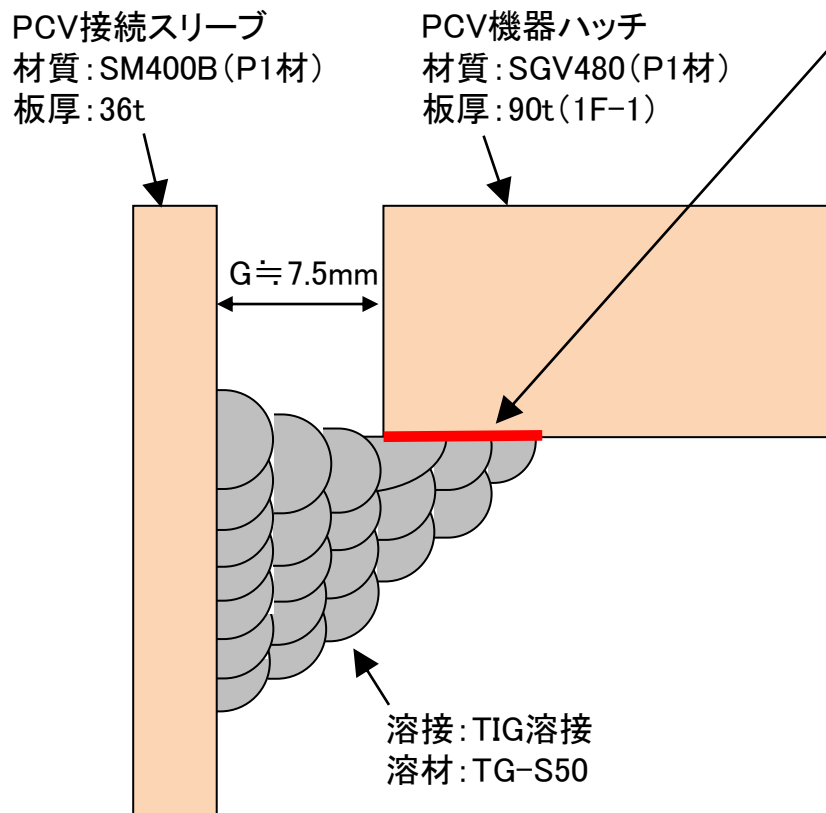
② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

5) 低温割れ試験

低温割れの懸念



低温割れ発生有無の確認(材質:SGV480使用)



項目	確認試験	確認内容
確認試験	重ね継手溶接試験 (JIS Z 3154)	ショートビード試験 (ビードオン試験)
確認内容	すみ肉溶接による低温割れ発生有無の確認	溶接時の中断を想定した低温割れ発生有無の確認
板厚	40t	40t
試験体外観 (溶接後)		
確認方法	表面PT、断面観察	表面PT、断面観察
断面写真		

<試験結果>

どちらの試験でも割れは確認されなかった

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

5) 低温割れ試験

まとめ

No.	成果
1	実機相当材を使用した低温割れ発生有無確認試験で割れは確認されなかった。



試験体は実機相当の材材を用い、予熱、熱処理を行わずに試験を行ったが、割れは発生しなかった。すみ肉溶接であり、比較的拘束力が小さい為割れは発生しなかったとも考えるが、実機材の状態が不明な為、実機材の材料特性が把握できれば、実機の施工を予熱なしで行っても低温割れのリスクは低いと考える。

実機工事実現に向けて・・・

No.	課題	対応	対応期限
1	各号機の既設機器ハッチミルシートの確認など材料特性の把握	確認	実機工事まで

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)溶接

6) 試験結果まとめ

- 実規模試験を行い、溶接ギャップ7.5mm以下における遠隔溶接、研磨、蛍光PT、寸法測定(のど厚管理)の実現性を確認した。
- 低温割れ発生有無確認試験を行い、予熱、熱処理なしでも低温割れがない結果が得られた。実機施工において、予熱なしでの施工でも低温割れリスクは低いと考えるが、実機材の材料特性が不明な為、実機施工で予熱を省略する場合には、既設機器ハッチのミルシートの確認など実機材の材料特性を確認する必要がある。
- 各試験結果から実機適用に対する課題を抽出し整理した。抽出した課題は遠隔での作業性も含めて、実機工事までに検討し、解決しておく必要がある。



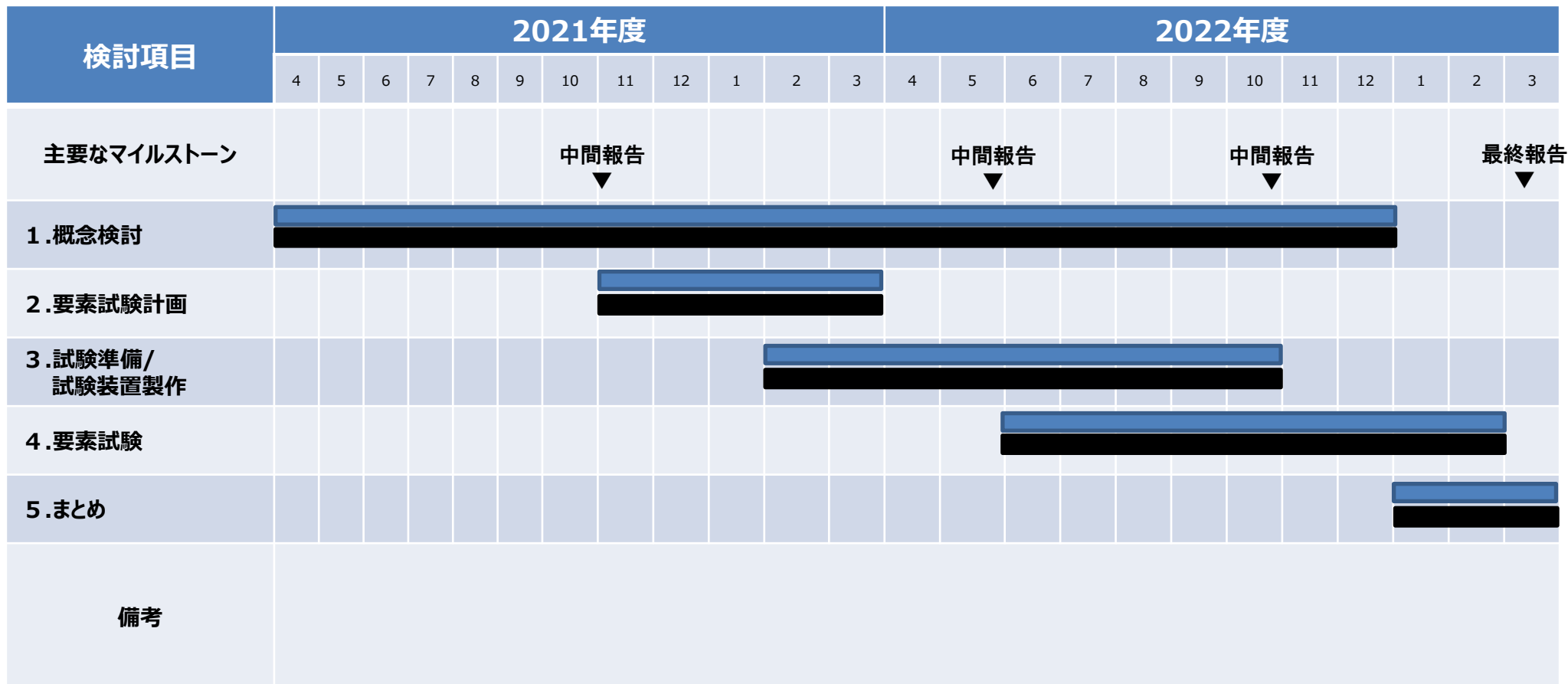
尚、溶接施工や検査方法など技術的な確認を進めているが、実機適用にあたっては、技術基準への適合(機器クラス区分、溶接事業者検査の適用可否(立会含む)など)について調整・議論(前提条件の決定)が必要である。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接

【開発工程】

■ :計画
■ :実績



② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(a)遠隔設置まとめ

- スリーブ遠隔設置については、2021年度に**要求事項(前提条件)・送り出し工法**および装置の検討結果を整理した。**アクセストンネル本体の送り出しと同じ「全体送り出し方式」を選定**し、課題および試験等で確認が必要な項目について整理した。
- 上記整理結果を基に、スリーブ遠隔設置装置・スリーブ構造・開口部・設置手順等について**モックアップでの仕様を検討した。実機(想定)とモックアップ装置の比較・整理**を行った。センシングも含めた試験計画を立案し、**判定基準としてギャップ20mm以下(目標7.5mm以下)**と定めた。
- スリーブ遠隔設置の実規模試験装置や設備を準備し、スリーブ遠隔設置手順および装置に関する**実現性を確認試験**を実施した。
- 試験の結果、**目標の7.5mm以下を満足することを確認**した。また、実機適用に対する課題を抽出し整理した。

② PCV接続スリーブ遠隔設置・溶接:(b)遠隔溶接まとめ

- スリーブ遠隔溶接については、2021年度に2019-20年度補助事業で整理した課題に対する対応方法を検討し、課題および試験等で確認が必要な項目について整理した。
- 溶接、研磨、蛍光PT(検査)の各試験について、確認項目や監視・測定記録項目を具体化し、判定基準を定めた。
- スリーブ遠隔溶接の要素試験装置や設備を準備し、スリーブ遠隔溶接の手順および装置に関する実現性を確認する為の要素試験を実施した。
- 実規模試験を行い、溶接ギャップ7.5mm以下における遠隔溶接の実現性を確認した。ただし、溶接ギャップ7.5mm～20mmについては、溶接条件の見直しが必要となる見込みである。また、保守についても検討を行い実機適用性を確認した。
- 試験結果から実機適用に対する課題を抽出し整理した。

③ 遮蔽体設置

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、横取り出し工法に係るアクセストンネル（PCV内部にアクセスする為のトンネル状の構造物）等のアクセス用設備の検討を進めてきている。取り出した燃料デブリ等を一時的に内部に収納するアクセス用設備は、設置される構造物の周囲を作業環境として使用することを考慮した線量低減が必要であり、遮蔽機能を有した大型の重量物となる。その為R/B内への搬送に要する付帯設備、R/B 建屋等の床荷重負担軽減化として、アクセス用設備の遮蔽体の構造、搬送・設置方法の合理化の検討、開発が必要となっている。

高線量下での遮蔽体構築を遠隔作業によって安全、効率的に実施する為、先ず、PCV内部や取り出した燃料デブリ等の線源の種類、存在状態等の遮蔽機能評価に必要な前提条件を検討・整理する。次に、R/B構造強度と現地施工性を踏まえた遮蔽構造、遮蔽体等の追設等を含めた搬送・設置の方法、手順について、被ばく線量評価を含めた検討を行う。その上で、遮蔽体を設置するアクセス用設備の模擬試験体を製作し、製作性等の実現性確認の為の検証試験により、成立性を検証・評価することで、合理的なアクセス用設備の遮蔽体設置に必要な技術を開発する。

③ 遮蔽体設置

目次

- 20年度までの検討状況、課題、実施内容、得られる成果

- 前提条件の整理
- アクセストンネルと台車の遮蔽厚さ
- 遮蔽体追設の目的の整理
- 遮蔽体追設方法の検討
- 実機イメージ
- 試験計画
- 試験装置
- 試験結果
- 課題

- 開発工程
- まとめ

③ 遮蔽体設置

【20年度までの検討状況】

- 遮蔽厚さの検討条件を一部見直し、遮蔽厚さの簡易検討を実施。
- フレーム構造の概念検討を実施。

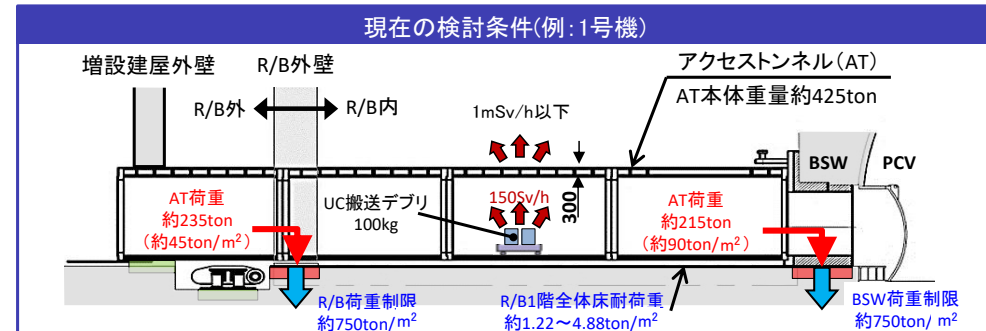
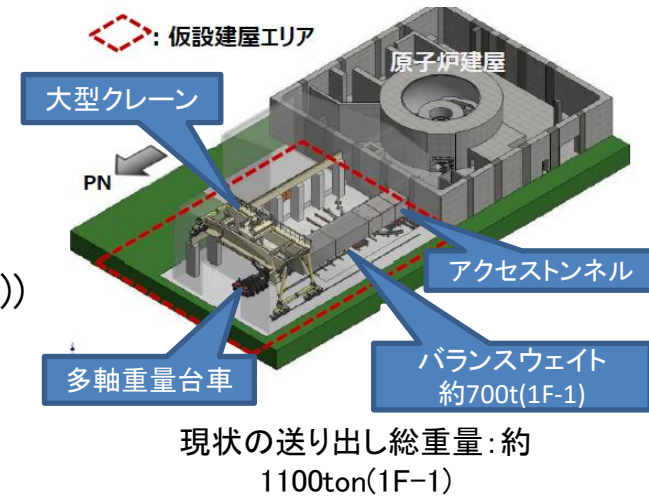
【課題】

送り出し質量が大きい為、付帯設備が大型化。後工程との干渉が発生。
 (アクセストンネル重量(大) → CW含む送り出し重量(大) → 付帯設備(大))

- 完全遠隔または一部遠隔による遮蔽体追設工法の実現性。
- 遮蔽欠損が少ない構造、遮蔽性能の担保(完成時の確認方法)。
- アクセストンネル遮蔽体構造、搬送・設置方法の合理化が必要である。
- 送り出しフレームの剛性を維持した軽量化。

【実施内容】

- PCV内部や取り出した燃料デブリ等の線源の種類、存在状態等の遮蔽機能評価に必要な前提条件を検討し整理する。
- R/B構造強度と現地施工性を踏まえた遮蔽構造、遮蔽体等の追設等を含めた搬送・設置の方法および手順について、被ばく線量評価を含めて検討する。
- 遮蔽体を設置するアクセストンネルの模擬試験体を製作し、要素試験を計画を立案し、製作性等の実現性を評価する。



【得られる成果】

- 合理的な**アクセストンネル遮蔽体設置方法**の提示。

③ 遮蔽体設置

【前提条件の整理】

遮蔽厚さを算出する為の前提条件の整理を行った。評価用線源強度は、実測値を基に逆算して算出。なお、R/B内の作業が不明確な為本検討においては、R/B内に作業員が立ち入ることを考慮して検討。

項目	条件	備考	
対象プラント	1F-1,2,3		
R/B内立入り	アクセストンネル内 燃料デブリ搬送時	なし(人払いの実施)	
	定常時(上記以外)	あり	
線源	PCV内	評価用線源強度を算出	1号機のデータを使用
	AT内	φ200のユニット缶内燃料デブリ	30kg/缶×2にて評価を実施
物質密度	コンクリート	2.15 (g/cm ³)	
	鉄	7.8 (g/cm ³)	
	ポリエチレン(PE)	0.92(g/cm ³)	
アクセストンネル表面に おける目標線量率	R/B内	1.0mSv/h(定常時)	
評価点	高さ	床上10cm、120cm	

(注記)

- ・目標線量率は1.0mSv/hと仮決めした。燃料デブリの搬送量(線量率)、遮蔽厚さおよびR/B内の空間線量率と比較しながら最終的に決定する必要がある。
- ・PCV内からの中性子についてはガンマ線に比べて影響は小さく、実測値にて影響を確認する。燃料デブリがアクセストンネルを通過する際の中性子については評価を実施。

上記の条件より、アクセストンネルの遮蔽厚さを決定し、追設工法および設置設備の検討を実施

③ 遮蔽体設置

【前提条件の整理】

以下の条件において遮蔽評価を実施した。

項目	単位	1F-1	1F-2	1F-3	遮蔽評価条件
初期濃縮度	wt%	3.7	←	←	3.7
燃焼度	GWd/tHM	40.172	40.557	40.499	41
比出力	MW/tHM	20.0	25.3	←	20.0 ^{注)}
冷却期間	年	20	←	←	20
燃料デブリ組成(重量)	—	UO ₂ (重量はUO ₂ =1t で計算)	←	←	UO ₂ (重量はUO ₂ =1t で計算)

注) ほとんど影響がないので、1号機ベースで検討。

燃焼計算は以下を適用した。

- 計算コード : ORIGIN2.2 UPJ
- 断面積ライブラリ : BS340J33
- DECAYライブラリ : JNDECAY33.LIB
- 光子ライブラリ : gxuo2brm.lib

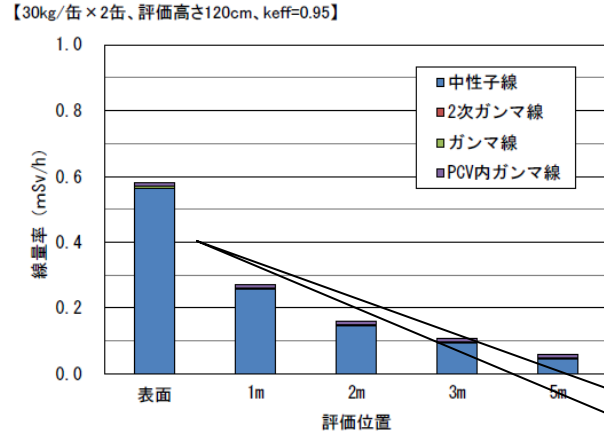
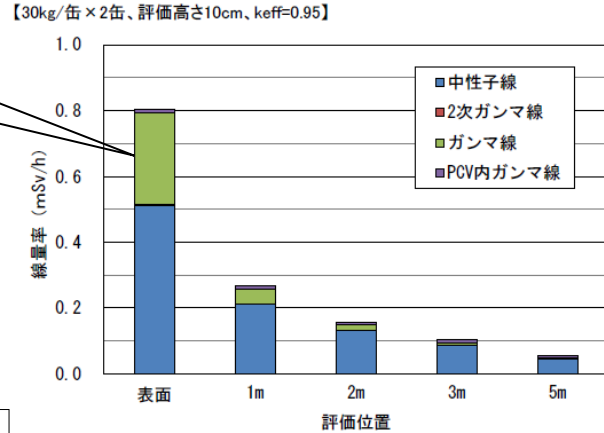
③ 遮蔽体設置

【評価結果】遮蔽厚さ: 壁/天井300mm、床110mm(燃料デブリ量30kg×2)

床付近のγ線
線量率高い

↓

遮蔽を追加



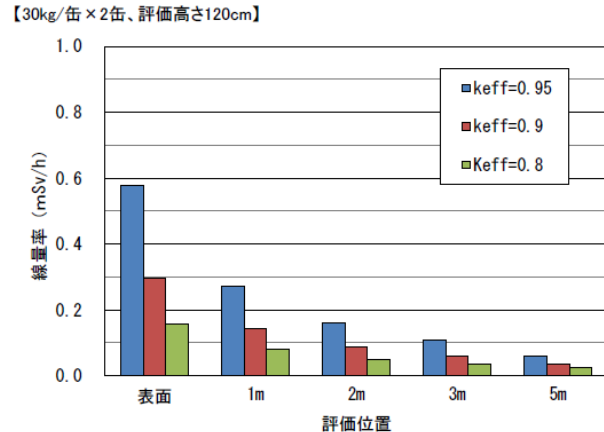
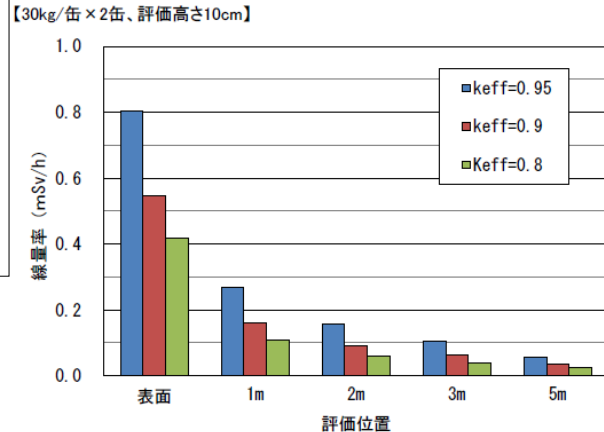
遮蔽厚さ:
・壁/天井300mmはアクセストンネルの検討を始めた際に簡易的に計算した遮蔽厚さ
・床面厚さは構造設計から算出した概算厚さ

中性子線線量率
高い

↓

中性子遮蔽を追加

評価高さ:
作業中のAPDの位置を想定。
● 10cm: 床面作業時(伏せた状態)
● 120cm: 通常作業時
評価位置:
● アクセストンネル表面からの距離



250mmの遮蔽厚さにおいても1mSv/h以下を満足する。

➡ 遮蔽厚さ300mm/250mmの線量比較結果より、中性子遮蔽を実施することでアクセストンネル壁、天井200mm、床110mmとしても1.0mSv/hを満足すると想定される。

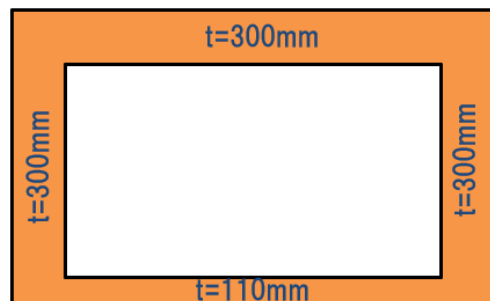
③ 遮蔽体設置

【アクセストンネルと台車の遮蔽厚さ】

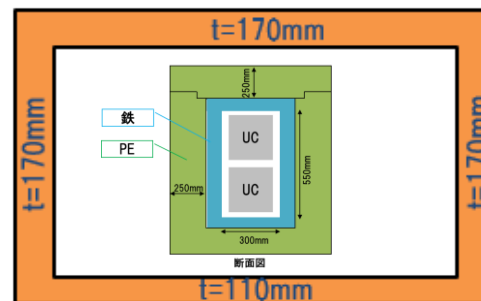
アクセストンネル内台車に設置できる遮蔽厚さ(75mm)を加味すると、アクセストンネルに必要な遮蔽厚さは以下(赤枠)となる。

No.	線源	線量から算出した必要遮蔽能力	アクセストンネル本体に必要な遮蔽能力	
①	PCV内からの線量 (定常)	床:110mm(@鉄)	床:110mm(台車遮蔽の影響を受けない)	
		床以外:170mm(@鉄)	床以外:170mm(台車遮蔽の影響を受けない)	
②	搬送中の燃料デブリ からの線量 (一時的)	γ線	床:110+αmm(@鉄)	床:35+αmm(台車遮蔽75mmを考慮)
			床以外:200mm(@鉄)	床以外:125mm(台車遮蔽75mmを考慮)
		中性子線	250mm(@ポリエチレン)	全周:0mm

上記より、アクセストンネルの遮蔽厚さを床110mm、床以外170mmとする。台車に負荷する遮蔽厚さは鉄30mm、ポリエチレン250mmとする。



(現状)アクセストンネル断面



(変更後)アクセストンネル断面

アクセストンネル内
搬送台車遮蔽
PE:250mm
鉄:30mm

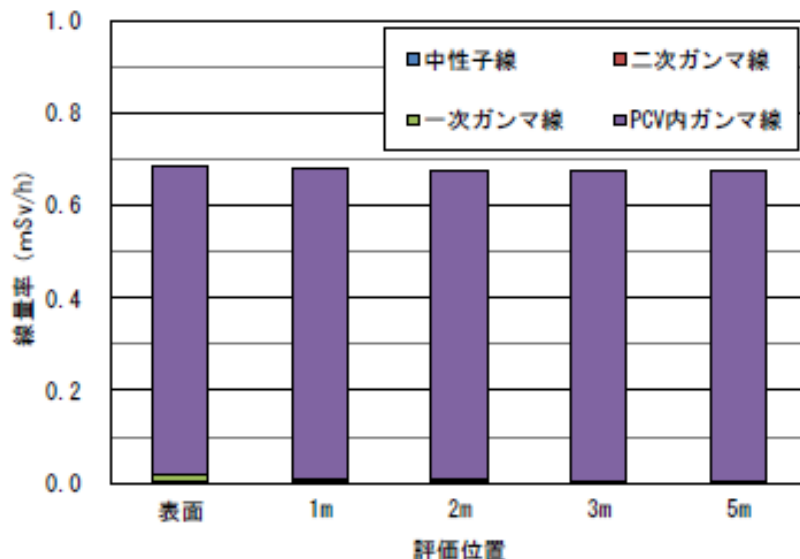
③ 遮蔽体設置

【評価結果】

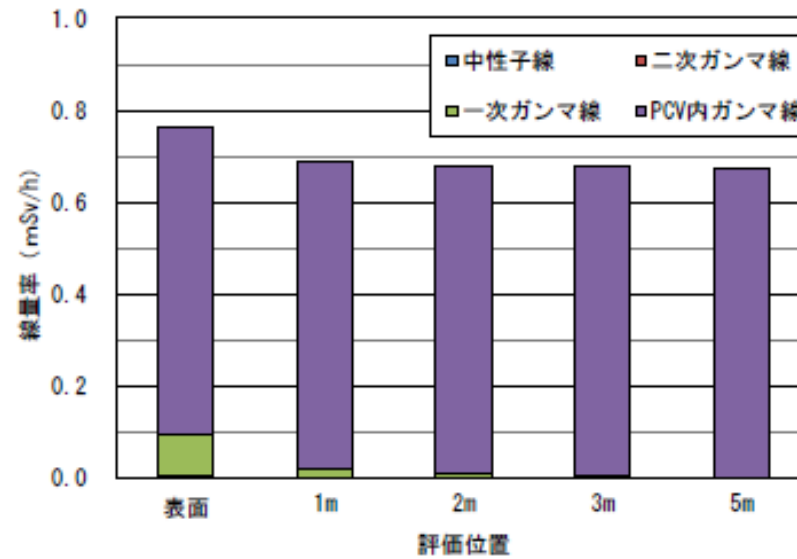
遮蔽厚さ(アクセストンネル) : 壁/天井170mm(鉄)、床110mm(鉄)
 遮蔽厚さ(アクセストンネル内台車) : 全周30mm(鉄)、全周250mm(PE)

- PCV内からのγ線が支配的である。
- アクセストンネル内を通過する燃料デブリからの線量は非常に小さい。

注) PCV内からの線量については概略検討の為距離の減衰は含めていない。



(a) 床上 10cm



(b) 床上 120cm

評価高さ:
 作業中のAPDの位置を想定。
 ● 10cm: 床面作業時(伏せた状態)
 ● 120cm: 通常作業時
 評価位置:
 ● アクセストンネル表面からの距離

評価条件: 燃料デブリ燃料: 30kg/缶 × 2 缶、keff: 0.95

目標線量の1.0mSv/h以下を満足することを確認した

③ 遮蔽体設置

【遮蔽体追設の目的の整理】

遮蔽体追設工法の目的

増設建屋建設工事との干渉回避
(付帯設備の負荷低減)

- ① 揚重設備の簡略化
- ② カウンターウェイトの削減

追加
(IRID内審議等で
コメント)

PCV内の状況把握後に
必要に応じて遮蔽を追加

検討/結果

遮蔽評価の実施
→総重量約260ton、ユニット最大重量約74ton

遮蔽体追設構造の検討
→ユニット最大重量約45ton

50ton以上の揚重設備が必要
→地盤改良など必要

揚重設備の見直し
→CC※を用いることで80~90tonのハンドリングが可能

※クローラクレーン

最大重量115ton→74ton
→2/3になったことから、再
度揚重設備を見直し

成立の見通しを得た

追設工法を検討

アクセストンネル
建設工程

設計条件整理

実機設計
(追設可能な構造)

製作

設置

運用

調査実施: 設計条件より線量が高いことが判明

設置後に遮蔽能力
の不足分を追設

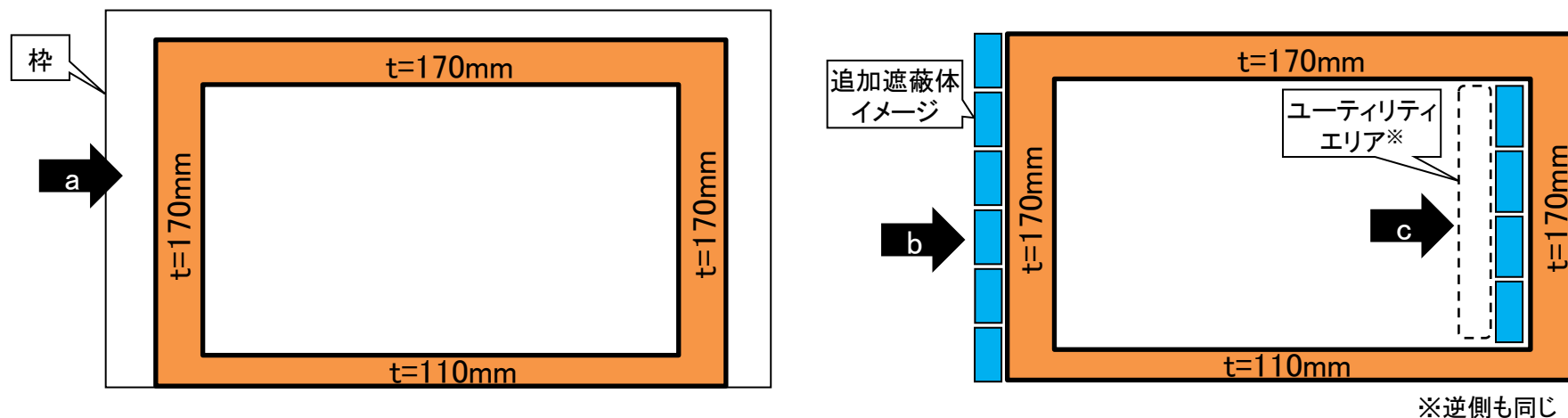
※設計などの手戻
りが発生しない

③ 遮蔽体設置

【遮蔽体追設方法の検討】

追設の方法はa.枠内に挿入する方式、b.外側から設置する方式、c.内側から設置する方式に分けられる。

- a. 枠内に遮蔽体を挿入する案。鉄球や鉄板を枠内に入れる方式が考えられる。
- b. 外側から遮蔽体を追加する案。アクセストンネル本体に荷重を預ける方法とR/Bの1階床面に預ける方法が考えられる。
- c. 内側からブロックを設置する案。ブロックなどを設置する想定であるがユーティリティを避けて遮蔽体を設置する必要があり、ブロックを小さくする必要がある。ブロックの総数が非常に多くなることが想定される為、cについては検討から除外する。



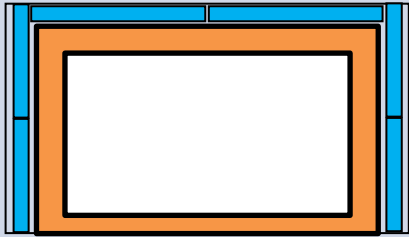
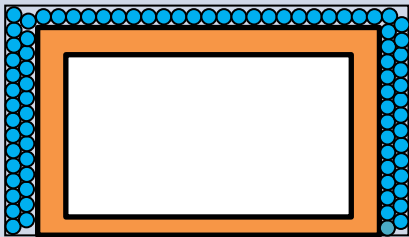
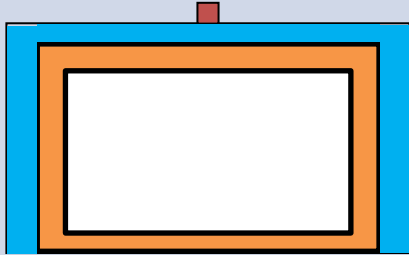
cについては課題が多いと考えられる為、a,bについて検討を行う。

③ 遮蔽体設置

【遮蔽体追設方法の検討】 a.遮蔽体挿入案

○: 実現可
 △: 課題有り
 ×: 実現困難

● 追加遮蔽体 ■ 湯口

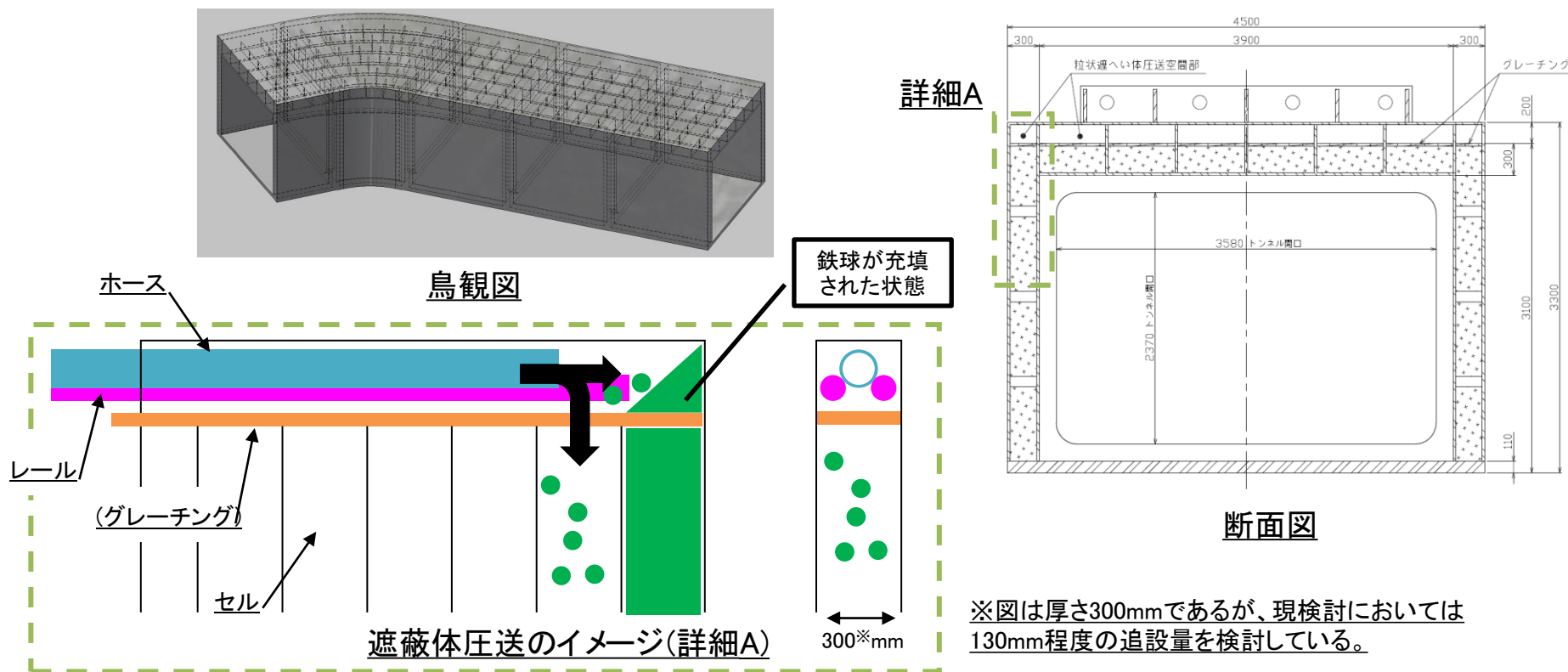
	板状遮蔽送り出し案	球状遮蔽充填案	鑄込み案
イメージ			
概要	板状の遮蔽体を増設建屋側から送り出す案。曲線部は長さを短くして送り出すことを検討。	球状の遮蔽体を圧送し、鉄板等で区切った小部屋を充填する案。ショットブラスト等の技術を応用し、球状の遮蔽体を充填する。	溶かした遮蔽材を鑄込む(流し込む)案。
課題	<ul style="list-style-type: none"> ● アクセストンネルの各ユニット部の繋ぎの精度(追設遮蔽体の乗り移り) ● 曲線部の送り出し ● 非常時の対応(途中で詰まった場合の救援が困難) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 圧送方法 ● 充填率の確認(遮蔽性能) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 巣の発生による遮蔽性能の低下(遮蔽性能を担保できない) ● 熱による変形 ● 鑄込む設備が大型
評価	×	△	×

球状遮蔽充填案/ブロック案/カーテン案の評価「△」
 球状遮蔽体追設案については充填率など不明点が多く、要素試験を行い実現性について確認する必要がある。

③ 遮蔽体設置

【実機イメージ/球状遮蔽充填案】

実機のイメージを示す。遮蔽体を追設するセルを複数設け、球状の遮蔽体を圧送することを検討した。鳥観図の壁面にはセルの記載がないが(一体となっている)、実際は複数のセルに分ける計画である。遮蔽体を圧送するホースはレール上を滑らせて所定の位置まで送り込む。



③ 遮蔽体設置

【試験計画】

以下の確認項目について試験により確認を行う。

確認項目	実施内容	監視・測定 記録項目	判定基準 (目標値)
充填率	試験セルの球状遮蔽体の充填率を確認する。なお、試験セルの体積は水を入れて計測を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 試験セルの体積 ➤ 充填した遮蔽材の重量 	充填率の目標値:60% (タッピング等などの操作前)
充填状況 (壁セル)	遮蔽体の充填状況をセル横に設けた窓から確認する。確認用の窓は上部・中部・下部の3か所設ける。	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 充填の状況 	—
充填状況 (天井セル)	遮蔽体の充填状況をセル上部に設置した開口から確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 充填の状況 	—
充填状況 (壁セル、天井セル)	充填した遮蔽材上部の状況(山のでき方)などを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 安息角 	— (参考測定)

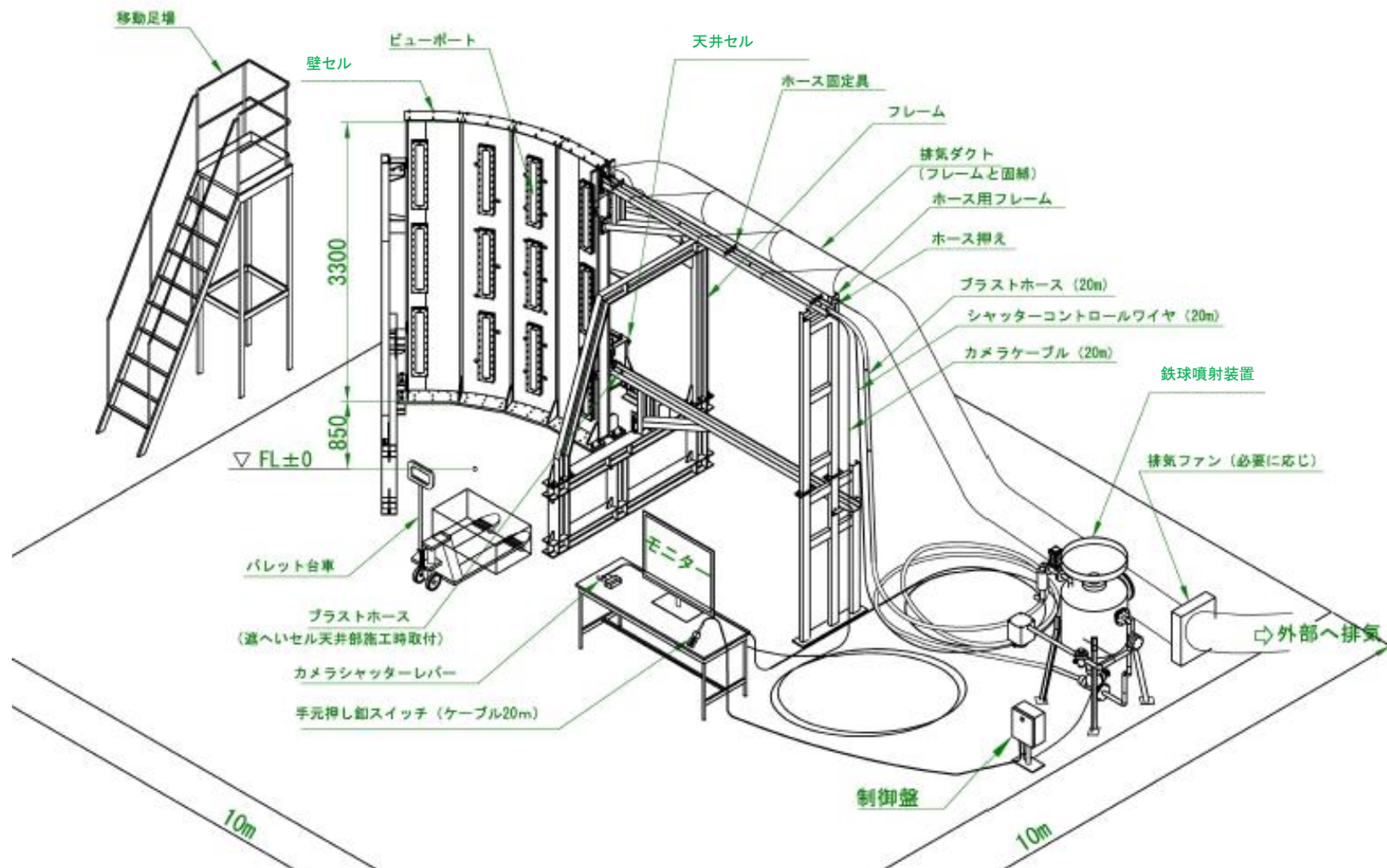
備考

・目標値60%:これまでの検討より必要遮蔽厚さ300mmとし場合、アクセストンネル170mm+台車75mm(最大)+追設遮蔽体約75mm(130×0.6)として設定した(合計320mm)。

・安息角:粉粒体(石炭粉など)を積み上げたときに自発的に、崩れることなく安定を保つ斜面の(最大)角度。

③ 遮蔽体設置

【試験装置(イメージ)】

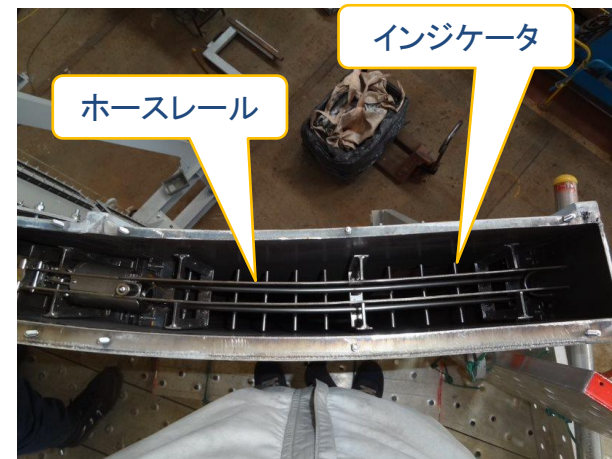


③ 遮蔽体設置

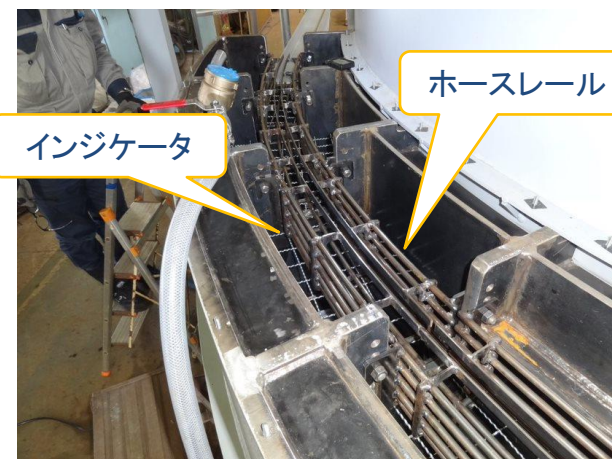
【装置全景および各セルの体積】



装置全景



壁セル



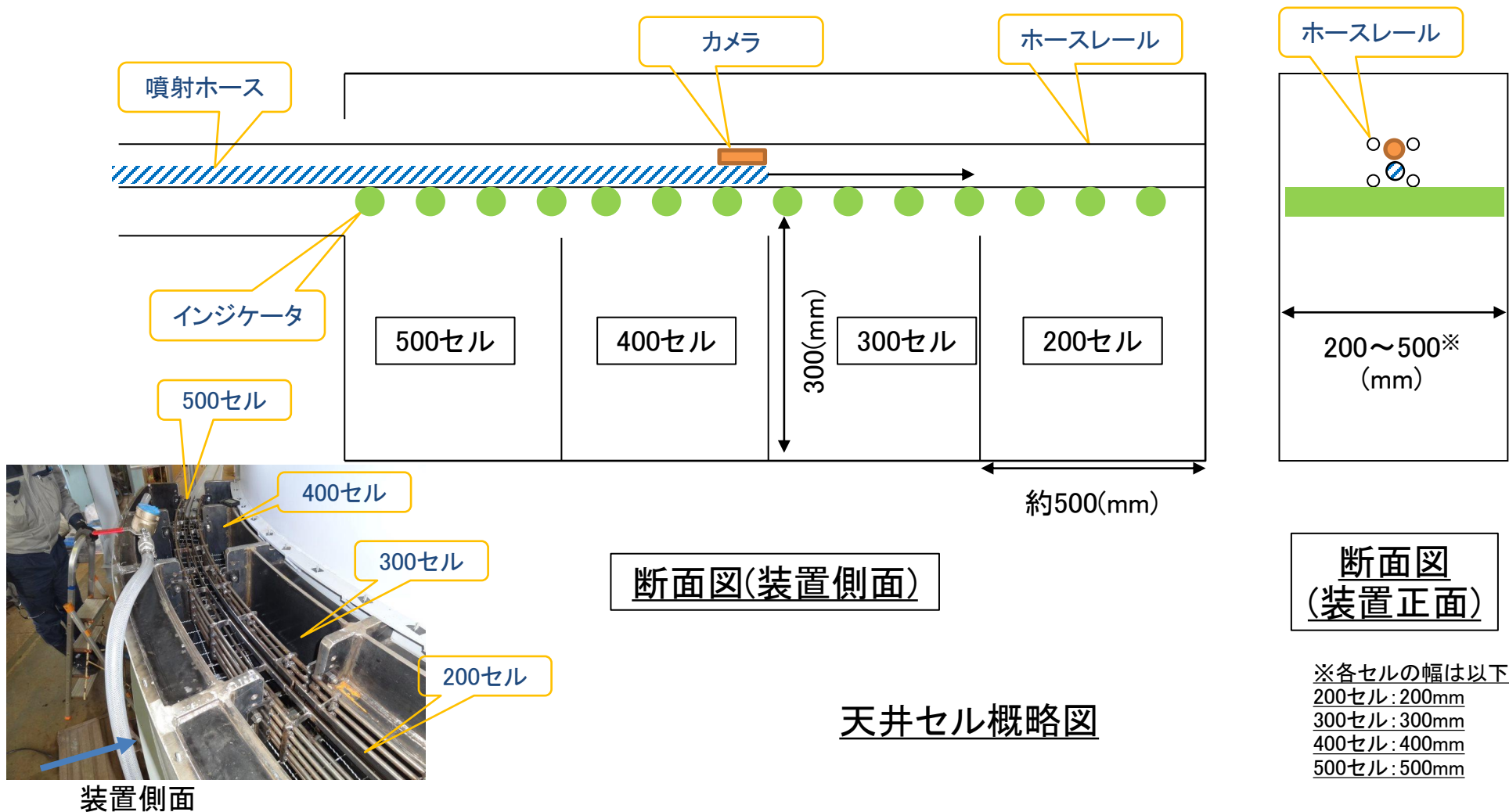
天井セル

セル名	天井セル(パラメータ:幅)				壁セル(パラメータ:補強)			
	200	300	400	500	無し	千鳥	並列	単列
体積(L)	27	39	51.5	63.5	176	166	165	177.5

注) セル内に水を充填し、積流量計にて確認

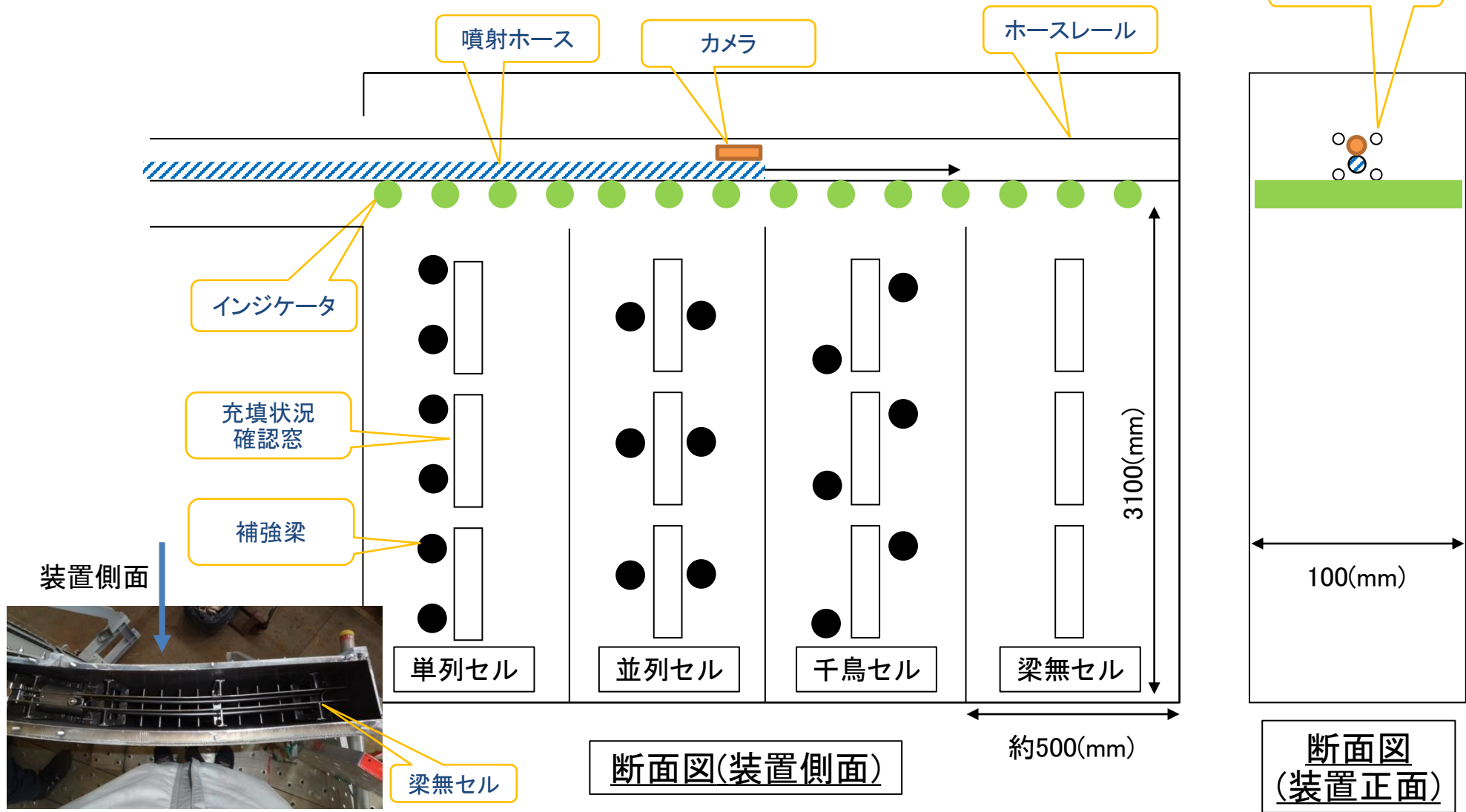
③ 遮蔽体設置

【試験装置(天井セル概略図)】幅方向をパラメータ(200~500mm)として試験を実施



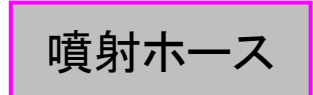
③ 遮蔽体設置

【試験装置(壁セル概略図)】補強梁の位置をパラメータとして試験を実施



③ 遮蔽体設置

【試験装置(鉄球噴射装置)】



③ 遮蔽体設置

【試験装置(噴射ノズル)】

カメラ

レールハンガー

噴射ホース

ストレートノズル

設置状態

レール

エルボノズル

噴射ホース先端部

ストレートノズル

インジケータ

カメラ画像

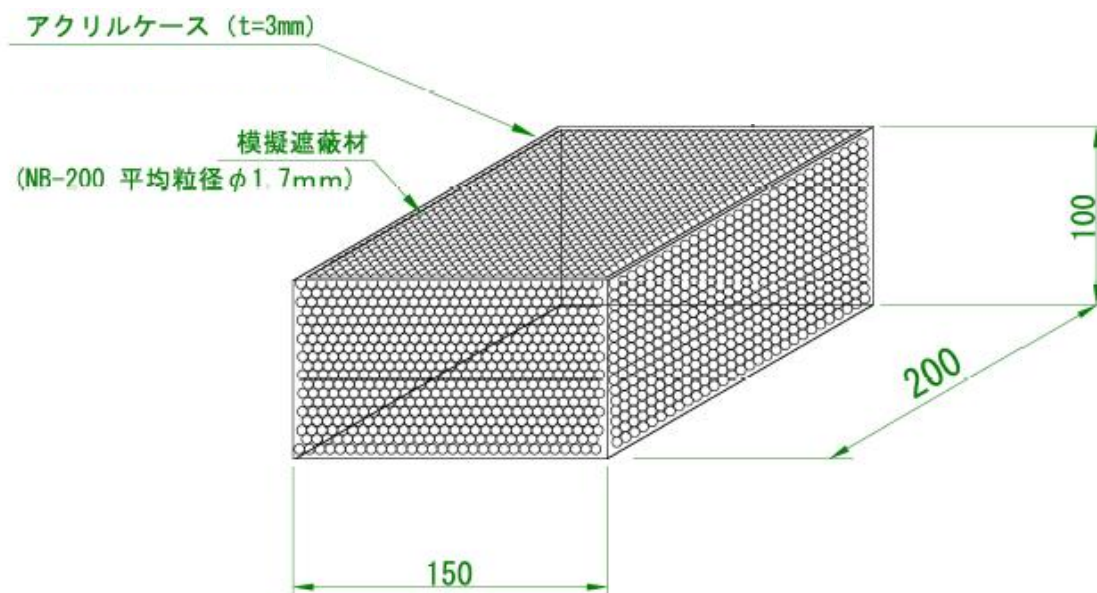
記録モード

000:00:07

③ 遮蔽体設置

【基礎試験(1)充填率確認試験】

試験要領: アクリルケースに充填材を充填(人手)し、充填材の重量を計測。充填率を確認する。



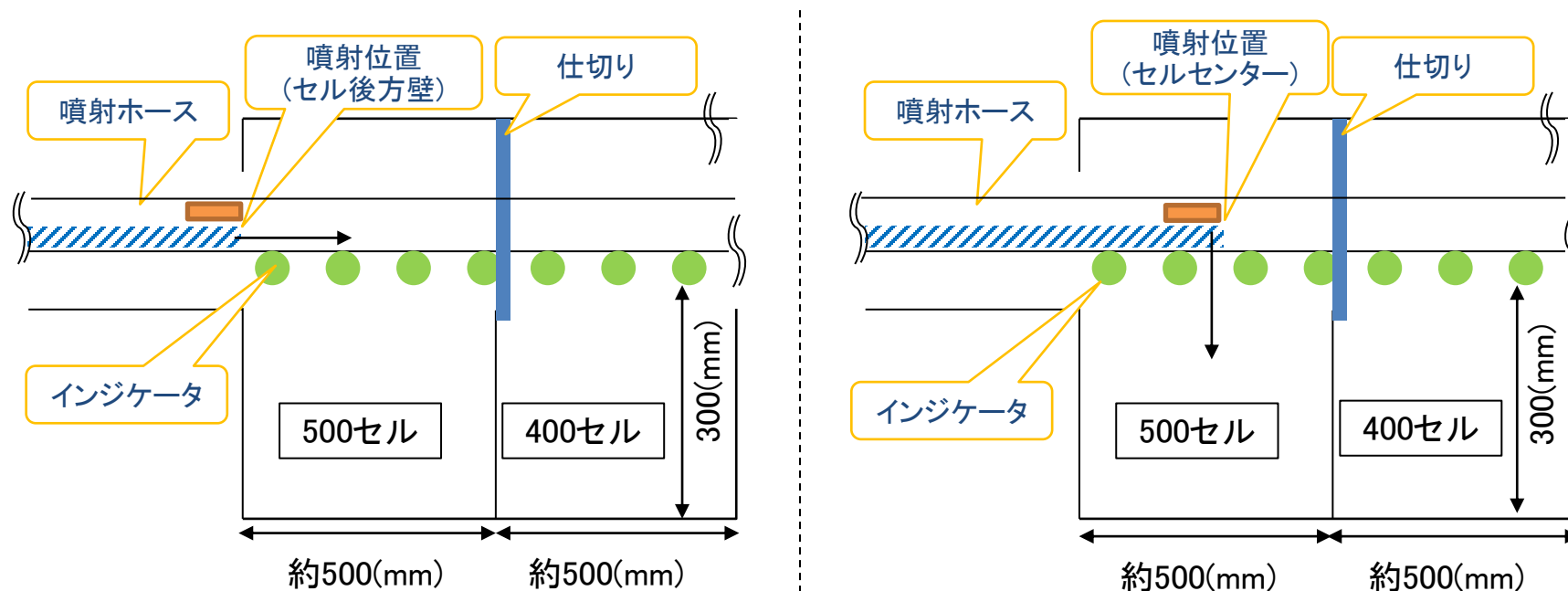
充填状況

項目	計測値	見かけ密度	充填率	備考
アクリルケース体積	2.73L	—		内寸より算出
タップ前重量	12.34kg	4.52g/cm ³	57%	
タップ後重量	13.08kg	4.79g/cm ³	61%	

③ 遮蔽体設置

【基礎試験(2)充填率確認試験】

試験要領:各ノズルで高さ確認用のインジケータが隠れるところまで充填後、充填上部面を馴染し充填材の重量を計測。装置を使用した際の充填率を確認する。なお、体積確認時の水位より低い場合は充填材を人手で追加。



500セルに充填する場合(左:ストレートノズル、右:エルボノズル)

③ 遮蔽体設置

【基礎試験(2)充填率確認試験】

試験要領:各ノズルで高さ確認用のインジケータが隠れるところまで充填後、充填上部面を馴らし充填材の重量を計測。装置を使用した際の充填率を確認する。なお、体積確認時の水位より低い場合は充填材を人手で追加。



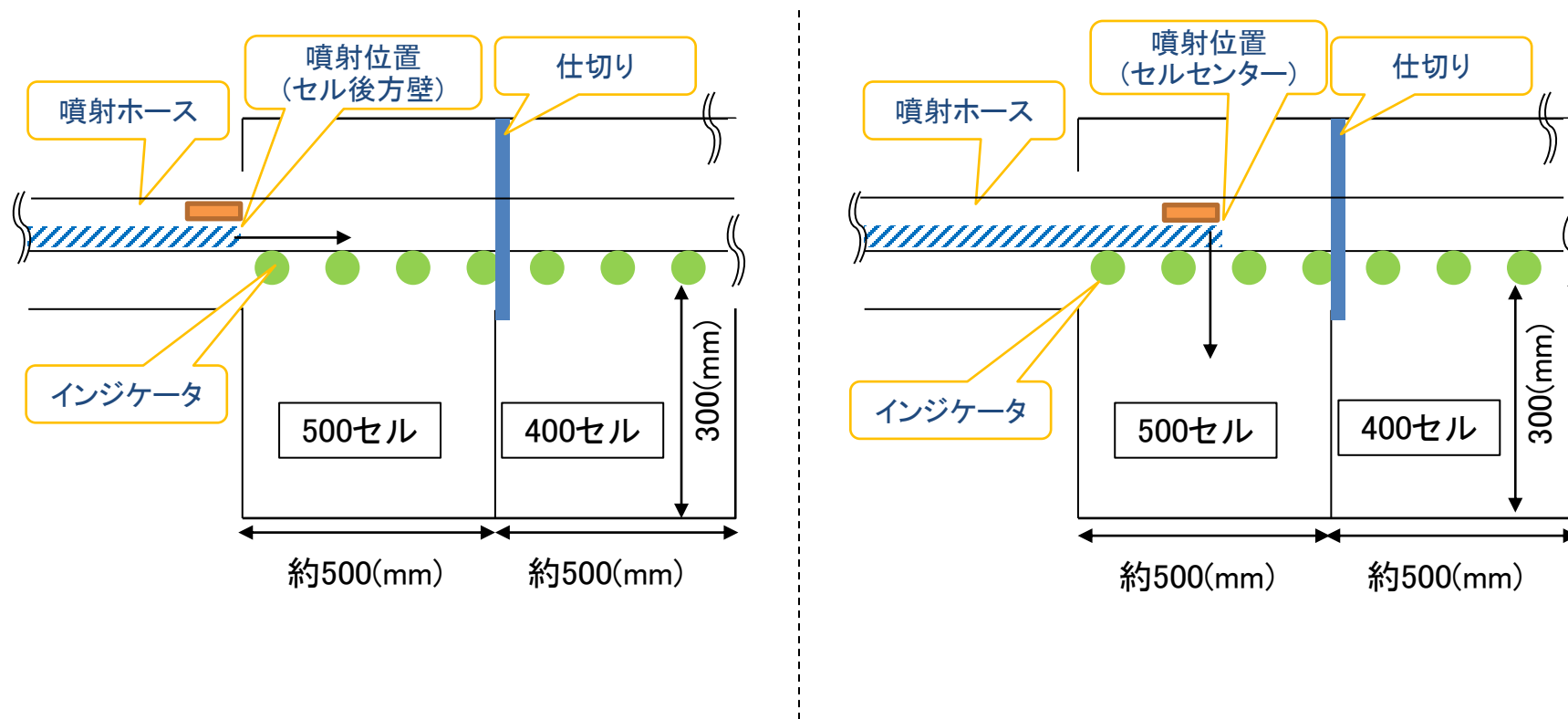
充填状況(天井セル/500mm幅)

見かけの密度(充填率)	ストレートノズル	エルボノズル
天井セル(500セル)	4.94g/cm ³ (63%)	4.83g/cm ³ (62%)
壁セル(梁無セル)	4.94g/cm ³ (63%)	4.97g/cm ³ (64%)

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】(天井セルによる確認)

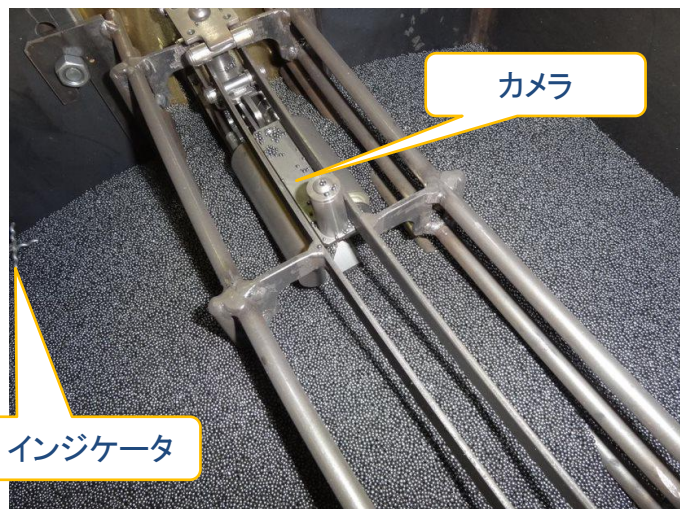
試験要領: 充填高さ確認用のインジケータが全て隠れるまで遮蔽材を噴射。噴射時間、充填量(対象セル/その他)および充填状況を確認する。



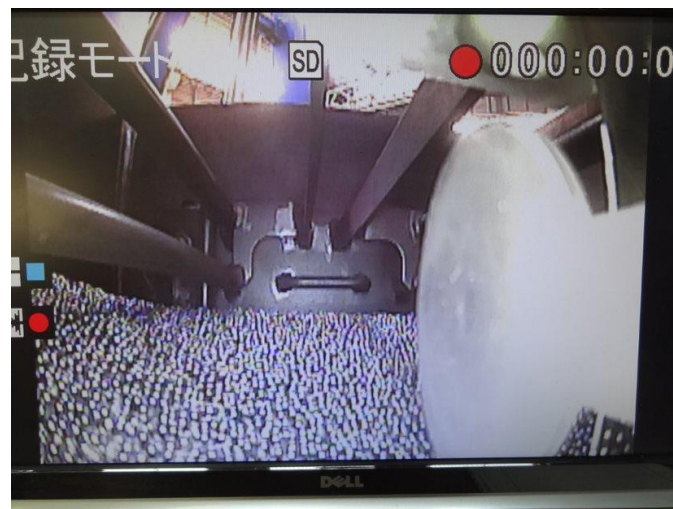
500セルに充填する場合(左:ストレートノズル、右:エルボノズル)

③ 遮蔽体設置

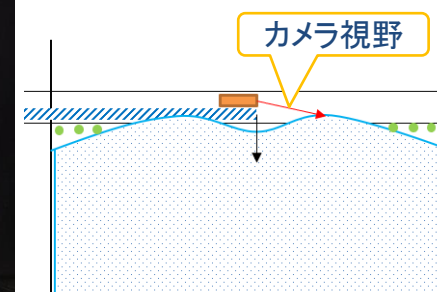
【試験(1)ノズルの選定】試験結果①(天井セル)



500セル/エルボ/ノズル初期位置



200セル/エルボ/カメラ画像

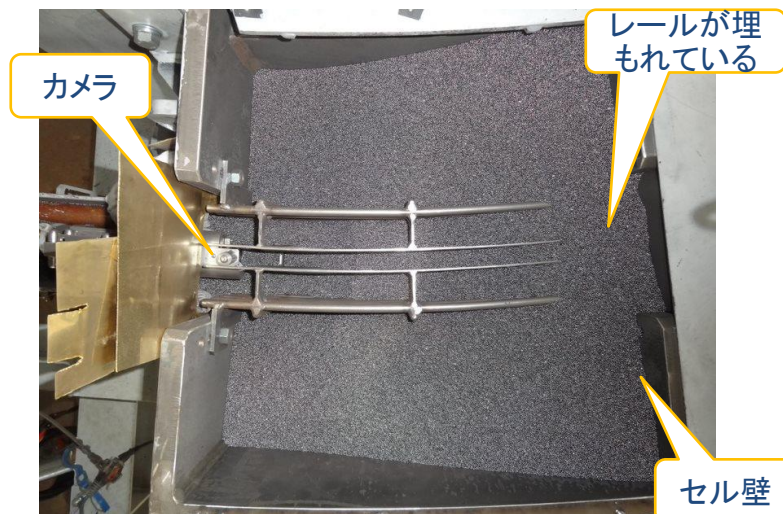


充填イメージ

- エルボノズルは真下に噴射する為、ノズルの直下を頂点とした山型に充填される。その為、セルの角部まで充填材を行き渡らせる前にノズルが充填材に埋まってしまい、噴射が困難となった(500セル)。レールを高く設置し、インジケータとノズルの距離を離す必要がある。この時の安息角は約28度であった。
- エルボノズルでは上記に示す通り山型に充填され、更に噴射圧によりクレータ部ができる為、カメラ前に盛り上がりができる。今回準備したカメラでは盛り上がりにより奥側の充填状況の確認が困難であった。

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】試験結果②(天井セル)



500セル/ストレート



500セル/ストレート/カメラ画像

- ストレートノズルはセル壁に鉄球が直撃する為跳ね返る鉄球の量が多い。その為、レールの脇などから対象のセル外に出る充填材の量が多い。
- 500mm幅のセルにおいてもレール上部まで充填できている。
- ストレートノズルはセル奥側から充填される為、充填の状況が把握しやすい。

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】試験結果③(天井セル)

天井セル	ノズル	体積	想定※1		充填時間		充填量			充填速度 kg/min
			充填量 kg	充填時間 min	実時間 min	想定比	対象セル kg	その他 kg	想定比 ※2	
200	ストレート	27	126.4	3.6	4.5	1.2	147	16.78	1.2	36.4
	エルボ				3.5	1.0	135	2.86	1.1	39.4
300	ストレート	39	182.5	5.2	7	1.3	226	35.3	1.2	37.3
	エルボ				6	1.2	219	6.04	1.2	37.5
400	ストレート	51.5	241.0	6.9	9	1.3	310	16.7	1.3	36.3
	エルボ				7.5	1.1	280	2.04	1.2	37.6
500	ストレート	63.5	297.2	8.5	11	1.3	402	4.98	1.4	37.0
	エルボ※3				11	1.3	375	2.2	1.3	34.3

※1 充填率60%、充填速度35kg/minで算出した値

※2 対象セルへの充填量を想定充填量で除したものの。

※3インジケータが隠れる前にノズルが鉄球で埋まってしまい噴射不可となった為、ノズル位置を約20mm上方に設定し試験を行った結果。

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】試験結果④(天井セル)

- 充填高さ確認用のインジケータが全て隠れるまでに必要な充填材の量は想定量の1.1～1.4倍である。エルボノズルの方がストレートノズルに比べ他のセルへの飛び散りが少ない為、少ない充填量で必要高さまで充填できる。
- 500セル/エルボノズルにおいて、セルの角部まで充填材を行き渡らせる前にノズルが充填材に埋まってしまい、噴射が困難となった。その為、幅広いセルとする場合はセル高さが必要となり、アクセストンネル本体の重量増加に繋がる。
- ストレートノズルはセル奥側から充填される為、充填の状況が把握しやすい。一方、エルボノズルは奥側の状況が分かりにくい。

	エルボ	ストレート
必要充填量 (目標値との比較)	1.1～1.3倍	1.2～1.4倍
他セルへの飛び散り	少ない	多い
充填性(レール上部)	不可	可
カメラでの視認性	悪い	良い

以上の結果より、ストレートノズルを選定

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】試験結果⑤(壁セル)

壁セル	ノズル	体積	想定※1		充填時間		充填量			充填速度 kg/min
			充填量 kg	充填時間 min	実時間 min	想定比	対象セル kg	その他 kg	想定比 ※2	
梁無	ストレート	176	823.7	23.5	28	1.2	895.3	88.96	1.1	35.2
	エルボ				25	1.1	897.3	7.04	1.1	36.2
千鳥	ストレート	166	776.9	22.2	29	1.3	840.3	125.92	1.1	33.3
	エルボ				24	1.1	874.3	13.34	1.1	37.0
並列	ストレート	165	772.2	22.1	28	1.3	831.3	106.72	1.1	33.5
	エルボ				23.5	1.1	825.3	8.84	1.1	35.5
単列	ストレート	177.5	830.7	23.7	30	1.3	898.3	115.08	1.1	33.8
	エルボ				25	1.1	892.3	22.04	1.1	36.6

※1 充填率60%、充填速度35kg/minで算出した値

※2 対象セルへの充填量を想定充填量で除したものの。

③ 遮蔽体設置

【試験(1)ノズルの選定】試験結果⑥(壁セル)

- 充填高さ確認用のインジケータが全て隠れるまでに必要な充填材の量は想定量の1.1倍である。壁セルは幅100mmであり、天井セルよりも狭い。その為、少ない充填量で4隅のインジケータが隠れたと考えられる。
- 他セルへの飛び散りは、エルボノズルの方がストレートノズルより非常に少ない(1/5～1/10)。これは、天井セルよりも充填時間が長い為、差が大きくなったと考えられる。
- 充填性、カメラでの視認性は天井セルと同様の結果であった。
- 確認用の窓から補強梁付近への充填状況を確認。補強梁周辺へも十分に充填されていることを確認。補強梁の影響はほとんどないと考えられる為、実機設計において設計の自由度が増える。

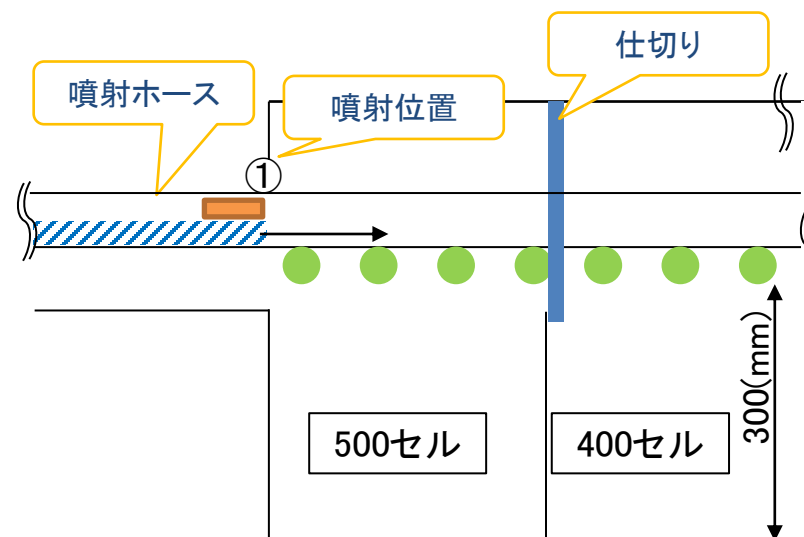
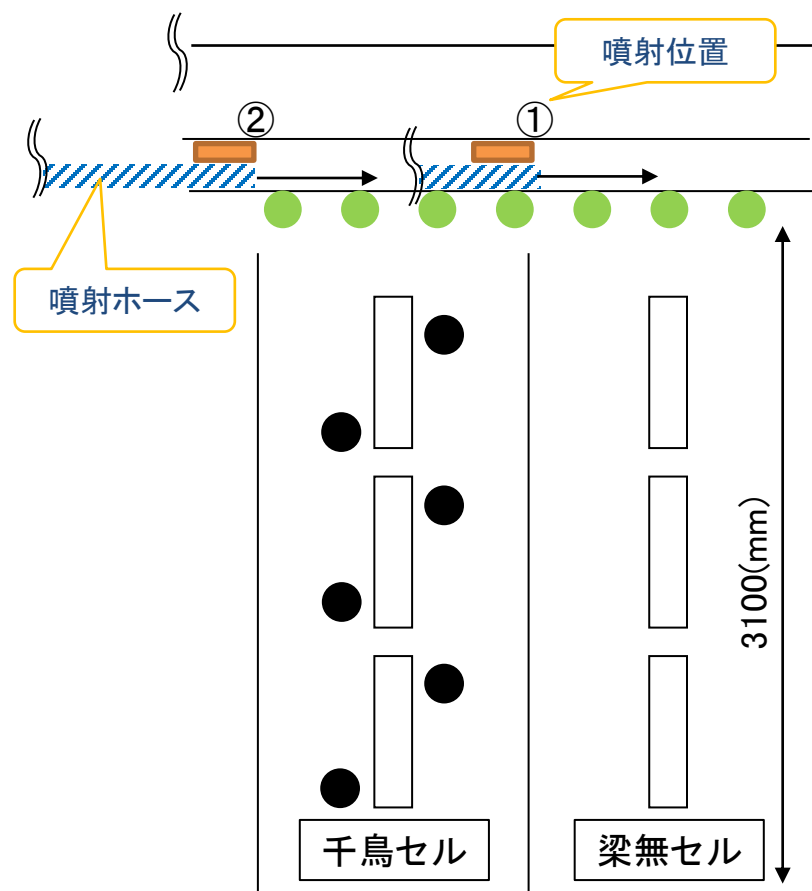
	エルボ	ストレート
必要充填量 (目標値との比較)	1.1倍	1.1倍
他セルへの飛び散り	少ない	非常に多い
充填性(レール上部)	不可	可
カメラでの視認性	悪い	良い

以上の結果より、壁セルにおいてもストレートノズルを選定

③ 遮蔽体設置

【試験(2)充填方法確認試験】

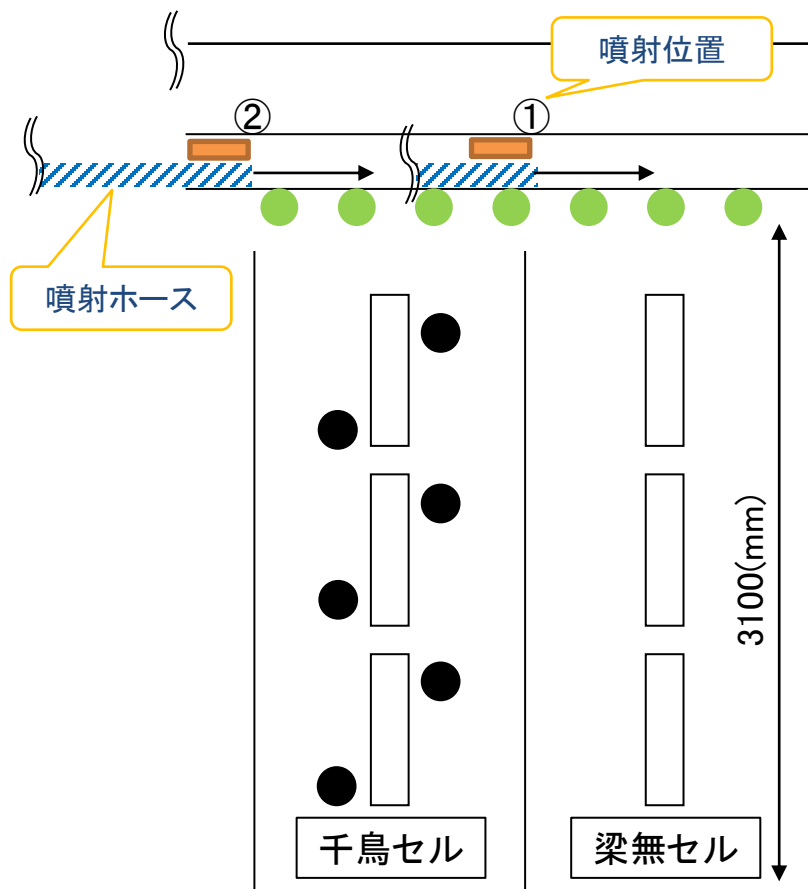
試験要領: 試験(1)で確認した充填高さ確認用のインジケータが隠れる時間まで①の位置で噴射を行い、その後、噴射位置②に移動して噴射を行った。



備考:
 壁セル: セル幅が全て同じ(100mm)為、梁無しセルを対象とした
 天井セル: 500セルでは②の位置で噴射できない為、400セルを対象とした。

③ 遮蔽体設置

【試験(2)充填方法確認試験】試験結果①



噴射位置から撮影(28分)



セル上から撮影(28分)



カメラ画像(28分)



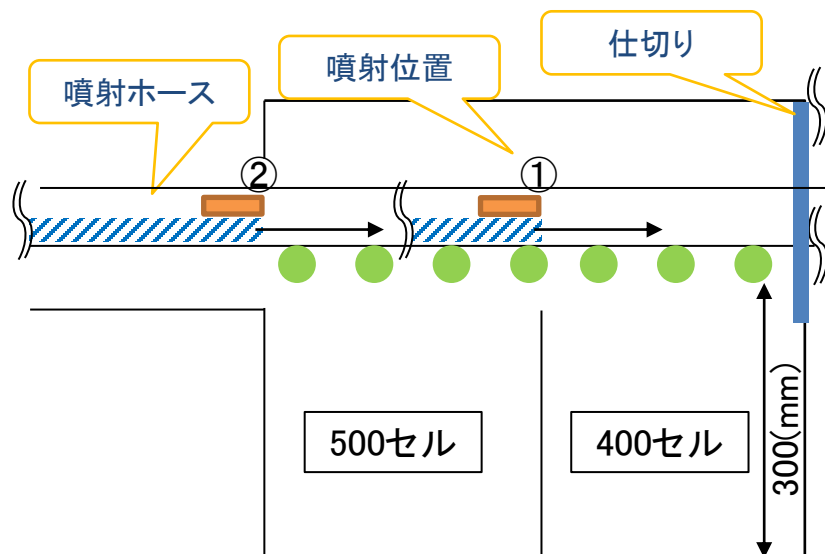
セル上から撮影(28分+2分)

条件 噴射圧0.2MPa
噴射時間①28分②2分

セル上部(ノズル上部)まで十分に充填されており、本方式で充填可能であることを確認した

③ 遮蔽体設置

【試験(2)充填方法確認試験】試験結果②



セル上から撮影(9分)



カメラ画像(9分)



セル上から撮影(25.5分)



カメラ画像(25.5分)

条件

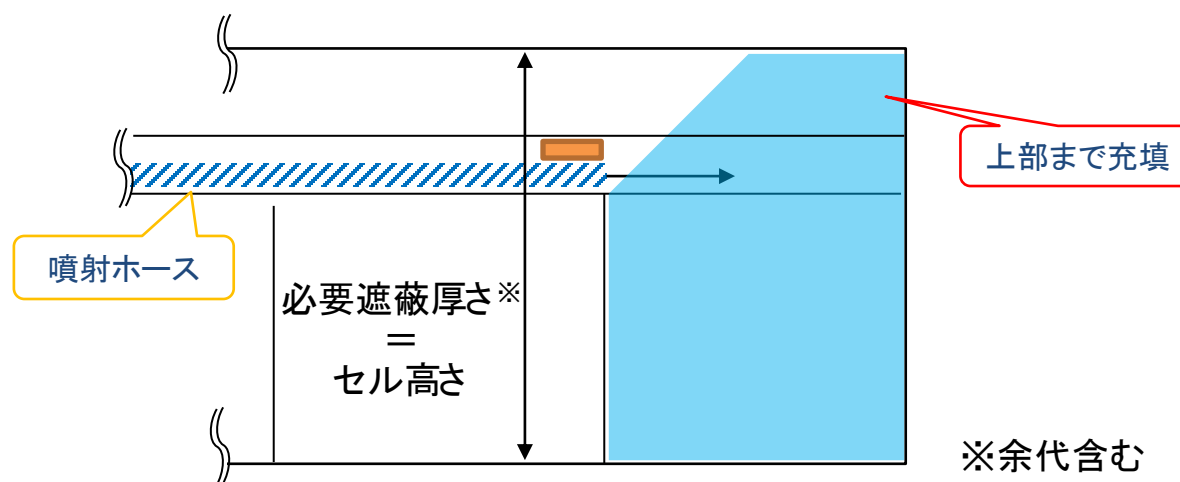
噴射圧0.2MPa
噴射時間①9分②16.5分

セル上部(ノズル上部)まで十分に充填されており、試験(1)の500セルの結果と合わせると、500セルにおいても本方式で充填できる見込みを得た。

③ 遮蔽体設置

【試験(2)充填方法確認試験】試験結果③

- セル高さがある壁セルにおいて、レール上部まで充填できることを確認した。
- 天井400セルにおいて、レール上部まで充填できること、および試験(1)の500セルの結果より、500mmのセル幅においてもレール上部へ充填できる見込みを得た。
- ストレートノズルではレール上部に充填できることから、必要遮蔽厚に加えレール部の高さを設定する必要がなく、セルの高さ低減に有効である。



③ 遮蔽体設置

【課題】

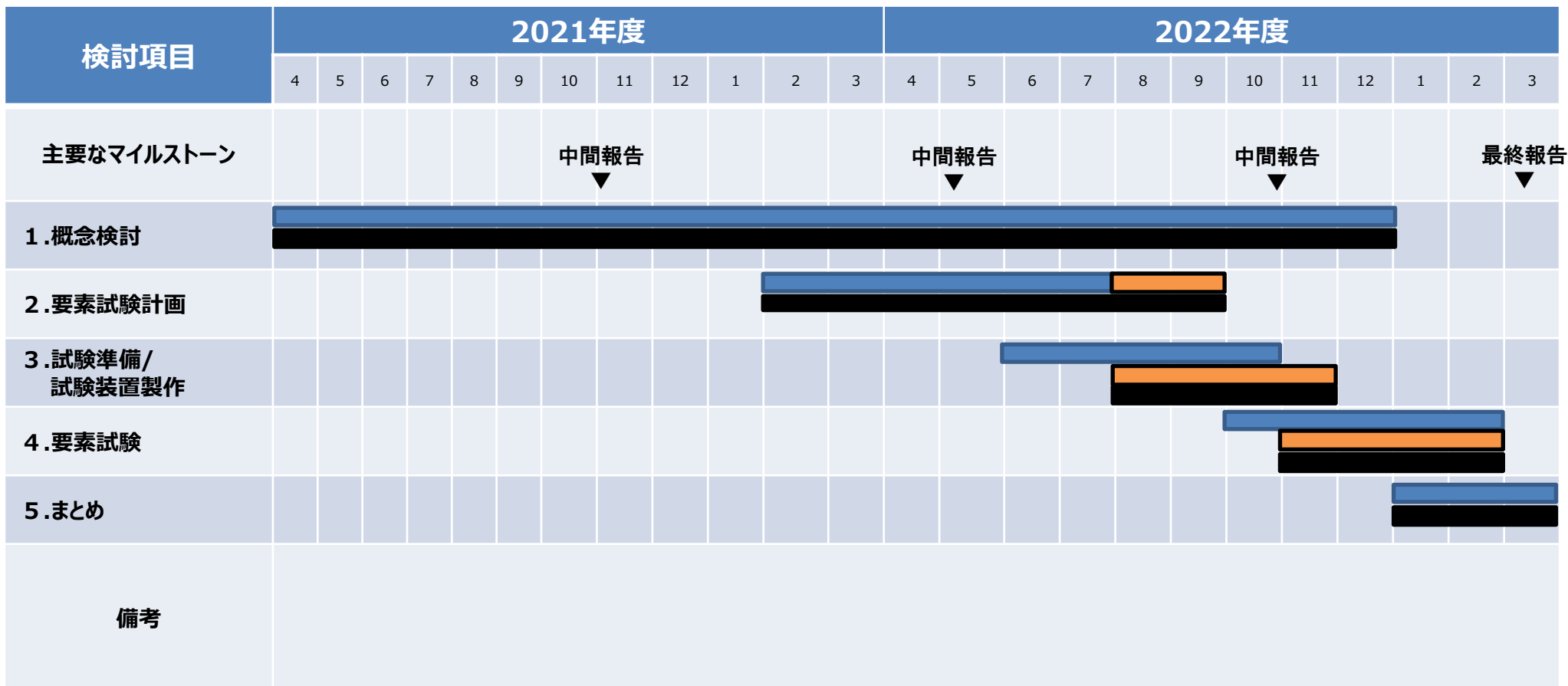
- ✓ 構造
 - 遮蔽材をセル奥側から順番に充填できる見込みを得たが、最終のセル(R/Bの外側と想定)については最後まで充填することができない為、補助セルやセル上部から充填するなど対策を行う必要がある。
 - 本試験ではファイバーカメラを用いて充填確認を実施した。ストレートノズルにおいては鉄球の跳ね返りが多く、レンズを傷つける恐れがある為レンズカバーを設置した。ワイヤを引くことでヒンジ構造を動作させカバーの開閉を行ったが、充填材がヒンジ部に挟まり、カバーの開閉ができない事象が発生した。実機に向けて構造の見直しなど対策を検討する必要がある。
 - 今回用いたカメラおよびライトではレール上部の充填状態を確認することが困難であった。カメラの選定やライティングについて実機適用に向けて検討する必要がある。
- ✓ 遮蔽性能評価方法
 - セル内充填後の遮蔽性能評価は他のセルへの飛び散りがある為、充填量(送り込んだ量)から充填率を判断できない為、セル毎の評価は困難である。遮蔽性能については、事前に確認した充填率を用いて評価を実施することになると想定するが、充填状況の再現性を含めて実機適用までに評価を行う必要がある。

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

③ 遮蔽体設置

【開発工程】

■ :計画
 ■ :計画(見直し後)*
 ■ :実績



③ 遮蔽体設置:まとめ

- 遮蔽体追設工法検討の為、2021年度に検討方針および前提条件を整理したうえで遮蔽評価を実施し、中性子線の線量が高い為、遮蔽厚さ削減の為には中性子遮蔽の設置が必要であるという結果を得た。
- 必要な遮蔽厚さを壁300mm(鉄)から200mm(鉄)へ見直し(一部アクセストンネル内台車へ付加)、増設建屋建設工事との干渉を回避できる(クローラクレーンでアクセストンネルユニットの吊り込みが可能な)見通しを得た。PCV内の状況把握後に必要に応じて遮蔽を追加する為、引き続き遮蔽体追設工法の検討を実施した。
- 球状遮蔽体追設案については要素試験による実現性確認が必要と判断した。充填試験における確認項目や監視・測定記録項目について検討し、判定基準として充填率60%と計画し、試験を実施した。
- 要素試験の結果、ブラスト装置およびストレートノズルを用いることで20m先まで球状遮蔽材が充填できることを確認した。また、セル幅は500mmまで充填可能であり、セル内の構造物(補強材)が充填に与える影響がないことを確認した。
- 20m先まで球状遮蔽材を充填できる為、R/B外からの作業が可能であり、作業員被ばくを低減できることを確認した。

④ シールドプラグの解体

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、横取り出し工法に係るアクセス用設備として、アクセストンネル方式等のアクセス用設備の設置の検討を進めてきている。アクセス用設備をPCV接続部に取り付ける為には、先立って、大型でコンクリート等の重量物である既設の機器ハッチ前のシールドプラグ等（シールドプラグ、ブロックアウト）の撤去を行う必要があり、狭隘部における効率的で安全な解体に関する技術の検討、開発が必要となっている。

高線量下での作業を考慮し、遠隔作業によるR/B内の限られたスペースで安全確実に、シールドプラグ等を切断、解体・撤去し、解体物を搬出して廃棄物容器に収納する方法、手順について、ダスト飛散防止、間柱等の強度に必要な構造物の撤去、撤去後の切削部等の平滑化处理、R/B内の床荷重制限を考慮して検討を行う。

次に、切断、解体・撤去装置を試作し、実現性を確認する為の模擬試験体を用いた要素試験により、成立性を確認する。

④ シールドプラグの解体

目次

- 20年度までの検討状況、課題、実施内容、得られる成果
- 検討手順(方針)

- 前提条件の整理
- 開口作業(事故前)および本事業の撤去方針
- 解体手順の検討
- 被ばく評価
- シールドプラグの構造
- 平滑化方法の検討
- 要素試験の目的、試験フロー
- 使用重機、ツール
- 要素試験結果
- 試験結果まとめ

- 開発工程
- まとめ

④ シールドプラグの解体

【20年度までの検討状況】

- 1号機シールドプラグ撤去方法の概略手順、概念検討および概算被ばく線量評価を実施。

【課題】

<1～3号機共通>

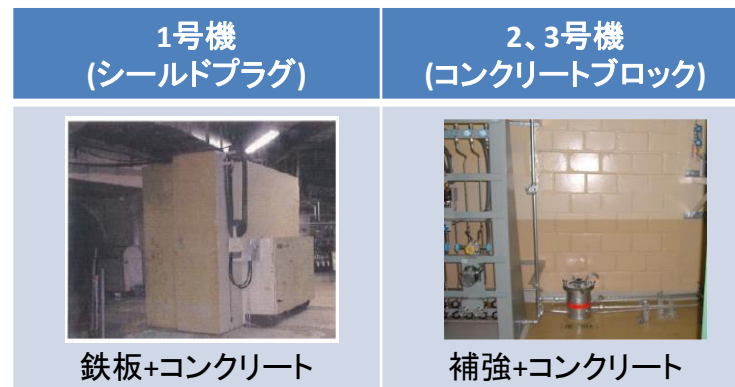
- シールドプラグは**大型の重量物**で撤去が**困難**な為、撤去技術について開発する必要がある。
- 建屋**床面荷重**を考慮した解体装置等の**実現性**。
- 高線量下における**ダスト飛散防止**を考慮した解体方法。
- 大型重量物を細断する為、現場作業量増加による被ばく線量の増加。

<1号機>

- 駆動輪の固着等を考慮したシールドプラグ引き出し方法。
- ライニング材(16mm)を考慮した細断方法。

<2、3号機>

- コンクリートブロック(間柱等を含む)の撤去方法。
- 床面(PCV接続スリーブ設置面)の平坦化処理方法。



解体工法イメージ海外における類似例



ブロック撤去後は凹凸がないように間柱の撤去やモルタルを研る必要がある。

2、3号機床面イメージ

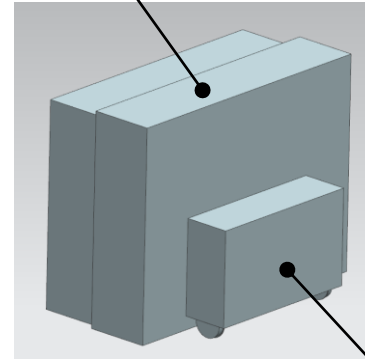
④ シールドプラグの解体

【実施内容】

<1～3号機共通>

- 検討に関わる前提条件を整理する。
- 遠隔作業によるシールドプラグ等の切断、解体、撤去および解体物を搬出して廃棄物容器に収納する方法、手順の検討。ダスト飛散防止方法の検討、床面耐荷重(約4.9ton/m²)を考慮した解体・搬出方法の検討など。
- 切断、解体・撤去装置など必要な装置を試作し、**要素試験を計画、実施してシールドプラグ等の撤去方法の実現性を確認する。**

鉄筋コンクリート



1号機シールドプラグ
鳥観図

PCV接続スリーブと干渉する為、アングルの撤去が必要



コンクリートブロック
撤去後(1F-4 X-1B)

駆動部
鋼製

<1号機>

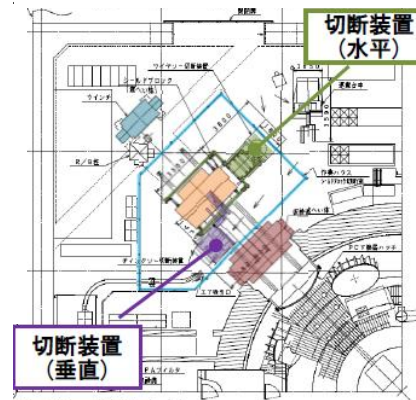
- シールドプラグ引き出し方法の検討
- シールドプラグ遠隔切断装置の検討
- 一体搬出方法の検討(片持ち梁による撤去)

<2、3号機>

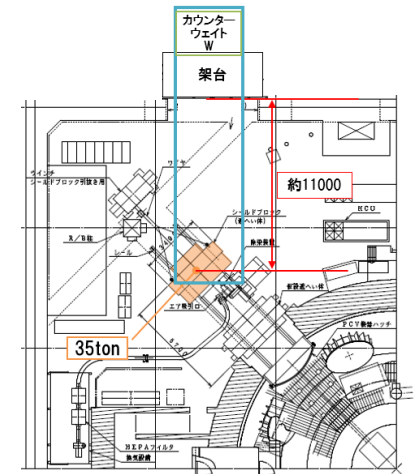
- 遠隔ブロックアウト装置の検討
- 床面の平坦化処理方法の検討

【得られる成果】

- **シールドプラグ等の撤去方法の提示。**



細断工法

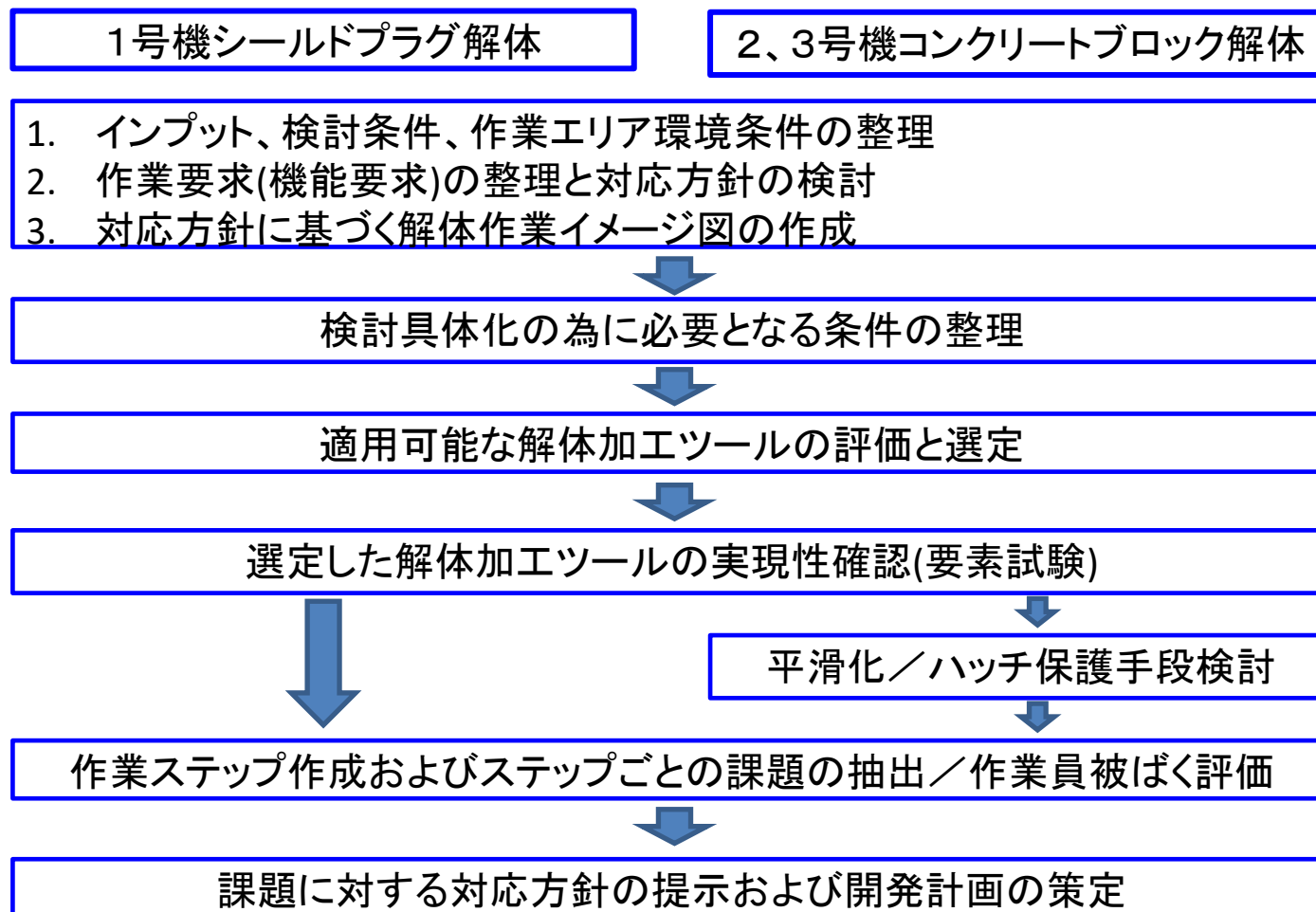


一体搬出工法

1号機シールドプラグ撤去イメージ

④ シールドプラグの解体

【検討手順(方針)】



④ シールドプラグの解体

【前提条件の整理】

1号機はR/Bの北側、2,3号機は南側に設置を計画している。設置対象は全て機器ハッチであるが、1号機はシールドプラグ、2,3号機はブロック壁となる。

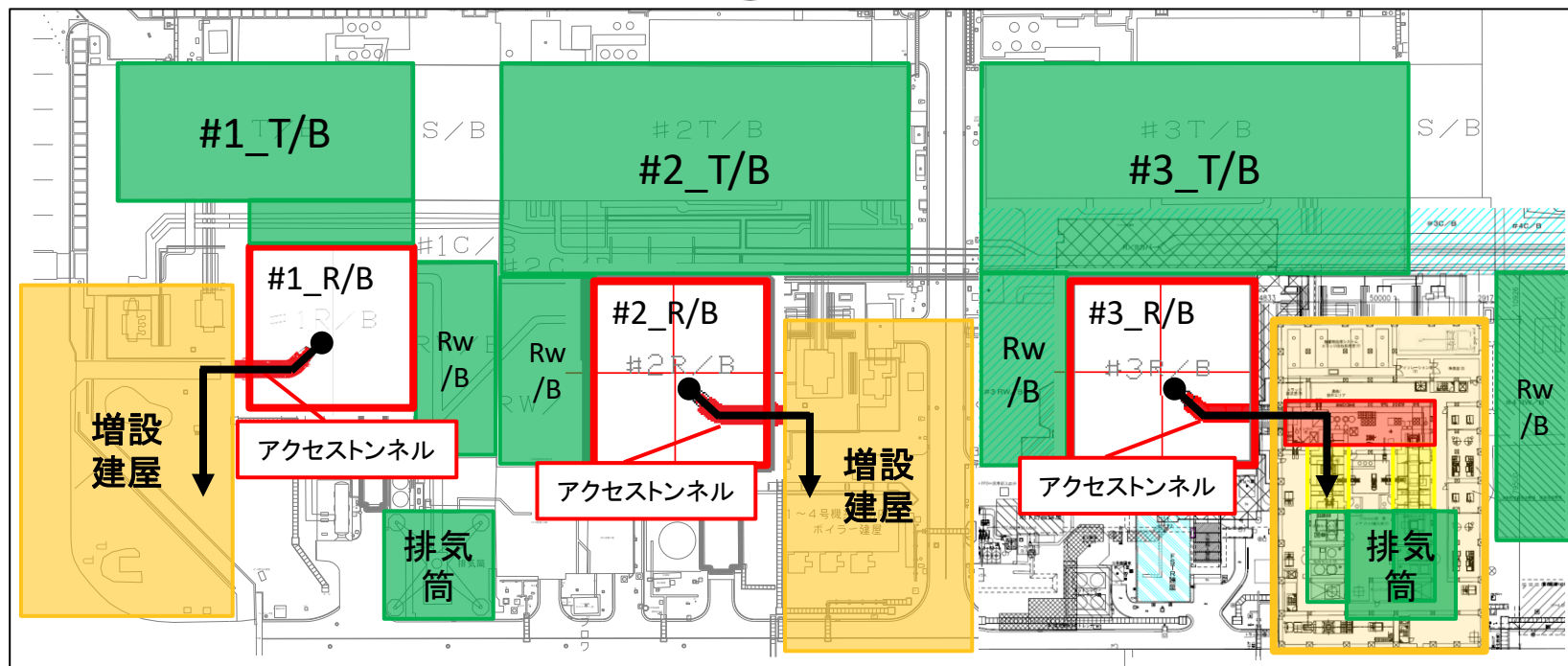
1～3号機アクセストンネル設置案



凡例: R/B

既設構造物

新規構造物



1号機: シールドプラグ



2,3号機: コンクリートブロック (イメージ)

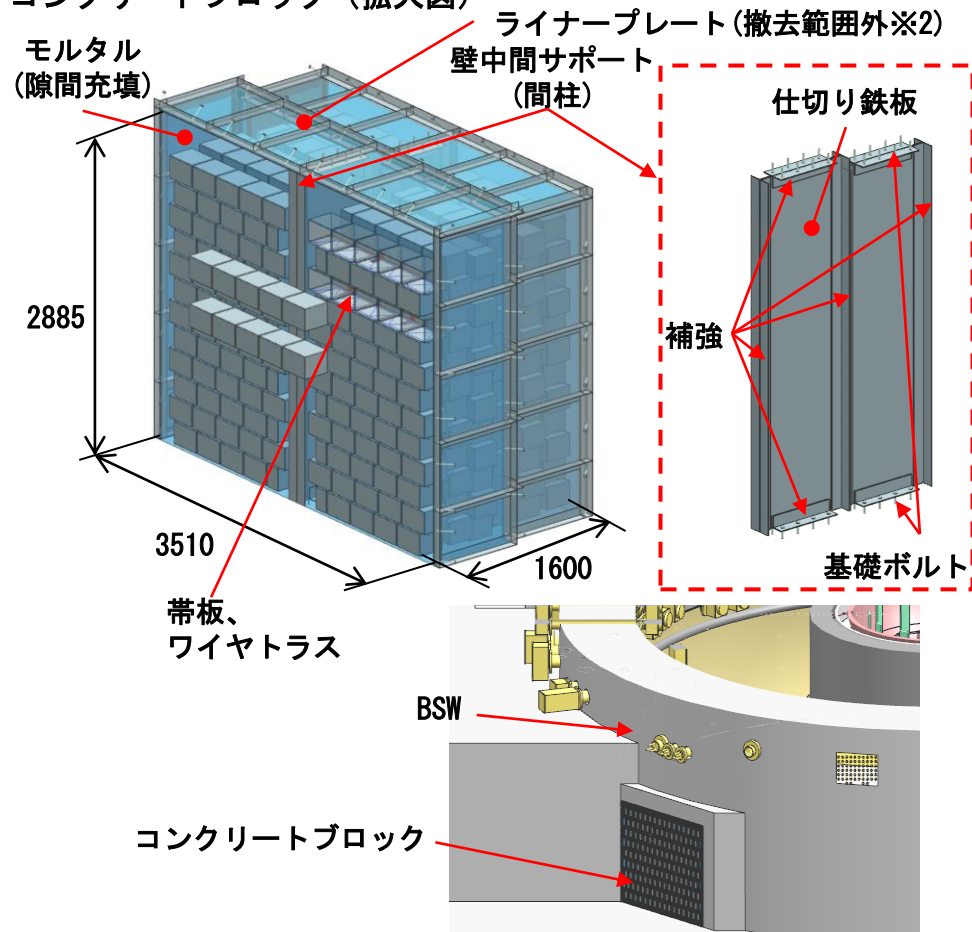


④ シールドプラグの解体

【前提条件の整理(3号機)】

➤ 撤去対象(コンクリートブロック)※1

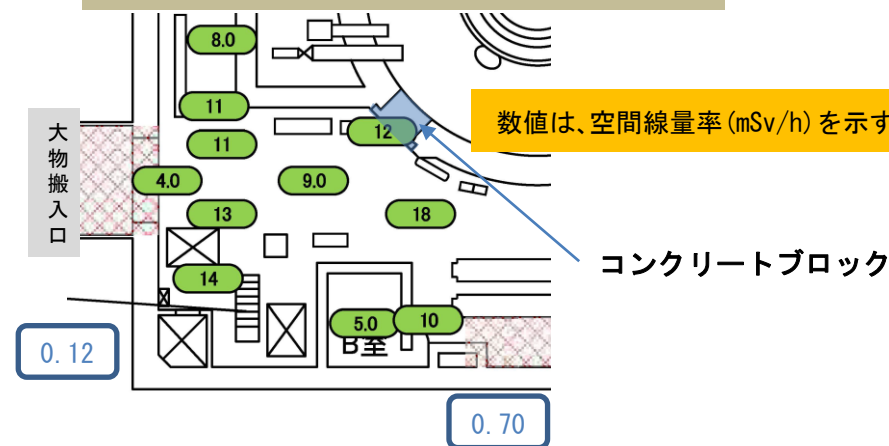
コンクリートブロック (拡大図)



➤ 環境条件※1

項目	仕様
対象	3号機 コンクリートブロック
外寸	W 3510×D 1600×H 2885(mm)
質量	約 36 ton
構成	コンクリートブロック+帯板+ワイヤトラス +壁中間サポート、隙間モルタル仕上
空間線量率	約 18 mSv/h
床耐荷重	約 4.9 ton/m ²
搬出入	R/B 西側(大物搬入口(W4900×H4900mm))
作業高さ	約 4m以下

3号機 R/B1階南西部 (作業エリア) 空間線量率



■ : データ採取期間 : 2020年4月1日~2021年3月31日

□ : 2021年11月24日測定値

※1: 構造や寸法は、他号機の図を参考にしているものもある為推定も含まれる

※2: BSW埋込の為

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

No.272

④ シールドプラグの解体

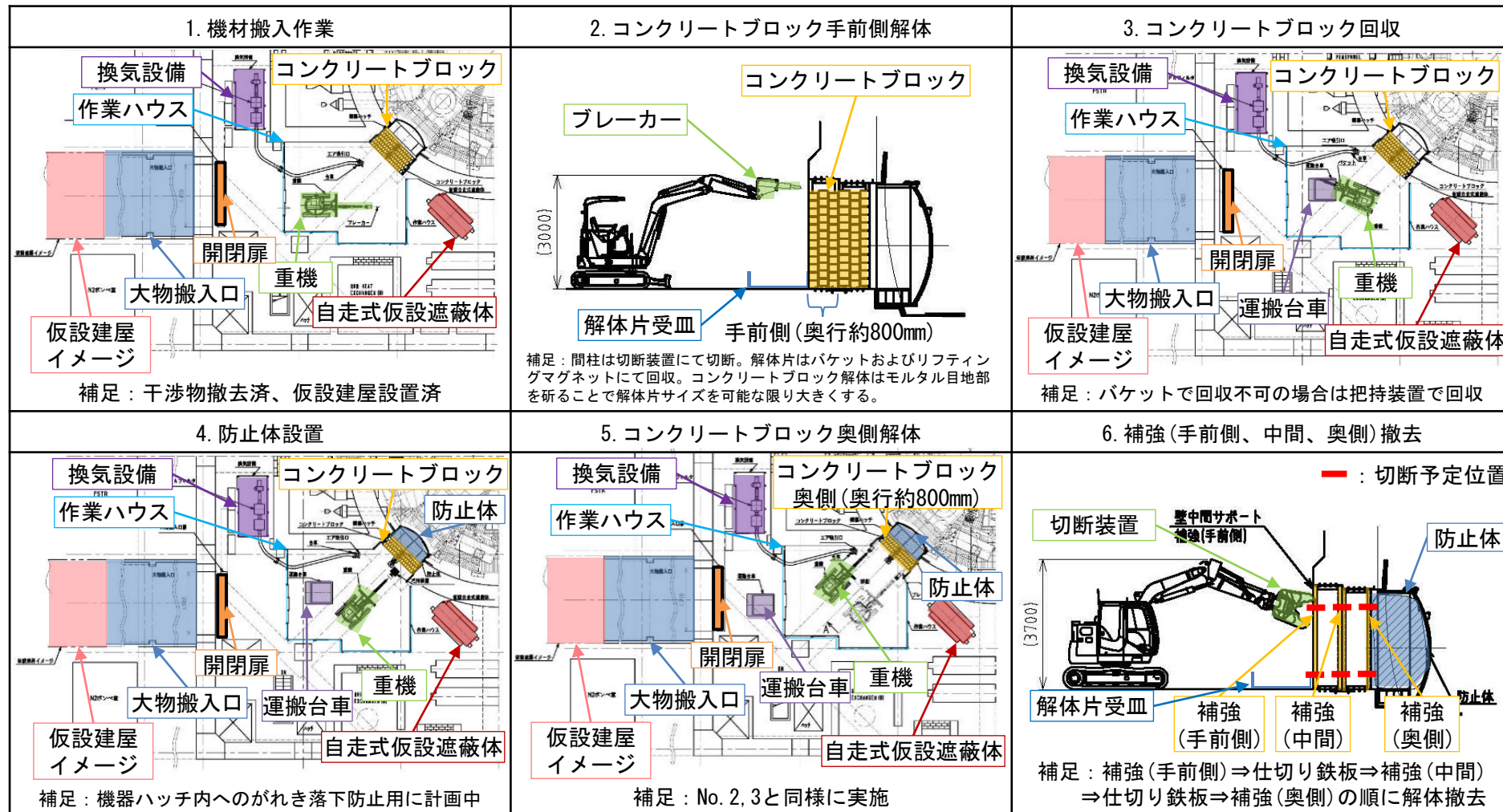
【開口作業(事故前)および本事業の撤去方針】

赤枠部:今回モックアップ試験対象

項目	1号機シールドプラグ	2, 3号機コンクリートブロック
対象の概要	主にコンクリートの一体ブロックであり、通常時は電動にてレール上を走行する。	レンガの様なブロックが積まれており、一部の隙間にモルタルが充填されている。
主な手順 (事故前※) <small>※平成23年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故以前を指す。</small>	<ul style="list-style-type: none"> ● (手段1)電動にて走行させ引き出す。 ● (手段2)モータなどに接続された軸(外部駆動軸)を回転させて引き出す。外部駆動軸は、動力、ブレーキまたはクラッチ(確認中)、車輪止め(確認中)がある。 ● (手段3)ウィンチなどを用いて引っ張る。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 上部のモルタル部をブレーカーで研る。(適宜BSWとブロックの間のモルタルも研る) ② ブロックを破損しない様に取り除く。 ③ 中間サポートを撤去する。 ④ 上下のL型鋼を撤去する。
本PJの撤去方針	外部駆動軸の使用可否を確認し、使用可能であれば外部駆動軸により引き出す。使用できない場合はウィンチにて引き出す。 (注記) ・引き出し前にレール上に異物(レールカバー含む)がないことを確認する。 ・レール上の錆は極力除去する。 ・電動については、使用できないことを想定。	主はブレーカーを用いて解体する。 (注記) ・事故前はブロック(約800個)を再利用する為、破損しない様に慎重に撤去しているが、今回は復旧の必要はない。 ・ワイヤソーなどによる切断も検討したが、奥行がある為使用は困難と判断。

④ シールドプラグの解体

【解体工法の検討(3号機)】解体手順の検討(1/2)

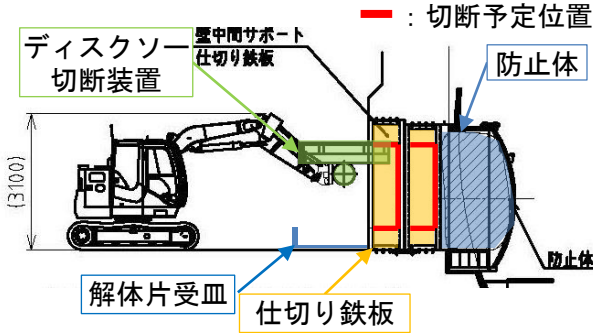
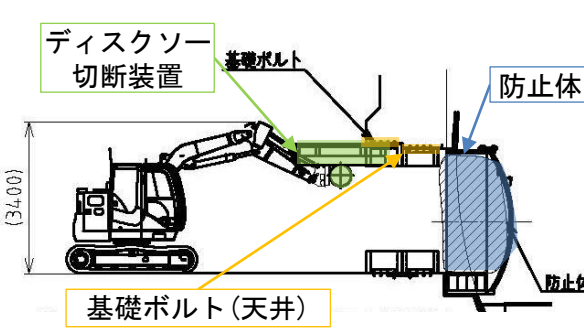
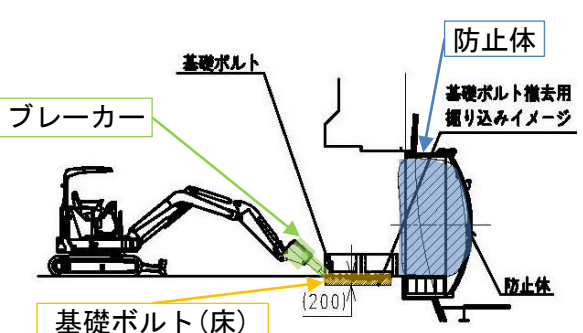
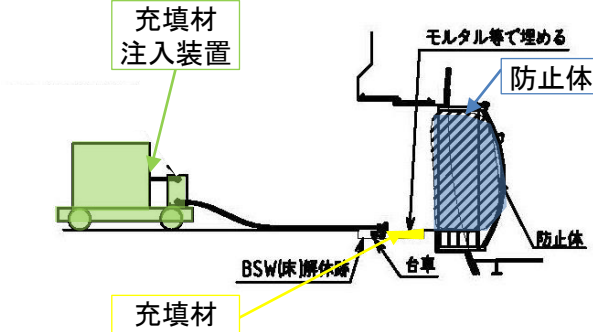
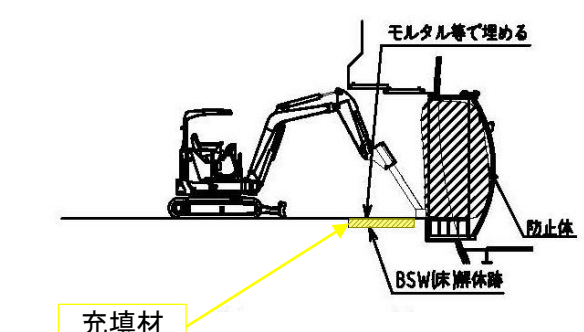
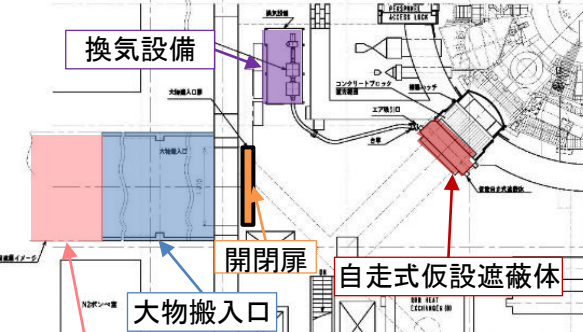


防止体:コアボーリング等を行いブロックに貫通孔を開けて設置する計画である。設置目的は機器ハッチ部の損傷およびPCVとBSWの間への解体片落下防止であるが必要性について議論が必要である。

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

④ シールドプラグの解体

【解体工法の検討(3号機)】解体手順の検討(2/2)

<p>7. 仕切り鉄板撤去</p>  <p>補足：補強(手前側)⇒仕切り鉄板⇒補強(中間)⇒仕切り鉄板⇒補強(奥側)の順に解体撤去</p>	<p>8. 基礎ボルト(天井)撤去</p>  <p>補足：基礎ボルト(天井)撤去に伴い補強(天井)撤去可能</p>	<p>9. 基礎ボルト(床)撤去</p>  <p>補足：床面はつりまたはポリッシャーにて基礎ボルト(床)及び補強(床)撤去可能</p>
<p>10. モルタル注入</p>  <p>補足：本ステップは床面の状況に応じてセルフレベルング材等の充填材を注入する。</p>	<p>11. 平滑化</p>  <p>補足：No10で平滑化できなかった場合は充填材をポリッシャーにて研磨</p>	<p>12. 片付け</p>  <p>補足：機材撤去及び自走式仮設遮蔽体移動</p>

注) 各作業ステップ(1~12)において対象物の状況(線量/状態)を確認し、作業を進める。

④ シールドプラグの解体

【被ばく評価(3号機)】

解体 手順 No.	想定人為作業	作業場所	合計作業時間	環境線量	被ばく線量	人数	被ばく線量
			(hr)	(mSv/h)	(mSv/人)		(mSv)
1	換気設備及び作業ハウス搬入組立、自走式仮設遮蔽体搬入	R/B内	21	11~18	350	4~5	1462
2	加工仕上げツール換装(ブレーカー、切断装置)	仮設建屋	11	0.12	1.32	2	2.64
3	加工仕上げツール換装(バケット、把持装置)		12	0.12	1.44	2	2.88
4	加工仕上げツール換装(穴開け装置、把持装置)		2	0.12	0.24	2	0.48
5	加工仕上げツール換装(ブレーカー、切断装置、バケット、把持装置)		20	0.12	2.4	2	4.8
6	加工仕上げツール換装(切断装置)		3	0.12	0.36	2	0.72
7	加工仕上げツール換装(ディスクソー切断装置、把持装置)、切れ味が落ちたらディスク交換		7	0.12	0.84	2	1.68
8	加工仕上げツール換装(ディスクソー切断装置)		1	0.12	0.12	2	0.24
9	加工仕上げツール換装(ブレーカー、把持装置)		2	0.12	0.24	2	0.48
10	加工仕上げツール換装(ブレーカー、把持装置)		2	0.12	0.24	2	0.48
11	加工仕上げツール換装(平滑化ツール)		1	0.12	0.12	2	0.24
12	加工仕上げツール換装(把持装置、切断装置)		2	0.12	0.24	2	0.48
合計							1477.12

注) R/B内の線量率が高い為、全体の被ばく線量が増加 → 除染をしても下がらない場合、撤去作業と干渉しない場所へ遮蔽体を設置する必要がある。

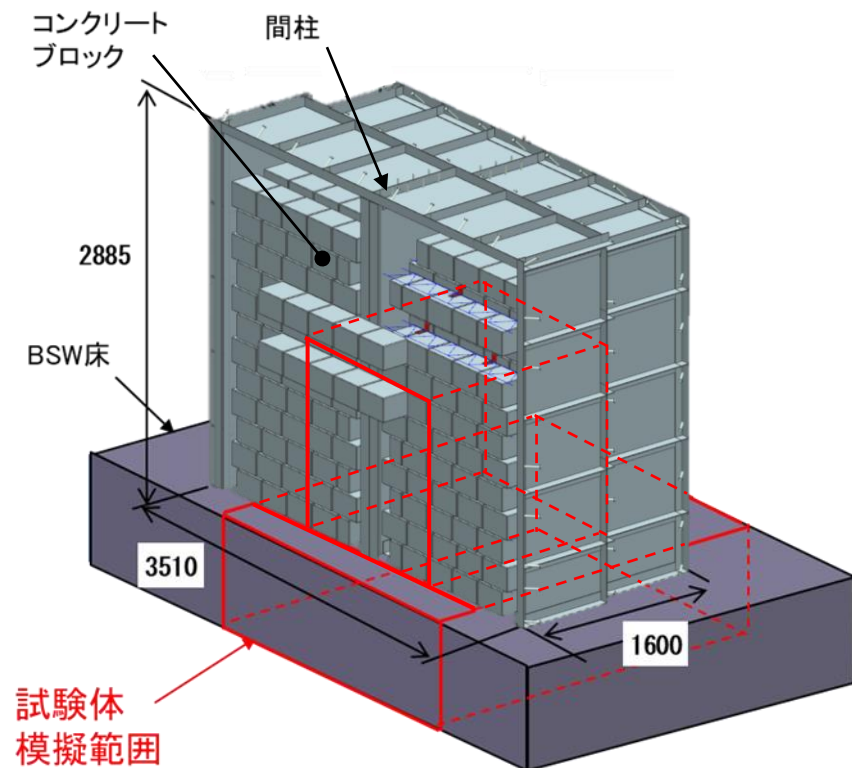
④ シールドプラグの解体

【シールドプラグの構造】

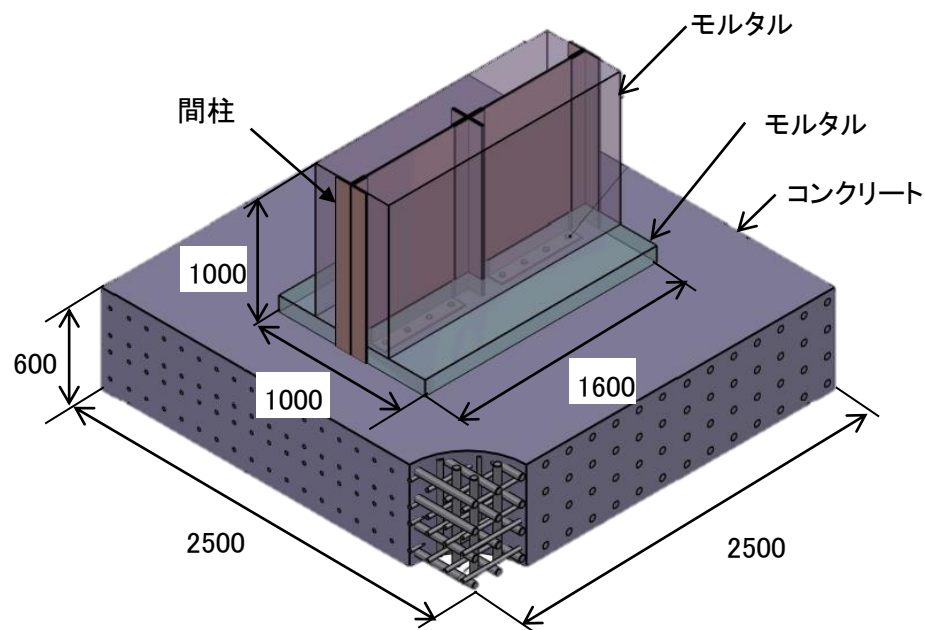
3号機のシールドプラグ構造を示す。

前頁に記載の通り、1号機は電動にて一体化したブロックを引き出す構造となっている。

また、2・3号機はコンクリートブロックが多数積み重ねられた構造になっており、そのうち3号機においては、シールドプラグ中間に金属製の間柱があることから、2号機より解体撤去の難易度が高いと考え、本検討においては3号機シールドプラグの解体撤去をMU試験で実施することとした。



3号機 コンクリートブロック



試験体

④ シールドプラグの解体

【平滑化方法の検討】

コンクリートブロック撤去後、床面にはPCV接続スリーブが設置され、アクセストネルの荷重支持点となる。また、壁面はPCV接続スリーブ設置の為3Dスキャナによる計測点となる。その為、床面および壁面の平滑化(※1)の方法について検討した。

(※1:平滑化:平面かつ水平な状態にすること)

平滑化方法の検討フロー

平滑化方法の検討

平滑化試験

複数の案から、平滑度が高く、実現性のあるものを選定し、試験を実施。

平滑度の測定

複数の試験を実施し、平滑度(平面度、水平度)を測定する。

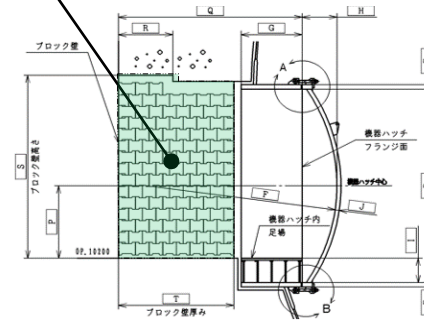
平滑化方法の選定

試験の測定結果から、平滑度のよいものを選定する。

PCV接続スリーブの設計、構造に反映

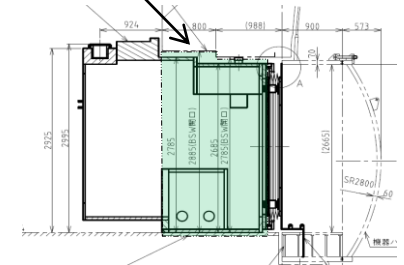
PCV接続スリーブ遠隔設置の為の条件として、設計、構造に反映する。

コンクリート
ブロック



コンクリートブロック撤去前

PCV接続
スリーブ



コンクリートブロック撤去後
(PCV接続スリーブ設置完了状態)

PCV接続スリーブ設置の為、既設のコンクリートブロックを撤去する必要がある。

④ シールドプラグの解体

【要素試験の目的】

要素試験の目的は①シールドプラグの解体撤去(壁面の平滑化含む)と②シールドプラグ解体撤去後の床面の平滑化の2つである。以下に試験項目について示す。

①シールドプラグの解体撤去

下表に試験項目を示す。コンクリートは一般的な手法で撤去可能と考えており、本試験においては間柱へのモルタル付着の程度および付着したモルタルの平滑化※を確認する為、ブロック状のコンクリートではなくモルタル壁で模擬することとした。なお、床面はコンクリートで模擬している。

※PCV接続スリーブ設置の際に基準となる開口壁面へ付着したモルタルを撤去。本試験においては間柱で壁面を代替している。

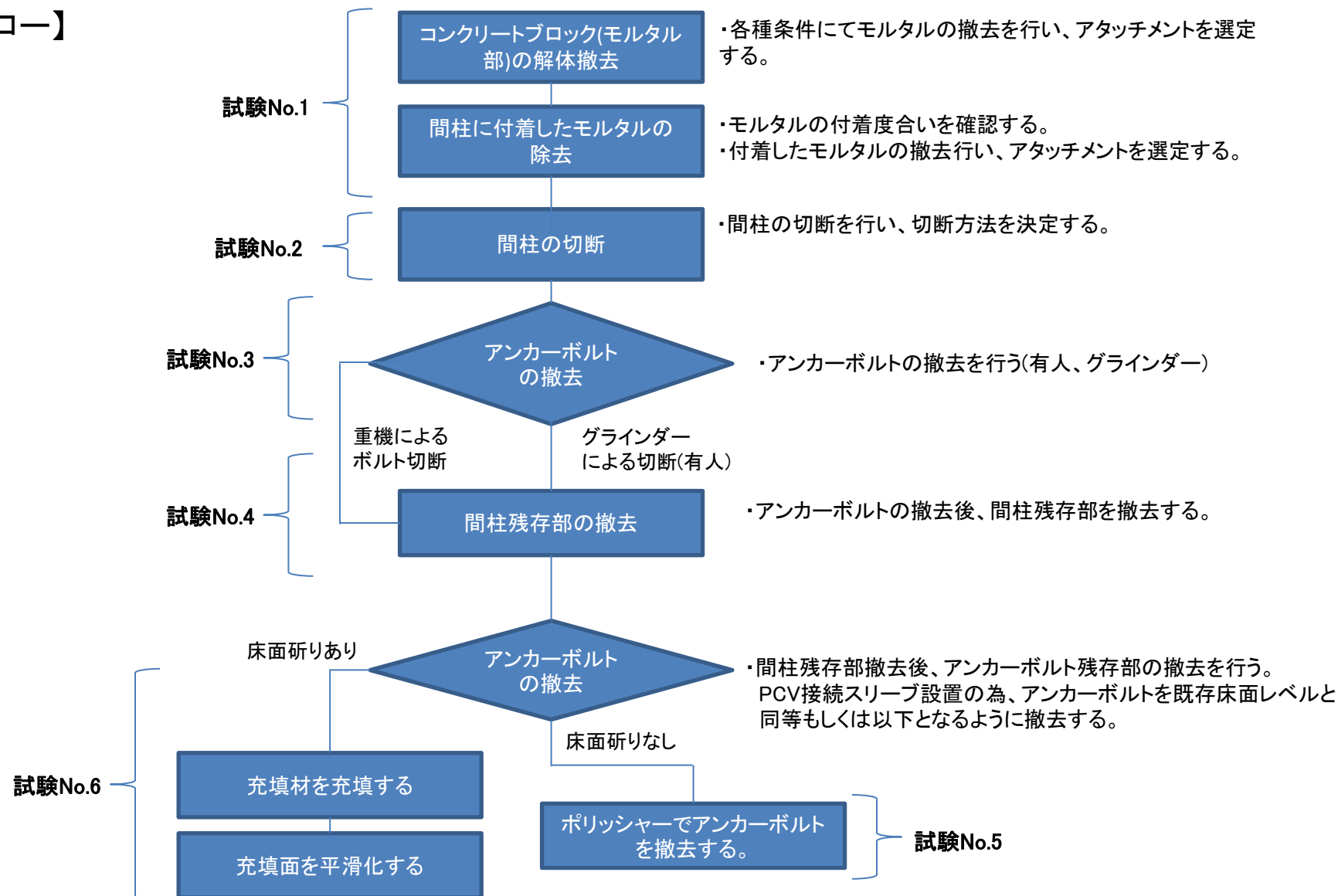
試験項目 (加工対象)	加工仕上げ ツール	確認内容	判定基準(計測・確認項目)
コンクリート ブロック撤去 (金属面へのモルタル付着 を確認する為、試験ではコ ンクリートブロックではなく モルタルで模擬。)	ブレーカー	①ライナープレートに張り付いたモルタルの平滑化可否を確認	モルタルが壁面に著しく付着していないこと。(付着高さ)
		②ブレーカーが仕切り鉄板や補強に衝突した際の影響を確認	有意な変形がないこと。(傷、変形具合)
		③床鉄筋に接触しない程度にコンクリートを研れるかを確認 (コンクリートのかぶり厚さ約40mm)	・鉄筋に接触しないこと。 ・有意な変形がないこと。
間柱 (L100×100×7)	ガジラカッター ブレーカー	ガジラカッターで切断およびブレーカーで研り後の状況を確認。(研りは可能と考えるが、工法選定を考慮し実施。)	残存物(L型鋼)がなく、研りができること。(最大深さ、最大幅)
基礎ボルト	ブレーカー	研り後の状況を確認。※研りは可能と考えるが、工法選定を考慮し実施。	残存物(基礎ボルト)がなく、研りができること。(最大深さ、最大幅)

②シールドプラグ解体撤去後の床面の平滑化

試験項目	仕上げ方法	確認内容	判定基準(計測・確認項目)
床面研り	セルフレベリング材を敷設	ブレーカーで研った試験体(床面)にセルフレベリング材を敷設し、敷設後の傾きなどを確認する。	・床面の傾き ・床面の凹凸
	無収縮モルタルを敷設	ブレーカーで研った試験体(床面)に無収縮モルタルを敷設し、敷設後の傾きなどを確認する。	・床面の傾き ・床面の凹凸
床面研磨	ポリッシャーによる研磨	床面近くまで研った試験体上をポリッシャーにて研磨する。	・床面の凹凸 ・アンカーボルトの研磨量

④ シールドプラグの解体

【試験フロー】



④ シールドプラグの解体

【使用重機】

	実機、MU試験	予備
	3tonクラス	8tonクラス
写真	 <p>日立建機(株) ZAXIS30U-5B ショートルーチ仕様</p>	 <p>日立建機(株) ZAXS75US-5B ショートルーチ仕様</p>
寸法	W 1650×D 4050×H 2540 (mm)	W 2320×D 4820×H 2820 (mm)
仕様	機械質量：3840kg	機械質量：7430kg
	アタッチメント装着可能質量：450kg	アタッチメント装着可能質量：1430kg
	最大作業高さ：4240mm	最大作業高さ：5590mm
	平均接地重量：3.0ton/m ²	平均接地重量：3.8ton/m ²
用途	コンクリートブロック、帯板、ワイヤトラス、モルタル解体撤去 壁中間サポート解体撤去	左記と同じ。 3tonクラスで解体撤去できなかった時の為の予備として準備。

④ シールドプラグの解体

【使用ツール】

重機先端に取り付けるアタッチメントについて以下に示す。

No.	アタッチメント	図	用途	加工/取扱対象	概略仕様(一般)
1	ブレーカー (モイルポイント)		コンクリート破碎用	コンクリートブロック、 BSW(床)	コンクリート、岩盤、硬度床、道路工事
2	ブレーカー (フラットエンド)		コンクリート破碎用	コンクリートブロック、 BSW(床)	コンクリート、岩盤、硬度床、道路工事
3	バケット		コンクリート片等の 回収	全ての解体片	容量(m ³): 0.11
4	大割圧碎機 (ガジラカッター)		鉄板切断/把持回収 用	ワイヤトラス、補強 (L100×100×7mm)、仕切 り鉄板(6mm)	対象: 鉄骨、鉄筋コンクリート

④ シールドプラグの解体

【平滑化材料・ツール】

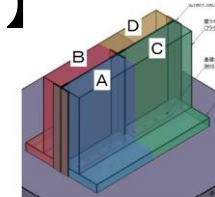
平滑化に使用した材料およびツールについて以下に示す。

No.	ツール	図	用途	加工/取扱対象	概略仕様
1	セルフレベリング材		BSW(床)平滑化用	BSW(床)	無収縮モルタルに比べ、流動性が良いが、強度は低い。(PCV接続スリーブおよびATによる荷重には耐えられる) 打設前に、打設面にプライマーを塗布する必要がある。
2	無収縮モルタル		BSW(床)平滑化用	BSW(床)	セルフレベリング材に比べ、流動性が悪いが、強度は高い。 打設前に、打設面を水で湿潤状態にする必要がある。
3	ポリッシャー		BSW(床)平滑化用	BSW(床)	一般的なコンクリート
4	ブレイカー (フラットエンド)		コンクリート破碎用	コンクリートブロック、 BSW(床)	コンクリート、岩盤、硬度床、道路工事

6. 本事業の実施内容【1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発】

No.283

④ シールドプラグの解体



試験体区分け

【要素試験結果 試験No.1-1～1-4】

シールドプラグ解体撤去の試験結果について示す。

試験体のシールドプラグ部分をA～Dの4カ所に区分けし、それぞれ区分けした部分について異なる重機およびアタッチメントを用いて解体撤去、壁面平滑化、解体片回収を実施した。

No.	加工対象	重機	作業	アタッチメント	結果	備考
1-1	シールドプラグ A部 (モルタル)	3tonクラス重機	解体撤去	ブレーカー(モイルポイント)	解体撤去可能。 ある程度の大きさの解体片は回収可能であるが、粉末上の解体片についてはバケットでは回収不可。(No.1-2～1-4も同じ)	縦5cm、幅1cm、高さ1cm程度のモルタルが残存
			壁面平滑化	—		
			解体片回収	バケット		
1-2	シールドプラグ C部 (モルタル)	3tonクラス重機	解体撤去	ブレーカー(モイルポイント)	解体撤去可能。	モルタルが間柱および床面から剥がれた。
			壁面平滑化	バケット		
			解体片回収	バケット		
1-3	シールドプラグ B部 (モルタル)	3tonクラス重機	解体撤去	大割圧碎機	ある程度までは解体可能であるが、刃が引っかからなくなる為完全に解体撤去はできない。	モルタルが間柱および床面から剥がれた。
			壁面平滑化	バケット		
			解体片回収	バケット		
1-4	シールドプラグ D部 (モルタル)	8tonクラス重機	解体撤去	ブレーカー(モイルポイント)	解体撤去可能。 バケットによる平滑化可能。	モルタルが間柱および床面から剥がれた。
			壁面平滑化	バケット		
			解体片回収	バケット(3ton重機)		

間柱には錆止め塗装をしている為、モルタルが付着しなかった。また、床面はモルタル打ち継ぎ時にレイタンス処理していなかった為、モルタルが付着しなかったものと考えられる。(レイタンス処理※については、床面の平滑化を見る為シールドプラグ下面に掘り込み加工をしなかった)

※レイタンス処理:モルタル打ち継ぎ時に上面に堆積する薄膜を除去する処理。

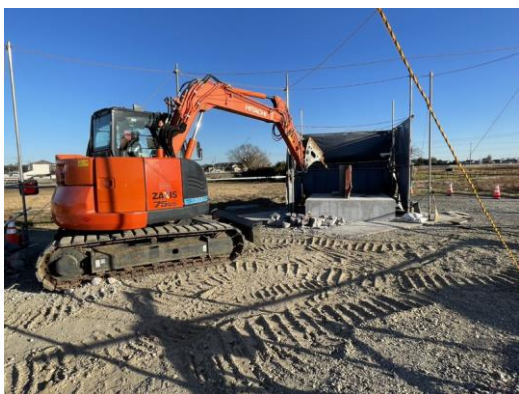
モルタルが間柱および床面から剥がれたケースがあったが、剥がれていないケースでも解体撤去可能であった。

実機においても、金属面(壁面)とモルタルは付着していないか、付着面積は少ないと想定される。
また、付着した場合においてもバケットで平滑化できることを確認した。(次頁に試験結果を示す。)

④ シールドプラグの解体

【要素試験結果 試験No.1-4】

No.	加工対象	重機	作業	アタッチメント	結果	備考
1-4	シールドプラグ D部 (モルタル)	8tonクラス重機	解体撤去	ブレーカー(モイルポイント)	解体撤去可能。 バケットによる平滑化可能。	モルタルが間柱および床面から剥がれた。
			壁面平滑化	バケット		
			解体片回収	バケット(3ton重機)		



8ton重機



解体中

D部
コンクリートブロックの壁部が一体となって剥がれた



試験体上面

床部のみ残存

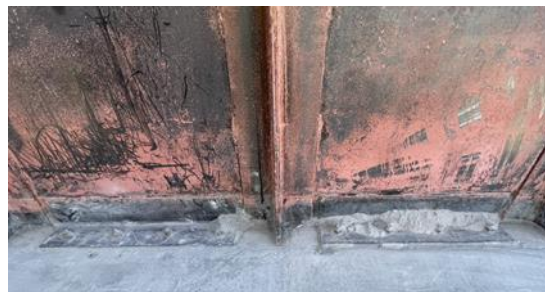


試験体側面 解体完了後

間柱に付着したモルタル



バケットによるモルタル除去



モルタル除去完了

④ シールドプラグの解体

【要素試験結果 試験No.5_床面平滑化】

床面を研らずにポリッシャーのみでアンカーボルトを切削できるかを確認した。

No.	加工対象	床面からのボルト長さ	加工機	結果	判定基準	備考
5-1	アンカーボルト	1mm	ポリッシャー	切削可能	アンカーボルトが床面と高さと同じになること	平滑化に時間を要した為、ボルト周囲の床面が削れた。ただし、時間を掛ければ切削自体は可能である。
5-2		2mm		切削可能		
5-3		3mm		切削可能		
5-4		4mm		切削不可		



ポリッシャー全景

ポリッシャー仕様
 ・ライナックス社 KLX-38
 ・質量約100kg
 ・200V
 ・コンクリート、モルタルの研削や目荒らしに使用。



ポリッシャーによる平滑化作業



ポリッシャー(刃面)



No.5-4 加工前



No.5-4 加工後

床面からのボルトが3mm以下であればポリッシャーで切削可能であることを確認した。

④ シールドプラグの解体

【要素試験結果 試験No.6_床面平滑化】

平滑化の為の充填材充填の準備の為、ブレーカーで床面を研り、研った面に充填材を充填した。平滑化の結果を次頁に示す。

No.	平滑化対象	重機	作業	充填材
5-1	コンクリート床面(約900mm×900mm×深さ40mm)	3tonクラス重機	床面研り	セルフレベルング材
5-2	コンクリート床面(約1200mm×600mm×深さ40mm)	3tonクラス重機	床面研り	無収縮モルタル



床面研り前



床面研り後
(解体片撤去前)



床面研り後
(解体片撤去後)



無収縮モルタル充填中



充填完了(充填直後)



充填完了
(1週間乾燥後)

④ シールドプラグの解体

【要素試験結果 試験No.6_床面平滑化】

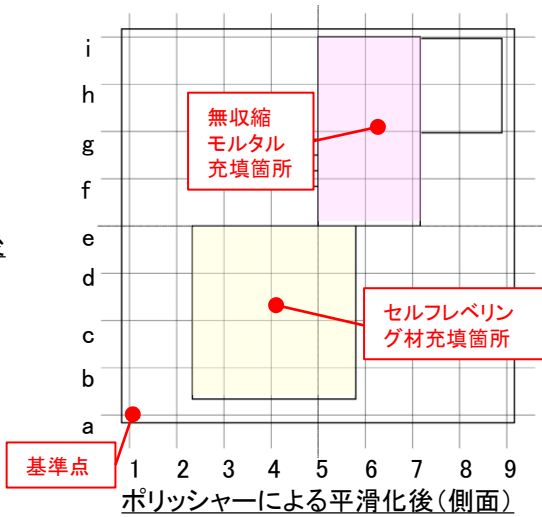
試験体を300mmピッチで測定(81点)し、計3回測定を実施した。測定点は下図に示す交点部分である。充填材を充填後、1週間乾燥期間を設けた後に測定を行い、その後、充填材を充填した箇所に対し、ポリリッシャーによる研磨を行い、見た目が平滑になっていることを確認した後、測定を実施した。



ポリリッシャーによる平滑化後



測定の様子



平滑化前測定結果

i	-3.1	-2.8	-2.5	-3.1	-3.3	-4.1	-4.3	-1.7	-4.1
h	-2.3	2.1	2.3	-0.2	-1.9	-3.0	2.7	1.9	-1.8
g	-2.5	2.4	3.4	0.4	-2.4	0.2	-0.6	3.2	-1.0
f	-2.2	2.2	4.7	0.3	-2.5	0.0	3.6	3.5	-1.7
e	-0.5	3.1	5.1	4.7	5.4	2.2	4.4	4.8	-1.1
d	-0.9	3.8	6.0	5.8	5.7	1.5	5.6	5.9	-0.7
c	-1.4	4.1	6.1	6.0	5.6	0.9	3.0	4.8	-0.9
b	-0.7	2.4	6.1	6.0	5.7	2.9	2.9	2.9	-0.8
a	0.0	1.2	2.5	2.0	2.5	1.6	1.6	3.3	-0.5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

平滑化後測定結果

i	-1.6	-1.2	-0.7	-1.2	-1.5	-1.8	-2.0	0.8	-1.6
h	-1.0	3.5	3.7	1.1	-1.3	-1.9	-0.7	2.8	-0.3
g	-1.4	3.5	4.6	1.3	-1.6	0.4	0.0	3.5	0.6
f	-1.2	3.2	5.8	1.0	-3.1	0.8	3.1	4.3	-0.3
e	0.3	3.8	4.3	0.4	0.9	2.2	5.2	6.1	0.3
d	-0.3	3.9	3.0	1.1	2.0	2.2	6.5	7.1	0.4
c	-1.0	2.3	3.2	2.2	1.6	1.3	3.9	5.8	0.3
b	-0.5	1.5	0.8	0.6	0.7	2.9	3.8	3.9	0.2
a	0.0	1.3	2.7	2.2	2.8	1.9	2.1	3.9	0.1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

充填材	充填材のみ				充填材+ポリリッシャー				結果
	平均値	最大	最小	最大-最小	平均値	最大	最小	最大-最小	
セルフレベリング材	+5.7mm	+6.1mm	+4.7mm	+1.4mm	+1.7mm	+4.3mm	+0.7mm	+3.6mm	<ul style="list-style-type: none"> ・充填材のみの方がバラつきが少ない。(均等に広がる) ・ポリリッシャーで充填材と既存床面の境目を平滑化する際、既存床面も研磨されてしまう。 ⇒ポリリッシャーの研磨高さを調整する機構があれば、より平滑化できる見込み。
無収縮モルタル	-1.3mm	+3.6mm	-4.3mm	+7.9mm	-0.8mm	+3.1mm	-3.1mm	+6.2mm	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリリッシャー研磨前後とも、充填面に凹凸があり、測定値にバラつきがある。(均等に広がらない) ・セルフレベリング材と同じく、境目を研磨する際の課題がある。

均等に広がり、ポリリッシャーによる研磨前でも平滑化効果のあるセルフレベリング材の適用見通しを得た。
 また、ポリリッシャーに高さ調整機能を設けることで、さらに平滑化できる見通しを得た。
 PCV接続スリーブ構造への反映については、設置前に3D計測を行い、床面形状を把握し、シム調整等を行う。

2. アクセス用設備の設置工法の開発

2.3 シールドプラグの解体

【試験結果まとめ】

試験No.1:コンクリートブロック(モルタル)の解体撤去

- ・コンクリートブロック(モルタル)は、今回試験を実施した手法を組合せることで撤去可能な見通しを得た。
⇒3tonクラス重機+ブレーカーを主案として解体を実施する。
- ・モルタルと金属が想定よりも付着していなかった。
⇒バケットで付着していた部位の除去が可能であった為、実機で付着度合いが大きい場合でも除去可能と考える。
- ・モルタルとコンクリートの付着については、レイタンス処理の有無により付着度合いが変化した。
⇒モルタルの付着度合いに応じてポリッシャーでの平滑化を実施する。モルタルの付着がなく平滑であれば研磨不要。
- ・モルタル解体片の回収については、バケットを用いて大きい塊状の解体片であれば本試験で準備したツールで回収可能であった。
⇒小型や粉末状の解体片は吸引回収を行う。

2. アクセス用設備の設置工法の開発

2.3 シールドプラグの解体

【試験結果まとめ】

試験No.2: 間柱の解体撤去

- ・大割圧碎機による間柱の切断は水平切り、三角切りの2種類の切断方法いずれも切断可能であった。
⇒三角切りの方が切断効率がよい為、三角切りを主案とする。ただし、間柱上部を切断する際には重機 アクセス範囲および姿勢の観点から、三角切りが適用できない箇所も発生することが想定される。その場合には水平切りを組合せた切断手法とする。
- ・間柱の前方、中間、後方に設置されている厚さ6mmのL鋼部分の切断が困難であったが、繰り返し切断することでL鋼の溶接部分が破断し解体撤去できた。
⇒L鋼の溶接部分はピッチ溶接と想定しているが、実機での溶接方法は不明である。今回よりも出力の大きいアタッチメントの準備も必要である。
- ・切断後の解体片のバケットによる回収については、大きい解体片(L鋼等)については回収可能であったが、小さい解体片(数cm程度の金属)のものは回収不可であった。
⇒小型の解体片には、リフティングマグネット等の適用が考えられる。

2. アクセス用設備の設置工法の開発

2.3 シールドプラグの解体

【試験結果まとめ】

試験No.3: アンカーボルトの切断

- ・アンカーボルトの切断はグラインダー、チップソーの適用を考えているが、ブレーカーや大割圧砕機でも可能であった。
⇒グラインダーやチップソーを使用する場合には、火気対策を実施する。

試験No.4 間柱残存部撤去

- ・間柱底部の撤去については、アンカーボルトを切断し大割圧砕機で把持して撤去することが可能なことを確認した。

試験No.5: 床面平滑化、アンカーボルトの切断

- ・ポリッシャーにより、3mm以下アンカーボルト残存部の切断が可能であった。
⇒本試験では汎用のポリッシャーを使用したがる、刃を変更すれば残存部高さの許容値を高くできる可能性はある。

2. アクセス用設備の設置工法の開発

2.3 シールドプラグの解体

【試験結果まとめ】

試験No.6: 床面平滑化

- ・セルフレベルリング材とポリッシャーを組合せることで、床面を平滑にできる見通しを得た。
 - ⇒無収縮モルタルは粘性が高く、慣らす作業が必要となる為遠隔作業には向かないと判断。また、床面モルタルが剥離しやすく研り作業が少ない場合には、ポリッシャーのみでも平滑化が可能と考えられる。
 - ⇒今回は汎用品のポリッシャーで試験を実施し為、高さ位置の制御ができなかった。実機では治具等でポリッシャー研磨面の高さを制御しながら実施する。

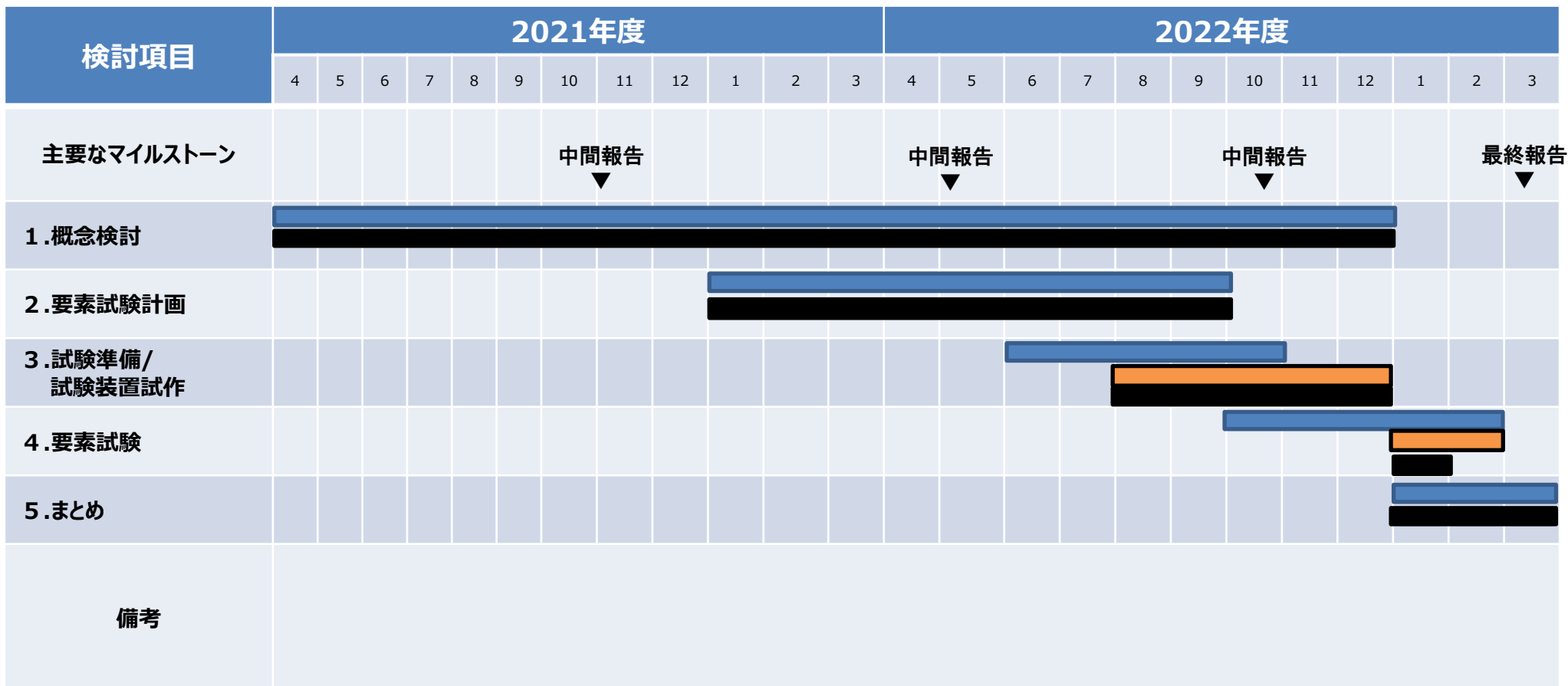
なお、床面平滑後に、3Dスキャンなどで床面の傾きや凹凸を計測し、PCV接続スリーブの着座面の事前調整に反映する計画である。(調整方法の例:PCV接続スリーブ底面へのシム取付など)

6. 本事業の実施内容 【 1)(1)アクセス用設備の設置工法の開発 】

④ シールドプラグの解体

【開発工程】

■ :計画
 ■ :計画(見直し後)*
 ■ :実績



④ シールドプラグの解体

- 1号機シールドプラグおよび2、3号機コンクリートブロック解体方法について、2021年度に検討方針および前提条件を整理し、解体撤去手順の概略検討を実施。解体手順を整理した。各方法に対する課題抽出と概算被ばく線量評価を実施した。
- 使用重機やツールを具体化し、コンクリートブロック等の加工対象について加工可否を検討した。平滑化方法の検討も含めて試験の必要性を評価し、試験計画を立案(試験項目・確認内容・判定基準を整理)した。
- 上記試験計画をもとに要素試験を実施し、3号機コンクリートブロックについて、今回試験を実施した手法を組合せる(3tonクラス重機+ブレーカー)ことで撤去可能な見通しを得た。また、試験結果から実機適用に向けた課題を抽出し、整理した。

6. 本事業の実施内容

1) 横取り出し工法の開発

(2) 解体・撤去技術の開発

① HVH解体

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、干渉物の解体・撤去等の開発を進めている。これまでの開発において、PCV内のペDESTAL外部での遠隔装置を使用した配管の切断やユーティリティ（ホース類）の設置作業などの実現性を確認する技術開発を実施した。

この開発は、ペDESTAL外部に設置されている機器の中でも大型のHVHを撤去し作業エリアを確保することにより、燃料デブリ取り出しのスループット向上、ペDESTAL地下階の燃料デブリや堆積物撤去の作業性向上に繋げるものである。また、HVH上部には、重量物（数百キロ）のモータが設置されており落下防止を図った解体技術が必要である。HVHの解体、撤去の要求事項について、ペDESTAL外に存在するグレーチング、その他の機器等の障害物の影響も考慮した要求事項の検討、整理を行った上で、これまでに開発してきた遠隔解体機器、装置による解体・撤去について、限られたエリアでの遠隔作業を考慮した模擬試験体による要素試験を計画、実施し、具体的な切断／回収方法について実現性を確認する。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

① HVH解体

目次

- 横アクセス工法に関するこれまでの開発成果と本事業との関連
- 課題、実施内容、得られる成果

- HVH解体ロボットの主な仕様
- HVH解体撤去作業に関わるロボット及び装置類
- HVH解体撤去作業に関わる切断ツール
- HVH解体撤去作業に関わる要素試験模擬範囲
- 要素試験における確認内容
- 要素試験結果
- 課題

- 開発工程
- まとめ

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

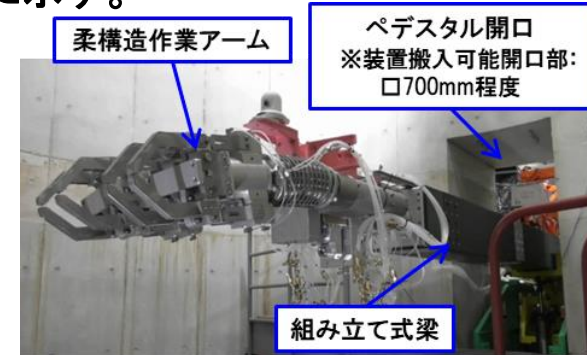
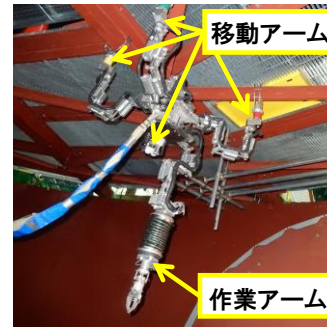
① HVH解体

横アクセス工法に関し、これまでの開発成果と本事業との関連について以下に示す。

基盤技術高度化(2017-18年度実施)

【基本的な切断・回収等作業の実現性確認】

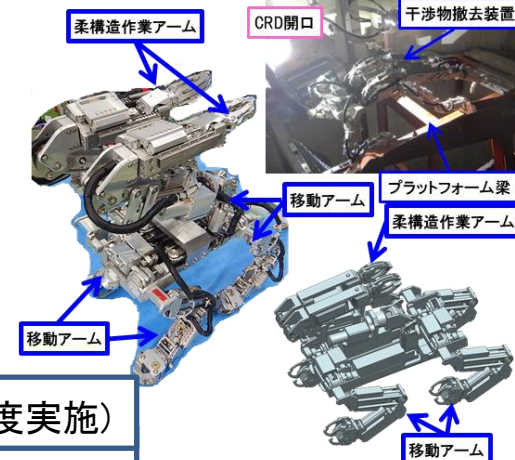
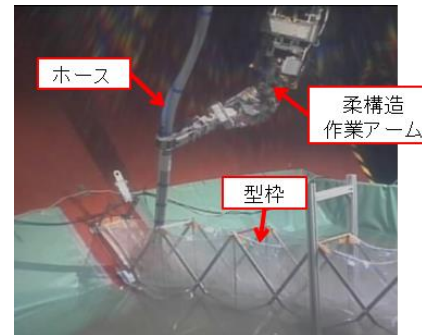
- PCV内(ペDESTAL外)地下階干渉物撤去方法
- ペDESTAL内干渉物撤去方法(組立式梁方式)
- S/Cへの汚染拡大防止方法(堰設置方式を選択)



取り出し規模の更なる拡大(2019-20年度実施)

【課題を踏まえた対応策の検討】

- PCV内ユーティリティライン構築方法
- ペDESTAL内干渉物撤去方法(小型装置方式)
- 汚染拡大防止堰の設置方法(型枠分割搬入方式)



今回実施

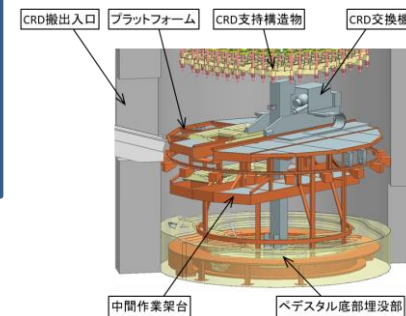
【実機を見据えた実現性検証】

- ペDESTAL外大型干渉物(HVH)解体
- ペDESTAL内大型干渉物(CRD交換機)解体
- ポンプピット内干渉物撤去方法

東京電力HD委託(2020-21年度実施)

【HVH解体の概念検討】

- 前提条件の整理
- HVH解体手法の概念検討
- 課題の抽出



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

① HVH解体

【課題】

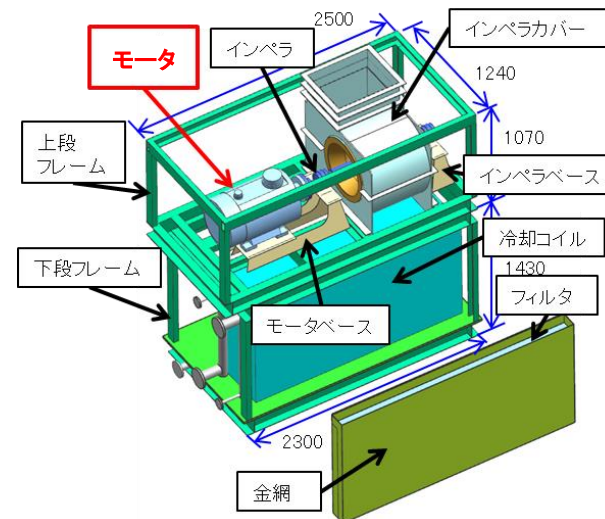
- HVH内部には、床上1.5m程度の位置に重量物(数百キロ)のモータが存在し、落下防止を図った撤去が困難である為、**落下防止を考慮したHVHの解体技術の開発が必要。**

【実施内容】

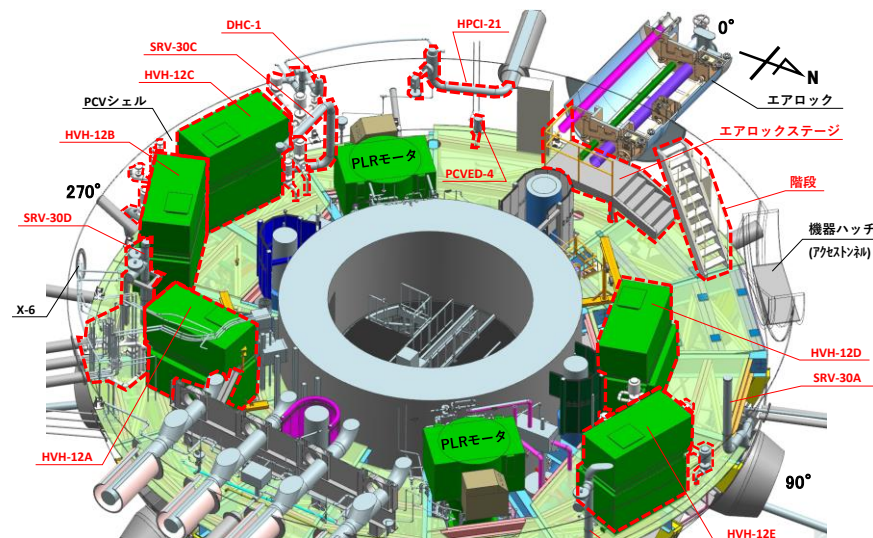
- HVHの解体、撤去の要求事項について、ペDESTAL外に敷設されているグレーチング及びその他機器等の障害物による影響を考慮し、要求事項を検討し整理する。
- HVHの解体を行う遠隔装置及び切断・回収を行う機器について、**要素試験を計画・実施し、具体的な解体・撤去の方法の実現性を確認**する。
- これまでに開発した遠隔装置及び装置開発・製作過程で得た知見を活用し、装置等の適用性の検討を行う。
- HVHへ**装置がアクセス及び解体作業を行う際に干渉となる機器の切断・撤去の成立性を確認**する。

【得られる成果】

- **HVH撤去方法の提示。**



HVHの内部構造の概要 (1F-1)



PCVグレーチング上撤去対象物の状況 (1F-1)

① HVH解体

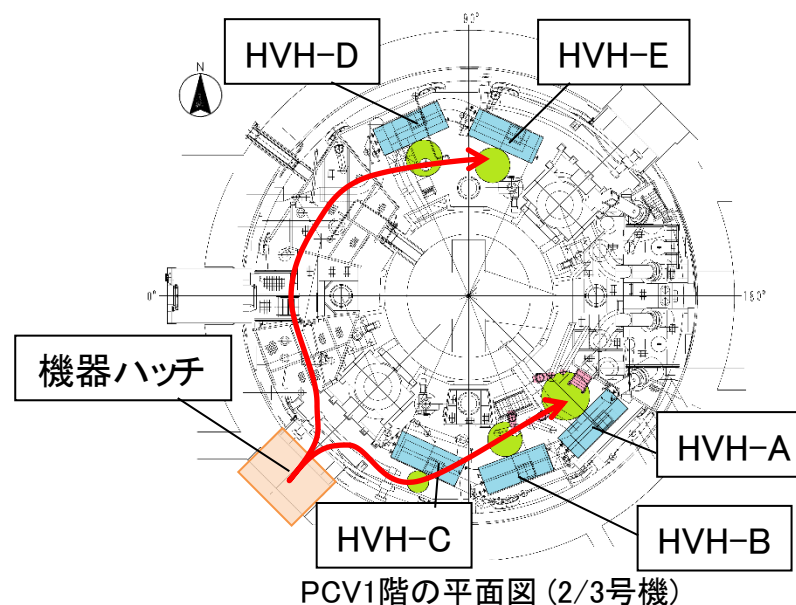
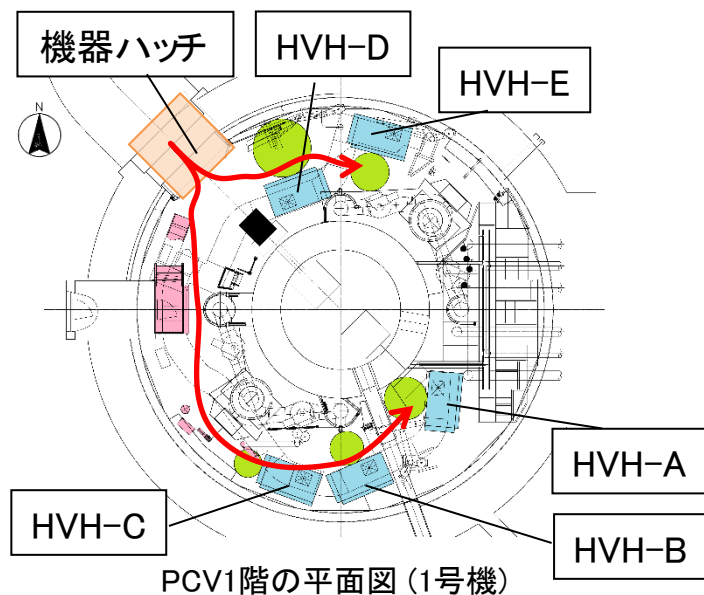
➤ 前提条件の整理

1,2/3号機のHVHから試験対象のHVHを選定する為、
下記(1)～(3)を比較し、HVHの解体難易度を評価する。

- (1)HVHまでのアクセス性
- (2)作業スペース
- (3)搬出作業の成立性

ただし、総合評価が同着だった場合、作業スペースに関わる評価項目の解体難易度を優先する。

(アクセス性に関わる課題は、これまでの開発で実施した試験の実績を適用できる為。)



- 作業スペース
- HVHを解体する際に撤去する干渉物
 - ・MSドレン配管
 - ・真空破壊弁
 - ・ステージ
 - ・階段
 - ・盤
 - ・サポート
- ➔ アクセスルート例

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

① HVH解体

■ 前提条件【対象HVHの選定】

➢ 1,2/3号機のHVH-A～Eまでの評価結果を以下に示す。

【凡例】難易度:難(×)、易(○)

No.	号機	HVH番号	HVHまでのアクセス性			作業スペース		搬出作業の成立性		総合評価 難易度:高・中・低 (評価結果×の数) (*)
			ルート長さ	曲道の数	撤去が困難な 干渉物の数	ロボットの 作業位置 (*)	HVH解体時の 作業スペースの φ800に対する比率	HVH撤去時の 作業スペースの φ800に対する比率	搬出に悪影響な 段差・坂の数	
1	1	HVH-A	約21 m【×】	3箇所【×】	0箇所【○】	長【○】	2.2【○】	2.2【○】	0箇所【○】	難易度:高(×:2)
2		HVH-B	約18 m【○】	2箇所【×】	0箇所【○】	長【○】	1.8【○】	1.8【○】	0箇所【○】	難易度:中(×:1)
3		HVH-C	約13 m【○】	1箇所【×】	0箇所【○】	短【×】	1.5【○】	1.5【○】	0箇所【○】	難易度:高(×:2)
4		HVH-D	約4 m【○】	0箇所【○】	0箇所【○】	長【○】	3.0【○】	3.0【○】	0箇所【○】	難易度:低(×:0)
5		HVH-E	約7 m【○】	0箇所【○】	0箇所【○】	長【○】	2.0【○】	2.0【○】	0箇所【○】	難易度:低(×:0)
6	2 / 3	HVH-A	約12 m【○】	0箇所【○】	0箇所【○】	長【○】	2.6【○】	2.6【○】	0箇所【○】	難易度:低(×:0)
7		HVH-B	約10 m【○】	0箇所【○】	0箇所【○】	長【○】	1.9【○】	1.9【○】	0箇所【○】	難易度:低(×:0)
8		HVH-C	約5 m【○】	0箇所【○】	0箇所【○】	長【○】	1.2【×】	1.2【×】	0箇所【○】	難易度:高(×:2)
9		HVH-D	約15 m【○】	1箇所【×】	0箇所【○】	長【○】	2.0【○】	2.0【○】	0箇所【○】	難易度:中(×:1)
10		HVH-E	約18 m【○】	2箇所【×】	0箇所【○】	長【○】	1.9【○】	1.9【○】	0箇所【○】	難易度:中(×:1)
基準値または 平均値			約20 m	0.9箇所	0箇所	—	1.5	1.5	0箇所	—

難易度:高のHVHのうち、作業スペースに関わる評価項目を優先し、
1,2/3号機HVH-Cの解体撤去作業の難易度が高いと評価した為、1,2/3号機HVH-Cを対象HVHと選定する。

① HVH解体

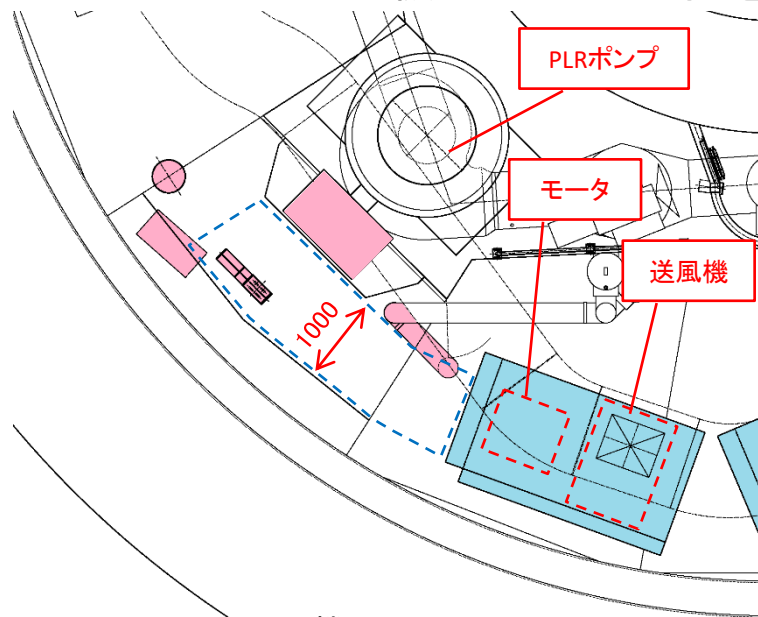
➤ 対象となるHVHと要素試験の方針

試験対象として選定した1号機HVH-C及び3号機HVH-Cの配置を以下に示す。

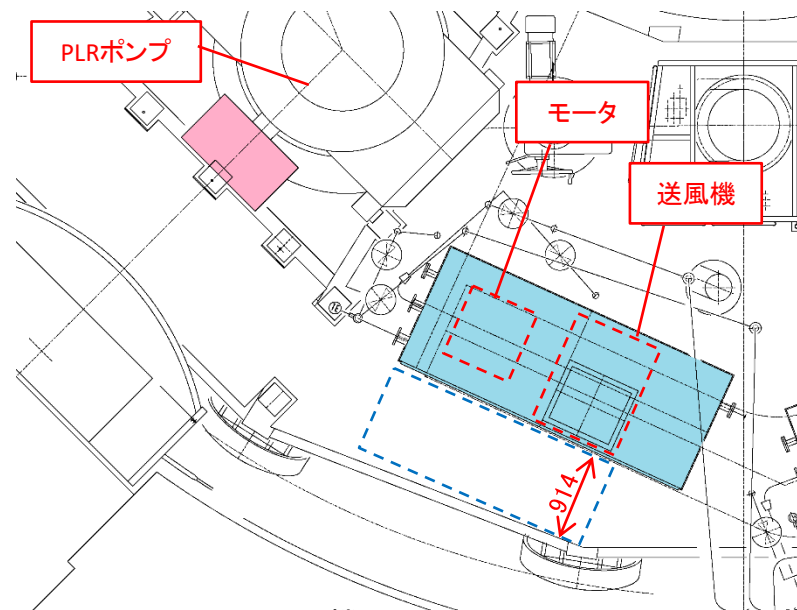
前ページで評価したように、3号機HVH-Cのロボット作業位置は長辺側であり他のほとんどのHVHと同様の条件である為代表とする。

一方、1号機HVH-Cのみロボット作業位置は短辺側になる為、複数のロボットや装置を組合せた作業をする際は他のHVHと作業内容が異なる。

その為、要素試験では3号機HVH-Cの配置を基本として実施する。ただし、複数のロボットや装置を組合せるステップは1号機HVH-Cの配置を再現して実施する。



1号機 HVH-Cの配置

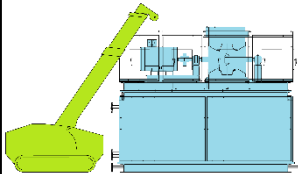
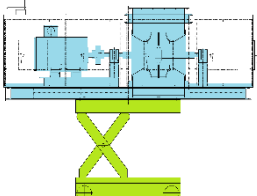
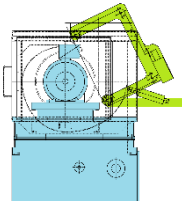


3号機 HVH-Cの配置

① HVH解体

➤ HVH解体撤去方法の選定

検討した撤去方法とその特徴を以下に示す。

No.	手法	概略	メリット	デメリット	評価
①	<p>吊り上げ手法</p> 	<p>高所でHVHから重量物の切り離し作業を実施し、ラフタークレーン等を用いて重量物を吊り上げて撤去する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • HVHより少し離れた位置からラフタークレーンのブームを伸ばして揚重を行う為、HVH近傍で作業するロボット・装置の作業スペースを確保できる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 送風機を揚重する場合に、HVH上部のダクトとブームが干渉する為、ダクトの切断作業が必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> • ラフタークレーンのアウトリガを展開するスペースを確保できれば適用可能と判断する。 →図面上、スペースを確保可能。 • 図面上、ダクトの切断作業は可能と判断する。
②	<p>持ち上げ手法</p> 	<p>ハンドリフター等を上段送風機ユニットの下部に設置し、一度、重量物の位置を下げ、低所でHVHから重量物の切り離し作業を実施し、ラフタークレーン等を用いて重量物を吊り上げて撤去する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 高所での作業を減らせる。 • No.①吊り上げ手法のデメリットである、ダクトを切断する必要がない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 上段送風機ユニットが残存する状態で、下段冷却コイルユニットの撤去が必要になるが、HVHの長辺側の両側で作業を行う必要がある為、HVHの配置によっては成り立たない。 • ハンドリフター等を設置後に、ハンドリフター等が干渉し、下段冷却コイルユニットの撤去ができない可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> • 図面上、作業スペース等の問題からデメリットの解決案がなく、適用できないと判断する。
③	<p>切断(細断)手法</p> 	<p>専用の切断装置等を用いて、ロボットで取り扱い可能なサイズ・重量になるように重量物を細断し、ロボットにより撤去する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 重量物を取り扱う必要がない。 	<ul style="list-style-type: none"> • モータを切断可能な切断方法の開発が必要になる。 • 切断作業に時間がかかることが想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> • モータのように径が太いものの切断は難しいが、送風機のケースのような板材には適用可能と判断する。

吊上げ手法を選定し、重量物を吊り上げるラフタークレーン(揚重機)と切断等を行う作業ロボットの構成で撤去作業を行う方針とした。

① HVH解体

➤ HVH解体ロボットの主なコンセプト

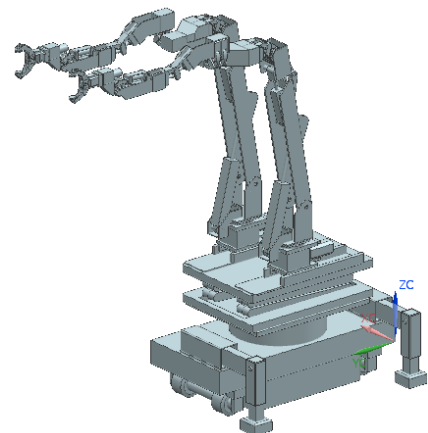
- 耐放射線性向上の為電子部品(モータドライバ等)の搭載を可能な限り回避
- 油が漏れる為、また可燃性ガス発生の恐れがある為油圧の使用不可
- HVHの天板(H2500mm)・ダンパ(H3000-2500)等の高所部分の撤去が可能
- HVHのフレーム・止具(グレーチング上)等の低所部分の撤去が可能
- HVHのモータ・送風機等の狭隘部分にアームのアクセスが可能
- 重量物(モータ・送風機)の把持は揚重機(ラフタークレーン)による吊上げ
- 同様のコンセプトまたは小規模の改造で利用可能であれば既存のロボット及び装置を流用

これらのコンセプトを踏まえてHVH解体ロボットを検討し試作を行う。

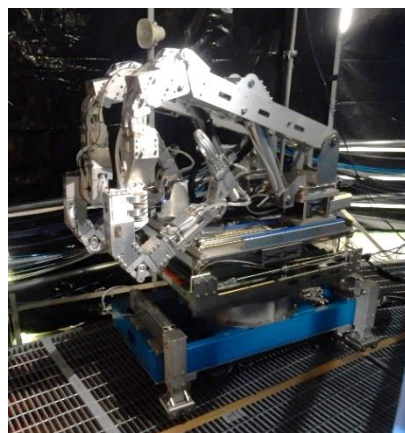
6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

① HVH解体

➤ HVH解体ロボットの主な仕様



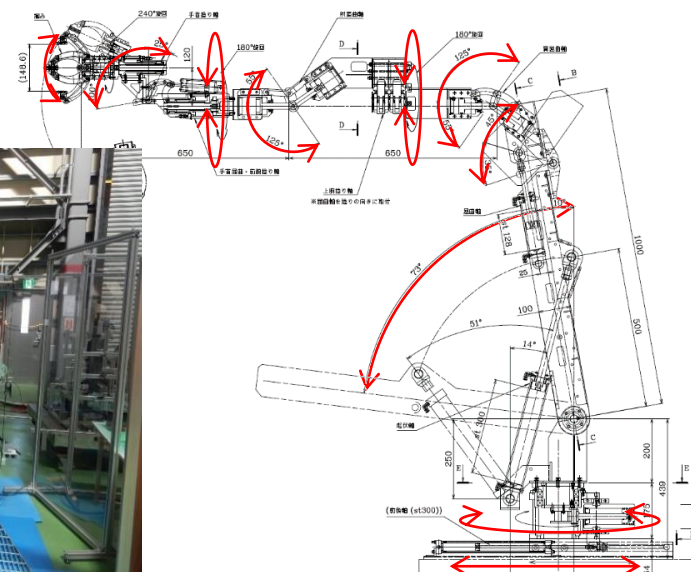
HVH解体ロボットの概要



走行時の姿勢



転倒有無の確認中の姿勢

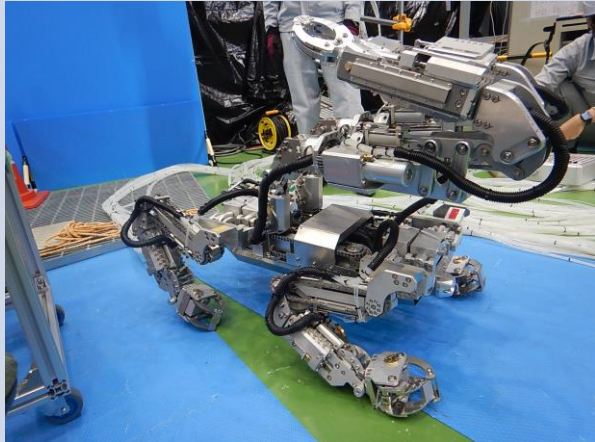



アームの可動箇所

	仕様	機能・備考
装置寸法	L1480 × W740 × H1350mm (移動時)	アクセストンネルから機器ハッチの制約寸法: D1000 × H1500 × L2400mmを通過可能な寸法。 アームは、HVH上面(H2500mm)に設置された構造物を切断撤去可能な可動範囲を持つ。
構成	作業アーム10軸 × 2	1本のアームで切断ツールを把持・操作。もう1本のアームで解体片を把持。
	走行機構: タイヤ	要素試験では簡易的にタイヤ駆動とするが、実機仕様ではクローラを想定。
用途	HVHの解体撤去作業 付帯作業	HVHの切断作業、解体片の把持及び受け渡しを行う。 吊り治具の玉掛や俯瞰カメラの設置等の付帯作業を行う。
作業アーム可搬重量	約20kg/腕	切断ツール及び解体片を把持・移動・操作が可能な可搬重量。
装置重量	約440kg	必要な機能を搭載し、可能な限り軽量化する。 作業中のモーメントを考慮し、転倒しない構成及び重量。
動力	水圧	耐放射線性が低いサーボモータ等の使用を避け、比較的耐放射線性が高い動力としてシリンダを用いた水圧機構を選定。

① HVH解体

➤ HVH解体撤去作業に関わるロボット及び装置類

	補助ロボット	揚重機(要素試験用)	搬出入装置(要素試験用)
概要図			
仕様	動力: 水圧 外寸: L1503 × W463 × H575mm 質量: 約100kg	動力: 電動 外寸: L3750 × W920 × 3148mm 質量: 490kg	動力: 無し 内寸: L960 × W760 × H330mm 外寸: L1000 × W800 × H732mm 質量: 約90kg 搭載: 400kg以上
説明	これまでに開発した多脚の補助ロボットを用いる。双腕の作業アームで吊り治具の取り外しやケーブルホースの介助を行う。	PCV模擬体のグレーチングまたは梁に設置する。要素試験においては、実機で採用予定であるラフタークレーンの可動範囲を模擬して揚重及び受け渡し作業を確認する。	HVHの解体片を受け取り機器ハッチまで搬送する。要素試験では、走行試験を行わないので、収納部分と走行部分の形状を模擬して収納作業までを確認する。

① HVH解体

➤ HVH解体撤去作業に関わる切断ツール (1/2)

	チップソー	センタレスチップソー	切断砥石グラインダ
概要図			
仕様	動力: 電動/水圧(ストローク) 外寸: 323 × 239 × 408mm ストローク*1: 垂直75、平行200mm 質量: 約15kg	動力: 電動/水圧(ストローク) 外寸: 305 × 244 × 767mm ストローク*1: 垂直200mm、平行200mm 質量: 約23kg	動力: 電動/水圧(ストローク) 外寸: 305 × 150 × 614mm ストローク*1: 垂直175mm、平行100mm 質量: 約20kg
対象	ダンパ、パネル、ケーシング(送風機)	フレーム、ケーシング(送風機)、冷却コイル	モータ軸、送風機軸、モータ台座、冷却コイル
説明	チップソーを2軸のストロークで操作し、直線の切断を行う。	加工したチップソーの刃を用いてストローク距離の長さが必要な、[150チャンネルやブロック状の冷却コイルを切断する。 切断対象に合わせてクランプ機構を交換し、固定した状態で切断を行う。	焼入れ炭素鋼を用いられている軸の切断を行う。また、揚重機で吊られた状態のモータの軸を切断に使用する。 切断対象に合わせてクランプ機構を交換し、固定した状態で切断を行う。

* 1: 切断対象に対するストローク方向。垂直方向は、切断対象に切込を入れる方向。平行方向は、切断対象に切込を入れた状態で切り進める方向。

① HVH解体

➤ HVH解体撤去作業に関わる切断ツール (2/2)

ホールソー	
概要図	
仕様	動力: 電動/水圧(ストローク) 外寸: 400 × 300 × 300mm ストローク*1: 75垂直mm 質量: 約9kg
対象	ダンパ、パネル、ケーシング(送風機)
説明	ホールソーを水圧シリンダでストロークし穿孔する。 ホールソーはφ60mmのものを使用し、グリッパの掴み部分に用いる。

(補足) 切断ツールの動作

①押し付け
(固定)

②切断
(ストローク)

チップソー・ホールソー

①クランプ
(固定)

②切断
(ストローク)

センターレスチップソー・砥石グラインダ

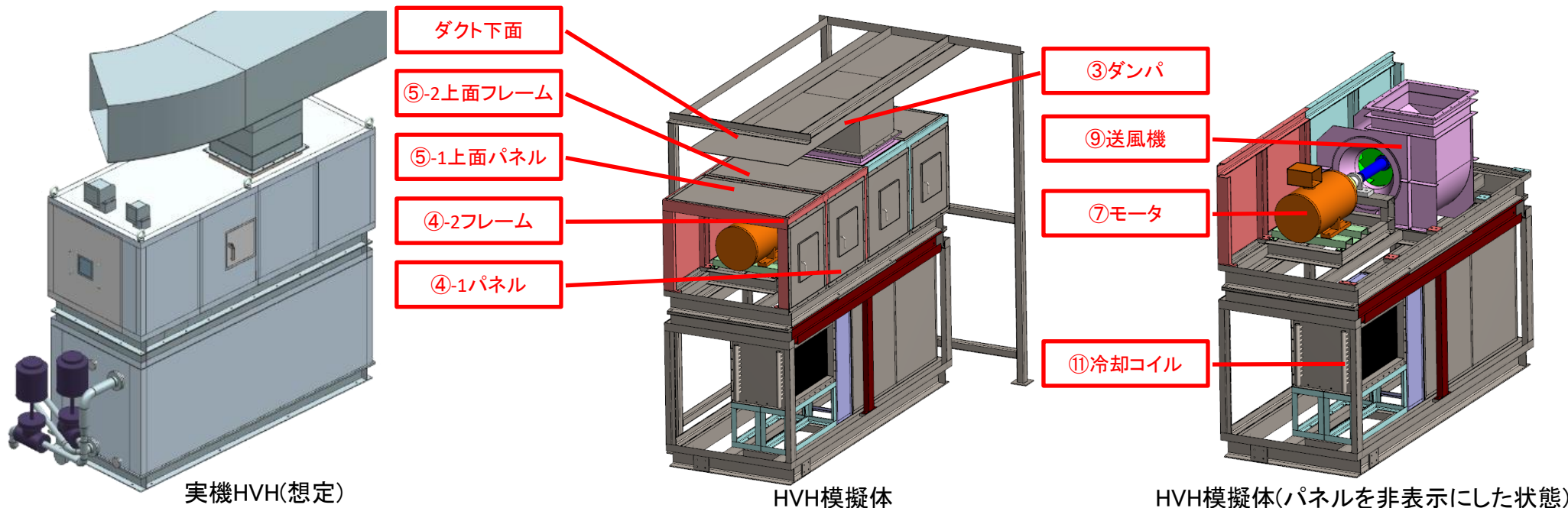
切断ツールはそれぞれ「固定機構」「切断ストローク機構」を持つ

* 1: 切断対象に対するストローク方向。垂直方向は、切断対象に切込を入れる方向。

① HVH解体

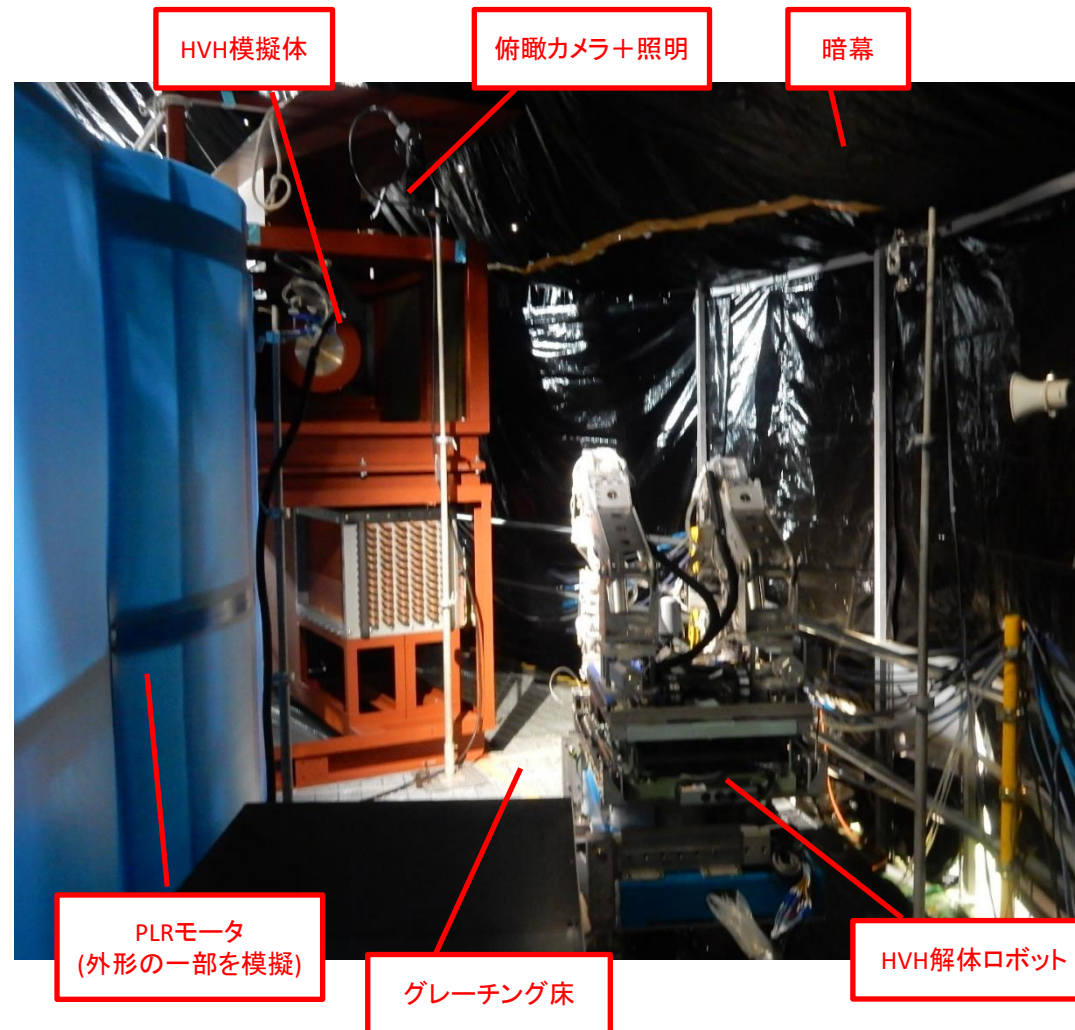
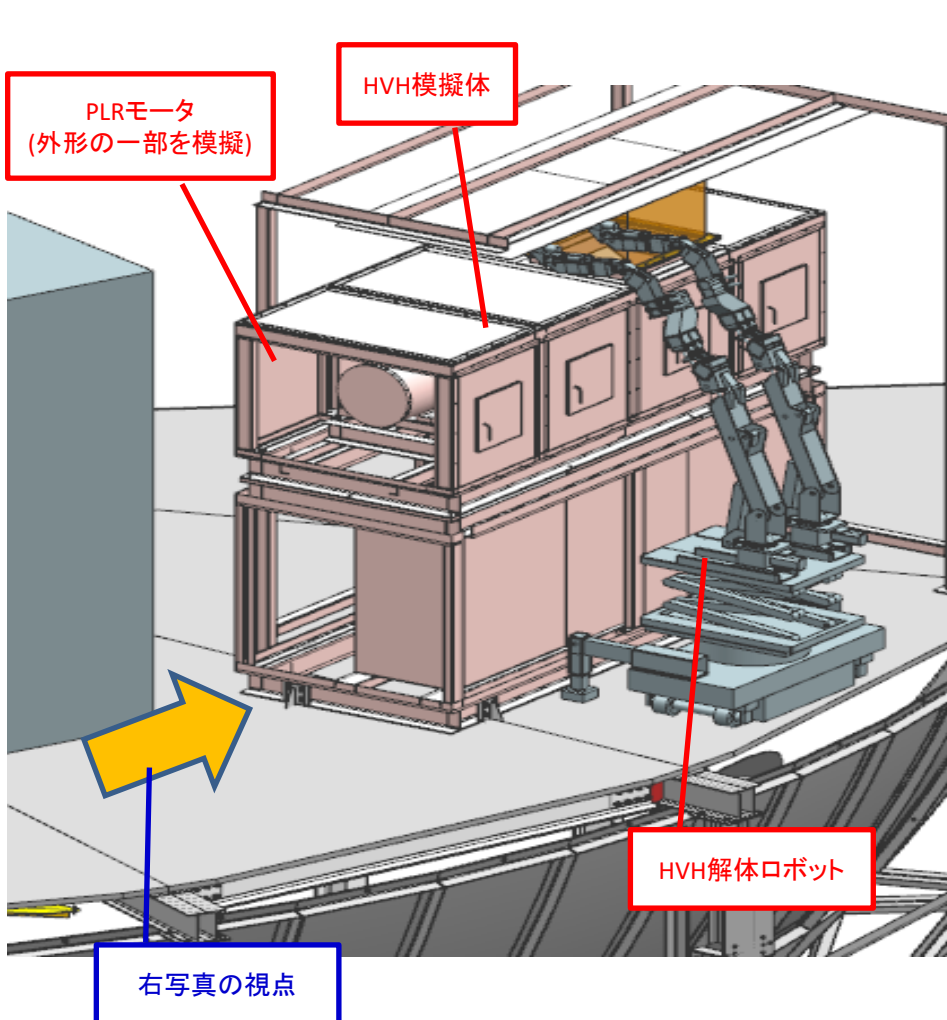
➤ HVH解体撤去作業に関わる要素試験模擬範囲 (HVH模擬体)

- **ダクト下面** : ダンパ・上面パネル・上面フレーム等HVHの上面で作業する際にダクトの下面が作業干渉になるので、ダクト下面の外形を模擬する。なお、HVH上面とダクト下面の間の寸法は、より狭い1号機HVHの寸法を模擬する。
- **切断箇所** : 実機と同じ寸法及び材質(相当材含む)を模擬する。
- **モータ・インペラ** : 切断しないが、吊り上げを行うので、外形と質量を模擬する。
- **冷却コイル** : フィン・チューブ・フレームを実機と同じ材質(相当材含む)で模擬する。繰り返し作業を確認する為、代表的な作業が確認できる本体の約1/6の範囲を模擬する。



① HVH解体

➤ HVH解体撤去作業に関わる要素試験模擬範囲（周辺環境）



右写真では人作業中の為環境照明を灯しているが、試験中は俯瞰カメラ+照明とHVH解体ロボットのアーム部分の照明のみで作業を行う。

① HVH解体

➤ 作業ステップ

HVH解体撤去の作業ステップの内、主要な作業を要素試験で確認する。

2/3号機HVH-Cの作業ステップ
(HVHの長辺側からの作業)

1号機HVH-Cの作業ステップ
(HVHの短辺側からの作業)

①切断装置のアクセス

②接続配管の切断

③ダンパの切断

④送風機ユニットの
パネル切断

⑤上面パネルの切断

⑥重量物(モータ)
の玉掛

⑦重量物(モータ)
の台座切断

⑧重量物(モータ)
の揚重・荷渡し

⑨重量物(送風機)
の切断

⑩送風機ユニット
の切断・撤去

⑪コイルユニット
の切断・撤去

①切断装置のアクセス

②接続配管の切断

④送風機ユニットの
パネル切断

⑤上面パネルの切断

⑥重量物(モータ)
の玉掛

⑦重量物(モータ)
の台座切断

⑧重量物(モータ)
の揚重・荷渡し

④送風機ユニットの
パネル切断

⑤上面パネルの切断

③ダンパの切断

⑨重量物(送風機)
の切断

⑩送風機ユニット
の切断・撤去

⑪コイルユニット
の切断・撤去

要素試験の対象作業ステップ

① HVH解体

➤ 要素試験における確認内容

作業		確認内容
ステップ	内容	
③	ダンパ撤去	ダンパ切断 HVH解体ロボットによる高所での切断作業及び解体片回収作業、切断ツールのアクセスが成立するか確認する。
④	送風機ユニットのパネル切断	外周側パネル切断 フレーム切断 HVH解体ロボットによる高所での切断作業及び解体片回収作業、切断ツールのアクセスが成立するか確認する。
⑤	上面パネルの切断	上面パネル切断 上面フレーム切断 HVH解体ロボットによる高所での切断作業及び解体片回収作業、切断ツールのアクセスが成立するか確認する。
⑥	重量物(モータ)の玉掛け	2/3号機HVH-Cにおいて、HVH解体ロボットと揚重装置の組み合わせで玉掛け作業が成立するか確認する。
		1号機HVH-Cにおいて、補助ロボットと揚重装置の組み合わせで玉掛け作業が成立するか確認する。
⑦	重量物(モータ)の台座切断	2/3号機HVH-Cにおいて、HVH解体ロボットと揚重装置の組み合わせで切断作業が成立するか確認する。 切断ツールのアクセスが成立するか確認する。
		1号機HVH-Cにおいて、補助ロボットと揚重装置の組み合わせで切断作業が成立するか確認する。 切断ツールのアクセスが成立するか確認する。 また、2/3号機HVH-Cとモータ台座の構造が異なるが、同様に切断装置がアクセス可能か確認する。
⑧	重量物(モータ)の揚重・荷渡し	モータ吊上げ/荷渡し 狭隘環境において周辺の構造物と干渉せず、揚重装置による重量物の揚重ができるか確認する。
⑨	重量物(送風機)の切断	ケーシング切断
⑩	送風機ユニットの切断・撤去	インペラ玉掛 インペラ切断 インペラ吊り上げ/荷渡し HVH解体ロボットによる高所での切断作業及び解体片回収作業、切断ツールのアクセスが成立するか確認する。
⑪	コイルユニットの切断・撤去	冷却コイル切断 HVH解体ロボットによる狭所での切断作業及び解体片回収作業、切断ツールのアクセスが成立するか確認する。

① HVH解体

➤ 要素試験結果の概要

作業		切断ツール	判定	結果	
ステップ	内容				
③	ダンパ撤去	チップソー ホールソー	○	ダンパの切断・撤去が可能であることを確認した。	
④	送風機ユニットのパネル切断	外周側パネル切断	○	パネルの切断・撤去が可能であることを確認した。 フレームの切断・撤去が可能であることを確認した。	
		フレーム切断			センターレスチップソー
⑤	上面パネルの切断	上面パネル切断	○	上面パネルの切断・撤去が可能であることを確認した。 上面フレームの切断・撤去が可能であることを確認した。	
		上面フレーム切断			センターレスチップソー
⑥	重量物(モータ)の玉掛け	—	○	2/3号機の配置において、モータ吊り治具が取付け可能なことを確認した。	
			○	1号機の配置において、モータ吊り治具が取付け可能なことを確認した。	
⑦	重量物(モータ)の台座切断	砥石グラインダ	△	2/3号機の配置において、モータ吊り治具と砥石グラインダが干渉したため、モータ吊り治具の構造の改良が必要。 モータ軸/台座を切断が可能であることを確認した。	
		—	△	2/3号機の結果から、同様の課題が発生することが分かった。 2/3号機と同様にモータ吊り治具の構造の改良を行った後に確認することとし、切断後のステップから試験再開とした。	
⑧	重量物(モータ)の揚重・荷渡し	—	○	1号機の配置において、モータを吊上げ/荷渡し可能なことを確認した。 2/3号機の配置において、モータ吊上げ/荷渡し可能なことを確認した。	
⑨	重量物(送風機)の切断	ケーシング切断	○	ケーシングの切断・撤去が可能であることを確認した。	
⑩	送風機ユニットの切断・撤去	インペラ玉掛	○	インペラに玉掛が可能であることを確認した。 インペラの切断・撤去が可能であることを確認した。 インペラの吊上げ/荷渡しが可能なことを確認した。	
		インペラ切断			砥石グラインダ
		インペラ吊上げ/荷渡し			—
⑪	コイルユニットの切断・撤去	冷却コイル切断	○	冷却コイルの切断・撤去が可能であることを確認した。	

○: 良、△: 可能であるが課題有

 次頁以降で説明する作業ステップ

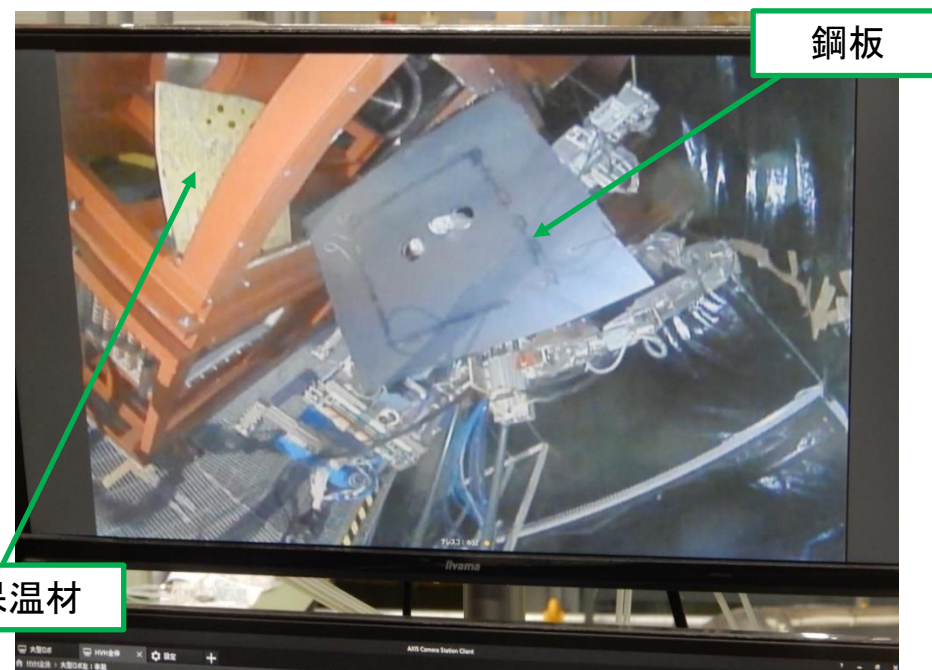
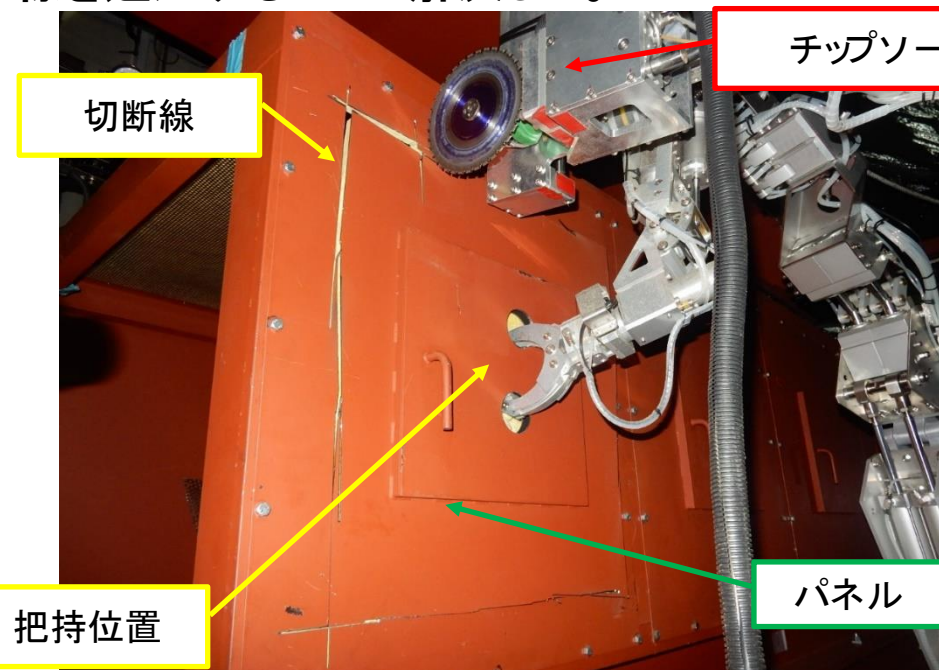
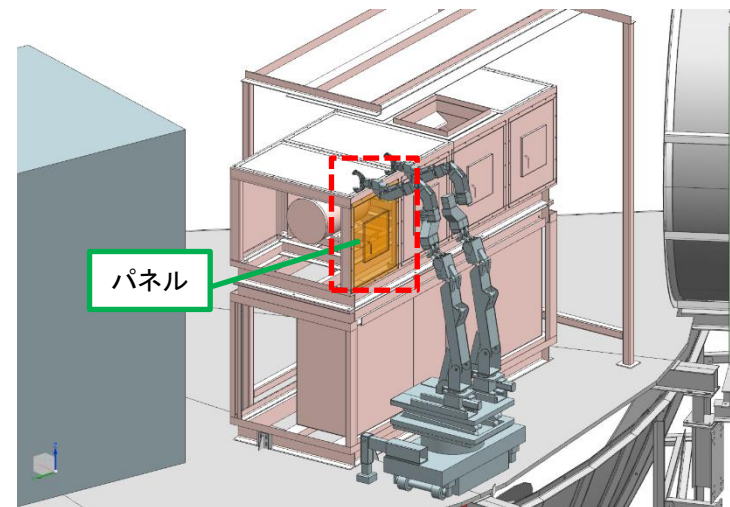
① HVH解体

➤ 要素試験結果「④ 送風機ユニットのパネル切断」

高所に配置された3層構造のパネルを切断・撤去できることを確認した。

ホールソーの穿孔跡を把持に利用し、解体片を落下させることなく回収を行った。

チップソーを用いて複数回切断するが、位置合わせが難しく切断線と切断線が繋がらない事象が発生した。斜めに切断補助線を追加することで解決した。



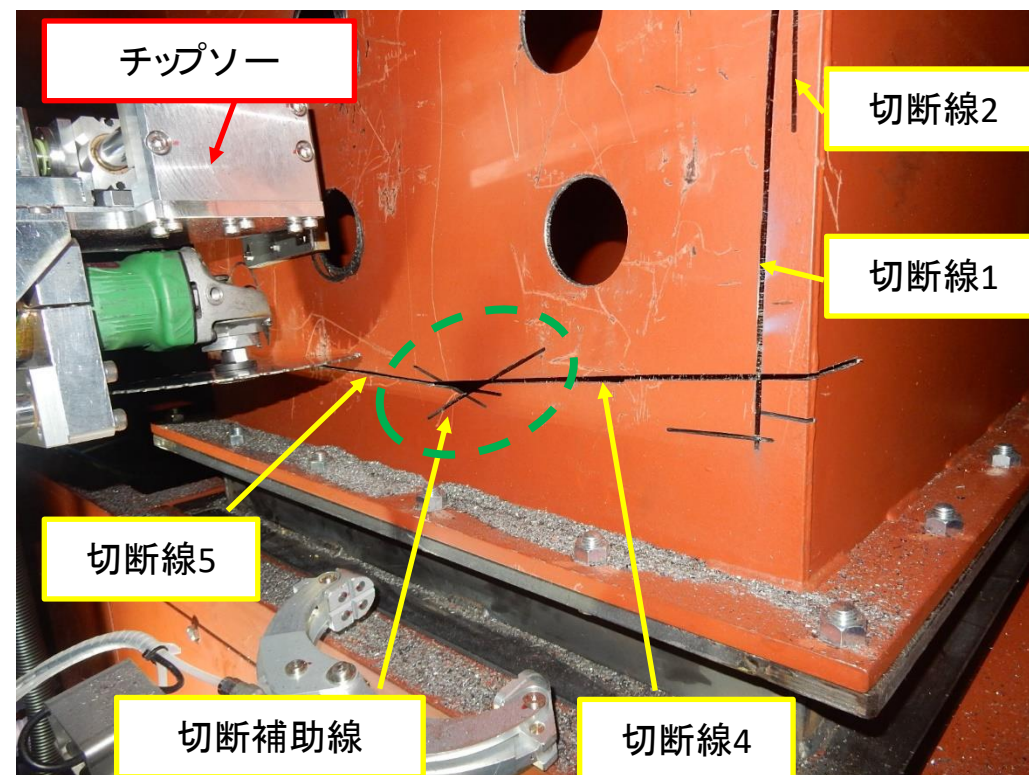
① HVH解体

➤ 要素試験課題「④ 送風機ユニットのパネル切断」

ダンパやパネル等の面の広い対象を撤去する際、切断線と切断線が繋がらない事象が発生した。切断箇所をオペレータが確認できるように切断ツールにカメラを搭載する等の改良が必要。また、切断線を繋げる為にあらかじめホールソーで穿孔しておく方法も有効であった為、それらを踏まえた切断計画の検討が必要。



オペレータの視点



6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

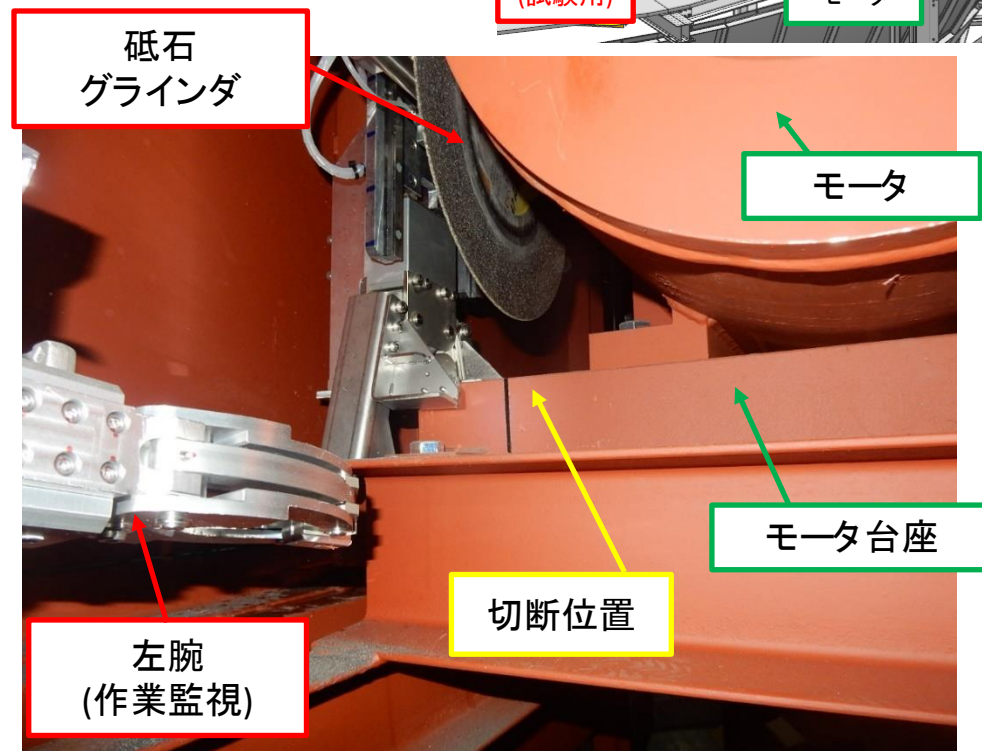
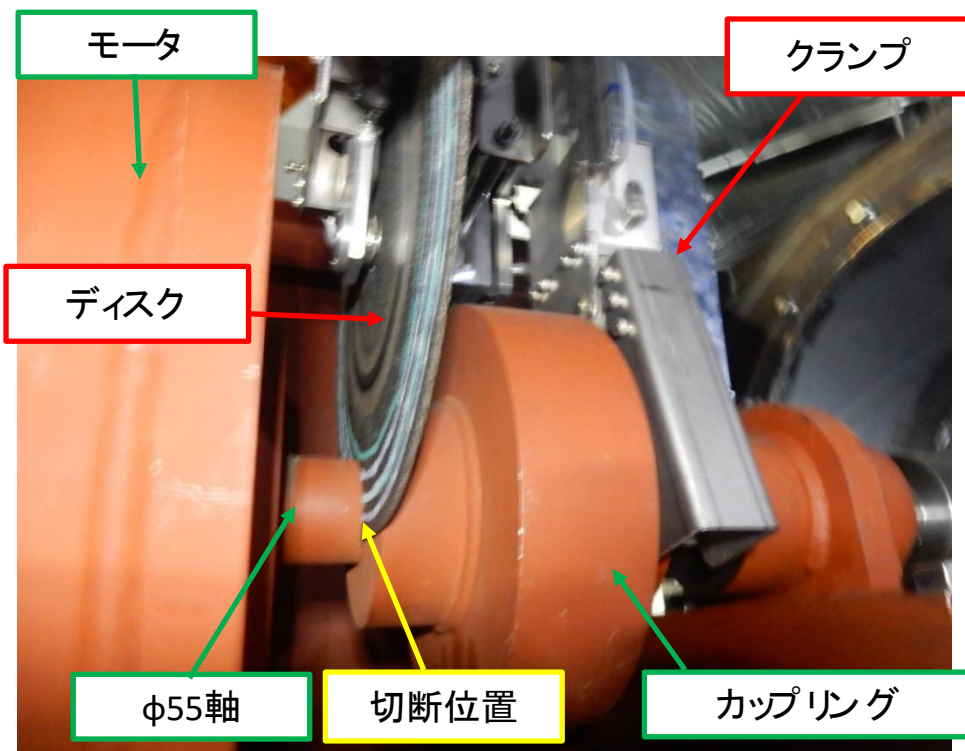
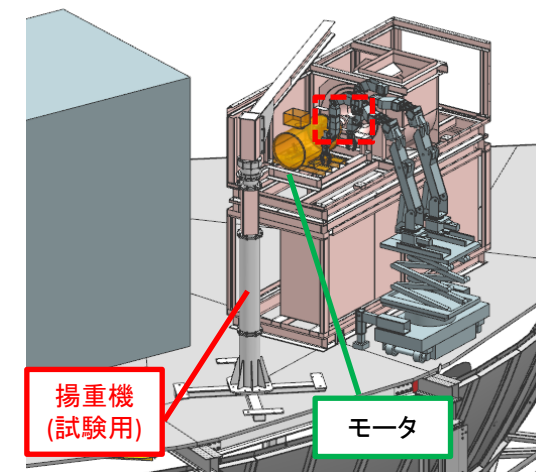
No.314

① HVH解体

➤ 要素試験結果「⑦ 重量物(モータ)の台座切断」

高所に配置されたモータの軸及び台座を切断し、揚重機との組合せ作業で落下させることなく撤去できることを確認した。

モータ台座を切断する際、砥石グラインダがアクセスできない箇所があった為、その箇所のみ仮吊りで切断作業を続行した。



① HVH解体

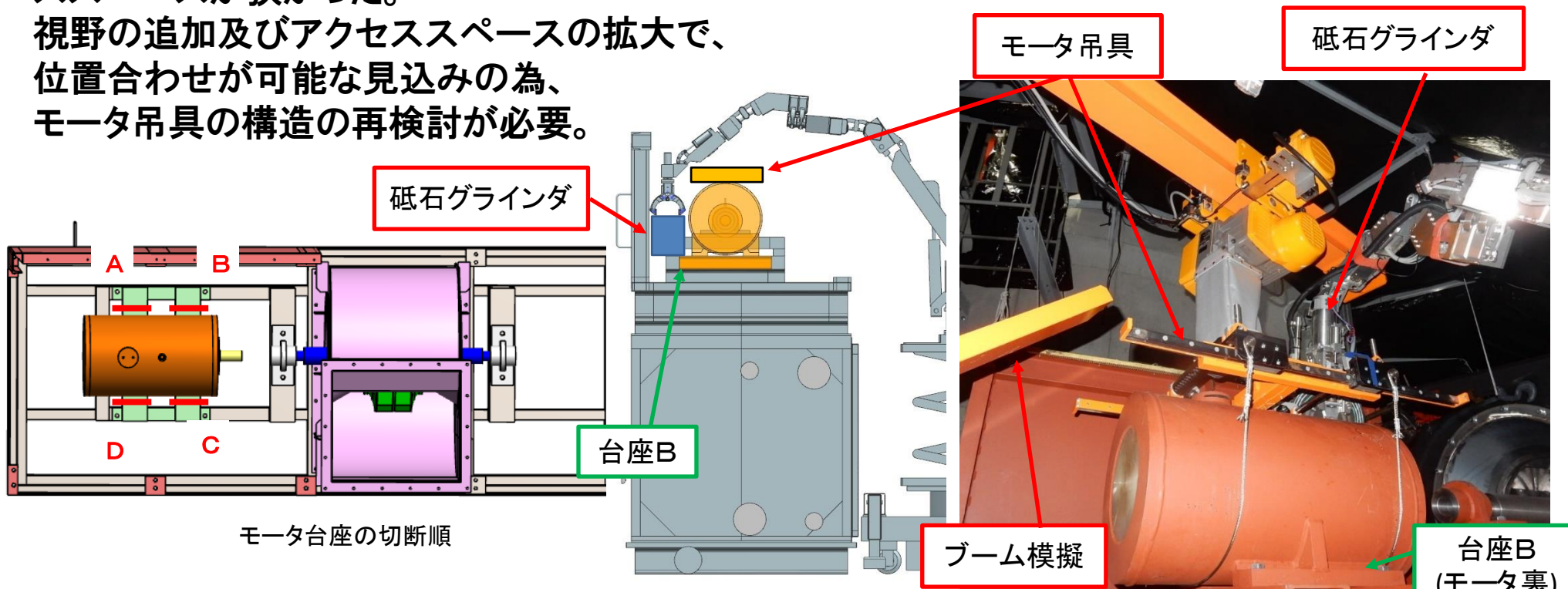
➤ 要素試験課題「⑦ 重量物(モータ)の台座切断」

モータ吊具と砥石グラインダが干渉し台座Bが切断できない事象が発生した。

台座Aを切断した後、モータ吊具を据付、台座Bを切断する計画だったが、狭隘部で砥石グラインダが干渉しアクセスできなかった。

計画段階ではアクセス可能な想定であったが、オペレータの視野が限られているのに対しアクセススペースが狭かった。

視野の追加及びアクセススペースの拡大で、位置合わせが可能な見込みの為、モータ吊具の構造の再検討が必要。



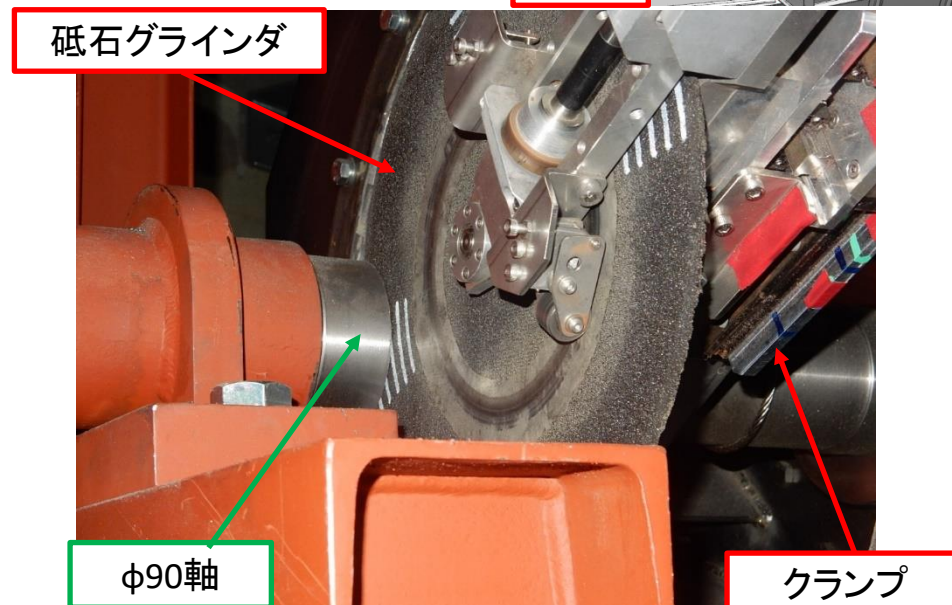
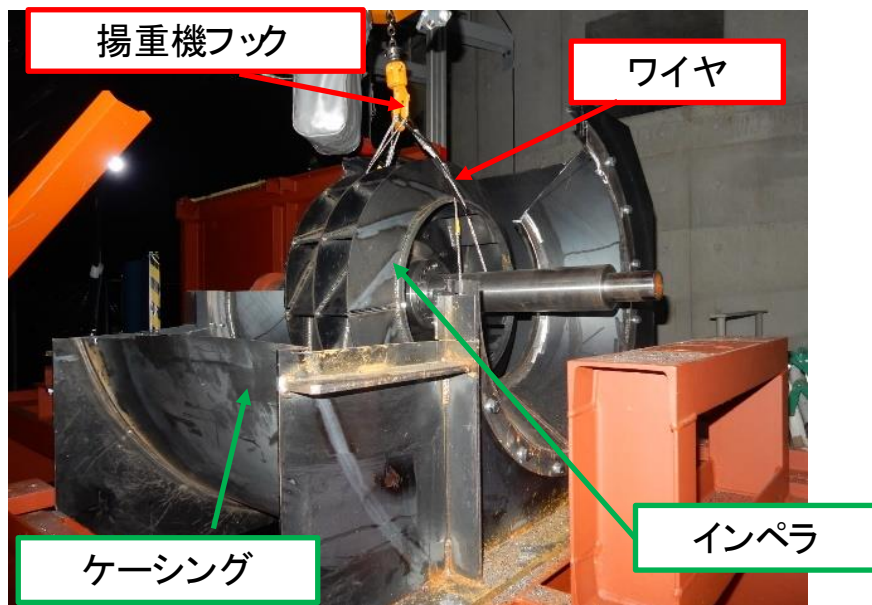
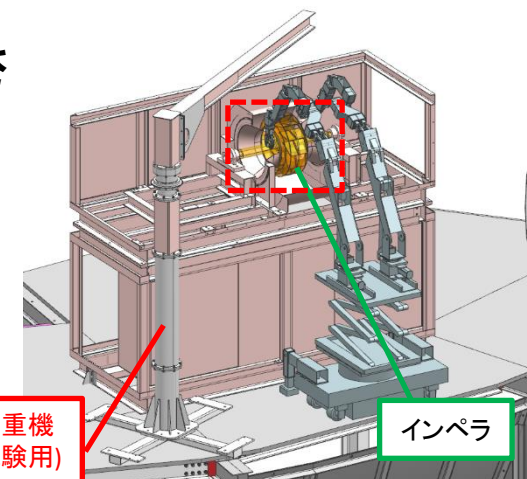
① HVH解体

➤ 要素試験結果「⑩ 送風機ユニット(インペラ)の切断・撤去」

高所に配置されたインペラの軸を切断し、揚重機との組合せ作業で落下させることなく撤去できることを確認した。

狭隘部でのインペラ軸の玉掛及びインペラ軸の切断作業を行った。

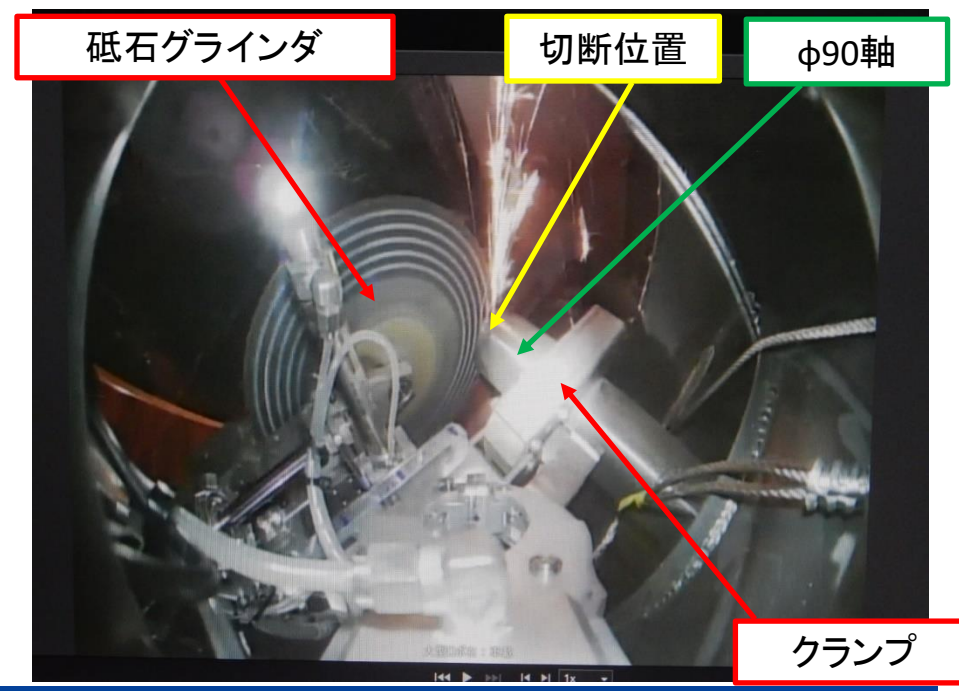
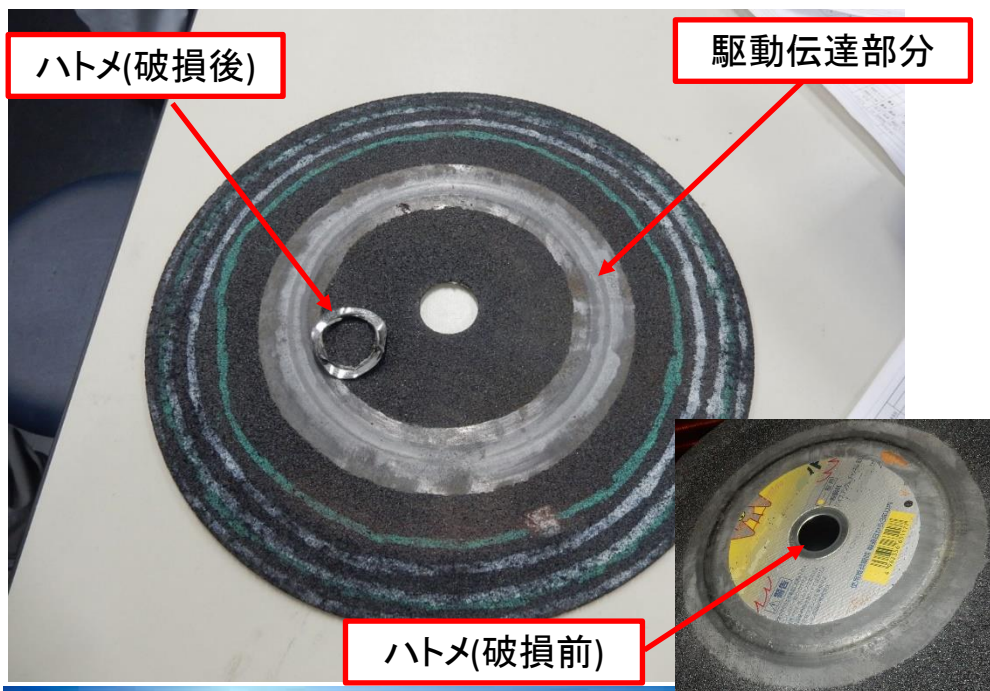
φ90mmのインペラ軸を切断する際、切断の後半は切断効率が落ちたが、切断が可能であることを確認した。



① HVH解体

➤ 要素試験課題「⑩ 送風機ユニット(インペラ)の切断・撤去」

切断中に砥石グラインダのディスクの軸受けが摩耗し、交換が必要になった。砥石グラインダは遠隔でディスクの交換を行える構造になっており、交換することは想定内である。ただし、ディスクの摩耗による交換を想定していたが、軸受けが摩耗することは想定外だった。軸切断中のディスク交換は不要であることが望ましい為、摩耗部分を補強する検討を行う必要がある。

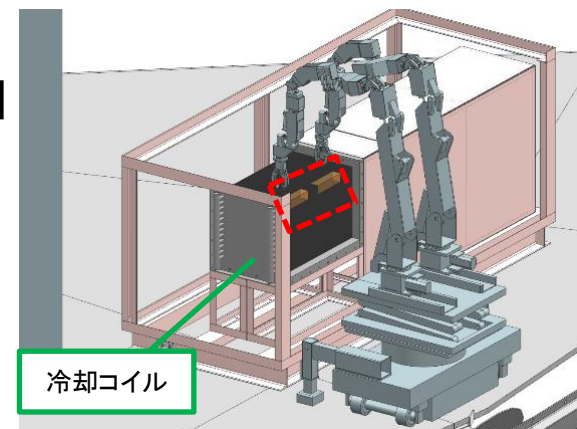


① HVH解体

➤ 要素試験結果「⑪ コイルユニット(冷却コイル)の切断・撤去」

センタレスチップソー及び砥石グラインダを用いて冷却コイルを切断・撤去できることを確認した。

ただし、いずれにおいても60mm以上の深さに切り込むと切断効率が非常に低下した。また、センタレスチップソーは中心穴に解体片が引っかかりスタック事象が発生した。



砥石グラインダ

切断線

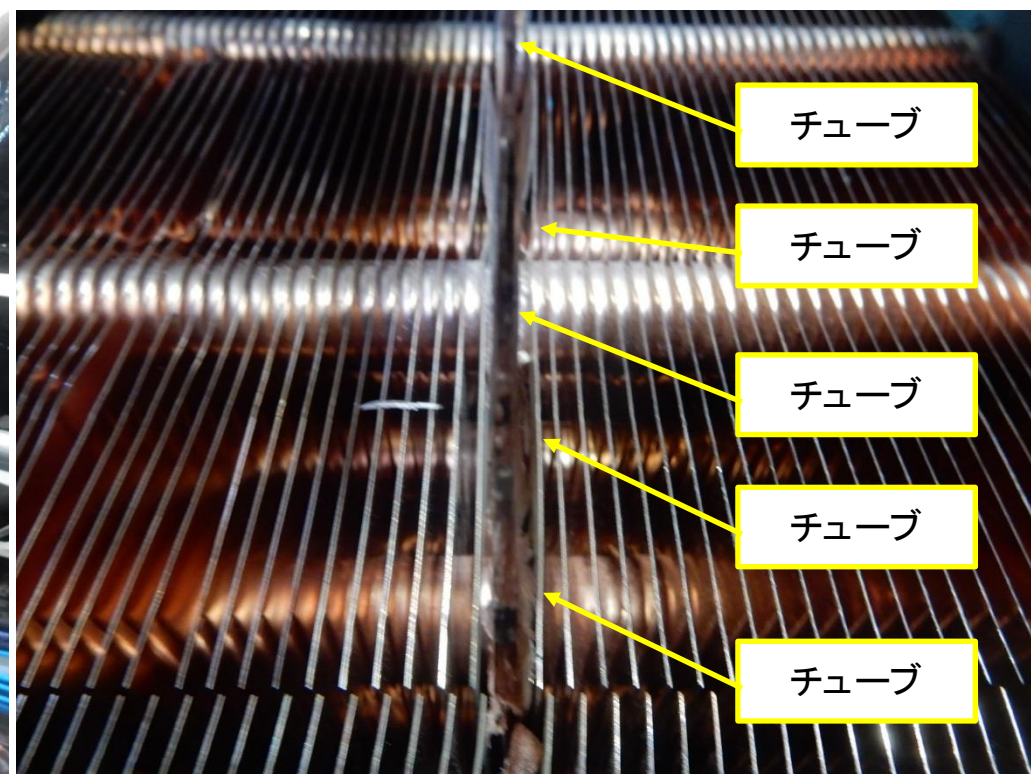
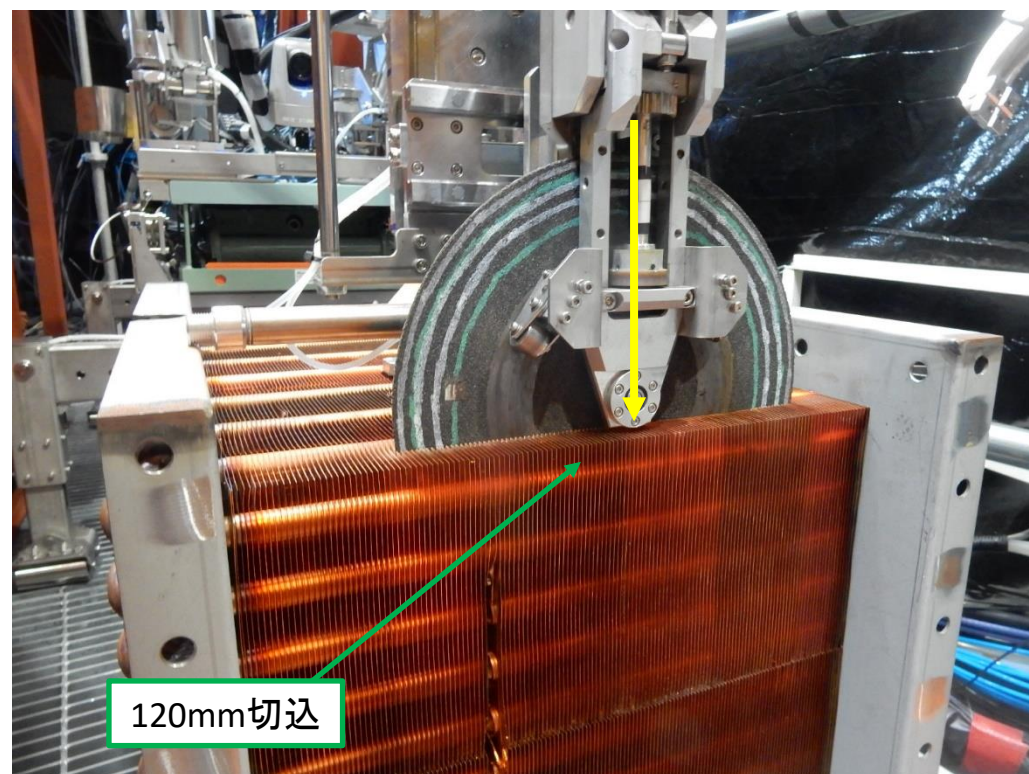
解体箇所

解体片

① HVH解体

➤ 要素試験課題「⑪ コイルユニット(冷却コイル)の切断・撤去」

センタレスチップソー及び砥石グラインダいずれにおいても、深く切り込むと接触面積が増え、回転数が落ちる為切断効率が低下した。砥石グラインダにおいては、限界まで切り込むことが可能なことを確認できたが、非常に時間が掛かった。
切断箇所の変更を含め時間短縮方法の検討が必要。

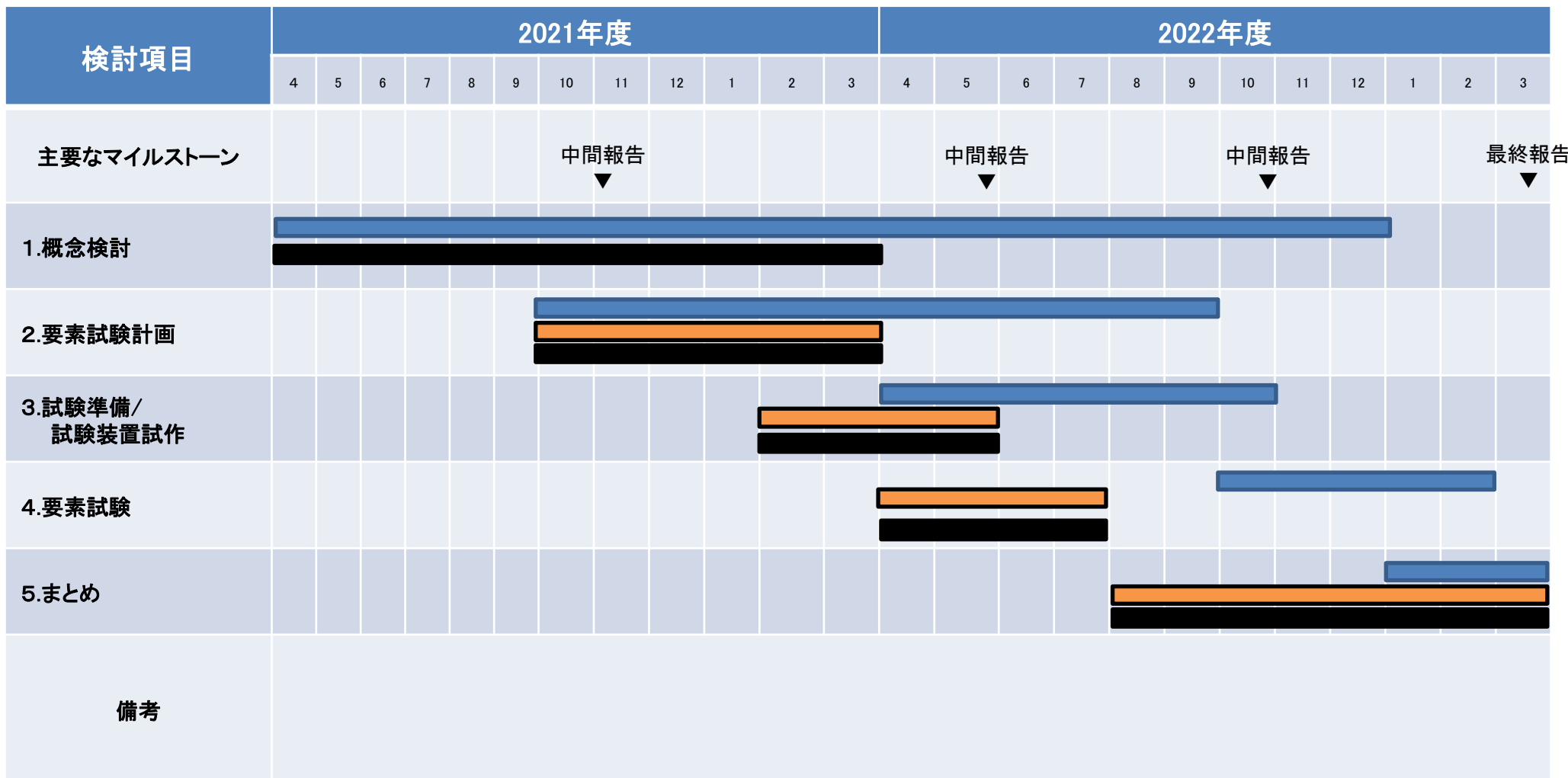


6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

① HVH解体

■ 開発工程

■ :計画
■ :計画(見直し後)*
■ :実績



① HVH解体：まとめ

- HVH解体について、2021年度に前提条件、解体難易度からの試験対象の選定、切断技術として丸ノコ・砥石グラインダの選定および解体作業ステップからの要素試験項目の抽出に関する検討結果について整理した。作業ステップの詳細検討を行い、各ステップでの課題を抽出し、要素試験計画を立案して試験項目や判定基準等を検討した。
- 切断に関する単体試験(環境模擬体外で装置単体で実施する試験)を実施し、要素試験での切断方針を具体化した。
- HVH解体・撤去工法の実現性を確認する為の要素試験を実施し、結果を整理した。
- 実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する方針を整理した。

② CRD交換機の解体

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、干渉物の解体・撤去等の開発を進めている。これまでの開発において、PCV内のペデスタル内部へ遠隔装置でアクセスし配管の切断や回収作業などの実現性を確認する技術開発を実施した。

ペデスタル内底部の燃料デブリ取り出し作業を実施する上で大型構造物であり中央に位置するCRD交換機の撤去はアクセス性を確保する為に不可欠となる。また、ペデスタル内に導入する遠隔解体機器、装置はアクセス可能なペデスタル開口部が小さい為、小型かつ不確定な現場環境に適応する為の操作性が求められる。また、PCV内部調査で損傷が確認されているCRDハウジング等への干渉回避、解体するCRD交換機の部材の落下防止が必要となる。この開発においては、CRD交換機の解体、撤去について、要求事項を検討、整理した上で、限られたエリアでの遠隔作業を考慮した模擬試験体による要素試験を計画、実施し、具体的な切断／回収方法について実現性を確認する。

② CRD交換機の解体

目次

- 20年度までの検討状況
- 現地状況(ペDESTAL内状況の推定)
- 課題、実施内容、得られる成果
- 各種前提条件の整理

- 解体・撤去方法の検討
- 要素試験項目
- 要素試験計画(1/3号機対象)
- 解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)
- 模擬試験体および試験設備(1/3号機対象)
- 要素試験結果(1/3号機対象)
- 課題

- 開発工程
- まとめ

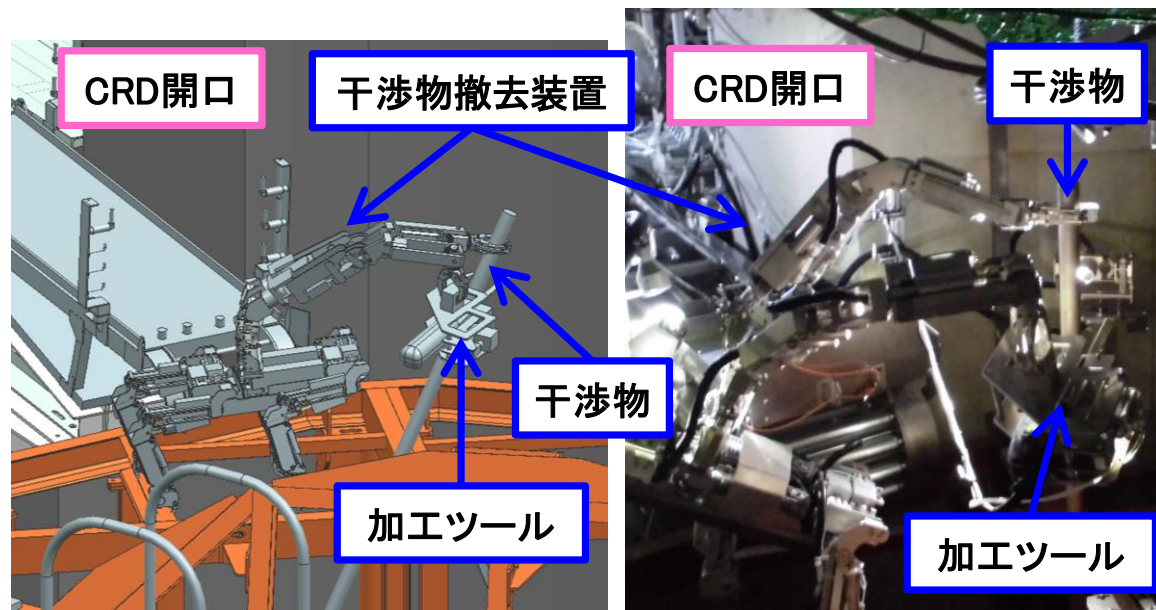
② CRD交換機の解体

■20年度までの検討状況

ペDESTアル内へのアクセス方法およびICMハウジング等小型の干渉物撤去方法を検討し、要素試験により実現可能な見通しを得た。

(「取り出し規模の更なる拡大(2019-20年度実施) :

ペDESTアル内干渉物撤去方法(小型装置方式)」にて実施)

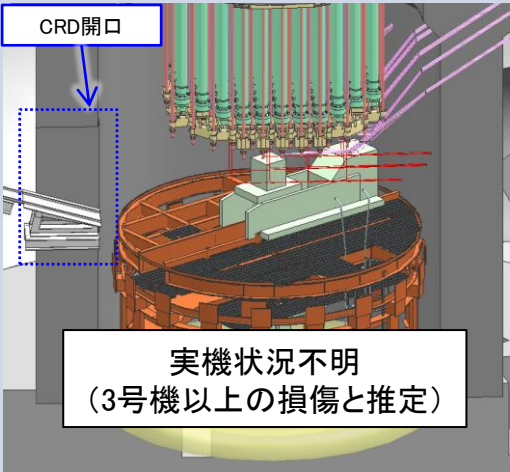
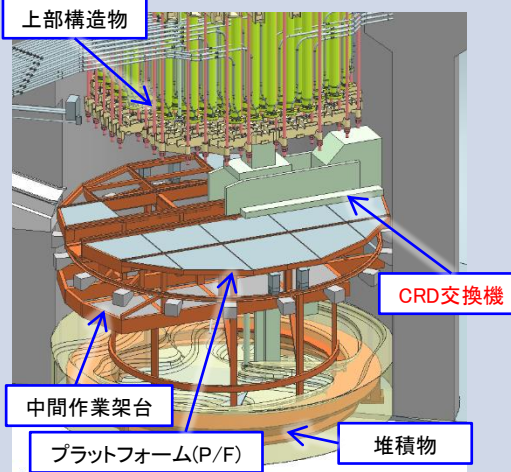
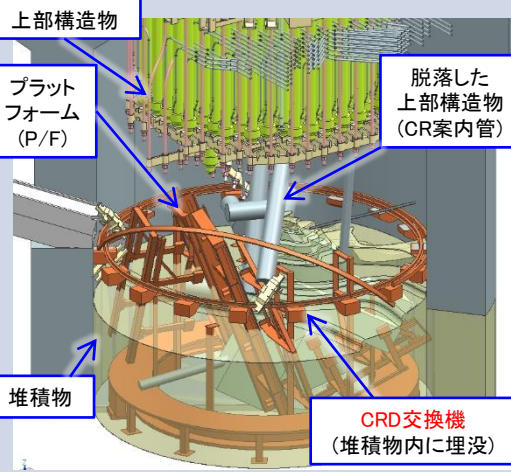


- 燃料デブリ取り出し作業の障害となるCRD交換機(大型構造物)について、ペDESTアル内の限られたスペースでの解体方法を検討する。
- CRD交換機解体方法について、解体装置を試作し、検証する。

② CRD交換機の解体

■ 現地状況(ペDESTAL内状況の推定)

➤ 1～3号機のペDESTAL内部の推定状況について下表に示す。

	1号機	2号機	3号機
<p>ペDESTAL内部状況イメージ</p> 			
<p>推定結果</p>	<p>ペDESTAL内調査未実施 (上記の図は健全状態)</p>	<p>調査結果より以下の通り推定</p> <ul style="list-style-type: none"> プラットフォーム(P/F)が残存しており、グレーチングが一部脱落 CRD交換機はP/F上に残存 中間作業架台は残っている ペDESTAL底部には堆積物(堆積物内の状況は不明) 	<p>調査結果より以下の通り推定</p> <ul style="list-style-type: none"> プラットフォーム(P/F)、CRD交換機が脱落 上部構造物(CR案内管など)が脱落 ペDESTAL底部には堆積物(堆積物内の状況は不明)

- 2号機では、CRD交換機がP/F上に残存しており、位置や状態が判明している。また、P/Fおよび中間作業架台の状態(グレーチング脱落箇所等)も判明している。
- 3号機では、CRD交換機がP/F上から脱落し、堆積物に埋没しており、位置や状態が特定できていない。
- 1号機では、3号機以上の損傷と推定されている為、3号機と同様の状況であると推測される。

② CRD交換機の解体

■課題

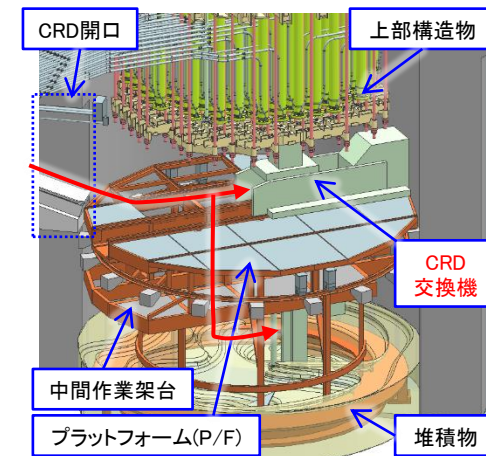
- CRD交換機周辺へ、解体・撤去装置をアクセスさせること。
- CRD開口から搬入可能な**小型装置で、大型構造物であるCRD交換機を解体・撤去**すること。
- スループット向上の為、**大型構造物であるCRD交換機を極力大きなサイズで解体・撤去**すること。
- [2号機特有]大型かつプラットフォーム(P/F)からの吊りさがり構造であるCRD交換機を、**ペDESTル底部に落下させずに解体・撤去**すること。
- [1/3号機特有]脱落し、錯綜したCRD交換機(他構造物も含む)を、**倒壊させずに解体・撤去**すること。

■実施内容

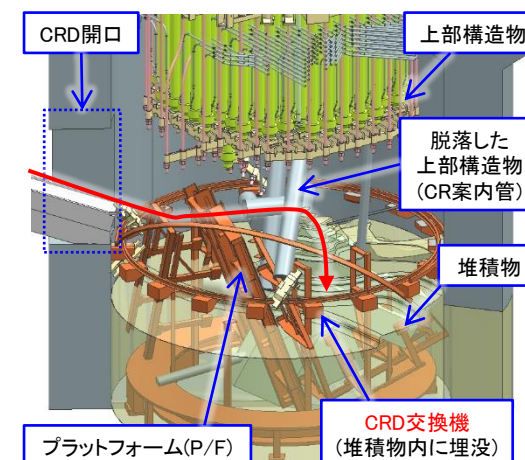
- 構造物の寸法等を含む、各種前提条件を整理する。
- CRD交換機の解体・撤去に関する要求事項を検討、整理する。
- CRD交換機の**解体・撤去方法**を検討する。
- 解体・撤去**装置の設計・試作**を実施する。
- 限られたエリアでの遠隔作業を考慮した要素試験を計画する。
- 試験を実施する為の模擬試験体および実規模試験設備を設計・製作する。
- **要素試験を実施して、具体的な解体撤去の実現性を確認**する。

■得られる成果

- **CRD交換機の解体・撤去方法の提示。**



ペDESTル内部推定図(2号機)



ペDESTル内部推定図(1/3号機)

② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[1/12]

現地状況、図面情報をもとに、解体方法を検討する際の前提条件について、以下9項目を整理した。

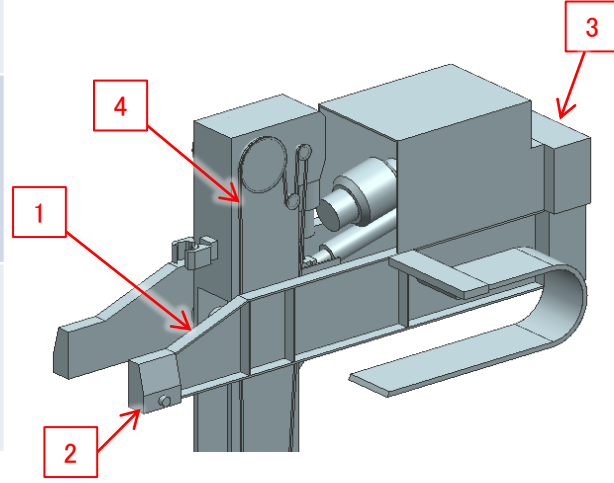
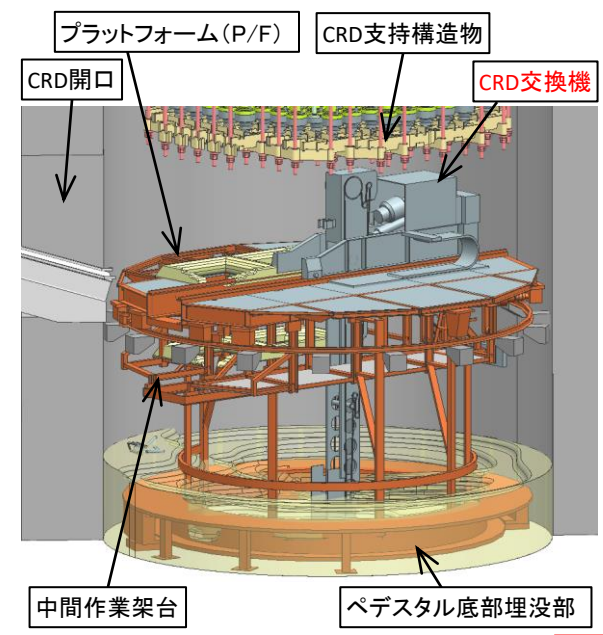
- ① CRD交換機の仕様
- ② P/Fの仕様
- ③ 中間作業架台の仕様
- ④ CRD交換機周辺の干渉物(ペDESTAL上部構造物)の仕様
- ⑤ ペDESTAL底部の堆積物の状況と、CRD交換機の撤去範囲
- ⑥ 使用するアクセスルート
- ⑦ アクセスルート上の干渉物
- ⑧ 搬出入方法
- ⑨ アクセス範囲

6. 本事業の実施内容 【 1)(2)解体・撤去技術の開発】

② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[2/12] 【①CRD交換機の仕様[1/3】

No.	項目	仕様	備考
1	台車フレーム	【寸法】 高さ: 400 [mm], 幅: 117 [mm], 長さ: 2,700 [mm] 【材質】: SS400 【板厚】: 20 [mm] 【質量】: 約100 [kg]程度	<ul style="list-style-type: none"> •寸法および板厚は推定値 •片側の質量 •質量は概算値
2	走行車輪	【寸法】 径 : φ 100 [mm], 厚さ: 143 [mm] 【材質】: S45C 【質量】: 約18 [kg]程度	<ul style="list-style-type: none"> •寸法および板厚は推定値 •質量は概算値
3	台車駆動装置	【寸法】、【材質】、 【板厚】、【質量】 :実機設計段階で取得	
4	昇降台車用 チェーン	【寸法】、 【材質】、【質量】 :実機設計段階で取得	



6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

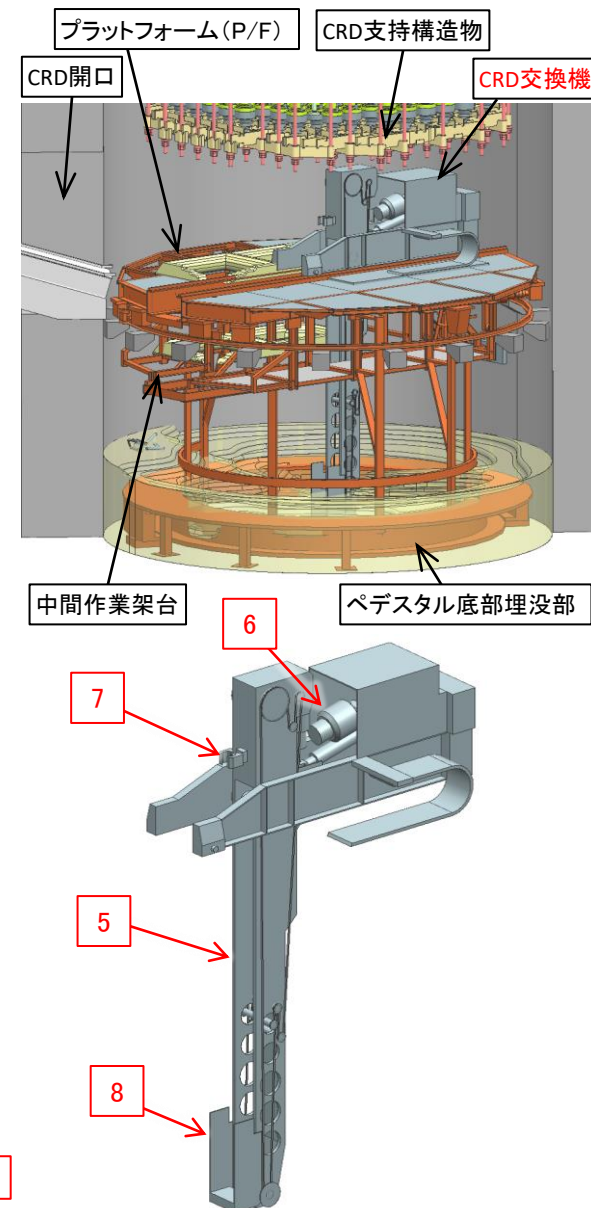
No.329

② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[3/12] 【①CRD交換機の仕様[2/3]】

No.	項目	仕様	備考
5	回転 フレーム	【寸法】 高さ: 4,351 [mm] 幅 : 370 [mm] (昇降軸回転用シャフト込み: 450 [mm]) 長さ: 600 [mm] (推定値) 昇降軸回転用シャフト径: ϕ 100 [mm] (推定値) フレーム回転装置シャフト: ϕ 75 [mm] (推定値) 【材質】: フレーム: SS400 シャフト: S45C (推定) 【板厚】: 30 [mm]※ 【質量】: 約800 [kg]程度	・板厚は推定値 ・質量は概算値
6	フレーム 回転装置	【寸法】、【材質】、 【板厚】、【質量】: 実機設計段階で取得	
7	掴み腕	【寸法】、【材質】、 【板厚】、【質量】: 実機設計段階で取得	
8	昇降台車	【寸法】(推定値) 高さ: 775 [mm], 幅: 370 [mm], 長さ: 270 [mm] 【材質】 SUS304 【板厚】: 約5 [mm] 【質量】: 約120 [kg]程度	・寸法,板厚は推定値 ・質量は概算値

※1号機: 約10~20mm。



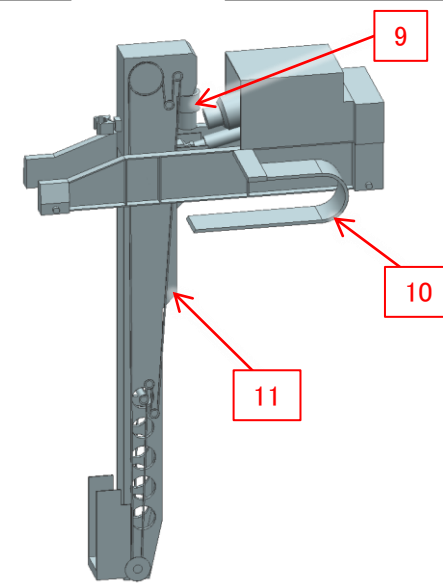
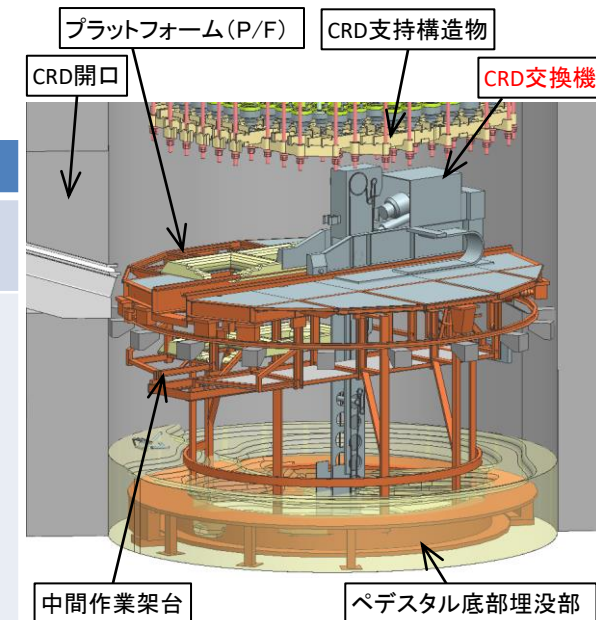
6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

No.330

② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[4/12] 【①CRD交換機の仕様[3/3]】

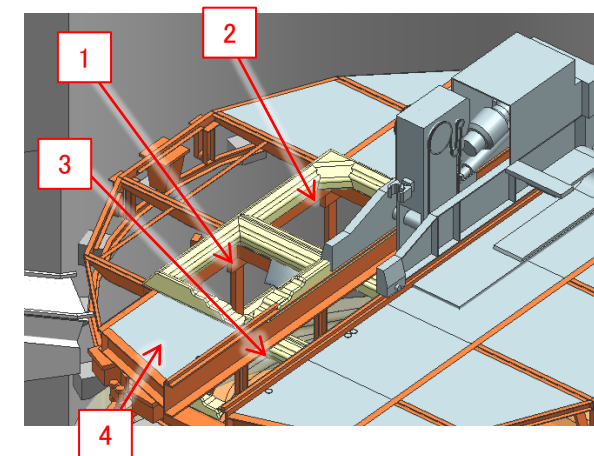
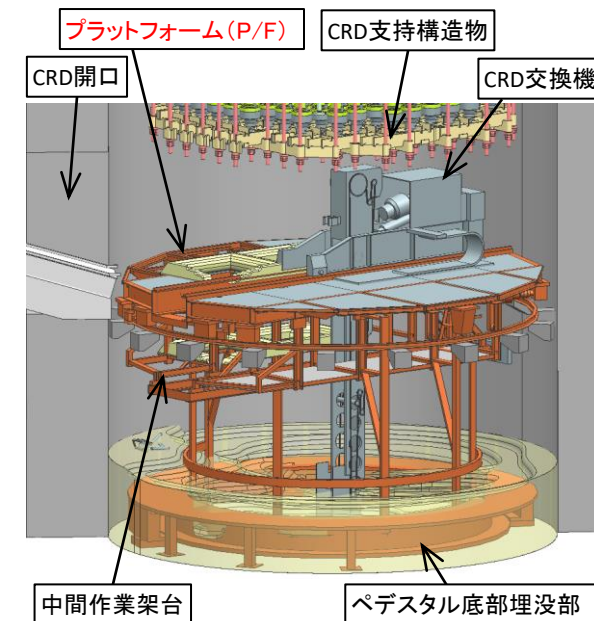
No.	項目	仕様	備考
9	昇降駆動装置	【寸法】、【材質】、 【板厚】、【質量】:実機設計段階で取得	
10	給電装置 (ケーブルベア)	【ケーブル径】: $\phi 25$ [mm] 【接続板寸法】 175×50×10t [mm](U字鋼), 長さ: 540 [mm] 【材質】: SUS304(接続板,ケーブルベア) アルミ合金(ケーブル) 【板厚】: 10 [mm](接続板の板厚) 【質量】: ケーブルベア(接続板込み): 約260 [kg]程度 ケーブル(P/F上): 1本あたり約20 [kg]程度	<ul style="list-style-type: none"> • 推定値 • ケーブルは10本(推定)
11	その他 駆動装置	【寸法】、【材質】、 【板厚】、【質量】:実機設計段階で取得	• 回転フレーム内に内蔵
12	全体	【寸法】 高さ: 4,351 [mm] 幅 : 736 [mm] 長さ: 2,700 [mm] 質量: 約2,000 [mm]	
13	配置	【中央開口からの高さ】 ～交換機上端: 1,170 [mm] (交換機上端～ハンガーロッド: 463.2 [mm]) ～駆動部上端: 979 [mm] (駆動部上端～ハンガーロッド: 654.2 [mm])	



② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[5/12] 【②プラットフォーム(P/F)の仕様】

No.	項目	仕様	備考
1	開口G	【寸法(図面寸法)】 幅: 755 [mm], 奥行き: 915 [mm] 【寸法(堆積物残存時)】 幅: 682.25 [mm], 奥行き: 765 [mm]	・推定値
2	開口H	【寸法(図面寸法)】 幅: 598.1 [mm], 奥行き: 1,093 [mm] 【寸法(堆積物残存時)】 幅: 657.25 [mm], 奥行き: 893 [mm]	・推定値
3	中央開口	【寸法(図面寸法)】 幅: 596 [mm], 奥行き: 約2,500 [mm]	・推定値 ・堆積物による開口縮小は無しとする
4	グレーチング	【高さ】: 最大38 [mm]	・推定値 ・グレーチングの耐荷重は250 [kg/m ²]とする。 (グレーチングメーカーの一般的な強度指標の50 [%] ^注 として設定。)
5	配置	【高さ】 ペデ底部～中央レール上面: 3,281 [mm] ペデ底部～P/Fグレーチング: 3,200.8 [mm] P/F上面～ハンガーロッド: 1,633.2 [mm]	・4号機からの推定値 ・P/Fは、損傷によって旋回不可とする。 ・P/Fの耐荷重は、グレーチングの耐荷重と同等とする。 ・P/FとCRD交換機は固着していると想定する。ただし、P/Fの固着は不安定(衝撃等で外れる可能性有)とする。

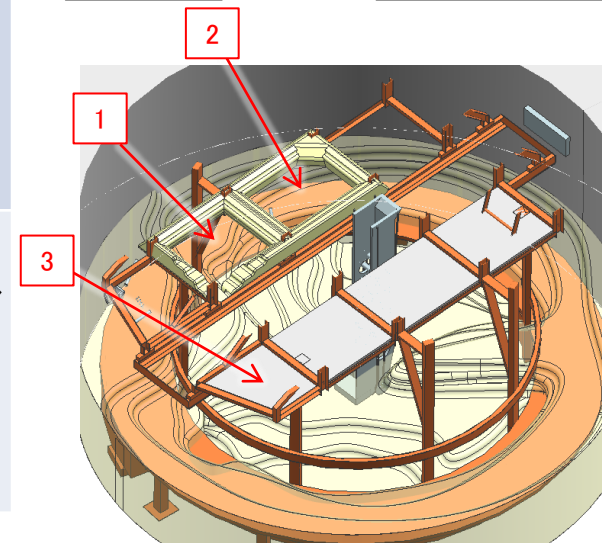
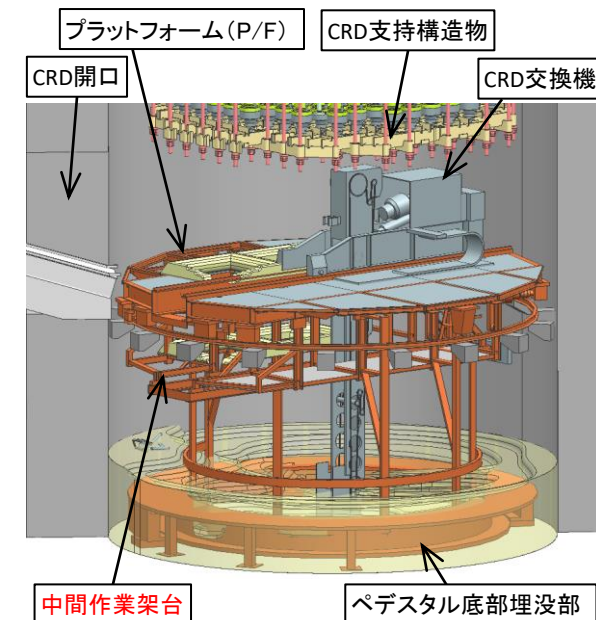


注) 50%に根拠無し。作業上困難であれば、別途見直し。

② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[6/12] 【③中間作業架台の仕様】

No.	項目	仕様	備考
1	開口G2	【寸法(図面寸法)】 幅:800 [mm], 奥行き:915 [mm]	•推定値
2	開口H2	【寸法(図面寸法)】 幅:800 [mm], 奥行き:1,090 [mm]	•推定値
3	グレーチング	【高さ】:実機設計段階で取得	
4	配置	【高さ】 ペデ底部～中間作業架台 グレーチング:2,192 [mm]	•中間作業架台とCRD交換機は固着していると想定する。ただし、中間作業架台の固着は不安定(衝撃等で外れる可能性有)とする。

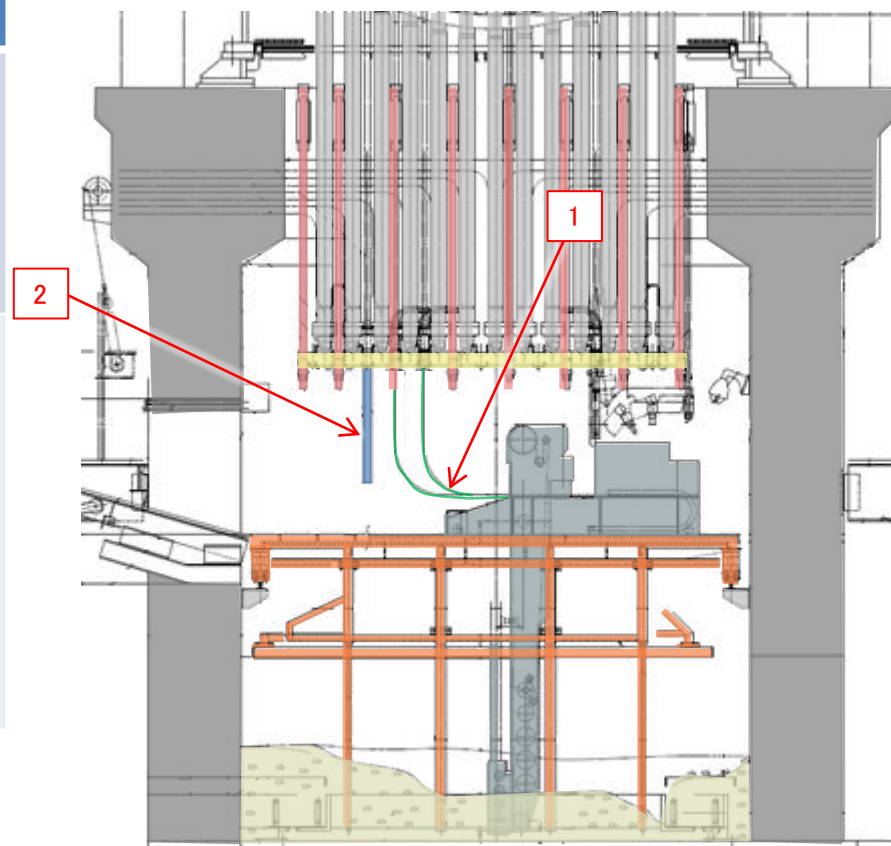


② CRD交換機の解体

■ 各種前提条件の整理[7/12] 【④CRD交換機周辺の干渉物(ペDESTル上部構造物)の仕様】

CRD交換機を撤去する為に事前撤去が必要な干渉物を抽出した。抽出した結果を以下に示す。

No.	干渉物	仕様	備考
1	TIP案内管	【外径】: φ9.525 [mm] 【員数】:31本 【材質】:SUS304-TP	•(4号機)
2	TIP案内管 サポート	【寸法】: 高さ:75×75×t9 [mm] (U字鋼) 長さ:約1,600 [mm] (P/F上～下端:633.2 [mm]) 【質量】:約25 [kg]程度 【員数】:10～20(想定) 【材質】:SUS304(推定)	•2号機でのみ 使用

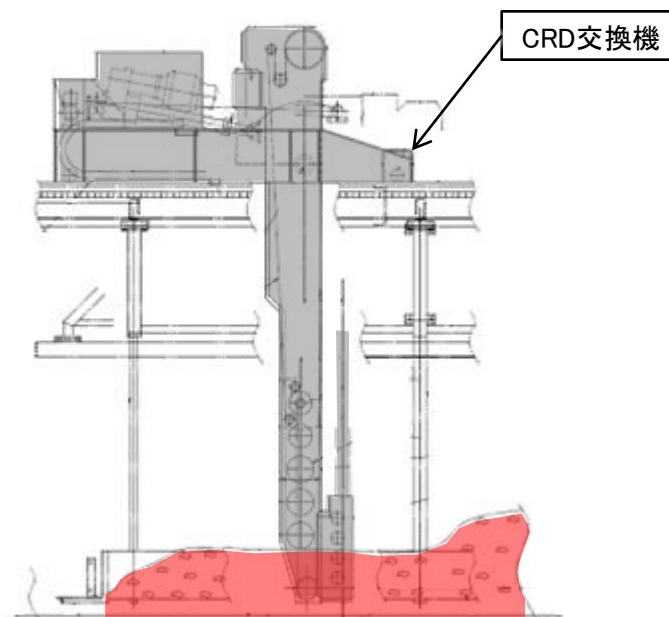


ペDESTル内CRD交換機他縦断面図

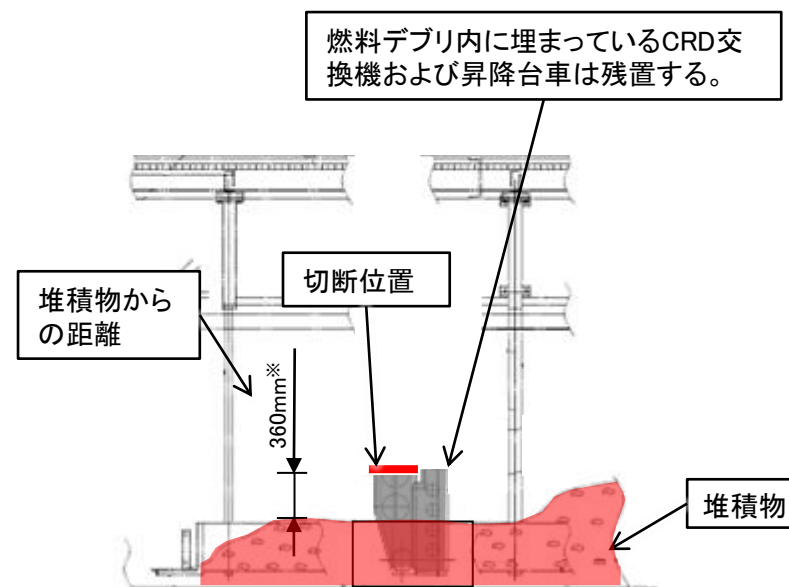
② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[8/12]【⑤ペDESTAL底部の堆積物の状況と、CRD交換機の撤去範囲】

- 1～3号機共通で、CRD交換機の撤去範囲は、ペDESTAL底部の堆積物内に埋まっているCRD交換機および昇降台車以外とする。(CRD交換機および昇降台車は、堆積物に固着していることを想定)
- 2号機CRD交換機について、切断時の断面積が少なくなる穴部を切断する方針とする。また、切断ツールの設置性を考慮し、切断位置と堆積物との距離を確保する為、残置するCRD交換機は、堆積物表面から高さ360mm※とする。



CRD交換機撤去前(2号機の例)



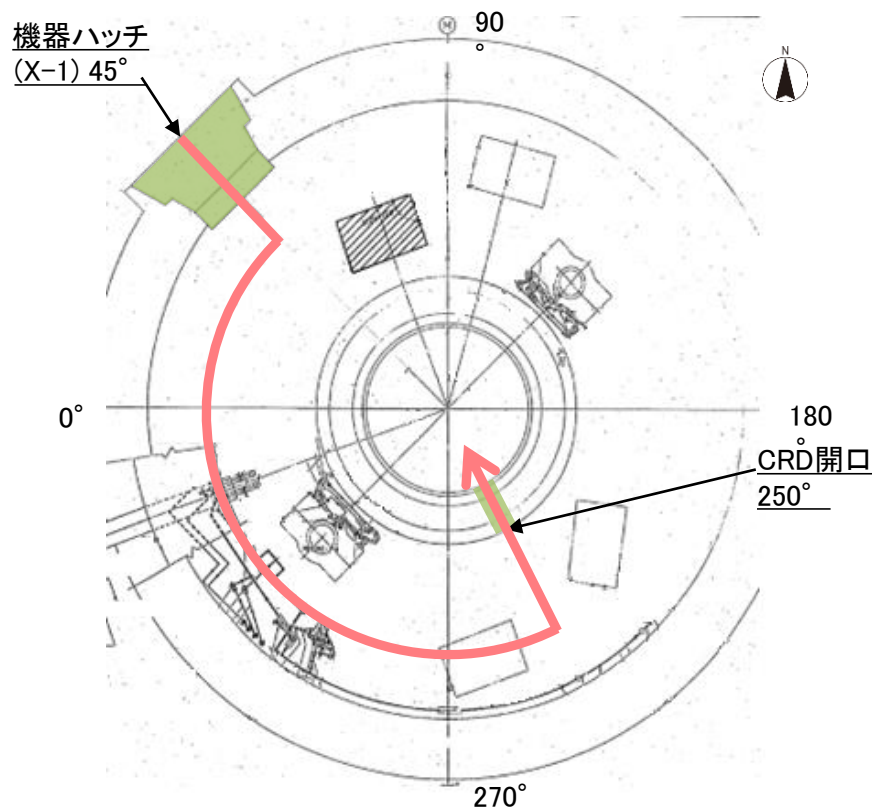
CRD交換機撤去後(2号機の例)

※推定値。

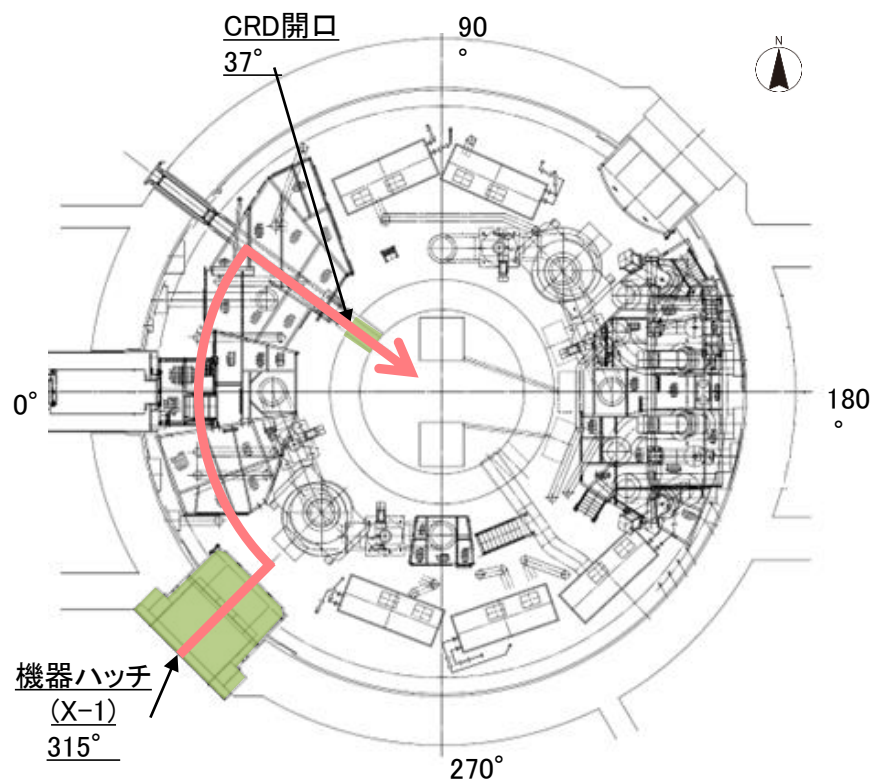
② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[9/12]【⑥使用するアクセスルート】

- X-1B～CRD開口までのペDESTAL外最短経路をアクセスルートとする。
- ペDESTAL内干渉物解体片の搬出ルートは、アクセスルートと同一の逆順とする。
- ペDESTAL内干渉物解体・撤去装置、治具類、および解体片は、搬送台車に積載してCRD開口～X-1B間を移送する。



1号機の搬出ルート

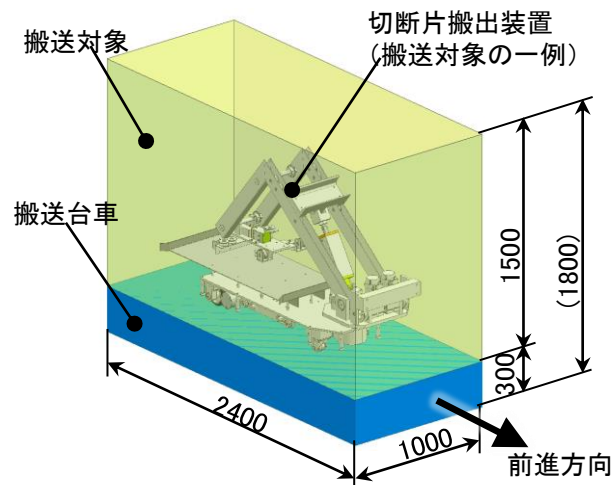


2/3号機の搬出ルート

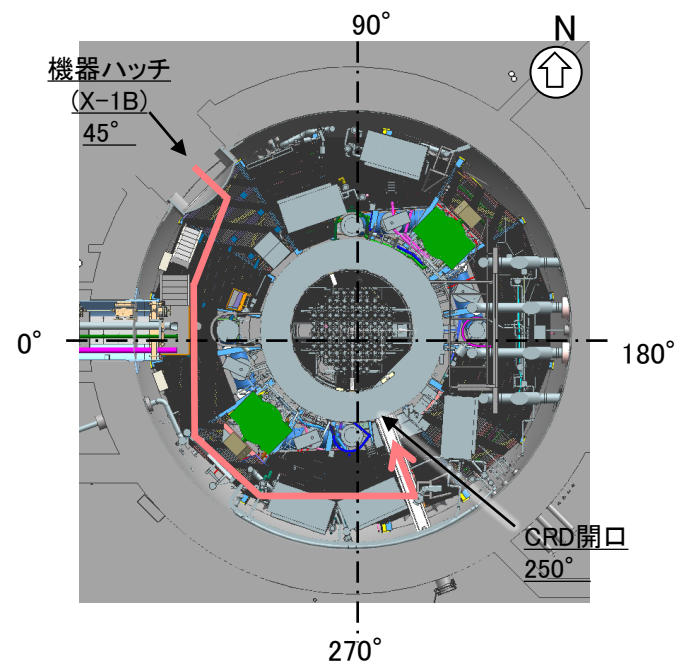
② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[10/12]【⑦アクセスルート上の干渉物】

- 前頁に記載した搬送台車の寸法および走行ルートを以下に示す。
- 1号機および2/3号機について、アクセスルート上の干渉物をリストアップした。
- また、アクセスルート上の狭隘部通過可否を3Dモデル上で検討した。



搬送台車寸法(搬送対象積載状態)

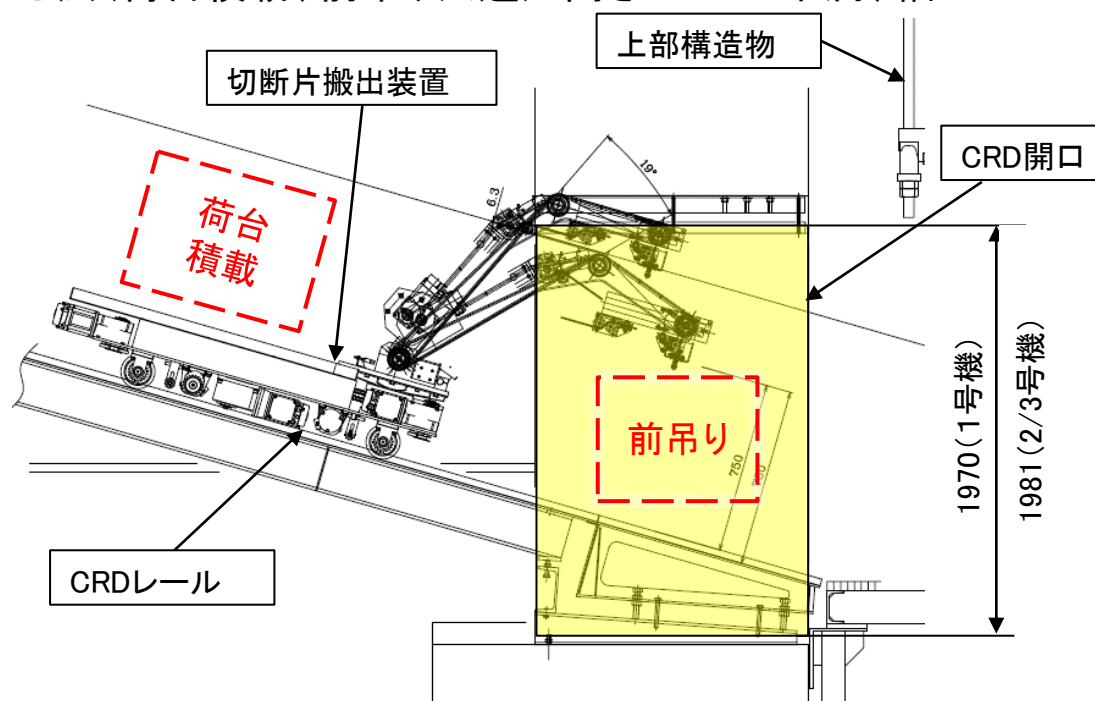


搬送台車走行ルート(1号機の例)

② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[11/12]【⑧搬出入方法】

- 搬出入時のイメージを以下に示す。
- ペDESTAL内に入搬する装置・治具類は、装置の荷台に積載した状態、もしくはジブで前吊りした状態で移送する。
- ペDESTAL外に入搬する切断片についても同様に、装置の荷台に積載した状態、もしくはジブで前吊りした状態で移送する。
- 搬出入物の寸法(荷台積載、前吊り共通):高さ750 mm未満、幅750 mm未満



② CRD交換機の解体

■各種前提条件の整理[12/12]【⑨アクセス範囲】

- ・ ペDESTAL内全域(CRDサポートブロック下端以下)をアクセス範囲とする。
- ・ CRD開口からペDESTAL内へ進入後、ペDESTAL内の任意の位置までアクセスする。
- ・ 1F-1～3のペDESTAL内アクセス範囲を下表に示す。

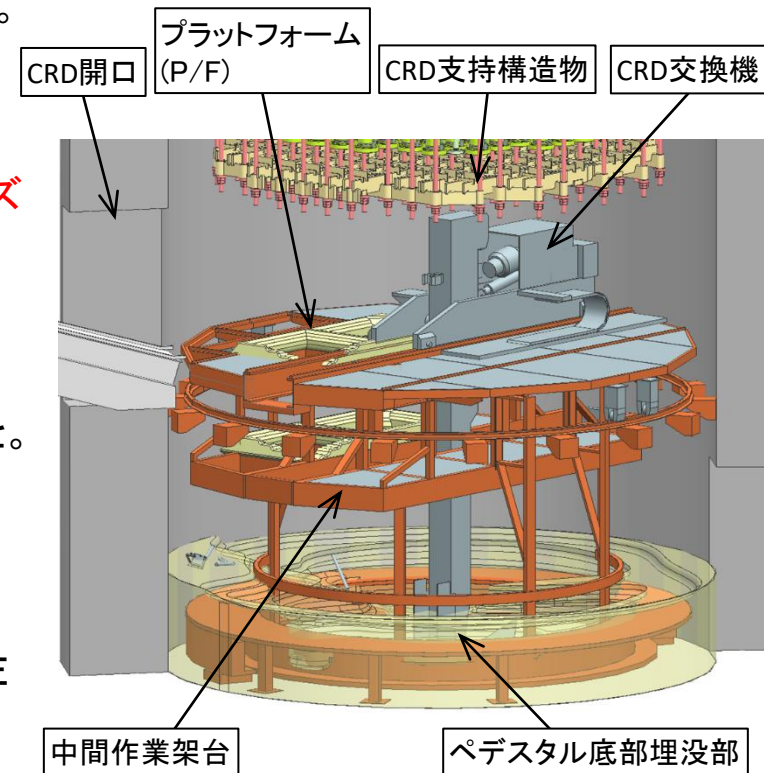
		1号機	2号機	3号機
アクセス範囲	ペDESTAL内径(r、θ方向)	5,000mm	5,440mm	5,440mm
	ペDESTAL深さ(Z方向)	4,995.4 mm	5,081 mm	5,081 mm
参考図				

② CRD交換機の解体

■CRD交換機の解体・撤去に関する要求事項

(1) 工法に対する要求事項

- [2号機特有] **P/Fが残存した状態で、CRD交換機を撤去**すること。
(P/F上にCRD交換機が残存している為、P/Fおよび中間作業架台の事前撤去は困難であると判断)
- [1/3号機特有] **CRD開口付近の構造物から順次撤去**すること。
- 大型構造物を、**CRD開口から搬出可能で、かつ極力大きなサイズに切り出し、搬出**すること。
(切断回数低減によるスループット向上が目的)
- 切断片を極力**ペDESTAL底部へ落下させない対策**をすること。
- 装置・治工具を**ペDESTAL底部へ落下させない対策**をすること。
- 切断片、装置および治工具を**ペDESTAL底部へ仮置きしない**こと。
- ペDESTAL内の上部構造物(CRD支持構造物)の健全性が不明である為、**上部構造物へ設備取付をしない**こと。
- ペDESTAL内壁の健全性が不明である為、**内壁面に対し、アンカー等の加工を伴う作業はしない**こと。
(ペDESTAL外壁面へ荷重を掛けることおよびCRD搬出口内の左右上の壁面の突っ張り使用は可能とする)



ペDESTAL内概要イメージ図(2号機の例)

(2) 使用する装置・治具に対する要求事項

- ペDESTAL内の環境条件(ペDESTAL上部からの降雨、暗所、線量率:43Gy/h*1 以上)で使用可能であること。
- ペDESTAL内で、溶接等の特殊工程を実施不要であること。
- 作業時の視認性を上げる為の、カメラと照明を搭載すること。

*1) 2号機ペDESTAL外における線量率の最大値。
(出典:東京電力ホームページ、2号機原子炉格納容器内部調査実施結果[2019/02/28])

② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討

2号機と1/3号機のCRD交換機解体撤去方法、方針を以下に示す。

	2号機	1/3号機
ペDESTラル 内部状況 イメージ	<p>上部機器 CRD交換機 中間作業架台 プラットフォーム(P/F) 堆積物</p>	<p>上部機器 CRガイドチューブ 中間作業架台 CRD交換機 (堆積物内に埋没) プラットフォーム(P/F) 堆積物</p>
解体方法	<p>P/Fが残存した状態で、CRD交換機を撤去する。 (P/F上にCRD交換機が残存している為、P/Fおよび 中間作業架台の事前撤去は困難であると判断。)</p>	<p>CRD開口付近の構造物(P/Fや中間作業架台等) から順次撤去し、作業エリアを確保した状態で CRD交換機を撤去する。</p>
解体方針	<p><u>大型構造物切断片を、CRD開口から搬出可能で、かつ極力大きなサイズとする。</u></p>	

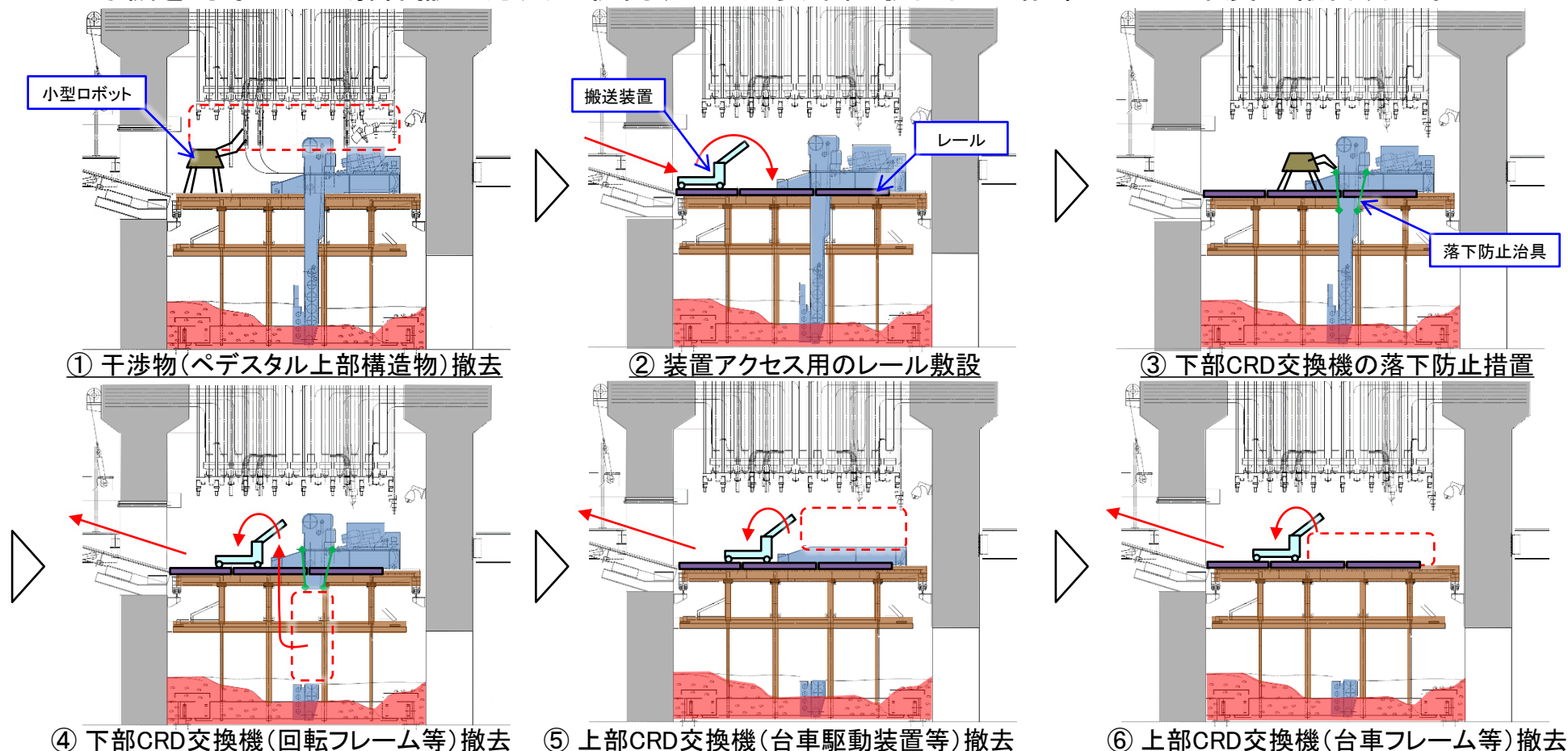
- 2号機と1/3号機の解体方法は異なるが、解体方針は全号機共通で、切断回数低減によるスループット向上を目的として、大型構造物切断片を、CRD開口から搬出可能で、かつ極力大きなサイズとする。
- 2号機と1/3号機各々の解体方法について、作業ステップを次頁に示す。
- 1/3号機は不確定要因(CRD交換機の位置および状態、堆積物の状態等)が多い。今後、不確定要因が明確になった段階で、解体方法の見直しを実施する。

② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(2号機対象)

2号機CRD交換機解体撤去のペDESTAL内作業ステップ(概念)を以下に示す。

2号機を対象にした解体撤去方法の検討、および要素試験計画～結果は2021年度に報告済み。

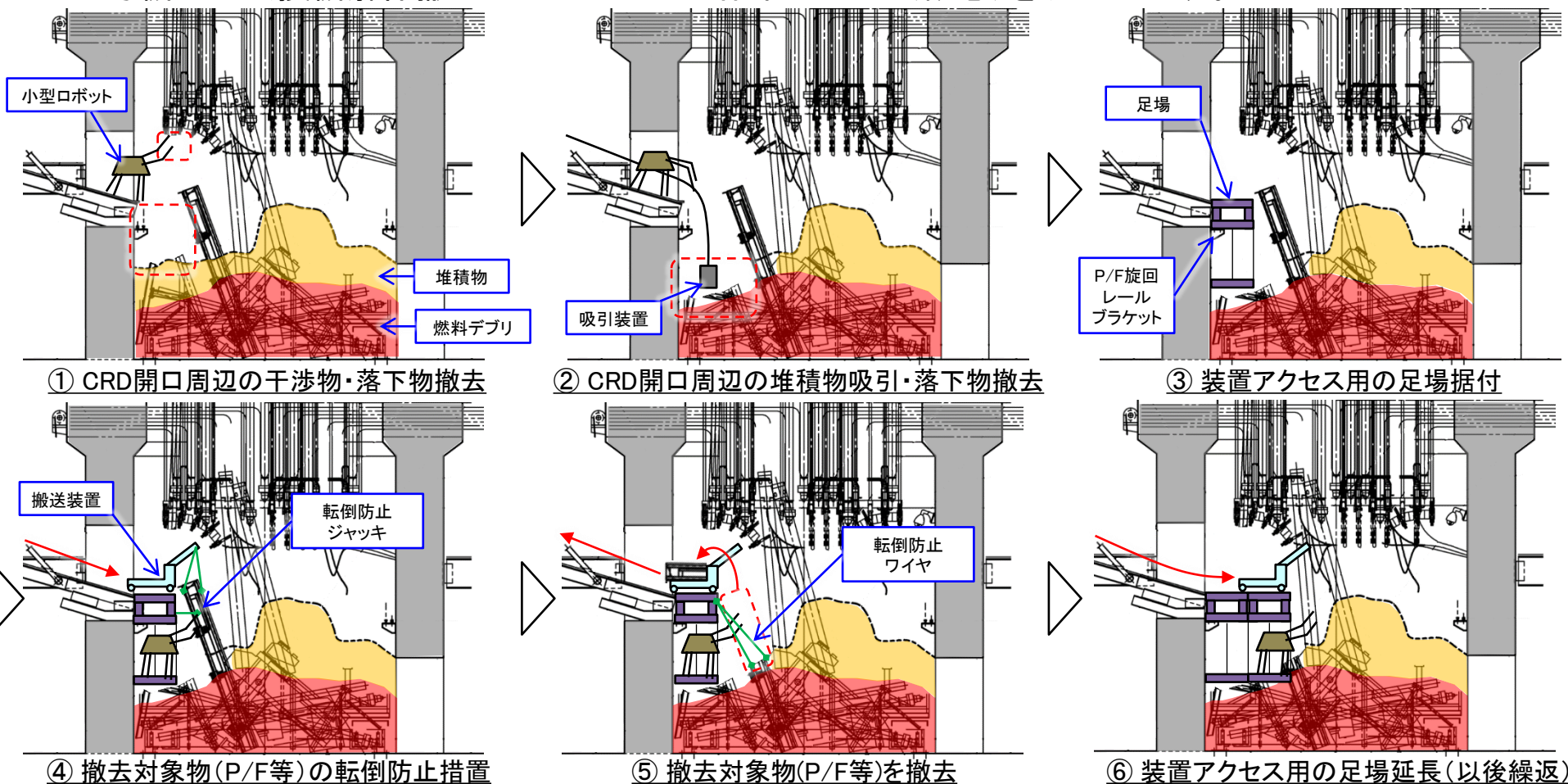


P/F上にレールを敷設し、レール上を走行させて装置・ロボを所定位置まで移動させる。

② CRD交換機の解体

■CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[1/8]

1/3号機CRD交換機解体撤去のペDESTAL内作業ステップ(概念)を以下に示す。

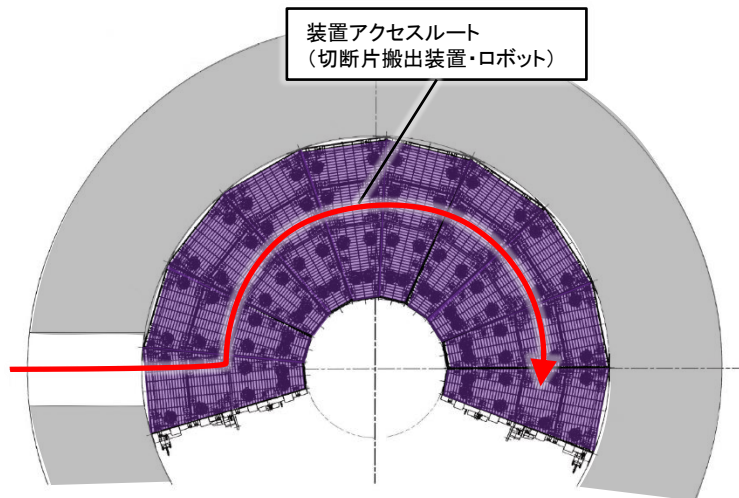
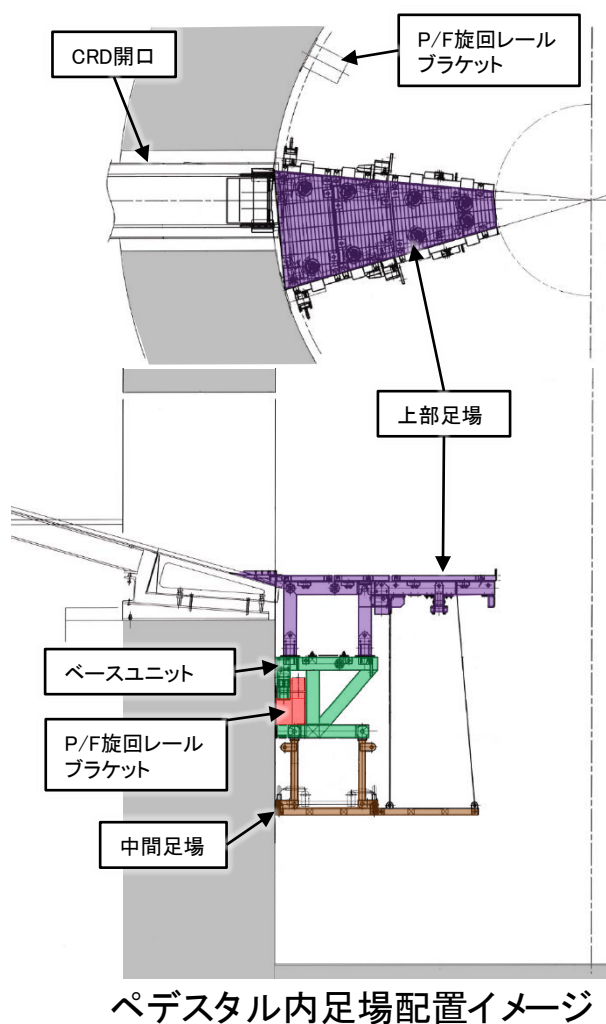


P/F旋回レールブラケットを活用して足場を構築し、底部燃料デブリに荷重を加えずに装置・ロボを所定位置まで移動させる。

② CRD交換機の解体

■CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[2/8]

P/F旋回レールブラケットを活用した足場構築イメージを以下に示す。



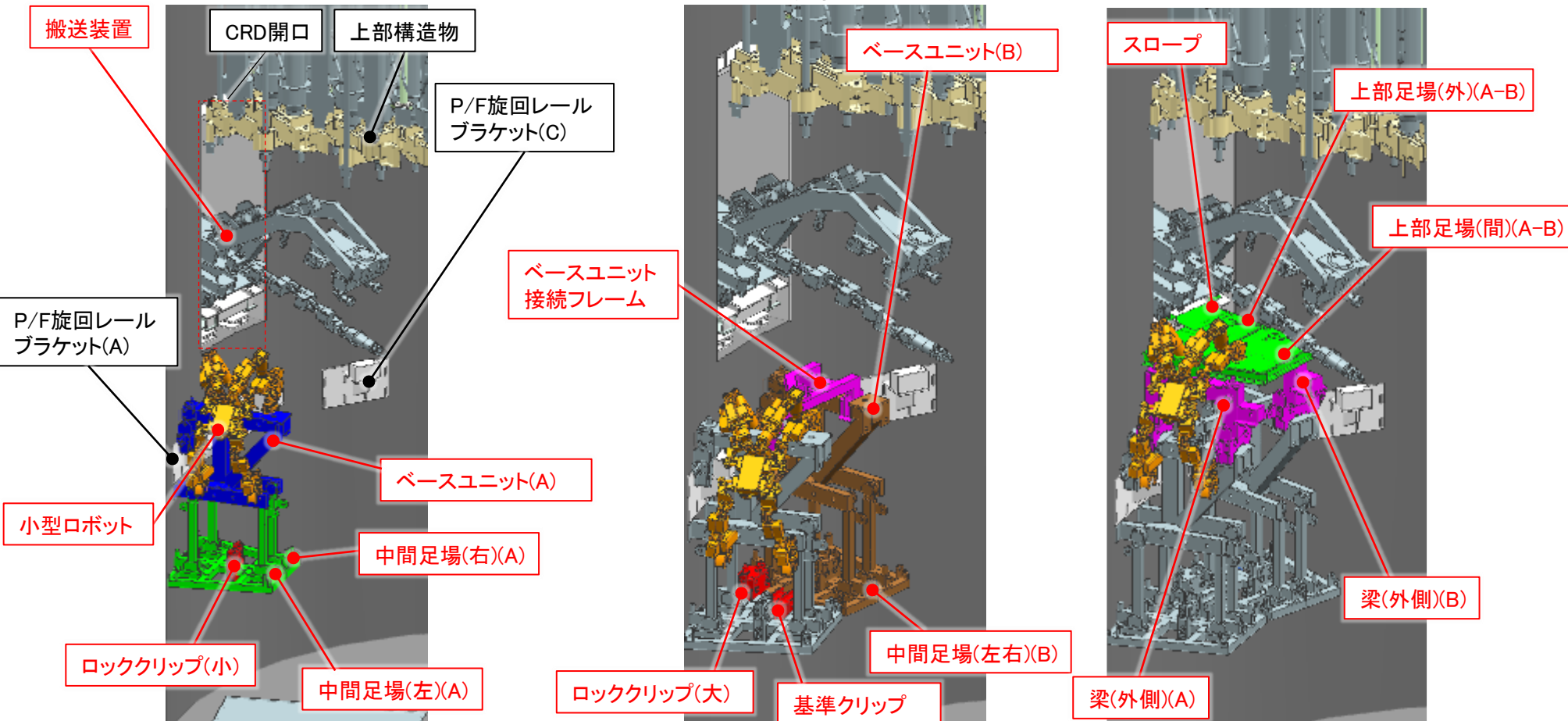
要素試験時 足場配置例

No.	名称	詳細
1	ベースユニット	<ul style="list-style-type: none"> ブラケット上のレールを回避しながらブラケット上に吊り下ろして設置・仮クランプされ、小型ロボットが工具を用いることでブラケットを上下方向クランプする。
2	上部足場	<ul style="list-style-type: none"> 主に切断片搬出装置がペデスタル内の所定位置まで移動する為の足場。 ベースユニット上部にピン挿入で位置決め・設置され、設置後に小型ロボットが工具を用いることで固定される。
3	中間足場	<ul style="list-style-type: none"> 主に小型ロボットがペデスタル内の所定位置まで移動する為の足場。 ベースユニット下部にワイヤ吊りまたは展開式の脚で固定される。 ペデスタル底部の燃料デブリおよび堆積物の高さに応じて中間足場の取り付け可否を判断する。

② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[3/8]

1F-1/3号機ペDESTAL内での付帯設備設置(足場構築)手順のイメージを以下に示す。

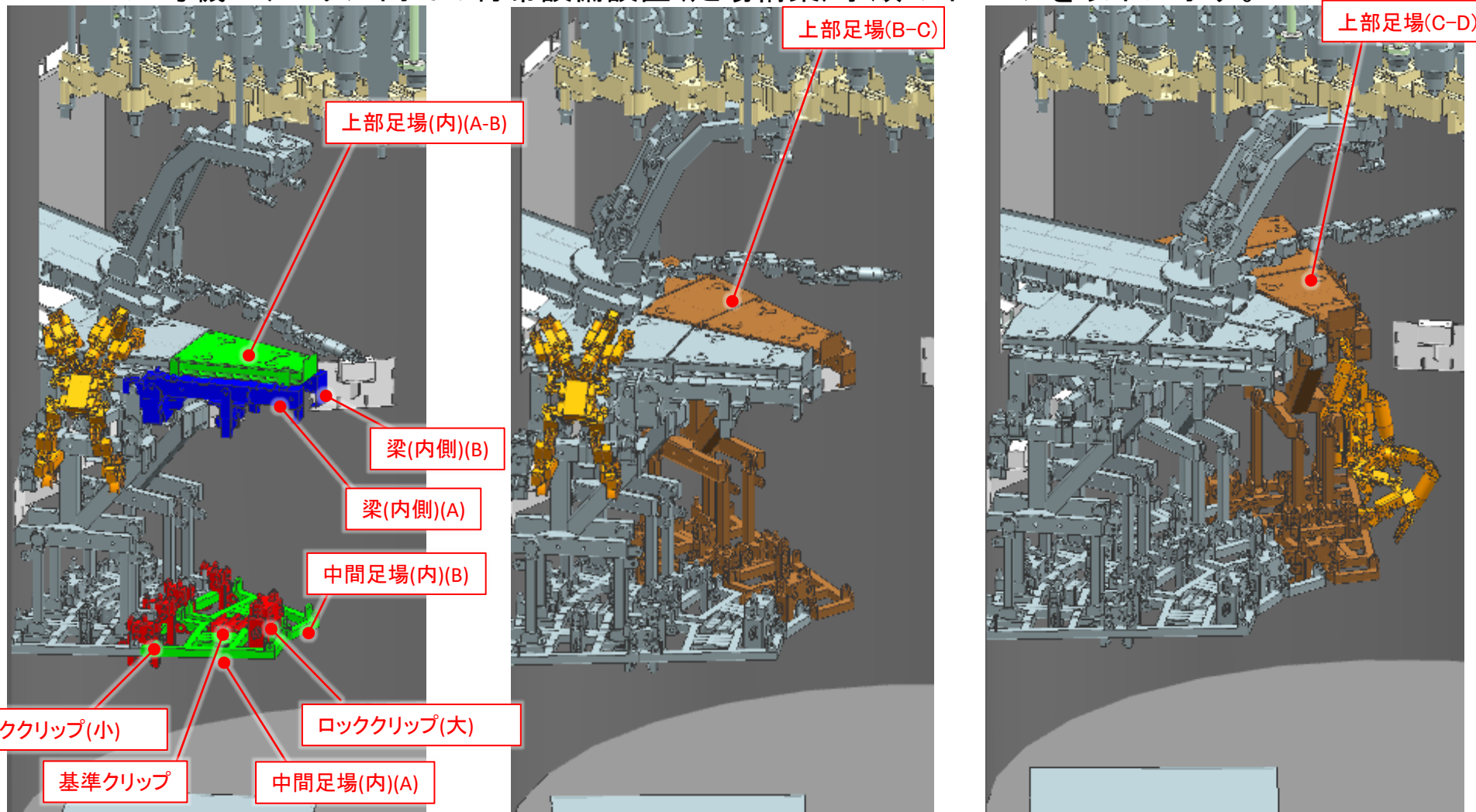


搬送装置を用いて、CRD開口から搬入可能な寸法の部品をペDESTAL内に搬入し、小型ロボットを用いてペDESTAL内で組立、搬送装置や小型ロボットがペDESTAL内の所定位置まで移動する為の足場とする。

② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[4/8]

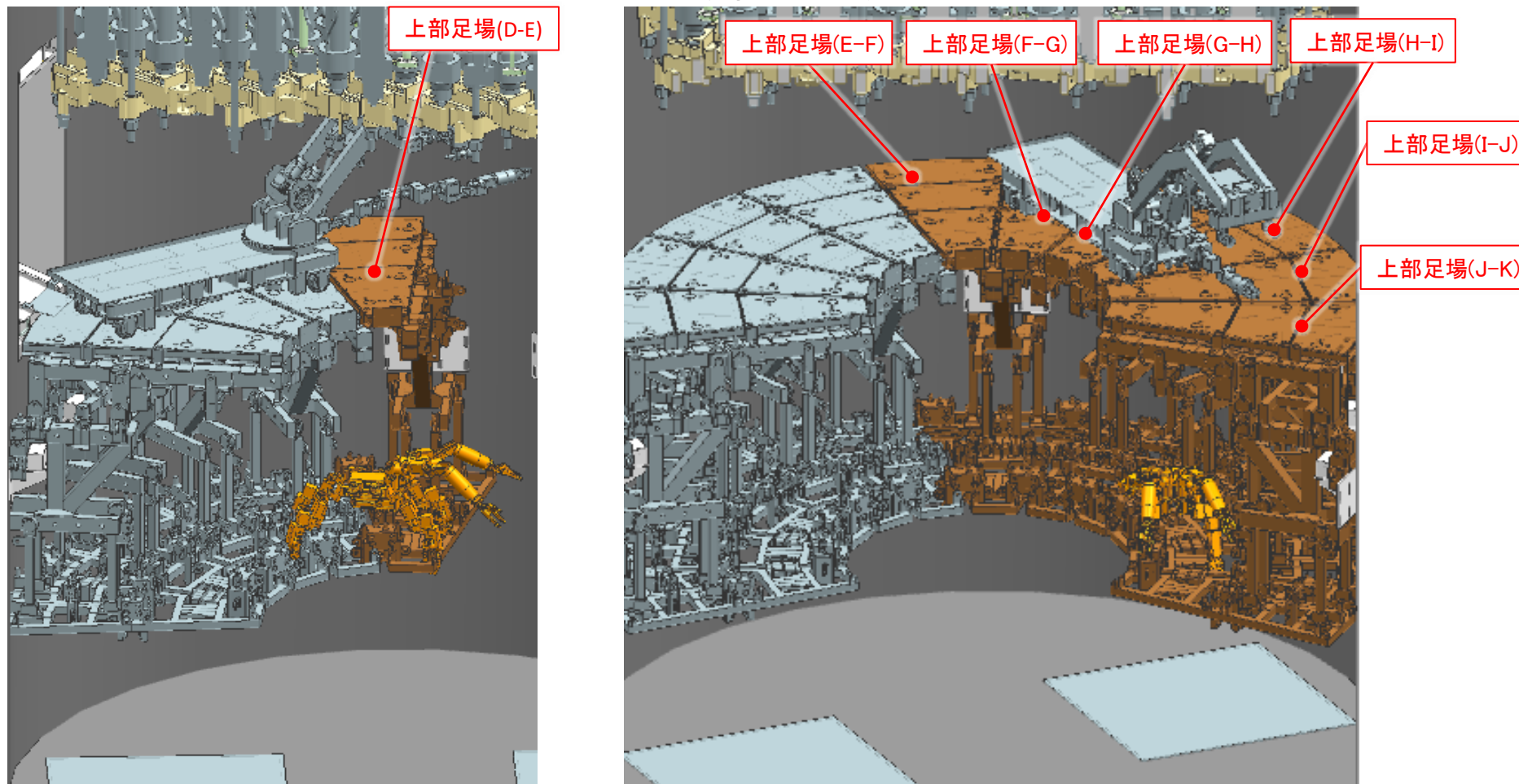
1F-1/3号機ペDESTAL内での付帯設備設置(足場構築)手順のイメージを以下に示す。



② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[5/8]

1F-1/3号機ペDESTAL内での付帯設備設置(足場構築)手順のイメージを以下に示す。

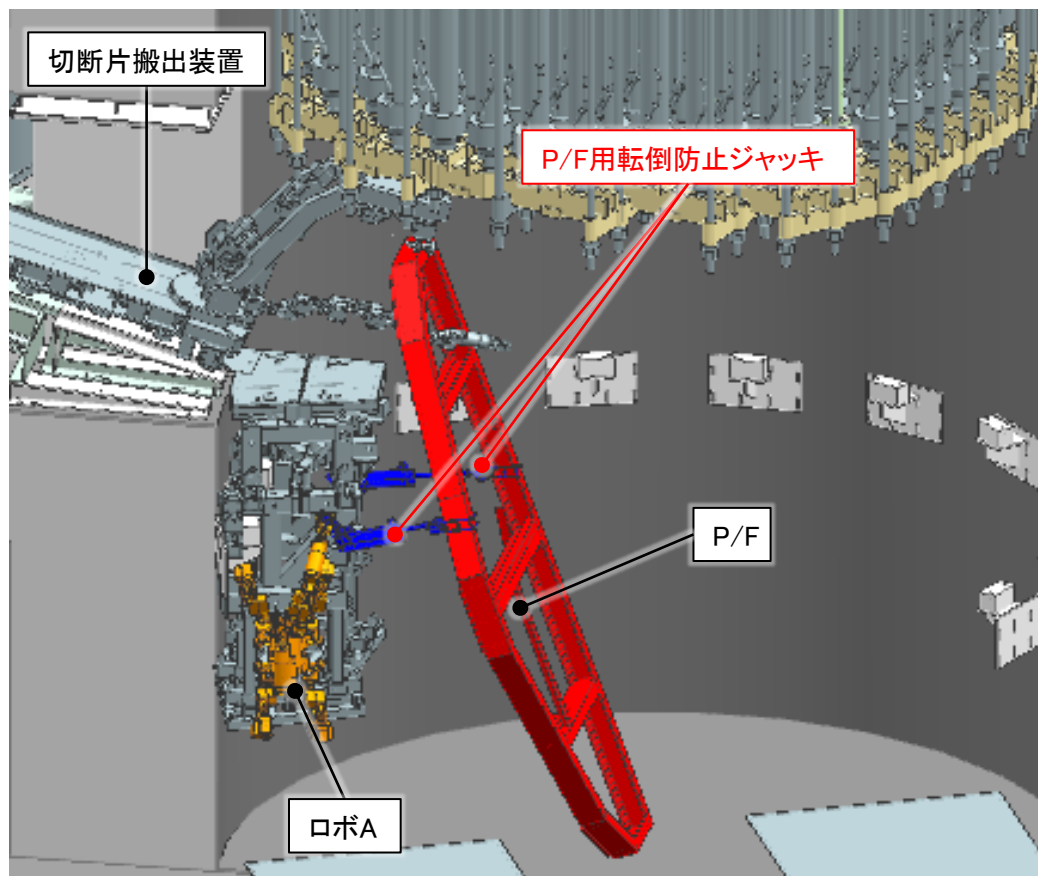


以下、同様のステップでペDESTAL内全周に足場を構築する。

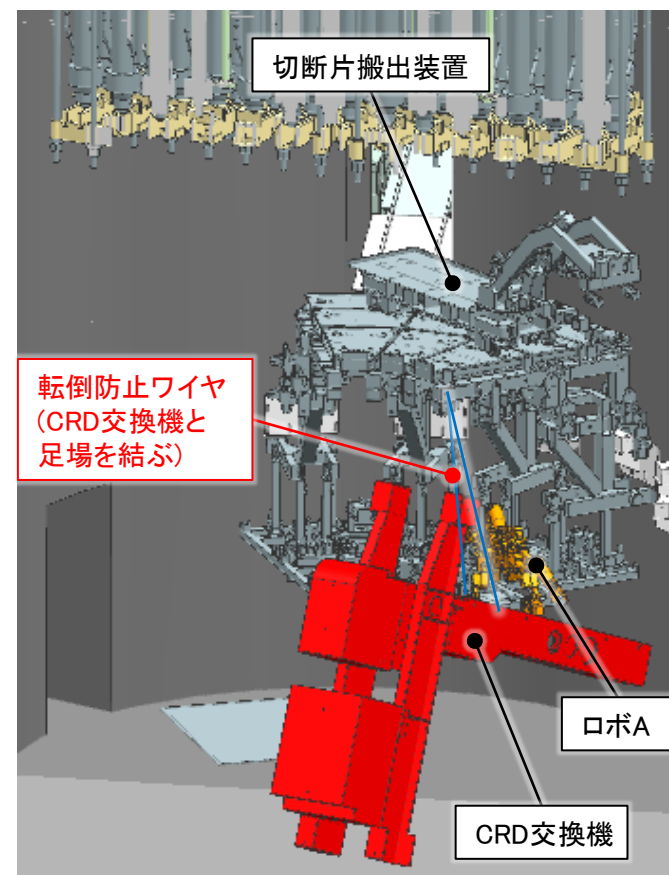
② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[6/8]

1F-1/3号機ペDESTAL内での干渉物転倒防止手順のイメージを以下に示す。



P/F転倒防止



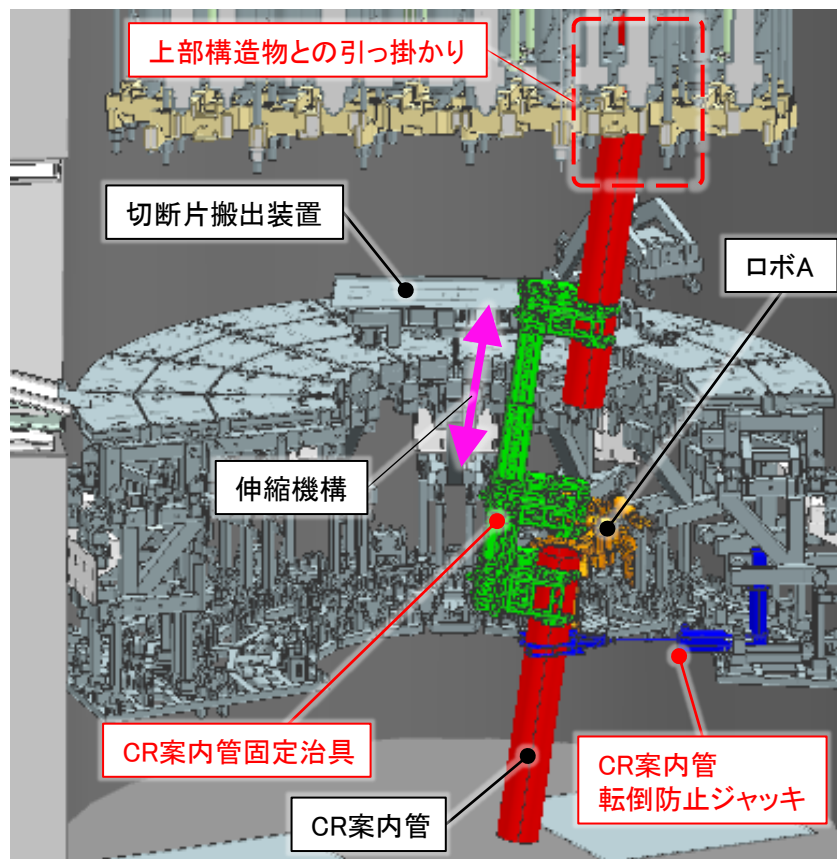
CRD交換機転倒防止

足場構築箇所近傍に干渉物が存在する場合、足場と干渉物を治具もしくはワイヤで連結し、転倒防止をした後、解体撤去。

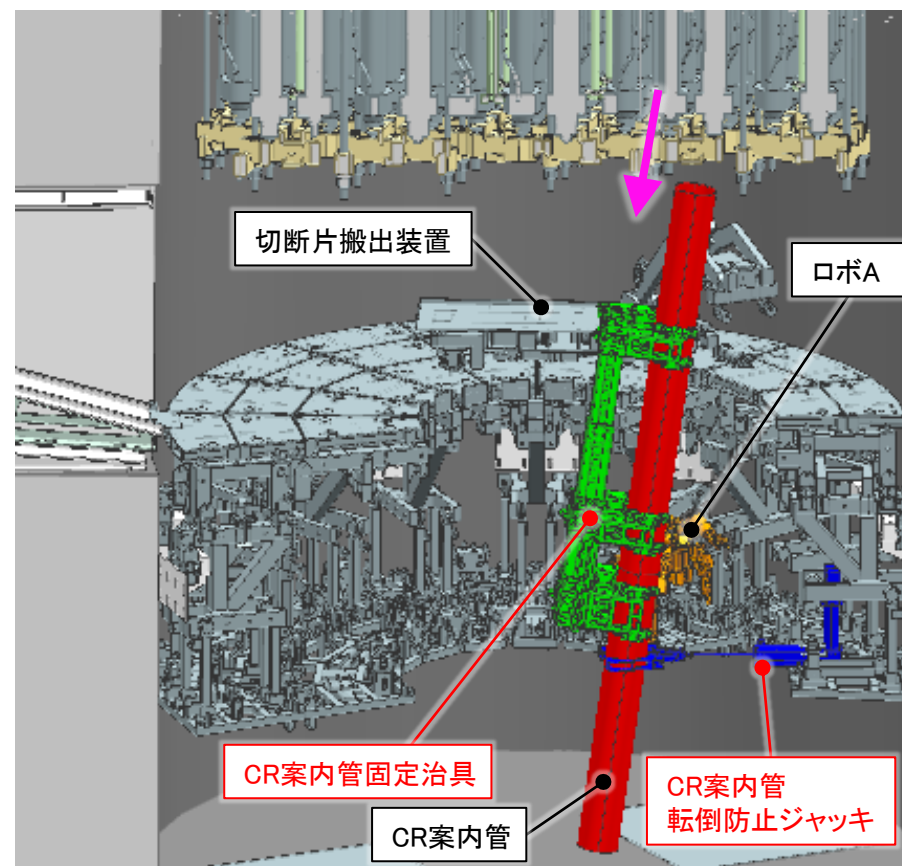
② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[7/8]

1F-1/3号機ペDESTAL内での干渉物転倒防止手順のイメージを以下に示す。



CR案内管転倒防止



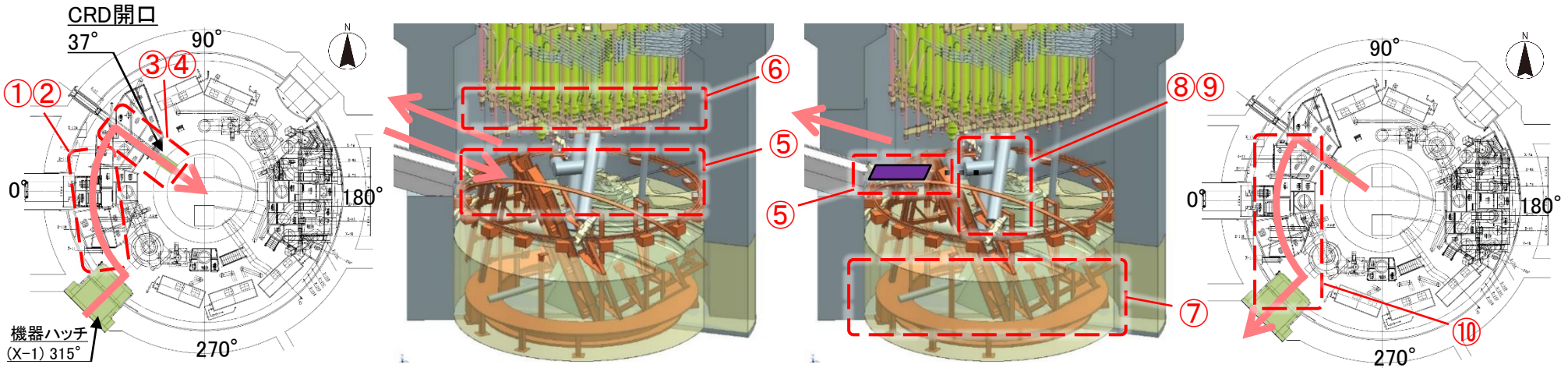
CR案内管引き抜き

足場構築箇所近傍に干渉物が存在する場合、足場と干渉物を治具もしくはワイヤで連結し、転倒防止をした後、解体撤去。

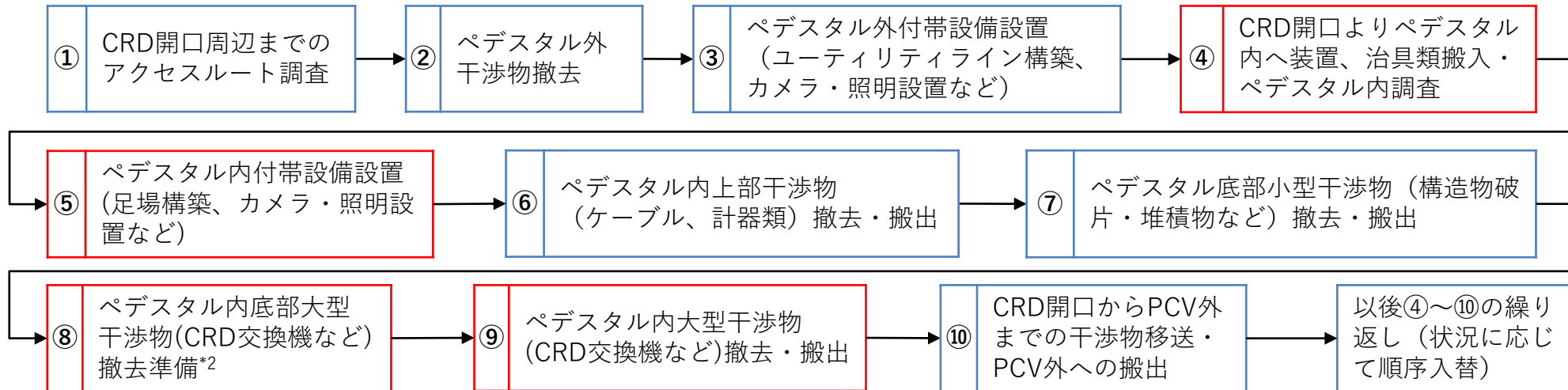
② CRD交換機の解体

■ CRD交換機の解体・撤去方法の検討(1/3号機対象)[8/8]

1F-1/3号機ペDESTAL内/外での全体作業ステップ*1(概略)を以下に示す。



〈概略作業ステップ(□:開発対象)〉



6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

② CRD交換機の解体

■要素試験項目(1/3号機対象)[1/2]

検討した作業ステップのうち、単体試験および要素試験の試験項目を選定した。

作業			単体試験*1		要素試験*2	
号機	ステップ	内容	要否	理由	要否	理由
1～3 共通	①ペDESTAL外 付帯設備設置(1/2)	俯瞰カメラ/照明設置 (ペDESTAL外)	否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で 実施している為不要。
		ユーティリティライン構築	否	2019年度補助事業(水循環システム構築)で 実施している為不要。	否	2019年度補助事業(水循環システム構築)で 実施している為不要。
	②ペDESTAL外 干渉物撤去	ペDESTAL外 干渉物の切断/把持/移動	否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で 実施している為不要。
	③ペDESTAL外 付帯設備設置(2/2)	ウインチユニットの設置	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。
		ケーブルホース処理装置 の設置	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。
		搬出入レールの設置	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。
		切断片搬出装置の設置	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で 実施している為不要。
	④ペDESTAL内調査	損傷状況の確認	否	環境模擬体内で試験実施すべき内容の為。	要	俯瞰カメラや照明が十分設置されていない状況で、 損傷状況を判定可能か確認する為。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

② CRD交換機の解体

■要素試験項目(1/3号機対象)[2/2]

検討した作業ステップのうち、単体試験および要素試験の試験項目を選定した。

作業			単体試験*1		要素試験*2	
号機	ステップ	内容	要否	理由	要否	理由
1/3	⑤ペDESTAL内付帯設備設置	俯瞰カメラ/照明設置(ペDESTAL内)	否	環境模擬体内で試験実施すべき内容の為。	要	ペDESTAL内の所定の箇所にカメラや照明を遠隔設置可能か確認する為。
		ペDESTAL内足場の展開・延長	要	展開・延長可能な条件を確認する為。(1/3号機特有の足場)	要	周辺の構造物と干渉せず、展開・延長可能か確認する為。(1/3号機特有の足場)
	⑥ペDESTAL内干渉物撤去・搬出	配管、サポートの切断/把持/移動	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で実施している為不要。	否	2020年度補助事業(ペDESTAL内干渉物撤去)で実施している為不要。
	⑦ペDESTAL底部小型干渉物撤去・搬出	堆積物吸引装置の設定	否	堆積物性状・吸引回収可否が確定していない為。	否	堆積物性状・吸引回収可否が確定していない為。
堆積物吸引		否	堆積物性状・吸引回収可否が確定していない為。	否	堆積物性状・吸引回収可否が確定していない為。	
落下物撤去準備・撤去		否	⑧⑨の作業と類似し、⑧⑨で確認する為不要。	否	⑧⑨の作業と類似し、⑧⑨で確認する為不要。	
	⑧ペDESTAL内底部大型干渉物(CRD交換機など)撤去準備	切断装置の搬入・設置	要	搬入・設置可能な条件を確認する為。	要	搬入・設置可能な条件を確認する為。
転倒防止治具の搬入・設置		要	要			
撤去対象物周辺への切断片搬出装置の移動		要	移動可能な条件を確認する為。	要	周辺の構造物と干渉せず、移動可能か確認する為。	
	⑨ペDESTAL内大型干渉物(CRD交換機など)撤去・搬出	撤去対象物の切断	否	2号機のステップ⑩と類似の為。	否	2号機のステップ⑩と類似の為。
撤去対象物切断片の切断片搬出装置による揚重		要	ペDESTAL底部から切断片を揚重可能な条件を確認する為。	要	周辺の構造物(錯綜した落下物)と干渉せず、揚重可能か確認する為。	
ペDESTAL外への切断片搬出装置の移動		否	2号機のステップ⑩と類似の為。	否	2号機のステップ⑧⑩⑫と類似の為。	
ペDESTAL外(機器ハッチ前まで)への切断片搬出		否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で実施している為不要。	否	2018年度補助事業(ペDESTAL外干渉物撤去)で実施している為不要。	

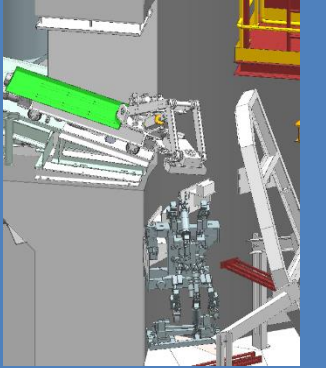
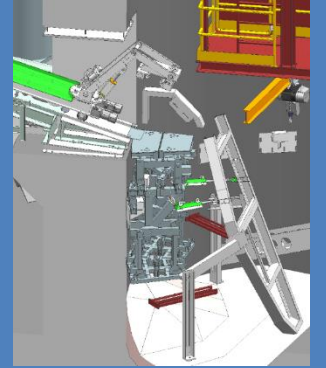

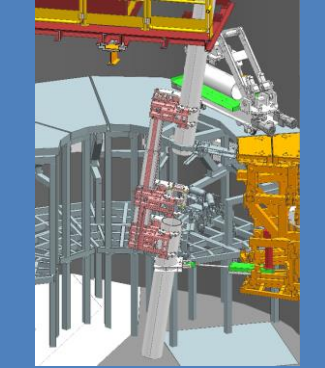
要と判断した単体試験および要素試験について試験を実施した。

② CRD交換機の解体

■要素試験計画(1/3号機対象)[1/3]

要素試験概要のイメージを下表に示す。確認項目は次頁参照。

○:要素試験内で遠隔にて作業性を確認する項目

No.	試験区分	 損傷状況調査～足場構築	 P/F転倒防止～撤去	 CRD交換機転倒防止～撤去	 CR案内管転倒防止～撤去
1	ペDESTAL内調査 (P/F旋回レールブラケット)	○			
2	ペDESTAL内付帯設備設置 (カメラ・照明の設置)	○			
3	ペDESTAL内付帯設備設置 (足場構築・延長)	○	○		
4	所定の位置への装置アクセス (切断片搬出装置、小型ロボット)	○	○	○	○
5	転倒防止 (P/F、CRD交換機、CR案内管)		○	○	○
6	干渉物切断 (P/F、CRD交換機、CR案内管)		○	○	○
7	干渉物切断片搬出 (P/F、CRD交換機、CR案内管)		○	○	○

② CRD交換機の解体

■要素試験計画(1/3号機対象)[2/3]

要素試験における確認項目を以下に示す。

No.	試験区分	試験概要	確認項目
1	ペDESTAL内調査 (P/F旋回レールブラケット)	調査用カメラを把持させた切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、対象物に近づけ、見え方を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象物へのカメラ接近可否 ● カメラ画角の死角有無
2	ペDESTAL内付帯設備設置 (カメラ・照明の設置)	カメラ・照明を把持させた切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、設置対象物に近づき、設置する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠隔でのカメラ・照明設置可否 ● カメラ・照明設置作業中の装置・治具類とペDESTAL内干渉物との干渉(衝突など)の有無
3	ペDESTAL内付帯設備設置 (足場構築・延長)	切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、足場構築の一連の手順(ペDESTAL内での部品組立)を実施する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠隔での足場構築可否 ● 足場構築作業中の装置・治具類とペDESTAL内干渉物との干渉(衝突など)の有無 ● 複数セットの足場の接続・固定可否(組付け誤差による接続・固定不可事象の有無)
4	所定の位置への装置アクセス (切断片搬出装置、小型ロボット)	切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、ペDESTAL内に構築した足場(足場開口からペDESTAL内の所定位置まで)を移動させる。	<ul style="list-style-type: none"> ● 構築した足場上の所定位置までの装置移動可否 ● 移動中の装置のスタックやペDESTAL内干渉物との干渉(衝突など)の有無
5	転倒防止 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、穴加工ツールをペDESTAL内干渉物に位置決めする。 穴加工ツールを遠隔操作し、ペDESTAL内干渉物に玉掛用の穴を設ける。 切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、穴加工部に転倒防止治具(ジャッキ、ワイヤ)を取り付ける。	<ul style="list-style-type: none"> ● ペDESTAL内干渉物への玉掛用穴加工ツールの設定、穴加工可否 ● 刃の破断やスタックの有無 ● ペDESTAL内干渉物への転倒防止治具(ジャッキ、ワイヤ)の取り付け可否 ● 治具を用いた転倒防止の成立性(転倒防止可否)

② CRD交換機の解体

■要素試験計画(1/3号機対象)[3/3]

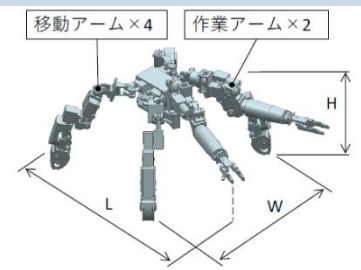

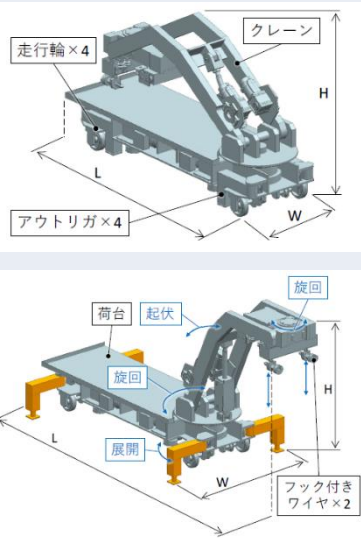
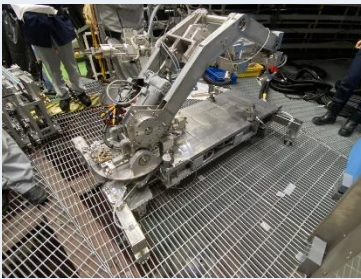

要素試験における確認項目を以下に示す。

No.	試験区分	試験概要	確認項目
6	干渉物切断 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、切断ツールをペDESTAL内干渉物に位置決めする。 切断ツールを遠隔操作し、ペDESTAL内干渉物を切断する。	<ul style="list-style-type: none"> ● ペDESTAL内干渉物への切断ツールの設定、切断可否 ● 刃の破断やスタックの有無 ● 切断中のペDESTAL内干渉物転倒有無
7	干渉物切断片搬出 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	切断片搬出装置/小型ロボットを遠隔操作し、ペDESTAL内干渉物切断片搬出の一連の手順(切断片の引き抜き、揚重、積載、ペDESTAL外への搬出)を実施する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠隔での切断片搬出可否 ● 切断片搬出作業中の、切断片、装置・治具類、ペDESTAL内干渉物との干渉(衝突など)の有無

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[1/13]

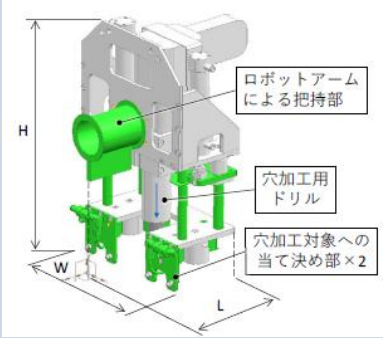

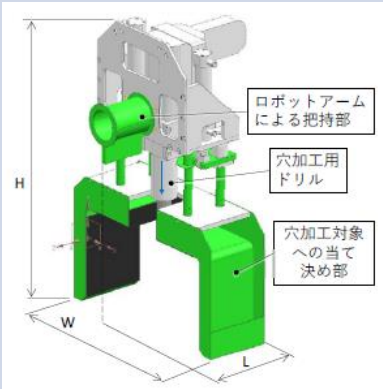

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
1	小型 ロボット	L1,380 × W980 × H670 (アーム展開状態)	約100			<ul style="list-style-type: none"> 4本の移動アームと2本の作業アームを備える。 平地移動時は、腹這いで姿勢を低くして移動。 ペデ内中間足場上移動時は、足場をクランプして移動。 切断片搬出装置のクレーンで吊り降ろした装置・治具類の位置決め補助や、玉掛け、足場組立作業を実施する。
2	切断片 搬出装置	L1,825 × W600 × H885 (ジブ格納状態) L2,640.5 × W1,060 × H1,361.5 (ジブ展開状態)	430		 	<ul style="list-style-type: none"> CRDレール上に設置後、ペDESTAL内へ自走にて進入し、ペデ内上部足場上を走行する。 クレーン揚重・運搬可能重量: 250 [kg] 巻上揚程: 約5 [m] 荷台に積載した装置・治具(足場部品含む)の運搬、揚重、大まかな位置決め作業を実施する。 解体片の揚重、荷台への積載、ペデ外への搬出作業を実施する。 アウトリガの他に、床面と切断片搬出装置を固縛する為の巻取り式ワイヤを4箇所備える。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[2/13]

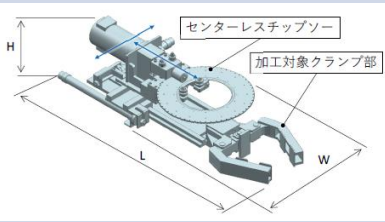
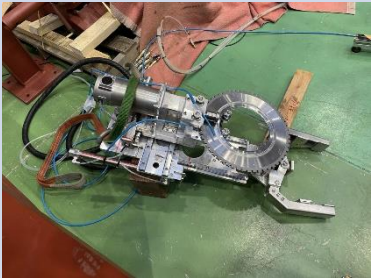
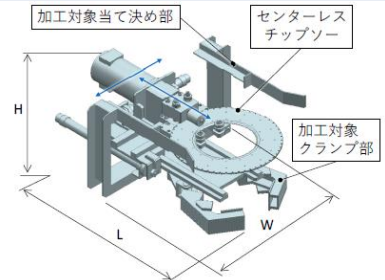

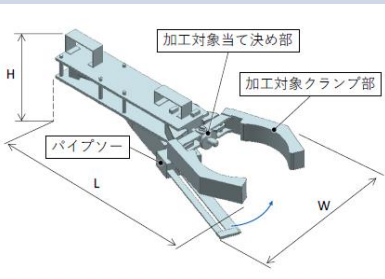

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
3	玉掛用 穴加工 ツール	L272 × W235 × H440.5 (平板対応) L269.5 × W368 × H595.5 (曲面対応)	10			<ul style="list-style-type: none"> 各種切断片を揚重可能にする為の玉掛用穴加工ツール。 加工対象: P/F、CRD 交換機(平板対応) CR案内管(曲面対応) 加工穴寸法: φ25mm × 深さ35mm
						

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[3/13]

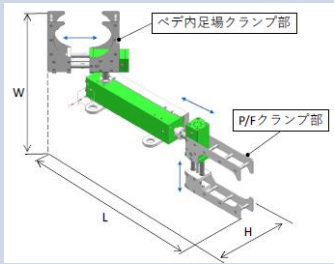
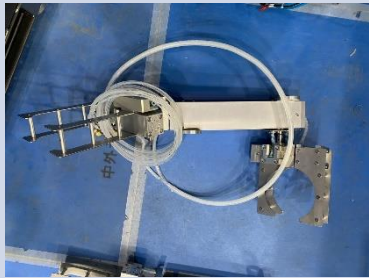
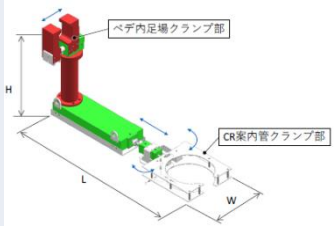

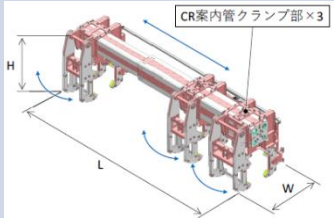

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
4	P/F 切断 ツール	L874×W312.5 ×H218	21			<ul style="list-style-type: none"> • HVH解体撤去要素試験に使用したツールの流用品。 • P/Fを把持し、切断する。
5	CRD 交換機 切断 ツール	L672×W488 ×H302	24			<ul style="list-style-type: none"> • HVH解体撤去要素試験に使用したツールの流用品。 • CRD交換機(回転フレーム)を把持し、切断する。
6	CR案内 管 切断 ツール	L824×W522 ×H253	15			<ul style="list-style-type: none"> • 事前にCR案内管の穴空けを実施し、加工対象当て決め部のピンを挿入する。(ツールズレ防止) • CR案内管を把持し、切断する。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[4/13]

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
7	P/F 転倒防止 ジャッキ	L788.1 × W457.5 × H224.2	10.8			<ul style="list-style-type: none"> ジャッキ可能重量: 630kg/1 台 各クランプ手前にリンク+バネの角度ズレ吸収部を備える。 一方はベースユニット、もう一方はP/Fをクランプして転倒を防止する。
8	CR案内 管 転倒防止 ジャッキ	L1,180.5 × W350 × H633.5	36.4			<ul style="list-style-type: none"> ジャッキ可能重量: 630kg/1 台 各クランプ手前にリンク+バネの角度ズレ吸収部を備える。 一方はベースユニット、もう一方はCR案内管をクランプして転倒を防止する。
9	CR案内 管 固定治具	L1,234~2234 × W600.7 × H704	207.5			<ul style="list-style-type: none"> クランプ1箇所あたりの揚重能力: 150kg クランプ部3箇所と伸縮機構を備えており、切断片引き抜き後のCR案内管(上下)を固定する治具。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[5/13]

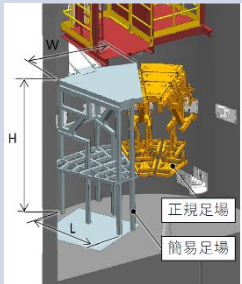

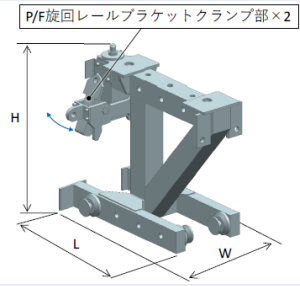

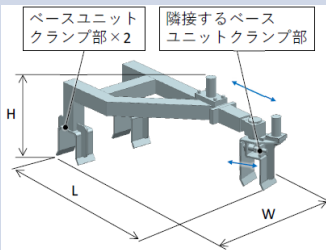

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)／外観(写真)	概要
10	ペデ内足場 (正規足場)	約L1,700 × W885.2 × H1,804	570		<ul style="list-style-type: none"> 次頁以降に示す足場構成部品をペデ内で組合せたもの。 足場構成部品どうしは、クランプにより固定。 2セット分準備。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[6/13]


要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
11	簡易足場	L1,650 × W1,842 × H2,982	540			<ul style="list-style-type: none"> 納期とコストの観点で、正規の足場をペDESTAL内周分全て準備することができない為、正規足場2セット分のサイズの簡易足場を準備。 P/F 旋回レールブラケット基部に人手で固定、ペDESTAL底部に脚を着座させる構造。
12	ベースユニット	L810 × W508 × H717	69.4			<ul style="list-style-type: none"> P/F 旋回レールブラケットに上から自重で嵌めこむ。 上面のソケットを回転工具で操作し、上下方向クランプ。 以降の足場構成部材がベースユニットに接続される。
13	ベースユニット 接続 フレーム	L963.2 × W427.3 × H366	27.3			<ul style="list-style-type: none"> 隣接するベースユニット同士を接続・固定する。 上面のソケットを回転工具で操作し、伸縮(ベースユニット間距離の微調整)、クランプ。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[7/13]

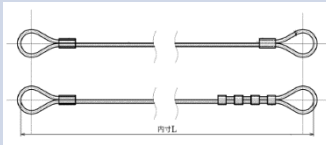
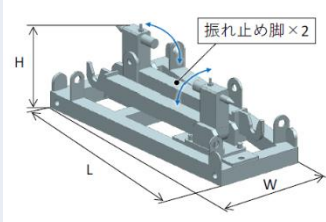

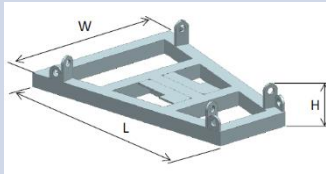

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
14	梁 (外側)	L770×W346×H539	65.8			<ul style="list-style-type: none"> ベースユニットに上から自重で嵌めこむ。 上面のソケットを回転工具で操作し、上下方向クランプ。 上面に上部足場が設置される。
15	梁 (内側)	L1,083×W430×H319 (梁単体) L1,083×W588×H319 (梁+中間足場)	52.6 (梁単体) 65.5 (梁+中間足場)	 		<ul style="list-style-type: none"> 梁(外側)に上から自重で嵌めこむ。 上面のソケットを回転工具で操作し、上下方向クランプ。 底面に中間足場(内)を固定する為のクランプ部を備える。 ※ペデ内への搬入時の形態 上面に上部足場が設置される。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[8/13]

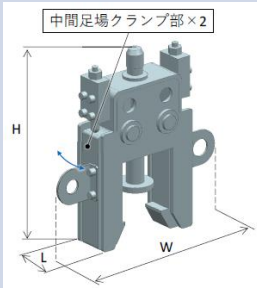
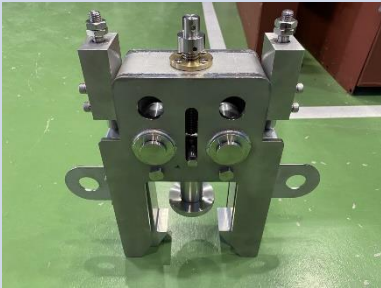
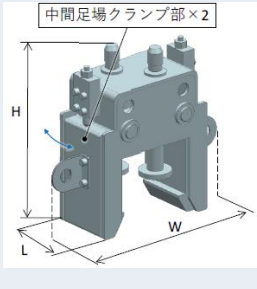

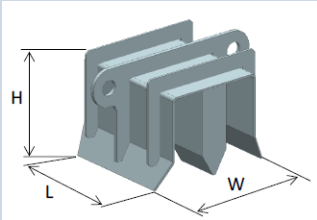

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
16	吊りワイヤ	L186~784	—			<ul style="list-style-type: none"> 足場構成部材同士を接続しておく(吊り状態にしておく)為のワイヤ。 使用用途に合わせて長さの異なるワイヤを複数本用意する。
17	中間足場 (左/右)	L800×W448×H243	37.7			<ul style="list-style-type: none"> ベースユニット下面に接続される。 勝手違いで左右の2種類を準備。 搬入時は、ベースユニットと吊りワイヤで繋げた状態で吊り下ろす。 その後、振れ止め脚を展開し、ベースユニットと本接続する。
18	中間足場 (内)	L800×W588×H135	12.9			<ul style="list-style-type: none"> 梁(内側)と吊りワイヤで繋げた状態で吊り下ろす。 中間足場(左/右)とロッククリップ(小)で固定される。 吊りワイヤで荷重を受ける。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[9/13]

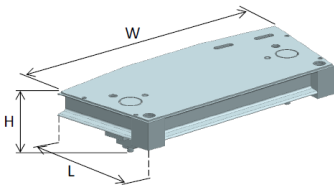

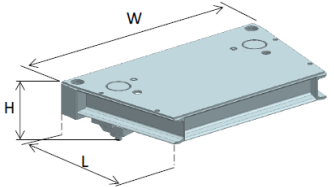

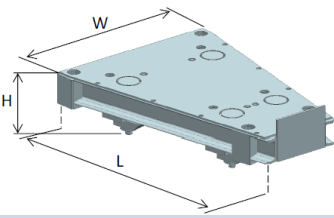

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
19	中間足場 ロック リップ (小)	L87×W325×H320	7.8			<ul style="list-style-type: none"> 中間足場(左/右)と中間足場(内)を接続・固定して1セットにする固定治具。 中間足場(左)と中間足場(右)の固定にも使用する。 中間足場に上から自重で嵌めこむ。 上面のソケットを回転工具で操作し、上下方向クランプ
20	中間足場 ロック リップ (大)	L147×W375×H325	15.8			<ul style="list-style-type: none"> 中間足場用ロックリップ(小)で1セットにした中間足場同士を接続・固定する為の固定治具。 中間足場に上から自重で嵌めこむ。 上面のソケットを回転工具で操作し、上下方向クランプ。
21	基準 クリップ	L210×W300 ×H171.3	5.6			<ul style="list-style-type: none"> 中間足場用ロックリップ(大)設置前に、中間足場同士の位置を矯正する治具。 中間足場に上から自重で嵌めこむのみで、クランプ機構無し。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[10/13]

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
22	上部足場 (外)	L405 × W885.2 × H236	58.4			<ul style="list-style-type: none"> 隣接する梁(外側)上に設置される。 上面のソケットを回転工具で操作し、梁(外側)を上下方向クランプ。 冷却水をペDESTAL底部に通過させる目的で、上面はパンチング構造。
23	上部足場 (間)	L435.8 × W730 × H236	55.2			<ul style="list-style-type: none"> 隣接する梁(外側)上に設置される。 上面のソケットを回転工具で操作し、梁(外側)を上下方向クランプ。 冷却水をペDESTAL底部に通過させる目的で、上面はパンチング構造。
24	上部足場 (内)	L556 × W804.4 × H236	85.4			<ul style="list-style-type: none"> 隣接する梁(内側)上に設置される。 上面のソケットを回転工具で操作し、梁(外側)を上下方向クランプ。 冷却水をペDESTAL底部に通過させる目的で、上面はパンチング構造。

② CRD交換機の解体

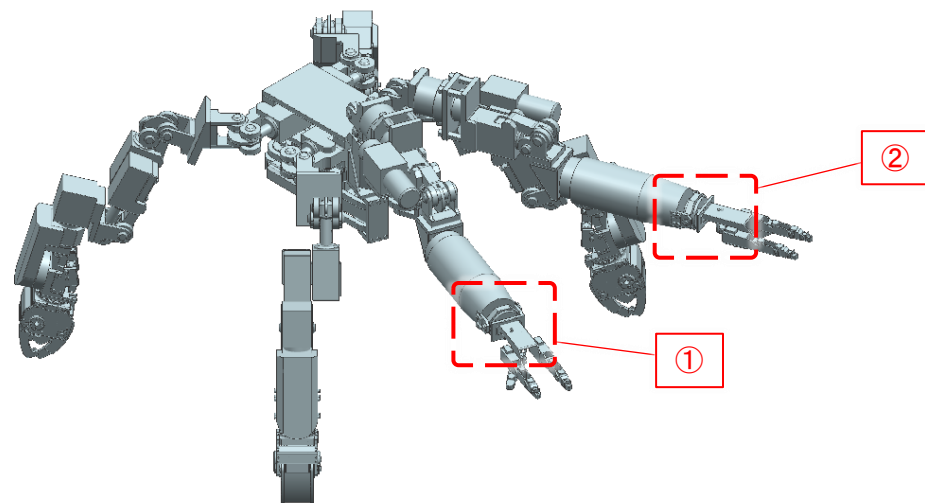
■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[11/13]

要素試験に使用した装置および治具類について以下に示す。

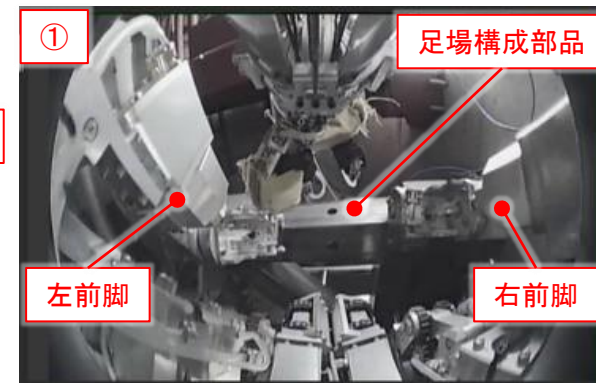
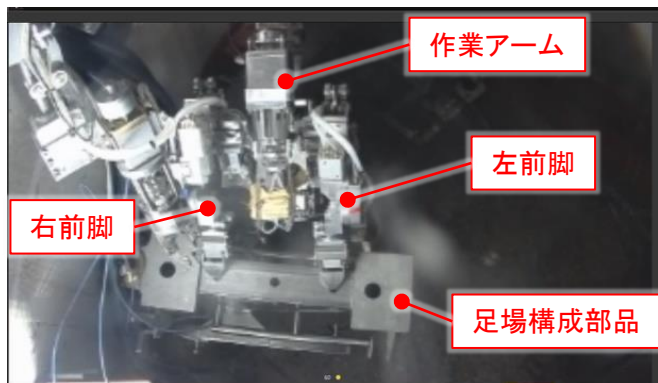
No.	名称	概略寸法 [mm]	概略質量 [kg]	外観(計画図)	外観(写真)	概要
25	スロープ	L200×W516×H79.7	1.1			<ul style="list-style-type: none"> CRD レール端部と上部足場(外)との隙間を無くす為のもの。 上部足場(外)上面の穴にピンを挿入、およびCRD レール上面の突起部で固定。
26	ソケット 回転工具	—	—			<ul style="list-style-type: none"> 各種治具(足場構成部材など)のソケットを操作し、治具どうしを固定する為の工具。 要素試験では市販品の電動工具を流用。
27	吊り フック	L177×W77.3×H91	1.9			<ul style="list-style-type: none"> 各種装置・治具、切断片を揚重する際の玉掛け用フック。 穴にピンを挿入することで玉掛けする方式。 中心部をアームで把持すると、ピン側面の突起が下がり、ピンの取り外しが可能になる。 通常のカラビナタイプのフックと比較して、ロボットアームによる操作性を向上し、不意に外れるリスクを低減したものの。

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[12/13]



①: 右作業アーム手先カメラ
②: 左作業アーム手先カメラ
【カメラ仕様: 車載用カメラ】



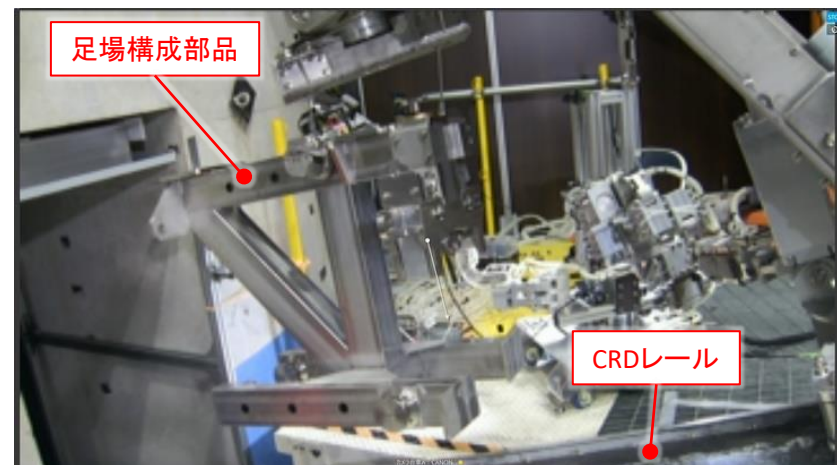
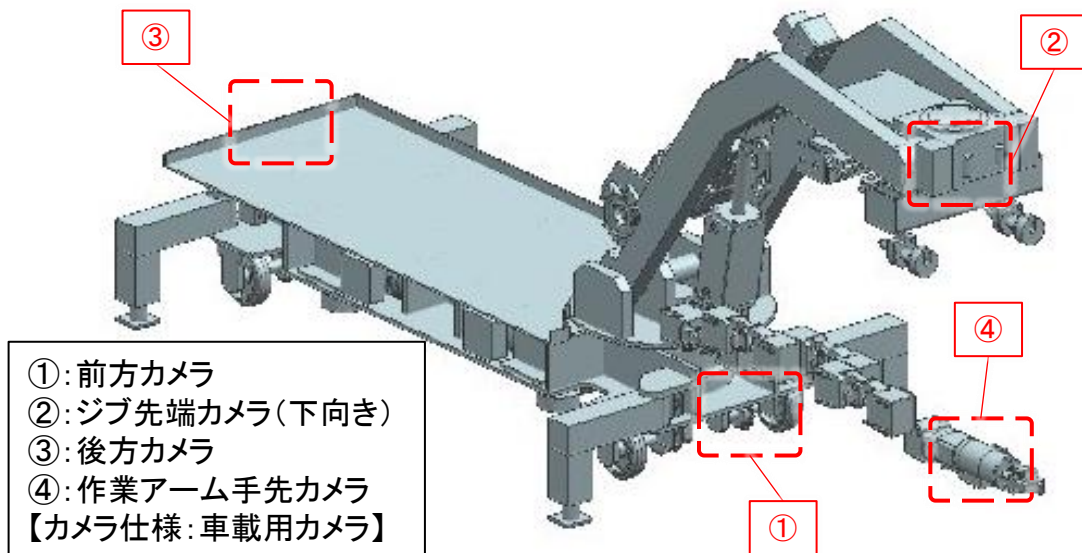
小型ロボットが足場構成部品側面に掴まる作業

手先カメラを用いた把持位置確認

小型ロボにカメラを搭載して、要素試験を実施した

② CRD交換機の解体

■解体・撤去装置の設計・試作(1/3号機対象)[13/13]



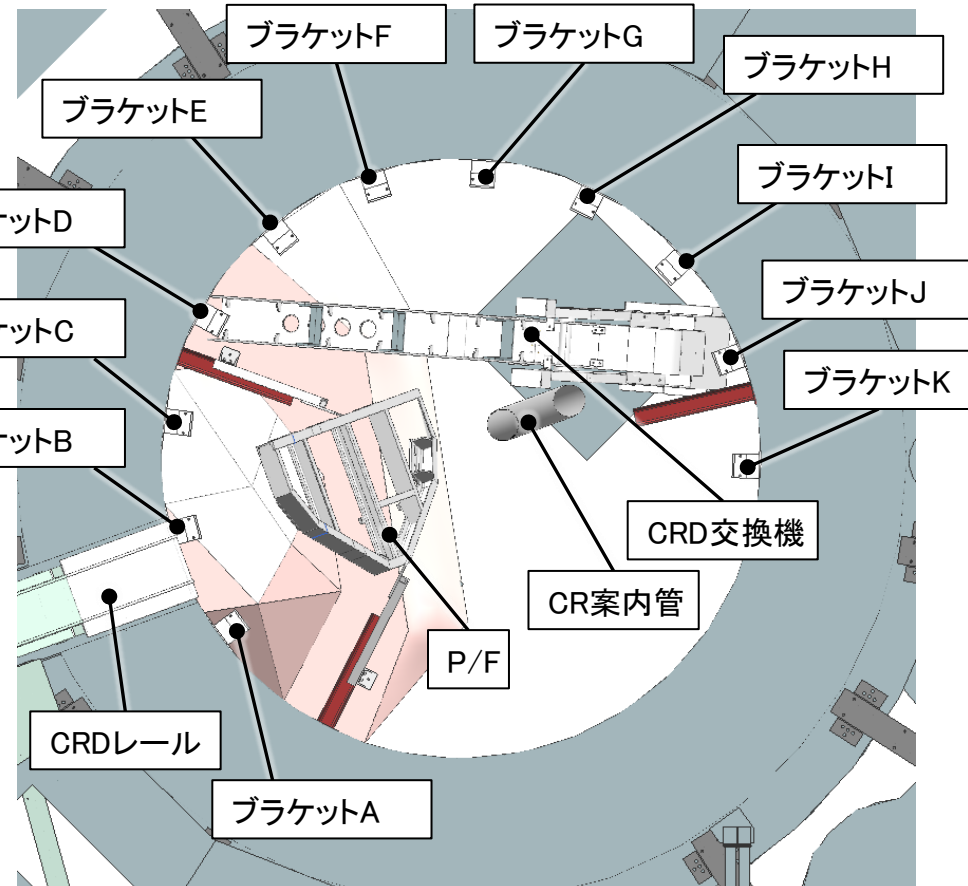
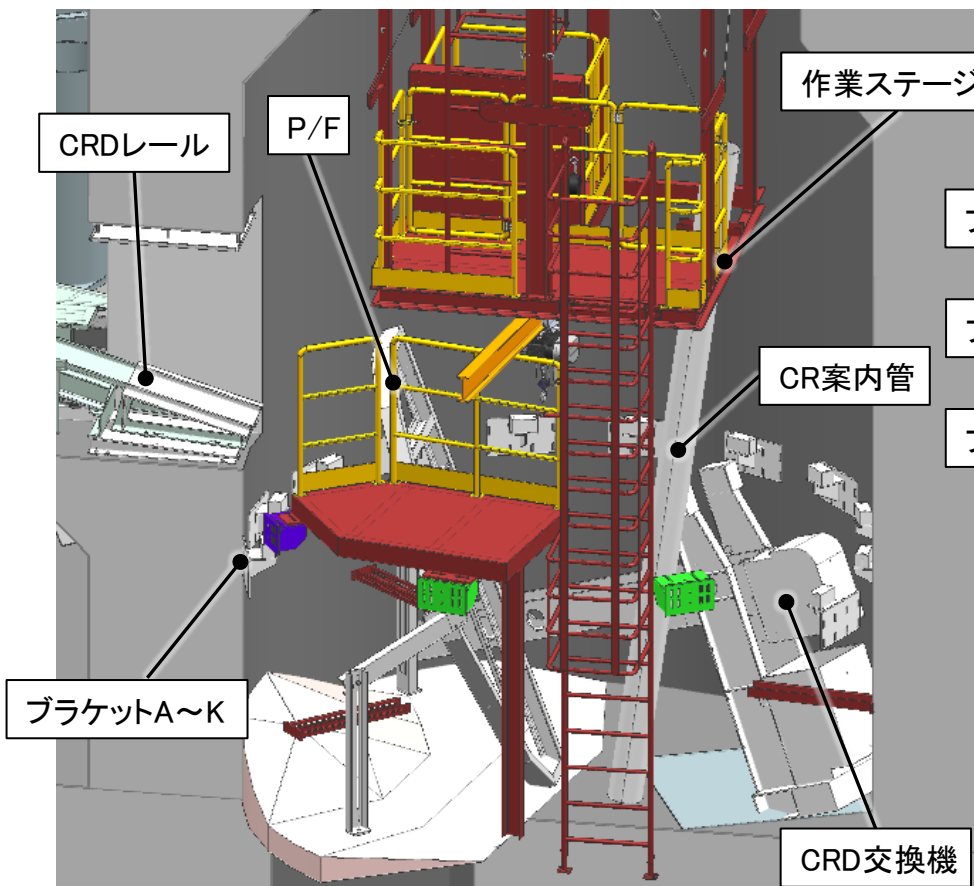
足場構成部品のペデ内搬入作業



切断片搬出装置にカメラを搭載して、要素試験を実施した

② CRD交換機の解体

■ 模擬試験体および試験設備(1/3号機対象)[1/4]



1/3号機ペデスタル内模擬試験設備(俯瞰図)

1/3号機ペデスタル内模擬試験設備(平面図)

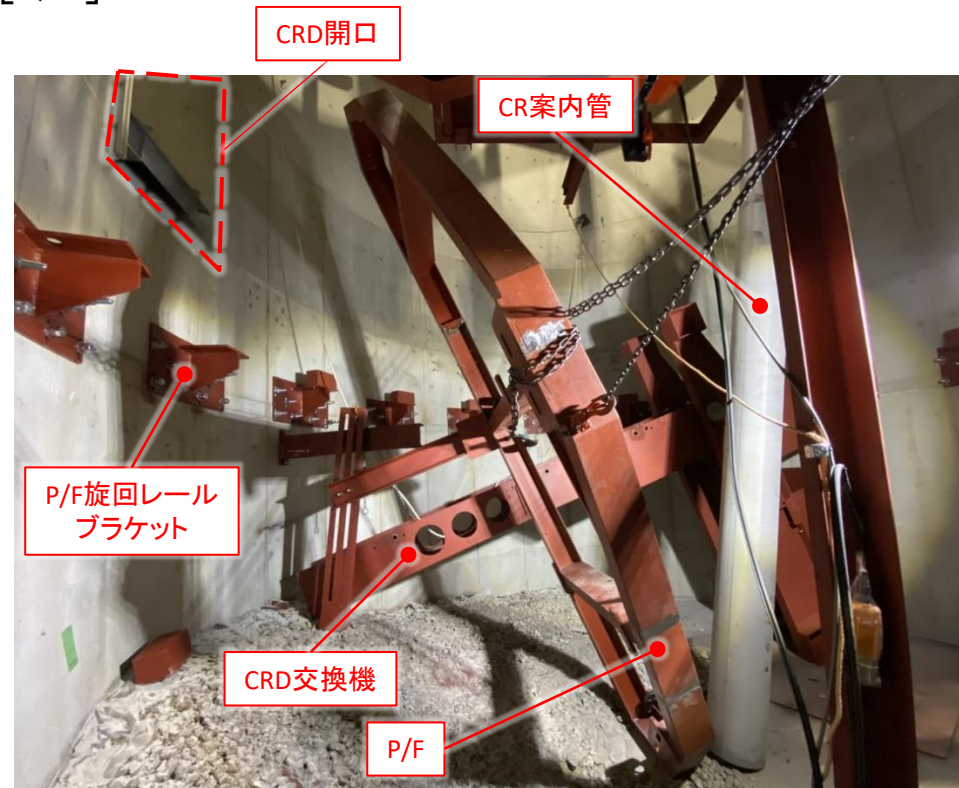
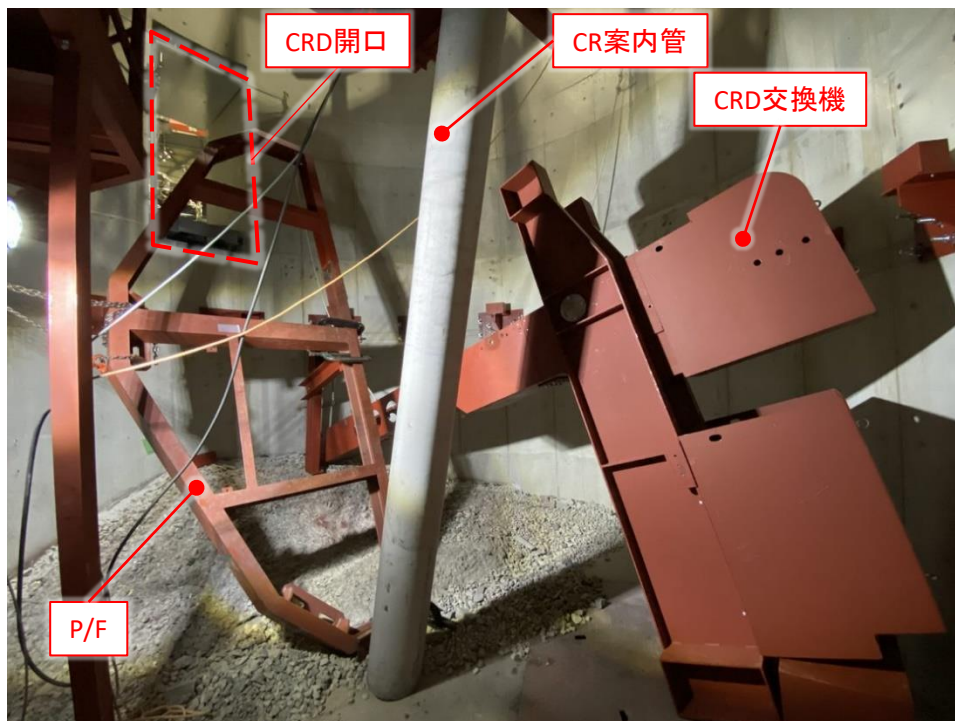
② CRD交換機の解体

■ 模擬試験体および試験設備(1/3号機対象)[2/4]

No.	模擬試験 設備内構造物 名称	選定・配置の考え方	転倒防止の考え方
1	P/F	1F-3内部調査結果を参考に、CRD開口近傍の構造物として選定。開口を塞ぐような形で傾けて配置。	ペDESTAL内に構築する足場部品(ベースユニット)と治具にて固定(クランプ)し、転倒防止する。
2	CRD交換機	大型かつ板厚の大きい(回転フレーム)構造物として選定。1F-3内部調査時に視認できていない(堆積物内に埋没していると推定される)為、底部に寝かせた状態で配置。	ペDESTAL内に構築する足場部品(ベースユニット)よりも低い位置まで転倒している可能性があり、足場部品(梁)からワイヤで転倒防止する。
3	CR案内管	1F-3内部調査結果を参考に、上部から落下してきている構造物として選定。CRD.Hの林に引っ掛かっている状態で配置。	ペDESTAL内に構築する足場部品(ベースユニット)と治具にて固定(クランプ)し、転倒防止する。
4	作業ステージ	ペDESTAL内上部の干渉物(CRD.H)下端高さを模擬。	—

② CRD交換機の解体

■ 模擬試験体および試験設備(1/3号機対象)[3/4]



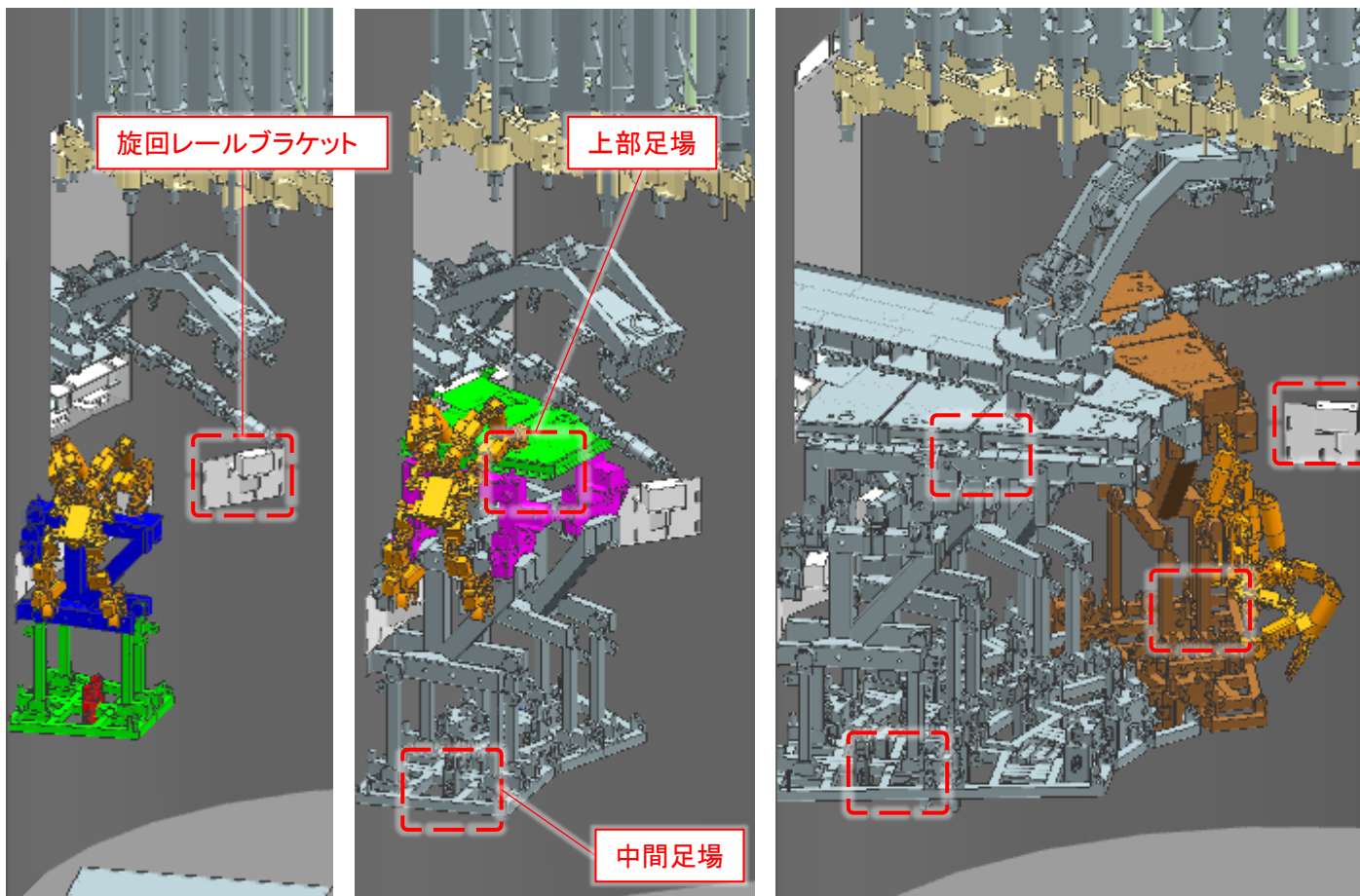
1/3号機ペデスタル内模擬設備と、倒れた状態の各種構造物模擬体を用いて、要素試験を実施した。

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

No.371

② CRD交換機の解体

■ 模擬試験体および試験設備(1/3号機対象)[4/4]



カメラ①(調査用カメラを兼ねる)
【設置位置: 回転レールブラケット】



カメラ仕様: CIDカラーカメラ(パンチルト)

カメラ②
【設置位置: 上部足場、中間足場】



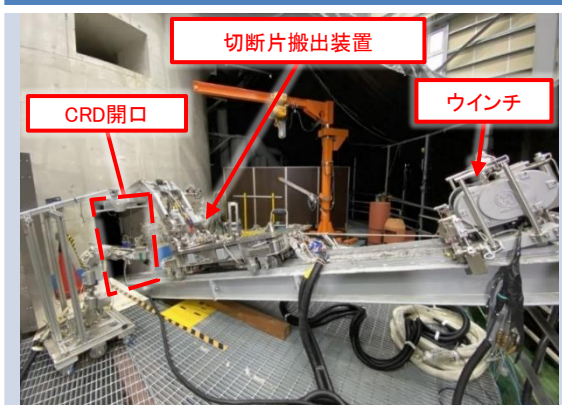
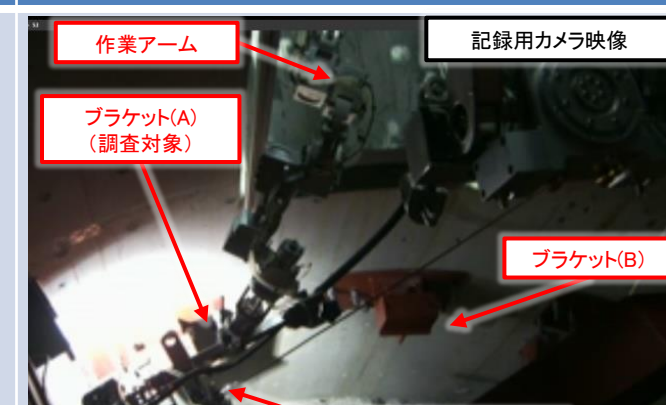


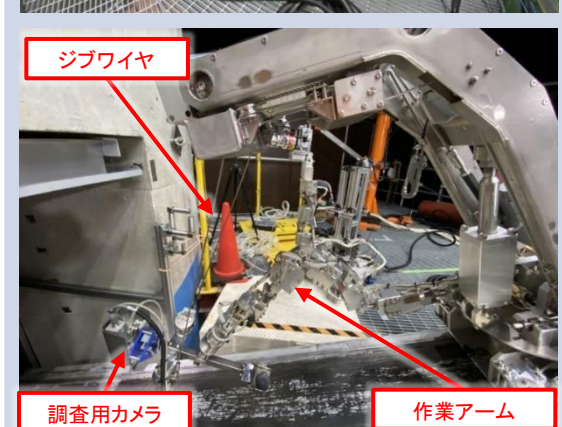
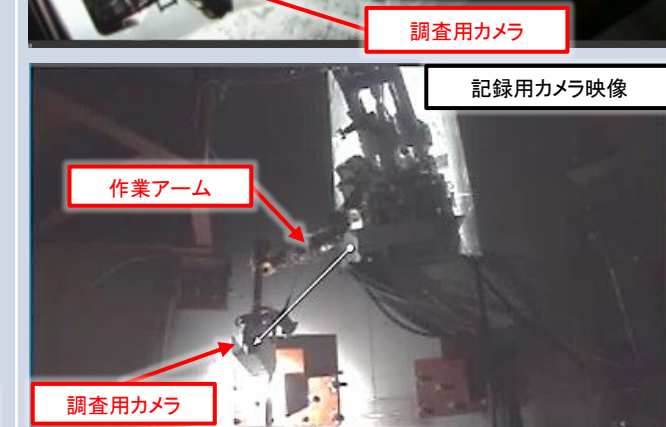


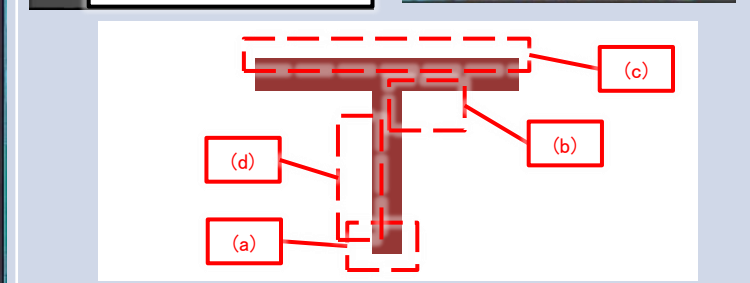
カメラ仕様: CANON VB-M44

ペDESTラル内足場構築の進捗にあわせて、上部足場、中間足場、回転レールブラケットにカメラ・照明を設置しながら、要素試験を実施した。

② CRD交換機の解体

■要素試験結果(1/3号機対象)[1/7]【損傷状況調査(P/F旋回レールブラケット)】

要素試験結果の概要を以下に示す。

(a) ペデ内搬入	(b) ブラケットへカメラ接近	(c) 損傷状況確認
		 
		  

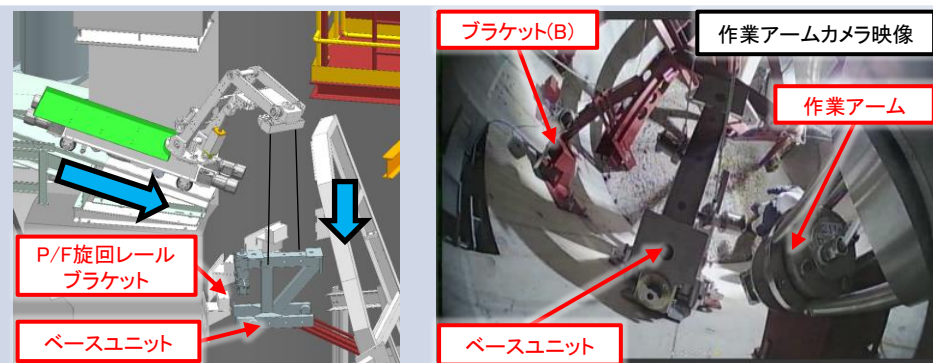
調査用カメラを把持した作業アームをCRD開口近傍のP/F旋回レールブラケットに近づけ、ブラケットすみ肉溶接部をカメラ画角に納められることを確認した(実機でブラケットの損傷状況確認が可能な見通しを得た)。

② CRD交換機の解体

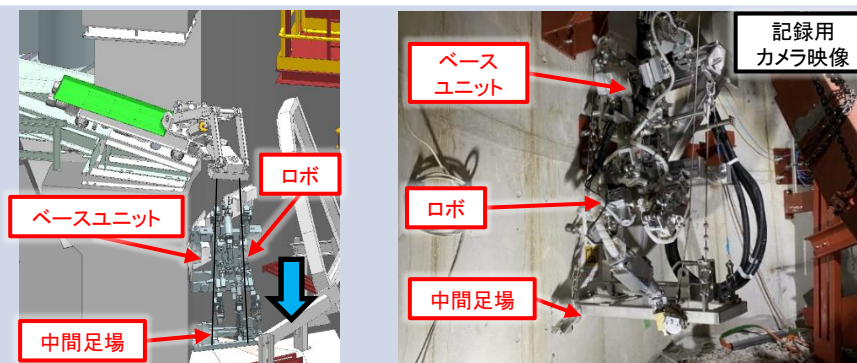
■要素試験結果(1/3号機対象)[2/7]【ペDESTアル内足場構築】

要素試験結果の概要を以下に示す。

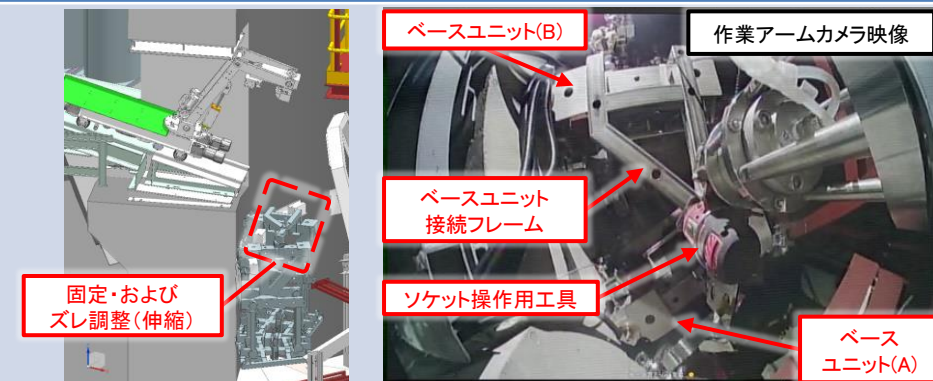
(a) ベースユニットをP/F旋回レールブラケットに取付



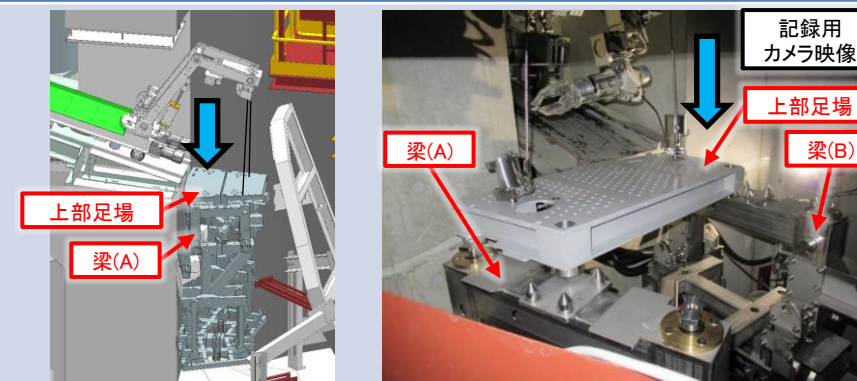
(b) 中間足場の設置



(c) ベースユニット間の固定・ズレ修正



(d) 上部足場の設置



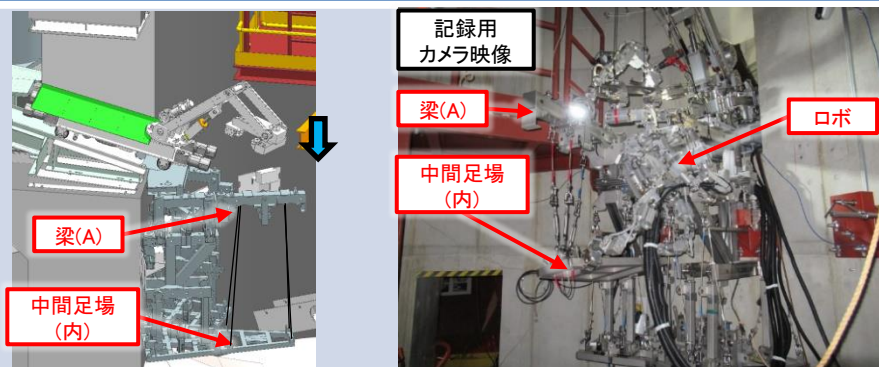
切断片搬出装置と小型ロボットを用いてCRD開口から部品を搬入し、ペDESTアル内での組立作業を実施し、装置・ロボットがペDESTアル内の所定位置に移動する為の足場構築手順が成立することを確認した。

② CRD交換機の解体

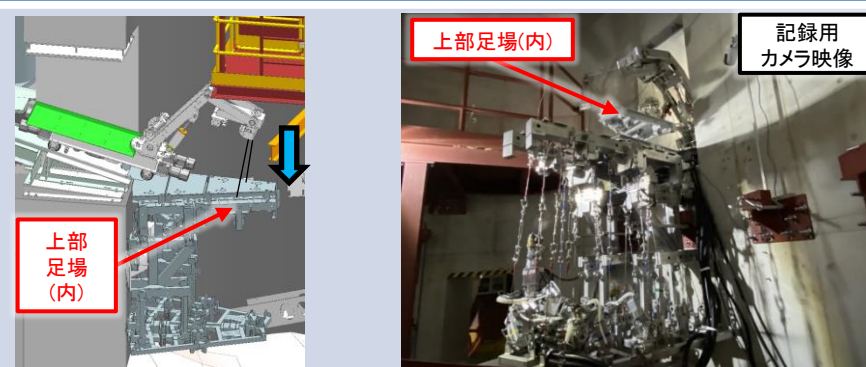
■要素試験結果(1/3号機対象)[3/7]【ペDESTAL内足場構築】

要素試験結果の概要を以下に示す。

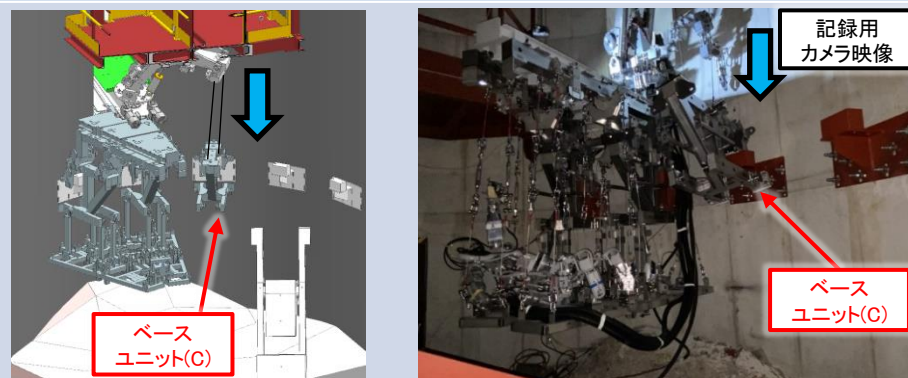
(e) 梁と中間足場の延長



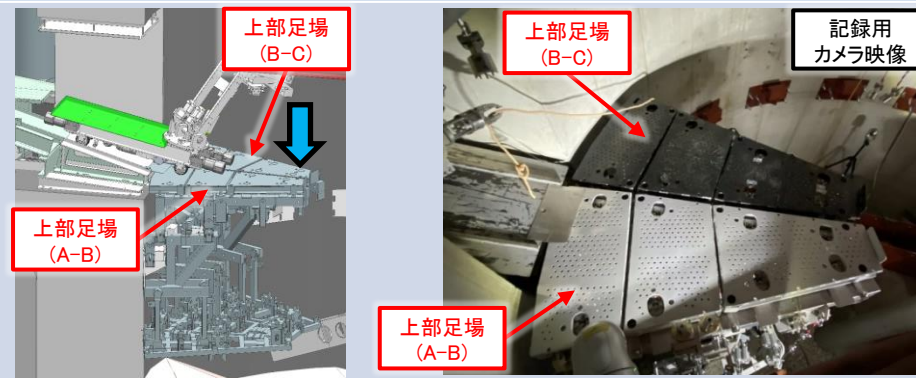
(f) 上部足場の延長



(g) 隣のブラケットにベースユニットを設置



(h) 円周方向に足場を延長



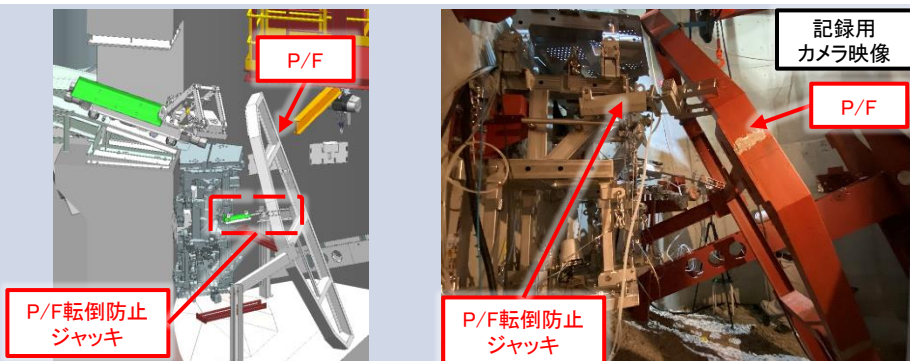
切断片搬出装置と小型ロボットを用いてCRD開口から部品を搬入し、ペDESTAL内での組立作業を実施し、装置・ロボットがペDESTAL内の所定位置に移動する為の足場構築手順が成立することを確認した。

② CRD交換機の解体

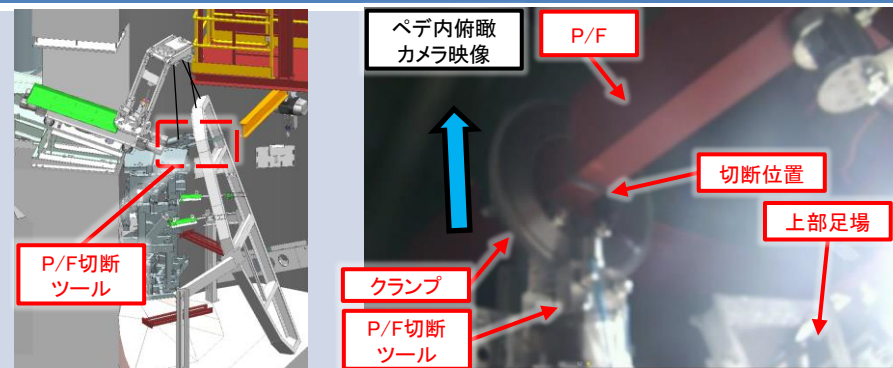
■要素試験結果(1/3号機対象)[4/7]【P/F転倒防止・切断・切断片搬出】

要素試験結果の概要を以下に示す。

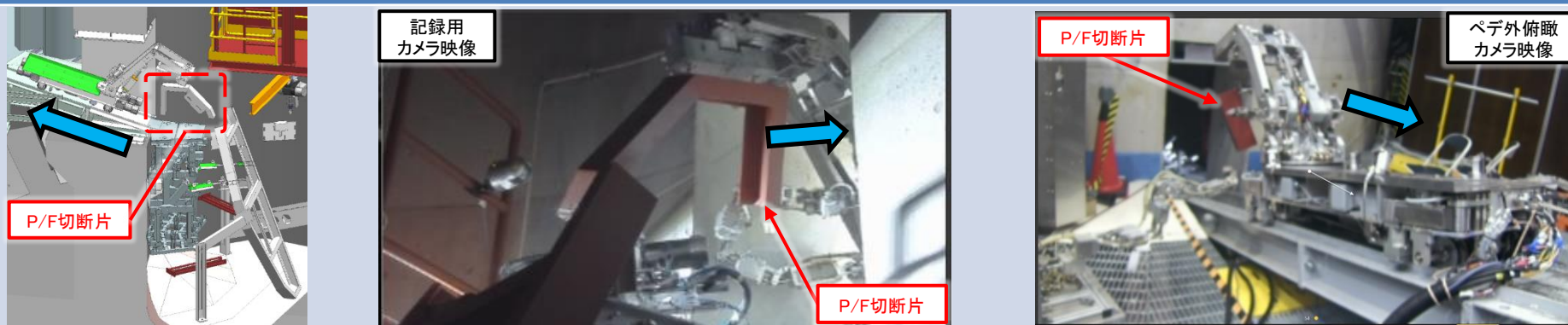
(a) P/F転倒防止



(b) P/F切断



(c) P/F切断片搬出



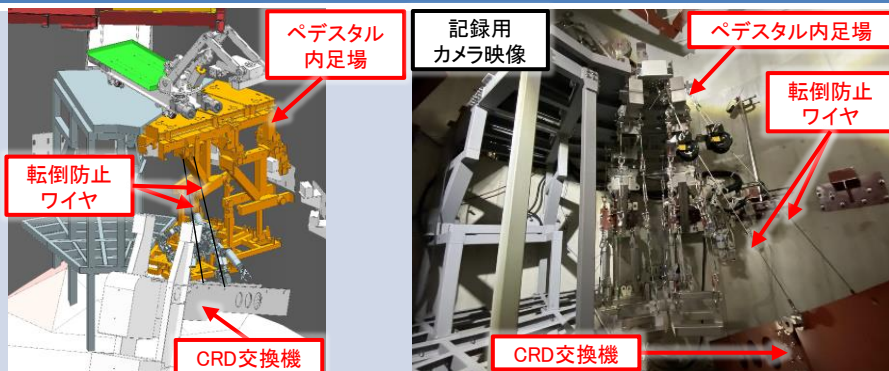
ペデスタル内足場とジャッキで連結することによるP/Fの転倒防止、遠隔位置決めした切断ツールによる切断、切断片搬出装置のジブによる前吊りでのペデスタル外への切断片搬出が可能な見通しを得た。

② CRD交換機の解体

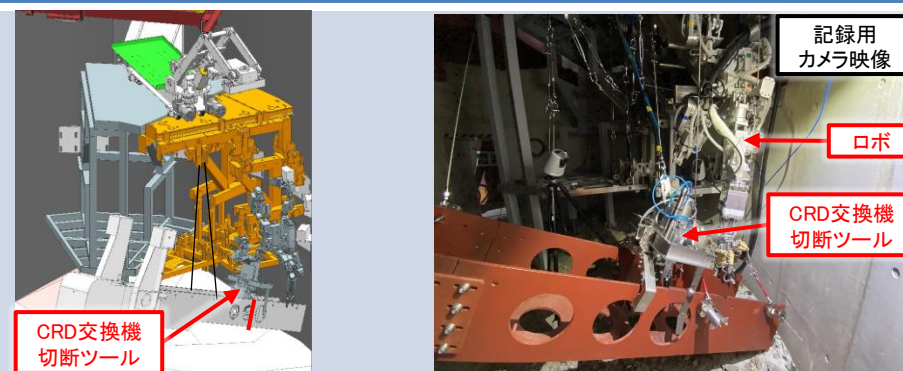
■要素試験結果(1/3号機対象)[5/7]【CRD交換機転倒防止・切断・切断片搬出】

要素試験結果の概要を以下に示す。

(a) CRD交換機転倒防止



(b) CRD交換機切断



(c) CRD交換機切断片搬出

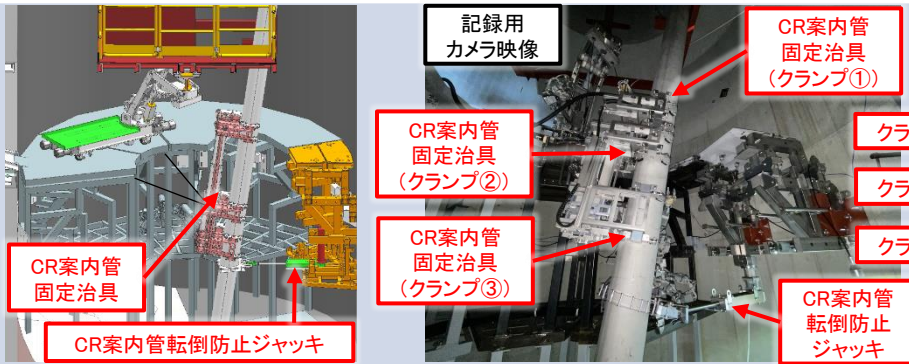


ペDESTAL内足場とワイヤで連結することによるCRD交換機の転倒防止、遠隔位置決めした切断ツールによる切断、切断片の揚重、切断片搬出装置の荷台に積載してペDESTAL外への搬出が可能な見通しを得た。

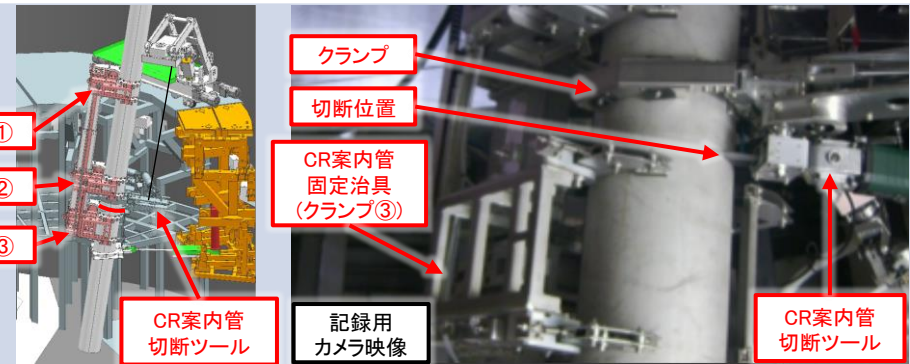
② CRD交換機の解体

■要素試験結果(1/3号機対象)[6/7]【CR案内管転倒防止・切断・切断片搬出・引き抜き】
要素試験結果の概要を以下に示す。

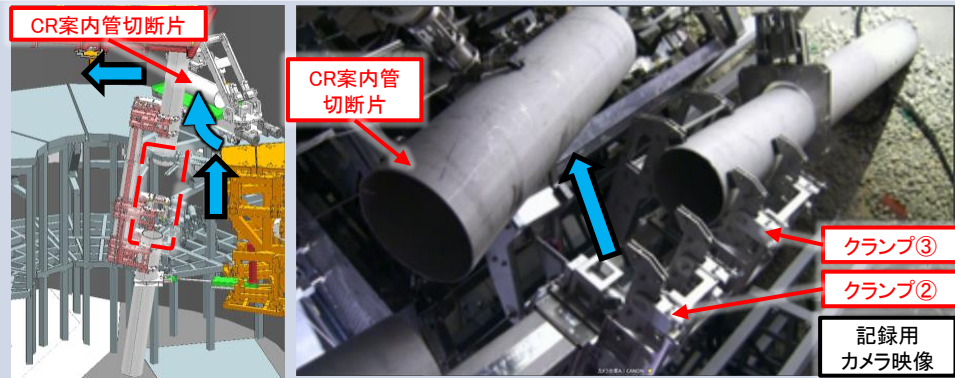
(a) CR案内管転倒防止



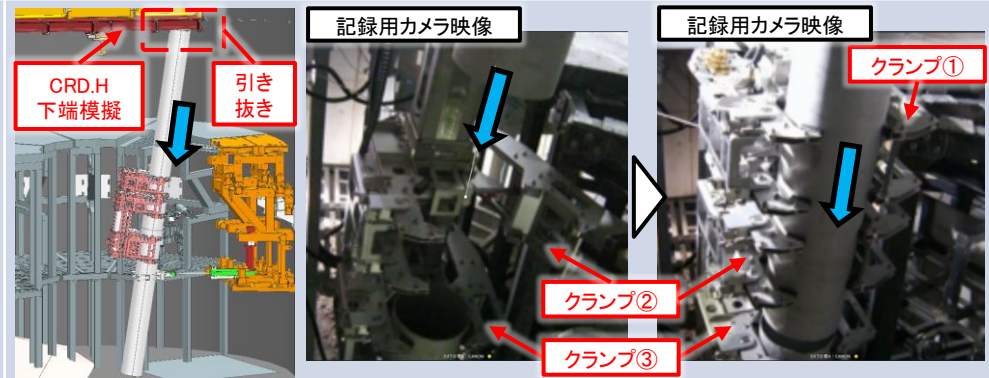
(b) CR案内管切断



(c) CR案内管切断片搬出



(d) ペDESTAL上部構造物からの引き抜き



ペDESTAL内足場とジャッキで連結することによるCR案内管の転倒防止、遠隔位置決めした切断ツールによる切断、切断片の揚重、切断片搬出装置の荷台に積載してペDESTAL外への搬出、引き抜きが可能な見通しを得た。

② CRD交換機の解体

■要素試験結果(1/3号機対象)[7/7]【要素試験結果まとめ】

要素試験結果のまとめを以下に示す。

No.	試験区分	試験結果
1	損傷状況調査 (P/F旋回レールブラケット)	<ul style="list-style-type: none"> 調査用カメラを把持した作業アームをCRD開口近傍のP/F旋回レールブラケットに近づけ、ブラケットすみ肉溶接部をカメラ画角に納められることを確認した(実機でブラケットの損傷状況確認が可能な見通しを得た)。
2	ペDESTAL内足場構築 (カメラ・照明の設置含む)	<ul style="list-style-type: none"> 切断片搬出装置を用いてペDESTAL内俯瞰カメラを設置し、切断片搬出装置と小型ロボットを用いてCRD開口から部品を搬入してペDESTAL内での足場組立作業を実施し、装置・ロボットがペDESTAL内の所定位置に移動する為の足場構築手順が成立することを確認した。
3	所定の位置への装置アクセス (切断片搬出装置、小型ロボット)	<ul style="list-style-type: none"> ペDESTAL内に構築した上部足場を切断片搬出装置が、中間足場を小型ロボットが移動することで、所定位置までアクセス可能な見通しを得た。
4	転倒防止 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	<ul style="list-style-type: none"> P/FとペDESTAL内足場をジャッキで連結することで、P/Fの転倒防止が可能な見通しを得た。 CRD交換機とペDESTAL内足場をワイヤで連結することで、CRD交換機の転倒防止が可能な見通しを得た。 CR案内管とペDESTAL内足場をジャッキで連結することで、CR案内管の転倒防止が可能な見通しを得た。
5	干渉物切断 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	<ul style="list-style-type: none"> 切断片搬出装置と小型ロボットを用いて遠隔位置決めした切断ツールをもちいて、P/F、CRD交換機、CR案内管の切断が可能な見通しを得た。
6	干渉物切断片搬出 (P/F、CRD交換機、CR案内管)	<ul style="list-style-type: none"> 切断片搬出装置のジブで前吊りした状態で、P/F切断片をCRD開口からペDESTAL外に搬出可能な見通しを得た。 切断片搬出装置の荷台に積載した状態で、CRD交換機切断片、CR案内管切断片をCRD開口からペDESTAL外に搬出可能な見通しを得た。 CR案内管固定治具を用いて、CR案内管をペDESTAL上部構造物から引き抜き可能な見通しを得た。

② CRD交換機の解体

■要素試験から抽出した課題

CRD交換機解体要素試験から抽出した課題を以下に示す。

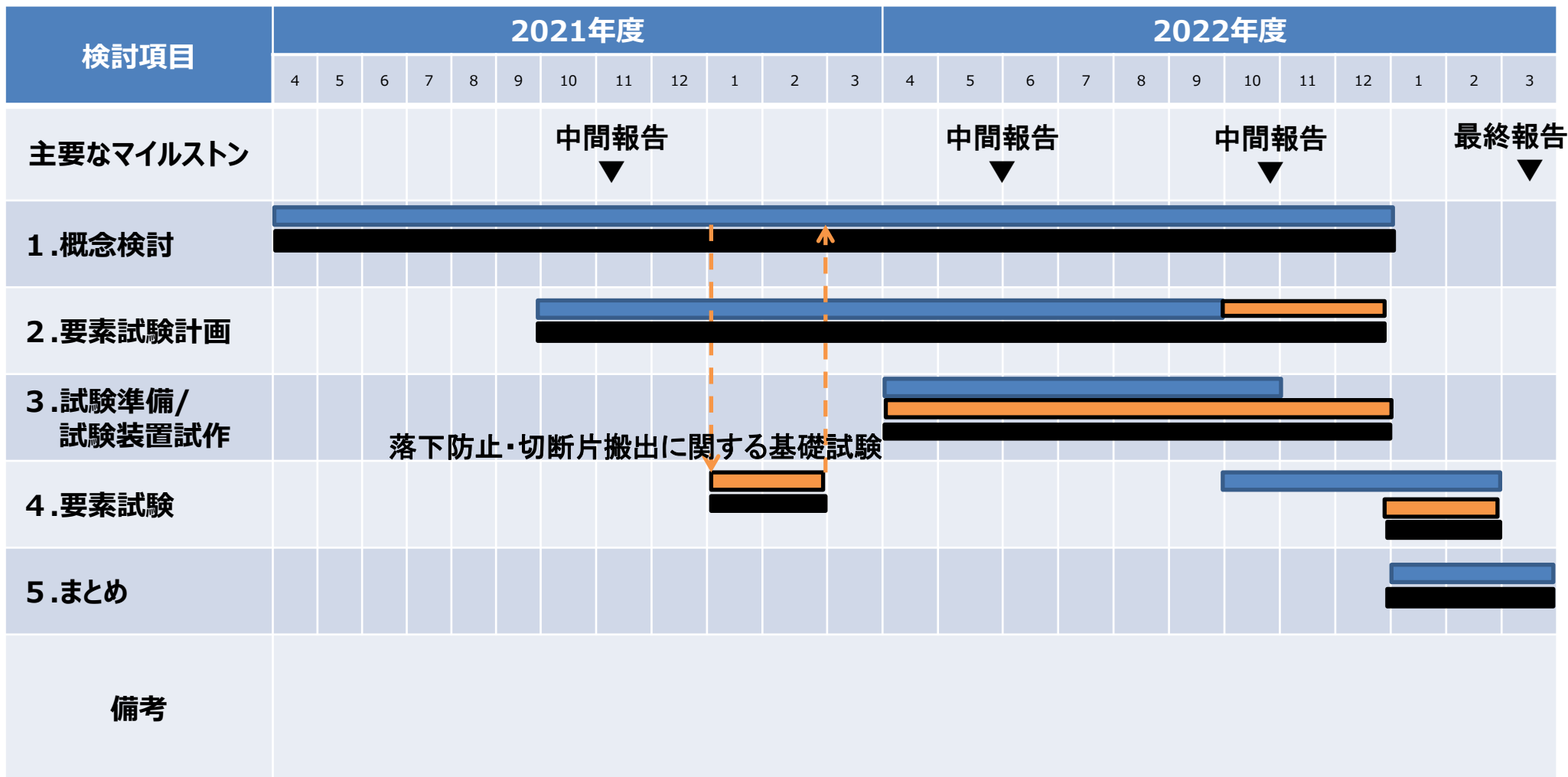
No.	試験区分	課題	対策(実機検討)
1	損傷状況調査	活用できるカメラ映像が少なく、作業中の装置全体の姿勢やペDESTAL内構造物との干渉有無を俯瞰して確認できるカメラが無い(下記No.2のペDESTAL内足場構築でも同様の課題あり)。	損傷状況調査時用の俯瞰カメラをCRD開口近傍に追加する。
2	ペDESTAL内足場構築	ソケットの回転完了の確認方法。	マーキング追加。クランプパッドを外から見える構造に変更。
		ベースユニットとペDESTALとの接触部(傾き補正)の構造。	接触部を伸縮可能な構造(アクチュエータ)に変更する。
		中間足場設置手順の簡略化(ロボを使用せずに吊り下ろす方法)。	上部足場と中間足場を一体構造とし、ペデ内で展開する方式に変更する。
		中間足場吊りワイヤ等と干渉し、中間足場上でロボのアーム旋回動作が困難。	上記とあわせて吊りワイヤ本数を低減する。
		ベースユニット(C)設置の際の、切断片搬出装置転倒対策。	CRD開口内壁で突っ張る構造を切断片搬出装置に追加。
		ベースユニット(C)クランプ部のクランプ状況を確認できるカメラが無い。	伸縮式の治具付きカメラを適宜活用する。
3	転倒防止	P/F転倒防止ジャッキクランプ部(手首)の、P/Fへの追従。	バネによる追従ではなく、アクチュエータ構造に変更する。
		穴加工ツール吊り下ろし中のツール回転抑制。	吊り天の調整。ケーブル送り出し量の調整。
4	干渉物切断	穴加工時の刃(ツール全体)が暴れ、穴加工不可となる。	穴あけ対象の形状にあわせたクランプ機構を穴加工ツールに追加する。
		回転フレーム切断中の刃の挟まれによる回転停止の頻度低減。	切断手法をチップソーから砥石グラインダに変更検討。
		CR案内管への穴加工・切断の安定性向上、所要時間の短縮化、刃の長寿命化。	ツールのCR案内管へのクランプ機構(クランプ力)見直し。
		CR案内管内に構造物がある場合の切断可否・切断片落下対策。	穴加工後に内部調査。内蔵物がある場合細断撤去する。
5	干渉物切断片搬出	CR案内管引き抜き時の、上部CR案内管とクランプ部の干渉対策。	干渉したクランプ部を片側開き構造から両側開き構造に変更する。

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

② CRD交換機の解体

■ 開発工程

■ : 計画
 ■ : 計画(見直し後)*
 ■ : 実績



② CRD交換機の解体：まとめ

- CRD交換機解体について前提条件を整理し、1～3号機のCRD交換機解体撤去方法、作業ステップを検討し、試験項目を選定した。
 - ・ 2号機対象：P/F上にレールを敷設し、レール上を走行させてペデスタル内の所定位置まで装置が移動し、解体撤去する工法。
 - ・ 1/3号機対象：ペデスタル内壁のP/F旋回レールブラケットを活用してペデスタル内に足場を構築し、足場上を走行させてペデスタル内の所定位置まで装置が移動し、解体撤去する工法。

- 2号機ベースと1/3号機ベースに分けて、要素試験に使用する模擬設備・試験体・装置・治具類を試作し、作業ステップを具体化して要素試験計画を立案した。

- 要素試験により、CRD交換機解体撤去工法の実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

③ ポンプピット内干渉物撤去

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大時のPCV内の水循環を行う為の工法の1つとして、PCV内のポンプピットに水中ポンプを設置する必要がある。既往の開発によって、要素試験を実施し、ピット内へのポンプの吊り降ろし・設置(固定)が可能であること等の見通しを得ているが、ピット内の既設ポンプ等の干渉物については撤去を行う必要がある。

ポンプピット内の干渉物撤去については、PCV内の限られたスペースに撤去装置等を設置し、ポンプピット内の既設ポンプ等の干渉物を地下階から遠隔で撤去する必要がある。ピット内面とポンプの隙間は小さく、治具等のアクセスが難しい為、カメラ映像で対象物の状況を確認し切断等を行い搬出する方法の詳細検討および要素試験による実現性の確認を実施する。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

目次

- 20年度までの検討状況
- 課題、実施内容、得られる成果
- 前提条件の整理

- 単体・要素試験項目と試験内容・確認項目
- 要素試験模擬範囲
- 要素試験に使用する遠隔・切断装置の検討
- ポンプピット内干渉物撤去作業に関わる治具の検討
- 要素試験に使用するカメラ/照明の配置の検討
- 要素試験結果
- ポンプピット内干渉物撤去の要素試験から抽出した課題

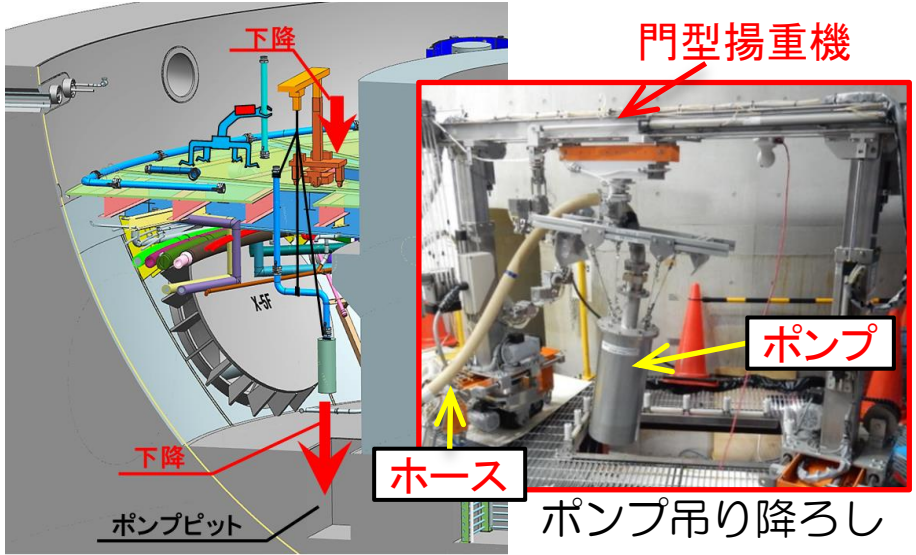
- 開発工程
- まとめ

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

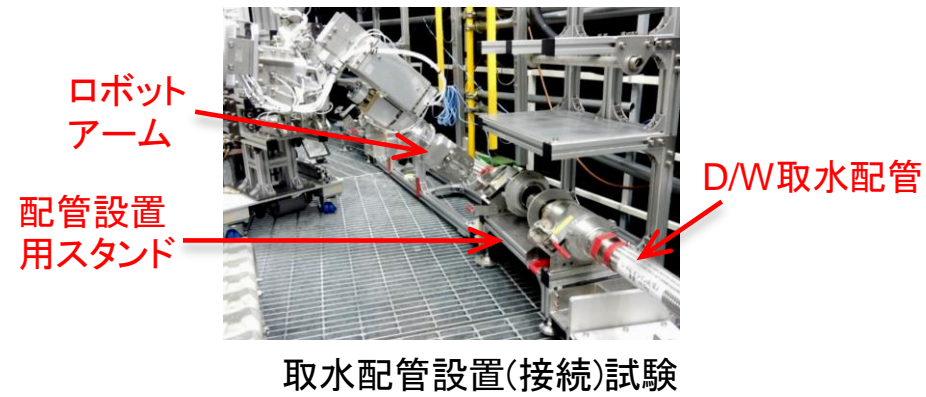
③ ポンプピット内干渉物撤去

【20年度までの検討状況】

- ポンプピットへのアクセスおよび水中ポンプ設置方法について、要素試験により実現可能な見通しを得た。
 (「原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発」にて実施)



水中ポンプ吊り降ろし試験



⇒上記検討は、**ポンプピット内干渉物を撤去済みという前提**で実施。**前提となるポンプピット内干渉物撤去方法について具体化し、要素試験で実現性を確認する。**

③ ポンプピット内干渉物撤去

【課題】

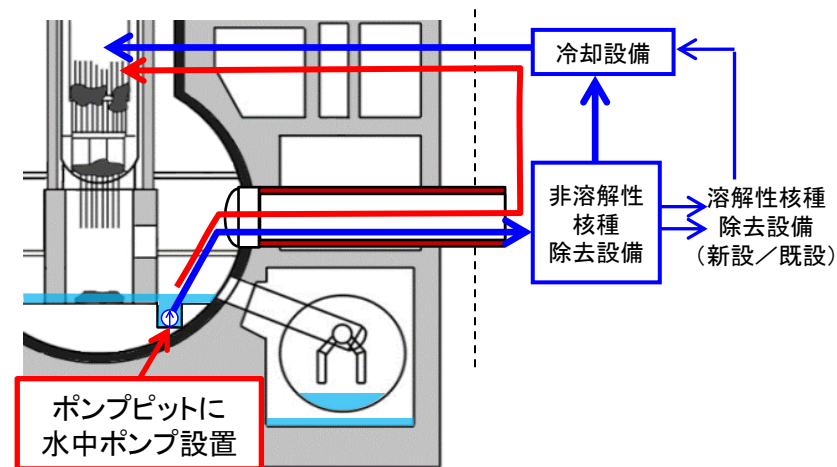
- PCV内で最も低い位置のポンプピット内に水中ポンプを設置し、より低い位置で汚染水を水循環システムにて管理することを計画しているが、**ポンプピット内には既設ポンプ等の干渉物があり、水中ポンプの設置が困難である**為、ポンプピット内の干渉物撤去技術の開発が必要になる。

【実施内容】

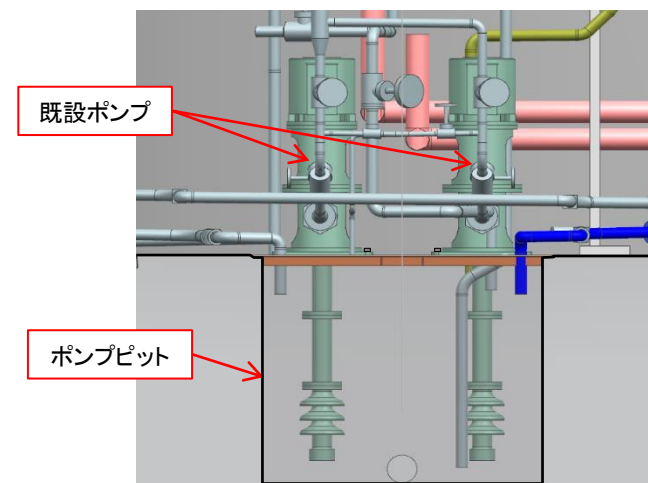
- 号機ごとのポンプピット周辺干渉物の状況について、実機情報、これまでの解析・調査結果を整理し、干渉物撤去時の前提条件を検討する。
- ポンプピット内の**既設ポンプ等の干渉物を地下階から遠隔で撤去する方法**を検討する。
- 検討した撤去方法を実施する為**遠隔装置、切断装置**について検討する。
- 要素試験を計画、実施して詳細検討したポンプピット内干渉物撤去技術の実現性を確認**する。

【得られる成果】

- ピット内既設ポンプ等干渉物の撤去方法の提示。**



D/W取水ライン構築後のイメージ



ポンプピット断面図(1号機)

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

【2021年度実施した内容】

- 現地情報の整理
- 前提条件の整理
- 作業ステップの検討
- 要素試験項目の選定
- 使用する装置の検討

【2022年度実施した内容】

- 要素試験模擬範囲（試験設備）
- 単体試験計画（試験項目）
- 要素試験計画（試験項目）
- 単体・要素試験項目と試験内容・確認項目
- 要素試験模擬範囲（ポンプ模擬体）
- 要素試験模擬範囲（環境模擬：1号機、2号機）
- 要素試験に使用する遠隔装置の検討
- 要素試験に使用する切断装置の検討
- ポンプピット内干渉物撤去作業に関わる治具の検討
- 単体試験結果
- 要素試験結果
- ポンプピット内干渉物撤去の要素試験から抽出した課題

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 前提条件の整理 前提条件まとめ

➤本補助事業を検討する際の前提条件を整理した。整理した結果を下記に示す。

No.	項目	対象号機,位置	理由	備考
1	ポンプピット内・上部の燃料デブリの状況 (既設ポンプの撤去範囲)	・1～3号機(ケース2:分割撤去) ・2,3号機(ケース4:全撤去[一体撤去])	燃料デブリの取り出し(加工)をしないもの を選定	2パターン検討
2	ポンプ仕様	高さ	2号機(2,247[mm])	最も高い(長い)ものの撤去が難しいと 判断した為
		質量	2号機想定(320[kg])	最も重いものの撤去が難しいと 判断した為
		直径	全号機(φ305[mm])	全号機共通仕様の為
3	ポンプピット仕様	2,3号機 (1,250(W)×700(D)×1,230(H)[mm])	最も作業スペースが狭いものが難しいと 判断した為	
4	ポンプピット位置	・1号機PCV内ポンプピット(225°) ・2,3号機PCV内ポンプピット(202.5°)	作業の難易度から難しいものを選定	2パターン検討

〈No.4_ポンプピット位置の選定について〉

- ・1号機PCV内ポンプピット(225°)は燃料デブリに埋もれている可能性がある。しかし、燃料デブリの状況はあくまでも推定によるものである。その為、今回試験対象を選定する理由としては難易度が高い作業の成立性を確認することで、それよりも難易度が低い作業も成立するとの考え方とした。
- ・対象ポンプピットの選定に際してはカーフ(段差)等も考慮すべき条件と考えているが、カーフ等の詳細な情報を入手できていない為、対象の選定については作業の難易度を基準とした。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 作業ステップの検討 a. 概略作業ステップ

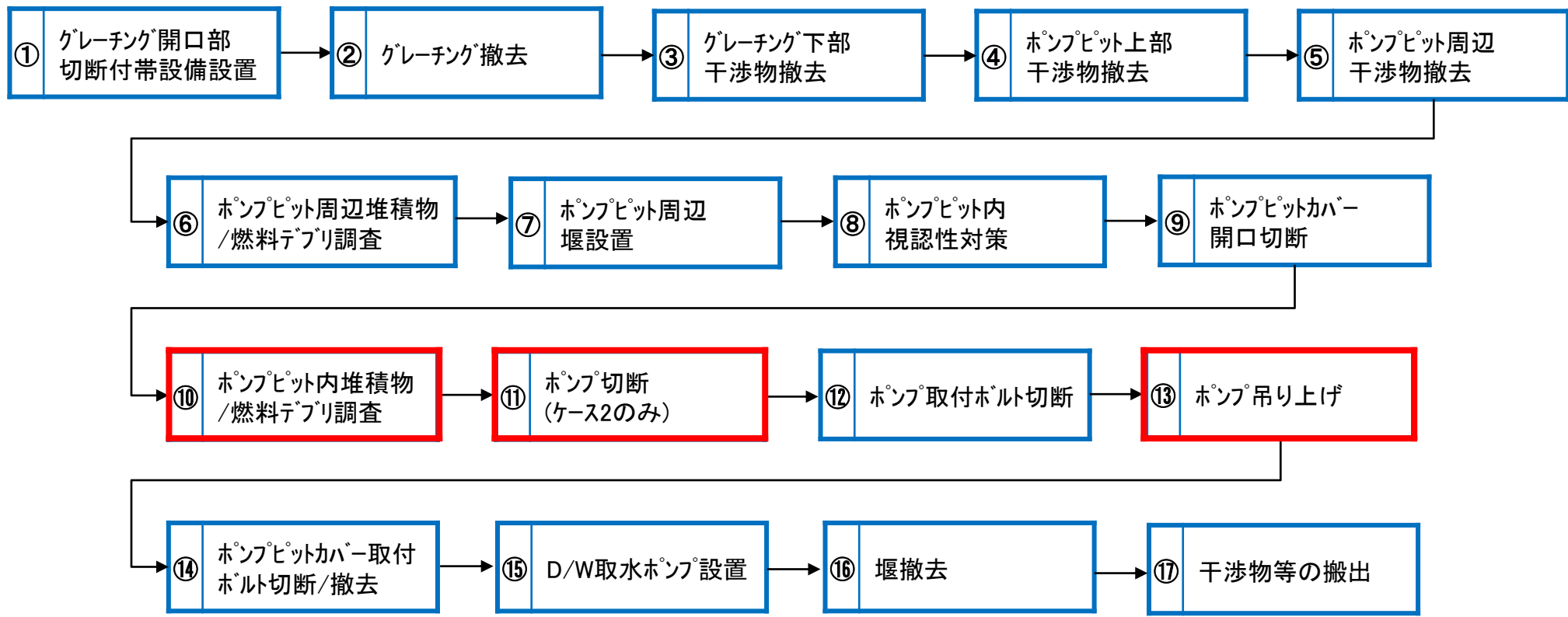
➤ポンプピット内干渉物撤去を行う際の概略作業ステップを検討した。検討した作業ステップを下記に示す。

【前提条件】

- 機器ハッチからPCV1階ポンプピット上部付近までのアクセスルート上の干渉物については撤去済みとする。
- 作業に使用する装置はPCV1階ポンプピット上部付近まで移動した状態とする。

〈概略作業ステップ〉 1号機/2号機/3号機共通

 要素試験の対象作業ステップ



6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 単体・要素試験項目と試験内容・確認項目

 要素試験の報告

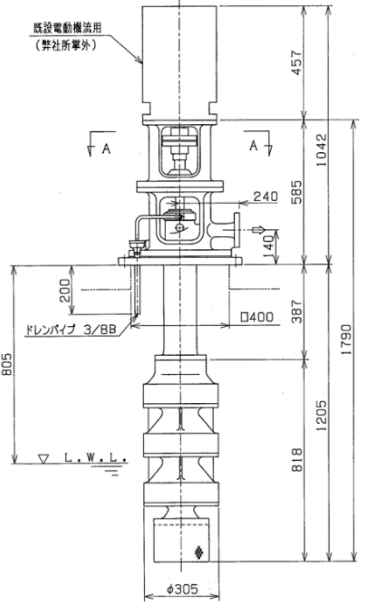
No.	ステップ/試験項目	試験内容	確認項目/記録
1	⑩ポンプピット内堆積物/燃料デブリ調査 ・ポンプピット内調査用カメラ/照明取扱	暗所環境かつ、水中・濁水環境における水中カメラの見え方を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象物を確認できる条件出し(距離、照度等) ● 各条件を記録する
2	⑪ポンプ切断(ケース2のみ) ・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)	グレーチング開口部からカメラ/照明/切断装置を吊り下ろし、ポンプの切断を行い、遠隔で作業が行えることを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● カメラ/照明/切断装置の吊り上げ/吊下ろしにおける構造物との干渉 ● カメラ/照明の配置 ● 切断装置の設置位置調整 ● 切断装置の固定/解除 ● 切断装置にてポンプ外管および、シャフト軸の切断(圧力、電流値) ● 作業時間を記録する
3	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ玉掛け	ロボットによるポンプの玉掛けを行い、遠隔で作業が行えることを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 玉掛け治具の吊り下ろしにおける構造物との干渉 ● ロボットによる玉掛け治具の取扱い(把持/通し/取付) ● カメラ/照明の配置 ● 作業時間を記録する
4	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ吊り上げ(ケース4)	各ロボットと揚重機によりポンプの吊り上げを行い、遠隔で作業が行えることを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 揚重機にてワイヤのテンション調整可否 ● ポンプ吊り上げにおける構造物との干渉(1号機、2号機) ● カメラ/照明の配置 ● 作業時間を記録する
5	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ上部吊り上げ(ケース2)	各ロボットと揚重機によりポンプの吊り上げを行い、遠隔で作業が行えることを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 揚重機にてワイヤのテンション調整可否 ● ポンプ吊り上げにおける構造物との干渉(1号機、2号機) ● カメラ/照明の配置 ● 作業時間を記録する
6	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ移動(D/W1階)	揚重機にて吊り上げたポンプに小型ロボットにて吊り長調整治具を取り付け、揚重機の可動範囲内に配置した搬送装置に積載する。	<ul style="list-style-type: none"> ● 小型ロボットによる吊り長調整治具の取り扱い ● 搬送装置のポンプ積載における構造物との干渉 ● カメラ/照明の配置 ● 作業時間を記録する

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験模擬範囲 (ポンプ模擬体)

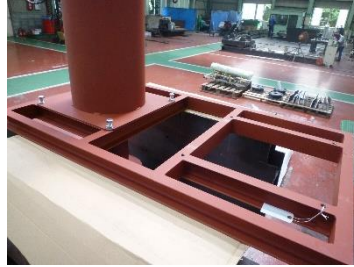
- ポンプ模擬体 : 2号機の寸法・質量を模擬する。数回切断を行う為、ポンプ下部の形状模擬は対象外とする。
- ダミー模擬体 : 干渉確認用としてポンプ模擬体と同じ寸法で模擬する。
- ピットカバー : 1号機と2号機を模擬する。
- ピット : 1号機と2号機共有。



2号機 ドレンサンプポンプ図



要素試験用ポンプ模擬体



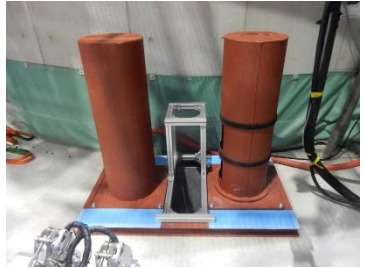
ピットカバー(1号機)



要素試験用ピット



ピットカバー(2号機)



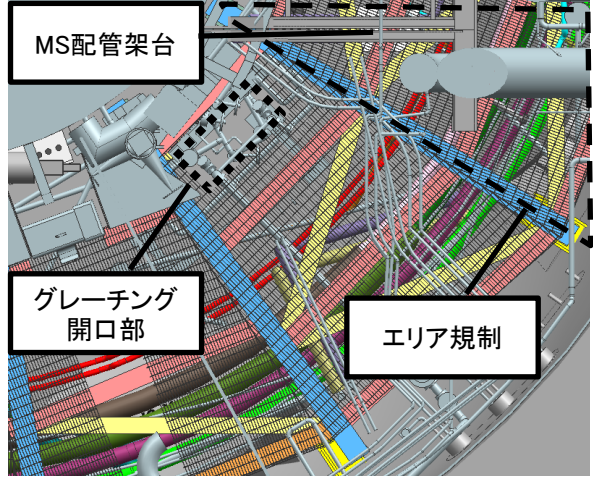
模擬配置(1号機)
左:ダミー、右:ポンプ模擬体

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

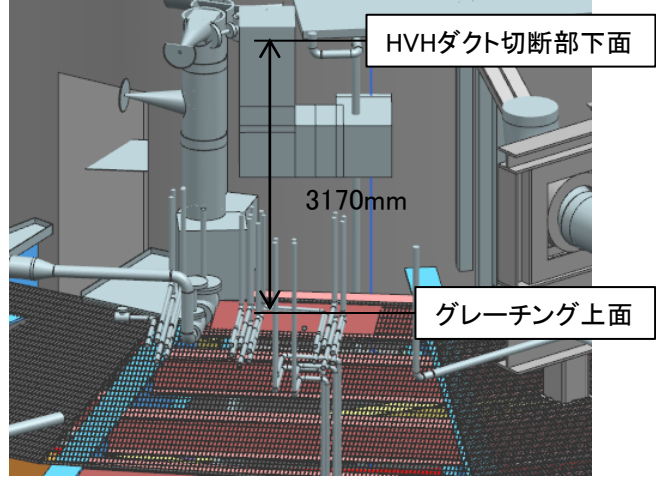
③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験模擬範囲（環境模擬：1号機）

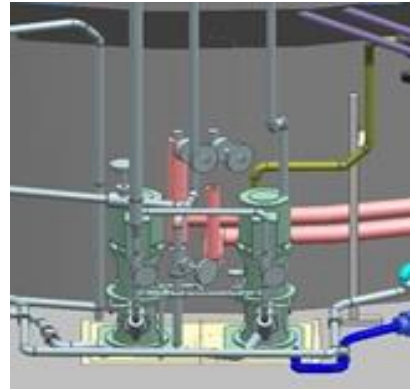
➤ 1号機の環境模擬範囲は実機を想定しポンプ吊り上げ時や移動時に干渉となるMS配管架台を対象にエリア規制をして要素試験を実施した。



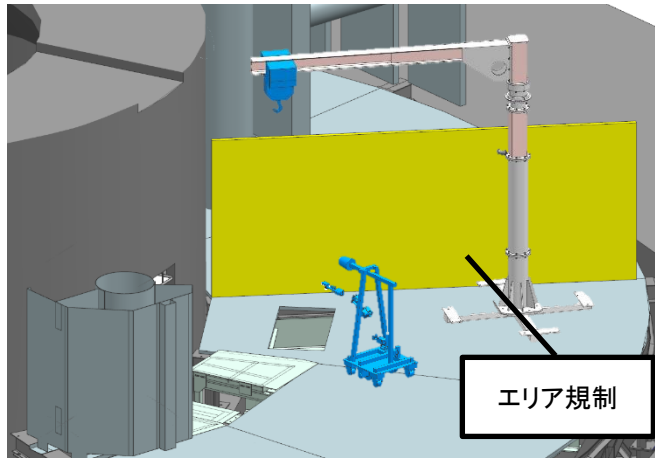
1号機PCV1階225° 平面図



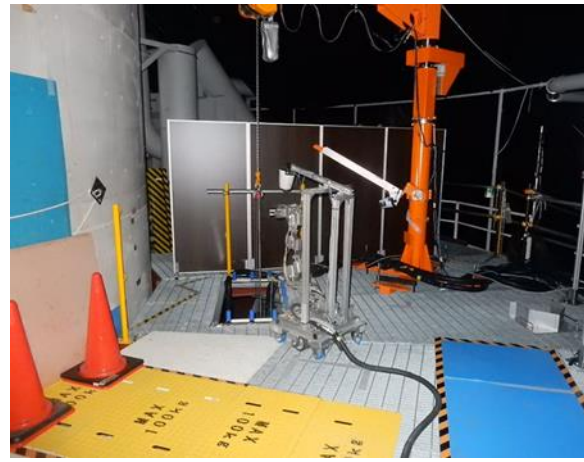
1号機PCV1階225° 鳥瞰図



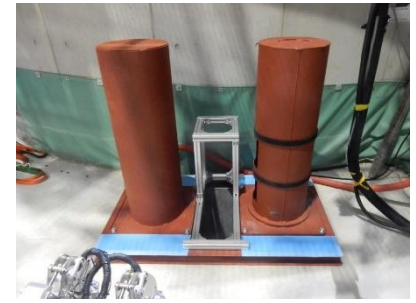
1号機PCV地下階225° 鳥瞰図



要素試験の模擬イメージ図(1号機PCV1階)



要素試験の状況(1号機PCV1階)



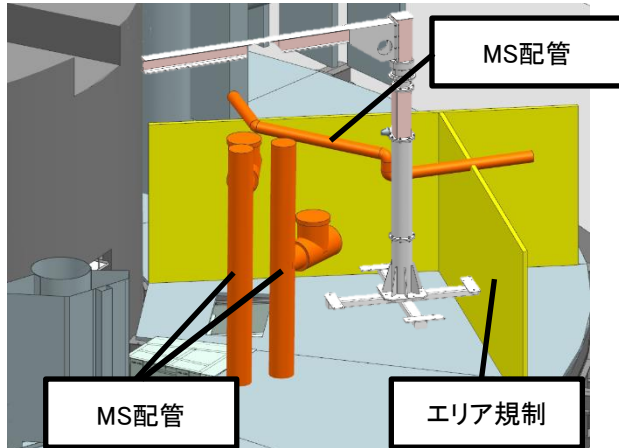
要素試験の状況(1号機PCV地下階)

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

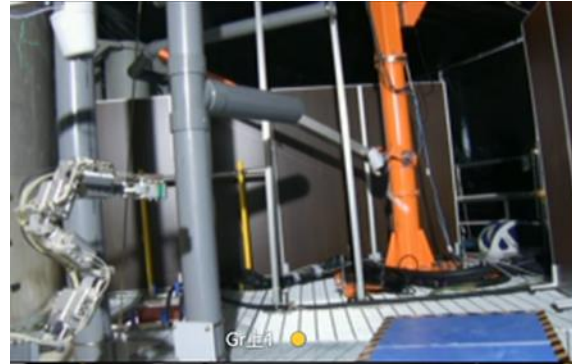
③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験模擬範囲（環境模擬：2号機）

- 2号機の環境模擬範囲は実機を想定しポンプ吊り上げ時や移動時に干渉となるMS配管とMS配管架台を対象にエリア規制と配管模擬を設定して要素試験を実施した。



要素試験の模擬イメージ図(2号機PCV1階)



要素試験の状況(2号機PCV1階)



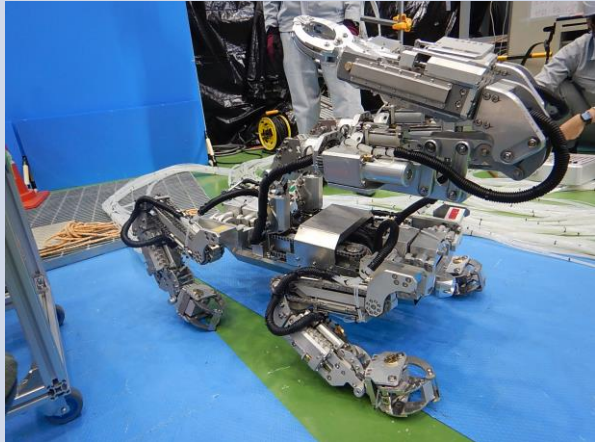


要素試験の状況(2号機PCV地下階)

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

No.393

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験に使用する遠隔装置の検討

	小型ロボット	揚重機(要素試験用)	ぶら下がりロボット
概要図			
仕様	動力: 水圧 外寸: L1503 × W463 × H575mm 質量: 約100kg 可搬重量: 約7kg/腕	動力: 電動 外寸: L3750 × W920 × 3148mm 質量: 490kg 定格荷重: 490kg	動力: 水圧 外寸: L2513 × φ330 × H732mm 質量: 約110kg 可搬重量: 20kg
説明	過去に開発した多脚の小型ロボットを用いる。双腕の作業アームで吊り治具の取扱いや玉掛けの作業を行う。主にPCV1階、地下階で作業を行う。	PCV模擬体のグレーチングまたは梁に設置する。要素試験においては、実機で採用予定であるラフタークレーンの可動範囲を模擬して揚重及び受け渡し作業を確認する。(HVH解体と共用化) 主にPCV1階で作業を行う。	過去に開発した多脚のロボットを用いる。作業アームで吊り治具の取扱いやケーブルホースの介助を行う。主にPCV地下階で作業を行う。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

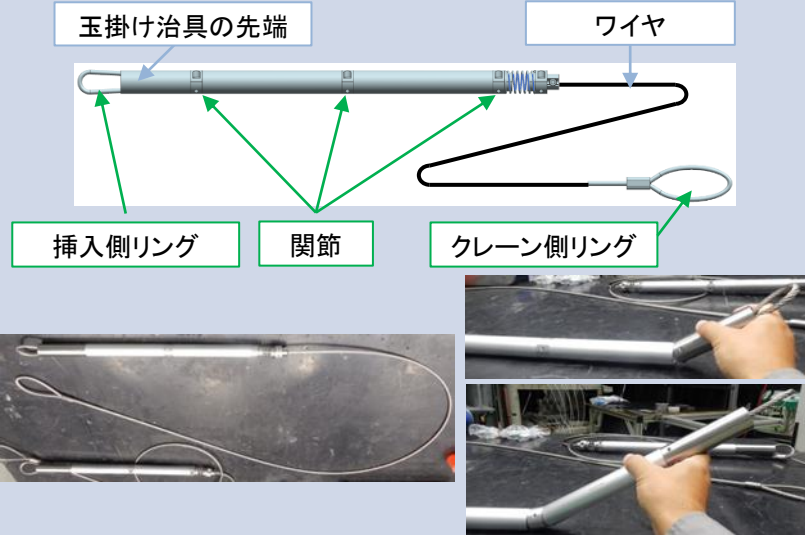

■ 要素試験に使用する切断装置の検討

		切断装置		
概要図	<p>【インストール姿勢】</p> <p>【切断姿勢】</p> <p>【切断装置 バンドソー部】</p>	<p>モータ</p> <p>吊り用架台</p> <p>案内ガイド</p> <p>展開機構</p> <p>送り機構</p> <p>バンドソー刃</p> <p>案内ガイド</p> <p>シャフト接続機構</p> <p>切断方向</p> <p>切断方向</p> <p>バンドソー刃</p> <p>送り機構</p>		
仕様	<p>動力: 電動/水圧(ストローク)</p> <p>外寸: 732mm × 370mm × 1140mm (ピット内: 560mm × 295mm × 560mm)</p> <p>切断ストローク: 190mm(手前15mm/切断対象150mm/奥25mm)</p> <p>質量: 80kg</p>	<p>【刃の仕様】</p> <p>鋸幅: 13mm</p> <p>鋸厚: 0.5mm</p> <p>ピッチ: 10/14</p> <p>鋸長さ: 1335mm</p> <p>材質: M42ハイス</p>	<p>【切断条件】</p> <p>モータ回転(rpm): 2700</p> <p>駆動ローラ回転(rpm): 150</p> <p>周速(m/s): 0.96</p> <p>電流(A) 定格1.9A: 1.5A以下</p> <p>刃送り圧力(MPa): 0.3</p>	
対象	ポンプ: 外管(FC25)、シャフト(SUS304)			
説明	切断装置をグレーチング開口部から吊り下ろし、案内ガイドにてピット内にインストールする。展開機構で90°に展開、送り機構で刃を送り出して外管とシャフトの切断を行う。吊り上げ/下げ用の架台(モータ含む)はバンドソー部の上部に位置する。			

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

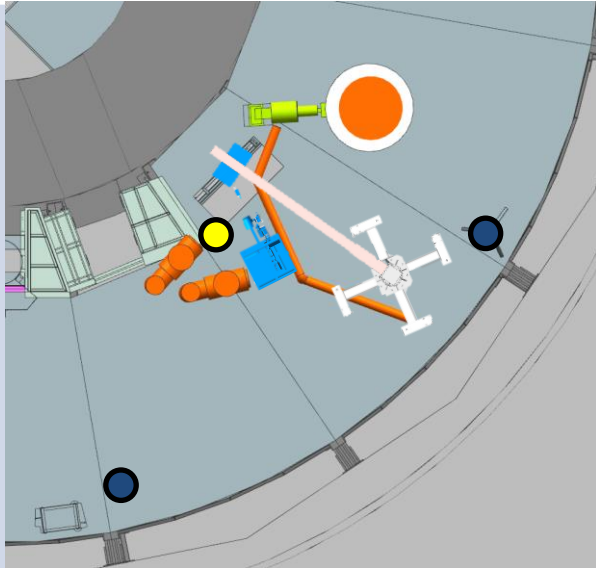
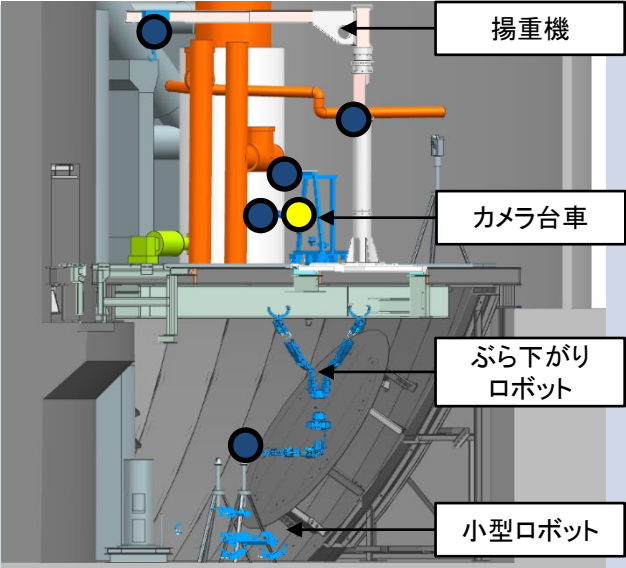
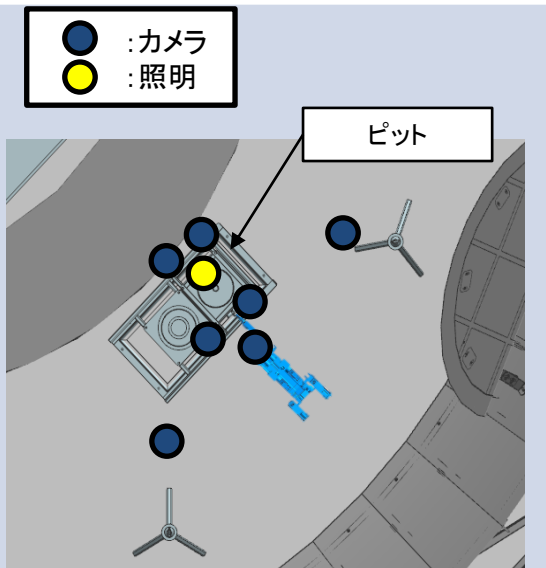
■ ポンプピット内干渉物撤去作業に関わる治具の検討

	ポンプ玉掛け用治具	吊り長調整治具
<p>概要図</p>		
<p>仕様</p>	<p>動力:無し 外寸: φ27.4 × 2626mm 質量: 0.7kg ワイヤ: φ6 関節部: 3箇所 角度: 関節3箇所合計80度</p>	<p>動力:無し 外寸: 87.2mm × 88mm × 558.5mm 質量: 3.4kg 揚程: 2500mm 定格荷重: 0.25ton</p>
<p>対象</p>	<p>ポンプ</p>	
<p>説明</p>	<p>ロボットにてポンプ窓部に玉掛け用治具を2本通し、揚重機フックに取付ける。</p>	<p>グレーチング上から吊り長調整治具にて垂直から水平にして吊り上げる。</p>

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験に使用するカメラ/照明の配置の検討

カメラ/照明配置			
<p>配置図</p>	 <p>【PCV1階 試験設備平面図】 1号機/2号機共通</p>	 <p>【PCV1階～地下階 試験設備鳥観図】 1号機/2号機共通</p>	
<p>詳細</p>	<p>俯瞰カメラ:2台 照明:1台</p>	<p>揚重機 カメラ:2台 カメラ台車 カメラ:2台 照明:1台 ぶら下がりロボット カメラ:1台</p>	 <p>【地下階 試験設備平面図】 1号機/2号機共通</p> <p>● :カメラ ● :照明</p> <p>ピット</p> <p>俯瞰カメラ:2台 小型ロボット カメラ:3台 ピット内カメラ:2台 照明:1台</p>

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)

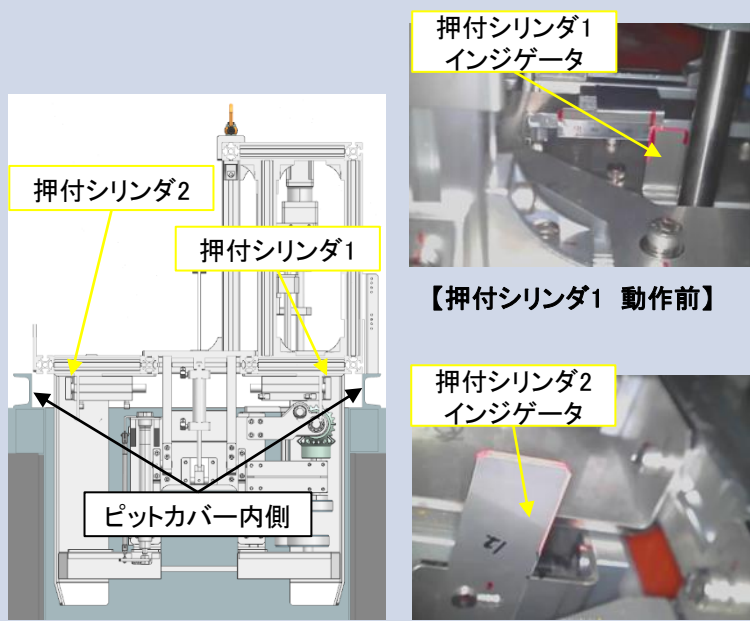
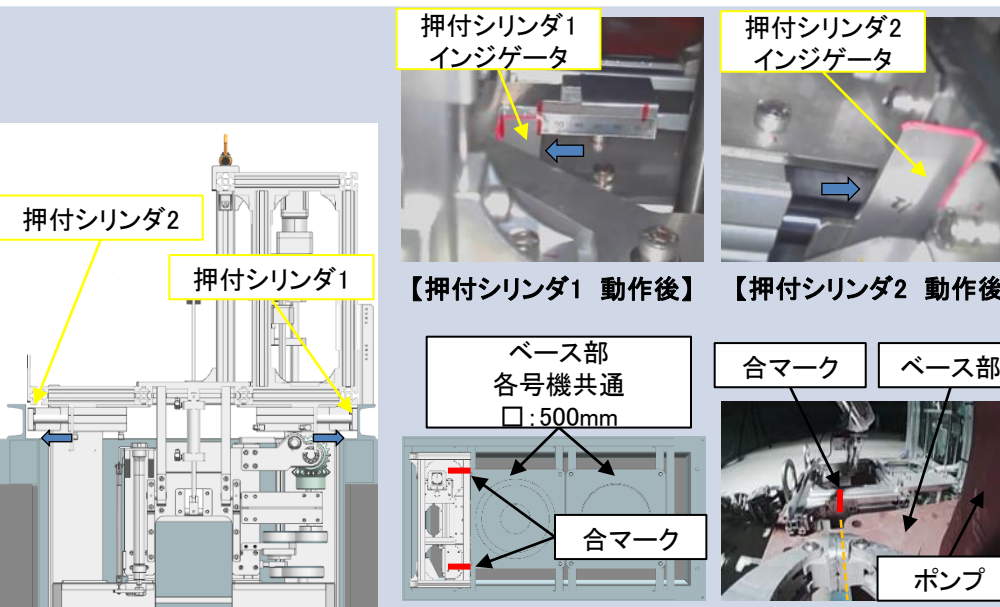
作業 ステップ	⑪-1 切断装置吊り下ろし	⑪-2 切断装置インストール	⑪-3 切断装置着座確認
試験 状況	 <p>【切断装置吊り下ろし】</p>	 <p>【小型ロボットにて位置調整】</p>	 <p>【切断装置手前側 着座確認】</p>
	 <p>【切断装置吊り下ろし】</p>	 <p>【切断装置インストール】</p>	 <p>【切断装置奥側 着座前】 【着座後確認】</p>
試験 結果	<p>揚重機を遠隔操作にてグレーチング開口部から切断装置の吊り下ろしを行い、干渉等なくできることを確認した。 (作業時間:5分)</p>	<p>小型ロボットを遠隔操作にて切断装置をポンプと干渉すること無く、案内ガイドよりインストールできることを確認した。 (作業時間:25分)</p>	<p>切断装置の手前側はカメラにて着座ができていないことを確認した。奥側はインジゲータをカメラにて視認し着座ができていないことを確認した。(作業時間:15分)</p>

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)

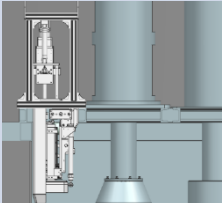
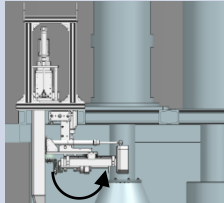
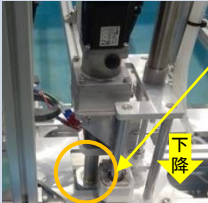
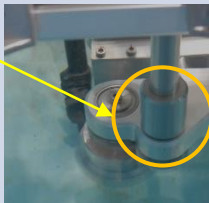


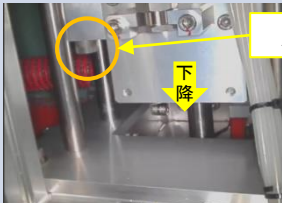

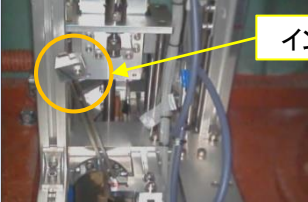


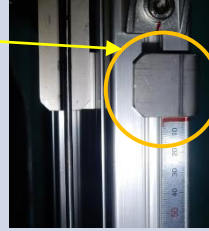
作業 ステップ	⑪-4 切断装置 固定前	⑪-5 切断装置 固定後
試験 状況	 <p>【切断装置正面図 押付シリンダ動作前】</p> <p>【押付シリンダ1 動作前】</p> <p>【押付シリンダ2 動作前】</p>	 <p>【押付シリンダ1 動作後】</p> <p>【押付シリンダ2 動作後】</p> <p>ベース部 各号機共通 □:500mm</p> <p>合マーク</p> <p>【2号機ピットカバー 切断装置上面図】</p> <p>【ロボット手先カメラ 合マーク確認】</p>
試験 結果	<p>遠隔操作にて押付シリンダ1を全ストローク動作をして、押付シリンダ2を合マークの位置まで動作をすることで切断装置の固定と設定ができることを確認した。 (作業時間:25分)</p>	
課題	<p>・ピットカバー内側に異物、既設構造物があった場合の対処方法。</p>	

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)

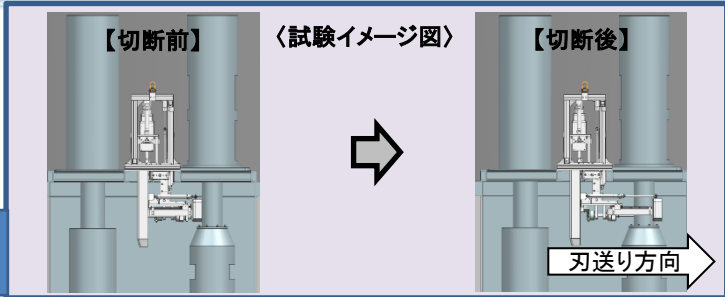
作業ステップ		⑪-6 ポンプ切断準備			
試験状況	2号機	 【展開機構 動作前 イメージ図】	 【展開機構 動作後 イメージ図】	 シャフト 下降	
		 展開機構シリンダ		 メカストップ 下降	 シャフト接続機構シリンダ
試験結果		 インジゲータ		 インジゲータ 目盛付き	 下降
		<p>切断準備として展開機構を90° 展開操作をしてシャフト接続機構を操作しモータからギア間の接続ができることを確認した。 各機構を操作してピット上からインジゲータやメカストップをカメラにて確認することができた。 刃送り軸は目盛付きのインジゲータにすることで、ピット上から切断進捗が把握できるようになった。</p>			

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2 【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)



No.400

作業
ステップ

⑪-7 ポンプ切断

試験
状況

1
号機



【切断位置:0mm】

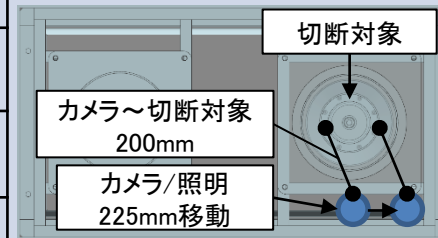
【切断位置:40mm】

【切断位置:77mm】

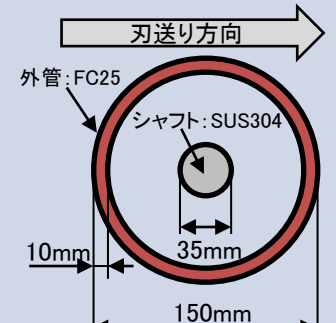
【切断位置:130mm】
カメラ/照明位置調整(人手)

【切断位置:150mm】

切断位置	0mm	40mm (外管部)	77mm (外管 +シャフト軸)	130mm (外管部)	150mm (外管部)
管理項目					
モータ回転数 (rpm)	2700	2700	2700	2700	2700
電流値(A)	0.44A (無負荷)	0.66	0.95	0.84	0.47
刃送り圧力 (MPa)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3



【カメラ/照明 設置上面図】



【切断上面イメージ図】

試験
結果

遠隔操作にて刃送りをして電流値、刃送り圧力を監視しながらポンプの切断ができることを確認した。水中Φ14CCDカメラとインジゲータで切断状況を確認しながら切断することができた。
(作業時間:58分)(濁度生成無し、切断前:0.58NTU、切断後:9.74NTU)

課題

- ・カメラ/照明は切断進捗に合わせて追従できる装置が必要。
- ・切断対象物とバンドソー刃先が見れるカメラの配置。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)

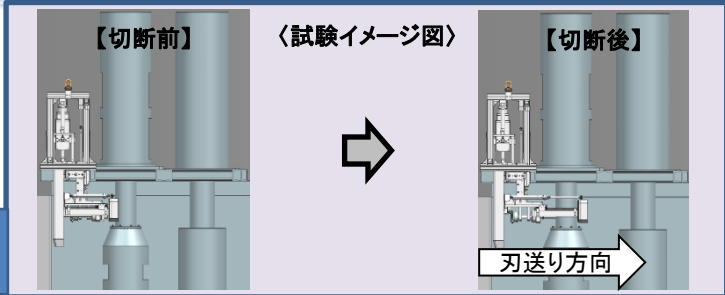
作業ステップ		⑪-8 ポンプ切断後の状況			
試験状況	1号機	<p>切断片(外管)</p> <p>【刃送り戻し後】</p>	<p>切断刃</p> <p>切断片(外管)</p> <p>【ポンプ上部吊り上げ後】</p>	<p>切断片(シャフト)</p> <p>【ポンプ上部吊り上げ後外管内】</p>	<p>ポンプ取付ボルト</p> <p>【ポンプ取付ボルト(切断装置側2本)取外し】</p>
		<p>⑪ ポンプ切断 (ケース2のみ) (切断装置イン/アンインストール)</p>	<p>⑫ ポンプ取付ボルト切断</p>	<p>⑬ ポンプ吊り上げ</p>	<p>作業ステップの見直し案</p>
試験結果		<p>遠隔操作にて刃送りを戻すと切断刃の間に切断片(外管)が挟んだ状態に戻ることを確認した。この挟んだ状態だと切断装置のアンインストールはできない為、作業ステップを見直す必要がある。</p>			
考察		<p>作業ステップを見直し、切断装置側のポンプ取付ボルトを2本取外しポンプ切断ができるのか2号機で確認する。</p>			
課題		<p>・切断装置がスタックした場合の対応方法。</p>			

6. 本事業の実施内容 【1】(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2 【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)



No.402

作業ステップ ⑪-9 ポンプ切断

試験状況 2号機

上段: φ14CCDカメラ
下段: φ55CMOSカメラ

管理項目 \ 切断位置	0mm	73mm (外管+シャフト軸)	115mm (外管部)	150mm (外管部)
モータ回転数 (rpm)	2700	2700	2700	2700
電流値 (A)	0.44A (無負荷)	0.95	0.84	0.47
刃送り圧力 (MPa)	0.3	0.3	0.3	0.3

【切断位置:0mm】 【切断位置:73mm】 【切断位置:115mm】 【切断位置:150mm】

カメラ/照明位置調整(人手)

【カメラ/照明 設置上面図】 (人手にて設置)

試験結果 1号機にて切断使用した同じ刃で刃送りをして電流値、刃送り圧力を監視しながら同じ切断条件でポンプの切断ができることを確認した。またポンプ取付ボルト2本取外した状態でも振動等の影響なく切断することが確認できた。
(作業時間:55分)(濁度生成有り、切断前:15.57NTU、切断後:14.63NTU)

課題


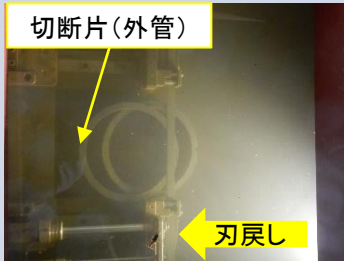


- ・φ55CMOSカメラは外形が大きくピット内への設置は不向きである為、耐放射性の高いカメラ小型化が必要である。
- ・カメラが異物等によりレンズに付着して視認性が悪化した場合の対処方法。

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.2【ステップ⑪】ポンプ切断(ケース2のみ)
・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)

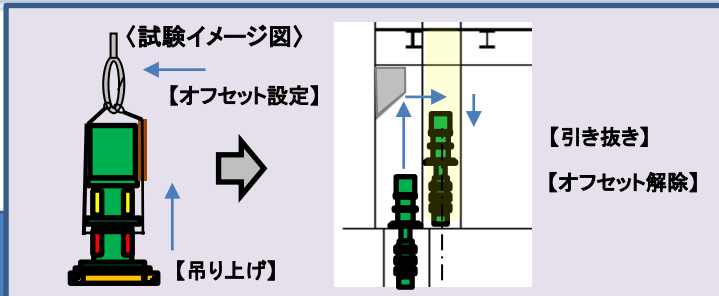
作業 ステップ	⑪-10 ポンプ切断後の状況			
試験 状況	 <p>切断片(外管)</p> <p>【ポンプ上部吊り上げ後】</p>	 <p>切断片(外管)</p> <p>刃戻し</p> <p>【25mm刃送り戻し】</p>	 <p>切断片(外管)</p> <p>【75mm刃送り戻し】</p>	 <p>切断片(外管)</p> <p>【刃送り戻し完了】</p>
試験 結果	<p>【見直し後作業ステップ】</p> <pre> graph LR S11[⑪ ポンプ取付ホルト切断 (切断装置側2本)] --> S12[⑫ ポンプ切断 1体目 (ケース2のみ) (切断装置インストール)] S12 --> S13[⑬ ポンプ取付ホルト切断 (残り2本)] S13 --> S14[⑭ ポンプ吊り上げ] S14 --> S15[⑮ 切断装置 アンインストール] S15 --> S11 </pre> <p>ポンプ2体目は⑪から⑮を繰り返す</p> <p>ポンプ上部吊り上げを行い遠隔操作にて刃送りを戻すと切断刃の間に切断片(外管)が挟んだ状態で戻れることを確認した。 挟んだ切断片(外管)を手で回収できそうか確認し、回収できることを確認した。 作業ステップを見直したことで一連の作業ができることを確認した。</p>			
課題	<p>・水中にてロボットアームによる切断片(外管)の回収方法。</p>			

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.4 【ステップ⑬】ポンプ吊り上げ ・ポンプ吊り上げ(ケース4)



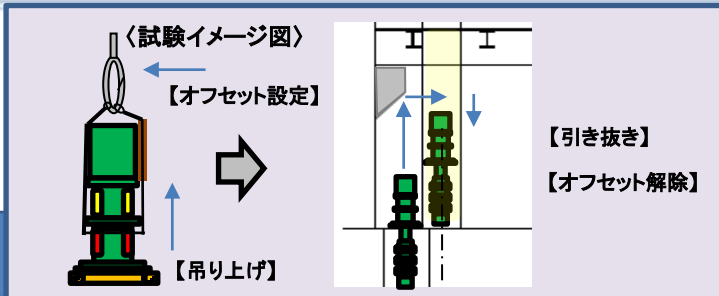
作業ステップ	⑬-1 オフセット設定 ワイヤのテンション調整可否	⑬-2 ピット内ポンプ引き抜き	⑬-3 オフセット解除
試験状況	<p>1号機</p> <p>【ぶら下がりロボによるオフセット】</p> <p>【テンション確認】</p>	<p>【ポンプ旋回抑制】</p> <p>【ポンプ押込み】</p> <p>【ポンプ引き抜き後】</p>	<p>【ぶら下がりロボによるオフセット解除】</p> <p>【地下階床面着座】</p>
試験結果	ぶら下がりロボットによるオフセット治具で吊り芯合わせと、揚重機による吊り上げを行い、テンション調整の確認ができた。 (作業時間:10分)	揚重機による吊り上げを行い、小型ロボットの介助でポンプ引き抜きができることを確認した。 (作業時間:10分)	ぶら下がりロボットによるオフセット解除を行い揚重機の旋回、吊り下ろし操作で地下階床面着座ができることを確認した。 (作業時間:10分)
課題	・固着等によりポンプが吊り上げることができない場合の対応方法。		

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.4 【ステップ⑬】ポンプ吊り上げ ・ポンプ吊り上げ(ケース4)



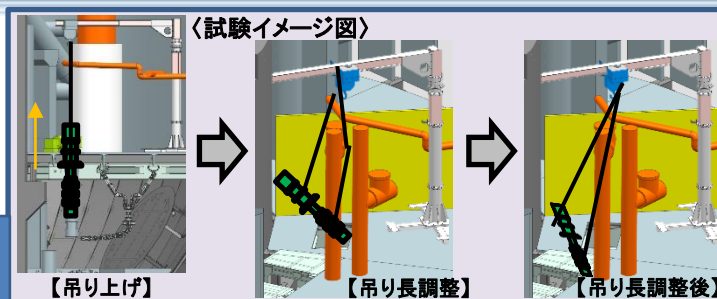
作業ステップ	⑬-1 オフセット設定 ワイヤのテンション調整可否	⑬-2 ピット内ポンプ引き抜き	⑬-3 オフセット解除
試験状況 2号機			
試験結果	ぶら下がりロボットによるオフセット治具で吊り芯合わせと、揚重機による吊り上げを行い、テンション調整の確認ができた。 (作業時間:10分)	揚重機による吊り上げを行い、小型ロボットの介助でポンプ引き抜きができることを確認した。 (作業時間:18分)	ぶら下がりロボットによるオフセット解除を行い揚重機の旋回、吊り下ろし操作で地下階床面着座ができることを確認した。 (作業時間:17分)
課題	・固着等によりポンプが吊り上げることができない場合の対応方法。		

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.4 【ステップ⑬】ポンプ吊り上げ ・ポンプ吊り上げ(ケース4)



No.406

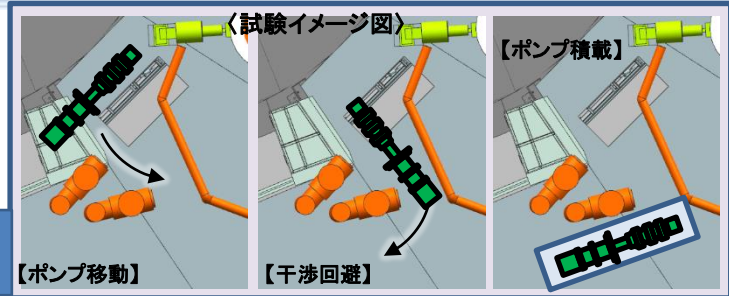
作業ステップ		⑬-4 ポンプ吊り上げ	
試験状況	2号機	<p>【ポンプ吊り上げ】 地下階からグレーチング開口</p>	<p>【小型ロボット吊り長調整】</p>
		<p>【ポンプ吊り上げ】 PCV1階グレーチング上</p>	<p>【ポンプ吊り上げ完了】</p>
試験結果	<p>揚重機を遠隔操作にてポンプの吊り上げを行い、干渉なくできることを確認した。吊り上げ時にポンプが回転する為、ぶら下がりロボットにて回転抑制ができることを確認した。2号機ではMS配管を避ける為に、ポンプをグレーチング開口から半分の所で吊り長調整器具にてポンプを斜めにしながらグレーチング開口から吊り上げできることを確認した。 (作業時間:58分)</p>		
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作でポンプ下部への吊り治具取付け可能な検討が必要。 ・吊り長調整器具の手鎖が長く、作業時間が掛かる。 		

6. 本事業の実施内容 【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 要素試験結果

No.6 【ステップ⑬】ポンプ吊り上げ ・ポンプ移動(D/W1階)



No.407

作業ステップ		⑬-5 ポンプ移動		⑬-6 ポンプ積載	
試験状況	2号機	<p>吊り上げ</p> <p>MS配管</p> <p>小型ロボット介助</p> <p>ポンプ</p> <p>【ポンプ吊り上げ】</p>	<p>【干渉物回避】</p>	<p>吊り下ろし</p> <p>小型ロボット介助</p> <p>【ポンプ吊り下ろし】</p>	<p>ポンプ</p> <p>【揚重機ジブ先端カメラ】</p>
		<p>小型ロボット介助</p> <p>【ポンプ旋回抑制】</p>	<p>【揚重機旋回】</p>	<p>小型ロボット介助</p> <p>【ポンプ吊り下ろし完了】</p>	<p>搬送台車寸法</p> <p>【ポンプ吊り下ろし完了】</p>
試験結果		<p>遠隔操作にて揚重機によるポンプ吊り上げを行い、ポンプを水平にした状態で揚重機の旋回や小型ロボットの介助にて干渉物回避やポンプ旋回抑制をすることでポンプの移動ができることを確認した。(作業時間:30分)</p>		<p>遠隔操作にて揚重機の吊り下ろしを行い小型ロボットでの介助をしながら搬送台車寸法内にポンプが積載できることを確認した。(作業時間:10分)</p>	
課題		<p>・制限されているスペースの中で小型ロボットの移動が頻繁となり都度ケーブルの取り回しが必要。</p>			

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ ポンプピット内干渉物撤去の要素試験から抽出した課題(1/2)

No.	ステップ/試験項目	課題	対策（実機検討）
1	⑪ポンプ切断(ケース2のみ) ・ポンプピット内ポンプ切断/把持(ケース2)	・ピットカバー内側に異物、既設構造物があった場合の対処方法。	・現場調査での状況確認。 ・ピット内でも押付けのできる設計検討。
		・ピット内カメラ/照明は切断進捗に合わせて追従できる視認性の確保。	・カメラ/照明のパンチルト機構を防水、小型化の検討。
		・切断対象物とバンドソー刃先が見れるカメラの配置が必要。	・カメラ/照明を切断装置内に搭載する。
		・切断装置がスタックした場合の対応方法。	・切断装置内に刃の切断機構を搭載する。 ・戻りシリンダの推力で刃を断裂させる設計。
		・耐放射線性が高いカメラは外形が大きくピット内の取り扱いが難しい。(φ55CMOS)	・現場調査にて線量確認後、適した耐放射線性カメラの選定。 ・カメラ時間管理と交換の組合せで対応。
		・カメラが異物等によりレンズに付着して視認性が悪化した場合の対処方法。	・レンズのコーティング施工。 ・水噴射で除去できる装置設計。
		・水中にてロボットアームによる切断片(外管)の回収方法。	・ロボットアームが水中作業できる設計。 ・アームカメラの耐放射線性、耐水性の検討。
2	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ玉掛け	・ポンプ窓部が異物等により玉掛け治具を通すスペースがない場合の対応方法。	・現場調査での状況確認。 ・代替案の検討。(リフマグ案、フランジ引掛け案等)

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ ポンプピット内干渉物撤去の要素試験から抽出した課題(2/2)

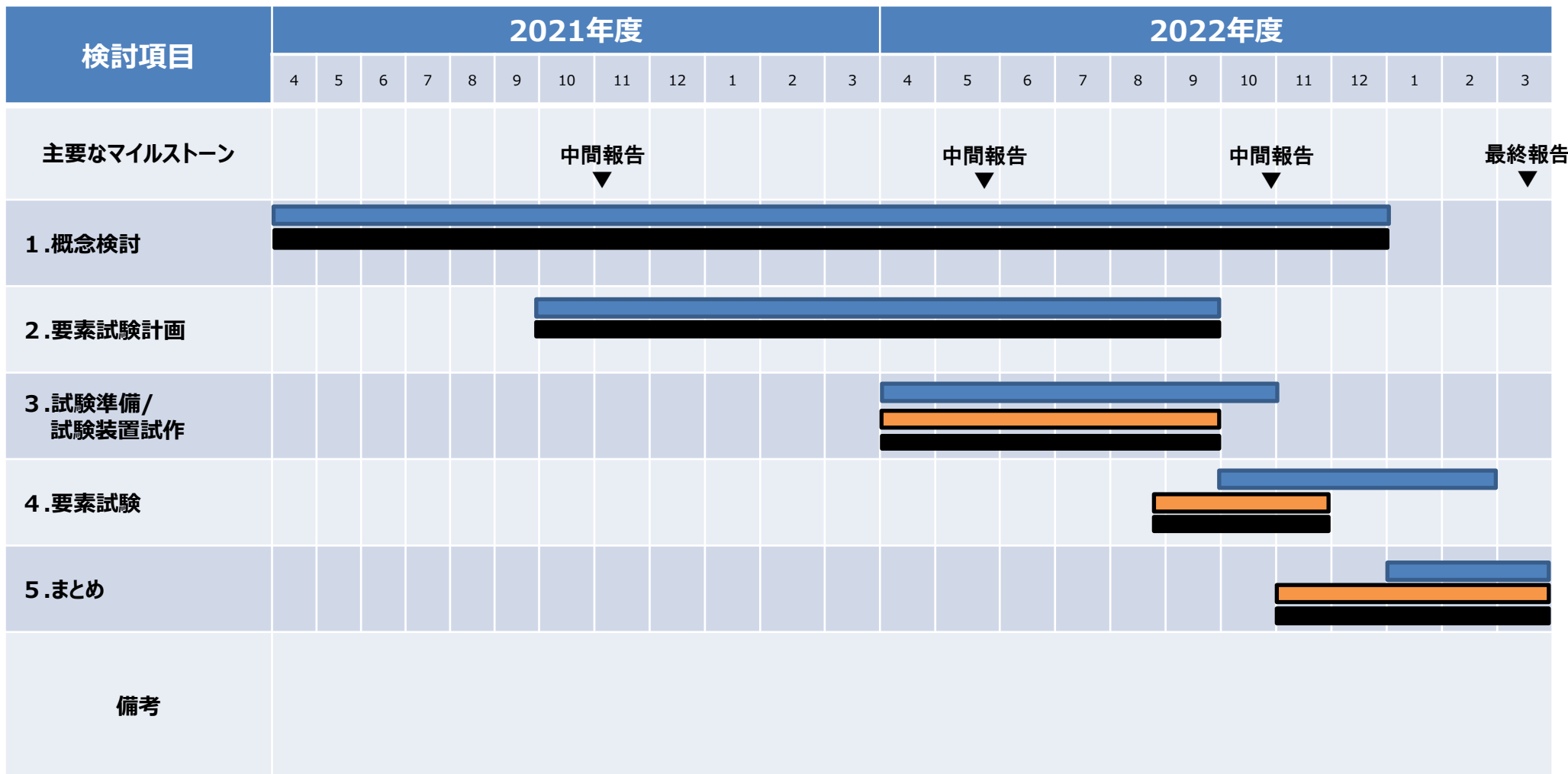
No.	ステップ/試験項目	課題	対策（実機検討）
3	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ吊り上げ(ケース4)	・固着等によりポンプが吊り上げることができない場合の対応方法。	・現場調査での状況確認。 ・代替案の検討。(ポンプベースの切断案等)
		・遠隔操作でポンプ下部への吊り治具取付け可能な検討が必要。(今回ポンプ下部は形状模擬をしていない)	・模擬体を実機に合わせた吊り治具の設計。
		・吊り長調整治具の手鎖が長く、作業時間が掛かる。	・手鎖を短くする。 ・電動化の装置設計。 ・実機を想定したラフタークレーンに主巻フック、補巻きフック機構の検討。
4	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ上部吊り上げ(ケース2)	・固着等によりポンプが吊り上げることができない場合の対応方法。	・現場調査での状況確認。 ・代替案の検討。(ポンプベースの切断案等)
5	⑬ポンプ吊り上げ ・ポンプ移動(D/W1階)	・制限されているスペースの中で小型ロボットの移動が頻繁となり都度ケーブルの取り回しが必要。	・搬送台車に作業アームを取付けた装置設計。 ・ケーブル回収装置の小型化の検討。
6	その他	・ポンプを落とした場合のダスト飛散に対する対応方法。	・散水設備の装置設計。 ・ダスト飛散データの取得

6. 本事業の実施内容【1)(2)解体・撤去技術の開発】

③ ポンプピット内干渉物撤去

■ 開発工程

■ :計画
■ :計画(見直し後)*
■ :実績



③ ポンプピット内干渉物撤去:まとめ

- ポンプピット内干渉物撤去について、2021年度に前提条件としてポンプピット内燃料デブリの状況、撤去対象のポンプ仕様、ポンプピット仕様および位置について検討・整理した。ポンプピット内干渉物撤去に関する作業ステップを検討し、試験項目を選定した。
- 要素試験に使用するポンプ・ポンプピット模擬体、装置、治具等を検討し、作業ステップを具体化して要素試験計画を立案(確認項目、試験内容、確認項目を整理)した。
- 要素試験により、ポンプの切断や吊り上げ等が遠隔で実施できることを確認し、ポンプピット内干渉物撤去工法の実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

6. 本事業の実施内容

1) 横取り出し工法の開発

(3) 取り出し工法の高度化開発

① 取り出し用遠隔先端ツール

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に対応する為、候補工法の検討と並行してスループット評価を進めてきている。横取り出し工法のスループットの改善に向けては、燃料デブリの加工、回収作業について、先端ツールの位置決めや対象物の把持、先端ツール交換等の効率化の検討、開発が必要となっている。

燃料デブリの取り出し及び炉内構造物の解体・撤去を行う遠隔装置の先端ツールに関しては既往の開発において各種手法が検討されているが、市場技術を含めて効率化に適する先端ツールの調査、整理を行う。

その上で現場に適用する為の要求事項に基づいて、効率改善が必要な作業に適用可能な先端ツール・操作システム（干渉回避制御システムなど）の代表的手法を選定し、現場適用の為の市場技術の改善または新規開発技術による先端ツール・操作システムの試作を行う。試作した先端ツール・操作システムによって、PCV内の構造物等の干渉物、燃料デブリ等の加工対象物の機械的性状等を考慮したモックアップ（妥当性のある部分モデルまたは縮小モデルとすることも許容する）を使った試験によって、燃料デブリの加工及びユニット缶への回収手順、各先端ツールの操作性、効率等を検証し、一連の作業成立性の確認を行う。また、作業手順の実績データを取得、整理し、スループット評価用データを作成する。

① 取り出し用遠隔先端ツール

目次

- (1) これまでの開発成果と本事業の関連
- (2) 本研究の背景と目的
- (3) 目標
- (4) 実施事項とその関係、他研究との関連
- (5) 実施事項
- (6) 開発工程
- (7) まとめ

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(1)これまでの開発成果と本事業の関連

- 【基盤技術の高度化(2017-2018年度実施)】
- アクセス装置の開発
 - アクセスレール、ロボットアーム組合せ試験
 - ✓ アクセスレールの設置
 - ✓ ロボットアームのペデスタル内案内



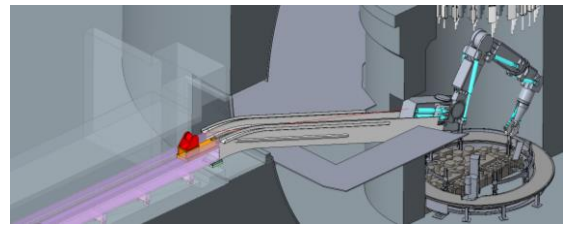
レール・アーム組合せ試験



レール・アーム組合せ試験



- 【取り出し規模の更なる拡大(2019-2020年度実施)】
- 横アクセス工法の現場適用の為の工法見直し
 - 固定レール方式の検討
(アクセス装置小型化 ⇒ セル高さ低減)
 - 粒状燃料デブリ吸引回収システムの開発



固定レール方式の検討



粒状燃料デブリ吸引回収



- 【今回実施】
- 先端ツール、遠隔操作支援システムの検討、要素試験
 - スループット評価用データの取得

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(1)これまでの開発成果と本事業の関連

【これまでの開発状況】

- PCV内の各回収対象に適した加工方法を調査。
- 調査した加工方法の中から有望と思われる加工技術について加工要素試験を実施。
- 構造物、燃料デブリの回収手順を検討。
- 加工要素試験結果、アクセス性試験結果、机上検討結果等から燃料デブリ取り出しのスループットを試算。

過去の加工方法調査例(2019-2020年度報告書より抜)

	様々な燃料 デブリに対応	加工速度	アクセス性 (ヘッド小型)	入熱	ヒューム発生 (気中拡散)	切りくず発生量 (水中拡散)	ユーティリティ小 型化	供給可否
コアボーリング	○	△	○	○	○	△	○	○
ディスクソー	○	○	△	○	○	○	○	○
ワイヤソー	△	△	×	○	○	○	○	○
バンドソー(レシプロソー)	△	△	×	○	○	○	○	○
超音波コアドリル	△	△	○	○	○	△	○	○
カッター(シャー)	△	○	○	○	○	△	○	○
チゼル	△	○	○	○	○	○	○	○
AWJ	△	△	○	○	○	×	×	○
レーザ	○	△	○	△	△*	△	×	○
プラズマアーク	×	×	○	△	×	△	×	○
プラズマジェット	○	△	○	△	×	△	×	×
ガス	×	△	○	△	×	△	△	○
フライス	×	○	×	○	○	○	×	○

過去の加工要素試験

2014年度: ・コアボーリング ・レーザガウジング ・プラズマ ・AWJ ・レーザ(はつり)	2017-2018年度: ・チゼル ・超音波コアボーリング ・AWJ ・レーザ ・ディスクカッタ ・ワイヤソー
2015-2016年度: ・コアボーリング ・レーザガウジング	2019-2020年度: ・油圧カッタ ・切断砥石 ・チップソー ・セリ矢 ・超音波コアボーリング

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(1)これまでの開発成果と本事業の関連

【これまでの開発状況】

過去の加工要素試験(例)

年度	加工方法	模擬体	試験状況(工作機械等に設置)	加工速度
2015-2016	コアボーリング	・SUS304 ・アルミナ		2.86[mm/min] ・カタ 外径: φ 66mm ↓ 2.5[kg/h] ・H29-30試算結果
2017-2018	チゼル	・MCCI模擬体		36.7[kg/h]
2017-2018	ディスクカッタ	・SUS304 ・ジルコニア		750[mm ² /min] ・深さ : 1.5mm ・長さ : 100mm ・時間 : 0.2min

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(1)これまでの開発成果と本事業の関連

【課題】

- 現在の加工速度では、取り出し期間が目標の10年を超過。
- スループット算出に使用している加工時間は、主に工作機械による加工試験結果を使用しており、剛性の劣る遠隔装置に取り付けた先端ツールとしての加工作業では延びる可能性がある。
- 加工作業以外の作業の多く(先端ツールの位置決め等)は、作業時間を想定しスループット算出を行っており、精度向上を図る必要がある。

【実施内容】

- スループット改善策の検討。
 - PCV内構造物、燃料デブリ回収手順の検討。
 - 加工方法の検討。
 - 装置の操作性向上。
- アクセス装置の仕様を考慮した加工時間の取得。
 - アクセス装置の仕様に合った先端ツールの製作、加工試験。
 - 加工時間、刃物寿命等のスループット評価用データの取得。
- マニピュレータ操作時のオペレータ負荷を低減する遠隔操作支援システムの開発による安全性、及び作業効率の向上
 - 干渉物を回避する軌道を生成する遠隔操作支援システムの開発。
 - シミュレーション、スケールモデルモックアップによる作業実現性の確認。
 - スループット評価用データの取得(精度向上及び効率化による改善効果の取得)。

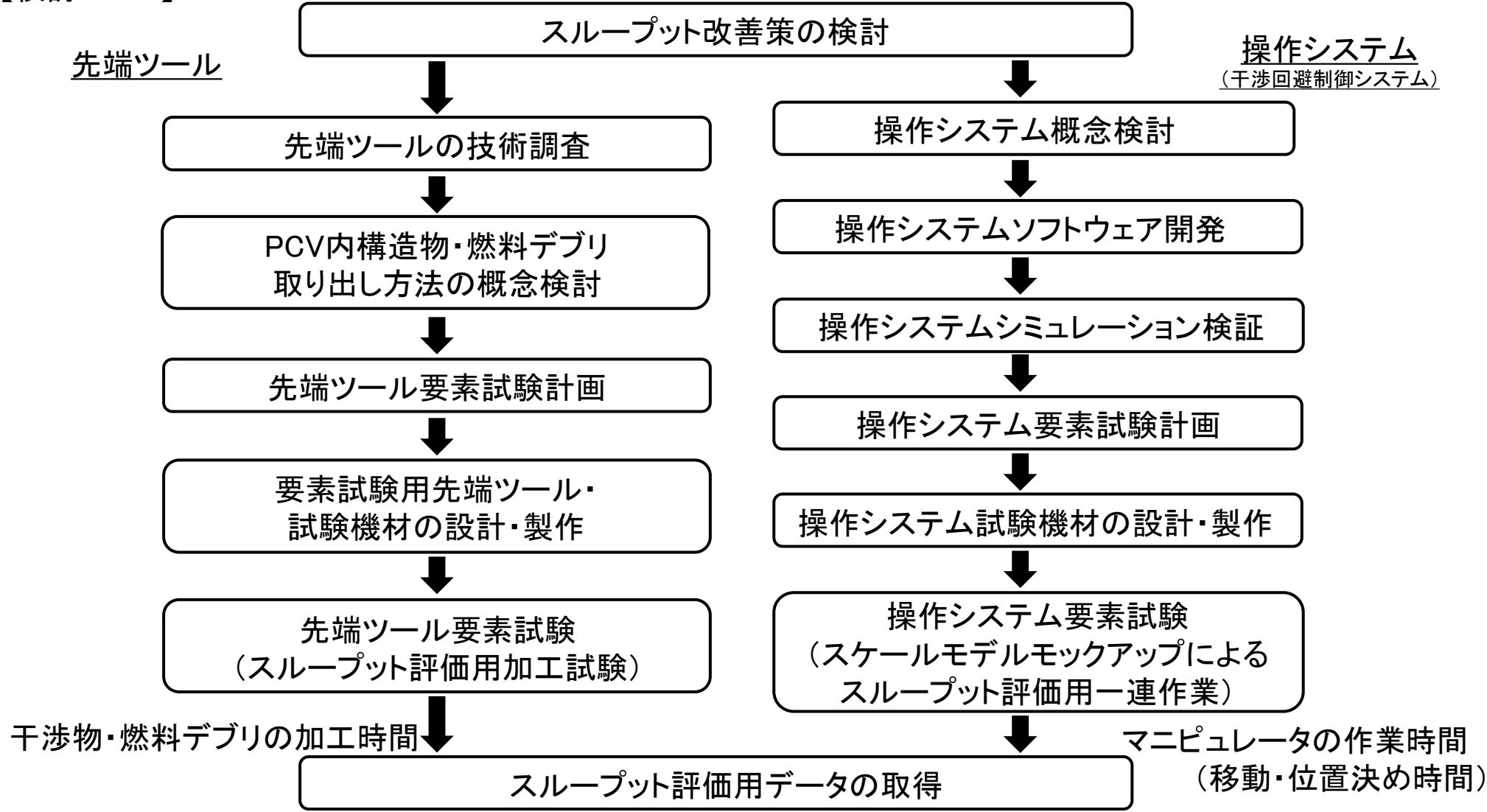
【得られる成果】

- PCV内構造物の解体・撤去方法及び燃料デブリ加工・回収手順の確認。
- スループット評価用データの取得。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (1)これまでの開発成果と本事業の関連

【検討フロー】

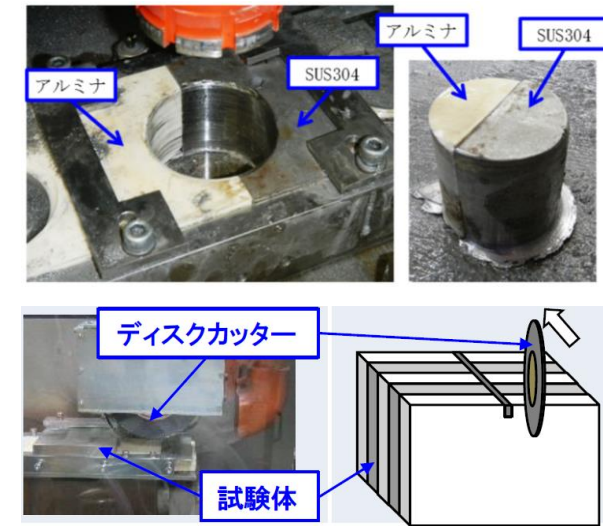


6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

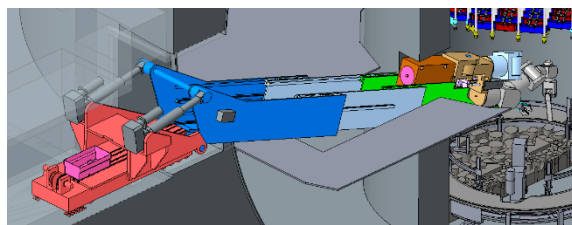
① 取り出し用遠隔先端ツール (2) 本研究の背景と目的(先端ツール)

✓ 本研究が必要な理由

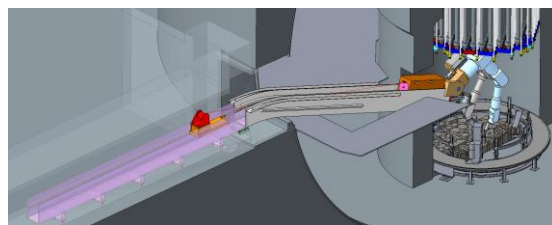
- これまでPCV内の各回収対象に適した加工方法の調査、加工試験を実施し、その結果からスループットを算出。
- スループット算出に使用している加工時間は、主に工作機械によるもので、剛性の劣る遠隔装置では加工時間が延びる可能性がある。
- そこで、現状の遠隔装置(アクセス装置)に適した仕様の先端ツールの製作、加工試験を実施し、加工時間の精緻化を図る。



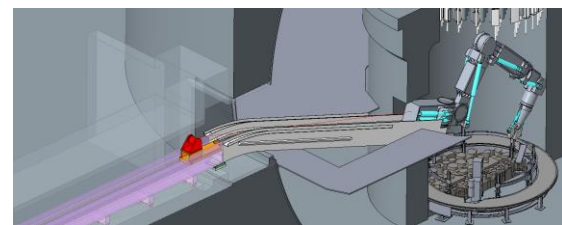
過去の加工試験状況



テレスコ式双腕電動アーム



固定レール式双腕電動アーム



固定レール式単腕液圧アーム

現状想定している遠隔装置(アクセス装置)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(2)本研究の背景と目的(先端ツール)

✓ 本研究の期待される成果と反映先とその寄与

【期待される成果】

- 先端ツールの実機適用性、課題と対応策
- スループット評価用データ
 - 加工性
 - 加工時間
 - 刃物寿命
- 遠隔装置(アクセス装置)への要求仕様
 - 加工反力(必要先端ツール押付力)等

【成果の反映先】

- 遠隔装置の設計
- スループットの評価

【寄与】

- 燃料デブリ取り出し工法の具体性向上
- 燃料デブリ取り出し期間の評価

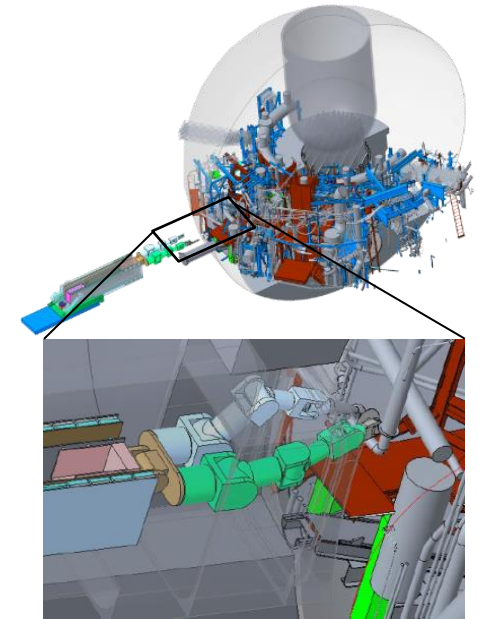
6. 本事業の実施内容 【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(2) 本研究の背景と目的(操作システム)

✓ 本研究が必要な理由

- 燃料デブリ取り出しでは、PCVのような狭隘な環境において、障害物を避けながら干渉物撤去や燃料デブリ取り出し作業を行う。作業には冗長自由度(7軸以上の多関節を有する)マニピュレータが有効。
- しかし視野が制限される条件下で、障害物を回避しながら、冗長自由度マニピュレータを遠隔操作することはオペレータの負荷が非常に高く、マニピュレータを障害物に衝突させるリスクがある。
- そこで、「遠隔操作を支援する操作システム」によって、オペレータの負荷を軽減し作業の効率化を図る。



3号機における
干渉物撤去作業イメージ

✓ 本研究の期待される成果と反映先とその寄与

【期待される成果】: マニピュレータの障害物回避を自動化すること

【成果の反映先】: 燃料デブリ取り出しで使用される遠隔操作ロボットを適用対象として開発を行うが、将来的には様々な作業・ロボットへの適用を目指す。(環境モデルやロボットモデルを変更可能にする)

【寄与】: 作業の安全性・効率の向上が期待できる。※

※2019～2020年度に実施した先行研究「視界不良かつ狭隘環境での遠隔操作支援手法の開発」にて、操作支援を行うことによって、ベテランオペレータの手動操作から約90%の操作時間低減、およびティーチングデータ作成時間の約80%低減が実現されており、本開発では、それらをさらに実用化・高度化させる。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (3) 目標(先端ツール)

✓ 成果反映先からの要求

- 加工条件を幅広いパラメータとした加工試験
特定のアクセス装置に限定せず、様々な装置に適用できる様、押付力等の加工条件を幅広くパラメータとして加工試験を実施する。
- スループット改善
加工試験においては、スループット改善を目的とした試験も実施する。

✓ 上記要求に対する目標

- 現状想定しているアクセス装置の押付力(電動アーム150kg、液圧アーム2ton)だけではなく、小型のアクセス装置を想定した低い押付力の加工試験も実施し、加工性の確認、スループット評価用データを取得する。
- スループットで多くの時間を占める塊状燃料デブリ(ペDESTAL底に溜まった燃料デブリ)の加工時間短縮を目指し、現状のコアボーリング径 ϕ 66mmの径をアップした試験も実施する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(3) 目標(操作システム)

✓ 成果反映先からの要求

- オペレータの負荷を軽減する

状況判断や動作速度調整はオペレータが行う一方で、煩雑な選択・手順検討・広域監視はなるべくシステムに任せることによってオペレータ負荷を軽減する。

- 拡張性を有する

特定の装置に限定せず、将来的に様々な作業・装置への展開を目指す。また、廃炉における計画・管理・記録などを担う統合管理システムとの連携を行う。

✓ 上記要求に対する目標

- 試作した操作システムによって、3号機ペDESTAL内を模擬したモックアップ試験を実施し、干渉物の把持・切断・搬出や、燃料デブリのユニット缶への回収手順等を検証し、一連の作業成立性の確認を行う。また、作業手順の実績データを取得、整理し、スループット評価用データを作成する。
- 解体撤去手順計画へのインプットの1つとして、操作システムの適用条件や、想定されるトラブルに対するケーススタディを整理する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(4)実施事項とその関係、他研究との関連(先端ツール)

✓ 本研究の実施項目

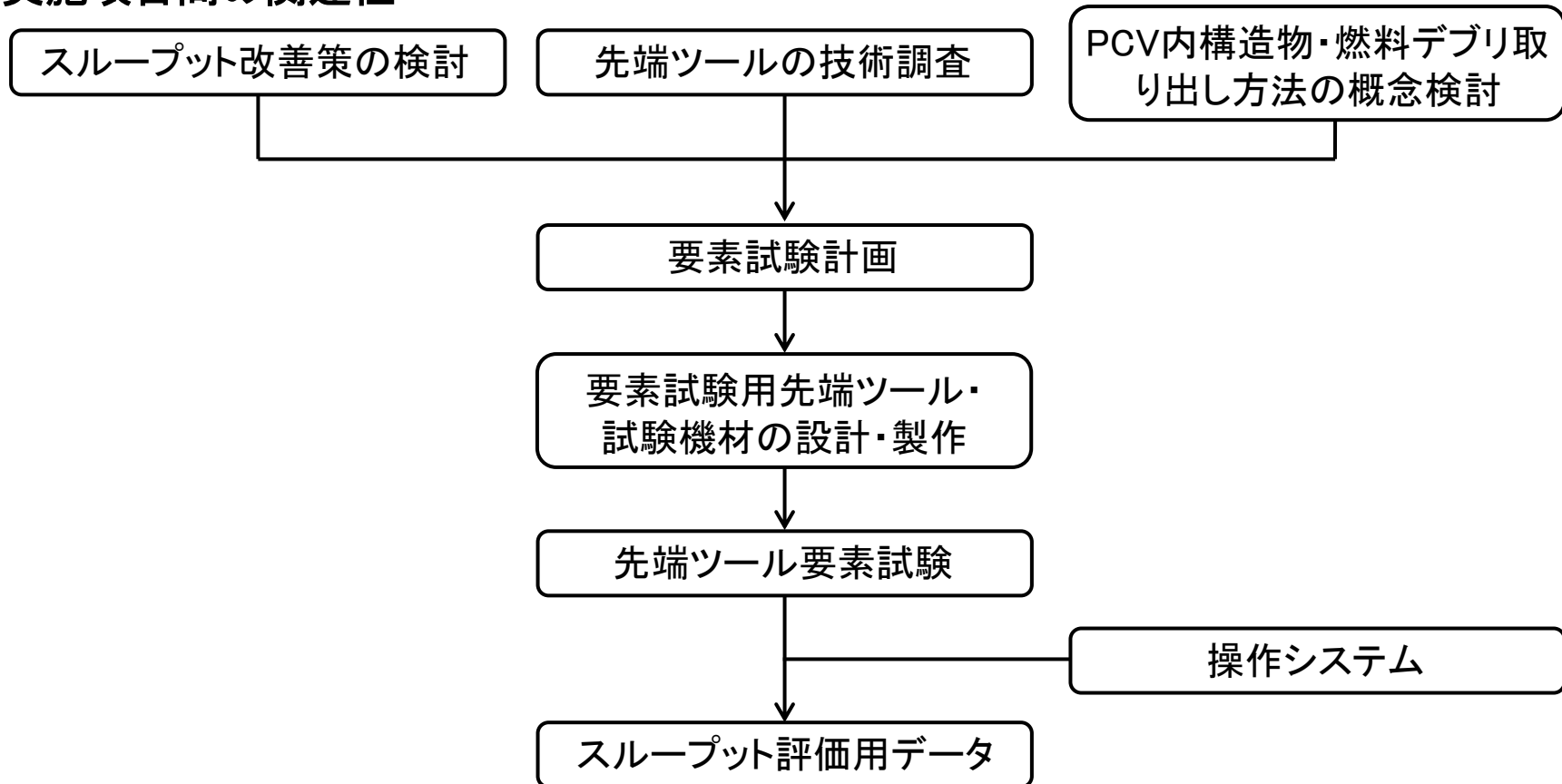
- スループット改善策の検討
 - 過去のスループット算出の分析
 - 要素試験実施内容検討
- 先端ツールの技術調査
 - 過去に実施した加工方法調査結果の整理
 - 新たな加工方法の調査
- PCV内構造物・燃料デブリ取り出し方法の概念検討
 - 構造物・燃料デブリの回収手順の検討
 - 構造物・燃料デブリの加工方法の検討
- 要素試験計画
 - 実機用先端ツールの概念設計
 - 試験項目・試験方法の検討
- 要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作
 - 試験機材の設計・製作
- 先端ツール要素試験
 - 先端ツールによる加工試験
 - 加工試験結果評価(スループット改善策の評価含む)

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

(4)実施事項とその関係、他研究との関連(先端ツール)

✓ 実施項目間の関連性



✓ 他研究との関連性(インプット・アウトプット情報)

- 加工制限値について、臨界管理と情報共有しながら検討を実施する。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール

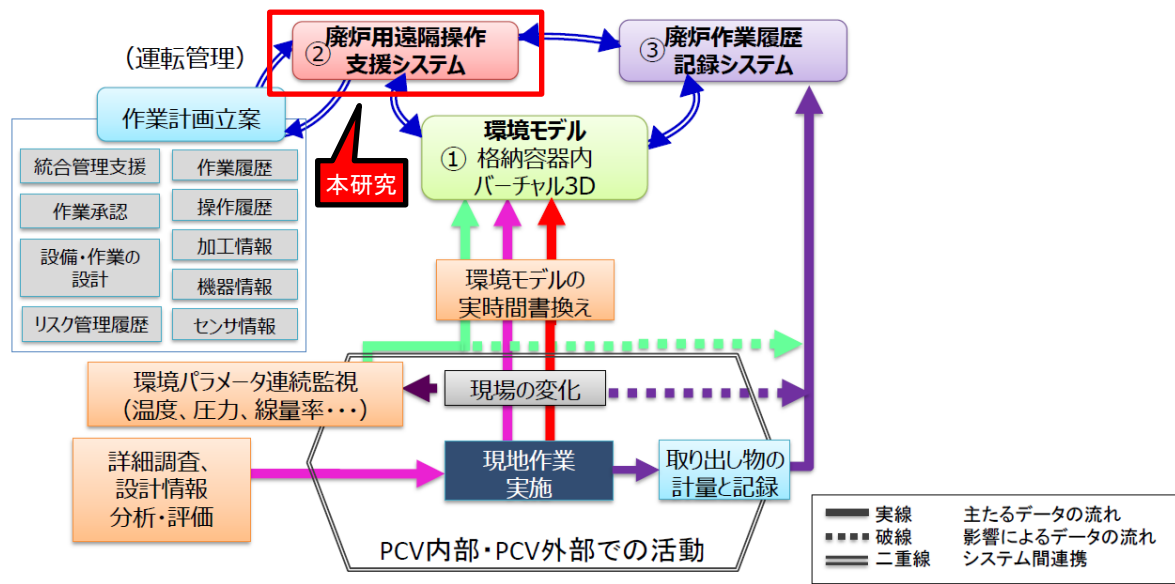
(4)実施事項とその関係、他研究との関連(操作システム)

✓ 本研究の実施項目

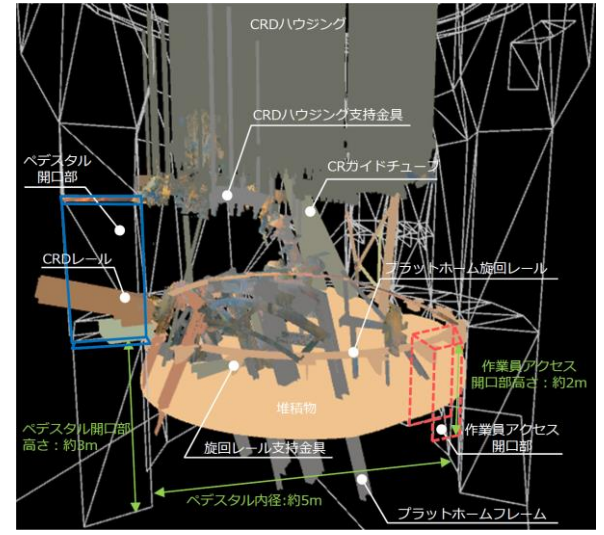
- 操作システムの試作、モックアップ試験による一連の作業成立性の確認
- 作業手順の実績データの取得、スループット評価用データの作成

✓ 実施項目間の関連性、他研究との関連性(インプット・アウトプット情報)

- 燃料デブリ取り出し監視・支援・統合管理WGと連携し、データ活用の概念検討中
- モックアップは3号機ペDESTAL内部の3D損傷モデルを元に製作



燃料デブリ取り出し監視・支援・統合管理WGによるデータ活用案



2017年7月の3号機PCV内部調査の映像から復元されたペDESTAL内部の3D損傷モデル

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

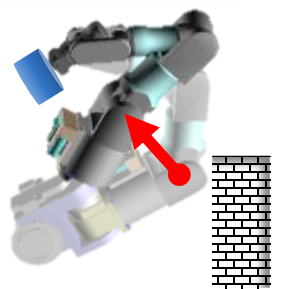
① 取り出し用遠隔先端ツール

(4)実施事項とその関係、他研究との関連(操作システム)

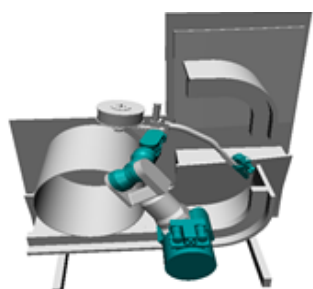
✓ これまでの開発成果と本事業の関連

多関節マニピュレータの障害物回避に関して、研究を重ねる中で汎用性・実用性を高めている。

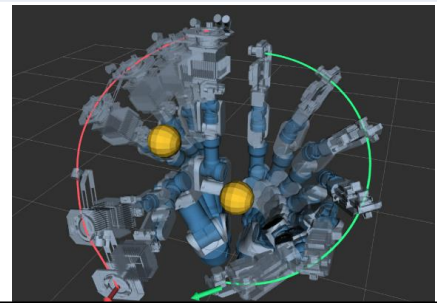
開発プロジェクト	内容
原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発 (2013～2014年度)	冗長自由度マニピュレータの直感的な遠隔操縦手法として、セルフモーションの生成手法を開発し、効果を検証した。
燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化 (2017～2018年度) 「多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発」	PCV壁面へセルアダプタを“一筆書き”で溶接する作業において、干渉物を回避しながら溶接線に追従する軌道を生成し、モックアップ溶接試験で有効性を確認した。
燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発(2019～2020年度) 「視界不良かつ狭隘環境での遠隔操作支援手法の開発」	双腕マニピュレータによる干渉物撤去作業を目的とし、障害物を回避しながらゴールへ到達する軌道を計算機で自動生成し、オペレータのジョイスティック操作で再生速度を設定する技術(軌道計画)を開発し、従来の操作手法(手動操作、ティーチング)と比較検証して有効性を確認した。 → 日本ロボット学会欧文誌 Advanced Roboticsに掲載済み (題目:A comparative study of manipulator teleoperation methods for debris retrieval phase in nuclear power plant decommissioning)
本事業(2021～2022年度) 「取り出し用遠隔先端ツール」	双腕マニピュレータで「把持」、「切断」等の位置決めを行う場合や、3Dモデルと現物とのズレがある場合に、その場でズレを補正し、障害物を回避する軌道を再生成することによって、短時間で安全に燃料デブリ取り出し作業を実施できる技術を開発する。



セルフモーション(2013～2014年度)



溶接軌道の動作計画(2017～2018年度)



双腕マニピュレータの軌道計画(2019～2020年度)

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

✓ 目的

- 現状の遠隔装置(アクセス装置)に適した仕様の先端ツールで加工試験を実施して加工時間等のスループット評価用データを取得し、スループット評価用データの精緻化を図る。

✓ 目標

- 現状の遠隔装置(アクセス装置)に適した仕様の先端ツールで加工試験を実施し、加工可否の確認、加工時間の計測、課題抽出を実施する。
- 現状想定しているアクセス装置の押付力(電動アーム150kg、液圧アーム2ton)だけではなく、小型のアクセス装置を想定した低い押付力の加工試験も実施し、加工性の確認、スループット評価用データを取得する。
- スループットで多くの時間を占める塊状燃料デブリ(ペDESTAL底に溜まった燃料デブリ)の加工時間短縮を目指し、現状のコアボーリング径 ϕ 66mmの径をアップした試験も実施する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(1)スループット改善策の検討

- 2021年度東電殿委託「1F-3燃料デブリ取り出し工法の概念検討委託(その3)」で実施したスループット算出の分析を実施
(本スループットは、2017-2018年度補助事業で算出したスループットを東電殿委託で見直したもの)。
 - ペDESTAL外干渉物撤去 : 2,018Hr (84日)
 - CRDレール撤去 : 63Hr (3日)
 - CRD交換機撤去 : 1,543Hr (65日)
 - CRDハウジング撤去 : 4,717Hr (197日)
 - 粒状燃料デブリ回収 : 2,506Hr (105日)
 - 小石状燃料デブリ回収 : 3,560Hr (149日)
 - 塊状燃料デブリ回収 : 30,282Hr(1,262日)・・・この内、加工時間が17,394Hr(725日)
- 本開発では、上記スループットで多くの時間を占める塊状燃料デブリ(ペDESTAL底に溜まった燃料デブリ)の加工時間短縮を目指した検討、加工試験を実施する。
 - 加工速度向上を見込める新たな加工方法の技術調査。
 - 現状のコアボーリング回転速度150rpmの速度アップ
(ロボットアームのペイロードが現状のコアボーリングの押付力を元に行っている為、押付力は現状通り)。
 - 現状のコアボーリング径φ66mmの径アップ(過去の試験同等のφ65mm、加工回数低減によるスループット向上を目指したφ130mmで試験実施)。

(例)ペDESTAL外干渉物撤去のスループット

単位:時間

装置搬入出	ツール位置決め	加工	切断片を 残置	切断片を 容器に回収	セル内で 刃物交換	回収容器 搬出	合計
2	669	54.5	335	66.8	836.3	53.9	2,017.5(84日)

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(2)先端ツールの技術調査

- これまで、回収対象の材質・形状に適した多くの加工方法を調査、適用性を検討。
- 燃料デブリの性状として、SUS304とセラミックが混ざったものを想定。
- 現状の燃料デブリ取り出し期間の中で多くの時間を占めるペDESTAL底に溜まった燃料デブリに対して、改めて加工方法を検討。適用性のある加工方法として、チゼル、コアボーリングを抽出。

ペDESTAL底に溜まった燃料デブリの加工方法

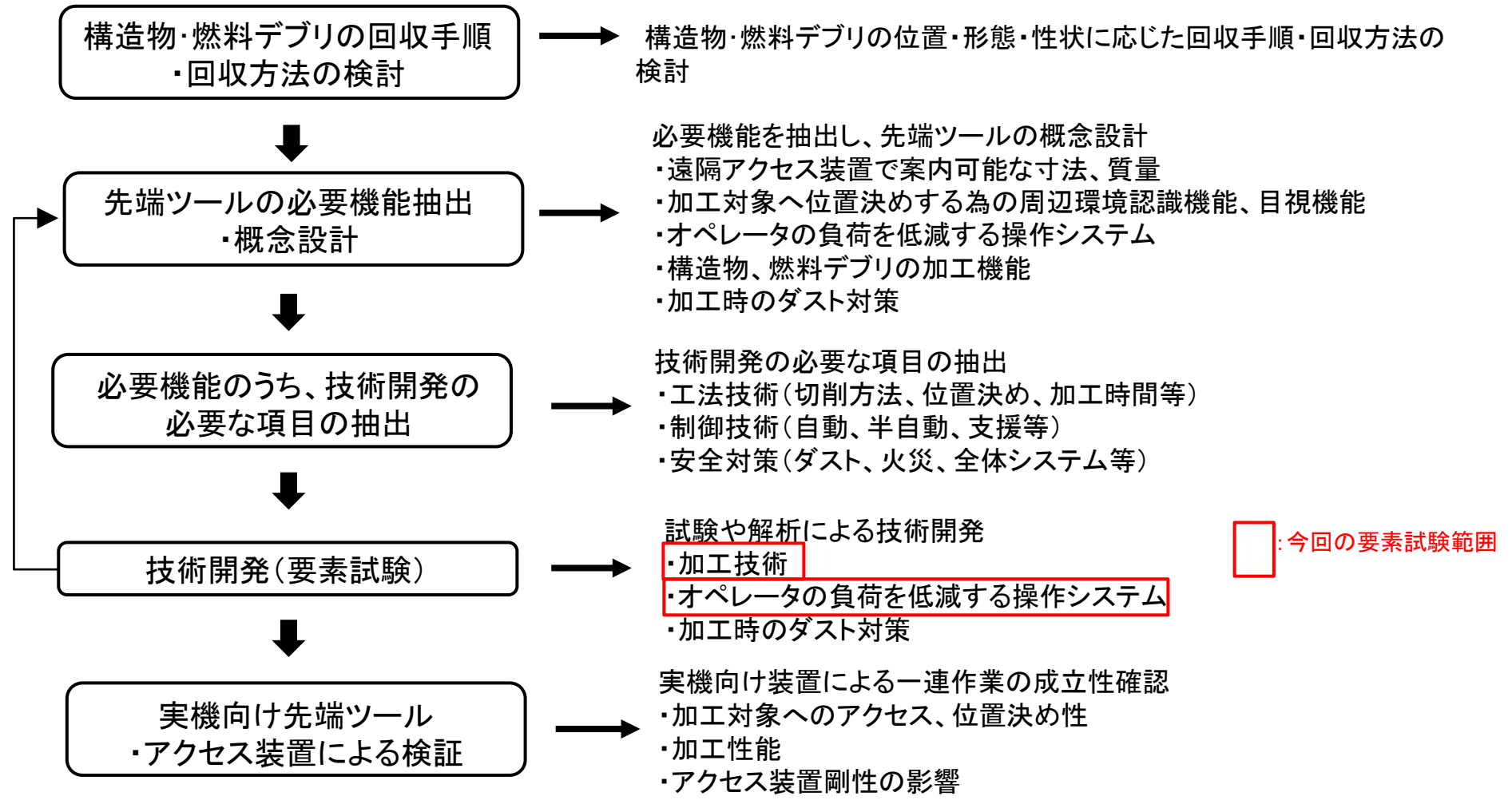
加工方法	適用性	評価
(1) 刃物による加工で全て切粉にする。	<ul style="list-style-type: none"> 加工は可能。 時間がかかる。 	△:加工に時間を要する
(2) チゼルで全て小石状にする。	<ul style="list-style-type: none"> 加工可否は相手の性状に依存。 加工可能な脆さであれば加工速度は速い。 	○:加工速度が速い
(3) コアボーリング	<ul style="list-style-type: none"> 加工は可能。 コアを水平に切り取る方法が必要。 	○:硬い層の加工方法候補(1), (3)~(6)の中で最も加工性に優れる
(4) ディスクカッタで交差するように切れ目を入れて切り取る。	<ul style="list-style-type: none"> 加工は可能。 2層目、3層目と加工が進むと、表面形状が複雑になり、加工が困難となる。 	△:2層目以降の加工が困難
(5) AWJ(アブレイシブウォータージェット)	<ul style="list-style-type: none"> 材質的には加工は可能。 貫通しない形状での加工性、大量の研磨材の処置が課題。 	△:貫通しない形状での加工が困難
(6) レーザ	<ul style="list-style-type: none"> 材質的には加工は可能。 貫通しない形状での加工性、ドロスの処置が課題。 	△:貫通しない形状での加工が困難
(7) プラズマ	<ul style="list-style-type: none"> 導電性のないセラミックは加工不可。 	×:加工不可
(8) ガス	<ul style="list-style-type: none"> 酸化反応を利用する為、SUS304、セラミックは加工不可。 	×:加工不可

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(3) PCV内構造物・燃料デブリ取り出し方法の概念検討

【先端ツール開発手順】



6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(3) PCV内構造物・燃料デブリ取り出し方法の概念検討

【構造物・燃料デブリの回収手順の検討】

- 現状案の概要

テレスコ式双腕電動アームによる干渉物撤去
(ペDESTAL外)



テレスコ式双腕電動アームによる干渉物撤去
(ペDESTAL内)



固定式レールに変更



双腕電動アームによる干渉物撤去



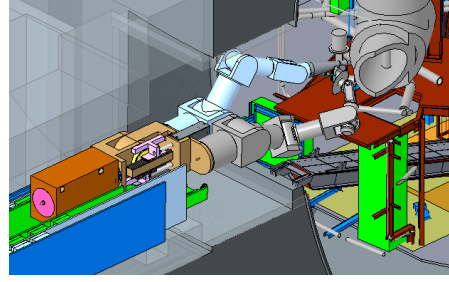
双腕電動アームによる粒状燃料デブリ吸引



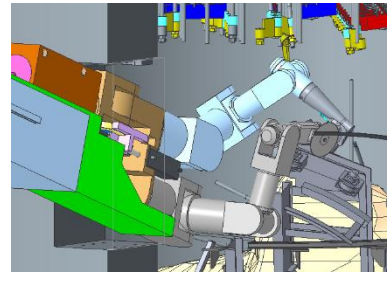
双腕電動アームによる塊状燃料デブリ加工



単腕液圧アームによる塊状燃料デブリ加工

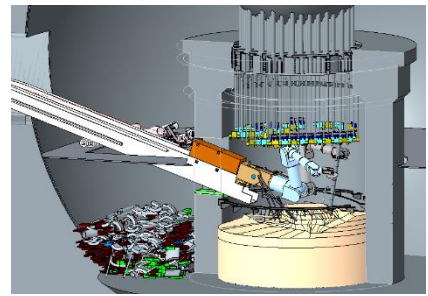


(ペDESTAL外)

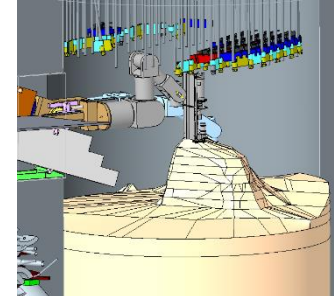


(ペDESTAL内)

テレスコ式双腕電動アームによる干渉物撤去



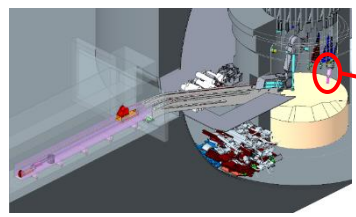
双腕電動アームによる干渉物撤去



双腕電動アームによる粒状燃料デブリ吸引

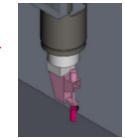


双腕電動アームによる塊状燃料デブリ加工

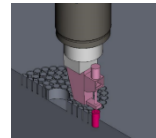


単腕液圧アームによる塊状燃料デブリ加工

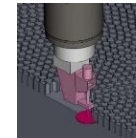
現状のコアボーリング寸法：φ66mm×H100mm(342cm³)
1回の加工制限量：16cm立方(4096cm³)



中央部穴加工



コアボーリング



コア切断

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(3) PCV内構造物・燃料デブリ取り出し方法の概念検討

【各回収対象に応じた加工方法】

- 各回収対象の場所、材質に応じた加工方法を検討し、以下の加工方法を選定。

回収対象に応じた加工方法

回収対象	加工方法	選定理由
干渉物(構造物)	ディスクカッタ	<ul style="list-style-type: none"> 干渉物は落下させないよう掴んで切断する必要がある為、双腕電動アームの片方で切断物を把持、もう片方で切断を想定。 干渉物の切断方法は、加工要素試験を実施した中から、様々な形状に対応可能なディスクカッタを選定。
粒状燃料デブリ	吸引	<ul style="list-style-type: none"> 粒状燃料デブリは加工は不要、小さいものは把持が困難であること、回収速度の観点から吸引を選定。
塊状燃料デブリ (脆い部分)	チゼル	<ul style="list-style-type: none"> ペDESTAL底に溜まった燃料デブリのうち、脆い部分については、加工要素試験を実施した中から、加工速度の早いチゼルを選定。双腕電動アームの片方でチゼルによる加工、もう片方で回収を想定。
塊状燃料デブリ (硬い部分)	コアボーリング (コア切断含む)	<ul style="list-style-type: none"> ペDESTAL底に溜まった燃料デブリのうち、チゼルで加工できない硬い部分については、前述の加工方法検討の結果から、コアボーリングを選定。硬く、大きな力が必要と思われることから、単腕の液圧アームによる加工を想定。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

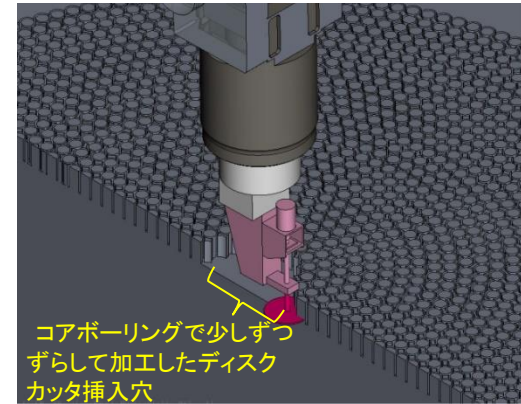
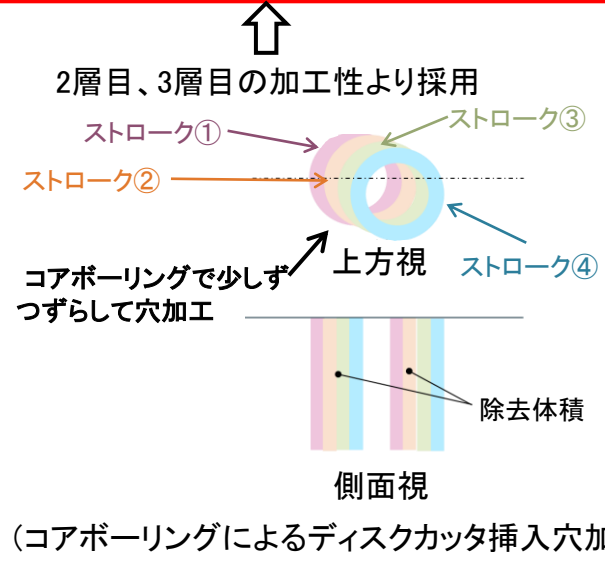
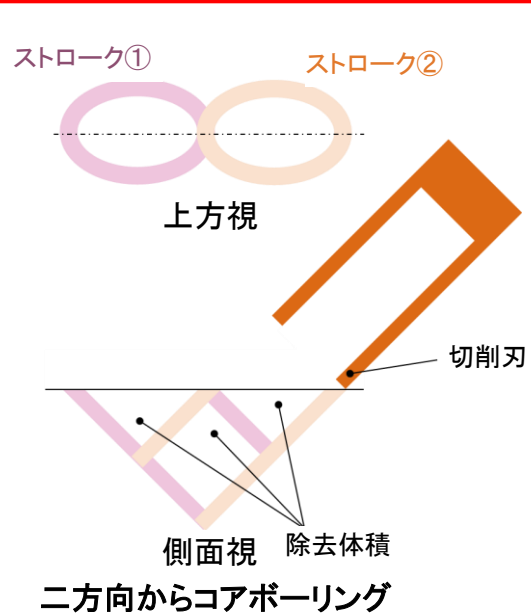
(3)PCV内構造物・燃料デブリ取り出し方法の概念検討

【構造物・燃料デブリの加工方法の検討】

- コアボーリング時のコア回収方法検討

○:メリット ×:デメリット

コア回収方法	特徴
二方向からコアボーリング	○:コアの切断が不要(ツールが1種類で済む)。 ×:コアがツール内に残り、回収が困難。 ×:2層目、3層目と加工が進むと、表面形状が複雑になり、加工が困難となる。
中央部にコアボーリングでディスクカッタ 挿入穴を加工、その後、ディスクカッタでコアを切断	○:2層目、3層目の加工性が良い。 ○:コアの回収が容易。 ×:コアボーリング以外に、コア切断、コア回収のツールが必要。



(コアボーリングによるディスクカッタ挿入穴加工) (ディスクカッタによるコア切断)

中央部にディスクカッタ挿入穴加工 ⇒ コア切断

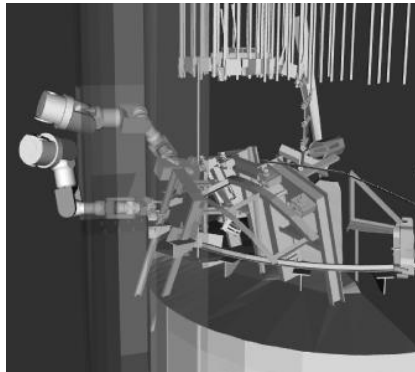
6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

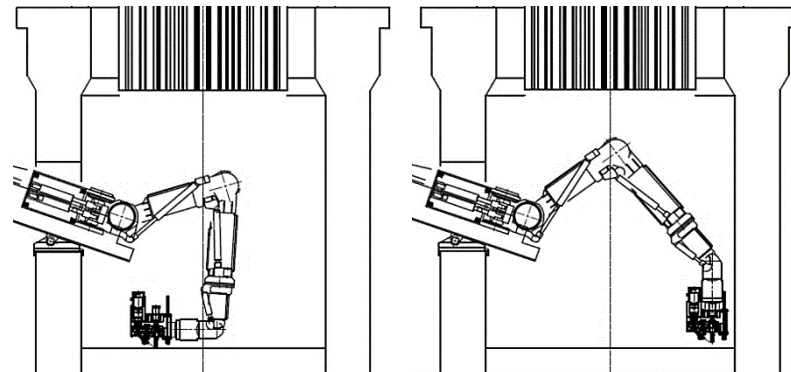
(4)要素試験計画

【目的】

- 先端ツールとしての加工能力の確認。
- 現状の遠隔装置(アクセス装置)に適した仕様の先端ツールを準備して加工試験を行い、加工可否の確認、加工時間の計測、課題抽出を実施する。
 - 双腕電動アーム
 - ✓ ペイロード : 150[kg]
 - ✓ 先端ツール寸法 : W600×D500×H550[mm]
 - 単腕液圧アーム
 - ✓ ペイロード : 下向き:2[ton]、上向き1 [ton]
 - ✓ 先端ツール寸法 : W650×D900×H750[mm]



双腕電動アーム



単腕液圧アーム

先端ツールのアクセス性検討

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験対象の選定】

- ・ 構造物・燃料デブリの加工方法の検討結果、これまでの要素試験の実施状況から、今回要素試験を実施する対象を選定。

今回、要素試験を行う先端ツール

回収対象	加工方法	アーム	これまでの要素試験状況		今回の要素試験実施	
			工作機械*1	ツール*2	ツール*2	アーム組合せ
構造物 (干渉物)	ディスクカッタ	双腕電動 アーム	○	-	○	-*3 (アームでの実績有)
粒状燃料デブリ	吸引	双腕電動 アーム	-	○	-	-
塊状燃料デブリ (脆い部分)	チゼル	双腕電動 アーム	-	○	-	-
塊状燃料デブリ (硬い部分)	コアボーリング (コア切断含む)	単腕液圧 アーム	○	-	○	○*4 (液圧アームとの組合)

*1：検討中のアクセス装置のペイロード等の仕様を考慮しない工作機械による加工試験。

刃物回転トルクや剛性の劣る遠隔アクセス装置に取り付けた先端ツールでの加工作業では加工時間が延びる可能性がある。

*2：検討中のアクセス装置の仕様を考慮した先端ツールによる加工試験。

*3：ペイロードの適したアームがない為試験は実施しない。過去に配管を切断した実績あり。

*4：検討中のアクセス装置の仕様を考慮した先端ツール、試作した液圧アームとの組合試験。

アームの剛性、耐振動の影響を確認。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【実機用先端ツールの概念設計】

- 各作業ステップにおける要求事項から、先端ツールの必要機能を抽出し、概念設計を実施。
- 要素試験では、加工ツールへの要求機能のうち、加工性に関する項目を確認。

先端ツールへの要求機能と確認項目(1/2)

赤字：加工ツールへの要求機能

No.	作業ステップ	要求事項	必要機能	要素試験における確認項目
1	事前準備			
1-1	シミュレータで作業性確認	・現場での一連作業をシミュレータ上で確認できること	・作業環境とロボットを3Dモデルとして表示 ・ロボットの3Dモデルは、実機同様に操作可能	—
2	現場作業			
2-1	セル→加工箇所へ移動	・遠隔操作で障害物を回避しながら所定の位置まで移動できること ・ロボットアームで案内できる寸法、質量であること ・ロボットアームでの案内時、周辺環境を目視確認、3Dスキャンできること	・ロボットアームで案内できる寸法、質量以下 ・目視機能 ・3Dスキャン機能 ・操作システム(オペレータのアシスト機能)	— (先端ツールはロボットアームで案内可能な寸法、質量以下で設計)
2-2	環境確認	・遠隔で作業環境の状況を確認できること	・目視機能 ・3Dスキャン機能	—
ディスクカッタ				
2-3	撤去対象の把持	・遠隔操作で先端ツールを位置決めし、撤去対象を把持できること	・把持機能 ・把持対象への食い機能 ・目視機能	—
2-4	撤去対象の加工	・遠隔操作で先端ツールを位置決めし、撤去対象を加工できること ・刃物を冷却できること ・切粉の飛散低減が可能なこと	・加工機能 ・加工状況確認機能(モータ回転数等) ・目視機能(周辺環境・加工状況の確認) ・刃物冷却機能 ・ダスト低減機能 ・カッタ噛み込み対策 ・操作支援(オペレータのアシスト機能)	・加工可否(刃物冷却含む) ・加工条件(回転数、トルク、押付力)と加工時間 ・刃物寿命 ・加工反力(必要押付力)

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【実機用先端ツールの概念設計】

先端ツールへの要求機能と確認項目(2/2)

赤字：加工ツールへの要求機能

No.	作業ステップ	要求事項	必要機能	要素試験における確認項目
吸引				
2-5	粒状燃料デブリの吸引	・遠隔操作で先端ツールを位置決めし、 粒状燃料デブリを吸引できること	<ul style="list-style-type: none"> ・吸引機能 ・吸引状況確認機能(ポンプ運転状況等) ・目視機能(周辺環境・吸引状況の確認) ・操作システム(オペレータのアシスト機能) 	—
チゼル				
2-6	撤去対象の加工	・遠隔操作で先端ツールを位置決めし、 撤去対象を加工できること ・ダストの飛散低減が可能なこと	<ul style="list-style-type: none"> ・加工機能 ・目視機能(周辺環境・加工状況の確認) ・ダスト低減機能(水供給等) ・操作システム(オペレータのアシスト機能) 	—
コアボーリング(コア切断含む)				
2-7	撤去対象の加工	・遠隔操作で先端ツールを位置決めし、 撤去対象を加工できること ・刃物を冷却できること ・切粉の飛散低減が可能なこと	<ul style="list-style-type: none"> ・加工機能 ・加工状況確認機能(モータ回転数等) ・目視機能(周辺環境・加工状況の確認) ・刃物冷却機能 ・ダスト低減機能 ・操作システム(オペレータのアシスト機能) 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工可否(刃物冷却含む) ・加工条件(回転数、トルク、押付力)と加工時間 ・刃物寿命 ・加工反力(必要押付力) ・アームとの組合作業(コア切断はツール単体)
2-8	撤去対象を残置 ／容器へ収納	・遠隔操作で撤去対象を所定の位置まで移動できること ・2-1同様	・2-1同様	—

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【要素試験の模擬体】

- これまでの要素試験で使用した模擬体から変更することなく、燃料デブリの由来となっている物質の性状、入手性から下記を選定。
 - 干渉物 : SUS304、SUS304+アルミナ99
 - 燃料デブリ: SUS304+アルミナ99
 - ・SUS304は、炉内構造物の材質を模擬。
 - ・アルミナ99は燃料成分に近いと考えられるセラミックの中で、入手性も良く、硬度の高い材質として選定。
 - ・SUS304+アルミナ99は、各材料を同条件で加工する為、刃物が両方の材料に当たるよう形状を工夫。
- [参考] セラミックのビッカース硬さ アルミナ99:15.2GPa、ジルコニア:12.3GPa
- 一部の試験については、下記模擬体の試験も実施。
 - 干渉物 : SS400+アルミナ99
 - 燃料デブリ: SS400+アルミナ99、御影石
 - ・SS400は、ペDESTAL内構造物の材質を模擬。
 - ・SUS304をSS400に置き換え、SUS304とSS400の加工性を比較。
 - ・御影石は、金属(SUS304、SS400)とアルミナ99の中間の硬さとして選定。
 - ・御影石で、靱性の低い、脆い材料の加工性を確認。

注) 以下、SUS304はSUS、SS400はSS、アルミナ99はアルミナという。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【刃物仕様】

- セラミック(アルミナ)を加工する必要があるが、一般的にセラミックは硬く、切削加工(鋭い刃を材料に食い込ませる加工)は不可能である為、砥粒により加工する。
- セラミックより硬い砥粒としては、ダイヤモンド、CBN(Cubic Boron Nitride: 立方晶窒化ホウ素)が存在し、以下の特徴を有する。
 - ダイヤモンド：高温下でダイヤモンドの炭素が鋼材と反応し易く、鋼材の加工には不適。
 - CBN：ダイヤモンドに比べ熱に強く、鋼材と反応し難い為、鋼材の加工に広く使用される。
- 今回は、セラミックと鋼材を加工する必要がある為、ダイヤモンドとCBNの混合砥粒を採用する。

砥粒のセラミック・鋼材(金属)への適用性

	セラミック	鋼材(金属)
ダイヤモンド	○	△
CBN	×	○

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

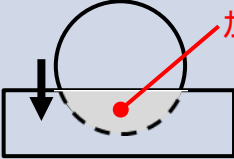
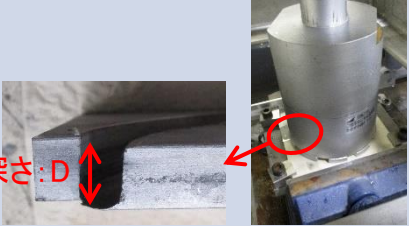
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【取得データ】

- 先端ツール(ディスクカッタ、コアボーリング、コア切断)ごとに加工試験(次頁以降参照)を行い、以下のデータを取得する。

取得データ(1/2)

項目	内容
実機適用性・課題と対応策	試験結果を受けて、実機適用に向けた課題抽出、対応策検討を実施する。
加工性	加工可否、ビビリ有無等の加工状況を確認する。
加工時間	<p>加工量と加工時間から加工速度を算出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ディスクカッタ : 加工面積(S)と加工時間(t)から、**[mm²/min]を算出。 加工速度 = S/t  <ul style="list-style-type: none"> コアボーリング : 加工深さ(D)と加工時間(t)から、**[mm/min]を算出。 加工速度 = D/t 


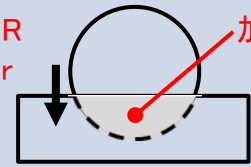

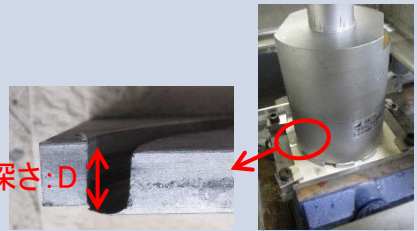
6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【取得データ】

取得データ(2/2)

項目	内容
刃物寿命	<p>加工前の砥粒部高さ、加工量、摩耗量から、1枚(1本)の刃物での加工可能量を算出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ディスクカッタ : 加工前の砥粒部高さ(R)、加工面積(S)、加工後の砥粒部高さ(r)から、加工可能面積(=刃物寿命と定義)**[mm²]を算出。 刃物寿命 = $R \cdot S / (R - r)$   <ul style="list-style-type: none"> ・ コアボーリング : 加工前の砥粒部高さ(H)、加工深さ(D)、加工後の砥粒部高さ(h)から、加工可能深さ(=刃物寿命と定義)**[mm]を算出。 刃物寿命 = $H \cdot D / (H - h)$   <p>刃物回転モータの電流、刃物送りストローク等から、刃物寿命の判断が可能か確認する。</p>
遠隔装置(アクセス装置)への要求仕様	遠隔装置(アクセス装置)へのインプットとする為、加工反力(刃物押付力、刃物回転力)を取得する。
アームとの組合作業性(コアボーリング)	アームとの組合せによる加工可否、ビビリ有無等の加工状況を確認する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

ディスクカッタ(ツール単体のみ)

- 要素試験装置設計の為、実機装置への要求仕様を抽出。
 - 水位を下げながらの気中切断を想定(ただし、冷却水がかかる為装置は防水構造)。
 - 双腕電動アームのペイロードが150kgの為、ケーブル・ホース類の質量を考慮し、質量100kgと設定。
 - 切断する構造物の寸法から、切断可能寸法を150mmと設定。

切断対象としてグレーチング、
梁、CRD交換機を想定

双腕電動アーム用ディスクカッタへの要求仕様

要求機能	仕様等
寸法	W600×D500×H550mm程度 :ツールのアクセス性より決定
質量	最大150kg(目標100kg) :アームのペイロードより決定
加工	ディスクカッタ :切断可能寸法150mm(カッタ径φ400~500mm程度)
	カッタ回転トルク :ツールに設置可能な最大のモータを選定
	カッタ回転数 :ツールに設置可能な最大のモータを選定
刃物冷却	カッタ冷却水供給
ダストの抑制	切粉飛散防止カバー設置
	切削部への加工水供給
加工部の目視	加工状況監視用カメラ・照明設置

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

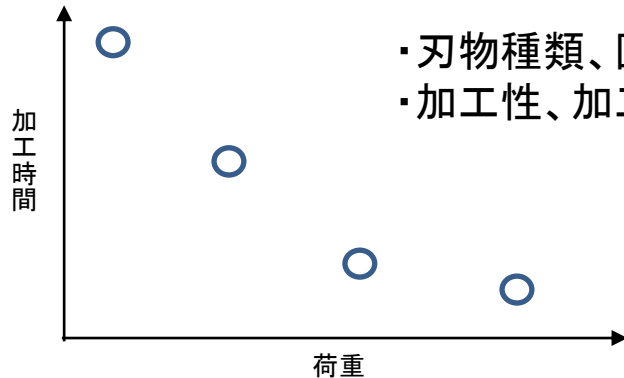
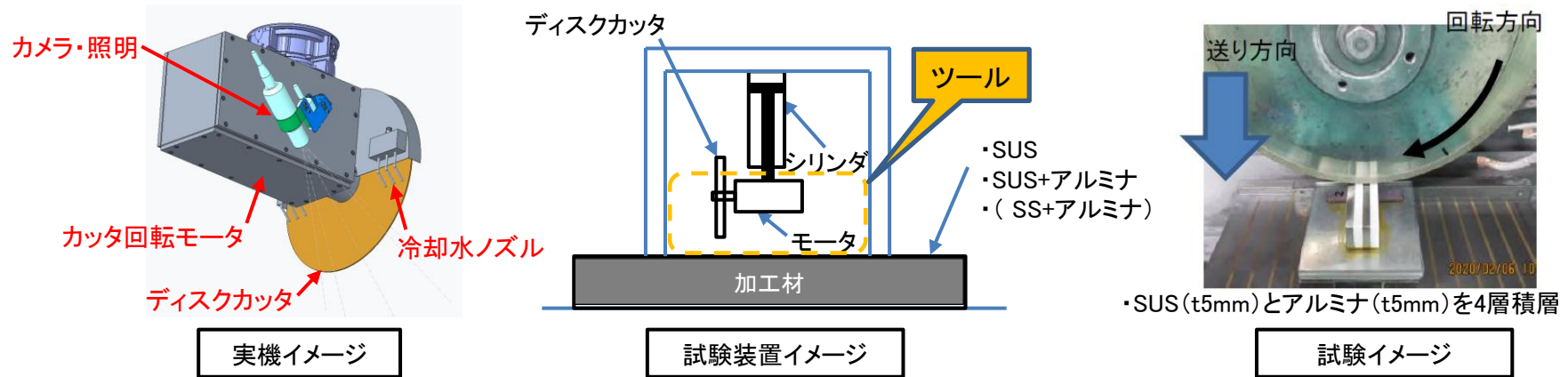
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

ディスクカッタ(ツール単体のみ)

- ・ 実機装置への要求仕様から実機装置の概念計画。
- ・ 実機装置の機能の中から加工に関する機能を確認する為の試験装置、試験項目を検討。



- ・ 刃物種類、回転数、押付力をパラメータに加工試験を実施。
- ・ 加工性、加工時間、負荷トルク、刃物寿命を確認。

切断対象としてグレーチング、
梁、CRD交換機を想定

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

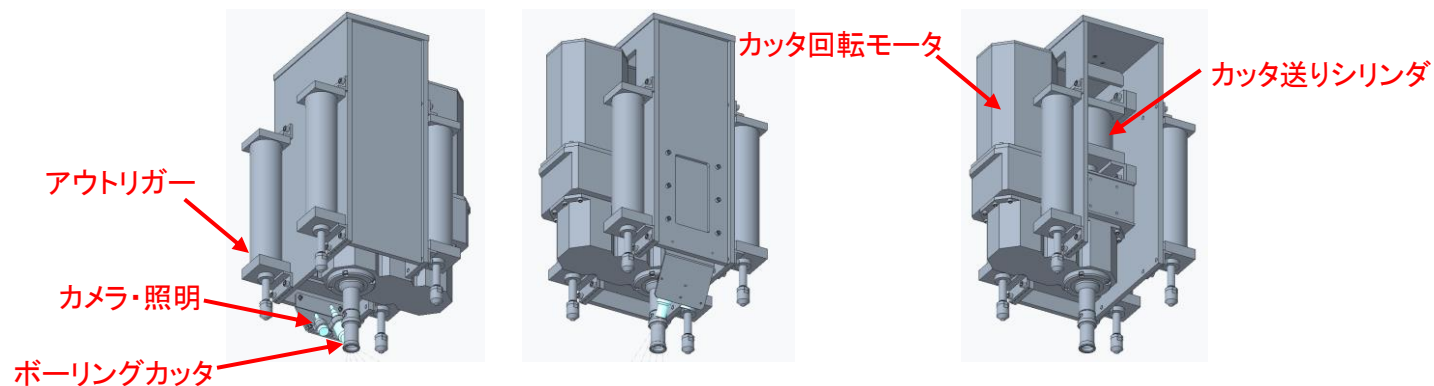
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

コアボーリング(ツール単体+アーム組合せ)

- 要素試験装置設計の為、実機装置への要求仕様(次頁)を抽出。
 - 水位を下げながらの気中切断を想定(ただし、冷却水がかかる為装置は防水構造)。
 - 単腕液圧アームの可搬質量は1tonであるが、目標質量を500kgと設定。
 - カッタをアームで押し付けるとアームが撓むが、加工対象の硬さに依存する加工反力によってたわみが増える。アームのたわみが増えるとカッタを真っ直ぐ送れなくなる為、ツールをアームで押し付け、その反力は4カ所のアウトリガで受け、その状態でツール内のシリンダでカッタを送って加工(押付力:最大2ton)する。
 - 刃物内側に冷却水を供給し、刃物外側から切粉を押し上げる。
- 実機装置への要求仕様から実機装置の概念計画。



実機イメージ

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

コアボーリング(ツール単体+アーム組合せ)

単腕液圧アーム用コアボーリングへの要求仕様

切断対象として塊状燃料
デブリの硬い層を想定

要求機能	仕様等
寸法	W650×D900×H750mm程度 :ツールのアクセス性より決定
質量	最大1,000kg(目標500kg) :アームの可搬質量より決定
加工	コアボーリングカッタ :過去の要素試験で使用したφ66mm同等のφ65mm、および、加工回数低減によるスループット向上を目指したφ130mmも想定。
	カッタ 回転トルク :ツールに設置可能な最大のモータを選定
	カッタ 回転数 :ツールに設置可能な最大のモータを選定
	カッタ 押付 :最大2ton(アームの押付力)
	カッタ 押付反力受 :アウトリガー設置
	切削粉排出 :カッタ 内面に水を供給
刃物冷却	カッタ 冷却水供給
ダスト抑制	カッタ 冷却水による飛散防止
目視	加工状況監視用カメラ・照明設置

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

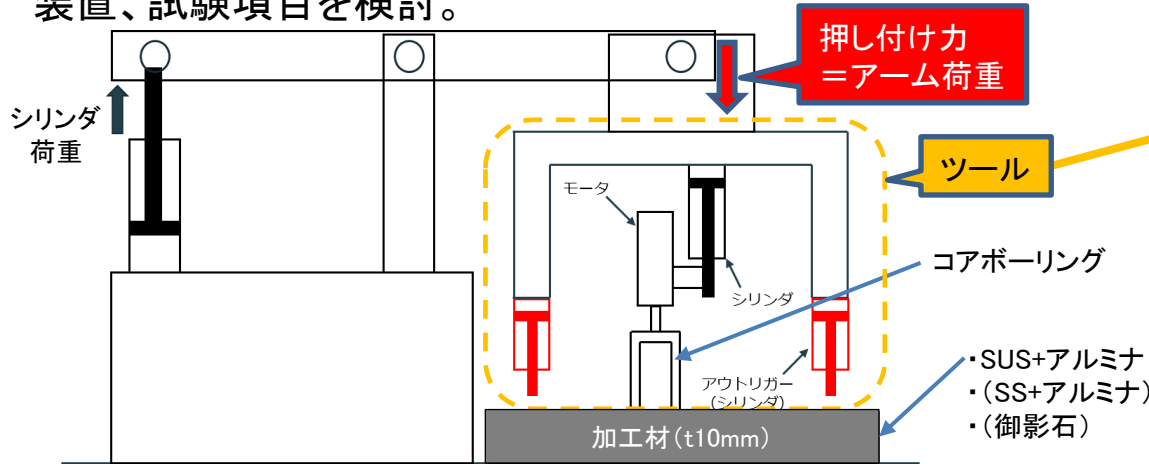
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

コアボーリング(ツール単体+アーム組合せ)

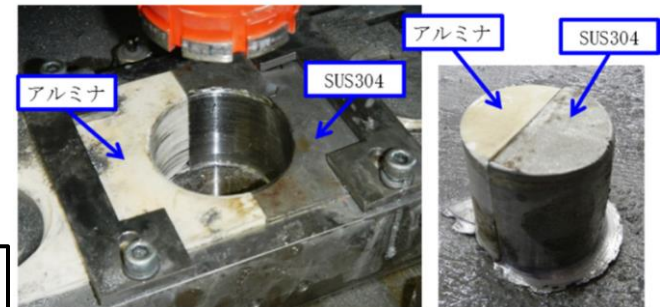
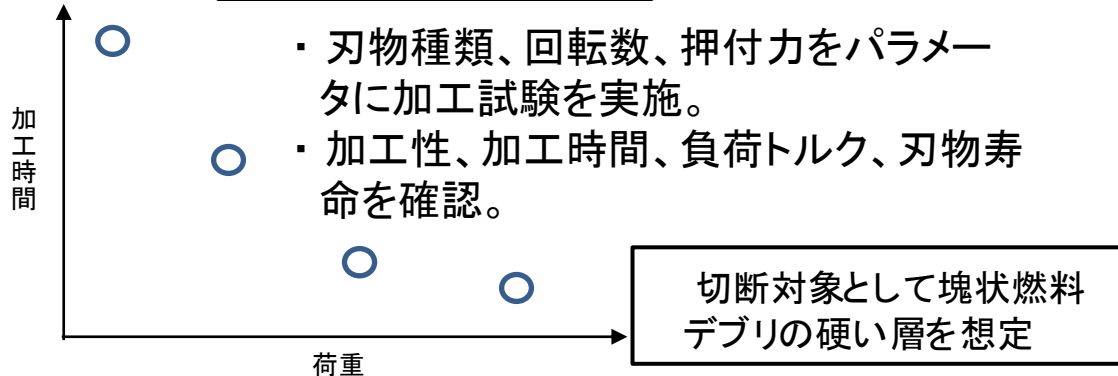
- 実機装置の機能の中から加工に関する機能を確認する為の試験装置、試験項目を検討。



アーム組合せ試験イメージ

- 単体試験で決定した条件で、アームによる加工性を確認 (アームの剛性、耐振動の影響を確認)。

ツール単体試験装置イメージ



試験イメージ

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

【試験項目・試験方法の検討】

コア切断(ツール単体のみ)

- 要素試験装置設計の為、実機装置への要求仕様を抽出。
 - 水位を下げながらの気中切断を想定(ただし、冷却水がかかる為装置は防水構造)。
 - 双腕電動、単腕液圧の両アームで取り扱えるよう、目標質量をディスクカッタ同様100kgと設定。
 - コア切断後の回収を容易とする為、コアを把持した状態で切断。

コア切断ディスクカッタへの要求仕様

要求機能	仕様等
寸法	W650×D500×H750mm程度 :ツールのアクセス性より決定
質量	最大150kg(目標100kg) :アームの可搬質量より決定
加工	ディスクカッタ :コアボーリング径より決定
	カッタ 回転トルク :ツールに設置可能な最大のモータを選定
	カッタ 回転数 :ツールに設置可能な最大のモータを選定
	カッタ 押付 :最大300kg
	カッタ 押付反力受 :コアクランプ設置
刃物冷却	カッタ 冷却水供給
ダスト抑制	カッタ 冷却水による飛散防止
目視	加工状況監視用カメラ・照明設置

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

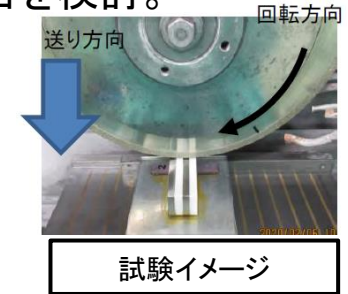
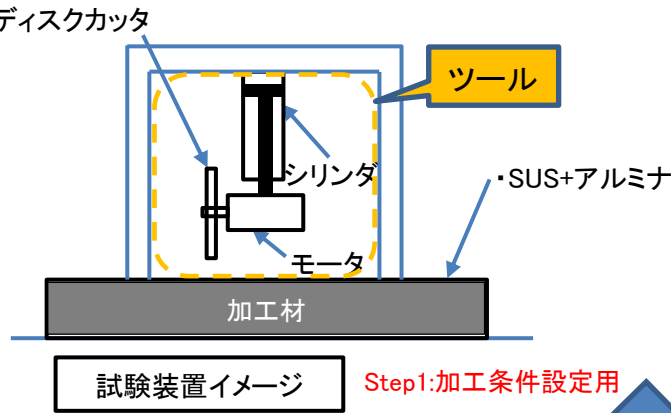
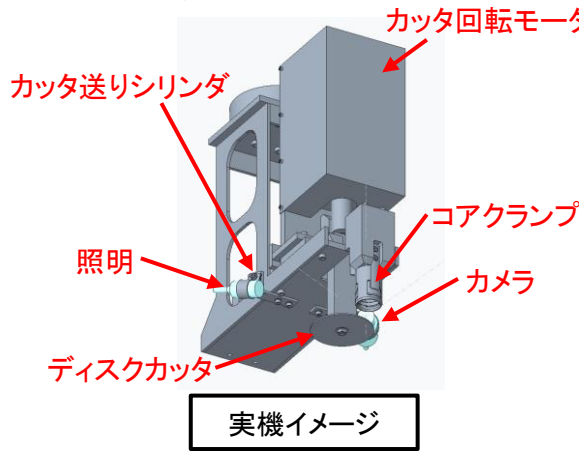
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(4)要素試験計画

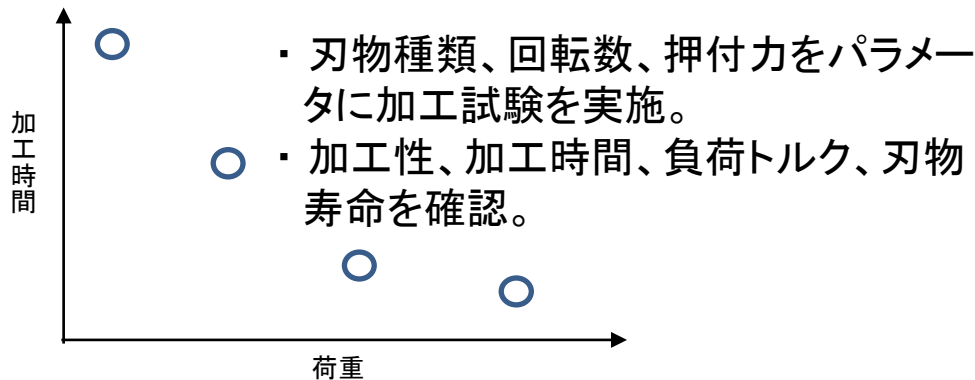
【試験項目・試験方法の検討】

コア切断(ツール単体のみ)

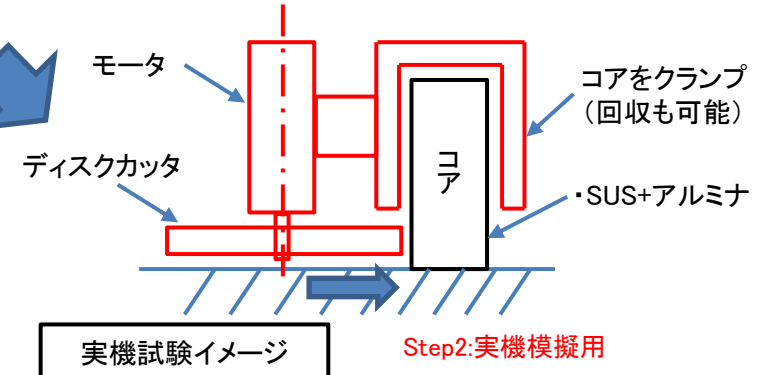
- 実機装置への要求仕様から実機装置の概念計画。
 - クランプ機構でコアを把持し、ツール内のシリンダで刃物を送って加工。
- 実機装置の機能の中から加工に関する機能を確認する為の試験装置、試験項目を検討。



・コア外径の丸棒(アルミナ)の半割れの準備が容易でない為、コア外径の角ブロックで代替。



Step1:加工条件設定用



Step2:実機模擬用

- ・ツールとしての加工可否を確認。(コアをクランプして加工反力に耐え得るか。)
- ・コアクランプの性能確認。

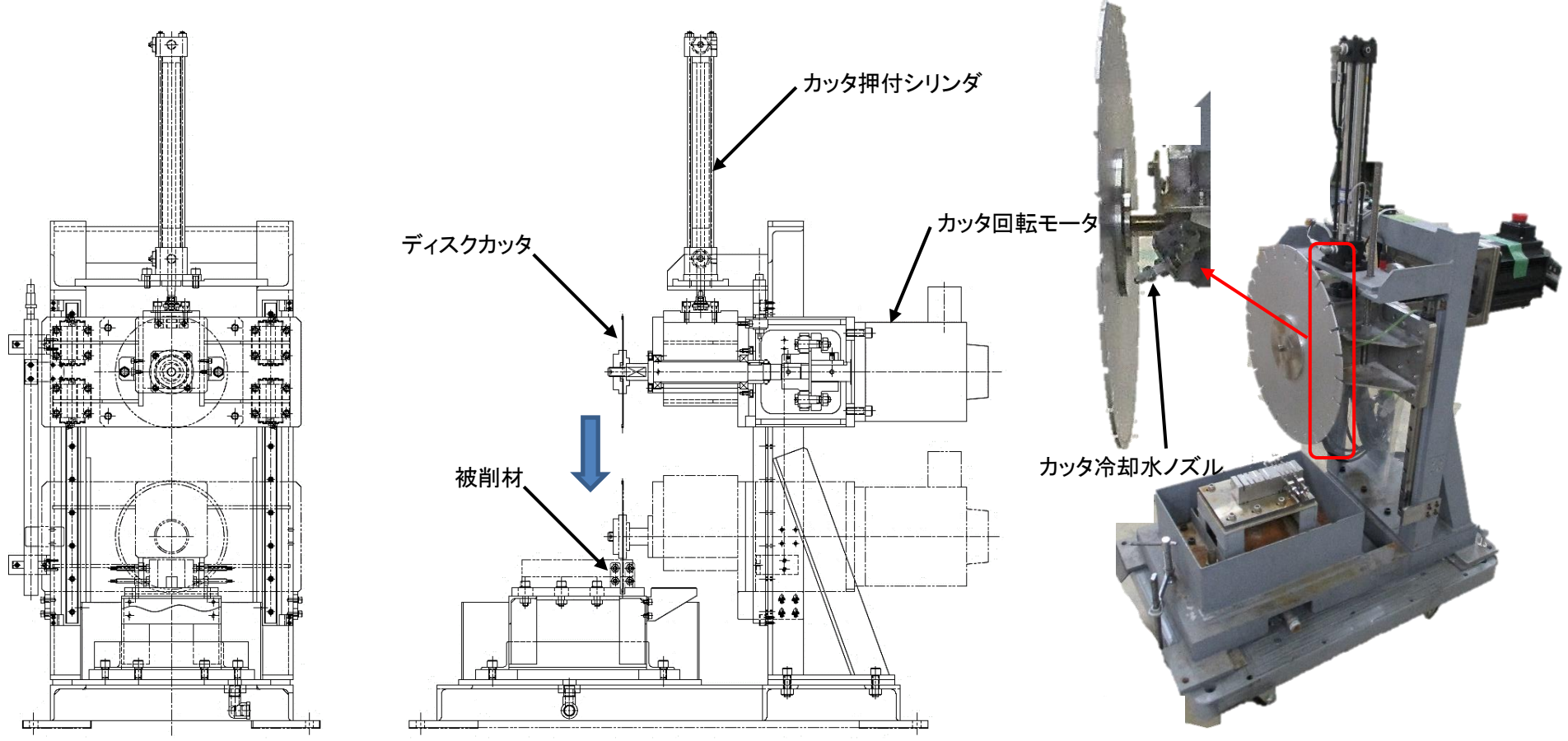
6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】

- 各装置の概念検討結果、試験項目・試験方法の検討結果より、試験装置を設計・製作。



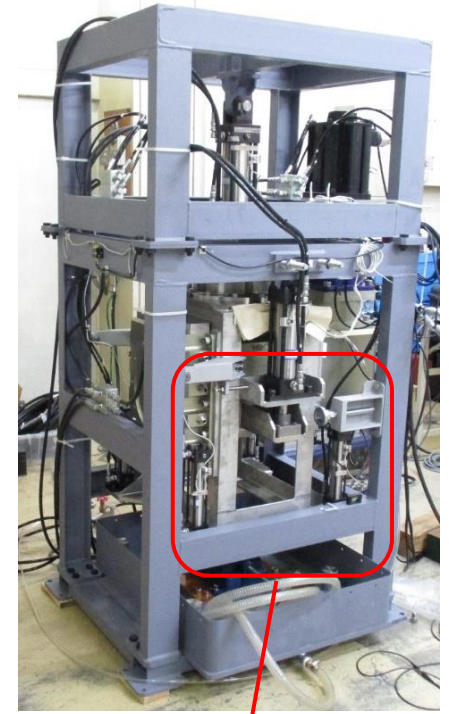
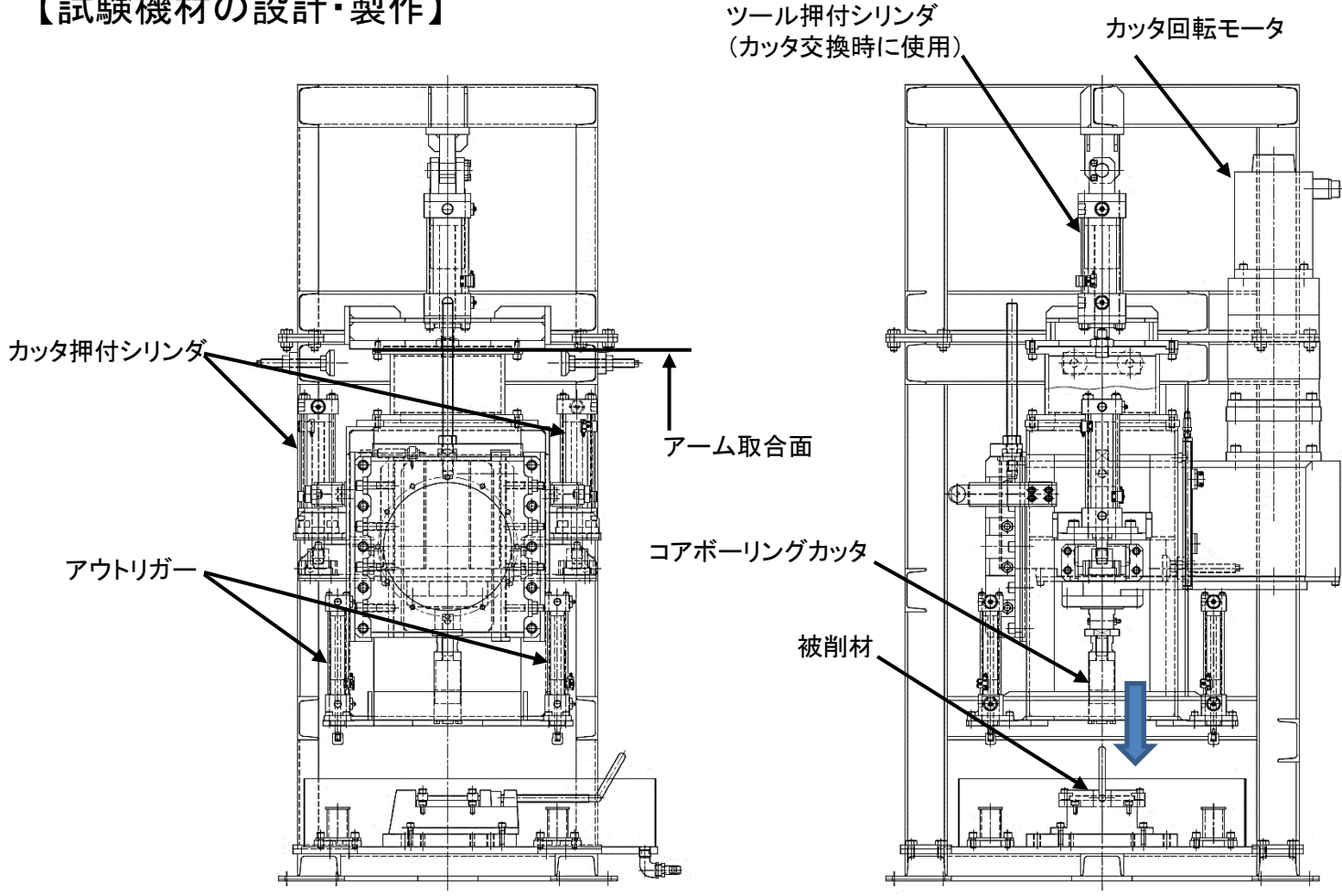
試験装置(ディスクカッタ)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】



試験装置(コアボーリング)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】

コアボーリング 作業ステップ

作業 ステップ	1. アウトリガー接地	2. アウトリガー押付	3. コアボーリング (カッタ押付)	4. コアボーリング (加工)
ステップ 図				
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・アーム位置決め。 ⇒ 位置決め後、アームは固定。アウトリガー押付力、カッタ押付力に耐えるのみ。 ・アウトリガー(4本)を伸ばし、地面に接地。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アウトリガー更に加圧。 ⇒ アウトリガーが更に伸び、伸びた分だけツールが持ち上がり、アームが上向きに撓む。 ・アウトリガーのシリンダのバルブ閉。 ⇒ アウトリガー押付力=アーム押付力となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・カッタを回転させながらツール内のカッタ押付シリンダでカッタ押付(カッタ押付力<アウトリガー押付力)。 ⇒ アウトリガーに負荷される荷重が下がる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・カッタで加工。

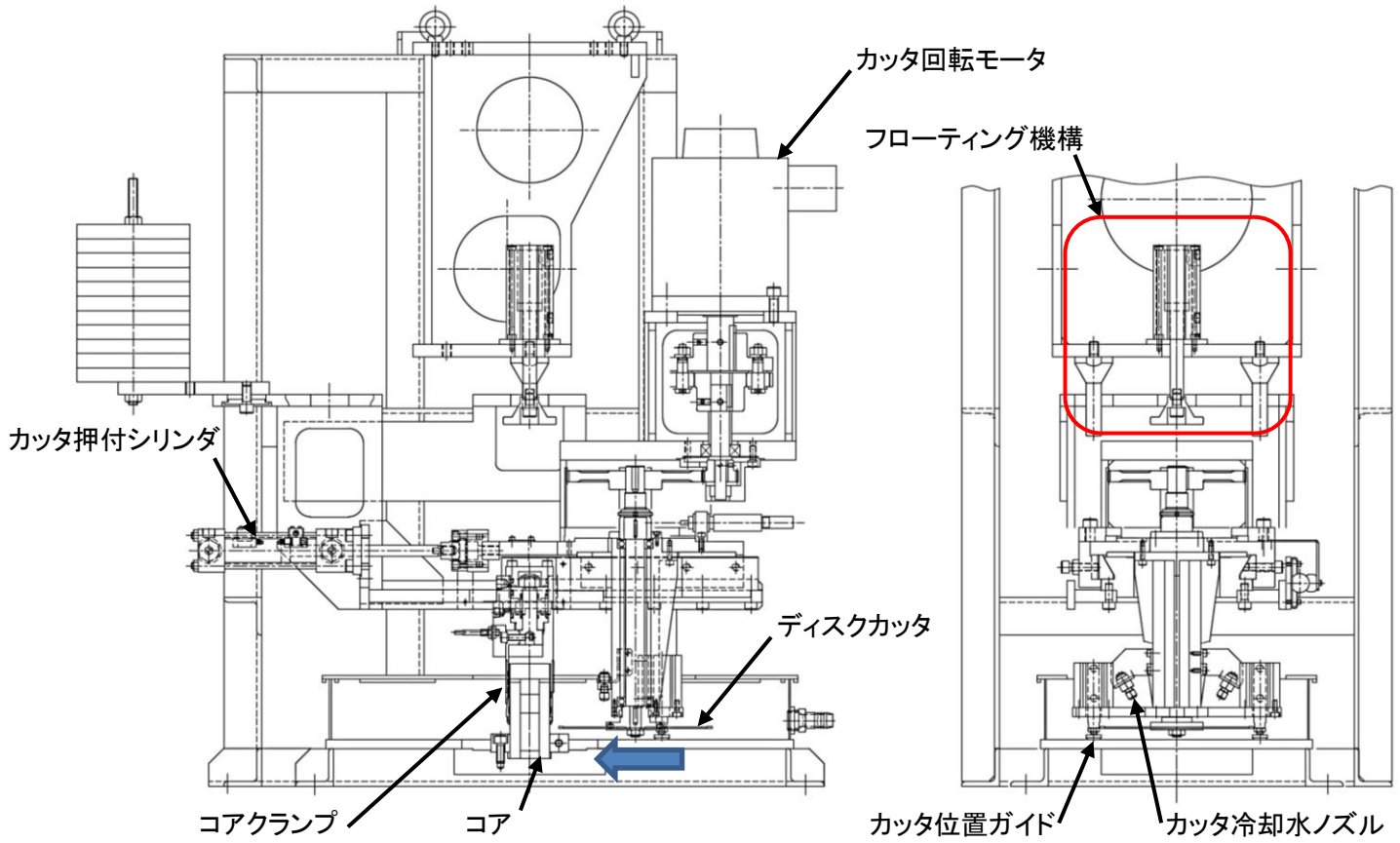
6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】

- コアを三つ爪で径方向にクランプして装置を固定し、ディスクカッタ押付の反力、ディスクカッタ回転による装置を回転させる力は、このコアクランプで受ける。



試験装置(コア切断)

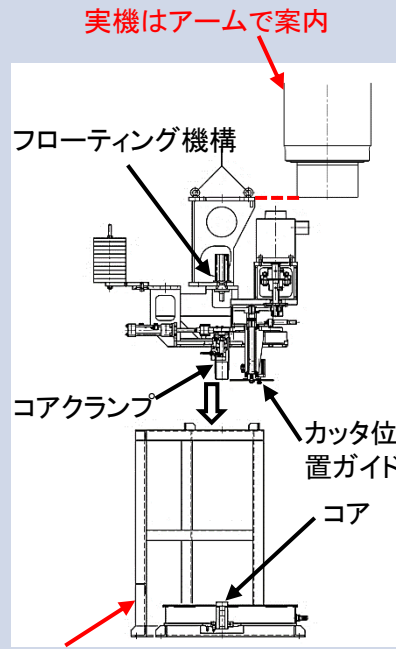
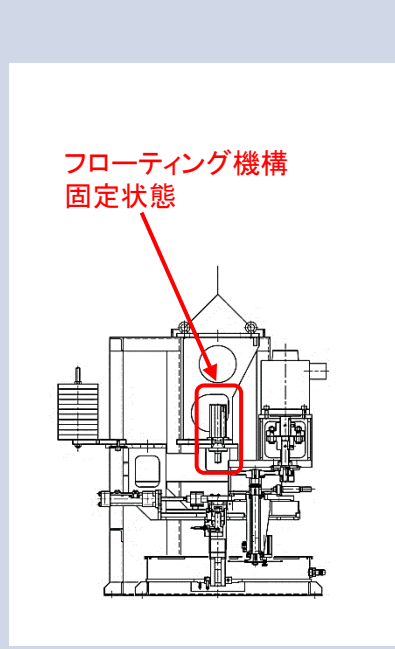
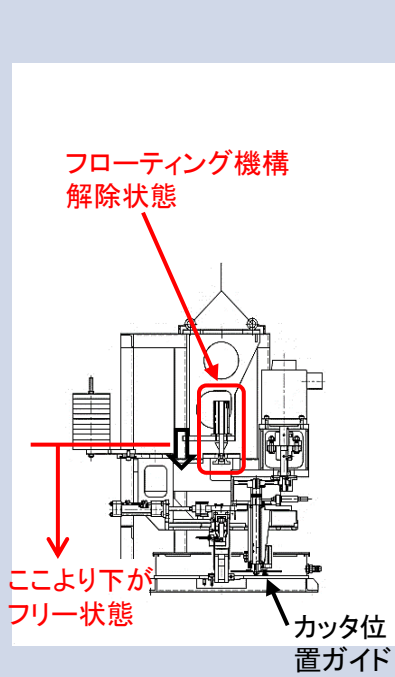
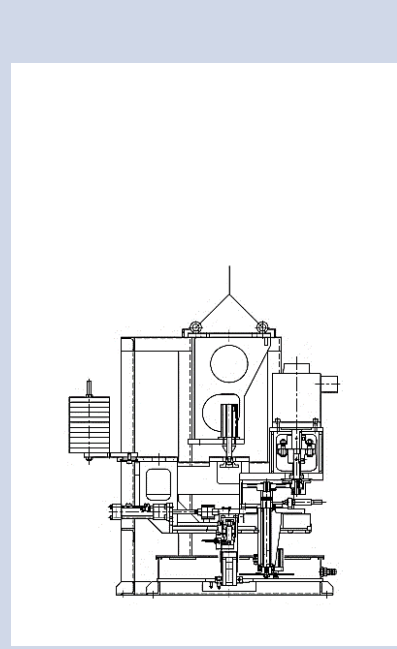
6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】

コア切断 作業ステップ(1/2)

作業 ステップ	1. 装置吊り下ろし	2. コアにクランプ挿入	3. フローティング機構固定解除	4. コアをクランプ
ステップ 図	 <p>実機はアームで案内</p> <p>フローティング機構</p> <p>コアクランプ</p> <p>カッタ位置ガイド</p> <p>コア</p> <p>実機は架台なし</p>	 <p>フローティング機構 固定状態</p>	 <p>フローティング機構 解除状態</p> <p>ここより下が フリー状態</p> <p>カッタ位置 ガイド</p>	
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ フローティング機構固定状態で装置吊り下ろし (実機ではアームで実施)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 架台に設置し、クランプ機構先端をコアに挿入 (実機ではアームで実施)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ フローティング機構の固定を解除。 ・ コアに沿って装置下降。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ コアをクランプ。

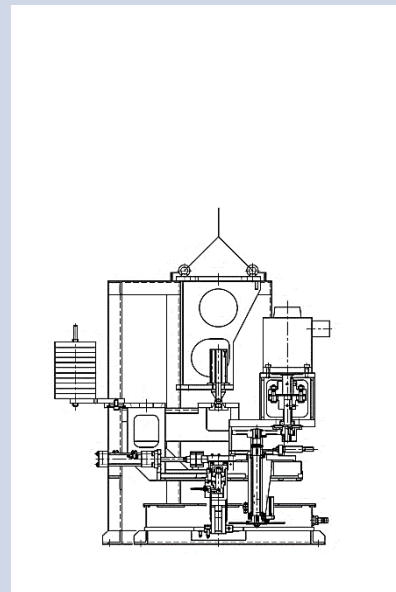
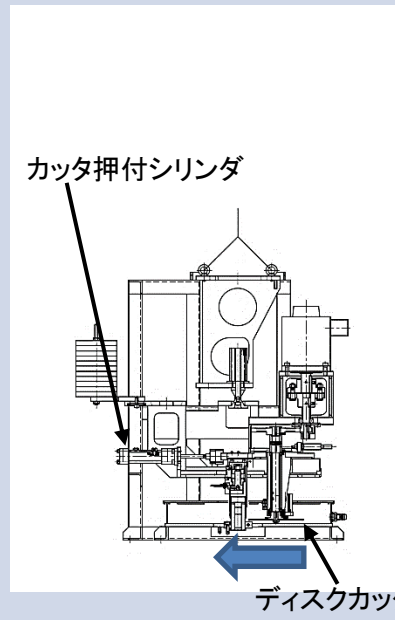
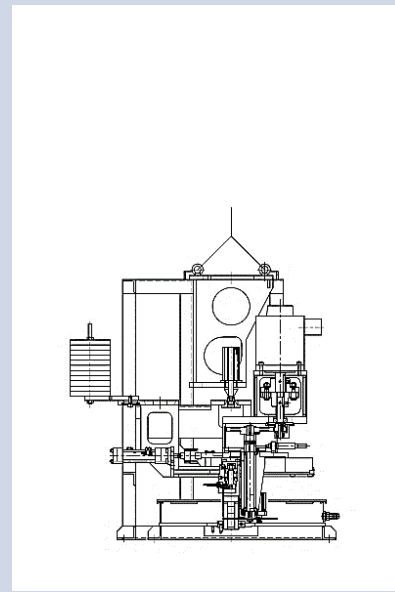
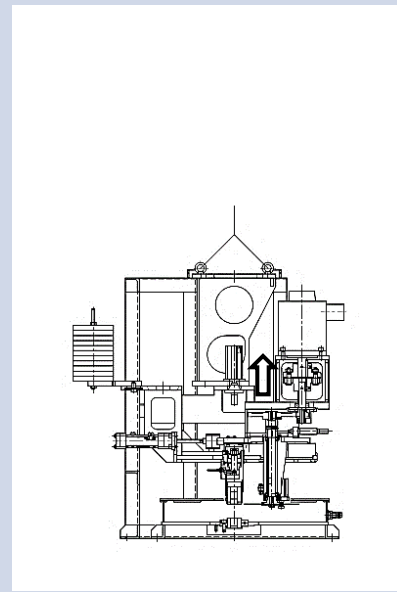
6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(5)要素試験用先端ツール・試験機材の設計・製作

【試験機材の設計・製作】

コア切断 作業ステップ(2/2)

作業 ステップ	5. フローティング機構固定、カッタ位置ガイド収納	6. コア切断	7. コア切断完了	8. コア回収
ステップ 図				
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・フローティング機構を固定方向に動作させる（切断完了後のカッタ挟まれ防止）。⇒ 装置がコアに倣う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・カッタ押付シリンダを収縮させ、コア切断。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コア切断完了後、ディスクカッタを初期位置に移動。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フローティング機構により装置上昇。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【試験機材の仕様・取得データ】

- 燃料デブリや干渉物の加工性を確認する為、コアボーリング、ディスクカッタ(コア切断含む)について、加工速度、刃物摩耗量を確認する加工試験を実施。

試験機材の仕様

	刃物回転	刃物押付	刃物	被削材
ディスクカッタ (干渉物撤去)	<ul style="list-style-type: none"> 電動モータ 出力 : 2.4[kW] 定格トルク : 7.64[N・m] 定格回転数 : 3,000[rpm] 減速比 : 2/3, 1/2, 1/4 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧シリンダ 最大150[kg] 	<ul style="list-style-type: none"> φ 457 × t3.8 	<ul style="list-style-type: none"> SUS SUS+アルミナ (SS+アルミナ)
コアボーリング	<ul style="list-style-type: none"> 電動モータ 出力 : 5[kW] 定格トルク : 31.8[N・m] 定格回転数 : 1,500[rpm] 減速比 : 1/5, 1/8, 1/16 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧シリンダ 最大2[ton] 	<ul style="list-style-type: none"> φ 130 × φ 118 φ 65 × φ 53.4 	<ul style="list-style-type: none"> SUS+アルミナ (SS+アルミナ) (御影石)
ディスクカッタ (コア切断)	<ul style="list-style-type: none"> 電動モータ 出力 : 4.5[kW] 定格トルク : 14.3[N・m] 定格回転数 : 3,000[rpm] 減速比 : 2/3, 1/2, 1/4 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧シリンダ 最大300[kg] 	<ul style="list-style-type: none"> φ 203 × t3 	<ul style="list-style-type: none"> SUS+アルミナ

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【試験機材の仕様・取得データ】

共通

- 試験パラメータ
 - 刃物押付力
 - 刃物回転数
- 計測データ
 - 加工速度
 - 刃物寿命(摩耗量より算出)
 - 負荷トルク(モータ電流より算出)

【試験準備】

共通

- 試験装置の油圧シリンダへの供給圧と刃物押付力の関係を計測する。
⇒押付力は供給圧で管理する。
- 各々の減速比で刃物が回転する(加工できる)最大押付力を計測する。
- 最大押付力から試験する押付力を3～5ケース(例:最大押付力の100%, 75%, 50%, 25%)決定する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【試験内容】

試験内容一覧(1/2)

	試験項目	試験内容	被削材
ディスクカッタ (干渉物撤去)	(1) 加工速度確認試験	刃物押付力・回転数をパラメータに、加工速度・刃物寿命・負荷トルクを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ ・ SS+アルミナ(一部の条件)
	(2) 被削材サイズアップ加工試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、刃物接触面積増による加工性を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ
	(3) SUS単体加工試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、SUS単体の加工性を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS
コアボーリング	(1) 加工速度確認試験	刃物押付力・回転数をパラメータに、加工速度・刃物寿命・負荷トルクを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ ・ SS+アルミナ(一部の条件) ・ 御影石(一部の条件)
	(2) 切粉排出性確認試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、厚板の加工性を確認する(加工が深くなると、切粉の排出性が悪く、加工に影響する可能性がある)。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ
	(3) コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、加工溝をラップさせた場合の加工性を確認する(加工溝をラップさせると、先行の加工溝の方に刃物が流れていく可能性がある)。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ
	(4) 30° 傾斜部加工試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、加工部が30° 傾斜している場合の加工性を確認する(傾斜部に沿って刃物が滑って加工に影響する可能性がある)。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS (アルミナの30° 傾斜被削材は厚板が必要となり、入手困難な為、SUSで試験)。
	(5) アーム組合せ試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、上記(1)、(3)、(4)のアームによる加工性を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【試験内容】

試験内容一覧(2/2)

	試験項目	試験内容	被削材
ディスクカッタ (コア切断)	(1) 加工速度確認試験	刃物押付力・回転数をパラメータに、加工速度・刃物寿命・負荷トルクを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ ・ SS+アルミナ(一部の条件)
	(2) ツールによる加工可否確認試験	(1)の試験結果から良好条件を選定し、ツールによってコアをクランプした状態での加工性を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SUS+アルミナ

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

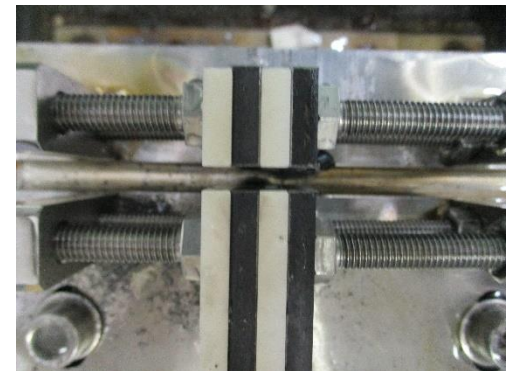
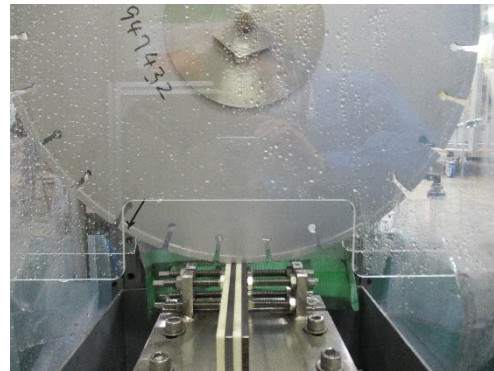
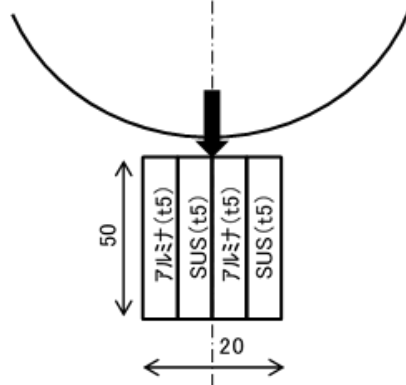
【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

① 加工速度確認試験

- 下図の被削材の加工を行ない、加工速度、刃物寿命(摩耗量より算出)、負荷トルク(モータ電流より算出)を計測。
- 傾向をつかむ為、押付力、回転数を幅広く3~4点振って確認。
- 準備したモータ(2.4kW)、平歯車減速(1/4)ではトルク不足で加工不可。
⇒ 実機では、1/7の減速機が許容寸法内で取付可能である為、コア切断のモータ(4.5kW)、平歯車減速(1/4)の組合せで、2.4kWモータ+1/7減速機のトルクを模擬して試験実施。

φ457×t3.8
砥粒高さ7mm



ディスクカッタ(干渉物撤去)加工速度確認試験

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

① 加工速度確認試験

- ビビリもなく、問題なく加工可能。
⇒ ただし、将来的にはアームによる加工性確認が必要。
- 加工速度、刃物寿命共に、過去の加工試験結果を上回る結果を取得。
- 刃物寿命は、カッタ回転モータの負荷が下がる(電流値が下がる)ことにより判断可能。
- 代表数条件でデータに再現性があることを確認。

加工速度(上段:[mm/min]、下段:[mm²/min])

刃物寿命(上段:[mm]、下段:[mm²])

負荷トルク[N・m]

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
300	14.3 286	23.8 476	※1
425	15.2 303	28.6 571	※1
575	20.8 417	36.2 725	37.6 752
800	27.8 556	45.5 909	※2

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
300	6,360 127,000	7,000 140,000	※1
425	5,830 116,000	6,360 127,000	※1
575	4,660 93,300	6,360 127,000	7,000 140,000
800	3,500 70,000	4,660 93,300	※2

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
300	35.4	58.9	※1
425	28.7	47.5	※1
575	24.5	47.5	56.8
800	26.1	44.4	※2

過去の加工試験結果

- 加工速度: 750[mm²/min]、刃物寿命: 1,500 [mm²]
- 加工速度: 80[mm²/min]、刃物寿命: 19,000 [mm²]

※1: 負荷トルク大により加工不可。

※2: アルミナが割れる為、データ取得不可。

□: 加工速度最大、刃物寿命最大の良好条件

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

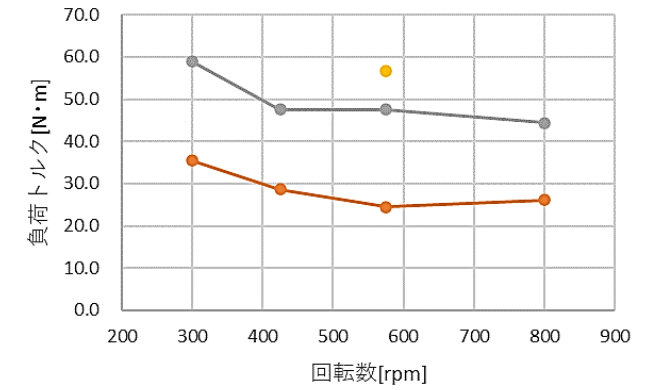
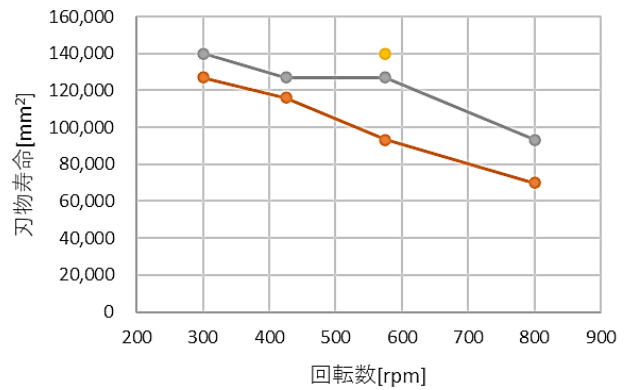
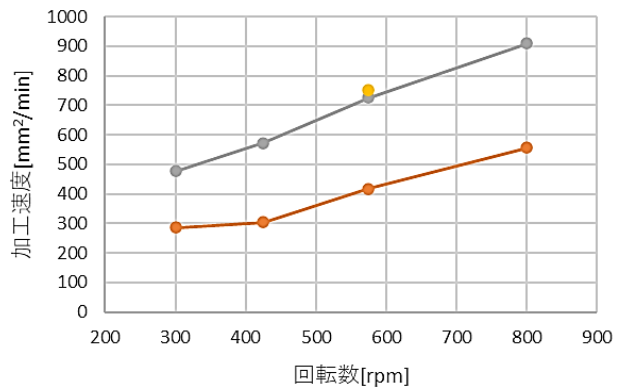
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

① 加工速度確認試験

- 押付力、回転数が高いほど、加工速度は速い。
- 押付力が高いほど、刃物寿命は長い。
⇒ 押付力が低いとあまり加工が進まず、刃物の摩耗だけが進んでいるものと推測。
- 回転数が高いほど、刃物寿命は短い。
- 押付力が高いほど、負荷トルクは大きい。
- ばらつきはあるものの、回転数が変わっても、負荷トルクはほぼ一定。
⇒ 加工負荷は押付力で決まり、回転数は関係ないはず。負荷トルクは刃物と被削材の接触抵抗(これが押付力で決まる)と刃物径で決まり、回転数とは無関係と思われる。



加工速度

刃物寿命

負荷トルク

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

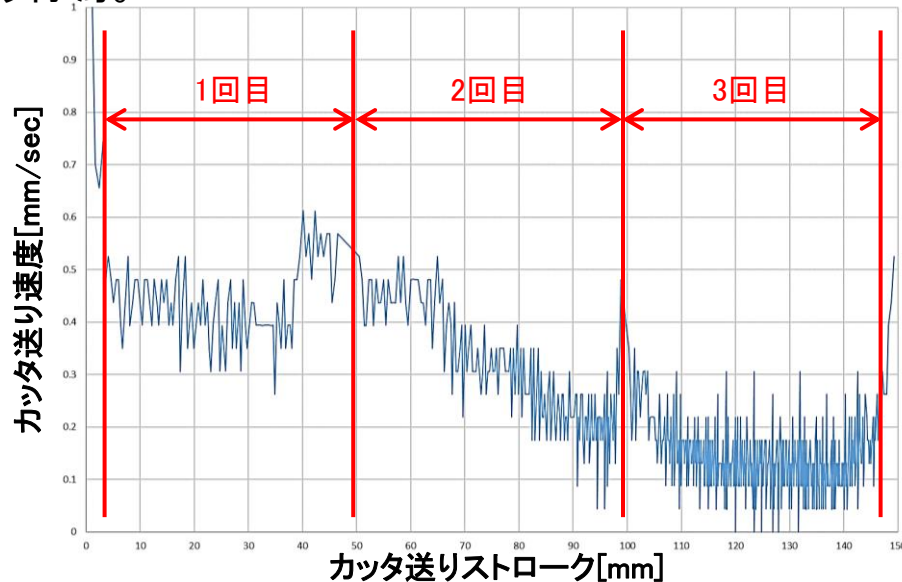
【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

① 加工速度確認試験

- 加工を繰り返すと、徐々に加工速度が低下。
⇒ ドレッシング※1により、加工速度が元に戻ることを確認。
ドレッシングに要する時間は数秒。
実機ではドレッシング用砥石を先端ツールに搭載する必要あり。

※1: 砥石に目詰まりが生じた場合、柔らかい砥石で、砥石表面のボンド層のみを削り取って砥粒の目立てを行う行為。



加工数増加による加工速度低下



ドレッシングの様子

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

① 加工速度確認試験

- SUS+アルミナをSS+アルミナに置き換えて、SUSとSSの加工性を比較(一部の条件で実施)。

- ビビリもなく、問題なく加工可能。

- SSの方が加工速度は僅かに速いが、刃物寿命は短く、負荷トルクも大きい。

⇒ 一般的にSUSに比べ、SSの方が加工性が良い。

後述のコアボーリングでは、SSの方が加工速度は速く、刃物寿命は長く、負荷トルクは小さい。

砥粒による加工は、砥粒や砥粒を固めるボンドの仕様、被削材の材質、加工条件等が複雑に絡み合う為、加工速度や刃物寿命が必ず同じ傾向となる訳ではないとの刃物メーカー見解。

加工速度[mm²/min](上段:SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	—	725 730	752 ※1
800	556 645	909 926	※2

刃物寿命[mm²](上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	—	127,000 63,600	140,000 ※1
800	70,000 66,600	93,300 60,800	※2

負荷トルク[N・m](上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	—	47.5 58.2	56.8 ※1
800	26.1 28.0	44.4 52.0	※2

※1:負荷トルク大により加工不可。 ※2:アルミナが割れる為、データ取得不可。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

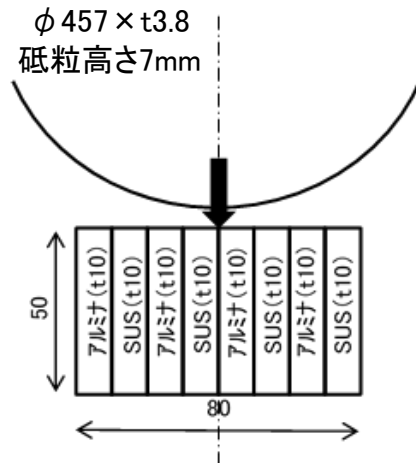
(6) 先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

② 被削材サイズアップ加工試験

- ①の試験結果から良好条件を選定し、被削材の幅を広げた(20⇒80)加工を行ない、刃物接触面積増による加工性を確認。



ディスクカッタ(干渉物撤去)被削材サイズアップ加工試験

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

② 被削材サイズアップ加工試験

- ①の試験結果から良好条件を選定し、被削材の幅を広げた(20⇒80)加工を行ない、刃物接触面積増による加工性を確認。
- ビビりもなく、問題なく加工可能。
- ただし、厚さ50mmは加工不可。
⇒途中でドレッシングが必要。
- 加工速度、刃物寿命は、幅20mmと大差なし。
- 負荷トルクは、刃物接触面積が増える為、増大。

加工速度[mm²/min](上段:幅20、下段:幅80)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	417	725	752
	371	※1	※1
800	556	909	※2
	714	845	

刃物寿命[mm²](上段:幅20、下段:幅80)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	93,300	127,000	140,000
	87,700	※1	※1
800	70,000	93,300	※2
	78,000	100,000	

負荷トルク[N・m](上段:幅20、下段:幅80)

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	24.5	47.5	56.8
	41.1	※1	※1
800	26.1	44.4	※2
	38.5	57.0	

※1:負荷トルク大により加工不可。 ※2:アルミナが割れる為、データ取得不可。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

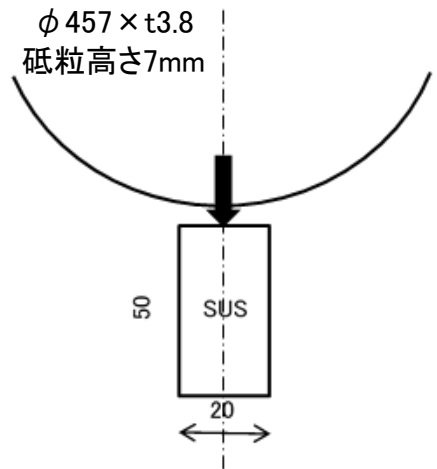
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

③ SUS単体加工試験

- ②の加工条件で下図の被削材の加工を行ない、SUS単体の加工性を確認。



ディスクカッタ(干渉物撤去)SUS単体加工試験

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(干渉物撤去)

③ SUS単体加工試験

- ②の加工条件で幅20×高さ50のSUS被削材の加工を行ない、SUS単体の加工性を確認。
- ビビリもなく、問題なく加工可能。
- SUS+アルミナに対し、どちらが加工し易いといった傾向なし。
- SUS単体で見ると、SUS+アルミナとほぼ同じ傾向。

加工速度[mm ² /min] (上段:SUS+アルミナ、下段:SUS)			
回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	417	725	752
	286	※1	※1
800	556	909	※2
	614	1,920	

刃物寿命[mm ²] (上段:SUS+アルミナ、下段:SUS)			
回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	93,300	127,000	140,000
	53,800	※1	※1
800	70,000	93,300	※2
	60,800	82,300	

負荷トルク[N・m] (上段:SUS+アルミナ、下段:SUS)			
回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.25	0.5	0.6
575	24.5	47.5	56.8
	45.4	※1	※1
800	26.1	44.4	※2
	36.1	53.7	

※1:負荷トルク大により加工不可。 ※2:アルミナが割れる為、データ取得不可。

909:スループット向上が見込めそうな本データでスループット評価を実施する。

- ①～③の試験結果より、SUS+アルミナ、SS+アルミナ、SUS単体いずれも加工可能で加工速度、刃物寿命共に最良である、押付力0.5kN、回転数800rpm時のSUS+アルミナの試験結果をスループット評価に使用する。

⇒ 板厚を平均10mmと想定し、加工速度91mm/min、刃物寿命9,330mmとする。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験

- 板厚10mmのSUS、アルミナの突合せ部を加工し、加工速度、刃物寿命(摩耗量より算出)、負荷トルク(モータ電流より算出)を計測。

φ 65



φ 130



コアボーリング 加工速度確認試験

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験

- 板厚10mmのSUS、アルミナの突合せ部を加工し、加工速度、刃物寿命(摩耗量より算出)、負荷トルク(モータ電流より算出)を計測。
- 傾向をつかむ為、押付力、回転数を幅広く3~4点振って確認。
- ビビリがあるものの、加工可能(回転数が高いほど、また、 $\phi 130$ の方がビビリが大きい)。
- 特に加工初期の刃が食い付くまでのビビリが大きい。
⇒ 刃先をテーパ形状にし、接触圧を高くするのが有効と思われる。
- 加工速度は過去の加工試験結果($\phi 66$ で2.86mm/min)を下回る結果となった。
⇒ 刃物の違い(過去の試験と同じ刃物が入手不可であった為過去と異なる刃物で試験実施)、または、装置の違いによるものと考えられる。
- 刃物寿命は、カッタ回転モータの負荷が下がる(電流値が下がる)ことにより判断可能。
- 代表数条件でデータに再現性があることを確認。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(φ65)

- ・ 刃物の硬さは3種類で試験実施。
- ・ 刃物硬さ「中」「高」は長寿命を狙ったものであり、高い押付力で試験実施。
- ・ 加工試験は、刃高さ7mmで実施。
- ・ 刃物寿命は刃高さ18mmで評価※1。刃高さ18mm加工の問題有無は、「②切粉排出性確認試験」で確認。

※1: 刃高さ7mmのコアビットでの試験結果からの評価値(刃の摩耗量、加工深さから刃1mmあたりの加工可能深さを算出し、18倍した評価値。)

加工速度[mm/min] (刃物硬さ: 低)					加工速度[mm/min] (刃物硬さ: 中、高)					刃物寿命[mm] (刃物硬さ: 低)					刃物寿命[mm] (刃物硬さ: 中、高)						
回転数 [rpm]	押付力[kN]				回転数 [rpm]	押付力[kN]				回転数 [rpm]	押付力[kN]				回転数 [rpm]	押付力[kN]					
	3	6	10	15		3	6	10	15		3	6	10	15		3	6	10	15		
63	0.27	0.53	0.60		63			0.44		63	23.2	12.1	7.38		63			113			
94	0.24	0.54	0.90	刃が欠ける為加工不可	94		0.17	0.63	0.99	94	30.1	14.2	9.18	刃が欠ける為加工不可	94		396	80.6	77.8		
125	試験数の観点から実施せず				125				1.20	125	試験数の観点から実施せず				125				66.4		
188	0.19	0.79	1.19		188		0.87	1.44	※2	188	65.9	33.7	16.6		188		101	55.3	※2		
250	試験数の観点から実施せず				250	押付が低く過ぎて加工不可		1.53	※2	250	試験数の観点から実施せず				250			50.2	※2		
300	0.31	1.14	※1	300			1.28	※2	※2	300	120	45.0	※2	300		84.8	※2	※2			

※2: 負荷トルク大により加工不可。

☐: スループット向上が見込めそうな本データでスループット評価を実施する。

- ・ コア切断には50mm以上の加工深さが必要とし、刃物寿命50mm以上で最も加工速度が速い条件。
- ・ 加工深さを倍の100mm程度と設定し、刃物寿命100mm程度で最も加工速度が速い条件。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

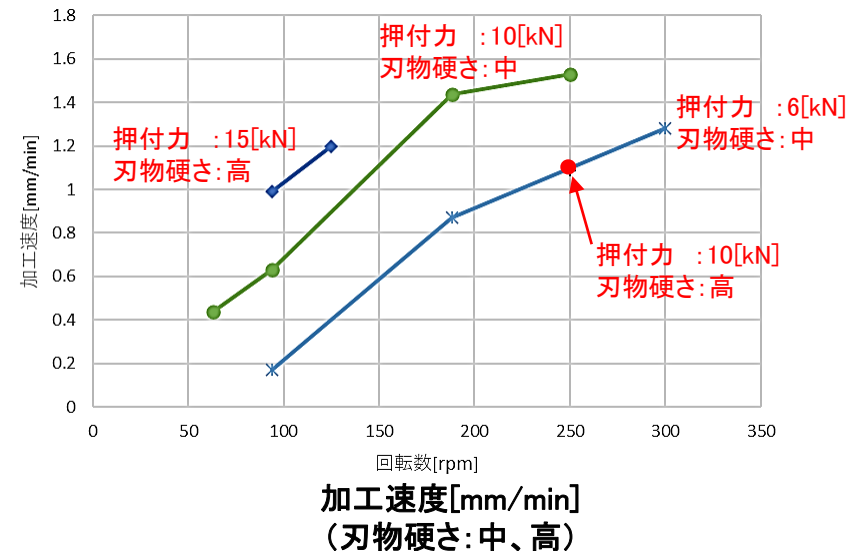
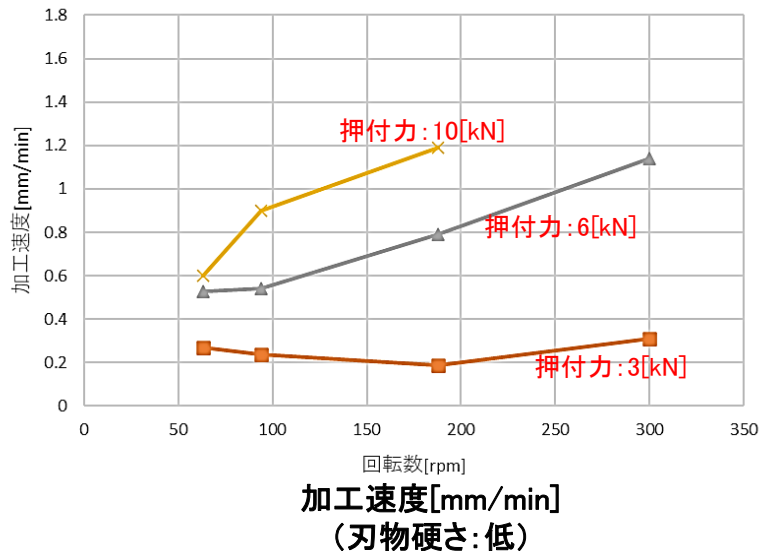
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(φ65)

- 押付力が高いほど、加工速度は速い。ただし、刃物寿命は短い(次頁参照)。
- 刃物硬さが低いほど、加工速度は速い。ただし、刃物寿命は短い(次頁参照)。
- 回転数が高いほど、加工速度は速い。
- 回転数が高いほど、刃物寿命は、刃物硬さ「低」は寿命が長く、刃物硬さ「中」、「高」は寿命が短い(次頁参照)。



6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

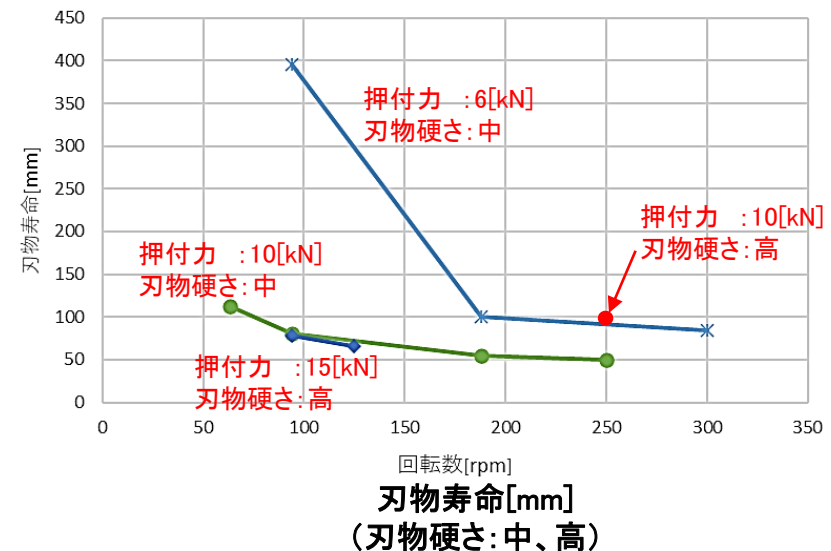
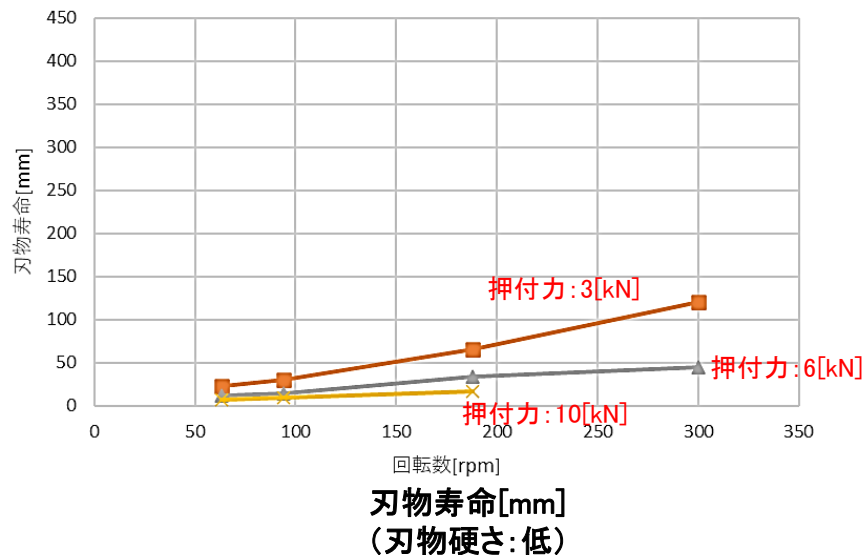
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(φ65)

- 押付力が高いほど、加工速度は速い(前頁参照)。ただし、刃物寿命は短い。
- 刃物硬さが低いほど、加工速度は速い(前頁参照)。ただし、刃物寿命は短い。
- 回転数が高いほど、加工速度は速い(前頁参照)。
- 回転数が高いほど、刃物寿命は、刃物硬さ「低」は寿命が長く、刃物硬さ「中」、「高」は寿命が短い。



6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

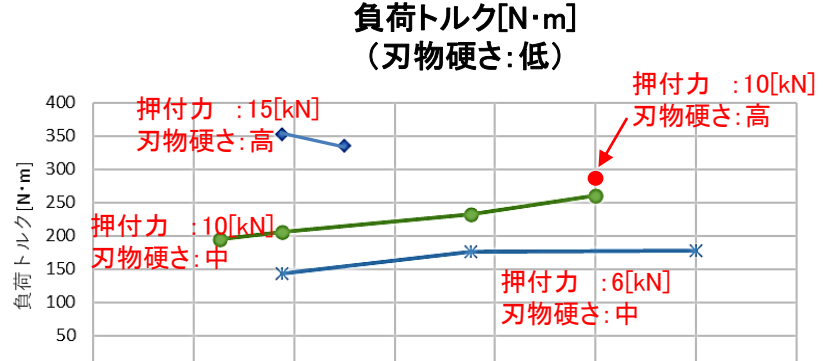
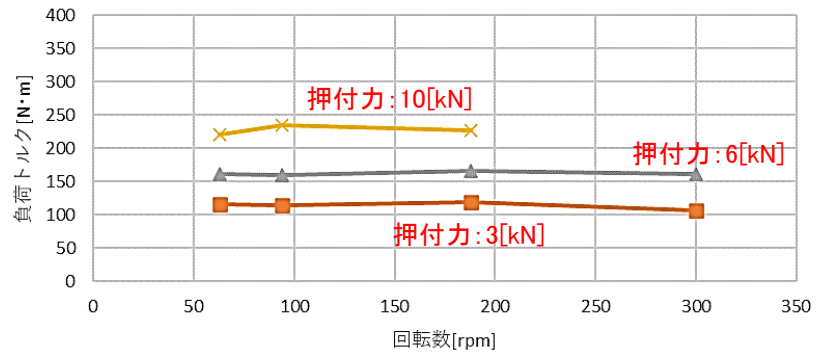
コアボーリング

① 加工速度確認試験(φ65)

- 押付力が高いほど、負荷トルクは大きい。
- 回転数が変わっても、負荷トルクはほぼ一定。

負荷トルク[N・m] (刃物硬さ: 低)					負荷トルク[N・m] (刃物硬さ: 中、高)				
回転数 [rpm]	押付力[kN]				回転数 [rpm]	押付力[kN]			
	3	6	10	15		3	6	10	15
63	139	162	220		63			195	
94	114	160	234	刃が欠ける為加工不可	94		144	206	353
125	試験数の観点から実施せず				125				335
188	119	166	227		188		176	232	※1
250	試験数の観点から実施せず				250			261	※1
300	107	161	※1		300		178	※1	※1

※1: 負荷トルク大により加工不可。



負荷トルク[N・m]
(刃物硬さ: 中、高)

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(φ130)

- ・ 刃物の硬さは「φ65の低」で実施。
- ・ 加工試験は、刃高さ7mmで実施。
- ・ 刃物寿命は刃高さ18mmで評価※1。

※1: 刃高さ7mmのコアビットでの試験結果からの評価値(刃の摩耗量、加工深さから刃1mmあたりの加工可能深さを算出し、18倍した評価値)

加工速度[mm/min]				刃物寿命[mm]				負荷トルク[N・m]			
回転数 [rpm]	押付力[kN]			回転数 [rpm]	押付力[kN]			回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	3	6	10		3	6	10		3	6	10
31	0.07	0.33	0.47	31	59.4	17.5	13.9	31	199	403	467
94	0.23	0.42	1.00	94	59.9	36.0	25.7	94	242	336	559
150	0.13	0.39	※2	150	66.8	67.5	※2	150	172	285	※2
188	0.13	0.50	※2	188	46.8	90.0	※2	188	177	280	※2
250	※3	0.79	※2	250	※3	71.1	※2	250	※3	299	※2

※2: 負荷トルク大により加工不可。 ※3: ビビリ大により加工不可。

 : スループット向上が見込めそうな本データでスループット評価を実施する。

- ・ コア切断には50mm以上の加工深さが必要とし、刃物寿命50mm以上で最も加工速度が速い条件。
- ・ 加工深さを倍の100mm程度と設定し、刃物寿命100mm程度で最も加工速度が速い条件。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

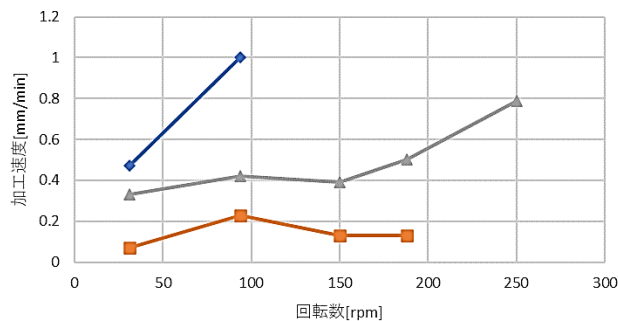
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

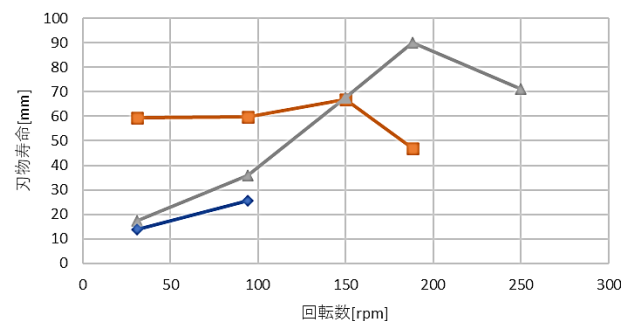
① 加工速度確認試験(φ130)

- 押付力、回転数が高いほど、加工速度は速い。
 - 押付力が低いほど、刃物寿命は長い。
 - 回転数が高いほど、刃物寿命は長いがピークあり。
- ⇒ 回転数が高いほど加工速度は速いので、寿命の長い回転数の見極めが重要。
- 押付力が高いほど、負荷トルクは大きい。
 - 回転数と負荷トルクの関連性はなし。



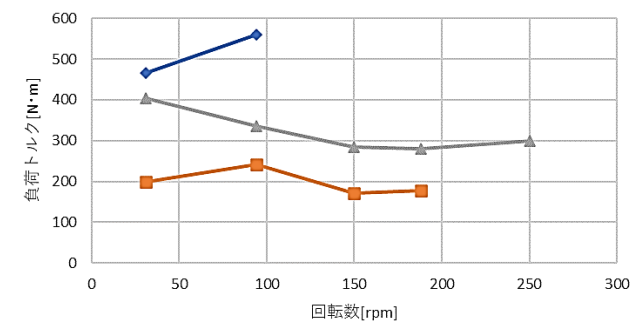
—■— 押付力：3[kN] —▲— 押付力：6[kN] —◆— 押付力：10[kN]

加工速度



—■— 押付力：3[kN] —▲— 押付力：6[kN] —◆— 押付力：10[kN]

刃物寿命



—■— 押付力：3[kN] —▲— 押付力：6[kN] —◆— 押付力：10[kN]

負荷トルク

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(材質変更、φ65、φ130)

- SUS+アルミナをSS+アルミナに置き換えて、SUSとSSの加工性を比較(一部の条件で実施)。
- ビビリはあるものの、加工可能(回転数が高いほど、また、φ130の方がビビリは大きい)。
⇒ SUSと同じ傾向。
- SSの方が加工速度は速く、刃物寿命は長く、負荷トルクは小さい。
⇒ SUSに比べ、SSの方が加工性が良い。

加工速度[mm/min]: φ65
(上段:SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	1.20 2.22
250	1.53 2.91	—

刃物寿命[mm]: φ65
(上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	66.4 78.3
250	50.2 56.3	—

負荷トルク[N・m]: φ65
(上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	335 309
250	261 219	—

加工速度[mm/min]: φ130
(上段:SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	0.79 0.88	

刃物寿命[mm]: φ130
(上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	71.1 138	

負荷トルク[N・m]: φ130
(上段SUS、下段:SS)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	299 270	

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

① 加工速度確認試験(材質変更、φ65、φ130)

- SUS+アルミナを御影石に置き換えて、靱性の低い、脆い材料の加工性を確認(一部の条件で実施)。
- ビビリもなく、問題なく加工可能。
- 今回の板厚10mmの加工では刃物が摩耗せず、刃物寿命の取得は不可。

加工速度[mm/min]: φ65
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	1.20 17.9
250	1.53 25.0	—

刃物寿命[mm]: φ65
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	66.4 取得できず
250	50.2 取得できず	—

負荷トルク[N・m]: φ65
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	10	15
125	—	335 260
250	261 184	—

加工速度[mm/min]: φ130
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	0.79 10.4	—

刃物寿命[mm]: φ130
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	71.1 取得できず	—

負荷トルク[N・m]: φ130
(上段:SUS+アルミナ、下段:御影石)

回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	6	
250	299 137	—

- :スループット向上が見込めそうな本データでスループット評価を実施する。
- 刃物は摩耗しないものとして評価。
 - φ65は2条件のうち、加工速度の速い条件で評価。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

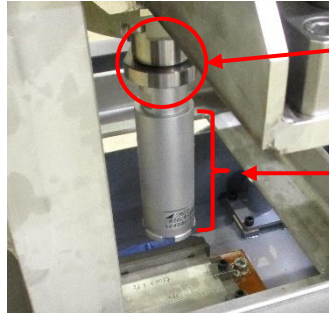
(6) 先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

② 切粉排出性確認試験(押付力10kN、回転数250rpm)

- 板厚50mmのSUS、アルミナの突合せ部を加工し、厚板の加工性を確認(加工が深くなると、切粉の排出性が悪く、加工に影響する可能性がある)。
- 本試験は、刃高さ18mmで実施し、刃高さ18mmの強度確認も兼ねる。
- 本試験はφ65、刃物硬さ「中」で実施(φ130は刃数が多く、刃一つ当たりの押付力、カッタ回転によってかかる力、共に小さい為実施不要)。
- 押付力10kN、回転数250rpmでは、ビビリが大きく、刃先が根元から脱落。
⇒ 刃物取付部のガタと、刃先が長くなったことにより、振れが大きくなり、ビビリ増大に繋がったと思われる。将来的には、刃物取付方法の変更、刃物長さの短尺化(今回は200mm程度掘れる長さとしていたが100mm程度で十分)によるビビリ低減が必要。



刃物交換の容易化の為、現状ガタあり。
⇒ 将来的にはガタのない取付方法に変更。

現状の約200mmは長すぎ。
⇒ 将来的には100mm程度に短尺化。

コアボーリング切粉排出性確認試験(10kN、250rpm)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

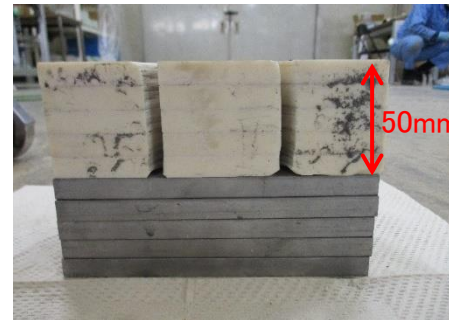
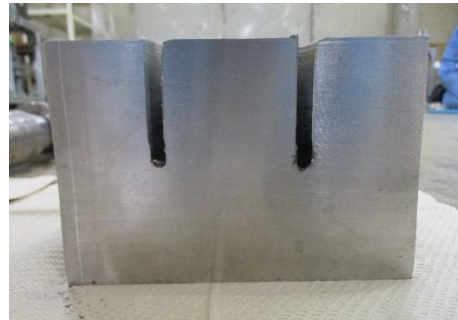
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

② 切粉排出性確認試験(押付力10kN、回転数125rpm)

- 板厚50mmのSUS、アルミナの突合せ部を加工し、厚板の加工性を確認(加工が深くなると、切粉の排出性が悪く、加工に影響する可能性がある)。
- 本試験は、刃高さ18mmで実施し、刃高さ18mmの強度確認も兼ねる。
- 本試験はφ65で実施。
(φ130は刃数が多く、刃一つ当たりの押付力、カッタ回転によってかかる力、共に小さい為)。
- ビビリ低減の為、押付力10kNはそのまま、回転数250rpmを125rpmに変更(回転数を変えても負荷トルクは変わらない為、強度確認に影響なし)。
- ビビリが低減し、刃高さ18mmで加工可能。
- 加工初期と加工終盤で加工速度に変化なし。
⇒ 加工が深くなることによる加工への影響なし。



コアボーリング切粉排出性確認試験(10kN、125rpm)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

③ コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験

- 板厚10mmのSUS、アルミナの突合せ部加工において、加工溝をラップさせた場合の加工性を確認。
(加工溝をラップさせると、先行の加工溝の方に刃物が流れていく可能性がある)。

- 1回目の加工溝側に多少流れるが加工可能。

⇒ ビビリ低減対策(刃物取付方法の変更、刃物長さの短尺化)により、更に加工性が良くなると思われる。



コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験(10kN、250rpm)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

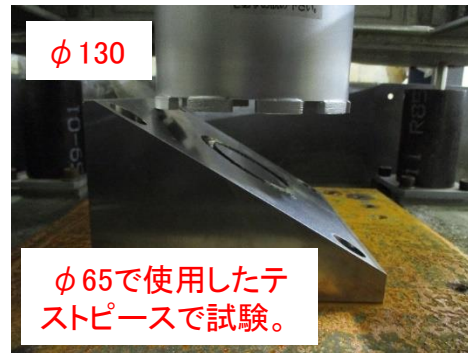
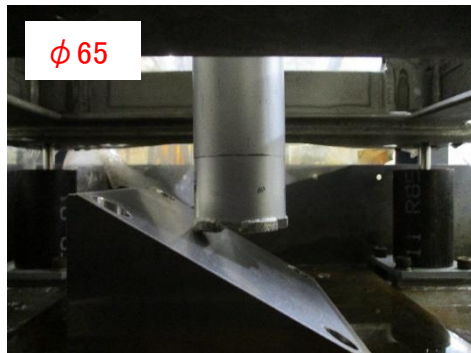
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

④ 30° 傾斜部加工試験

- 加工部が30° 傾斜している場合の加工性を確認。
(傾斜部に沿って刃物が滑って加工に影響する可能性がある)。
- 被削材はSUSで実施(アルミナの30° 傾斜被削材は厚板が必要となり、入手困難な為)。
- 低回転(94rpm)でビビリを抑えれば、加工可能。
⇒ ある程度刃が入ったところで回転数を上げるのが加工速度的には有効と思われる。
- 加工開始時は刃の接触面積が小さく、接触圧が高い為、押付力は徐々に上げる必要あり。
 - $\phi 65$: 押付力2.5kN ⇒ 10kN
 - $\phi 130$: 押付力2.5kN ⇒ 4.5kN
- $\phi 130$ は刃が消耗し、刃が全面接触するところまで加工できなかったが、ここまで刃が入れば刃が斜面に沿って滑ることはないと思われる。



コアボーリング30° 傾斜部加工試験

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

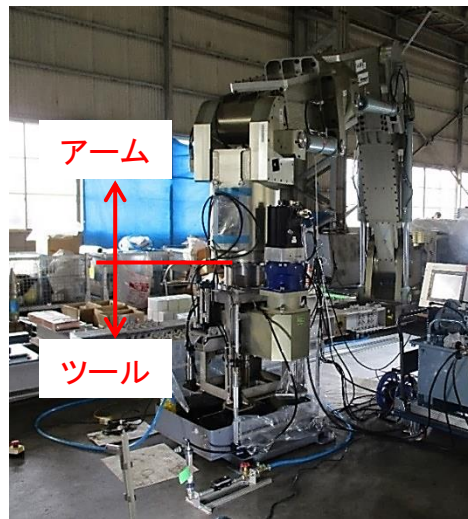
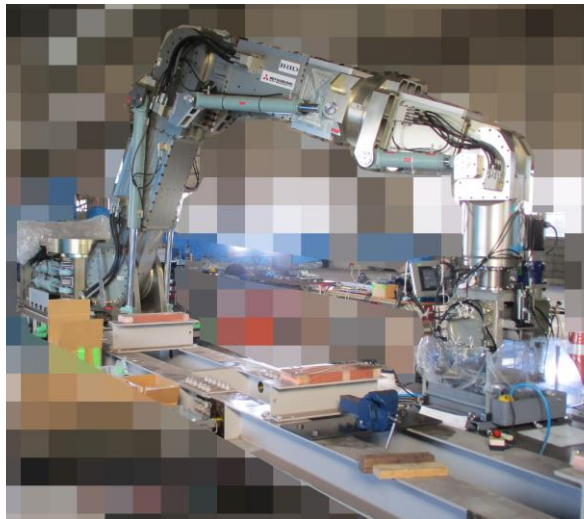
【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

- ⑤ アーム組合せ試験(ロボットアーム先端にコアボーリング装置設置)
 - ・ ①の試験結果から良好条件を選定し、アームによる加工性を確認。
 - ・ ツール単体試験の中から、以下の試験を実施。
 - 加工速度確認試験
 - コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験(実施予定であったが中止。理由は後述)。
 - 30° 傾斜部加工試験(実施予定であったが中止。理由は後述)。

アーム組合せ試験条件・試験結果概要

刃物径	押付力 [kN]	回転数 [rpm]	試験結果
φ 65	10	250	加工可
φ 65	15	125	加工不可 ↓ 被削材を SUS+アルミナから SUSに変更で加工可
φ 130	6	250	加工不可 ↓ 回転数125rpmに変更で加工可



アーム組合せ試験

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

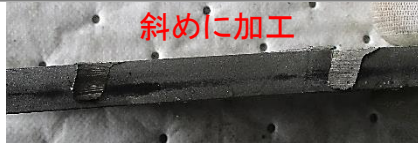
コアボーリング

⑤ アーム組合せ試験(φ65、押付力10kN、回転数250rpm)

- SUS+アルミナの加工可能。
- ただし、刃物が斜めに入り、加工溝が斜めとなる。
⇒ SUSとアルミナの加工抵抗の違いにより、アームの回転関節が少し回転したのが原因。

回転関節は揺動モータを使用しており、揺動モータには内部リークがある為、外力が加わって僅かに回転。将来的にはブレーキ追加が有効。

- 加工速度、刃物寿命は、ツール単体時と比べ、ほぼ同等。
アームの回転軸が固定できれば改善する可能性あり。
- 加工溝が斜めになる原因がSUSとアルミナの加工抵抗の違いによるものと考え、SUS単体を加工したところ、垂直に加工可能。

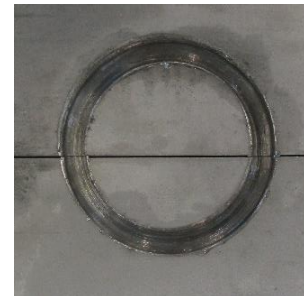


ツール単体・アーム組合せ比較

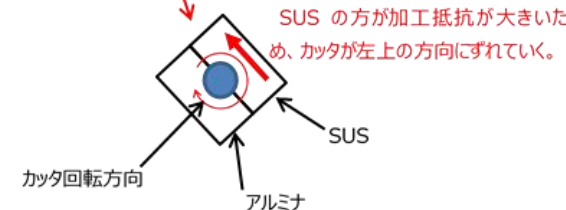
	加工速度 [mm/min]	刃物寿命 [mm]
ツール 単体	1.53	50.2
アーム 組合せ	1.46	42.3



SUS+アルミナの加工溝



SUS単体の加工溝



斜め加工の原因

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

⑤ アーム組合せ試験(φ65、押付力15kN、回転数125rpm)

- SUS+アルミナの加工不可。装置がゆっくり揺れて刃物が入らない。
⇒ 加工跡を見ると、加工溝が斜めになった場合(前頁参照)と同じ方向に刃物が移動しており、原因は同じと考えられる。
アームの回転軸が固定されれば加工可能となる可能性あり。
- こちらもSUS単体を加工したところ、加工可能。



- 刃物全周に均等に加工抵抗が加わらない場合、アームの回転関節が僅かに動く。「コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験」、「30°傾斜部加工試験」は均等に加工抵抗が加わらず、アームが動いて危険な為、試験は見送ることとした。
⇒ 加工速度、刃物寿命共にツール単体と同等の結果を得られていること、加工時の振動の状況から、ツール単体と同等の剛性があると考えられ、アームの回転軸が固定されれば加工が可能となると思われる。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

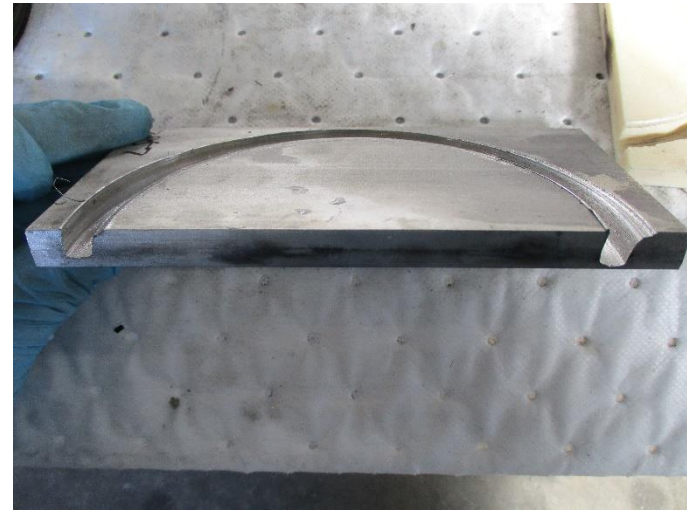
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

コアボーリング

⑤ アーム組合せ試験(φ130、押付力6kN、回転数250rpm ⇒ 125rpm)

- 回転数250rpmはビビリが大きく、刃物が入らない。
⇒ ビビリ低減対策(刃物取付方法の変更、刃物長さの短尺化)により、加工可能となる可能性あり。
- 回転数を125rpmに変更し、ビビリを抑えると加工可能。
⇒ 加工跡を見ると、φ65ほど顕著ではないが、同じ方向に刃物が移動。
- 加工速度、刃物寿命は、ツール単体時と同等以上の結果を取得。



アーム組合せ試験(φ130)

ツール単体・アーム組合せ比較

	加工速度 [mm/min]	刃物寿命 [mm]
ツール 単体	0.40	52.0
アーム 組合せ	0.41	62.1

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

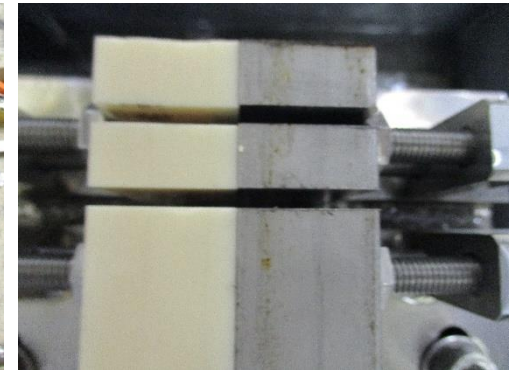
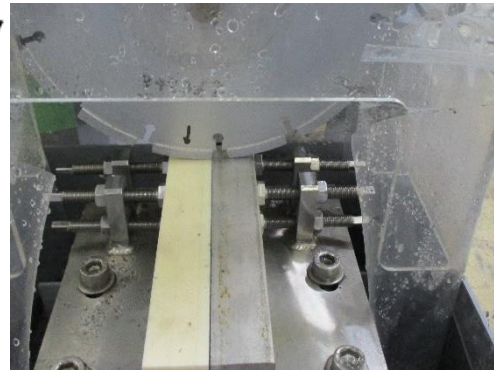
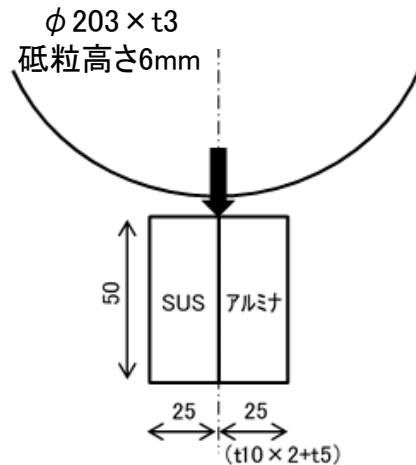
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

① 加工速度確認試験

- $\phi 65 \times \phi 53.4$ コアボーリング後のコア切断を想定し、下図の被削材の加工を行ない、加工速度、刃物寿命(摩耗量より算出)、負荷トルク(モータ電流より算出)を計測。
- 傾向をつかむ為、押付力、回転数を幅広く3~4点振って確認。



ディスクカッタ(コア切断)加工速度確認試験

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

① 加工速度確認試験

- ビビリもなく、問題なく加工可能。
⇒ ただし、将来的にはアームによる加工性確認が必要。
- 加工速度、刃物寿命共に、過去の加工試験結果を上回る結果を取得。
- 刃物寿命は、カッタ回転モータの負荷が下がる(電流値が下がる)ことにより判断可能。
- 代表数条件でデータに再現性があることを確認。

加工速度(上段:[mm/min]、下段:[mm²/min])

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.5	0.75	1
500	1.85 92.6	9.26 463	16.1 807
750	3.18 159	11.6 581	19.2 962
1,000	3.91 195	10.0 500	※1
1,200	4.20 210	9.62 481	※1

刃物寿命(上段:[mm]、下段:[mm²])

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.5	0.75	1
500	2,850 142,000	2,140 107,000	1,270 63,800
750	3,520 176,000	2,720 136,000	1,990 100,000
1,000	3,750 187,000	2,500 124,000	※1
1,200	2,720 136,000	2,850 142,000	※1

負荷トルク[N・m]

回転数 [rpm]	押付力[kN]		
	0.5	0.75	1
500	36.6	50.4	58.4
750	32.3	44.0	51.3
1,000	23.6	31.4	※1
1,200	21.6	27.8	※1

過去の加工試験結果

- 加工速度: 750[mm²/min]、刃物寿命: 1,500 [mm²]
- 加工速度: 80[mm²/min]、刃物寿命: 19,000 [mm²]

※1: 負荷トルク大により加工不可。

□: 加工速度最大、加工速度と刃物寿命のバランスの良い良好条件

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

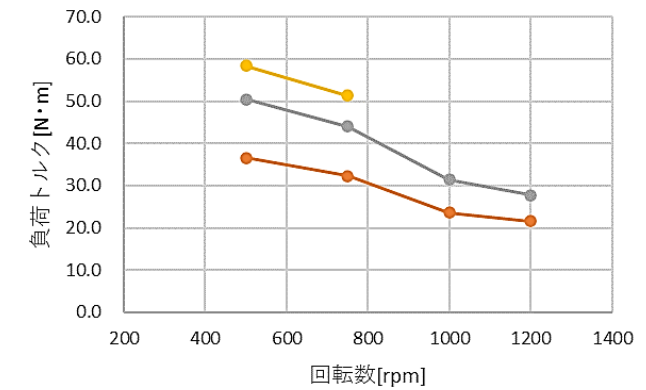
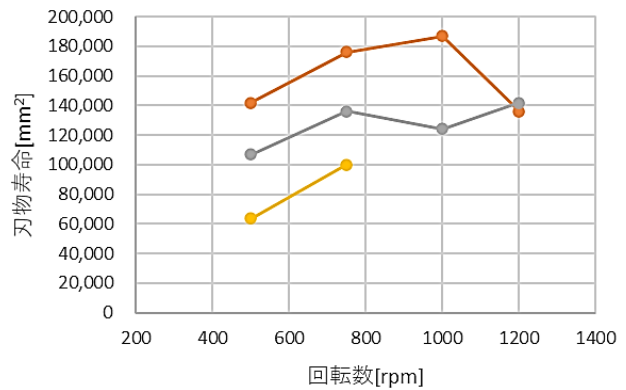
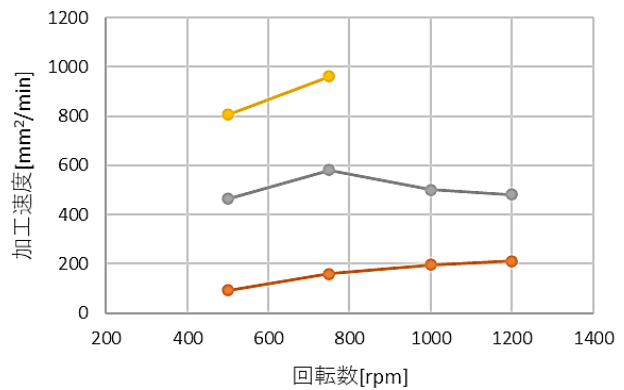
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

① 加工速度確認試験

- 押付力、回転数が高いほど、加工速度は速い。
 - 押付力が低いほど、刃物寿命は長い。
 - 回転数が高いほど、刃物寿命は長い。
 - 押付力が高いほど、負荷トルクは大きい。
 - 回転数が高いほど、負荷トルクは小さい。
- ⇒ 加工負荷は押付力で決まり、回転数は関係ないはず。加工速度を見ると、回転数が高くなっても加工速度はそれほど速くなっていない。回転が速いと、砥粒と被削物の引っ掛かりが浅くなり、加工速度がそれほど伸びず、負荷トルクが小さくなるものと思われる。



○ 押付力 : 0.5 [kN] ● 押付力 : 0.75 [kN] ▲ 押付力 : 1 [kN]
加工速度

○ 押付力 : 0.5 [kN] ● 押付力 : 0.75 [kN] ▲ 押付力 : 1 [kN]
刃物寿命

○ 押付力 : 0.5 [kN] ● 押付力 : 0.75 [kN] ▲ 押付力 : 1 [kN]
負荷トルク

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

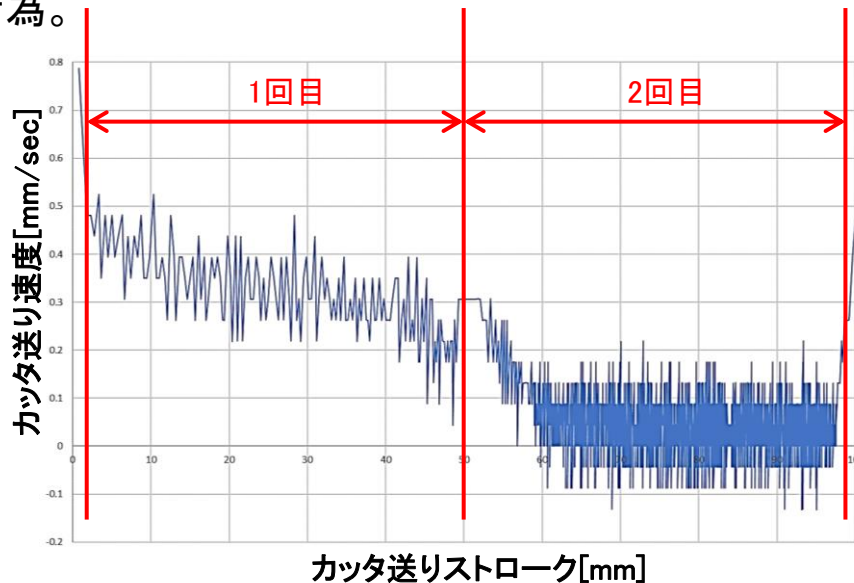
【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

① 加工速度確認試験

- 加工を繰り返すと、徐々に加工速度が低下。
⇒ ドレッシング※1により、加工速度が元に戻ることを確認。
ドレッシングに要する時間は数秒。
実機ではドレッシング用砥石を先端ツールに搭載する必要あり。

※1: 砥石に目詰まりが生じた場合、柔らかい砥石で、砥石表面のボンド層のみを削り取って砥粒の目立てを行う行為。



加工数増加による加工速度低下



ドレッシングの様子

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

① 加工速度確認試験

- SUS+アルミナをSS+アルミナに置き換えて、SUSとSSの加工性を比較(一部の条件で実施)。

- ビビリもなく、問題なく加工可能。

- SSの方が加工速度は速いが、刃物寿命は短く、負荷トルクも大きい。

(干渉物撤去のディスクカッタと同じ傾向)

⇒ 一般的にSUSに比べ、SSの方が加工性が良い。

前述のコアボーリングでは、SSの方が加工速度は速く、刃物寿命は長く、負荷トルクは小さい。

砥粒による加工は、砥粒や砥粒を固めるボンドの仕様、被削材の材質、加工条件等が複雑に絡み合う為、加工速度や刃物寿命が必ず同じ傾向となる訳ではないとの刃物メーカー見解。

加工速度[mm ² /min] (上段:SUS、下段:SS)		
回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	0.75	1
750	581	962
	926	1,040

刃物寿命[mm ²] (上段SUS、下段:SS)		
回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	0.75	1
750	136,000	100,000
	60,000	48,300

負荷トルク[N・m] (上段SUS、下段:SS)		
回転数 [rpm]	押付力[kN]	
	0.75	1
750	44.0	51.3
	53.7	62.3

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

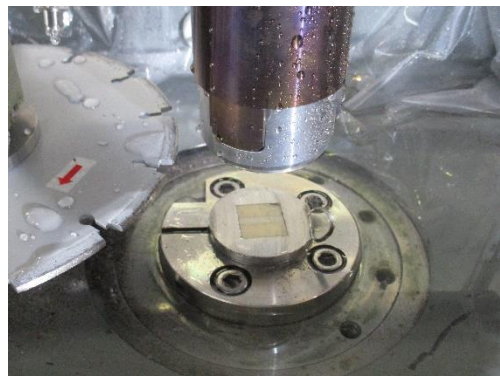
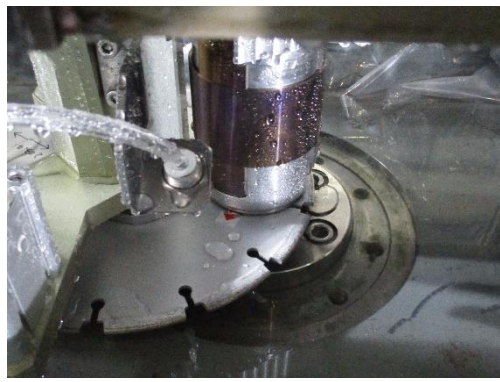
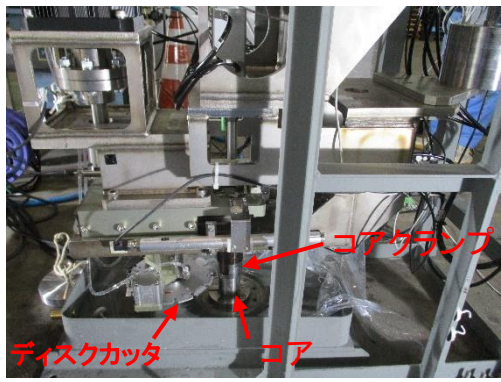
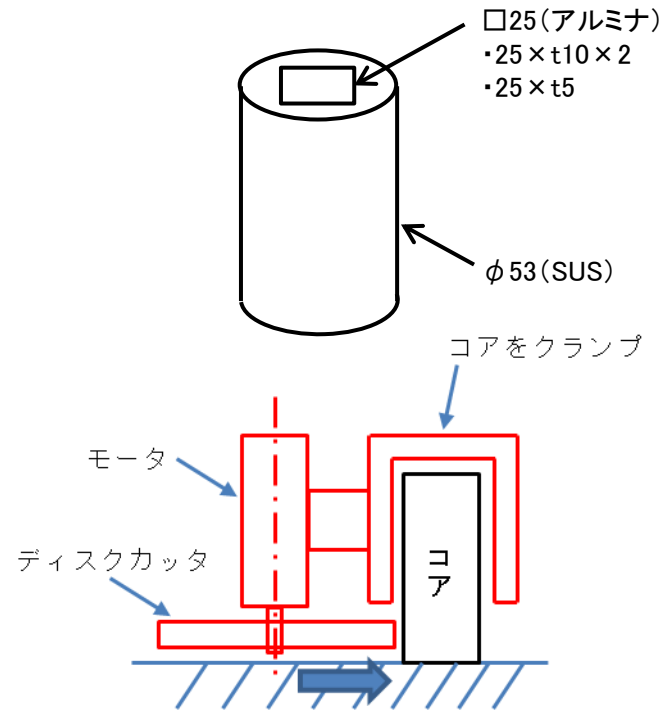
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

② ツールによる加工可否確認試験

- ①の試験結果から良好条件(押付力1kN、回転数750rpm)を選定し、下図の被削材の加工を行ない、ツールによるクランプ性、加工性を確認。



コア切断加工可否確認試験

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

② ツールによる加工可否確認試験

- ビビリもなく、問題なく加工可能。⇒ クランプ性に問題なし。
- 加工速度、刃物寿命は、クランプなしの要素試験と比べると劣る。
⇒ クランプなしの要素試験ではSUSとアルミナの比率が半々であったが、本試験では難削材であるSUSの比率が高い為、加工速度、刃物寿命が劣る。
- コアクランプ(コアへの位置決め完了～切断開始まで)に要する時間は1.5分。
⇒ スループット評価に含める。
- コアクランプからコア回収までの一連の作業性に問題なし。

加工速度・刃物寿命比較

	加工速度 [mm ² /min]	刃物寿命 [mm ²]
クランプなし 要素試験	962	100,000
クランプあり ツール	826	52,900

 :スループット向上が見込めそうな本データでスループット評価を実施する。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

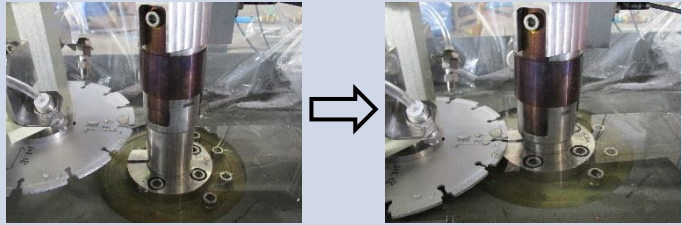
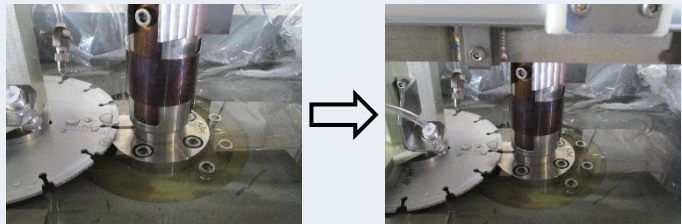
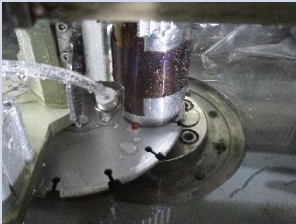
(6)先端ツール要素試験

【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

② ツールによる加工可否確認試験

コア切断加工可否確認試験結果(1/2)

No.	項目	試験結果	
1	コアに沿って装置が下降するか	良	自重で下降可。 
2	コアクランプによって装置がコアに 倣うか(傾きが補正されるか)	良	クランプ後のフローティング機構 持ち上げで傾き補正可。 
3	コア切断可能か	良	切断可。 クランプの保持力に問題なし。 

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

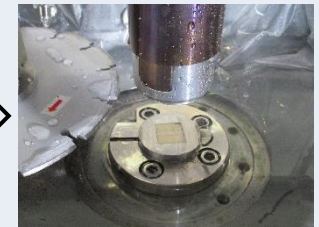
【先端ツールによる加工試験・加工試験結果評価】

ディスクカッタ(コア切断)

② ツールによる加工可否確認試験

コア切断加工可否確認試験結果(2/2)

No.	項目	試験結果	
4	コア切断完了後、ディスクカッタが挟まれることはないか	良	挟まれなし。 ディスクカッタの初期位置への後退動作に問題なし。 後退後、切断部に隙間があることを確認。
5	コアの回収は可能か	良	回収可能。 装置上昇してもコアの落下なし。
6	コアクランプ解放により、コアが落下するか	良	コアクランプ解放によりコア落下。



6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

① 遠隔装置(アクセス装置)への要求仕様

- 試験結果から得られた加工反力(刃物押付、刃物回転)をロボットアームへの要求として整理。

⇒ スループット評価に使用した試験条件から最大の値を抽出。

水平反力については、負荷トルクと刃物径より算出。

- チゼルについては、過去の試験同様、チゼル装置をチェーンで吊り下ろし、チゼル装置内のシリンダでチゼルを押し付ける構造とした。これにより、チゼルの振動がアームに伝わるのを防ぐことができる。
- アーム長、軸数については、干渉物をかわしてのアクセス検討が必要である為、今回は検討対象外。

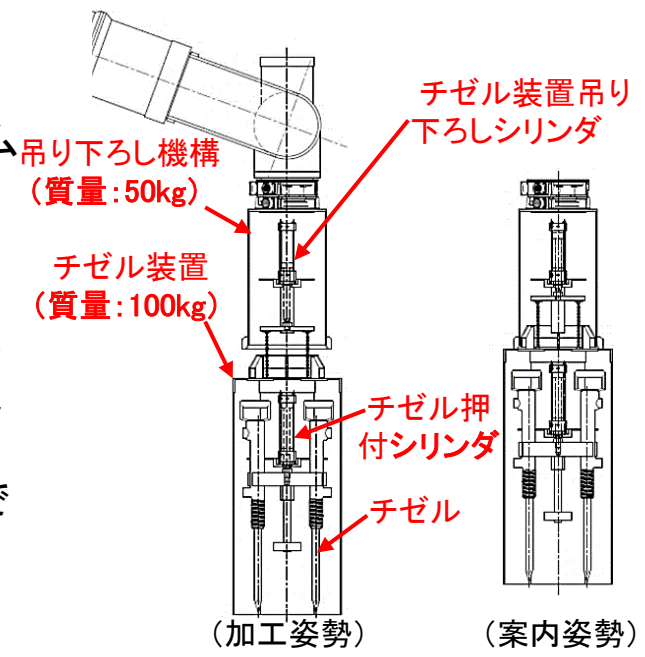
ロボットアームに要求される可搬質量・加工反力

	可搬質量 [kg]	押付反力 [kN]	水平反力 [kN]	回転トルク [N・m]
ディスクカッタ	150	0.5	0.1	— ※1
コアボーリング	1,000	15 ※3	4.6	299
コア切断	150	— ※1	— ※1	— ※1
チゼル	150	— ※1	— ※2	— ※2

※1： ツール内で反力を受ける為、アームには反力は加わらない。

※2： チゼル加工では発生しない。

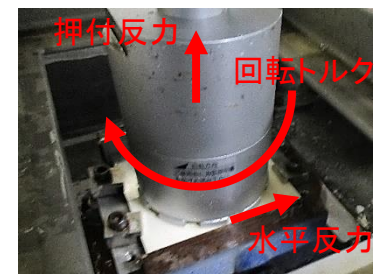
※3： 加工反力にアウトリガー押付力5kNを加えている。



チゼル装置案内方法



(ディスクカッタ)



(コアボーリング)

加工による反力

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

② スループット評価

- 2021年度東電殿委託「1F-3燃料デブリ取り出し工法の概念検討委託(その3)」で実施したスループット評価を、今回取得したスループット評価データ(後述の操作システム取得データ含む)を用いて再評価実施。
- スループットで多くの時間を占める塊状燃料デブリのコアボーリングについては、複数の加工条件で評価実施。



- ディスクカッタについては、加工時間は変わらないが、ツール位置決め時間、刃物寿命延長による刃物交換回数低減により、スループットの短縮ができた。
- コアボーリングについては、加工速度、刃物寿命共に前回のスループット評価の値を下回っており、スループットが増加した。
- 特に、前回は想定で設定していた刃物寿命が大幅に短く、これがスループット増加の主要因。
- スループット改善を目指した刃物径アップ($\phi 66\text{mm} \Rightarrow \phi 130\text{mm}$)は、加工回数低減により、スループット改善の効果があった。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

③ 実機適用性・課題と対応策

- ディスクカッタについてはロボットアームによる加工性確認が必要、コアボーリングについてはロボットアームにブレーキ追加が必要等の残件はあるものの、実機適用可能な目処を取得。
- 今回の加工試験で明らかとなった課題について対応策の検討を実施。

課題と対応策(1/3)

No.	課題	対応策
1	<p>・ ディスクカッタの噛み込み</p> <p>今回の試験では発生していないが、実工事では発生する可能性がある為、対策を講じておく必要あり。</p>	<p>(1) 切断対象が加工の熱で膨張し、カッタが挟まれる。 ⇒ 円盤状のリム型ではなく、周囲にスリットの入った放熱性の良いセグメント型を採用し、冷却水も使用。……今回の加工試験で適用済。</p> <p>(2) 切断完了直前に加工対象が変形し、カッタが挟まれる。 ⇒ 双腕アームの片方のアームで把持、もう片方のアームで切断を計画しており、把持によって変形を抑制できるか、アームによる加工試験で確認。</p> <p>(3) 噛み込んだ場合のアーム回収。 ⇒ ディスクカッタが噛み込んだ場合においても、アームの回収は必須。 以下の方法でアームの回収が可能かアームを用いた試験で確認。</p> <p>① ディスクカッタのみを残してアームを回収。 ディスクカッタの取付を三つ爪チャック方式とし、チャック解除でディスクカッタのみを残す。</p> <p>② 切断ツールを残してアームを回収。 ツールチェンジャで切り離し、切断ツールを残す。</p>

(注記)「対応策」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

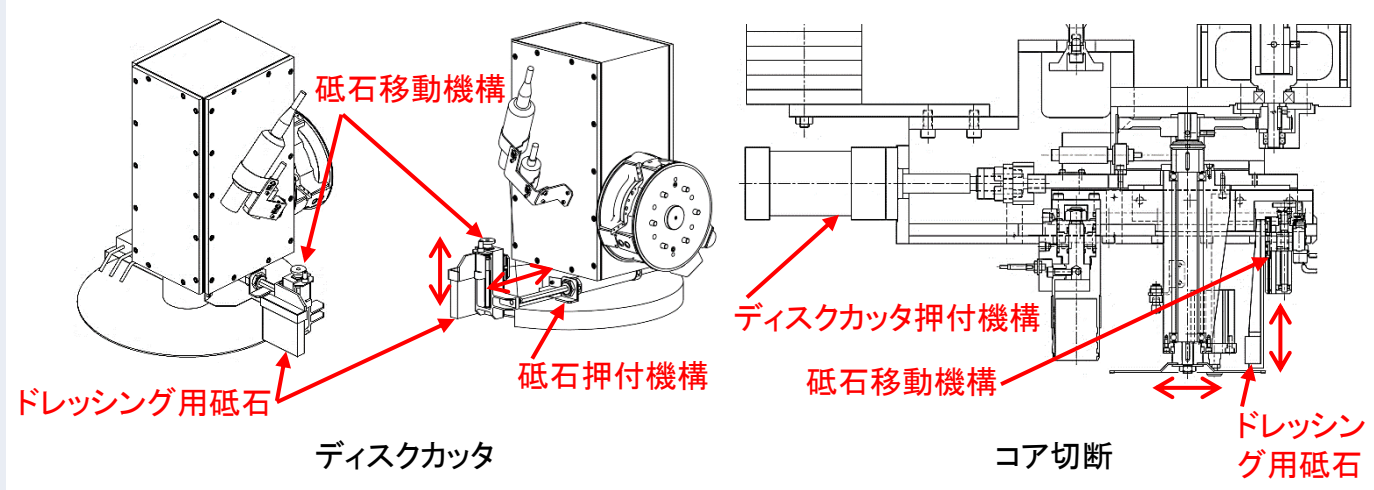
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

③ 実機適用性・課題と対応策

課題と対応策(2/3)

No.	課題	対応策
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ ディスクカッタの実機向けアームによる加工性 <p>ツール単体では加工可能の目処を得たが、実機向けアームによる加工性を確認しておく必要あり。</p>	<p>実機向けアームによる加工試験で、アームの剛性、振動の影響を確認。</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ ディスクカッタのドレッシング <p>砥石の目詰まり等で加工速度が徐々に低下。加工途中でドレッシングが必要。</p>	<p>セル内に装置を回収せずに、切断場所近傍でドレッシングを行う為、加工ツールにドレッシング用砥石を搭載。</p>  <p>The diagrams illustrate the grinding mechanism for the disk cutter and core cutting. The left diagram shows a disk cutter with labels for '砥石移動機構' (grinding stone movement mechanism), '砥石押付機構' (grinding stone pressing mechanism), and 'ドレッシング用砥石' (grinding stone for dressing). The right diagram shows a core cutting mechanism with labels for 'ディスクカッタ押付機構' (disk cutter pressing mechanism), '砥石移動機構' (grinding stone movement mechanism), and 'ドレッシング用砥石' (grinding stone for dressing).</p>

(注記)「対応策」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】


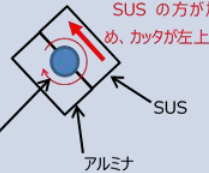
① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(先端ツール)

(6) 先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

③ 実機適用性・課題と対応策

課題と対応策(3/3)

No.	課題	対応策
4	<ul style="list-style-type: none"> ・コアボーリングの加工初期のビビリ ビビリにより、刃物が食い付くまでに時間を要している。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 加工初期の接触圧を高める為、刃先をテーパ形状に変更。 (2) 刃先の振れを抑える為、カッタ取付部のガタを抑制。 (3) 刃先の振れを抑える為、カッタ長さの短尺化。
5	<ul style="list-style-type: none"> ・コアボーリングの刃物交換頻度 刃物寿命が短く、刃物交換時間がスループットに大きく影響。 	<p>砥粒の仕様(砥粒サイズ、砥粒形状、砥粒量)を変えて効果の有無を確認。</p> <p>ただし、相手の組成によって加工速度、刃物寿命は変わる為、実工事でも臨機応変な対応が必要。</p>
6	<ul style="list-style-type: none"> ・コアボーリング時のアーム関節回転 コアボーリングの水平方向反力により、アームの回転関節が僅かに回転し、刃先が移動。 	<p>回転関節に使用している揺動モータには内部リークがある為、外力が加わって僅かに回転。回転を抑制する為、ブレーキを追加。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>SUSの方が加工抵抗が大きいため、アームの回転関節が少し回転する。</p>  <p>SUSの方が加工抵抗が大きいため、カッタが左上の方向にずれていく。</p> <p>カッタ回転方向</p> <p>アルミナ</p> </div> </div>

(注記)「対応策」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

④ 試験結果まとめ

- ディスクカッタについてはロボットアームによる加工性確認が必要、コアボーリングについてはロボットアームにブレーキ追加が必要等の残件はあるものの、実機適用可能な目処を取得。
- 課題抽出、対応策の検討を実施。
- スループット評価データを取得すると共に、スループット再評価を実施。
- 試験結果から得られた加工反力(刃物押付、刃物回転)をロボットアームへの要求として整理実施。

試験結果概要(1/3)

	試験項目	試験結果概要	考察・対策
ディスクカッタ (干渉物撤去)	(1) 加工速度 確認試験	<ul style="list-style-type: none"> • ビビリもなく、問題なく加工可能。 • 刃物押付力、回転数をパラメータに、加工速度、刃物寿命、負荷トルクを取得。 • 加工速度、刃物寿命共に、過去の加工試験を上回る結果。 • 加工を繰り返すと加工速度が徐々に低下するが、数秒のドレッシングにより、加工速度は元に戻る。 	<ul style="list-style-type: none"> • 先端ツールにドレッシング用砥石を搭載した概念図作成済み。 • 刃物、ガイド、シリンダが一直線上にない場合、モータメントによって損失が発生し、押付シリンダ推力=刃物押付力とならない為、実機設計時には注意が必要。
	(2) 被削材サイズアップ加工 試験	<ul style="list-style-type: none"> • 接触面積が増えても、加工速度(mm²/min)、刃物寿命(mm²)は変わらず。 • 負荷トルクは、刃物接触面積増により、増大。 	—
	(3) SUS単体 加工試験	<ul style="list-style-type: none"> • 難削材であるSUSも問題なく加工可能。 	—

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

④ 試験結果まとめ

試験結果概要(2/3)

	試験項目	試験結果概要	考察・対策
コアボーリング	(1) 加工速度確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ビビリはあるものの、加工可能。 ・刃物押付力、回転数をパラメータに、加工速度、刃物寿命、負荷トルクを取得。 ・加工速度は、過去の加工試験を下回る結果。ただし、コア径アップにより同等以上の結果を取得。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工初期のビビリに対しては、刃先をテーパ形状にし、接触圧を高くするのが有効と思われる。 ・刃物、ガイド、シリンダが一直線上にない場合、モーメントによって損失が発生し、押付シリンダ推力＝刃物押付力とならない為、実機設計時には注意が必要。
	(2) 切粉排出性確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・50mm深さの加工試験で、加工条件によっては、ビビリが大きく、刃物損傷。 ・加工初期と加工終盤で加工速度に変化なし(加工が深くなることによる加工への影響なし)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビビリの原因は、刃物取付部のガタ、刃先が長くなったことによる刃物先端の振れ増大と考えられる。 ⇒ 将来的には、刃物取付方法の変更、刃物長さの短尺化(今回は200mm程度掘れる長さとしていたが100mm程度で十分)によるビビリ低減が必要。
	(3) コア切断用ディスクカッタ挿入穴加工試験	<ul style="list-style-type: none"> ・加工溝をラップさせた場合、1回目の加工溝側に多少流れるが加工可能。 	—
	(4) 30° 傾斜部加工試験	<ul style="list-style-type: none"> ・低回転でビビリを抑えれば、加工可能。 ・加工開始時の押付力を低く抑えれば、加工可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工初期は低回転、ある程度刃が入ったところで回転数を上げるのが加工速度的には有効と思われる。 ・加工開始時は刃の接触面積が小さく、接触圧が高い為、押付力は徐々に上げる必要あり。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

(6)先端ツール要素試験

【加工試験結果評価】

④ 試験結果まとめ

試験結果概要(3/3)

	試験項目	試験結果概要	考察・対策
コアボーリング	(5) アーム組合せ試験	<ul style="list-style-type: none"> ・アームとの組合による加工可能。 ・ただし、刃物が斜めに入り、加工溝が斜め。 ・加工速度、刃物寿命は、ツール単体時と比べ、ほぼ同等。 	<ul style="list-style-type: none"> ・刃物が斜めに入る原因は、SUSとアルミナの加工抵抗の違いにより、アームの回転関節が少し回転したものと考えられる。将来的にはブレーキ追加が有効。 ・加工溝が斜めになる原因がSUSとアルミナの加工抵抗の違いによるものと考え、SUS単体を加工したところ、垂直に加工可能。
ディスクカッタ (コア切断)	(1) 加工速度確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ビビリもなく、問題なく加工可能。 ・刃物押付力、回転数をパラメータに、加工速度、刃物寿命、負荷トルクを取得。 ・加工速度、刃物寿命共に、過去の加工試験を上回る結果。 ・加工を繰り返すと加工速度が徐々に低下するが、数秒のドレッシングにより、加工速度は元に戻る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・先端ツールにドレッシング用砥石を搭載した概念図作成済み。 ・刃物、ガイド、シリンダが一直線上にない場合、モーメントによって損失が発生し、押付シリンダ推力＝刃物押付力とならない為、実機設計時には注意が必要。
	(2) ツールによる加工可否確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ビビリもなく、問題なく加工可能。 ・コアクランプからコア回収までの一連の作業性に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ・クランプなしの要素試験ではSUSとアルミナの比率が半々であったが、本試験では難削材であるSUSの比率が高い為、加工速度、刃物寿命が劣った。 ・コアクランプ要する時間はスループット評価に反映済。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

✓ 成果

- 先端ツールの実機適用性、課題と対応策。
- スループット評価用データ、スループット評価。
- 遠隔装置(アクセス装置)への要求仕様。

✓ 成果の反映先への寄与

- 加工試験で得られた課題に対する対応策を検討することにより、燃料デブリ取り出し装置の具体性向上が図れた。
- スループットの精緻化が図れた。

✓ 現場への適用性の観点における分析

- ペDESTAL内における先端ツールのアクセス性検討を行い、先端ツール寸法を決定した。
- 燃料デブリの性状は不明であるが、炉内構造物の模擬としてSUS、燃料成分の模擬としてアルミナを選定し、現場ではこれらが混在していることを想定し、SUSとアルミナを同時に加工する試験を実施した。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(先端ツール)

✓ 目標に照らした達成度

目標として設定した全項目を達成

- 加工条件を幅広いパラメータとした加工試験を実施し、加工性の確認、スループット評価用データを取得。
- コアボーリング径アップが、加工時間短縮に効果があることを確認。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

✓ 目的

遠隔操作を支援する操作システムによって、オペレータの負荷を軽減し作業の効率化を図る。

✓ 目標

- 試作した操作システムによって、3号機ペDESTAL内を模擬したモックアップ試験を実施し、干渉物の把持・切断・搬出や、燃料デブリのユニット缶への回収手順等を検証し、一連の作業成立性の確認を行う。また、作業手順の実績データを取得、整理し、スループット評価用データを作成する。
- 解体撤去手順計画へのインプットの1つとして、操作システムの適用条件や、想定されるトラブルに対するケーススタディを整理する。

✓ 実施事項

- 操作システムの試作、モックアップ試験による一連の作業成立性の確認。
- 作業手順の実績データの取得、スループット評価用データの作成。

✓ 成果(2022年度)

- 作業手順の実績データの取得、スループット評価用データの作成。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

オペレータの遠隔操作を支援する操作システム

● 開発の背景

燃料デブリ取り出しでは、PCVのような狭隘な環境において、障害物を避けながら干渉物撤去や燃料デブリ取り出し作業を行う(図1)

⇒ 冗長自由度マニピュレータが有効: 7つ以上の関節を持ち、手先位置・姿勢を保持したまま肘の回避運動ができる為(図2)

● 解決すべき課題

視野が制限される条件下で、障害物を回避しながら、冗長自由度マニピュレータを遠隔操作することはオペレータの負荷が非常に高く、マニピュレータの一部を障害物に衝突させるリスクがある。

● 開発の目的

「遠隔操作を支援する操作システム」によって、オペレータの負荷を軽減し作業の効率化を図る(マニピュレータの障害物回避を支援する)。

● 開発の進め方

- 操作システムの検討
- 操作システムの開発
- 要素試験による有効性の検証 ⇒ モックアップ試験でマニピュレータの操作時間を確認・スループットに反映

● 得られる成果

マニピュレータの障害物回避を自動化し、作業の安全性・効率の向上(将来的には、様々な作業・ロボットへの適用を目指す)。

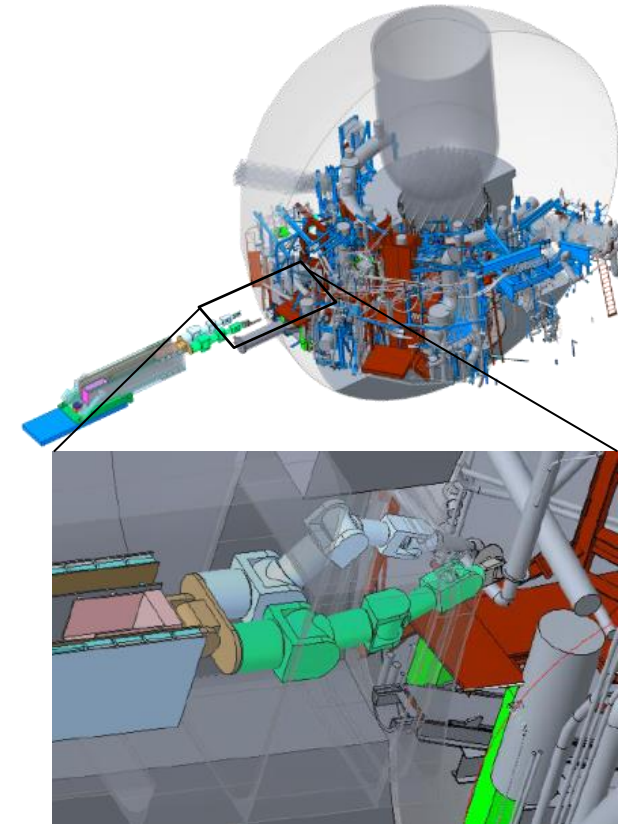


図1 3号機における干渉物撤去作業イメージ

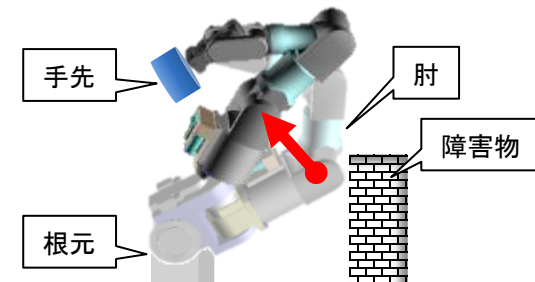


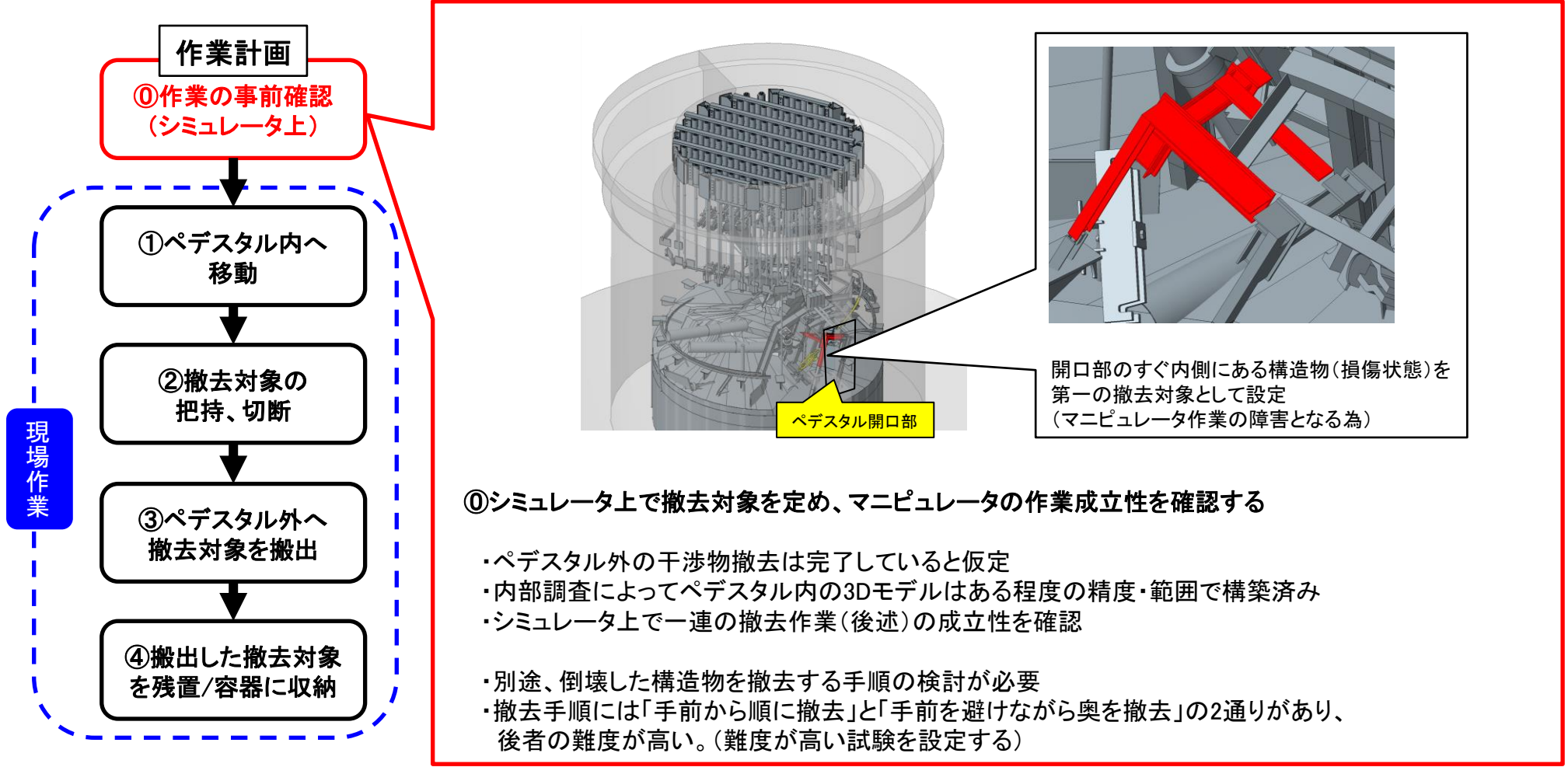
図2 冗長自由度マニピュレータの回避運動

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

オペレータの遠隔操作を支援する操作システム

● 燃料デブリ取り出しの作業フロー(例)

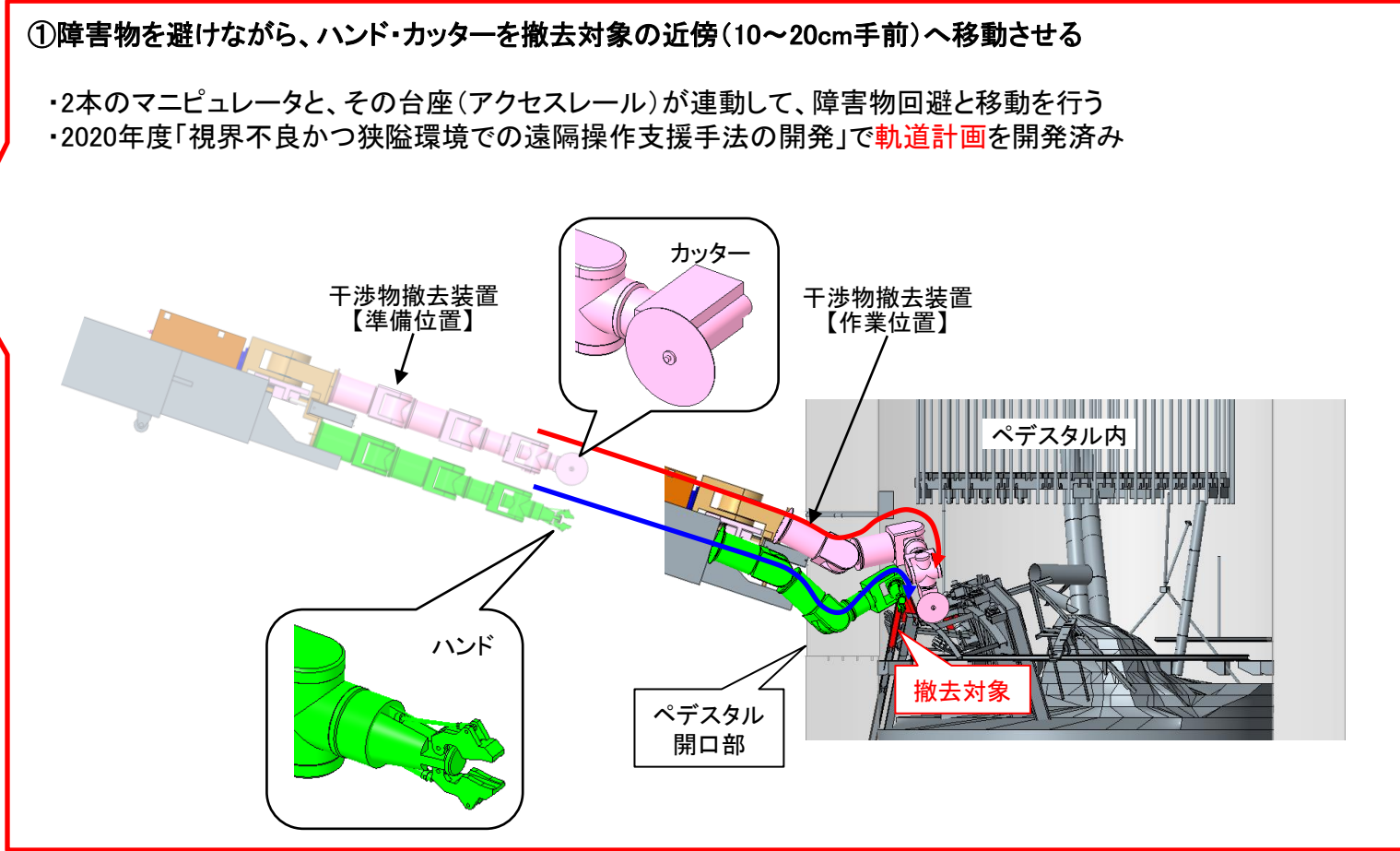
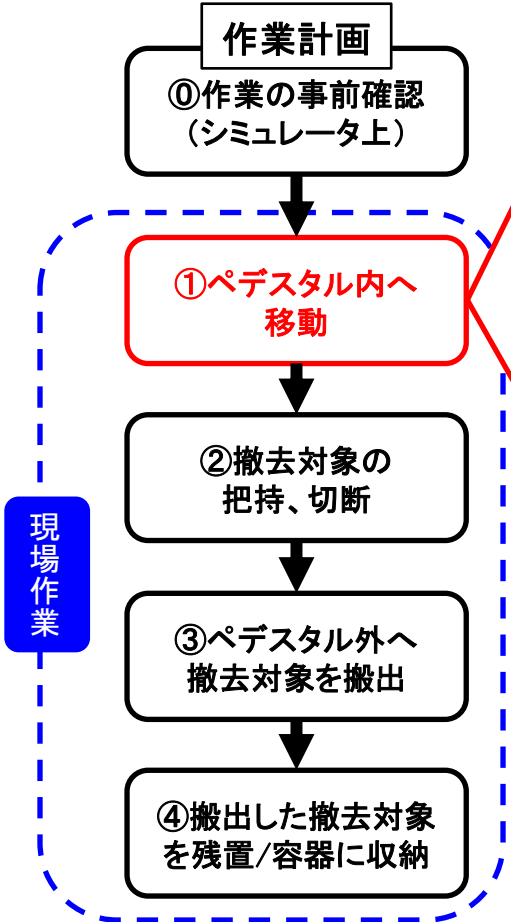


6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

オペレータの遠隔操作を支援する操作システム

● 燃料デブリ取り出しの作業フロー(例)

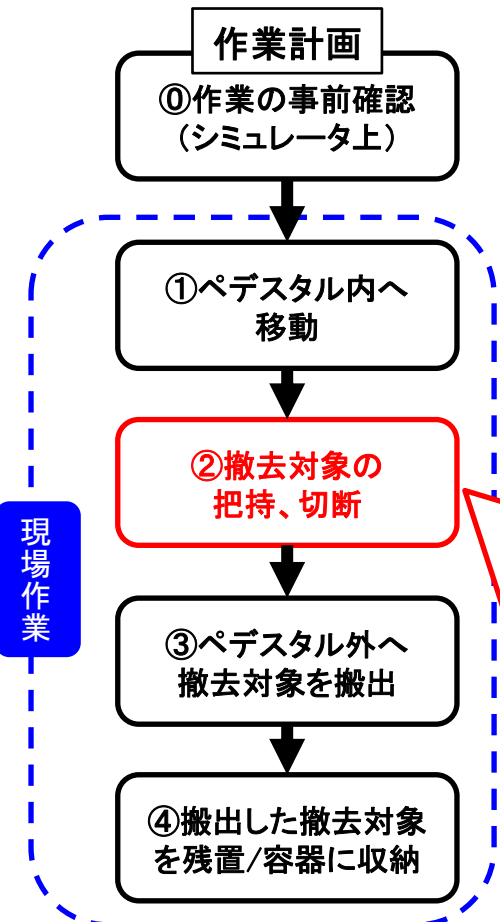


6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

オペレータの遠隔操作を支援する操作システム

- 燃料デブリ取り出しの作業フロー

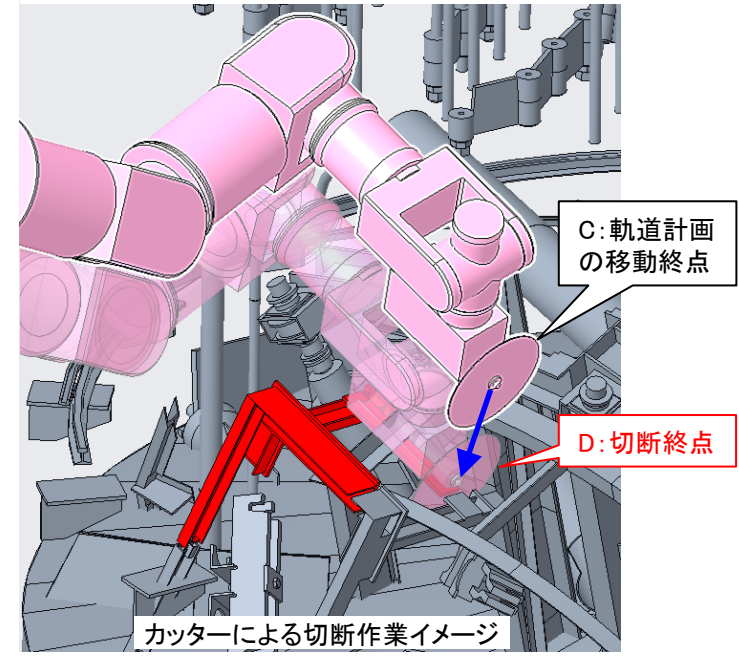
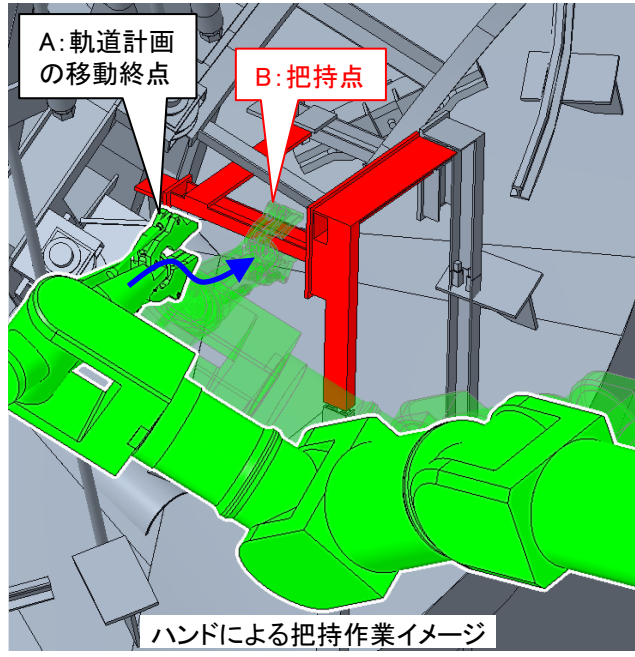


②ハンドで撤去対象を把持し、カッターで撤去対象を切断する

【把持】 オペレータは、カメラ映像などを確認しながら、手動操作でハンドを微小移動させる
(左下図: A → B の移動)

【切断】 オペレータは、カメラ映像などを確認しながら、手動操作でカッターを微小移動させる
(右下図: C → D の移動)

切断後は、手先(ハンド・カッター)をそれぞれA、Cの地点まで戻す。
 ・マニピュレータが微小移動できる作業スペース(空間)があることを事前確認しておく(①)
 ・把持力の確認、切断位置の決定方法、切断速度の調整法などは別途検討する

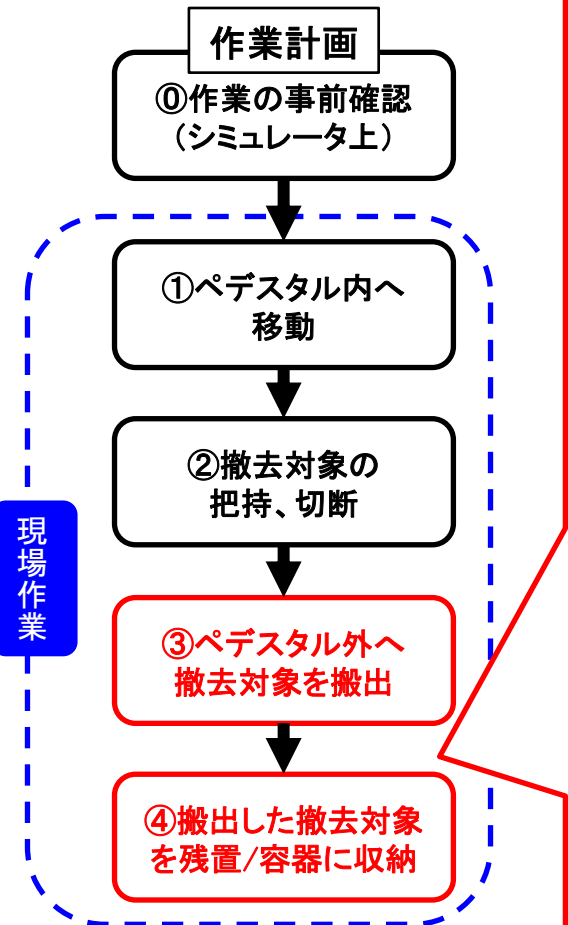


6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

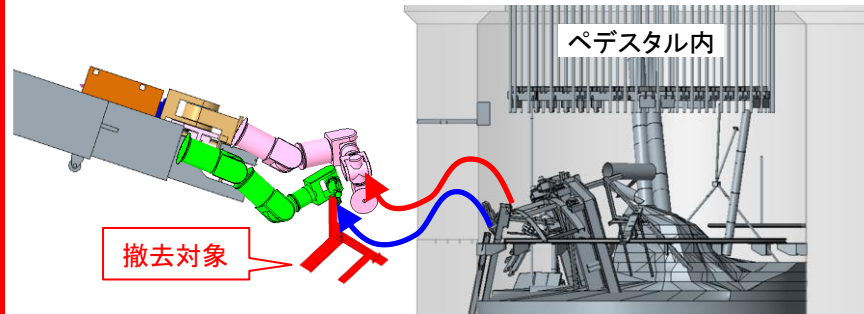
① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

オペレータの遠隔操作を支援する操作システム

- 燃料デブリ取り出しの作業フロー

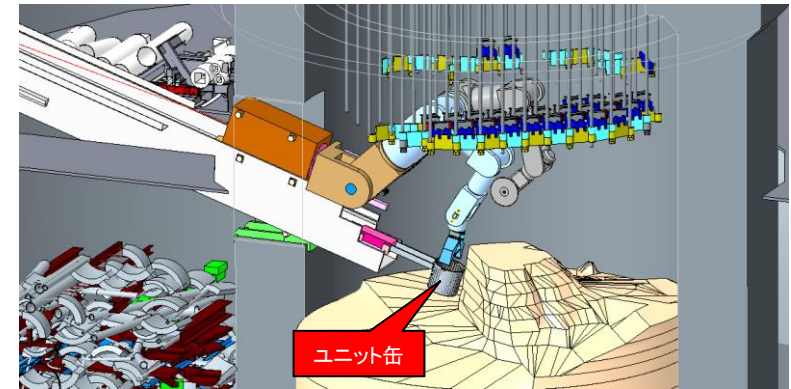
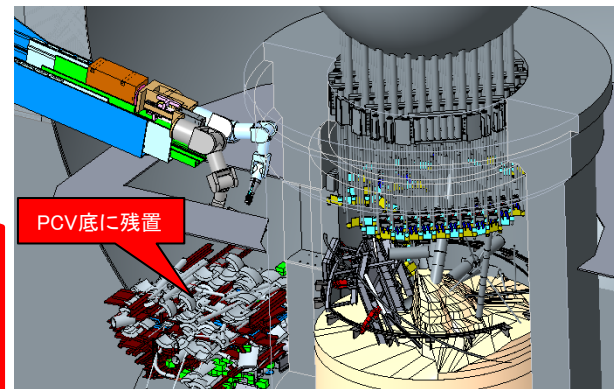


- ③ 撤去対象を把持した状態で、障害物を避けながらペDESTAL外へ移動する【前述①と同様の手順】
 - ・手で把持した撤去対象まで含めて、軌道計画を使って障害物回避軌道を自動生成する。
 - ※把持の落下防止策などは別途検討する



往路と復路で別々に軌道計画を行う。
 ・環境の一部が変化する
 ・ロボットモデルが変化する

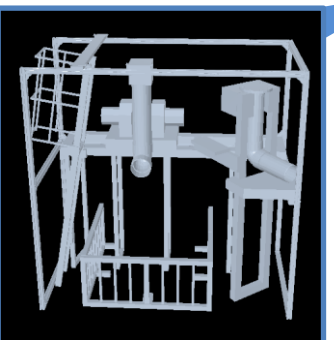
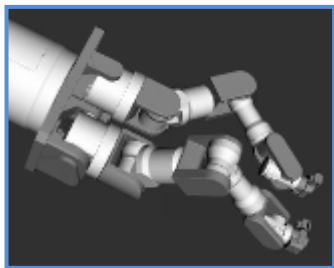
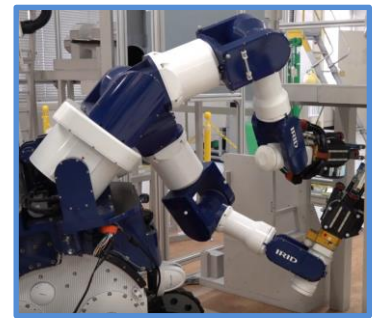
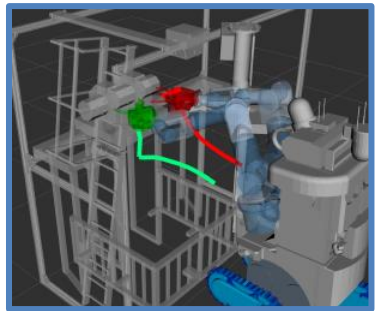
- ④ 撤去対象(構造物/燃料デブリ)をPCV底へ残置/ユニット缶へ収納する
 - ・「燃料デブリが付着していない構造物」は、PCV内に残置する(左下图)
 - ・「燃料デブリ」はユニット缶に入れ、ユニット缶移動台車がレール内を走行してPCV外へ搬出する(右下图)
 - 別途、燃料デブリの付着有無を判定する方法の確立が必要



6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

昨年までに開発した軌道計画の概要



ロボット・環境の情報

- ロボットの3Dモデル
- 環境の3Dモデル
- カメラ画像

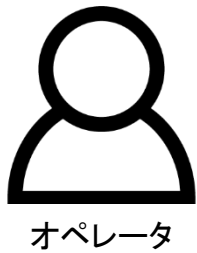
軌道計画アルゴリズム

- 目的地までの経路計算
- ロボットモデルと環境モデルとの衝突判定
→両者が干渉しない姿勢を計算

ロボット

- 各関節のモータ
- サーボコントローラ
- 統括コントローラ

各関節への指令



ゴールを指定

各関節の目標角度を出力

オペレータが再生速度を操作

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

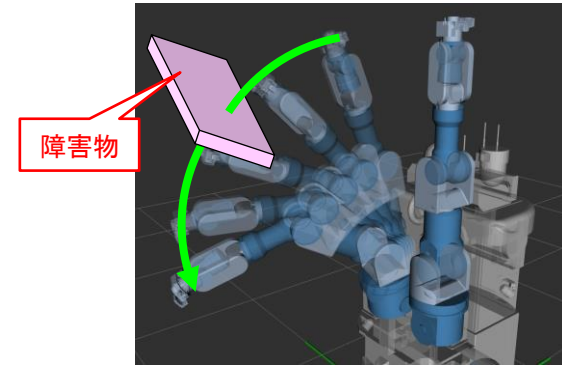
軌道計画の課題

- 障害物を見落とすリスクがある

スタートからゴールまでの経路を分割し、その分割した瞬間ごとに衝突判定を行っている。

⇒ 分割数が少ない(粗い)と、その中間の障害物を見落としてしまう。

分割数を増やすと、計算時間が長くなるトレードオフあり。

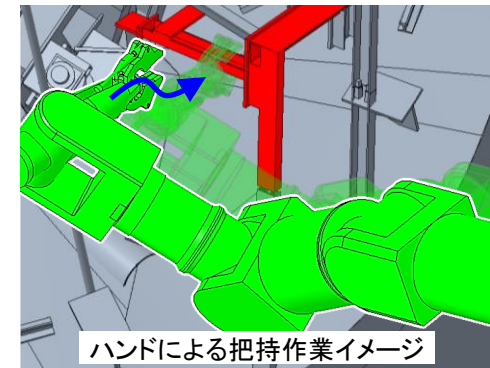


- 把持・切断等の高精度位置決め作業では、**手動操作に切り替える為、衝突リスクが高まる**

ハンドやカッターを対象物に微小移動させる際は、カメラ映像を頼りにミリメートル単位の微調整を行う為これまでの軌道計画では対応できず、手動操作に切り替える必要がある。

⇒ 手動操作ではオペレータの技量に大きく依存する為、特に初心者では衝突リスクが高い。

手先に意識が集中する為、肘などの衝突リスクが高い。



ハンドによる把持作業イメージ

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

開発内容

課題を解決する方策として、「軌道計画」を操作システムに組み込む。

軌道計画は下記の2種類で構成される。

神戸大学との共同研究

	大域軌道計画	局所軌道計画
概念図	<p>スタート (分割数:4 の例) ゴール</p>	<p>現在地 0.1秒後の位置姿勢</p>
経路計算	スタートからゴールまでの一連の流れ(離散的)	0.1秒後の位置姿勢のみ
衝突判定	ロボットモデルと環境モデルとの衝突判定により、両者が干渉しない姿勢を計算する	
計算時間	長い(分割数:20~30で1~2分)	短い(目標:0.1秒以下)
計算するタイミング	事前に計算し、オペレータがシミュレータ上で確認	
主な操作方法	フットペダル(踏込み量で速度調整)	リアルタイム(ロボットが動きながら逐次計算)
		ゲームパッド(手先位置・姿勢を操作)

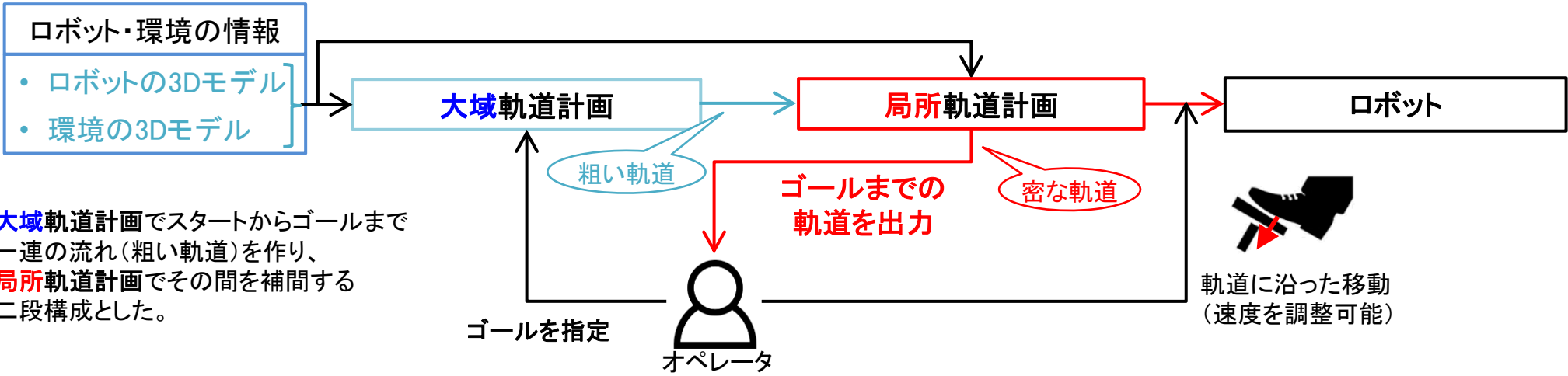
【追記】
 今回のモックアップ試験では、軌道計画のマージン値(ロボットと環境モデルとの隙間)を40mmに設定した
 (モックアップの製作精度、レーザセンサの計測精度、位置合わせツールの繰り返し精度の合計が約20mmなので、その2倍とした。
 ただし、クローラ移動による繰り返し位置決め精度は考慮していない)。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

軌道計画の課題解決策

障害物を見落とすリスクがある ⇒ 「局所軌道計画」によって障害物を見落とさない。



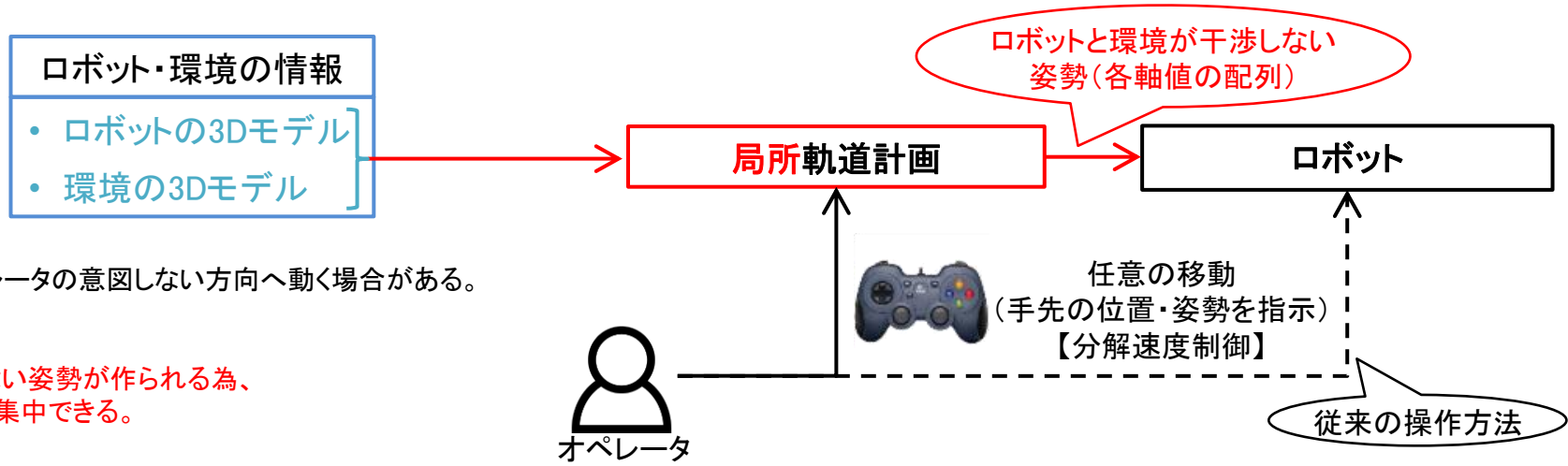
	大域軌道計画のみ	大域+局所軌道計画
シミュレーション動作	<p>障害物</p> <p>スタート</p> <p>ゴール</p> <p>障害物を見落とす</p>	<p>スタート</p> <p>ゴール</p> <p>障害物を回避する</p> <ul style="list-style-type: none"> ●大域軌道計画による粗い軌道 ●局所軌道計画による密な軌道

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

軌道計画の課題解決策

手動操作では衝突リスクが高まる ⇒ 「局所軌道計画」で衝突を回避する。



【従来の操作方法】
マニピュレータの肘がオペレータの意図しない方向へ動く場合がある。

【局所軌道計画】
リアルタイムで常に干渉しない姿勢が作られる為、オペレータは手先の操作に集中できる。

	従来の操作方法	局所軌道計画
シミュレーション動作	<p>障害物</p> <p>肘が障害物に衝突する</p>	<p>肘の回避運動</p> <p>肘が障害物を自動的に回避する</p>

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

モックアップ試験の前提条件

- 内部調査によって、ある程度の3Dモデルが構築されていることとする。ただし、誤差や不明領域(未調査エリア)があるものとする(3号機の現状を想定)。
- 多関節マニピュレータの障害物回避機能を有する遠隔操作システムを開発することが本開発の目的であり、その検証用題材として「双腕マニピュレータによるペDESTAL開口部付近の干渉物撤去作業」を取り上げる。なお、本技術は将来的に様々な環境・ロボットへの適用を目指すものである。よって、工法の詳細を掘り下げるのではなく、汎用的(一般的)な遠隔操作の手順(流れ)を検証・評価することをモックアップ試験の目標とする。
- 遠隔操作手順の一例として「切断」や「把持」のフローを組み込むが、ひとつひとつは深掘りしない(課題として整理しておき、別途、詳細検討を実施する)。

【本開発では深掘りしない項目】

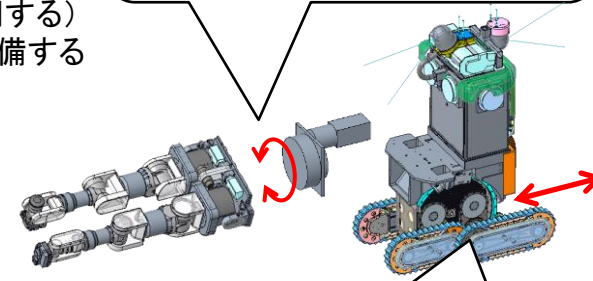
- ペDESTAL内で損傷した構造物が崩れないように、物理シミュレーション等を活用した撤去手順の策定(今回は対象外)
 - 対象を把持するグリッパ構造・把持手法(今回は試験用に簡易ハンドを使用)
 - 対象を切断するカッターの送り制御など(今回はカッターを対象に接触させるまで)
 - 耐放射線性を有したセンサ・機器の選定(今回は市販のカメラ・センサを搭載)
 - 単腕液圧マニピュレータへの適用性(今回は双腕電動マニピュレータのみ)
-
- マニピュレータを衝突させることなく、安全・効率的に作業する為の操作システムを開発することにフォーカスする。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】 ① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

モックアップ試験計画

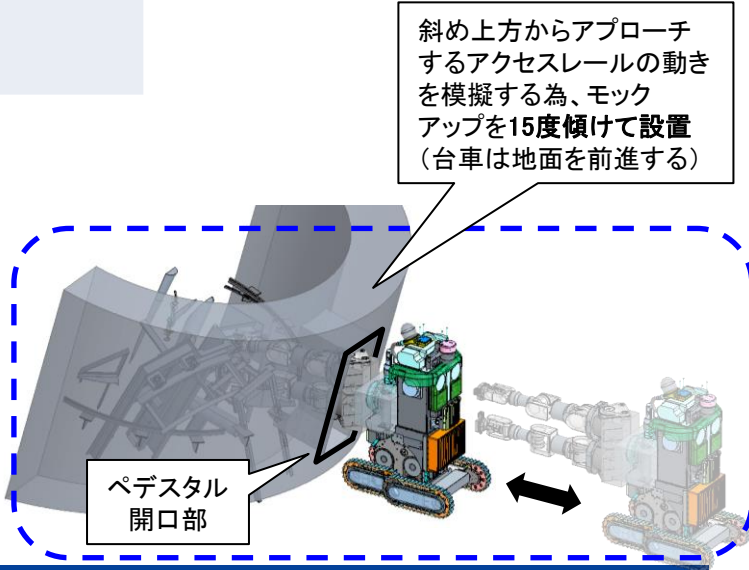
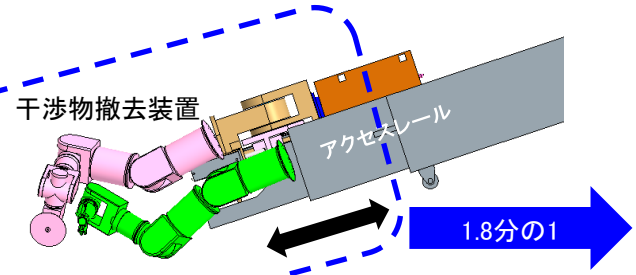
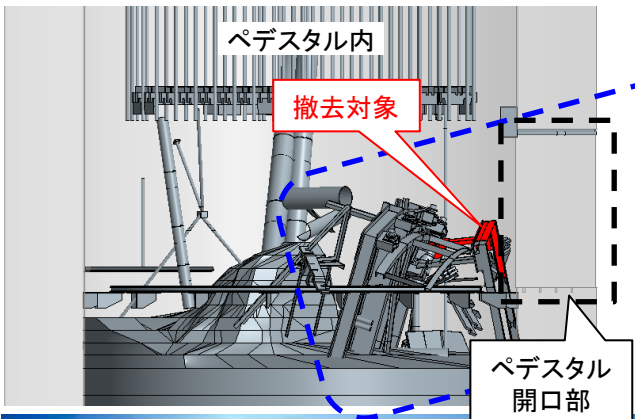
- ・ 干渉物撤去装置と軸構成が近い試験機を使用する(アクセスレールの直動を移動台車の前進で代用する)
- ・ 干渉物撤去装置の作業性を模擬する為、試験機の比率に合わせて縮小モックアップ(1.8分の1)を準備する

【モックアップ試験機の改造①】
実際の装置に合わせて**回転軸を追加**
(開口部を通過する際にマニピュレータを上下配置にする為)



【モックアップ試験機の改造②】
実際の装置に合わせて
台車のクローラ走行を直動軸として扱う
(アクセスレールの直動を模擬する為)

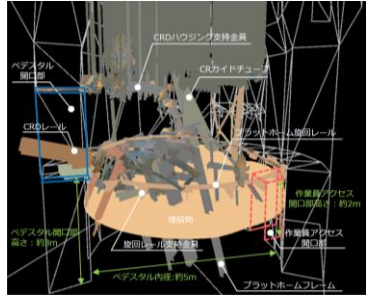
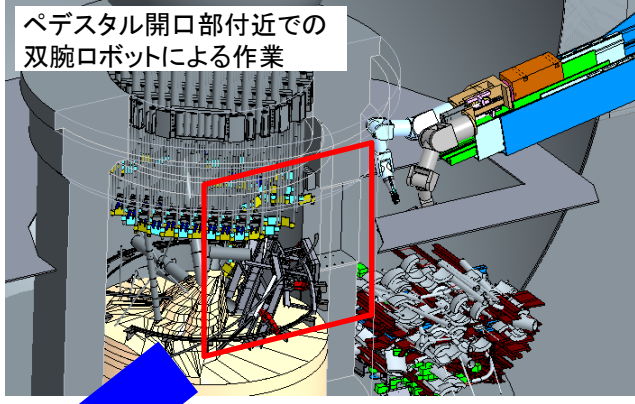
	干渉物撤去装置【検討中】	モックアップ試験機(上部階除染装置)
装置外観		
主な仕様	マニピュレータ: 8軸×2式 回転機構: 1 アクセスレール: 1(伸縮)	マニピュレータ: 8軸×2式 回転機構: 1(追加設置) 移動台車: 1(前進/後退)



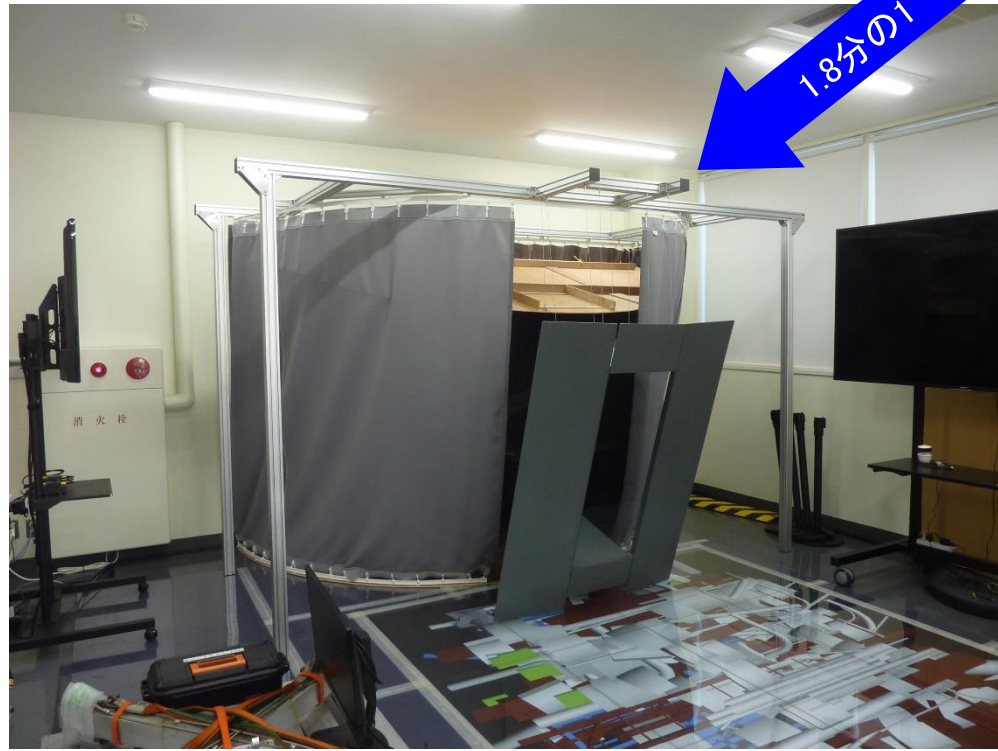
6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】 ① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

モックアップの製作状況

実際の環境状況に近い形で試験を行う為
3号機PCV内部調査(2017年)で得られた
ペDESTAL内部の3D損傷モデルを基に
1.8分の1モックアップを作成した
(試験時は消灯して暗闇を模擬)。



2017年7月の3号機PCV内部調査の映像から復元されたペDESTAL内部の3D損傷モデル



モックアップ外観(ペDESTAL開口部)



ペDESTAL内の損傷構造物モックアップ
(傾いたプラットフォームフレームが開口部付近に存在)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

モックアップ試験機

干渉物撤去装置(検討中)を模擬する為、モックアップ試験機にカメラを配置した。

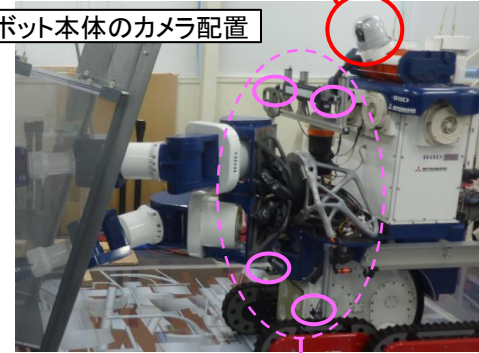
- 先端ツール:手の爪、カッターの刃を縦・横方向から位置決めする為、2箇所配置した。
- ロボット本体:上部にパンチルトズームカメラ、開口部の四隅に正対するよう四隅固定カメラを配置した。

環境内に俯瞰カメラを設置することによって状況認識しやすくなるのが期待できるが、初期段階で俯瞰カメラなしの難しい状況を模擬する為、このようなカメラ配置とした。

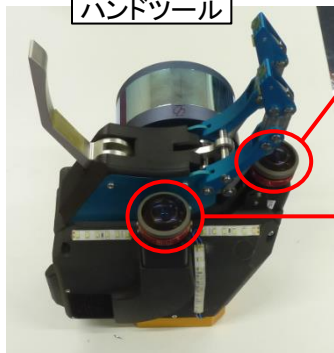
オペレータが監視するパンチルトズームカメラ映像



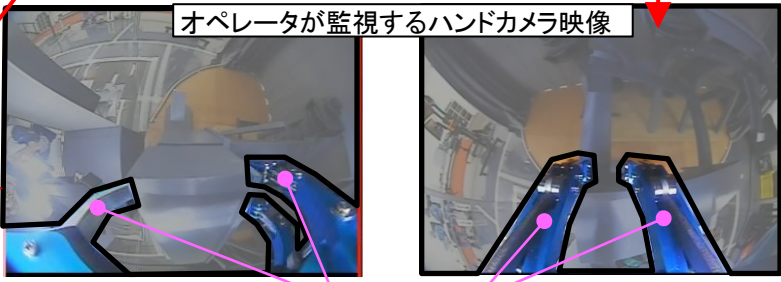
ロボット本体のカメラ配置



ハンドツール

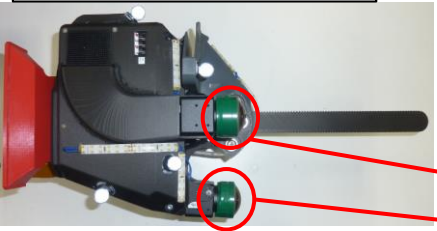


オペレータが監視するハンドカメラ映像

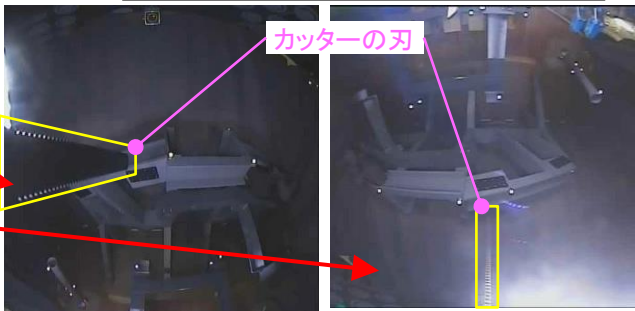


手の爪

カッターツール(セーバーソー)

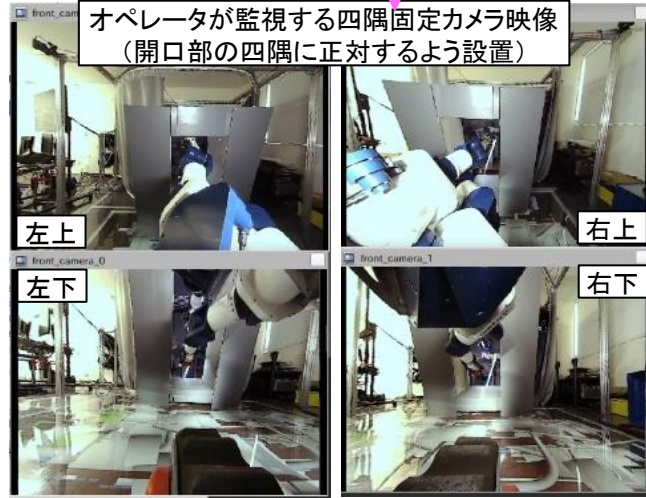


オペレータが監視するカッターカメラ映像



カッターの刃

オペレータが監視する四隅固定カメラ映像 (開口部の四隅に正対するよう設置)



6. 本事業の実施内容 【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

モックアップ試験条件

- 4人のオペレータに干渉物撤去試験1～4に取り組んでもらった(下表)。
(ペDESTAL開口部の中へ移動、撤去対象へアプローチ、把持、切断、搬出、回収容器へ収納する一連動作)
- 試験2～4の「イジワル要素」に関しては、オペレータには事前通達せず、実機操作(現場)でモックアップに仕掛けた「誤差」「突発事象」にどこまで対応できるか検証した。(「実作業を想定した様々な判断ステップを盛り込む」「作業実施そのものによる構造変化やトラブルに対してケーススタディを行っておくべき」とのコメントを反映)
- 各試験はそれぞれ「事前計画」(シミュレーション)として作業の成立性確認と軌道データ作成を実施し、その後現場で「実機操作」を行った(右図)。
(ただし、イジワル要素がある場合は、事前計画の軌道データでは対応できず、現場で環境モデルを修正し軌道データを再計算する等の対応が必要となる)



事前計画(シミュレーション)
4人のオペレータにそれぞれノートPCを提供し、会議室で一斉に試験の事前計画を実施



実機操作(現場)
事前計画で作成した軌道データを使って1人ずつ現場で実機操作

撤去対象	試験名	イジワル要素 (オペレータに事前通達なし)	概要
	試験1	なし (シミュレータとモックアップ現物とを一致させた標準的な試験 → 結果をスループット算出に使用)	—
	試験2	撤去対象の位置ずれあり(5cm)	
	試験3	離れた位置にあったパイプが撤去対象へ倒れてきた想定	
	試験4	試験開始時は奥にあった構造物が、把持・切断した直後に手前に崩れてきた想定	

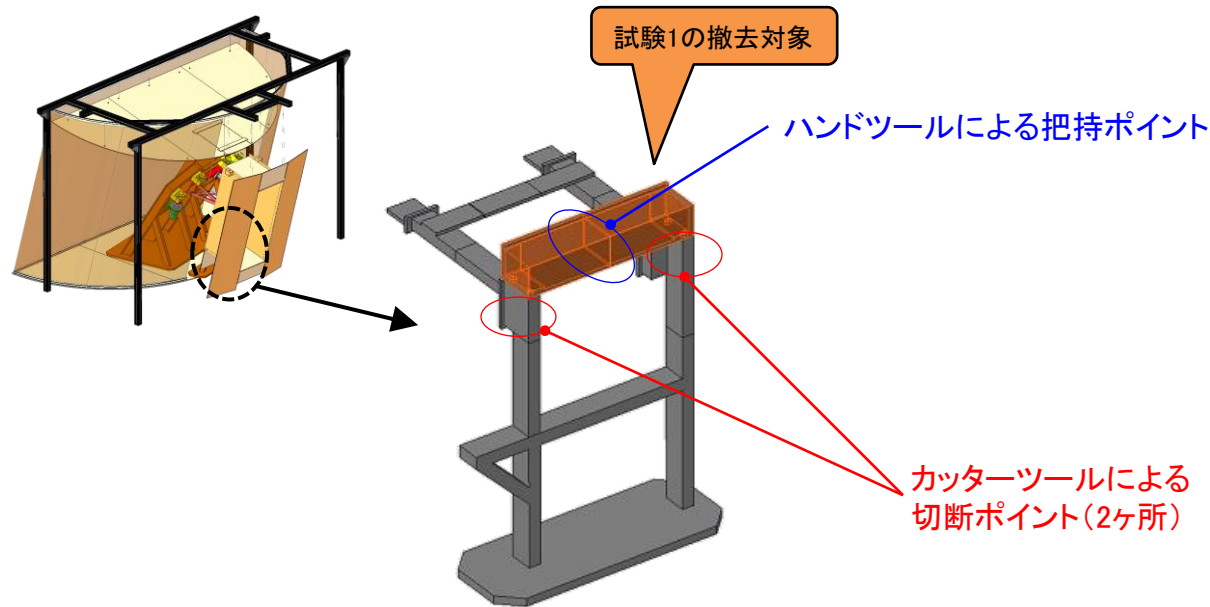
6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

試験1の特徴

- 標準的な試験
- イジワルなし:シミュレータ(環境モデル)とモックアップ(実物)を可能な限り一致させた状態。
ただし、クローラ移動による位置ズレが生じる為、適宜、位置合わせを実施する。*

※始めにスタート位置で位置合わせすることは必須とし、その後はオペレータの判断で位置合わせを実施した(試験1~4で共通)。

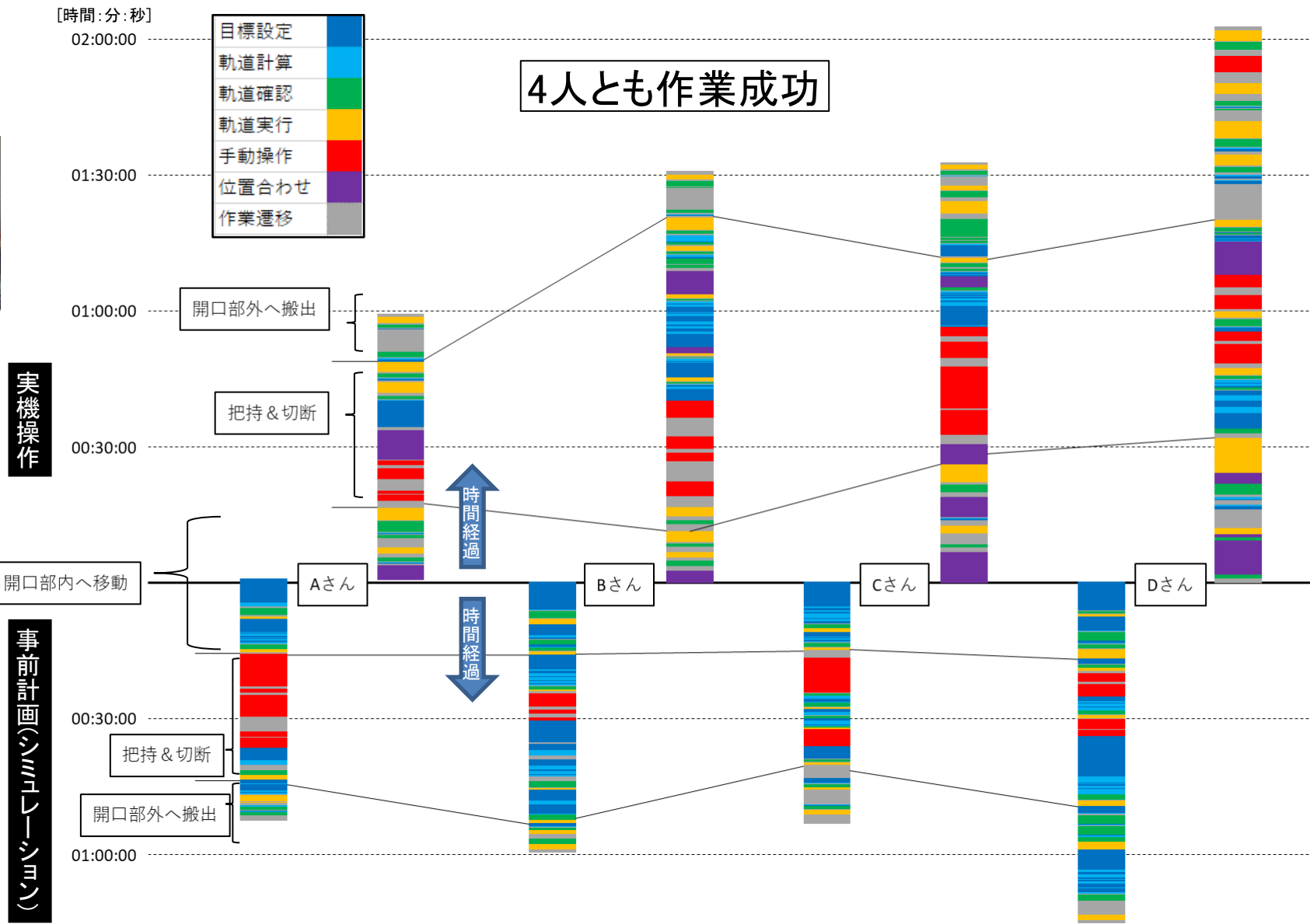


試験1の結果

- 4人全員が作業成功。
- 事前計画は4人とも1時間前後、実機操作は1~2時間だった。
- 4人の実機操作を基にスループット(位置決め、回収作業)を導出した。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】 ① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

試験1の結果



6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】 ① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

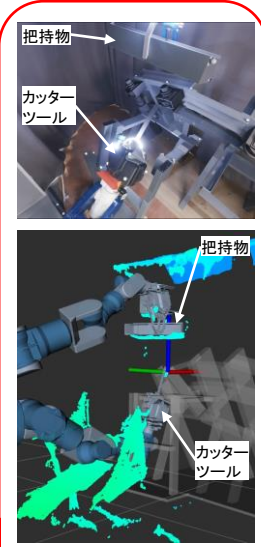
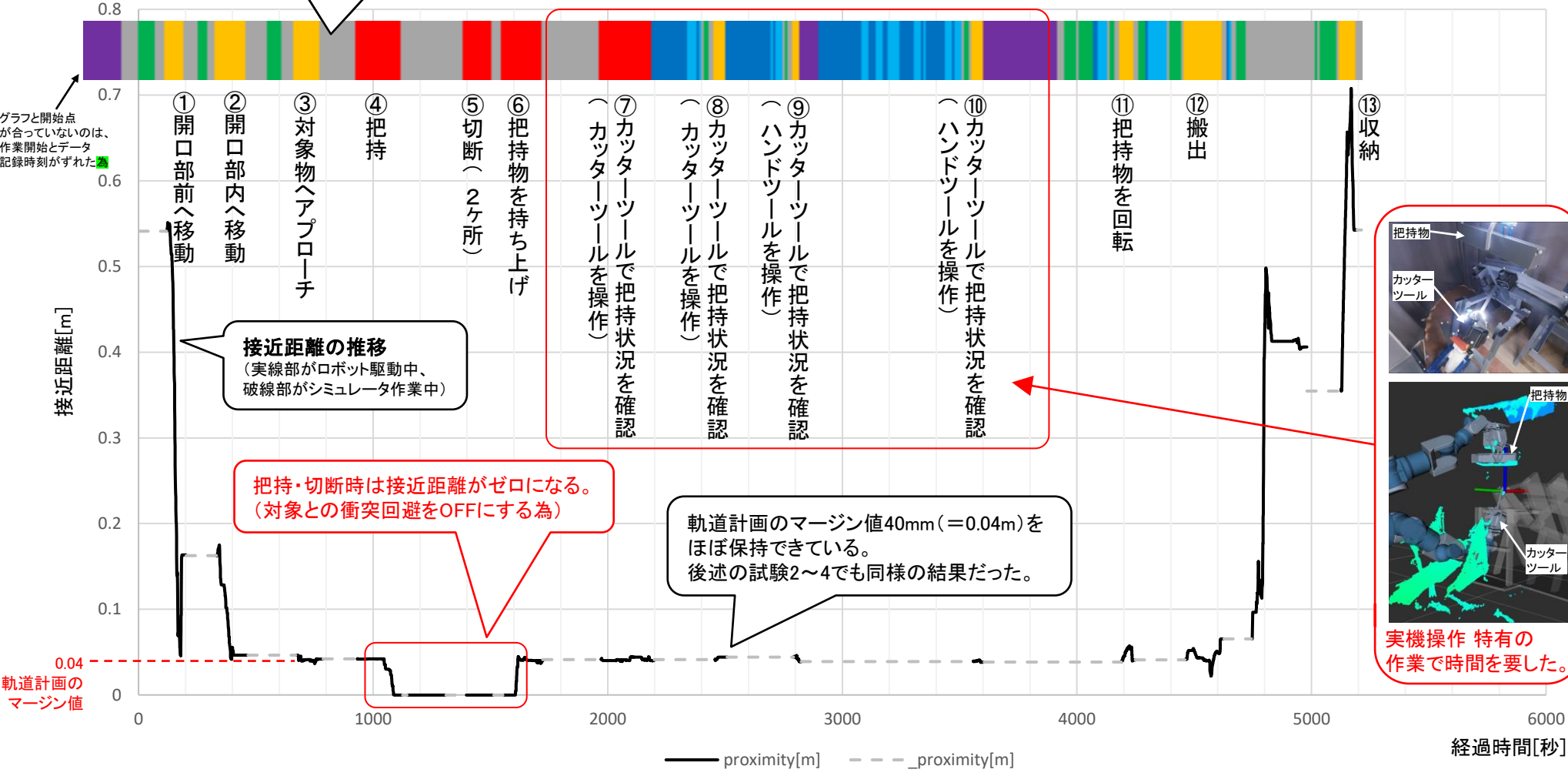
試験1の結果

目標設定	Blue
軌道計算	Cyan
軌道確認	Green
軌道実行	Yellow
手動操作	Red
位置合わせ	Purple
作業遷移	Grey

ロボットが動く
= 接近距離が変わる

オペレータの作業遷移と接近距離 (ログデータを解析)

作業遷移(前頁の棒グラフを横向きにした)



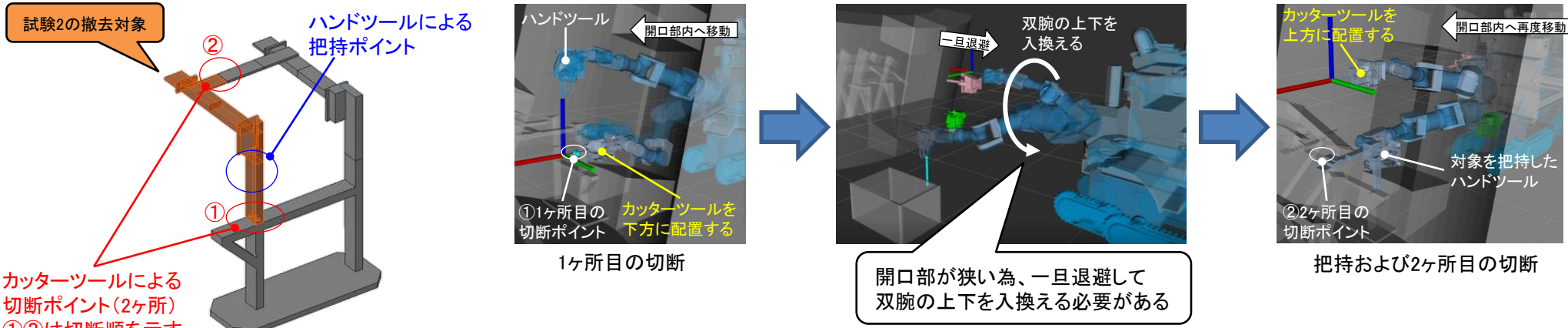
実機操作 特有の作業で時間を要した。

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

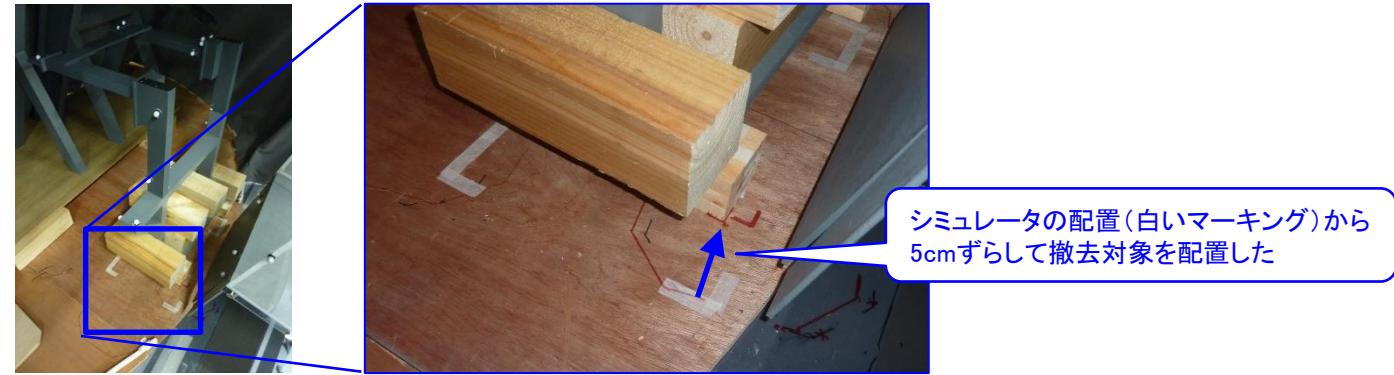
① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

試験2の特徴

- **手数が多**い試験
 - 2ヶ所の切断ポイントの間に把持ポイントがある為、「把持したまま2ヶ所を切断」できない。
 - 先に1ヶ所目を切断し、開口部外に退避して双腕の上下を入換えて把持+2ヶ所目切断



- **イジワルあり**:シミュレータ(環境モデル)に対して、モックアップ(実物)の撤去対象を5cmずらして設置。オペレータには伝えずに実機操作に臨んでもらった。

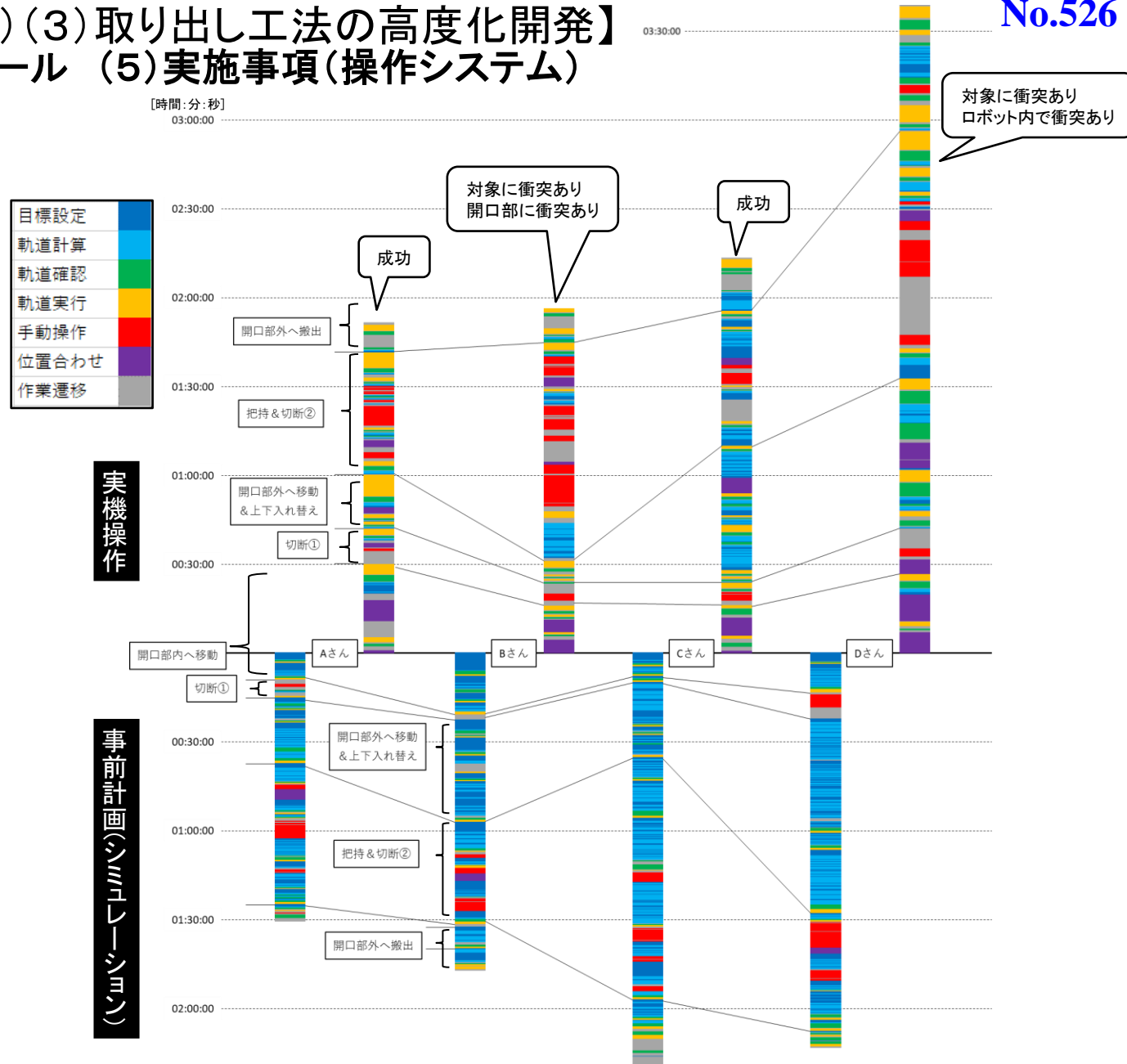


6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

試験2の結果

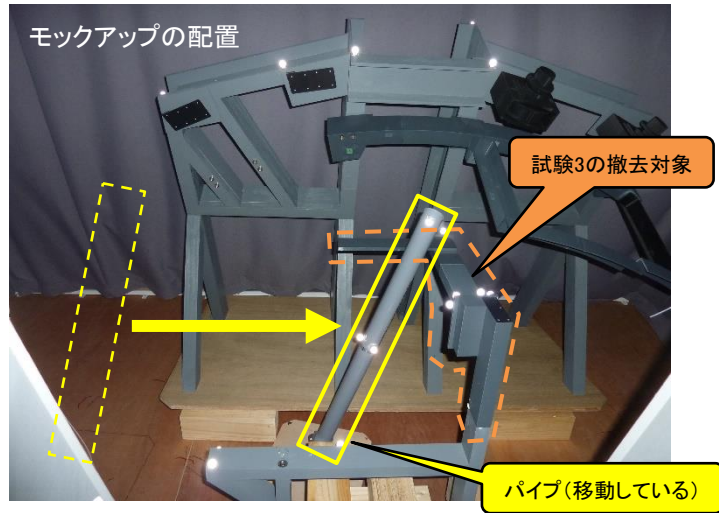
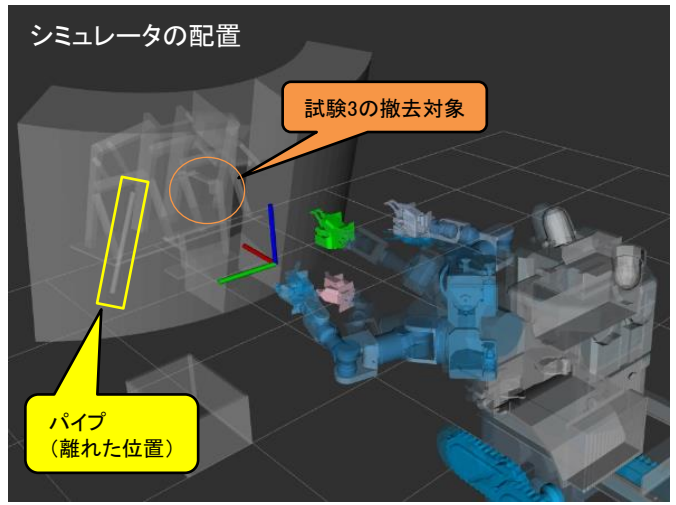
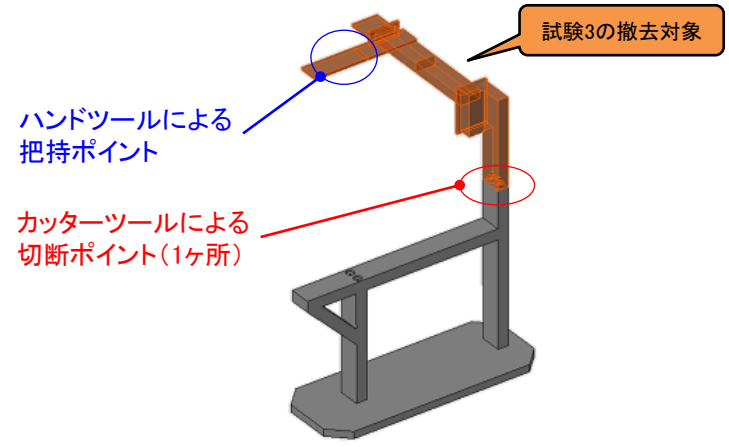
- オペレータA、Cが作業成功。
- イジワルの影響はなし。(5cm程度のずれは位置合わせによって補正される)
- オペレータB、Dは把持動作中にハントを対象に接近させすぎて、対象を押し倒した。(把持動作中はハンドの衝突回避OFF) → 出題者が対象を復旧して試験を続行した。
- オペレータBは衝突回避ONにも関わらず、開口部にマニピュレータの肘が衝突した。→ 詳細は後述 出題者が衝突状況を伝えて試験を続行した。
- オペレータDはロボット内で衝突が発生し(先端ツールと台車)、復旧に時間を要した(原因は出題者側の設定ミス)。



6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】 ① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

試験3の特徴

- シミュレータ上は容易な試験
- イジワルあり:
シミュレータ(環境モデル)では離れた位置にあったパイプが、モックアップ(実物)では把持ポイントの邪魔になる位置へ移動している。(パイプが倒れてきた想定)。
→ オペレータが環境認識できるか、その後どのように判断するか検証。

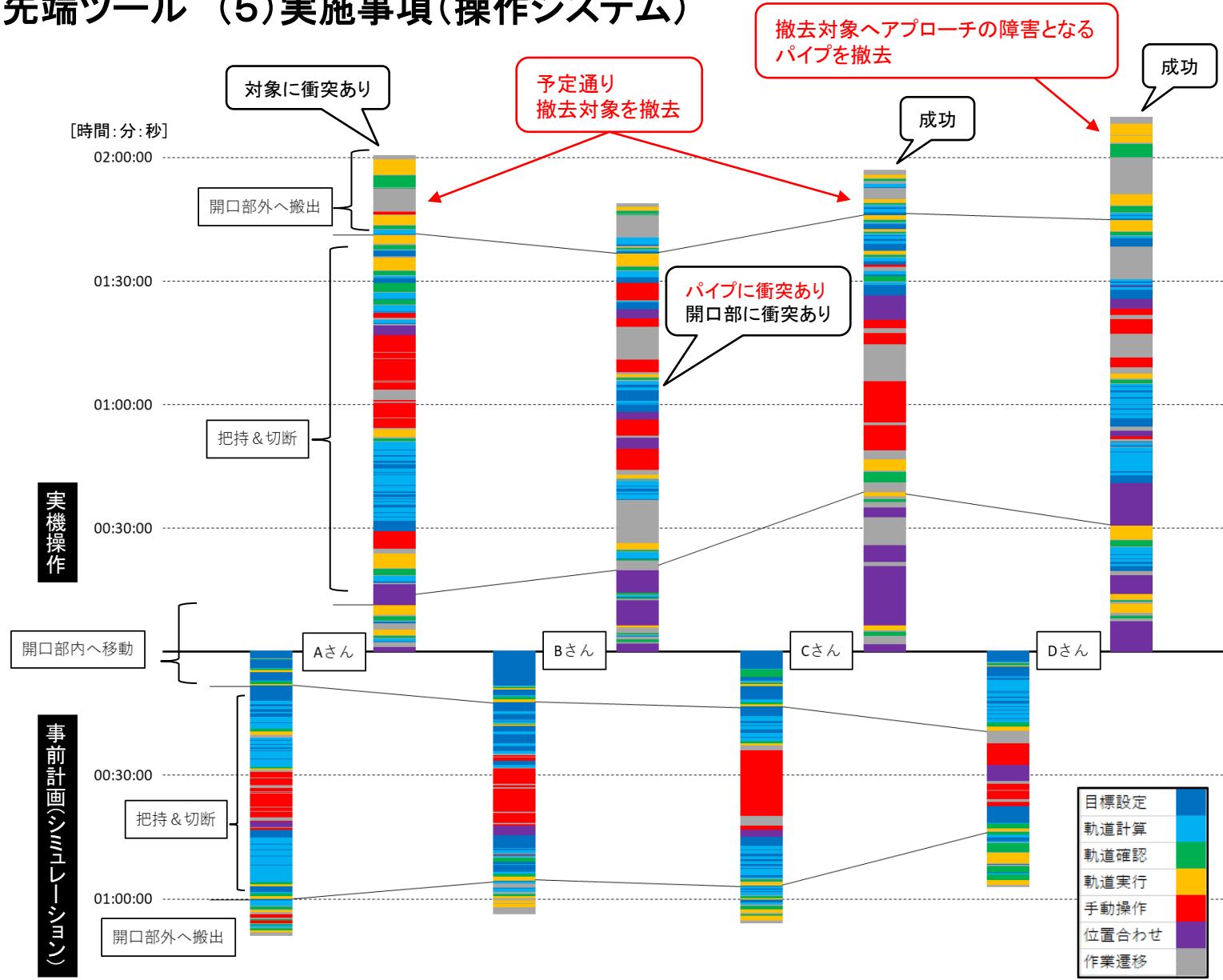


6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

試験3の結果

- オペレータC、Dが作業成功。ただしCは撤去対象を、Dは障害となるパイプを撤去した(オペレータごとに判断が分かれた)。
- オペレータAは把持動作中に手で対象を押し倒した(把持動作中は手の衝突回避OFF)。→出題者が対象を復旧して試験を続行した。
- オペレータBはパイプに気づかず、手をパイプに衝突させた。→出題者が衝突した旨を伝えて試験を続行。
- オペレータBは衝突回避ONにも関わらず、開口部にマニピュレータの肘が衝突した。→詳細は後述。



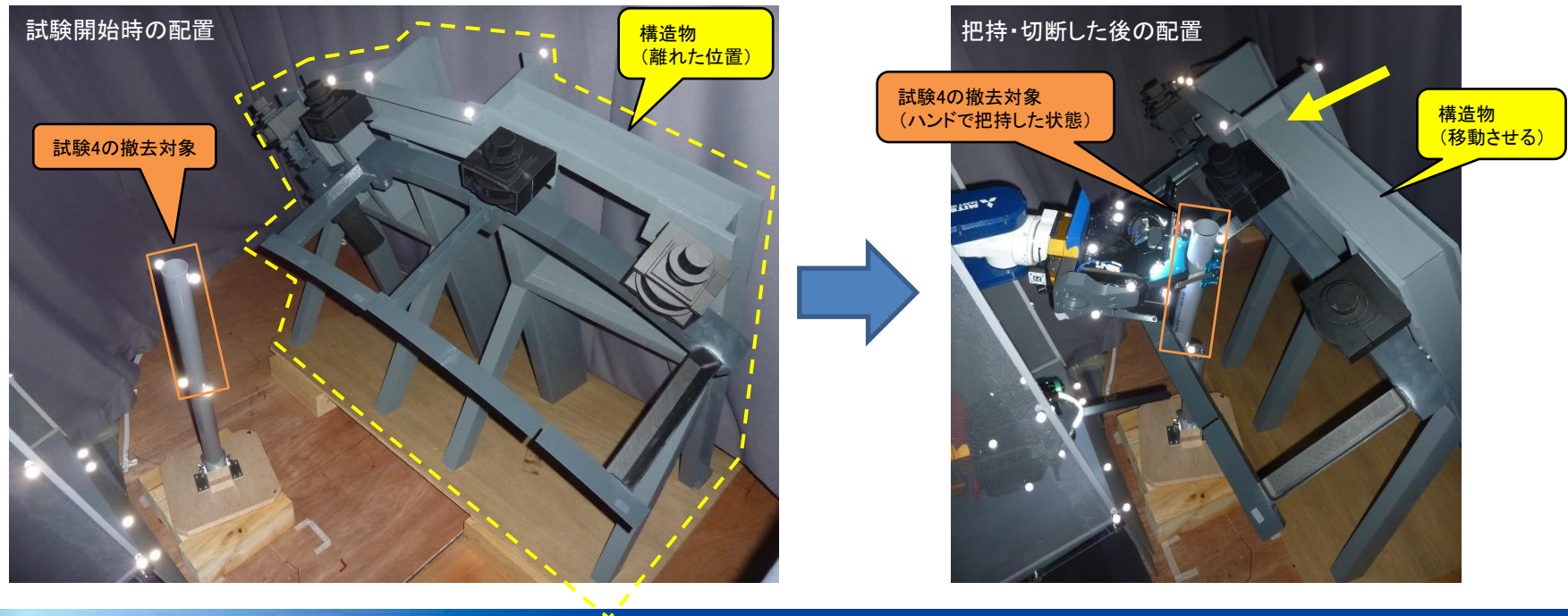
6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

試験4の特徴

- ・ シミュレータ上は容易な試験(試験1~4の中で最も容易)
- ・ イジワルあり: 試験開始時は離れた位置(奥)にあった構造物が、撤去対象(パイプ)を把持・切断した直後に手前に崩れてきた想定(試験を一時中断し、オペレータが見えないように出題者が構造物の位置を変える)。 → オペレータが環境認識できるか、その後どのように判断するか検証。

把持・切断前に全体像を確認できた試験3と比べると、試験4ではパイプを把持した状態で環境が変化する為、ロボットを自由に動かさず、狭い視野情報だけで環境認識しなければならない。



6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

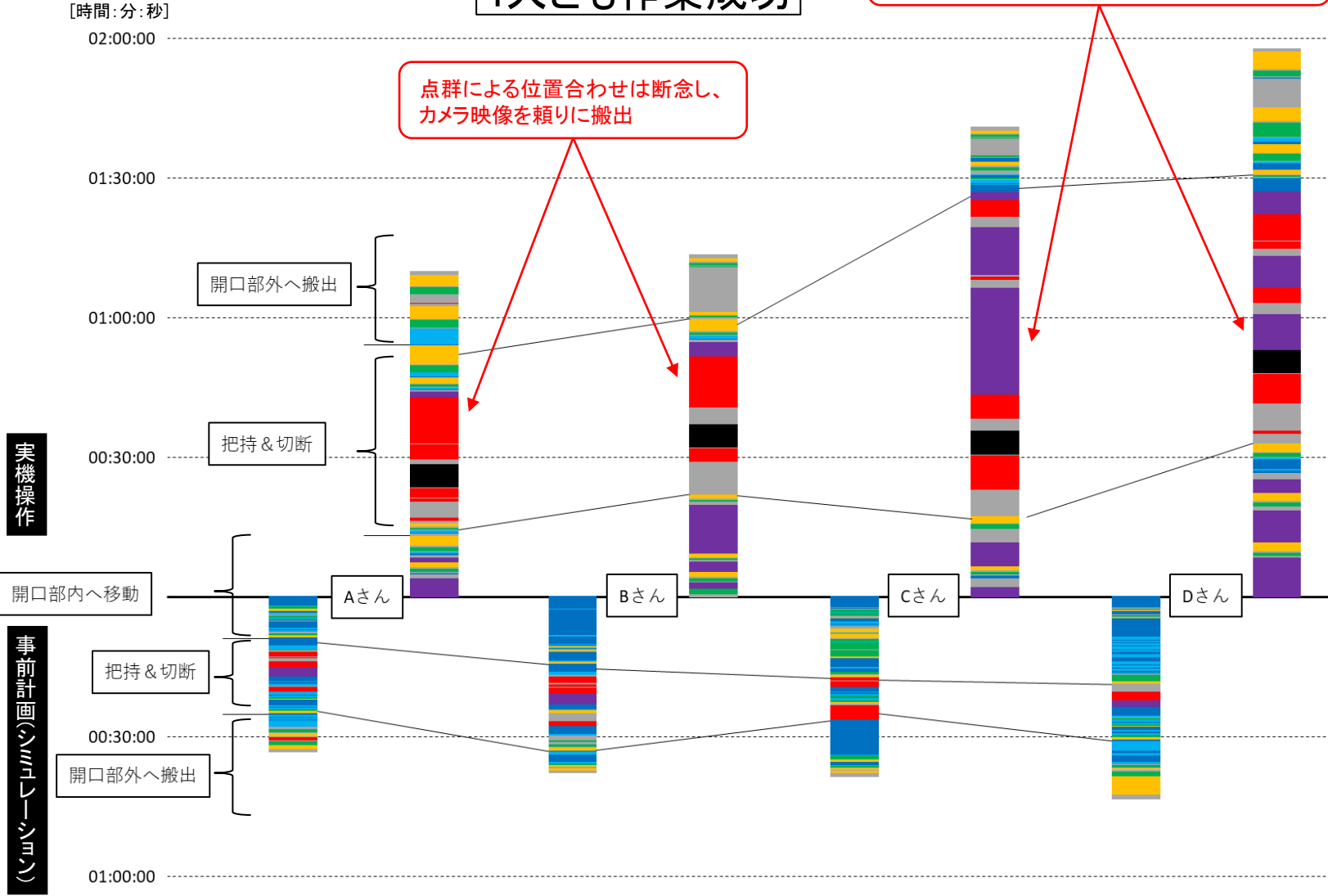
① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

試験4の結果

4人とも作業成功

点群とカメラ映像から構造物の位置合わせを実施した上で搬出

- 全員が作業成功。
- オペレータA、Bは点群による構造物の位置合わせは断念し、カメラ映像だけを頼りに搬出作業を実施した。
- オペレータC、Dは点群による構造物の位置合わせを実施した上で搬出作業を行った。



目標設定	■
軌道計算	■
軌道確認	■
軌道実行	■
手動操作	■
位置合わせ	■
構造物B倒壊	■
作業運移	■





6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

試験結果まとめ

- 4人のオペレータが、開発した操作システム(軌道計画)を用いて干渉物撤去のモックアップ試験に取り組んだ。操作システムの衝突回避機能によって、ペDESTAL開口部のような狭隘な環境でも一連の作業が成立することを確認することができた。また位置合わせ機能を使うことによって、シミュレータと現場とのずれ(誤差)や突発的な事象に対応できることも確認できた。
- モックアップ試験によって、位置合わせの重要性や把持動作中の衝突回避の必要性が明らかになった。また、オペレータが時間を要した作業項目が確認することができた。

試験2～4はイジワル試験であり、操作システムを用いた限界を見極めることが目的

撤去対象	試験名	イジワル要素 (オペレータに事前通達なし)	試験結果	備考
	試験1	なし (シミュレータとモックアップ現物とを一致させた標準的な試験 →結果をスループット算出に使用)	4人全員が作業成功	1～2時間で作業完了しており良好
	試験2	撤去対象の位置ずれあり(5cm)	2人が作業成功 2人が衝突あり	・位置ずれの影響なし ・把持動作中はハンドが寄り付けるよう、衝突回避機能をOFFする為衝突リスクが生じる。
	試験3	離れた位置にあったパイプが撤去対象へ倒れてきた想定	2人が作業成功 2人が衝突あり	・1人はパイプの移動に気付かず、衝突が発生 ・判断に個人差が生じた
	試験4	試験開始時は奥にあった構造物が、把持・切断した直後に手前に崩れてきた想定	4人全員が作業成功	4人とも部分的な情報から環境変化を適切に把握できた。

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

結果考察①

- モックアップ試験16回(オペレータ4人×試験1~4)の中で、**衝突事故が6回発生**
 - ハンドツールによる対象物押し倒し…4回 (残り2回はクローラ移動による横ずれが原因: 次頁に記載)

ハンドツールによる把持動作中にオペレータが注視していたカメラ画面



把持動作中はハンドが寄り付けるよう、衝突回避機能をOFFする為衝突リスクが生じる。

【対策】

- ① 接近距離を正確・精密に計測できる仕組み、もしくはルーズな位置合わせで相手に倣う把持機構の採用
- ② 人間の視覚認識特性を補完するような支援技術の開発

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

結果考察②

- マニピュレータ(肘)が開口部に接触…2回(どちらもオペレータB)
- 干渉回避機能はONだったが、**クローラ移動による横ずれが原因**
- オペレータBの特徴: ①加減速度が大きい → クローラずれが発生しやすかった(接触が発生した試験2、3で前後移動が多かった)
- ②クローラ移動の後で適切な位置合わせを行わなかった → ずれを補正できなかった

適切な位置合わせで解決可能と考えられる。(実際の装置では、レール移動なので横ずれは発生しない)

⇒ **【結論】適切な位置合わせにより、マニピュレータの干渉回避が実現可能**

試験3において開始時に対する終了時の横ずれ量をモーションキャプチャーで計測した結果と、ペダル操作の比較

オペレータ	横ずれ[cm]	縦軸:ペダル踏み込み量(0~1) (横軸:試験中の経過時間)
B	3.2	
C	1.5	
D	1.8	



オペレータBは、C、Dと比べてペダル踏み込み量大きい
 =動作速度が大きい
 かつ ペダル操作回数が多い
 ⇒ クローラずれが大きくなったと考えられる。

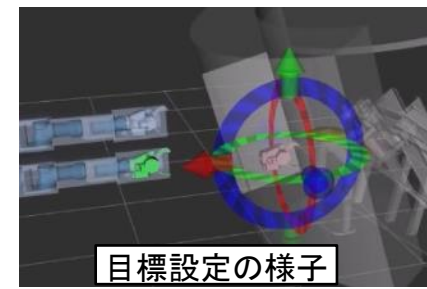
オペレータAはデータ取得できておらず

6. 本事業の実施内容 【 1) (3) 取り出し工法の高度化開発】

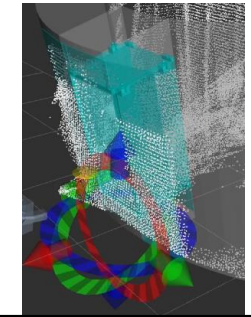
① 取り出し用遠隔先端ツール (5) 実施事項(操作システム)

結果考察③

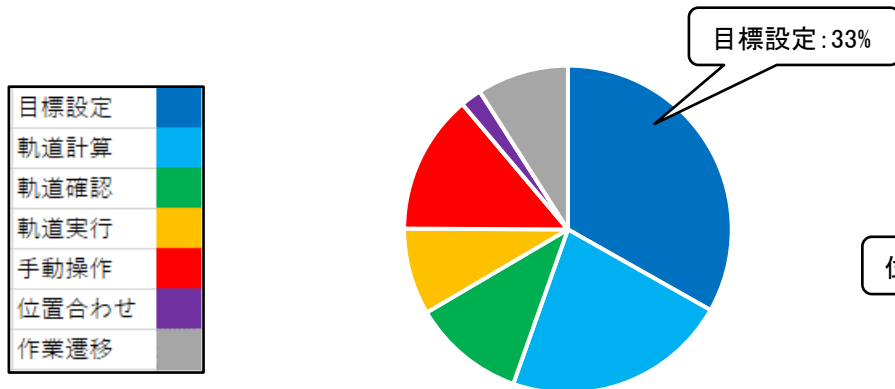
- モックアップ試験の結果分析により、更なる時間短縮の可能性あり。
 - 事前計画(シミュレーション)では「目標設定」に多くの時間(3割)を要していた。
 - 対象への自動位置合わせ機能などがあれば、時間短縮できる (オペレータから、「マウス操作で微調整しにくい」とコメントあり)。



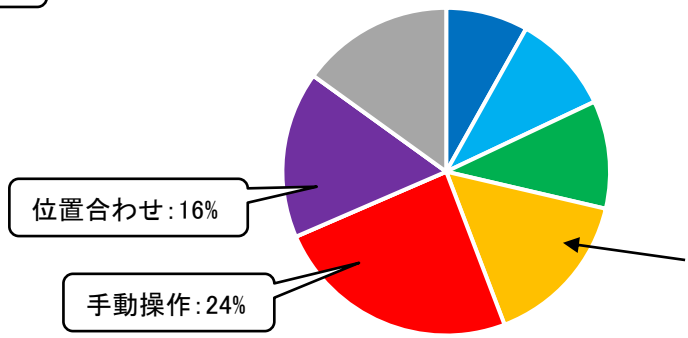
- 実機操作では、ロボットの駆動「軌道実行」「手動操作」「位置合わせ」が高比率だった。
 - 「手動操作」「位置合わせ」で半自動化によって時間短縮の可能性あり。



⇒ 【結論】自動化によって、更なる時間短縮の可能性あり。



事前計画(シミュレーション)の作業時間比率 (試験1~4、オペレータ4人の平均値)



実機操作(現場)の作業時間比率 (試験1~4、オペレータ4人の平均値)

「軌道実行」の比率も大きいですが、ペダル操作で軌道データを再生する方式で時間短縮を実施済みの為、これ以上の改善は難しいと思慮

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

✓ 成果の反映先への寄与

【成果】: マニピュレータの障害物回避を自動化すること。

【反映先】: 燃料デブリ取り出しで使用される遠隔操作ロボットを適用対象として開発を行うが、将来的には様々な作業・ロボットへの適用を目指す(環境モデルやロボットモデルを変更可能にする)。

【寄与】: 作業の安全性・効率の向上が期待できる。※

※2019～2020年度に実施した先行研究「視界不良かつ狭隘環境での遠隔操作支援手法の開発」にて、操作支援を行うことによって、ベテランオペレータの手動操作から約90%の操作時間低減、およびティーチングデータ作成時間の約80%低減が実現されており、本開発では、それらをさらに実用化・高度化させる。

✓ 現場への適用性の観点における分析

- 現場を模擬したモックアップおよび要素試験機を含む遠隔操作システムを用いて一連の作業成立性の確認を行うことによって、現場適用性の評価を行い、改善点を抽出する。
- モックアップ試験に参加する現場オペレータやマニピュレータ技術の有識者からのコメントを反映しつつ、燃料デブリ取り出し監視・支援・統合管理WGと連携することによって、現場適用性の高いシステムを構築する。

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (5)実施事項(操作システム)

✓ 目標に照らした達成度

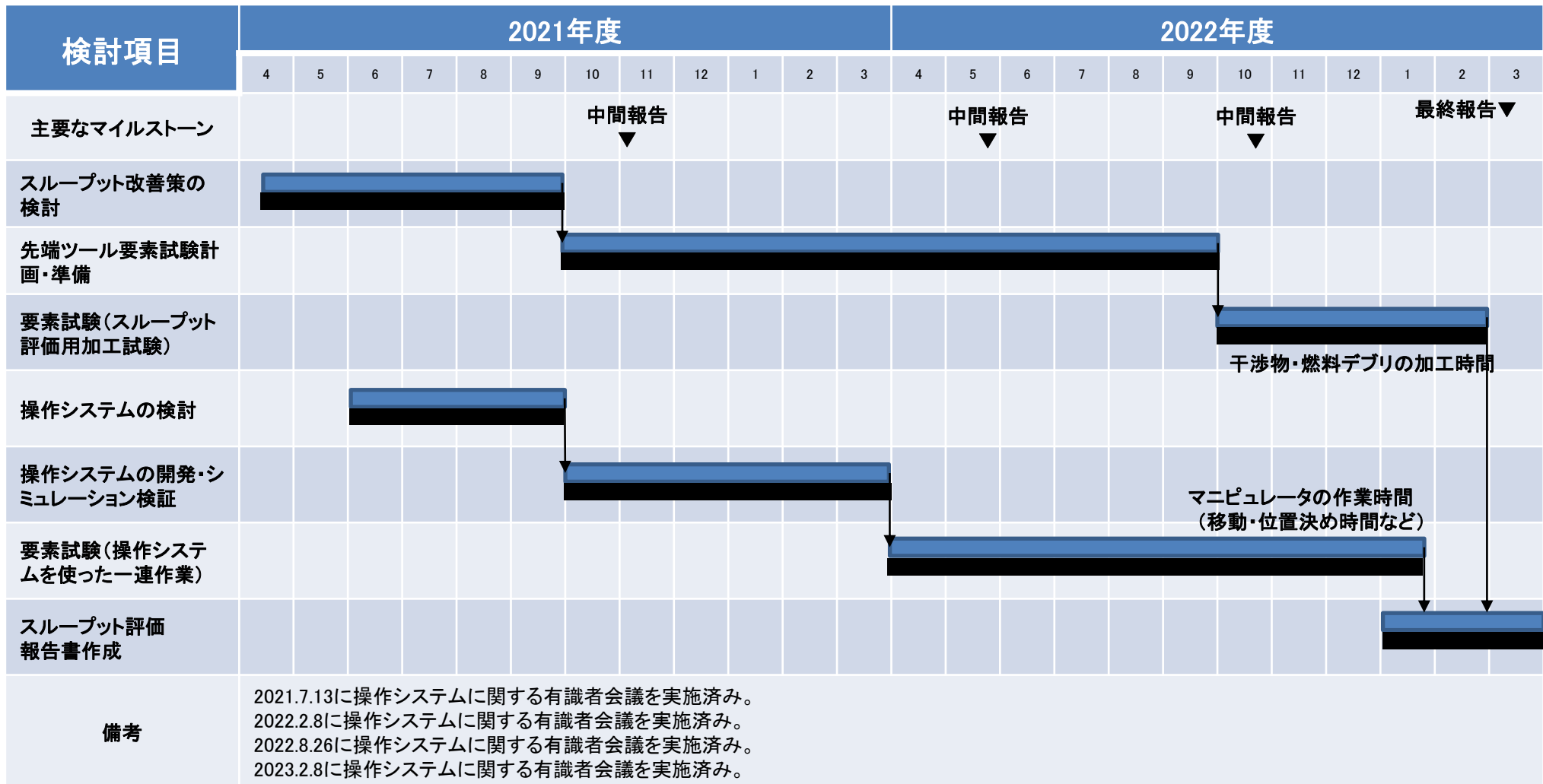
以下の全項目を達成(モックアップ試験にて実施済み)

- 操作システムの試作
- 干渉物の把持・切断・搬出手順の検討
- 一連の作業成立性の確認
- 作業手順の実績データを取得、整理
- スループット評価用データの作成
- 操作システムの適用条件や、想定されるトラブルに対するケーススタディの整理

6. 本事業の実施内容【1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (6) 開発工程

【凡例】 計画: 実績:



干渉物・燃料デブリの加工時間

マニピュレータの作業時間
(移動・位置決め時間など)

6. 本事業の実施内容 【 1)(3)取り出し工法の高度化開発】

① 取り出し用遠隔先端ツール (7)まとめ

先端ツール

- アクセス装置の仕様を考慮した先端ツールで加工試験を実施し、課題はあるものの実機適用の目処を得ることができた。また、加工速度、刃物寿命のスループット評価データの精緻化ができた。
- 上記スループット評価データを使用したスループット評価を実施し、スループットの精緻化ができた。
- 加工試験により、加工反力(刃物押付、刃物回転)のロボットアームへの要求値を取得することができた。
- 加工試験で明らかとなった課題に対し、対応案の立案ができた。

操作システム

- 4人のオペレータが、開発した操作システム(軌道計画)を用いて干渉物撤去のモックアップ試験に取り組んだ。操作システムの衝突回避機能によって、ペDESTAL開口部のような狭隘な環境でも一連の作業が成立することを確認することができた。
- モックアップ試験によって、位置合わせの重要性や把持動作中の衝突回避の必要性が明らかになった。また、オペレータが時間を要した作業項目が確認することができた。
- 今回のモックアップ試験で抽出した課題から、今後 更なる作業安全性・効率向上につながる項目を選定した。

6. 本事業の実施内容

2) 上取り出し工法の開発

(1) 大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発

① 大型切断工法

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為 大型一体搬出工法について2019年度からの開発で検討を進めている。その成立の為には、構造物の切り離しと搬出が必要になるが、前者においては、原子炉内においては蒸気乾燥器からスパージャ、シュラウド、ジェットポンプなど多種多様な機器で構成されている炉内構造物を高線量環境、狭隘エリアで切断し搬出する必要がある。また、原子炉内構造物以外のPCVヘッドやRPVヘッドなどの大型構造物も原子炉内へアクセスする為に、高線量環境下で切断し、搬出する方法を検討する必要がある。

燃料は溶融しRPV内に存在していると推定される為、金属である炉内構造物とセラミック系の燃料デブリを考慮し、切断して切り離す方法の検討を行い、模擬試験体による要素試験を実施する。また、PCVヘッドなどを含む切断後の構造物を大型搬送装置に搭載するまでの搬出方法について検討し現場適用性を評価する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.540

① 大型切断工法

目次

- 上アクセス工法に関するこれまでの開発成果と本事業との関連
- 課題、実施内容、得られる成果
- 工法概念と主要設備(連絡通路、増設建屋、作業容器等)
- 構造物搬出の基本的な考え方、工法ステップ

- 炉内構造物大型切断工法 開発方針
- 充填固化の適用範囲
- 炉内構造物大型切断工法
 - ・検討条件
 - ・切断方針検討
 - ・切断方法の選定
 - ・要素試験内容
(試験装置、パラメータ、項目)
 - ・要素試験結果
- 開発工程
- まとめ

- 充填材検討
 - ・2020年度成果
 - ・検討項目抽出
 - ・ドラム缶注入試験
 - ・2021年度成果および2022年度実施項目
 - ・珪砂充填量増加による対策
 - ・200Lドラム缶スケール試験
 - ・継ぎ足し施工(打ち継ぎ試験)
 - ・ α 線照射試験
 - ・貫通孔からの流出抑制方法の検討
 - ・炉内への充填施工方法の検討

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.541

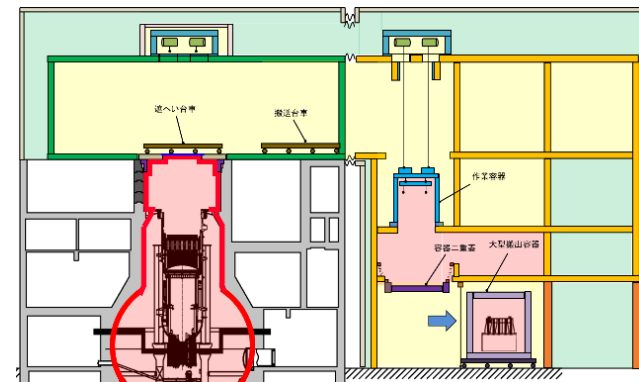
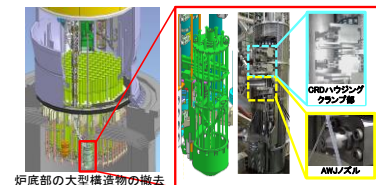
① 大型切断工法

上アクセス工法に関し、これまでの開発成果と本事業との関連について以下に示す。

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



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

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

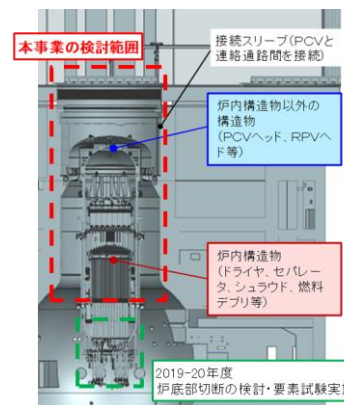
【取り出しコンセプト実現の為の技術開発】

- 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

隔離技術(2021-22年度実施)

【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

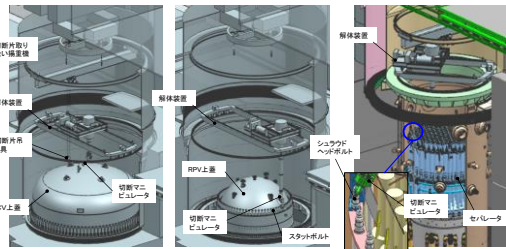
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.542

① 大型切断工法

上アクセス工法に関するこれまでの開発成果と本事業での開発項目について以下に示す。

赤字で記載した項目について、
本事業で技術開発を実施

大型切断工法

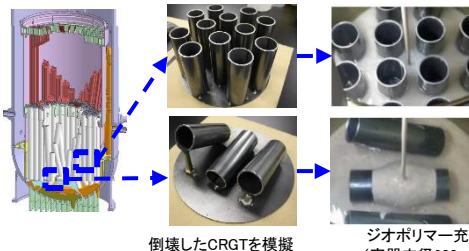
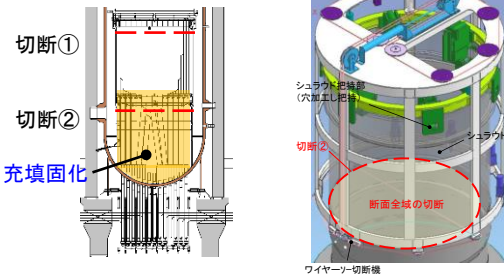


取り出し規模の更なる拡大PJ(2019-20年度)概念検討実施

炉内構造物以外の構造物切断工法

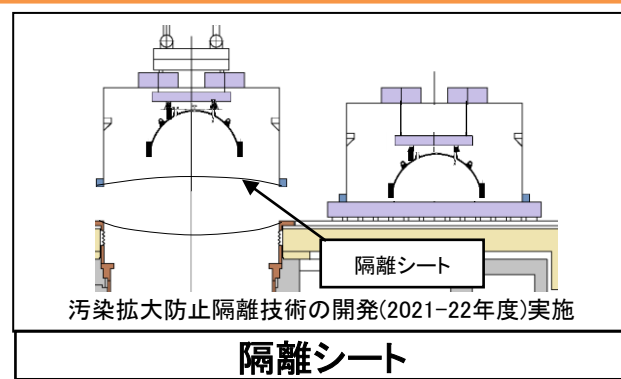
炉内構造物切断工法

充填切断イメージ



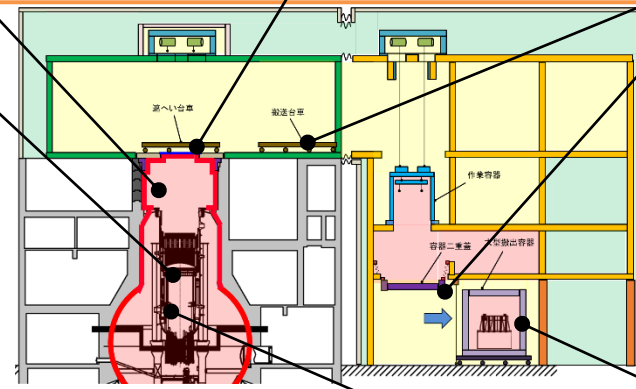
倒壊したCRGTを模擬
ジオポリマー充填 (容器内径300mm)

取り出し規模の更なる拡大PJ(2019-20年度)要素試験実施

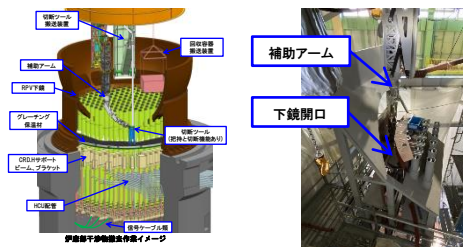


汚染拡大防止隔離技術の開発(2021-22年度)実施

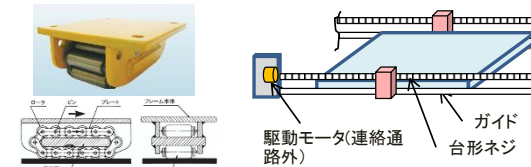
隔離シート



炉底部構造物切断



取り出し規模の更なる拡大PJ(2019-20年度)要素試験実施



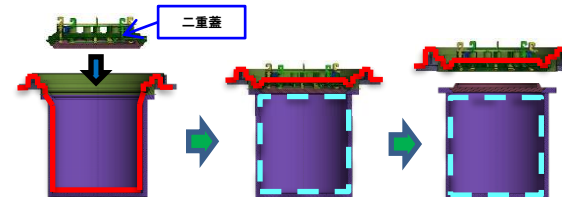
エンドレスコロ方式

台形ネジ駆動方式

取り出し規模の更なる拡大PJ(2019-20年度)概念検討実施

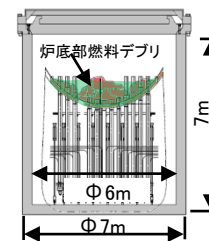
大型搬送装置

二重蓋の気密機構



安全確保PJ(2020-21年度)要素試験計画中

大型搬出容器



取り出し規模の更なる拡大PJ(2019-20年度)概念検討実施

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.543

① 大型切断工法

【課題】

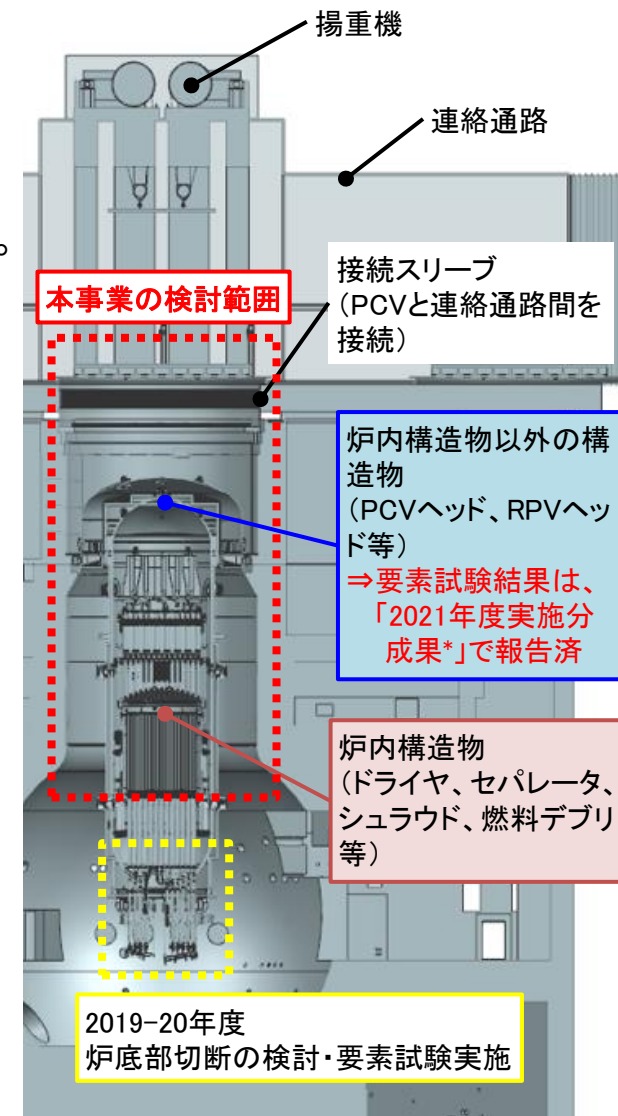
- ・ 高線量、狭隘環境で構造物を切断し搬出する必要がある。
- ・ 炉底部以外(炉心部の炉内構造物やPCV/RPVヘッド等)の構造物に関する、切断・撤去方法の検討および実現性の確認が必要。
- ・ 切断した構造物を連絡通路まで吊り上げる方法の実現性確認が必要。

【実施内容】

- ・ 検討に関わる前提条件を整理する。
- ・ 炉内構造物、炉内構造物以外の構造物に関して**切断し搬出する方法、手順の検討**を行う。
- ・ 炉内構造物の取り出しは、**燃料デブリを充填固化して搬出する方法を念頭に**、充填材を含めた金属、セラミック系材料の混合体を切断して切り離す方法を検討し、**要素試験を計画、実施して実現性を確認**する。
- ・ 炉内構造物以外の構造物は、原子炉ウェル内に取り合い対象となる接続スリーブの検討を踏まえて、**大型構造物であるPCVヘッドなどを切断する方法を検討し、要素試験を計画、実施して実現性を確認**する。(「2021年度実施分成果*」で報告済)
- ・ PCVヘッドなどを含む切断後の構造物を大型搬送装置に搭載するまでの搬出方法を検討し、現場適用性を評価する。

【得られる成果】

- ・ **炉内構造物切断方法の提示。**
- ・ **切断後の構造物を大型搬送装置に搭載する方法の提示。**



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.544

① 大型切断工法

大型切断工法の開発については、(a)～(c)の3項目に分割してそれぞれ開発を実施。本項(①項)にて報告
 検討状況(結果)と今回の報告対象は以下の通り。

項番	実施項目	検討状況(結果)	報告内容
①	大型切断工法	(a) 大型一体搬出工法 別補助事業(隔離技術PJ※)で実施中の隔離シートの適用方法を含めて、大型一体搬出工法の検討結果を整理。	概念検討結果および全体ステップ
	(b) 炉内構造物以外	原子炉ウェル内の構造物の内、RPVヘッドのスタッドボルトを切断する工法について検討、要素試験を実施。	「2021年度実施分成果*」で報告済
	(c) 炉内構造物	炉内構造物の切断方法について概念検討を実施し、要素試験を実施。	試験結果報告
②	大型搬出容器	大型搬出容器の試作を行い、安全確保PJにて試作した二重蓋と組合せた気密確認要素試験を実施。	概念検討結果および試験結果報告
③	大型搬送装置	大型搬送装置の駆動方式について比較評価を行い、電動コネクタ方式を選定し、要素試験を実施。	概念検討結果および試験結果報告

本項(①項)にて報告

②項にて報告

③項にて報告

※隔離技術PJ:「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)」PJ

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.545

① 大型切断工法

【大型一体搬出工法の前提条件】

✓ 大型一体搬出工法の検討に際しての前提条件は下表の通り。

ID.	前提条件	根拠	備考
1	上アクセス用の増設建屋は横アクセス用の増設建屋とは別に設置する。	上アクセスによる燃料デブリ取り出し工法は構造物を一体で搬出することを検討しており、横アクセスによる燃料デブリ取り出し工法との払い出し設備の共用は難しい。	上/横両アクセス用設備の1つの増設建屋での共用可否は別途エンジニアリングで検討が必要。
2	取り出し設備等を設置する連絡通路の荷重は架構を設置して地表面で支持する。	オペフロの耐荷重を考慮すると連絡通路の荷重を支持することは困難と想定。	
3	RPVヘッドの一体搬出後、RPVヘッドのフランジ面に取り出し用機器の荷重を付与可能。	現段階でRPVヘッドを支持できている為、RPVヘッド取り出し後であれば荷重付与可能と想定。	
4	RPV内の既設構造物荷重支持部(構造物上含む)に取り出し用機器の荷重を付与可能。	現時点で既設構造物の崩落は確認できていない為、荷重支持部は使用可能と想定。	
5	想定可能な最大形状で搬出する方法について検討を実施する。	損傷状態が未確認の為、取り扱い上最も難しい大型形状で検討。	炉内状況に応じて搬出寸法を見直す計画。
6	構造物の搬出時は、既設の吊り金具を使用可能とする。	既存の解析結果からセパレータ以上の高さの構造物は溶融温度に達していないことから、吊り金具は使用可能と想定。	
7	ボルト等の締結部は切断する方針で検討する。	ボルト等の締結部は変形、かじり等の影響によりボルトが回らない可能性等を考慮して検討する。	実機状況に応じて、ボルトを切断するか緩めるか等の評価が必要。
8	構造物の搬出には大型搬出容器を使用する。	大型搬出容器を使用して汚染拡大防止をする方針は維持する。	

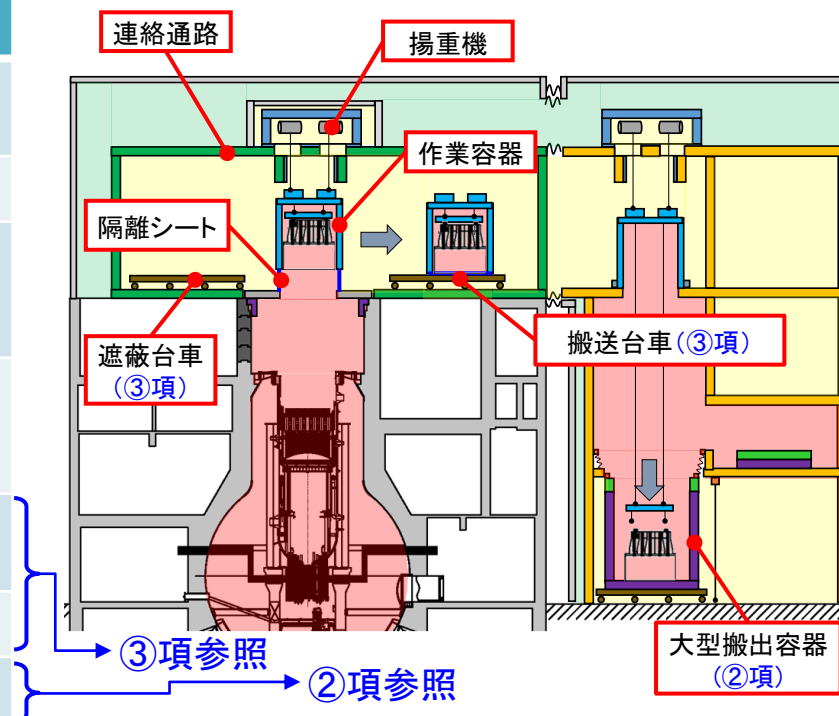
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.546

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【工法概念と主要設備】

- ✓ 燃料デブリ・構造物の切断・搬出作業は、作業容器内に設置した解体装置(PCV内アクセス装置)や揚重機を使用し、PCV内で実施。燃料デブリ・構造物は、可能な限り細断せず、大型一体状態にて取り出しを実施する。
- ✓ 大型一体状態で取り出した燃料デブリ(構造物)は、増設建屋内にて大型搬出容器に収納し構内移送を行う。なお、大型搬出容器内径以上の構造物(シールドプラグ・RPVヘッド等)は、増設建屋内にて切断し分割する。
- ✓ 隔離シート*は、作業容器離脱時の汚染拡大抑制を目的に、作業容器底面とウェル上に設置する。

No.	設備名称	仕様・機能
1	連絡通路	<ul style="list-style-type: none"> PCVと接続し、1次バウンダリを形成 放射性物質の閉じ込め・遮蔽
2	揚重機	作業用設備の昇降(搬送機能はなし)
3	作業容器	<ul style="list-style-type: none"> 連絡通路床面・RPVフランジ面等に設置され、内装する解体装置の昇降、および燃料デブリ・廃棄物を収納 作業中および搬出時の必要遮蔽厚を確保
4	隔離シート	作業容器吊上げ時に展開され、切り離すことで連絡通路とPCVの境界面にシートを形成し、作業容器離脱時の連絡通路への汚染の広がりを抑制
5	搬送台車	増設建屋・連絡通路間の設備・燃料デブリ・構造物(放射性廃棄物)の搬送
6	遮蔽台車	作業容器離脱時に原子炉ウェル上を遮蔽
7	大型搬出容器	PCV内から搬出した構造物(燃料デブリ)を収納し、移送。



*隔離シートに関する詳細検討・要素試験は、隔離技術PJ(「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)」PJ)にて対応。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.547

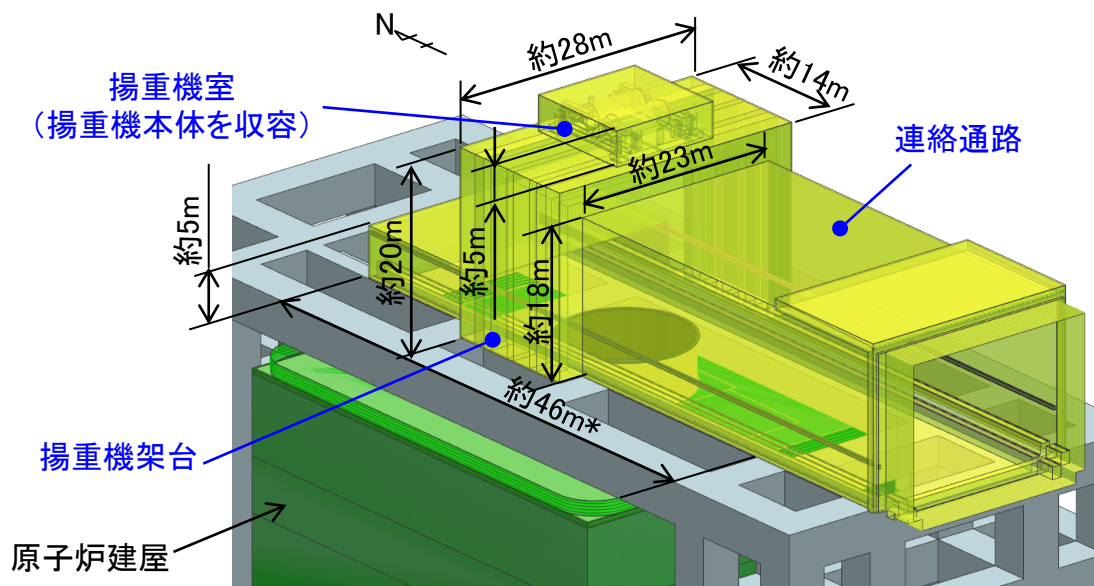
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【連絡通路に関する検討結果】

- ✓ 連絡通路は数千トンの質量となり、既設R/Bへの荷重が膨大となることから、R/B周囲に構台を設置し、当該構台上に設置する前提にて検討。
- ✓ 連絡通路は、揚重機方式の採用によりウェル以外の高さを低減。DSP上部については遮蔽台車の搬入のみとし、高さを更に低減(約5m)。
- ✓ 敷地境界線量を $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ とし、遮蔽厚を再計算。必要遮蔽厚は、連絡通路:58mm・作業容器250mmとなり、連絡通路および付帯設備を含め、約5600tonの見込み。

【連絡通路の仕様】

項目	仕様	
機能	<ul style="list-style-type: none"> 放射性物質の閉じ込め 放射線の遮蔽 	
サイズ	EW23 × NS46 × H18m	
質量	約5600ton (設備含む)	
遮蔽厚	連絡通路	58mm
	作業容器	250mm



連絡通路の外観イメージ図

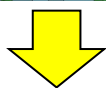
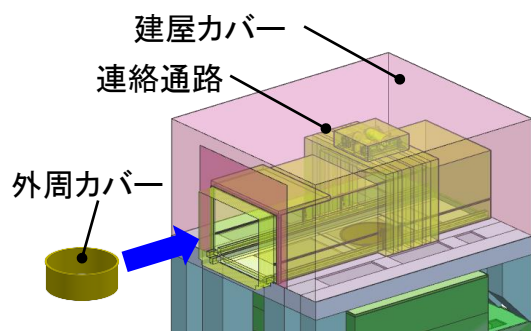
注) 連絡通路のNS方向の長さはR/B上部のみで、構台の長さを含まず。この為、構台の大きさにより取り出しセルの質量は増加する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.548

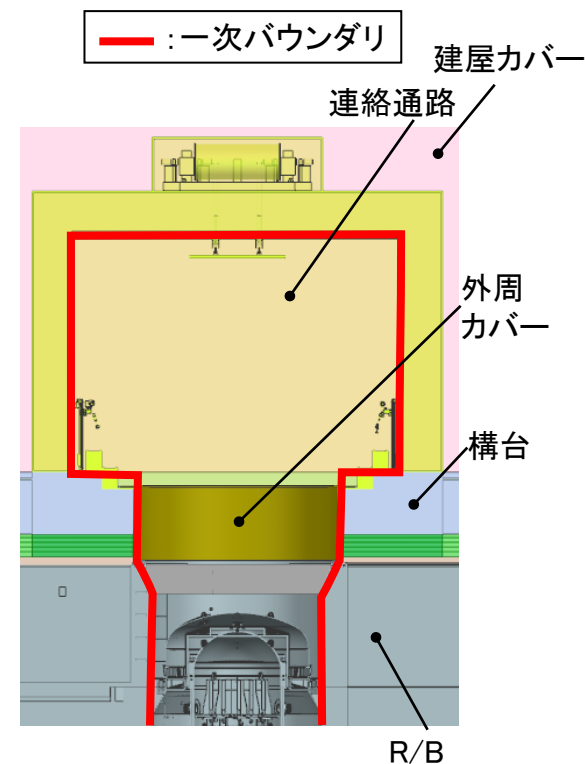
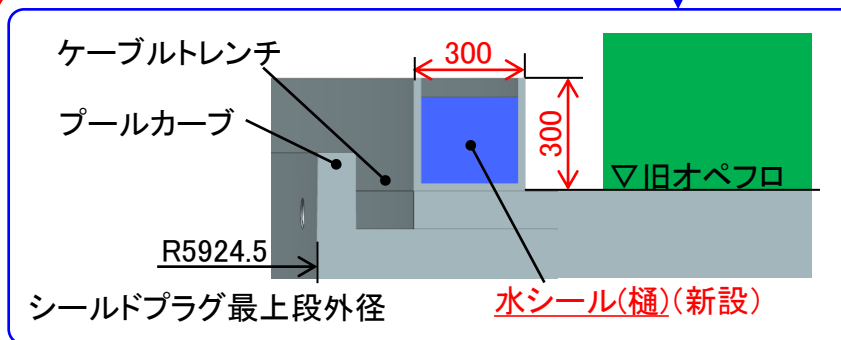
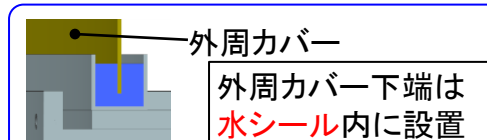
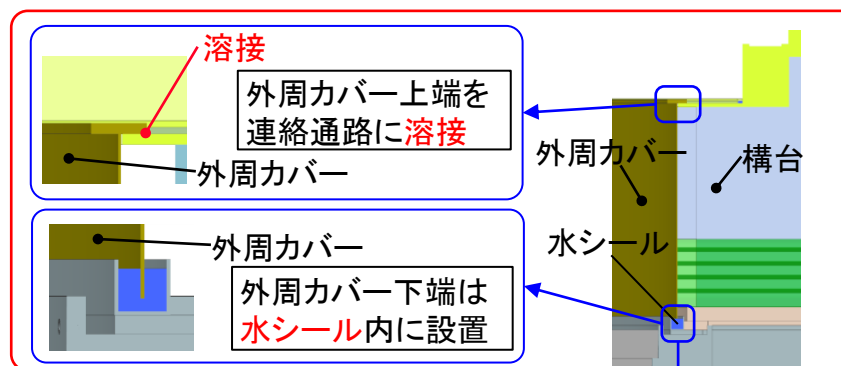
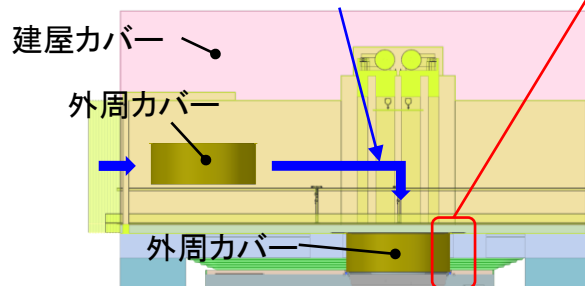
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【連絡通路とPCV間の接続方法】

- ✓ 旧オペフロと連絡通路間の変位は、外周カバー(旧オペフロー連絡通路間に設置)を樋(水シール/旧オペフロ側に設置)内へ挿入することで吸収。
- ✓ PCV、ウェル、連絡通路および外周カバーで、1次バウンダリを形成。



外周カバーを取り出しセル内から設置



外周カバーの搬入・設置イメージ
(連絡通路設置時の搬入パターンもあり)

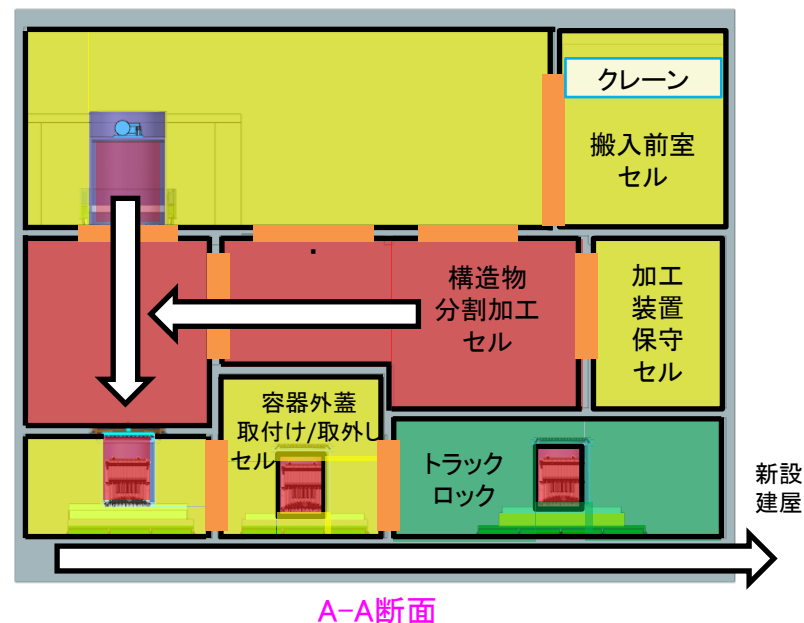
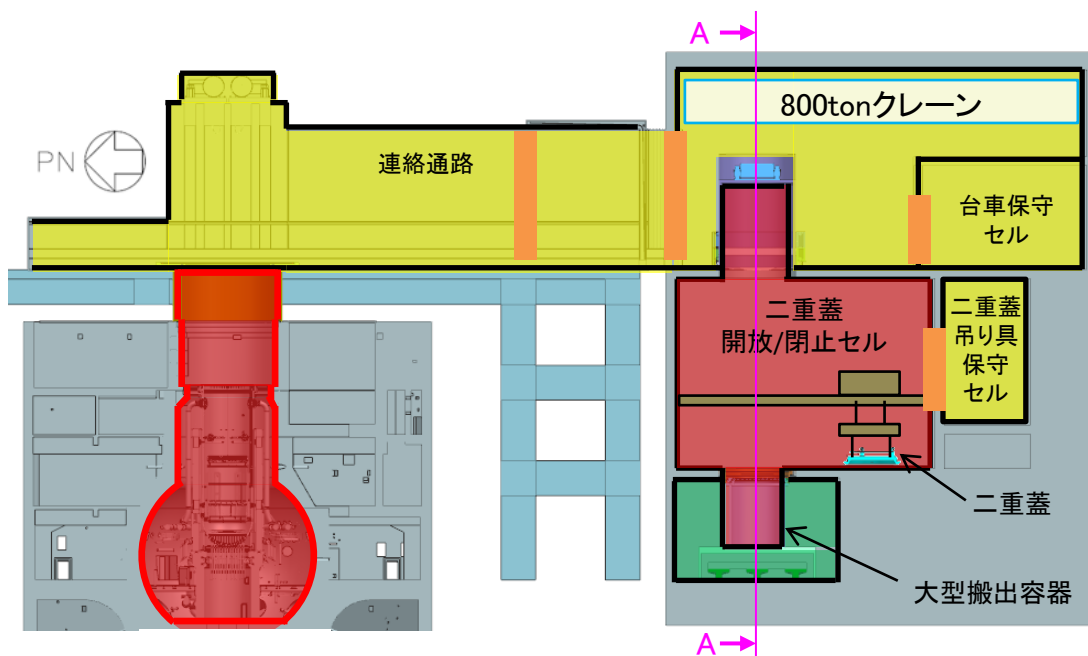
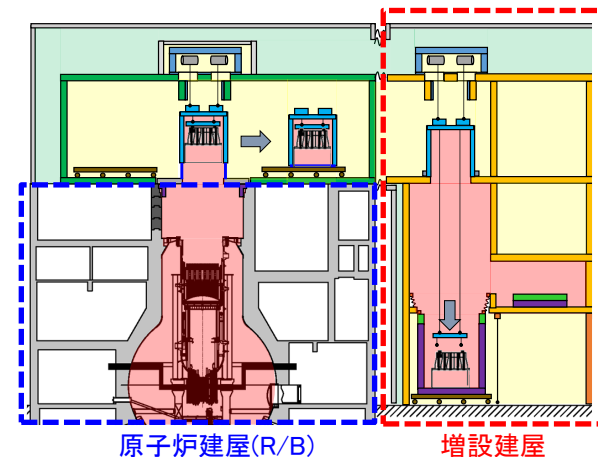
一次バウンダリ構成概略図

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.549

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【増設建屋の配置検討結果(1/3)】

- ✓ PCV内から大型一体状態に取り出した建造物・燃料デブリは、大型搬出容器にて移送を計画。
- ✓ 大型搬出容器にて移送する為には蓋締め作業や一部建造物(大型搬出容器の内径以上のもの)の分割作業が必要。それら作業に加え、搬送台車やPCV内で使用する作業装置の保守作業を行う為、R/Bに隣接した増設建屋が必要。
- ✓ 増設建屋について、必要な作業プロセスおよび装置/設備サイズを考慮し、配置検討を実施。

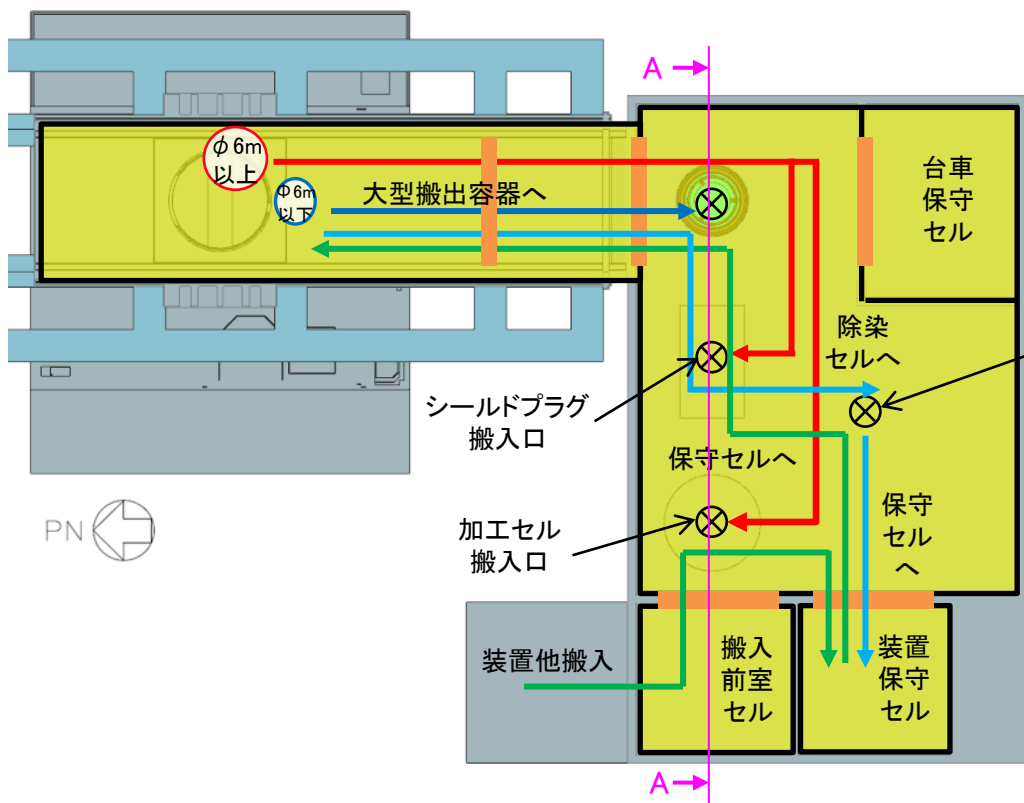


増設建屋の配置検討結果:大型一体建造物の移送動線

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.550

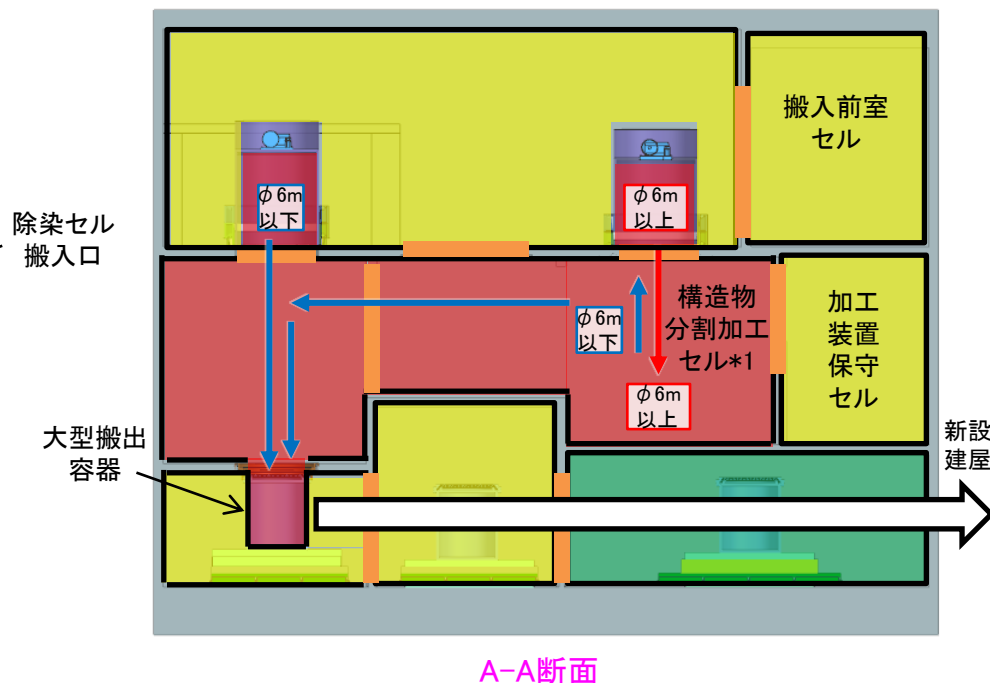
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【増設建屋の配置検討結果(2/3)】



【動線矢印の凡例】

- : 装置他の搬入動線
- : $\phi 6\text{m}$ 以上の構造物移送動線
- : $\phi 6\text{m}$ 以下の構造物移送動線
- : 装置他の除染・保守動線



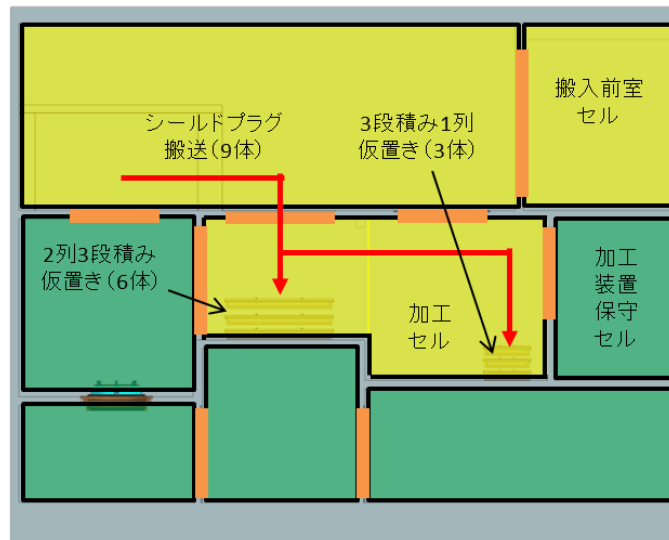
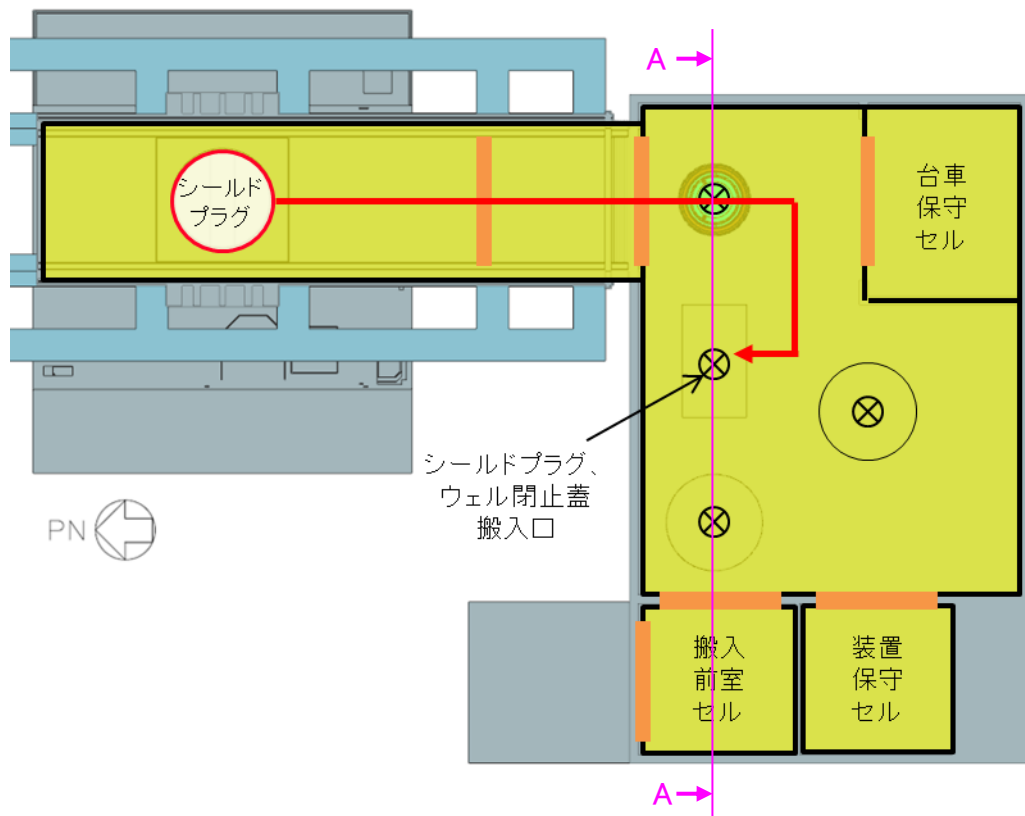
- *1 構造物分割加工セルでの作業内容:
- ・構造物($\phi 6\text{m}$ 以上)の切断(ソー、レーザ、AWJ等)
 - ・ $\phi 6\text{m}$ 以下に切断した構造物の搬送・大型搬出容器への収納(天井クレーンの使用を想定)

増設建屋の配置検討結果:大型一体構造物(シールドプラグ以外)の移送動線

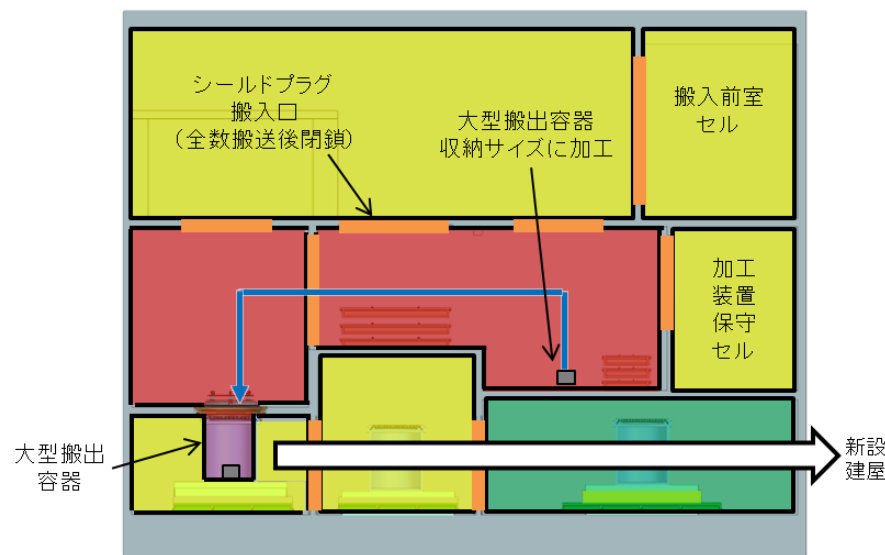
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.551

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【増設建屋の配置検討結果(3/3)】



A-A断面(加工セルへ移送)



A-A断面(加工後の移送)

増設建屋の配置検討結果:シールドプラグの移送動線

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.552

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【作業容器に関する概念検討結果】

- ✓ 作業容器は、可能な限り径・高さを共通化することで対応。加工用と搬出用で容器内の構成を変える必要があり、それぞれ専用化。炉心部・炉底部は炉内構造物と比較し高重量であることから、揚重機を大型化。
⇒合計3種類の作業容器を準備
- ✓ 作業容器の設置位置は、取り出し対象に応じ変更（揚重機の揚程低減）。

搬出対象物に対する作業容器設置位置と使用する作業容器一覧表

搬出対象物	PCVヘッド、RPVヘッド保温材、RPVヘッド	ドライヤ、セパレータ、FDW/CS等	炉心部・炉底部
作業容器設置高さ	オペフロ上(セル床面)	RPVフランジ面	
作業容器(切断時)	作業容器①		
作業容器(搬出時)	作業容器①'		作業容器②(重量物搬出用)
作業容器設置イメージ			

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.553

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【作業容器に関する概念検討結果】

✓ 一体搬出工法で使用する3種類の作業容器の構成は、以下の通り。

*揚重機室を除く

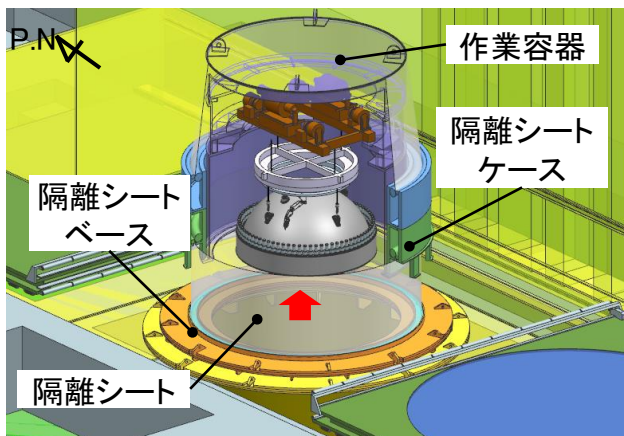
	作業容器①	作業容器①'	作業容器②
イメージ図	<p>ケーブルベア 揚重機 解体装置</p>	<p>揚重機 吊り具</p>	<p>揚重機 吊り具</p>
用途	建造物・燃料デブリの 切断	建造物・燃料デブリの 搬出	炉心部・炉底部の 搬出
内蔵設備	揚重機、ケーブルベア、解体装置	揚重機(150ton)、吊り具	揚重機(400ton)、吊り具
寸法[mm]	φ 8900 × H9500	φ 8900 × H13270	φ 12600 × H11840 (φ 6000 × H7770:揚重機室を除く)
質量[ton] (容器のみ)	約680	約680	約410
遮蔽厚[mm]	250	250*	250*

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.554

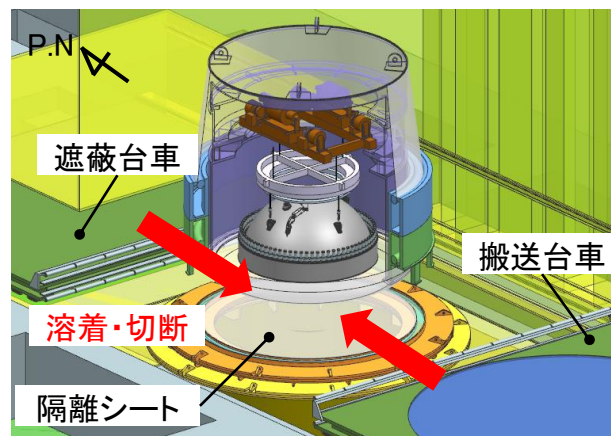
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【作業容器と組合せた隔離シート*の使用法】

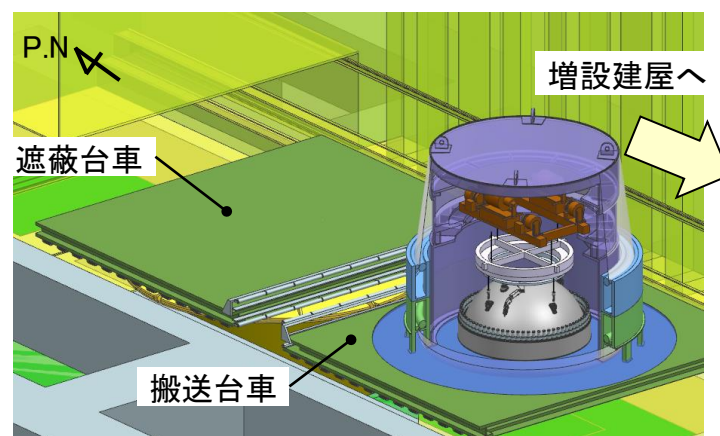
- ✓ 作業容器の側面には、隔離シートケースを設置し、隔離シートを収納。
- ✓ 隔離シートは、作業容器離脱時のPCV内および作業容器内から取り出しセル内への汚染物質の拡散を抑制する目的で設置。
- ✓ 使用法は以下の通り:
 - ◆ 作業容器着座時に隔離シートベースに隔離シートの端部を固定。作業容器上昇時に展開。
 - ◆ 隔離シートの溶着・切断は、遮蔽台車と搬送台車の側面部を使用し実施。
 - ◆ 隔離シートにより密閉された作業容器は、搬送台車を用いて増設建屋へ移送。



ステップ1: 作業容器吊り上げ(上昇)



ステップ2: 隔離シート溶着・切断



ステップ3: 作業容器を増設建屋へ退避

隔離シートを使用した作業容器の搬出イメージ

*隔離シートに関する詳細検討・要素試験は、隔離技術PJ(「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)」PJ)にて対応。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.555

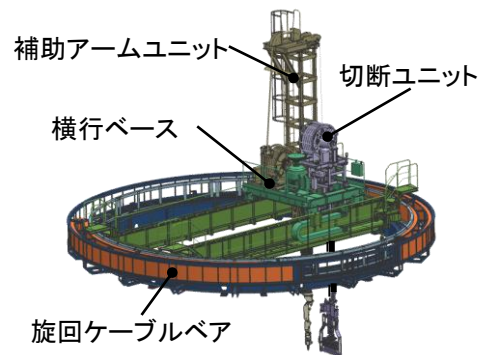
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【構造物搬出の基本的な考え方】

- ✓ 2021年度に実施したRPVヘッドスタッドボルト切断試験により、解体装置としてのポークレーン方式の有効性を確認。
- ✓ 当該方式にて構造物の切断を行う際には、**ポークレーンの支持・設置方法**が課題。

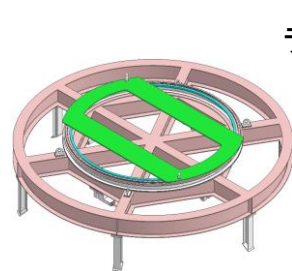
⇒RPV内に積極的に荷重を預ける「**設置ベース**」との組合せを計画。設置ベースを**既設構造物上**や**RPV内の支持部材上**に設置した上で、**設置ベース上**に**ポークレーン方式の解体装置**を設置する方式を主案とする。

- ◆ 設置ベースは切断対象の特徴に合わせ解体装置の支持以外の機能を付与。解体片の収納用ラック兼用方式や、切断片の落下防止機構等の追加機能を有した方式も計画。
- ◆ 設置ベースと解体装置は同時設置は困難(作業容器の寸法制約)の為、**設置ベースを搬入後に一度作業容器を入れ替える**作業が必要。

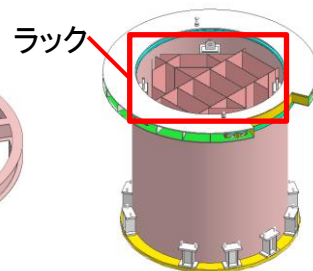


RPVヘッド解体装置
(ポークレーン)

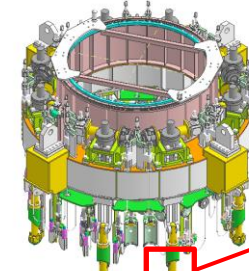
【設置ベースの一例】



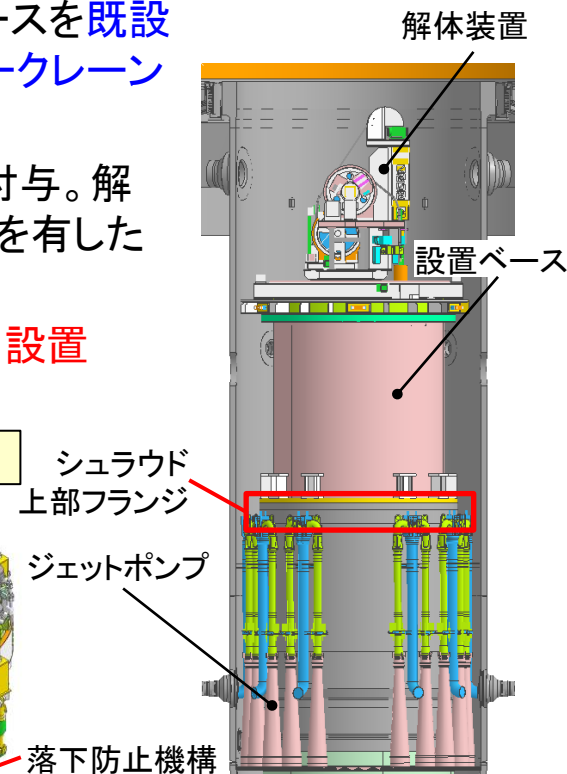
PCVヘッド用



ジェットポンプ用
(ラック搭載)



炉底部用
(落下防止機構あり)



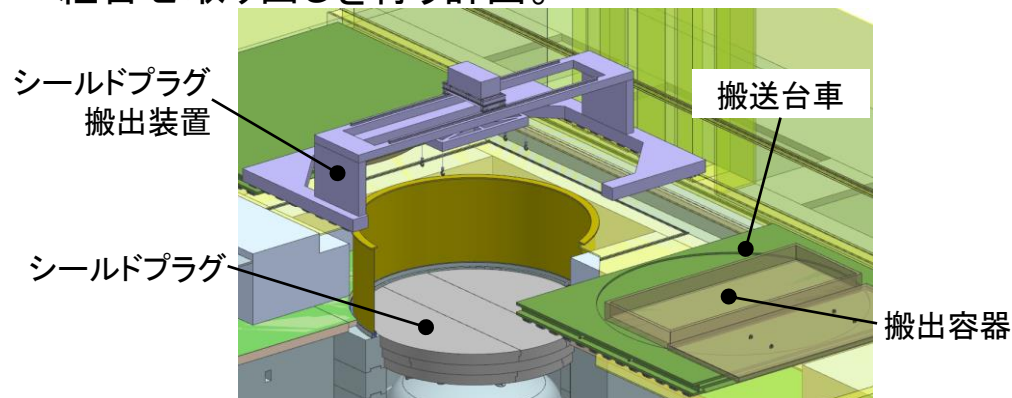
ジェットポンプ搬出時
の装置構成

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.556

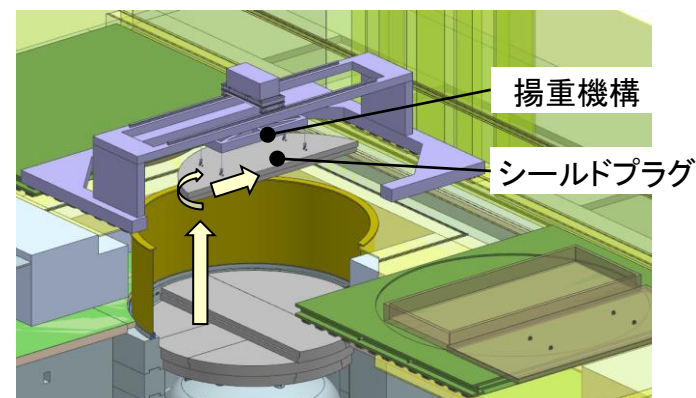
① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【構造物搬出の基本的な考え方】

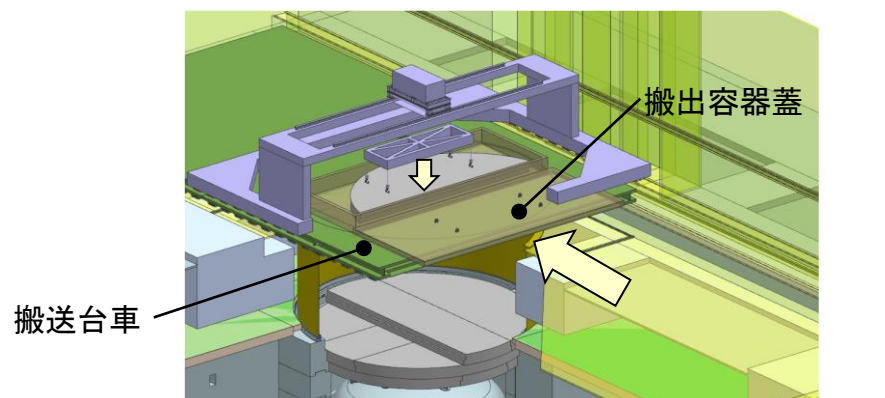
- ✓ シールドプラグは設置位置・サイズの両面から作業容器を用いた搬出は非合理的と判断。
- ✓ 横行・旋回が可能な揚重機構を有する専用の搬出装置(シールドプラグ搬出装置)を使用し、搬送台車と組合せ取り出しを行う計画。



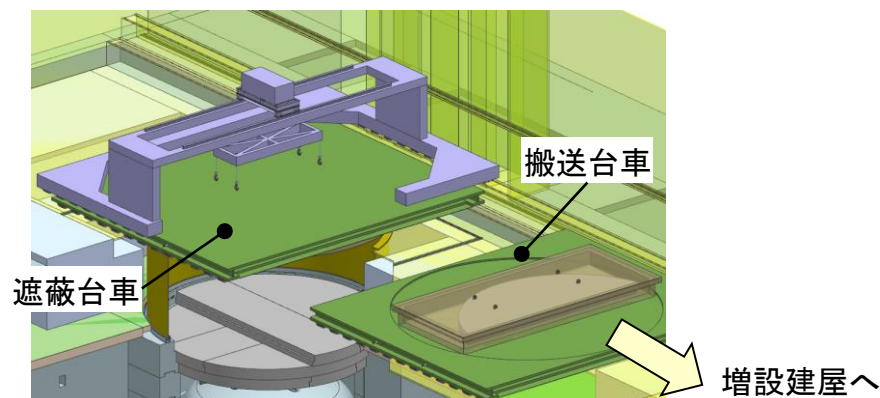
1. シールドプラグ搬出装置の搬入



2. シールドプラグ吊り上げ



3. 搬送台車をシールドプラグ下方に移動・容器へ収納

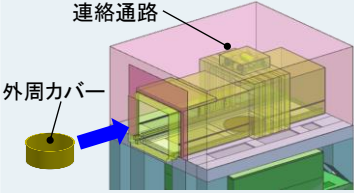
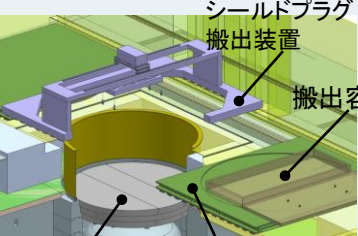
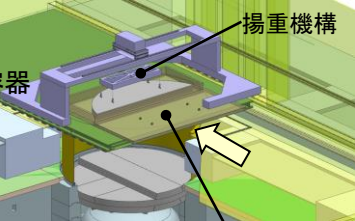
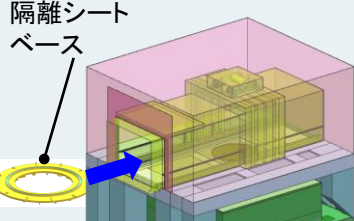
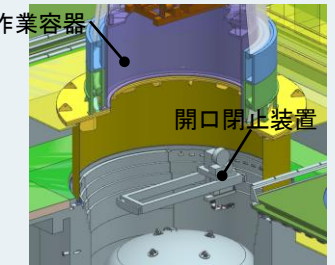


4. 搬出容器の蓋閉め・搬送台車搬出

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.557

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【作業ステップ(1/4)】

ステップ	1. 準備工事	2. シールドプラグ搬出		3. ウェル開口の閉止	
内容	連絡通路設置・R/B接続	専用装置搬入	シールドプラグ取り出し・搬出	隔離シートベース設置	ウェル開口の閉止
作業イメージ					
遠隔/有人	有人	遠隔		遠隔	遠隔
作業内容詳細	連絡通路を構台上に設置。並行して、旧オペフロ面上に水シール樋を設置後に外周カバーをセル床面に設置し、溶接して固定。	専用装置(シールドプラグ搬出装置)を増設建屋から搬入しウェル上に位置決めする。同時に、搬送台車上に搬出容器を搭載し、搬出装置近傍に位置決めする。	シールドプラグ搬出装置にてシールドプラグを吊り上げ、搬送台車をシールドプラグ下方に移動させ容器内に収納する。蓋閉め後、搬送台車で搬出する(増設建屋に移動)。	ウェル上に作業容器を設置する為の隔離シートベースを搬入し、連絡通路床面に設置。増設建屋からの搬入に際しては、搬送台車を使用。	作業容器をウェル上に設置し、作業容器内の開口閉止装置を吊り降し、先端のアームによりウェル内の既設開口部を閉止。
課題	<ul style="list-style-type: none"> • 有人作業時の仮設遮蔽体の検討 • 設置用遮蔽厚の低減によるセル分割数の合理化 	<ul style="list-style-type: none"> • 変形したシールドプラグ搬出用吊具の検討 • シールドプラグ取り出し時のダスト飛散抑制方法 		<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔設置方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 各開口部の閉止方法 • 開口閉止装置の具体化
備考					

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.558

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

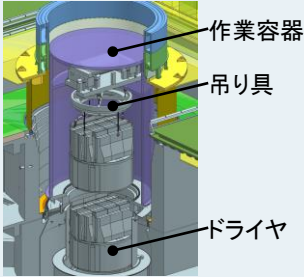
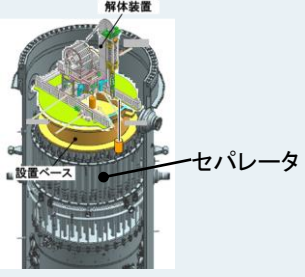
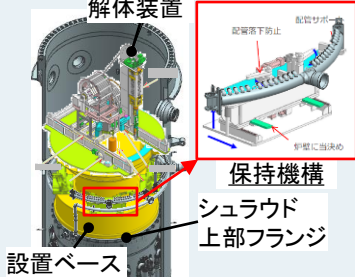
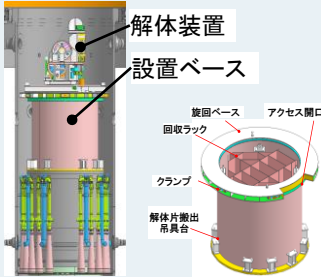
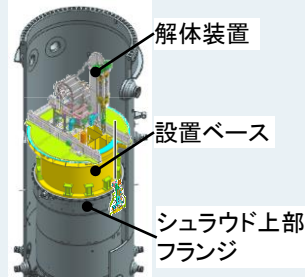
【作業ステップ(2/4)】

ステップ	4. PCVヘッド・保温材搬出			5. RPVヘッド搬出	
内容	PCVヘッド上部解体	RPV.H保温材搬出	PCVヘッド下部解体	スタッドボルト切断	RPV.H搬出
作業イメージ					
遠隔/有人	遠隔			遠隔	
作業内容詳細	<p>設置ベースをPCVヘッド上に設置後、PCVヘッド解体装置を設置ベース上に設定。 PCVヘッド解体装置にてPCVヘッド上部を切断後、設置ベースとともにPCVヘッド上部解体片を作業容器に収納し搬出。</p>	<p>作業容器内に設置した解体装置から切断ツールを吊り降ろし、保温材の締結ボルトを切断。 作業容器を入れ替え、保温材を作業容器内に収納し、搬出。</p>	<p>設置ベースをRPVヘッド上に設置後、PCVヘッド解体装置を設置ベース上に設定。 PCVヘッド解体装置にてPCVヘッド下部を切断後、切断片は、設置ベース収納。設置ベースとともにPCVヘッド下部解体片を作業容器に収納し、搬出。</p>	<p>作業容器内に設置した解体装置から切断ツールを吊り降ろし、スタッドボルトを切断。</p>	<p>作業容器内の吊り具を吊り降ろし、RPVヘッドと玉掛け。 RPVヘッドを吊り上げ、作業容器内に収納後、増設建屋に搬出。</p>
課題	<ul style="list-style-type: none"> PCVヘッド吊り金具が健全でない場合の解体撤去方法 遠隔玉掛方法 			<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 	
備考	要素試験実施済(2021年度末)				

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.559

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

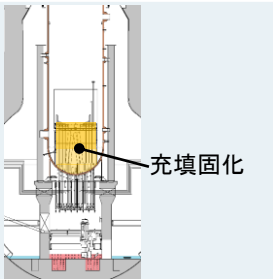
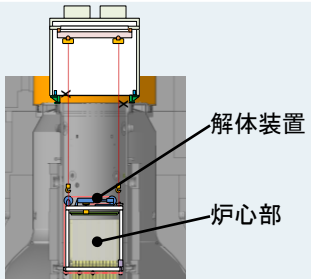
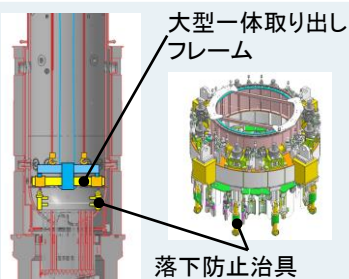
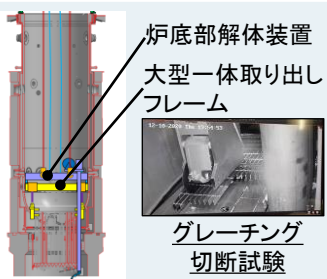
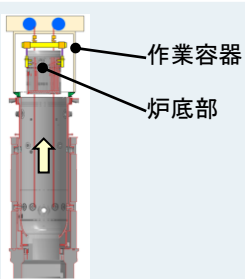
【作業ステップ(3/4)】

ステップ	6. ドライヤ搬出	7. セパレータ搬出	8. FWS/CS配管撤去	9. ジェットポンプ搬出	10. 上部格子板搬出
内容	ドライヤ搬出	セパレータ搬出	FWS/CS配管撤去	ジェットポンプ搬出	上部格子板搬出
作業イメージ					
遠隔/有人	遠隔	遠隔	遠隔	遠隔	
作業内容詳細	作業容器内の吊り具を吊り降ろし、ドライヤと玉掛けする。ドライヤを吊り上げ、作業容器内に収納後、増設建屋に搬出する。	設置ベースをセパレータ上に設置後、設置ベース上に解体装置を設定。解体装置から切断ツールを吊り降ろし、ボルトを回転(または切断)し、締結を解除する。作業容器を入れ替え後、セパレータを吊り上げ、作業容器内に収納・搬出。	設置ベースをシュラウド上部フランジ上に設置後、その上に解体装置を設定。設置ベース内の保持機構により配管を把持しながら解体装置から吊り降ろした切断ツールにより配管を切断。設置ベースとともに切断した配管を作業容器内に収納・搬出。	設置ベースをシュラウド上部フランジ上に設置後、その上に解体装置を設定。解体装置から切断ツールを吊り降ろし、ジェットポンプを切断。切断片は設置ベース内のラックに収納。切断片は、設置ベースとともに作業容器に収納し、搬出。	設置ベースをシュラウド上部フランジ上に設置後、その上に解体装置を設定。解体装置から切断ツールを吊り降ろし、シュラウド中間フランジ下を切断。シュラウド上部とともに上部格子板を作業容器内に収納し、搬出。
課題	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 吊金具の健全性 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 吊金具の健全性 	<ul style="list-style-type: none"> 配管の落下防止 シュラウド上部フランジの健全性 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 シュラウド上部フランジの健全性 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 シュラウド上部フランジの健全性
備考				ジェットポンプ以降の構造物は燃料デブリとして取り扱う想定	

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.560

① 大型切断工法:(a)大型一体搬出工法

【作業ステップ(4/4)】

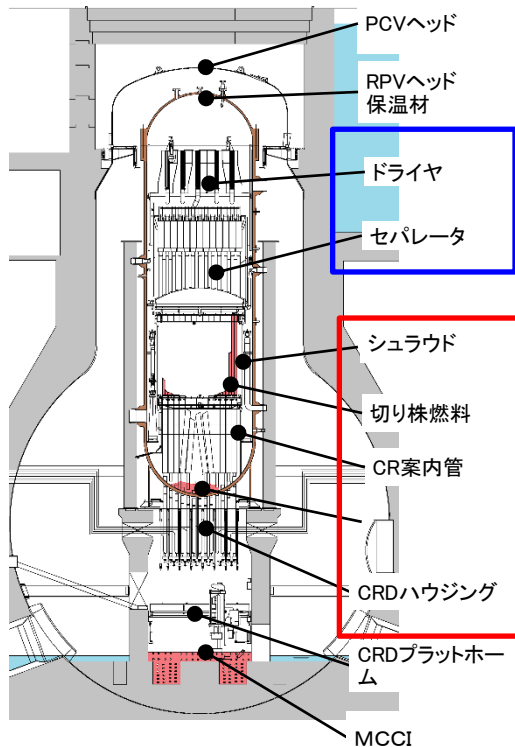
ステップ	11. 炉心部搬出		12. 炉底部搬出		
内容	充填固化の実施	炉心部切断・搬出	落下防止治具設置	炉底部解体	炉底部搬出
作業イメージ					
遠隔/有人	遠隔		遠隔		
作業内容詳細	<p>ジオポリマー注入用装置を作業容器から吊り降ろし、シュラウド上面から炉心部・炉底部に対し、充填固化を実施する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 解体装置を吊り降ろし、シュラウドサポート上に設定後、先端の切断ツールを用いて、シュラウド下部フランジ下側を切断する。 解体装置(切断ツール)を入れ替えた後、炉心部(充填状態)を切断する。シュラウド・炉心部切断後、シュラウドとともに炉心部を作業容器に収納・搬出。 	<p>RPV下鏡に開口を構築後、設置ベース(大型一体取り出しフレーム)をシュラウドサポート上に設置し、先端の落下防止治具により下鏡と固定する。</p>	<p>大型一体取り出しフレーム上に炉底部解体装置を設定後、解体装置によりグレーチング・保温材・ビーム等の干渉物・締結部を切断。固定・締結部の切り離し完了後、下鏡の残存部を切断し、下鏡をRPVから切り離す。</p>	<p>作業容器から吊具を吊り降ろし、大型一体取り出しフレームと玉掛する。大型一体取り出しフレームとともに炉底部を作業容器内に収納し、増設建屋に搬出。</p>
課題	<ul style="list-style-type: none"> 損傷状況に応じた充填方法 	<ul style="list-style-type: none"> シュラウドサポートの健全性 	<ul style="list-style-type: none"> シュラウドサポートの健全性 下鏡の健全性 	<ul style="list-style-type: none"> シュラウドサポートの健全性 各干渉物・締結部の効率的な切断方法 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔玉掛方法 下鏡の健全性
備考				要素試験実施済(20年度)	

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.561

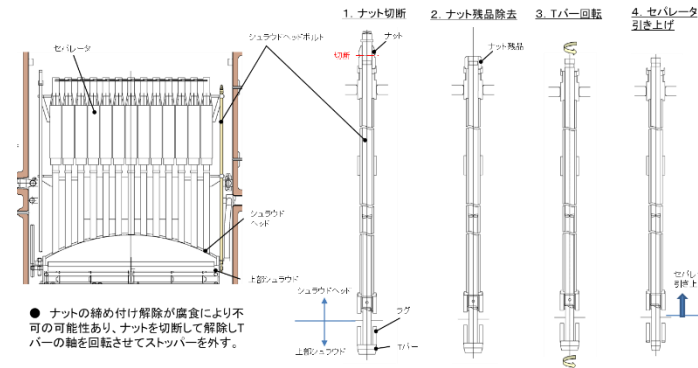
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 開発方針】

シュラウド以下の炉内構造物は、構造物の大型切断方法、装置の概念検討を中心に、炉心部充填固化材の要素試験を実施した。



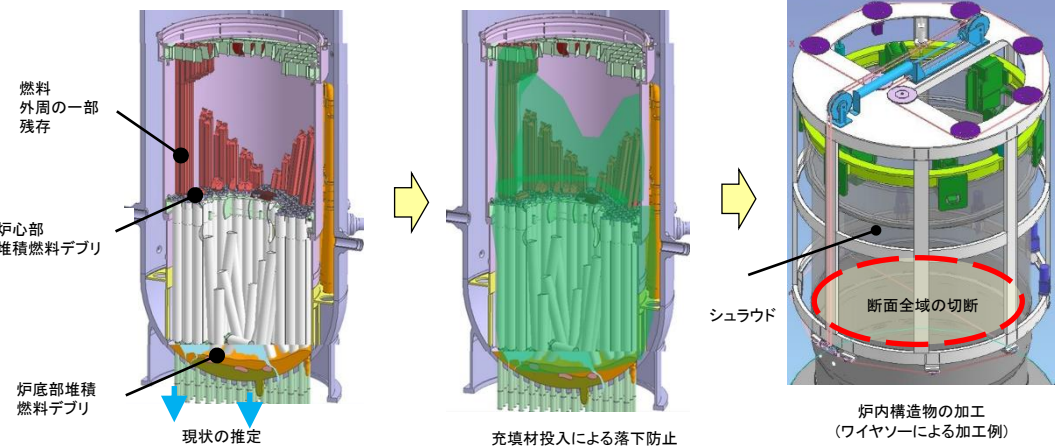
<セパレータ例> 損傷・変形を想定した締結部の切り離し方法



構造物の切断方法、装置概念検討を実施する。

解体装置概念例

<シュラウド例> 一体搬送時に燃料デブリの落下等を防止する為充填固化にて取り出しを検討



構造物の切断方法、装置概念検討、炉心部充填固化材に関する要素試験を実施した。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.562

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 検討条件】

- 炉内構造物切断の検討条件を以下に示す。

ID.	検討条件	補足説明	備考
1	原子炉ウェルからセパレータまでの干渉物は撤去された状態での充填固化、切断方法を検討する。	ドライヤ、セパレータといった炉内構造物以外の構造物は撤去済みの状態で作業する。	
2	シュラウド内にジオポリマーを充填した際の流出が比較的少なく、ジオポリマーが積み上がっていく状態を想定する。	まずは大規模での充填の成立性等を確認する為、充填剤が充填可能な状態で検討する。 炉底部の損傷が大きく充填が困難な場合は燃料デブリ周辺を局所的に充填する方法を選択する。	
3	シュラウド内に充填材が隙間なく充填された状態で切断工法を検討する。	シュラウドおよび充填材を含めた切断が最も困難と想定される為。	
4	シュラウド切断時は、ジェットポンプは撤去した状態とする。	シュラウド切断時、ジェットポンプは事前に撤去してシュラウドとRPV内面の隙間にツールを設定する想定の為。	ジェットポンプ切断(SUS304、最大板厚11mm)は成立の見通しが比較的高い為、開発優先度は低いと評価した。
5	シュラウド等については大きな傾きは無いものとする。	シュラウドの状態は不明であるが、検討の為仮設定した。 実機状況に応じてツールの固定方法を見直すことで対応できる構成を検討する。	炉内状況把握PJのシュラウド状態推定結果 1号機:破損の可能性 2号機:大規模損傷はないと想定 3号機:健全な可能性および損傷のある可能性、双方考えられる。 出典:IRID「廃炉・汚染水対策事業費補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)平成29年度成果報告」

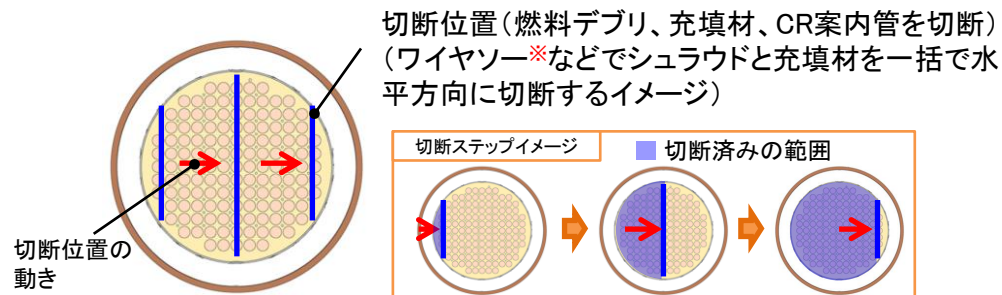
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.563

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 切断方針検討】

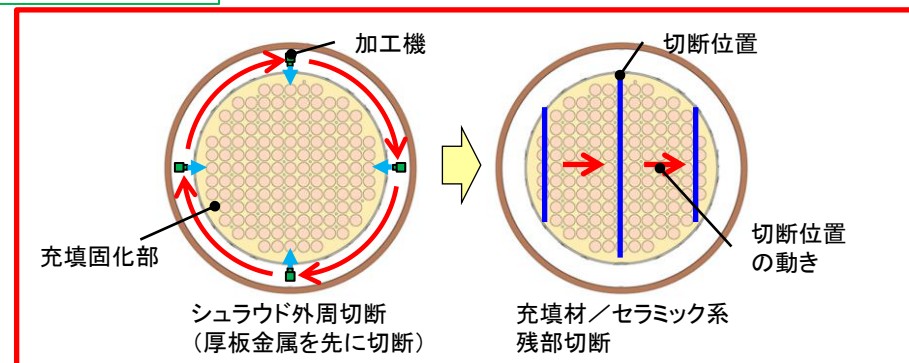
- 充填固化後の炉心部を切断する為、**シュラウド構造物および充填固化部を切断する方法を検討した。**
- シュラウドの一体取り出しにあたり、複数の構造物(材質)を切断する必要がある。
- 切断例1に示すような一括切断を前提とした場合、シュラウド外周部および充填固化部をどちらも切断できる技術の採用が前提となるが、現状では両者を一括で切断可能な技術の見通しが立っていない。
- まずは**切断例2:分割切断を前提とし、シュラウド外周部/充填固化部切断に適用する技術の検討**を行う。
- 切断例2:分割切断においては、最初にシュラウドの切断を実施し、その後、充填固化材を切断可能な見通しが立っているワイヤソーにて充填固化部の切断を行う。

- ①構成: ・外周:板厚約38mm、材質 SUS
・内側:内径約4.4m、材質 充填材+CR案内管(SUS)+燃料デブリ(セラミック系)
- ②充填材候補:ジオポリマー



※:ワイヤソーは、コンクリートの切断に広く使用されている技術であるが、ステンレス厚板材の切断が困難

【切断例1:一括切断】



【切断例2:分割切断】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.564

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 切断方法の選定】

シュラウドの切断技術としては、切断時の反力や非常回収性を鑑み、**非接触切断技術**が望ましい。
 非接触切断技術と、シュラウド切断への適用性・メリット・デメリットを下表に整理する。
 ガス切断はステンレス鋼の切断不可の為、プラズマアークは切断対象物の性状により切断不可のリスクがある為、候補より除外する。

【各種非接触切断技術のメリット/デメリット】

 有望な切断技術

切断技術	シュラウド切断への適用性	メリット	デメリット
ガス切断	<ul style="list-style-type: none"> ステンレス鋼の切断不可 	-	-
レーザー	<ul style="list-style-type: none"> ステンレス鋼の切断が可能 出力によっては厚板の切断が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 切断ヘッドの小型化が可能 二次廃棄物が比較的少量 (二次廃棄物回収用の治具が不要) 	<ul style="list-style-type: none"> ドロスが発生し、切断を阻害する ヒューム発生による汚染拡大 炉内の燃料デブリ損傷の恐れあり (形状変化による臨界リスクあり)
プラズマアーク	<ul style="list-style-type: none"> ステンレス鋼の切断が可能 (ただし、燃料デブリ付着部は切断できない可能性あり) 出力によっては厚板の切断が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 切断ヘッドの小型化が可能 二次廃棄物が比較的少量 	<ul style="list-style-type: none"> ドロスが発生し、切断を阻害する ヒューム発生による汚染拡大 トーチの位置調整が必要 通電しない箇所の切断は不可
AWJ	<ul style="list-style-type: none"> ステンレス鋼の切断が可能 厚板の切断が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 切断ヘッドの小型化が可能 構造物への入熱が比較的少ない 	<ul style="list-style-type: none"> アブレシブを噴射する為二次廃棄物が比較的多量 炉内の燃料デブリ損傷の恐れあり (形状変化による臨界リスクあり)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.565

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 切断方法の選定】

AWJについて、大きなデメリットとしてアブレシブ噴射による二次廃棄物の発生が挙げられる。2021年度に実施した、RPVヘッドボルト切断要素試験における、ボルト1本あたりに使用したアブレシブの量と、実機におけるアブレシブ回収率(想定値)を右図に示す。

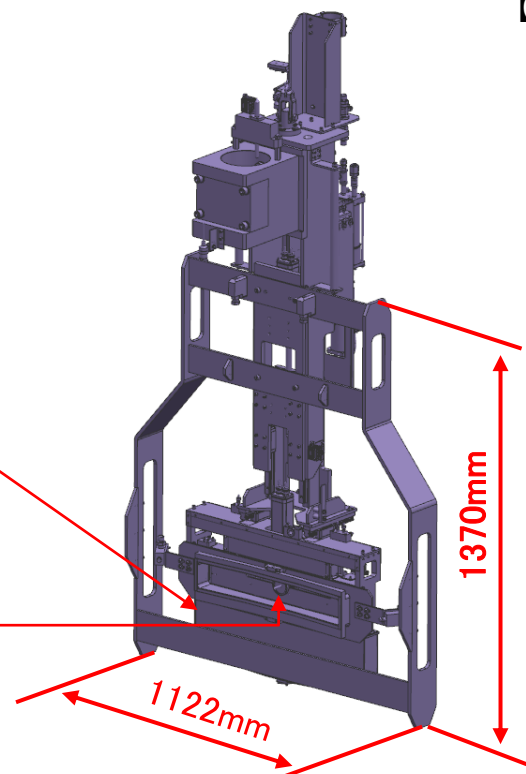
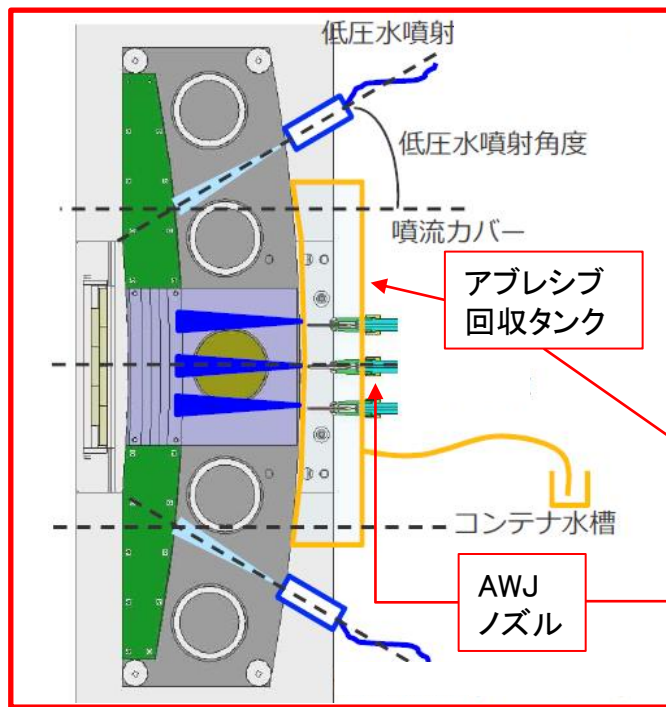
シュラウドのAWJ切断にあたっては、二次廃棄物を回収する装置構成の検討が必要である。

【スタッドボルト1本あたりのアブレシブ使用/回収量(乾燥状態)】

項目	質量[kg]
アブレシブ使用量 (ボルト1本あたり)	15.6
回収率	80%(想定)
アブレシブ量低減検討を 踏まえたアブレシブ使用 量(ボルト1本あたり) [※]	4.8

※: 廃炉・汚染水対策事業費補助金

原子炉圧力容器内部調査技術の開発にて実施の
WJ流量とアブレシブ供給量効果確認試験結果を参考に算出



【RPVヘッドボルト切断装置】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.566

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

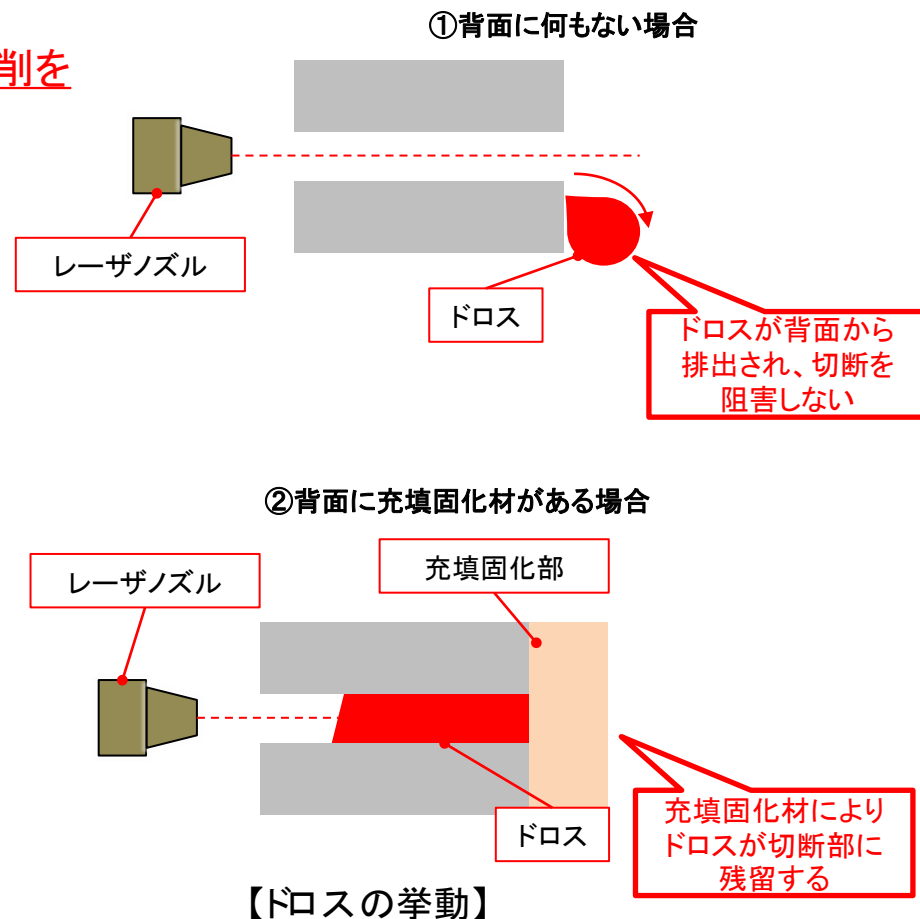
【炉内構造物大型切断工法 切断方法の選定】

前頁までの検討により、シュラウド外周部切断には、比較的デメリットが軽微なレーザー切断技術を用いることで検討中である。
レーザー切断技術の課題を左下表に整理する。

ドロスを除去可能かつ、ヒューム発生、周辺構造物の切削を抑制できる機能を加工ツールに設ける必要がある。

【レーザー切断技術の課題】

No.	課題	内容
1	ドロス除去	切断箇所にドロスが残留することによりレーザーの入熱が阻害される。
2	ヒュームによる汚染拡大	放射化した素材の気化による汚染拡大リスクがある。
3	周辺構造物(充填材・燃料デブリを含む)の損傷	切断対象物背面に位置する構造物をレーザーにより切削する可能性あり。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.567

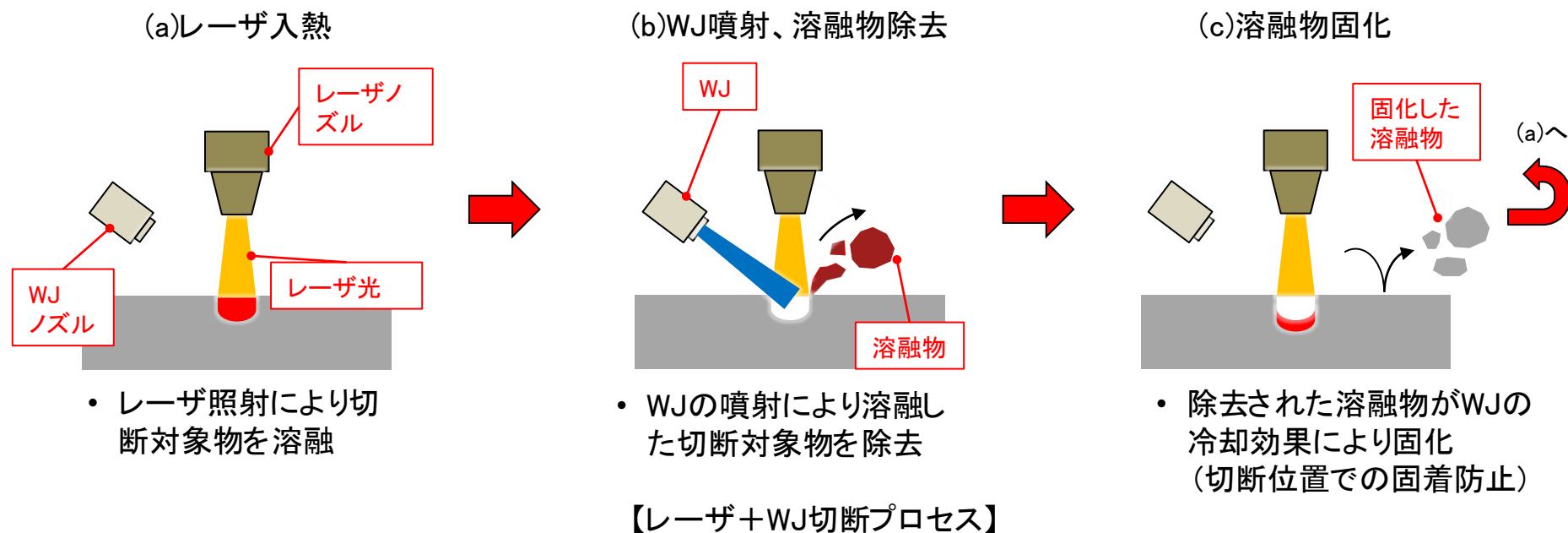
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 切断方法の選定】

シュラウド外周切断に適用する技術として、レーザ+WJ切断技術を検討中。
本技術の手順は下図の通りであり、WJの噴射により下記3点の効果を期待するものである。

- WJ噴射力によるドロスの除去
- 冷却効果によるヒューム発生抑制
- 冷却効果による周辺構造物の切削抑制

WJ噴射を連続で実施した場合、レーザの入熱を阻害する可能性がある為、断続噴射を前提とする。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.568

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物(レーザ+WJ切断)】

レーザ+WJ切断技術の課題と対応方針を下表に整理する。

①最適なレーザ・WJ条件の確認、②ヒューム抑制効果の定量評価、③シュラウド以外の構造物への適用性確認の為、レーザ+WJ切断の要素試験を実施する。

【レーザ+WJ切断技術の課題】

No.	課題	内容	対応方針
1	最適なレーザ・WJ条件	WJ流量・噴射時間を過剰に増大させると、冷却効果により切断対象物の溶融が阻害され、結果的に加工量(加工深さ)が低下する。一方、WJ流量・噴射時間が十分でない場合、溶融物が切断箇所に残り固着する為、加工量が低下する。WJ流量・噴射時間が十分であるか否かは、溶融物の量に依存する為、レーザ出力や切断対象物までの距離等、レーザ条件にも左右される。	最適なレーザ・WJ条件を試験にて確認する。
2	ヒューム抑制効果の評価	WJの冷却効果によりヒュームの発生を低減できるものと想定しているが、定量的な評価は未実施。	WJ噴射有無によるヒューム発生量の変化を試験にて確認する。
3	シュラウド以外の構造物への適用性	シュラウド以外の構造物にも本技術を適用する場合、様々な材質・形状の切断が想定される。 材質により融点や熱伝導率、形状によりWJの当たり方が変わる為、最適なレーザ・WJ条件は切断対象物毎に異なるものと想定される。	実機構造物を想定した様々な材質/形状の試験体ごとに切断条件の特性を整理する。

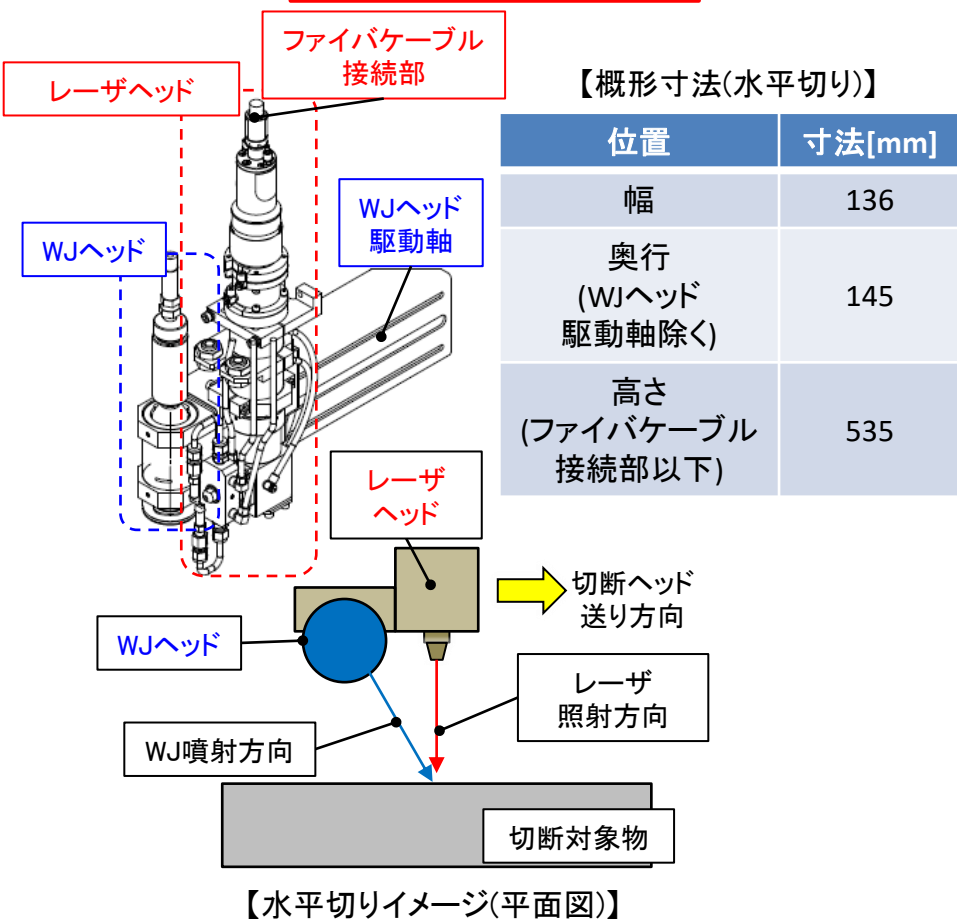
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.569

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

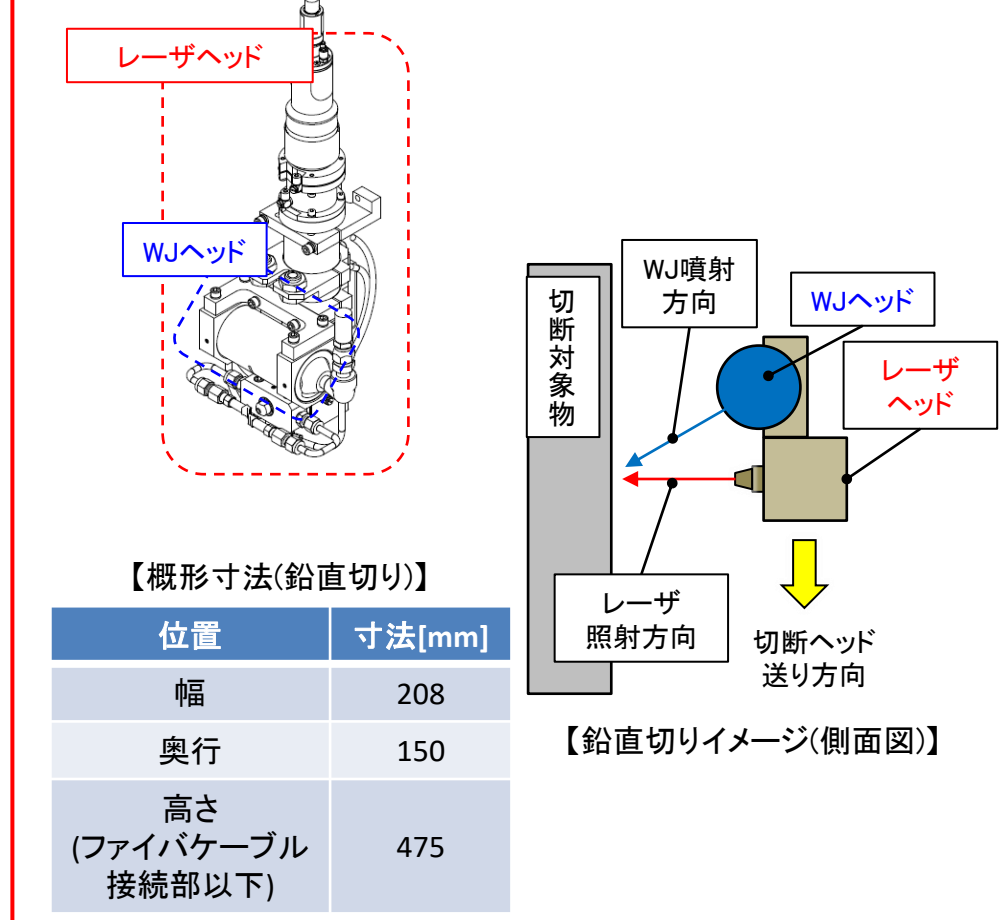
【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験装置)】

レーザ+WJ切断要素試験には、水平切りタイプ、鉛直切りタイプの2種類の切断ヘッドを使用した。
 切断ヘッドは、レーザ照射およびガス噴射を行うレーザヘッドと、WJ噴射を行うWJヘッドにて構成される。

切断ヘッド水平切りタイプ



切断ヘッド鉛直切りタイプ

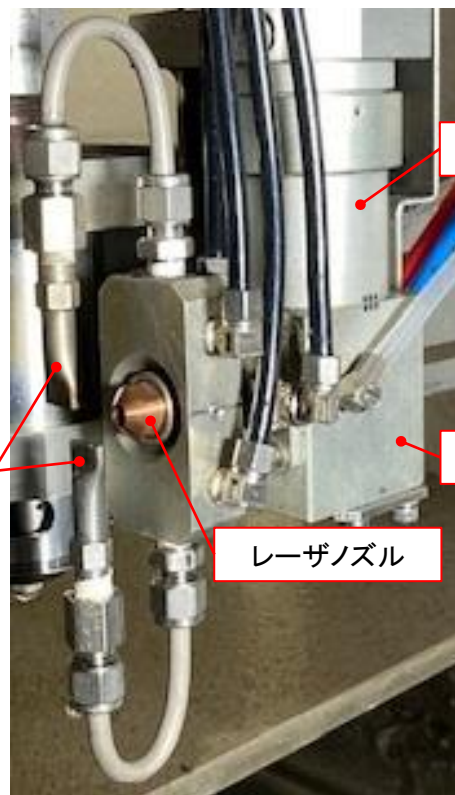


6. 本事業の実施内容【2】(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.570

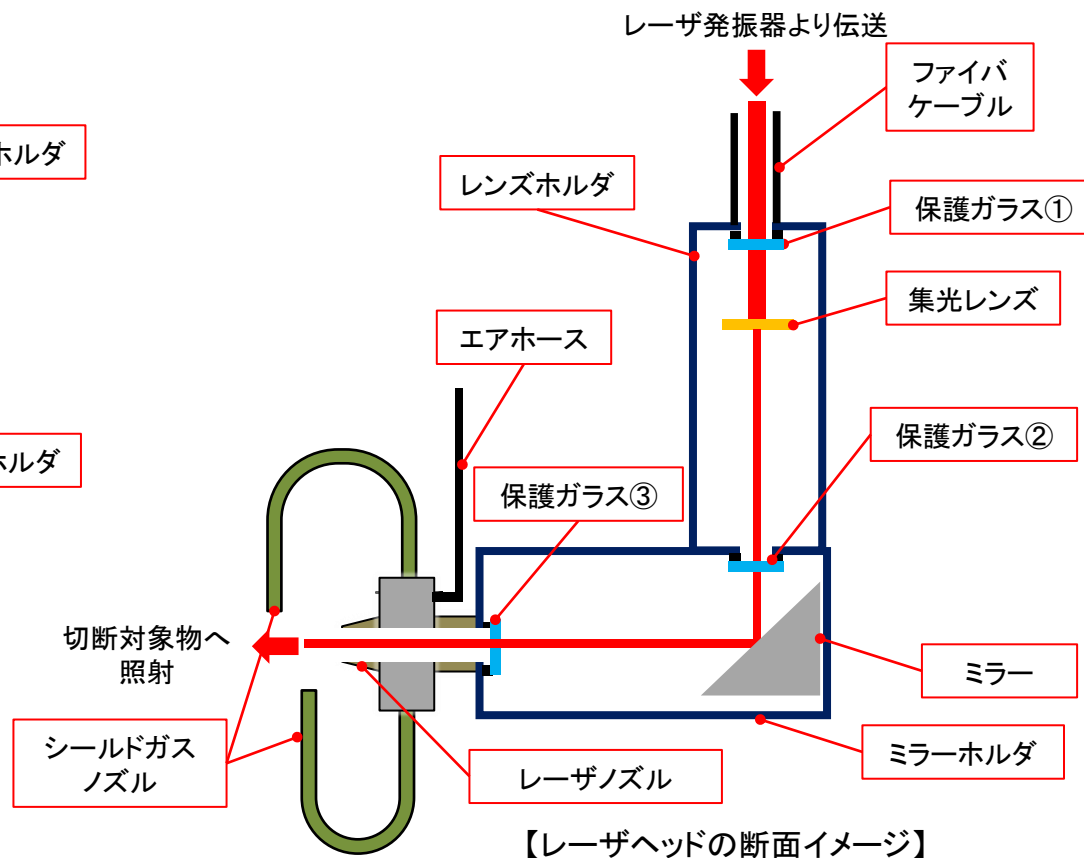
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験装置)】

レーザヘッドは、①ファイバケーブルや集光レンズ、ミラー等の光学系と、
②切断時に発生するスパッタからレーザヘッドを保護するガス系(次頁で説明)で構成される。
レーザ発振器で生成されたレーザ光は、ファイバケーブル中を伝送され、集光レンズによる絞り込み後、
ミラーにより照射方向が決定され、レーザノズルより切断対象物へ照射される。



【レーザヘッド外観】



【レーザヘッドの断面イメージ】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.571

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

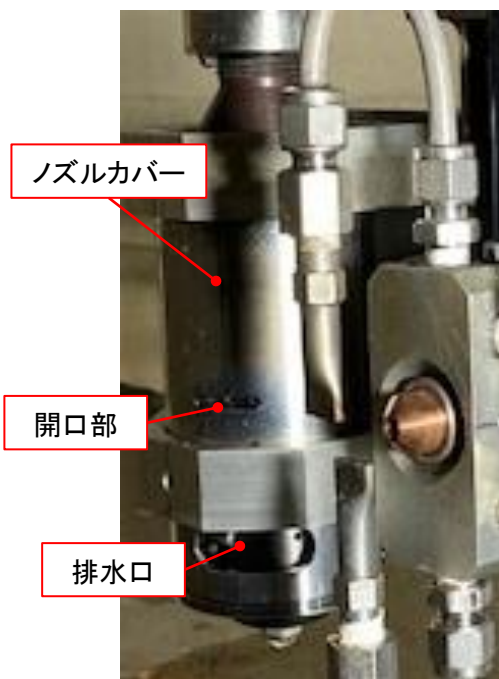
【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験装置)】

WJヘッドは、中心のWJノズルユニットと、WJノズルユニットを取り囲むノズルカバーにて構成される。WJノズルユニットにはWJノズルが接続されており、WJの噴射反力によりWJノズルユニットが回転する。

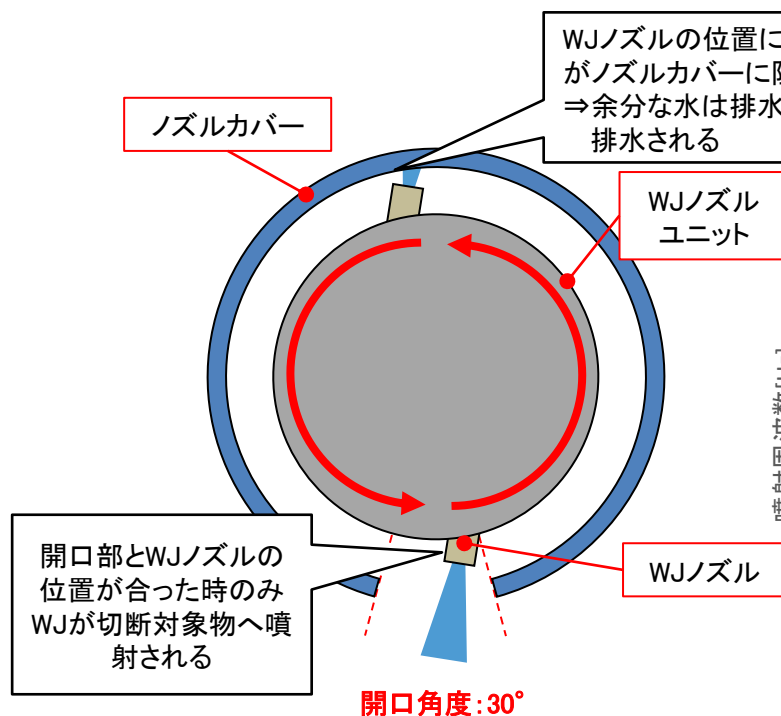
ノズルカバーには開口部を設けており、WJノズルと開口部の位置が合ったときのみ

WJが切断対象物へ噴射されることで、WJの断続噴射が生成される。

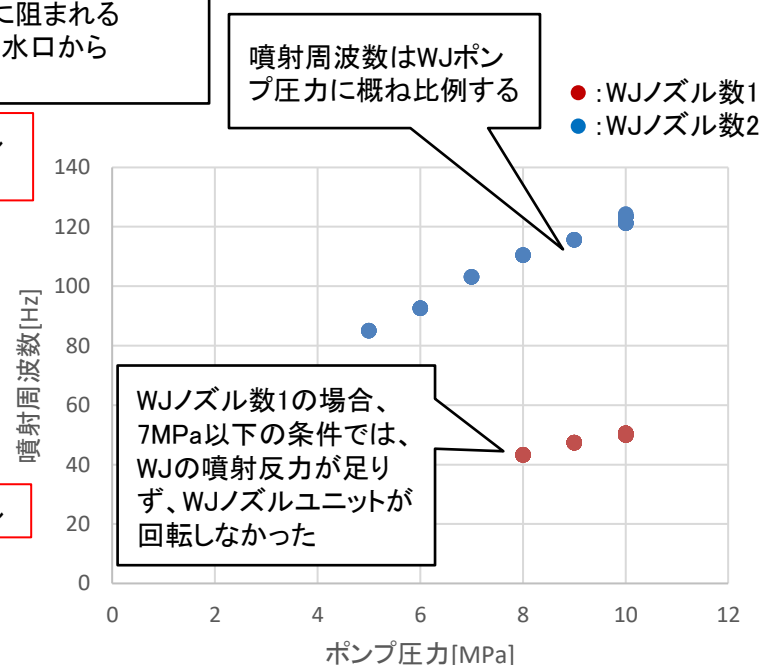
断続噴射の周波数はWJポンプ圧力およびWJノズル数によって決まる(右下グラフ参照)



【WJヘッド外観】



【WJヘッドイメージ(横断面図)】



【WJポンプ圧力と噴射周波数の関係】

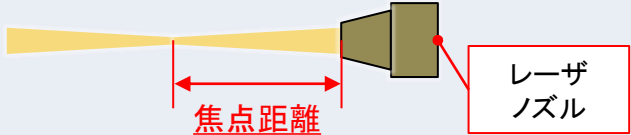

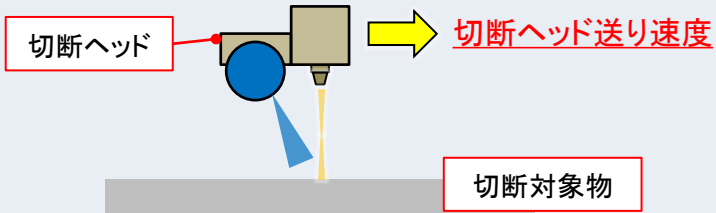
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.572

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(制御パラメータ)】

レーザー+WJ切断要素試験における制御パラメータを下表に示す。

【レーザー+WJ切断要素試験における制御パラメータ】

No.	パラメータ	イメージ図	内容
①	出力[kW]	-	<ul style="list-style-type: none"> 装置仕様により7.8kWに固定
②	焦点距離 [mm]		<ul style="list-style-type: none"> 装置仕様により98mmに固定 焦点距離におけるレーザースポット径(レーザー光に垂直な平面上に投影されるレーザー光断面の直径)は3mm
③	スタンドオフ [mm]		<ul style="list-style-type: none"> レーザーノズル先端～切断対象物表面迄の距離 スタンドオフが焦点距離に近いほどレーザースポット径が小さくなり、単位面積あたりの入熱量が増え、切断対象物の溶融量が増大する
④	切断ヘッド送り速度 [mm/s]		<ul style="list-style-type: none"> 切断時における切断ヘッド送りの速度 切断ヘッド送り速度が小さいほど、単位面積あたりの入熱量が増え、切断対象物の溶融量が増大する一方、加工時間が長期化する
⑤	WJポンプ圧力 [MPa]	-	<ul style="list-style-type: none"> 使用するポンプ仕様により、最大圧力は10MPa WJポンプ圧力が大きいと、噴射周波数とWJ流量が増大する
⑥	WJノズル個数 [-]	-	<ul style="list-style-type: none"> WJノズルユニットにWJノズルを1～2個取付可能 WJノズル個数が多いほど噴射周波数が増大する
⑦	噴射周波数 [Hz]	-	<ul style="list-style-type: none"> 1秒あたりのWJ噴射回数 WJポンプ圧力とWJノズル数によって変動

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.573

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験項目)】

要素試験における試験項目とその概要、目的を下表に整理する。

【レーザ+パルスWJ切断要素試験項目(1/3)】

	①スタンドオフ条件比較試験	②WJ条件比較試験
概念図		
概要	<ul style="list-style-type: none"> スタンドオフおよび切断ヘッドの送り速度を変更しながら切断試験を行い、加工量への影響を確認する。 切断対象物はシュラウドを想定し、試験体はSUS304板材 (t30mm程度)とする。 	<ul style="list-style-type: none"> パルスWJに係る各種条件(ポンプ圧力、噴射周波数)を変更しながら切断試験を行い、加工量への影響を確認する。 切断対象物はシュラウドを想定し、試験体はSUS304板材 (t30mm程度)とする。
目的 (実機への フィードバック)	<ul style="list-style-type: none"> SUS304板材の切断にあたり最適なスタンドオフ条件を確認し、実機におけるシュラウド切断条件に反映する。 切断が可能な最大スタンドオフを確認し、実機における切断ヘッドのアクセス計画に反映する。 	<ul style="list-style-type: none"> SUS304板材の切断にあたり最適なWJ条件を確認し、実機におけるシュラウド切断条件に反映する。 WJ噴射有り/無しの条件で切断試験を行い、WJのヒューム発生抑制効果を確認する。
測定 項目	<ul style="list-style-type: none"> 切断可否(加工深さ) 加工時間 	<ul style="list-style-type: none"> 切断可否(加工深さ) 加工時間 ヒューム発生量 ヒューム濃度

6. 本事業の実施内容【(2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.574

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験項目)】

【レーザ+パルスWJ切断要素試験項目(2/3)】

	③材料比較試験	④形状比較試験
概念図		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 炉内構造物として利用されているSUS304以外の材料(炭素鋼、インコネル、低合金鋼等)の板材を対象に、試験①、②にて確認したSUS板材の最適な切断条件を用いて切断試験を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 炉内構造物の各種形状(板、中実円筒、中空円筒等)を模擬した試験体を対象に、試験①、②にて確認したSUS板材の最適な切断条件を用いて切断試験を行う(試験体は後段の簡易模擬体切断試験と併用)。
目的 (実機への フィードバック)	<ul style="list-style-type: none"> SUS304板材の最適な切断条件にて切断が可能か確認する。切断不可の場合、課題(条件変更の方針)を抽出し、実機における各種構造物の切断条件に反映する。 WJ噴射有り/無しの条件で切断試験を行い、WJによるヒューム発生抑制効果を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> SUS304板材の最適な切断条件にて切断が可能か確認する。切断不可の場合、課題(条件変更の方針)を抽出し、実機における各種構造物の切断条件に反映する。
測定項目	<ul style="list-style-type: none"> 切断可否(加工深さ) 加工時間 ヒューム発生量(SM400B) ヒューム濃度(SM400B) 	<ul style="list-style-type: none"> 切断可否(加工深さ) 加工時間

6. 本事業の実施内容【2】(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発【No.575】

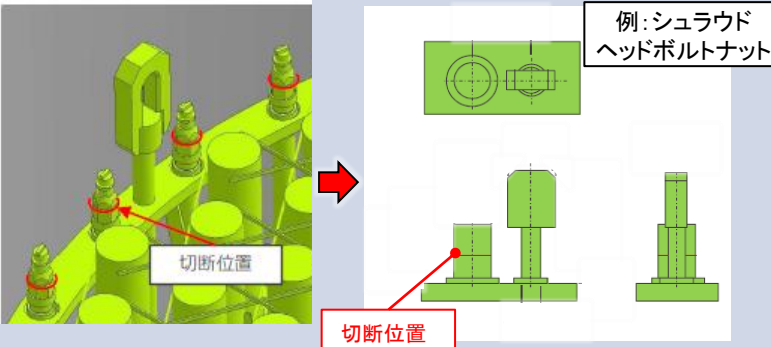
【周辺構造物への影響評価試験】

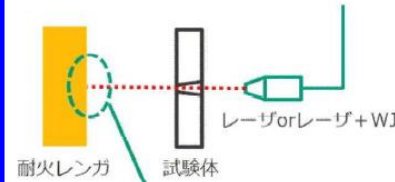
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験項目)】

【レーザ+パルスWJ切断要素試験項目(3/3)】

⑤簡易模擬体切断試験

<p>概念図</p>	
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実機にて切断を計画している構造物とその周辺構造物を模擬した簡易模擬体を対象に、試験①、②にて確認したSUS板材の最適な切断条件を用いて切断試験を行う。
<p>目的 (実機へのフィードバック)</p>	<ul style="list-style-type: none"> SUS304板材の最適な切断条件にて切断が可能か確認する。切断不可の場合、課題(条件変更の方針)を抽出し、実機における各種構造物の切断条件に反映する。 周辺構造物の切削跡有無を確認し、切削跡があった場合、影響が低減する方向に各種条件を見直し(スタンドオフ増加等)、実機での切断条件に反映する。
<p>測定項目</p>	<ul style="list-style-type: none"> 切断可否 加工時間 周辺構造物の切削跡有無



【試験イメージ】

【試験内容】

- 試験体の裏に耐火レンガを設置
- レーザ単体照射/レーザ+WJによる切断試験を実施

【試験条件(レーザ単体照射/レーザ+WJ共通)】

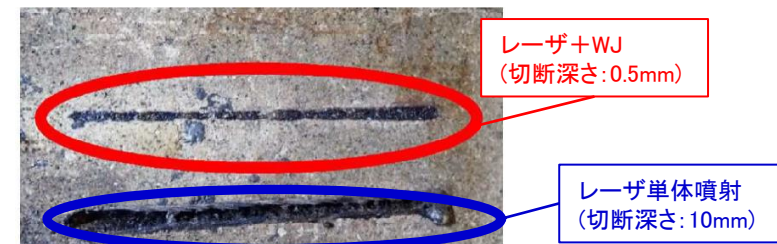
- レーザ出力: 8kW
- 切断ヘッド送り速度: 5mm/s
- スタンドオフ: 60mm
- WJポンプ圧力: 10MPa

【試験結果】

- レーザ単体照射によるレンガ切断深さ: 10mm
 - レーザ+WJによるレンガ切断深さ: 0.5mm
- ⇒WJによる冷却効果により、レーザ切断時の周辺構造物への影響を緩和できるものと想定される。



【切断中の様子】



【耐火レンガ切削跡】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.576

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:スタンドオフ・WJ条件比較試験の加工深さ評価方法)】

スタンドオフ・WJ条件比較試験に用いた試験体と、加工深さの測定方針は下記の通り。

切断はSUS304試験体に対し右→左へ40mm幅にて実施し、加工深さは下記3か所にて測定した。

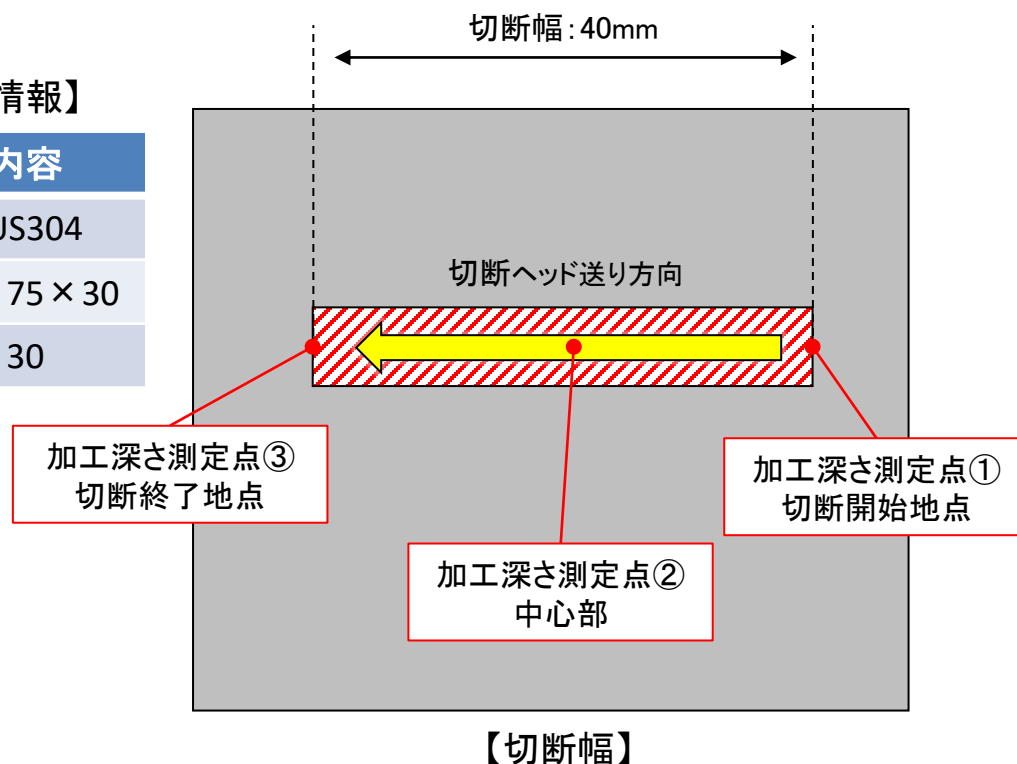
加工深さの評価には、測定点3か所の平均値(以下、“平均加工深さ”という)を用いる。



【SUS304試験体外観】

【SUS304試験体情報】

項目	内容
材質	SUS304
寸法[mm]	75 × 75 × 30
切断厚さ[mm]	30



【切断幅】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.577

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:スタンドオフ・WJ条件比較試験)】

スタンドオフおよびWJ条件比較試験の結果、および当該切断ヘッドにおける最適切断条件は下記の通り。

【スタンドオフ・WJ条件比較試験の結果】

No.	レーザ出力[kW]	アシストガス流量[L/min]	スタンドオフ[mm]	切断ヘッド送り速度[mm/s]	WJノズル個数[-]	WJポンプ圧力[MPa]	WJ噴射角度[°]	噴射周波数[Hz]	切断回数[-]	平均加工深さ[mm]
1	7.8	350	98	1	1	10	30	50.5	1	18.5
2	7.8	350	184	1	1	10	16	50.5	1	11.3
3	7.8	350	254	1	1	10	11	50.5	1	4.5
4	7.8	350	316	1	1	10	9	50.5	1	2.1
5	7.8	350	98	1	1	8	30	43.3	1	14.9
6	7.8	350	98	1	2	8	30	110.5	1	9.33
7	7.8	350	98	1	1	10	30	47.4	1	15.1
8	7.8	350	98	1	2	10	30	115.6	1	9.33
9	7.8	350	98	1	1	10	30	50.5	1	15.3
10	7.8	350	98	1	2	10	30	125.5	1	9.11
11	7.8	350	98	5	1	10	30	50.5	5	22.2
12	7.8	350	98	10	1	10	30	50.5	10	24.0
13	7.8	350	98	10	1	8	30	50.5	10	21.3
14	7.8	350	98	10	1	9	30	50.5	10	22.0

最適切断条件

切断ヘッド送り速度を大きくして繰り返し切断することで加工深さ増大

WJ圧力が大きい方が溶融物の排出能力が大きい

平均加工深さが最大

WJノズル2個に比べ、1個の方がWJ流量が小さく、過剰に試験体を冷却しない

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.578





① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:材料比較試験)】

材料比較試験に用いた試験体は下表の通り。

スタンドオフ・WJ条件比較試験同様、下表試験体の40mm幅切断を実施し、同条件で切断したSUS304試験体との平均加工深さの比較を実施した。

【材料比較試験の試験体】

材質	SM400B	SQV2A	NCF600	ジオポリマー
外観				
寸法 [mm]	75 × 75 × 30	227 × 700 × 30	φ430 × 70	φ55(長さ は個体差あり)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.579

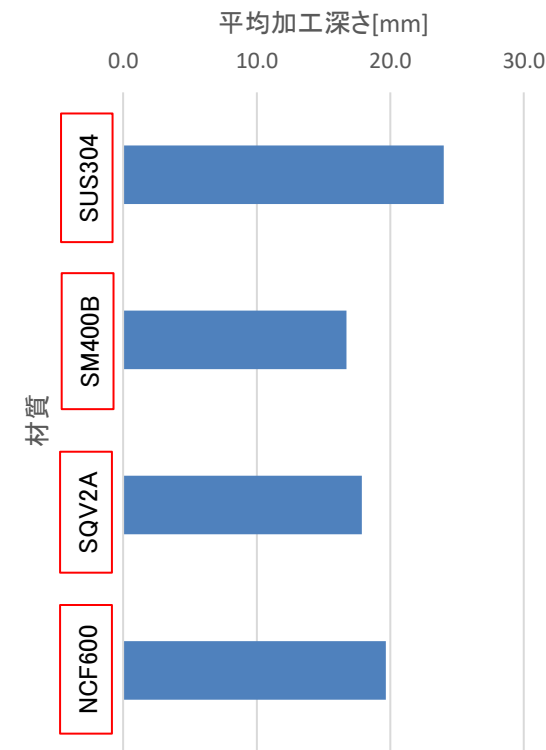
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:材料比較試験)】

SM400B、SQV2A、NCF600試験体のレーザ単体照射/レーザ+WJ切断の結果を示す。

【WJ無/有による切断状況の違い】

条件	SM400B	SQV2A	NCF600
WJ 無し	 <ul style="list-style-type: none"> 溶融物が右上方に流動 溶融物の粘り強 	 <ul style="list-style-type: none"> 溶融物が右下方へ流動 溶融物の粘り強 	 <ul style="list-style-type: none"> 溶融物が切断部に固着
WJ 有り	 <ul style="list-style-type: none"> 表面に溶融物固着なし 切断部右側に溶融物の固着多 	 <ul style="list-style-type: none"> 表面に溶融物固着なし 	 <ul style="list-style-type: none"> 右側表面に溶融物固着



【結果】

SM400BやSQV2Aといった、**溶融物に強い粘りが確認された材質の加工深さが小さくなる傾向が見られた。**

【考察】

SM400B、SQV2Aの溶融物は、溶融物同士の結合力(表面張力)が強く、WJでも除去しきれなかったと考えられる。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.580

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:材料比較試験)】

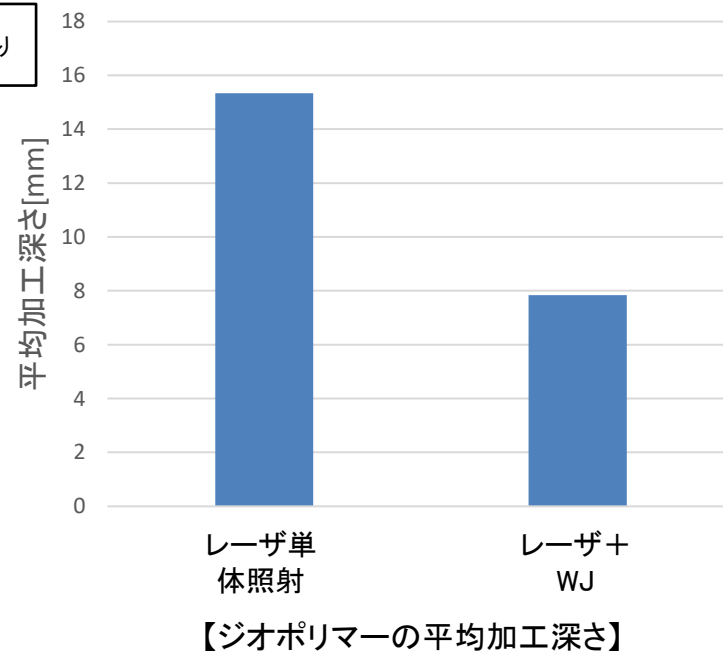
ジオポリマー試験体のレーザ単体照射/レーザ+WJ切断の結果を下記に示す。

【切断条件(ジオポリマー)】

条件	①	②
スタンドオフ[mm]	98	
切断ヘッド送り速度[mm/s]	5	
WJポンプ圧力[MPa]	-	10
切断回数[-]	1	
備考	WJ無し	WJ有り



【切断状況(ジオポリマー)】



【結果】

- レーザ+WJ切断と比較して、**レーザ単体照射の方が平均加工深さが大きい結果が得られた。**
- レーザ単体照射時、ジオポリマーの熔融と、アシストガスによる熔融物の飛散が見られた(火花の発生は無し)。
- レーザ単体照射の場合、切断部周辺にガラス状の固着物が見られた。

【考察】

- レーザ+WJ切断の場合、WJの冷却効果により、ジオポリマーの熔融を妨げ、加工深さが低下する。

→ **可能な限り充填固化部を切削したくない場合は、レーザ+WJ切断であれば数mmの加工深さに抑えることができる。**

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.581

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:ヒューム測定)】

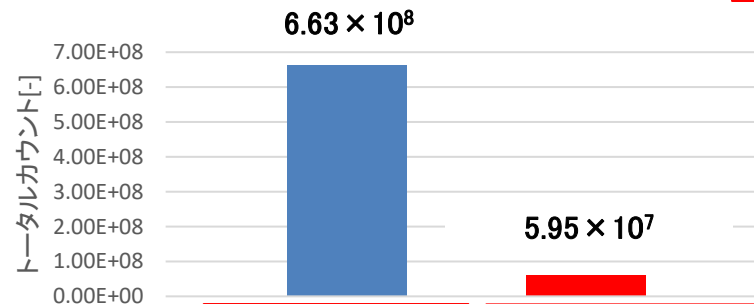
SUS304試験体(t10mm)を対象にレーザ単体照射/レーザ+WJ切断にて貫通まで切断を実施した。

発生したヒュームのトータルカウントと、粒径分布を下記に示す。

ヒューム測定装置(電子式低圧インパクタ)

【切断条件(SUS304ヒューム測定)】

条件	①	②
レーザ出力[kW]		7.8
スタンドオフ[mm]		98
切断ヘッド送り速度[mm/s]		10
WJポンプ圧力[MPa]	-	10
備考	WJ無し	WJ有り



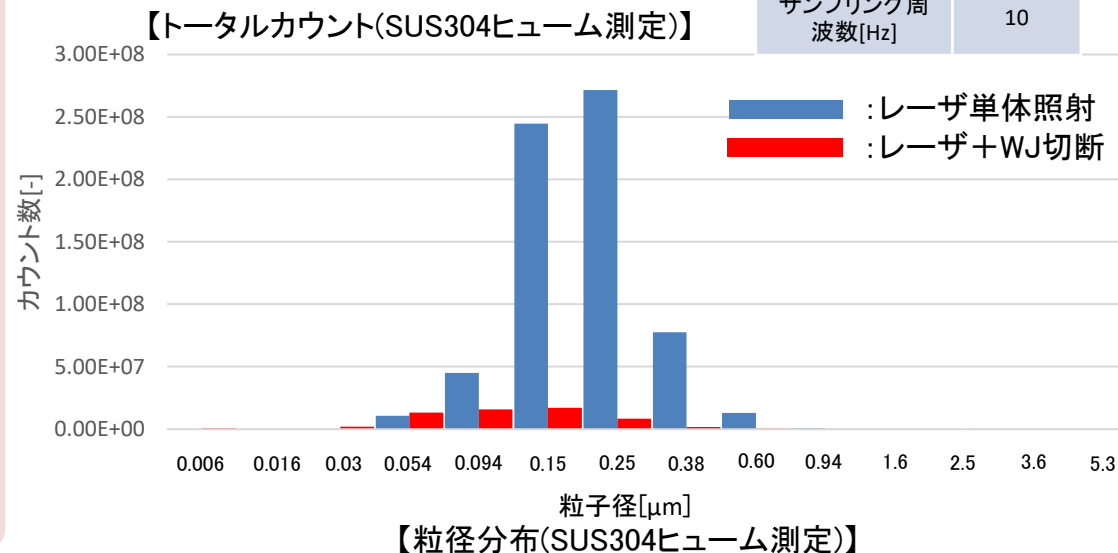
項目	内容
測定可能粒子径範囲[μm]	0.006~10
チャンネル数[-]	14
サンプリング周波数[Hz]	10

【結果】

- WJ有りの条件におけるヒュームのトータルカウントは、WJ無しの9%程度まで低減された。
- 0.094μm以上の粒子カウント数は大きく減少(10分の1程度)したが、0.094μm未満の粒子カウント数がわずかに増加した。

【考察】

- 同じ切断深さ10mmを生成するのに発生するヒューム量としては、WJ付与によって大きく低減する。
- 切断1回あたりのヒューム発生量で評価すると、WJ無しが 2.45×10^7 個、WJ有りが 1.98×10^7 個であり、大きな差はないが、切断回数が大きく低減している為、結果的にヒューム発生量の低減につながる。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.582

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:ヒューム測定)】

SM400B試験体(材料比較試験で使用したものと同一)を対象にレーザー単体照射/レーザー+WJ切断にて40秒間切断を行い、発生したヒュームのトータルカウントと、粒径分布を下記に示す。

【切断条件(SM400Bヒューム測定)】

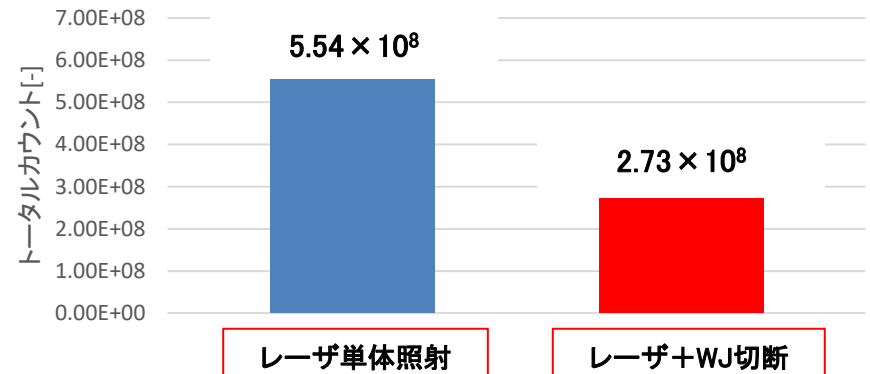
条件	①	②
レーザー出力[kW]	7.8	
スタンドオフ[mm]	98	
切断ヘッド送り速度[mm/s]	10	
WJポンプ圧力[MPa]	-	10
備考	WJ無し	WJ有り

【結果】

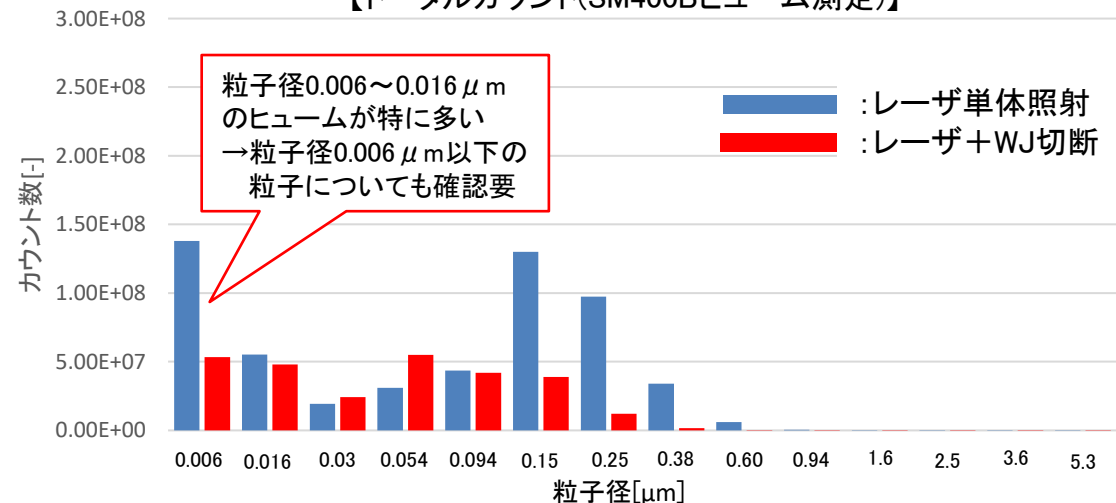
- WJ有りの条件におけるヒュームのトータルカウントは、WJ無しの50%程度まで低減された。
- 0.054~0.094 μm の粒子径のヒュームカウント数は、WJ有りの条件の方が多くなった(それ以外は減少)

【考察】

- 切断時間(回数)が同じであってもWJ付与によってヒュームのトータルカウントが減少した
→WJのヒューム低減効果と推定
- SM400Bの場合、0.006 μm 以下の粒子径についても測定が必要と考えられる。



【トータルカウント(SM400Bヒューム測定)】



【粒径分布(SM400Bヒューム測定)】

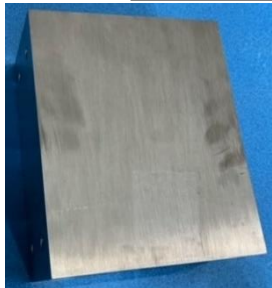
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.583

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:簡易模擬体切断試験)】

形状比較試験・簡易模擬体切断試験にて使用した模擬試験体の模擬対象は下記の通り。

ガイドロッドブラケット



材質:SUS304
寸法:200mm
×165mm
×t90mm

シュラウドヘッドボルト ナット



材質:SUS304
寸法:φ88mm
×281mm

シュラウド+充填固化部



シュラウド
材質:SUS304
寸法:t38mm

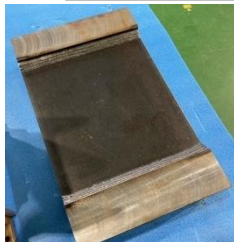
充填固化部
材質:ジオポリマー
寸法:φ55mmの
半割れ

ジェットポンプ ライザ管

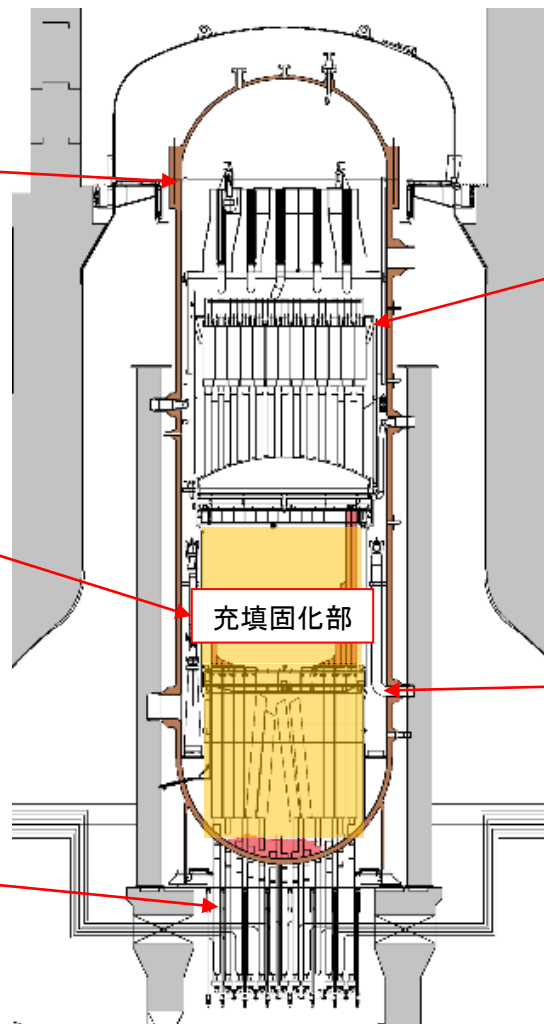


材質:SUS304
寸法:φ273mm
×200mm
×t11mm

CRDハウジングサポート ビーム



材質:SM400B
寸法:300mm
×480mm
×t75~115mm



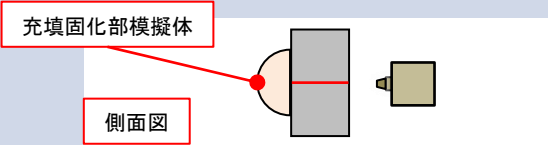

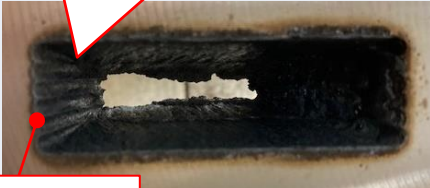


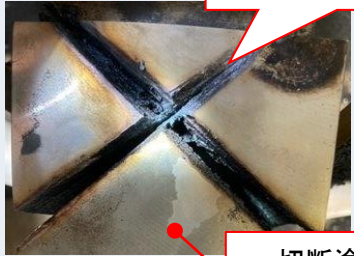
充填固化部

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.584

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:簡易模擬体切断試験)】

種々の模擬体の切断結果は下記の通り。


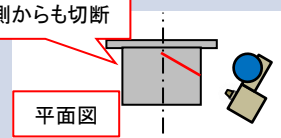
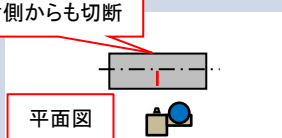


項目	シュラウド+充填固化部	ガイドロッドブラケット
材質	SUS304+ジオポリマー	SUS304
切断条件	レーザ出力:7.8kW スタンドオフ:98mm ヘッド送り速度:1、5mm/s(切断進捗に応じ変更) WJノズル个数:2個 WJポンプ圧力:10MPa 噴射周波数:123.5Hz	レーザ出力:7.8kW スタンドオフ:98mm ヘッド送り速度:10mm/s WJノズル个数:1個 WJポンプ圧力:10MPa 噴射周波数:38.2Hz
切断方針	切断方向:1方向 目標加工深さ:38mm 	切断方向:2方向(V字) 目標加工深さ:60mm 
切断状況	切断(貫通)完了   シュラウド模擬体 充填固化部模擬体	切断完了   ガイドロッドブラケット 模擬体の片割れ V字の交点で溶融物が切断溝に溜まる 切断途中に上から見た様子
切断時間	1392[s]≒23[min] (実機シュラウドの場合:137[h])	8630[s]≒144[min]

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.585

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(試験結果:簡易模擬体切断試験)】

種々の模擬体の切断結果は下記の通り。

項目	シュラウドヘッドボルトナット	ライザ管	ビーム
材質	SUS304	SUS304	SM400B
切断条件	レーザ出力:7.8kW スタンドオフ:98mm ヘッド送り速度:5mm/s WJノズル個数:2個 WJポンプ圧力:10MPa 噴射周波数:123.5Hz	レーザ出力:7.8kW スタンドオフ:98mm ヘッド送り速度:5、10mm/s(適宜変更) WJノズル個数:1個 WJポンプ圧力:10MPa 噴射周波数:38.2Hz	レーザ出力:7.8kW スタンドオフ:98、48mm(適宜変更) ヘッド送り速度:1、5mm/s(適宜変更) WJノズル個数:2個 WJポンプ圧力:10MPa 噴射周波数:194.2Hz
切断方針	切断方向:2方向 目標加工深さ:44mm 	切断方向:2方向(V字) 目標加工深さ:160mm 	切断方向:2方向 目標加工深さ:75mm 
切断状況	切断(貫通)完了  シュラウドヘッドボルトナット模擬体(切断後) 吊金具模擬体 背面の吊金具模擬体の加工深さが1mm程度 →背面構造物への影響軽微	切断完了  ライザ管模擬体	切断未完了  SM400Bの最適切断条件を調査することで切断効率向上の見込み有り ビーム模擬体
切断時間	2434[s] ≒ 41[min]	2856[s] ≒ 97[min]	16128[s] ≒ 269[min] (平均加工深さ39.9mmまで)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.586

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【炉内構造物大型切断工法 要素試験(まとめ)】

レーザー+WJ切断の要素試験を実施し、下記の結果を得た。

- 現状の切断ヘッドにおける、**SUS304材質の板形状構造物の最適切断条件**を確認した。
- **SM400B、SQV2A、NCF600**といった、炉内構造物に採用されている種々の材質に対し、**SUS304との切断性能の違い**を確認した。
- SUS304およびSM400Bに対し、**WJによるヒューム発生量低減効果**を確認した。
- 炉内構造物の中でも特に切断が困難と考えられるものに対し、材質/形状を模擬した簡易模擬体の切断を行い、**レーザー+WJ切断技術にて概ね切断可能な炉内構造物を確認した**とともに、**切断時間短縮の為の改善案**を抽出した。
- シュラウド切断時の充填固化部への影響を確認し、レーザー+WJ切断の場合、充填固化部をほとんど切削しないことが分かった。

また、レーザー+WJ切断技術の更なる切断能力の向上、実機作業の効率化にあたり、下記の課題がある。

- 本要素試験で実現できなかったパラメータ領域での切断能力の確認が必要
(WJの流量を抑制しつつ、WJの圧力を増大させることで熔融物の排出能力が向上する見込み有り)
- 切断ヘッドサイズの関係から、切断ヘッドを傾けて切断を実施したケースが見られたが、斜め方向に切断する場合、目標加工深さが大きくなってしまふ為、可能な限り切断ヘッドサイズを縮小し、切断に要する時間を低減する必要がある。
- 熔融物が再固着するケースが見られた為、熔融物の排出ルートを確保できるよう、切断の幅を広く確保する、切断対象物の端から切断を開始するといった、切断ヘッドの運用面での工夫が必要である。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.587

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:2020年度成果】

- 2020年度に落下防止/再臨界防止を目的とし、充填材に求められる機能について概念検討を実施した。
- そのうち、充填材施工工法の実現性を左右するNo.1～4の機能について基礎試験で確認した。

No.	求められる機能	内容	机上検討	基礎試験
1	施工時には流動性が良く、空隙なく充填可能なこと	充填材により、切り株燃料や燃料デブリの形状維持及び落下防止できること	—	○
2	充填材施工工法の未臨界担保	固化／搬出時に未臨界維持が担保できること	○ 臨界評価	○ 吸収材添加
3	充填材の物理的強度	加工／搬出に耐えうる強度があること	—	○
4	充填材の耐熱性	燃料デブリからの崩壊熱の影響を受けても、ひび割れ等の発生が抑えられること	—	○
5	充填材による水素発生抑制	搬出／運搬作業時の水素発生量を抑制可能なこと	○	—

〈No.1基礎試験結果〉

損傷無し^のCRGTを模擬

倒壊したCRGTを模擬
(倒壊角度を0、15、30度とパラスタ)

底面に設置

ジオポリマー投入

充填

CRGT

底部に水があると想定
(水深: 約50mm)

ペール缶
(底部のヒータ温度60度)

ペール缶の底面にCRGTを設置し、隙間なく充填できるか確認

30度 切断

0度 切断

15度 切断

傾斜角度=30度

傾斜角度=0度

傾斜角度=15度

充填後のペール缶を上から見たイメージ

【充填の基礎試験の条件について】

【充填の基礎試験結果(切断して内部を確認)】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.588

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:検討項目抽出】

- 2020年度に抽出した課題に対し、以下の検討を実施した。
- 充填材候補のジオポリマーに関し、貫通孔からの流出抑制方法検討や実機を考慮した施工方法検討の為に特性を把握しておくことが必要である。
- 2021年度にID.4の特性把握試験を実施し、固化体の断面観察等の評価を行った。

課題(2020年度)	ID.	検討項目	内容	実施年度	状況
充填固化体の機能維持に関する検討	1	RPV内環境条件(温度)を想定した固化機能への影響評価(ID.4と合わせて実施)	想定されるRPV内の温度を評価した上で、固化機能への影響を評価(高い温度での固化時間、強度変化等の影響を確認)する。	2021年度	次頁にて説明
	2	厳しい環境下での機能維持に関する検討	厳しい環境下で、必要な機能を付加したジオポリマーの機能維持状態(α 線照射時の強度変化等の影響)を確認する。	2021年度～2022年度	後段にて説明
実機を想定したRPV内への充填材施工の検討	3	炉内への充填施工方法の検討	RPV内を充填する際、どのように注入すべきか(注入点やその後の充填のされ方)を検討する。	2022年度	後段にて説明
	4	ドラム缶スケールでの注入試験による特性把握(ID.1と合わせて実施)	前回の基礎試験より規模を拡大して、ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーの特性把握(充填可能か、強度等確認)を実施する。	2021年度	次頁にて説明
	5	貫通孔からの流出抑制方法の検討	温度や添加物を適切に組合せて、どの程度の開口であれば、流出抑制が可能か検討する	2022年度	後段にて説明
	6	実機での施工に向けた施工手順・施工方法の検討	ID.3、ID.4の検討結果を受けて、どのような設備が必要かを検討する。	2022年度	後段にて説明
充填による影響評価	7	処理・処分への影響	充填固化体の処理・処分への影響を検討する。	今後検討	今後検討
	8	発熱体を固化した際の影響	燃料デブリ(発熱体)が固化体内部にある場合の固化体への影響や放熱(冷却)方法等を検討する。	今後検討	今後検討

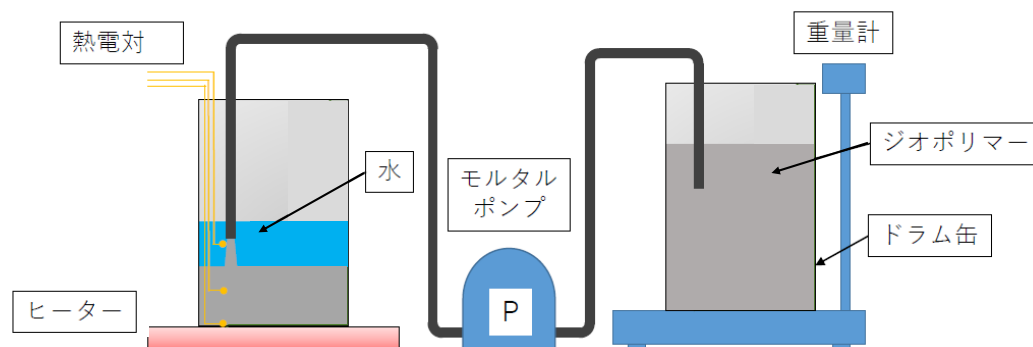
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.589

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:ドラム缶注入試験】

- 特性把握の為の確認試験(ドラム缶注入試験)の試験条件およびイメージを以下に示す。
- 配合の異なるジオポリマーに対し、RPV内環境条件(水があり、発熱している環境)で充填固化した際の状態を確認した。その際、中性子吸収材模擬等としてジオポリマーに珪砂を混合した。

ID.	項目	条件	備考
1	ジオポリマー種類	3種類	ジオポリマーの配合の違いによる特性を確認する。
2	珪砂充填量	30%程度	中性子吸収材等を想定し混合。充填量が多い程割れにくい特性あり。
3	ドラム缶加熱温度	加熱無し、60℃、80℃	燃料デブリの発熱を想定(底部を加熱)。
4	水位	100mm	・詳細未確認であるが、RPV内の水位はそこまで高くないと想定。 ・現状未臨界であることを考慮(無限平板で未臨界の水位から仮定)。
5	温度計測位置	底部、175mm、350mm、525mmで測定+水面	・200Lドラム缶の高さ900mmに対し、8割(700mm)程度ジオポリマーを注入。 ・底部、高さ1/4、2/4、3/4の位置でジオポリマー固化時の内部温度をモニタリング。 ・水面にも浮き輪等で熱電対を浮かせ、水温を測定。
6	ジオポリマー原料温度	10℃以下に冷却	注入中の固化反応を抑制する為、各原料は10℃以下に冷却し、常温で混練。
7	ジオポリマー注入速度	成行き(30分程度)	供給側ドラム缶の重量減少を重量計で測定し、時間と重量変化から注入速度を算出。



【評価項目】

- ・充填固化後の状態確認
(ワイヤソーで固化体を半分に切断し、断面観察)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.590

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:ドラム缶注入試験結果】

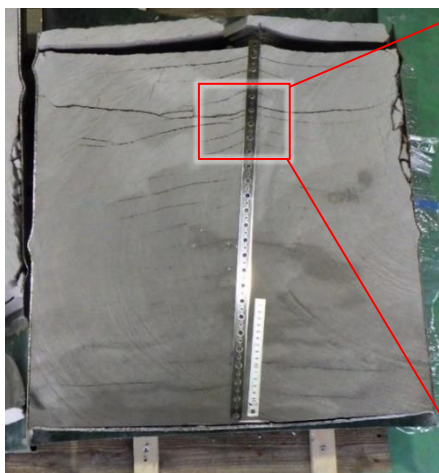
● 試験結果(代表例)

- ・試験No.1の試験体(加熱なし)を切断し、断面を観察。水平方向に多数のクラックが発生していることを確認。
→クラックの間隔は熱電対の支持に用いた金具の穴の間隔と一致していたことから、この穴を起点にクラック発生と仮定。固化体の中央部と外側(上下)の体積変化が経過時間によって異なること、ドラム缶の形状(リブ)、熱電対支持金具によるアンカー効果(変位を拘束する)が要因と推察。

● 対策の有効性検討(試験No.6, 7試験での検証)

【試験No.6】 注入速度を下げ、放熱を良くすることで、固化体中心部と外部の温度差を小さくする。

- 注) 熱電対支持金具によるアンカー効果の影響を排除する為、熱電対固定方法変更(金具を除外)
→割れが発生しないことを確認。ただし、熱電対支持金具を除外した影響の可能性あり。



全体



拡大図

試験No.1(加熱無し)断面 クラックと熱電対支持金具の比較



試験No.6(1回注入)断面

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.591

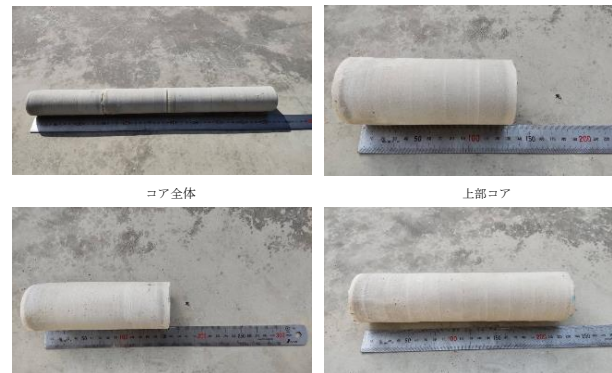
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:ドラム缶注入試験結果】

- 【試験No.7】No.6と同じ注入速度で、注入を3回に分け、更に放熱を良くする。



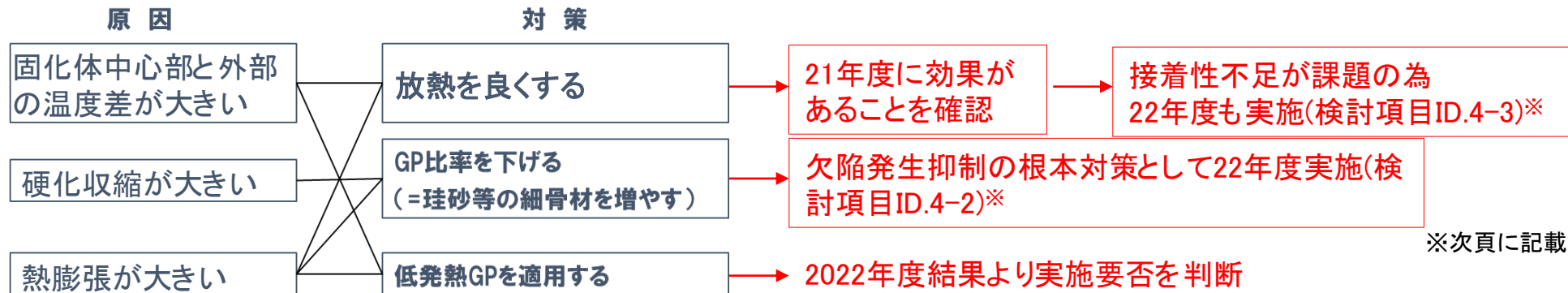
試験No.7(3回注入)切断面



試験No.7(3回注入)コアボーリング結果

・注入毎の境目が発生することを確認。断面観察時は接着していたが、コアボーリング時に衝撃が加わると、境目から分裂。→**接着性不足である可能性を確認。**

- クラック発生原因と対策から2022年度実施内容を検討した。



※次頁に記載

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.592

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:2021年度成果および2022年度実施項目】

 :ID.4の結果を受け追加

課題(2020年度)	ID.	検討項目	内容	実施年度	状況
充填固化体の機能維持に関する検討	1	RPV内環境条件(温度)を想定した固化機能への影響評価	想定されるRPV内の温度を評価した上で、固化機能への影響を評価(高い温度での固化時間、強度変化等の影響を確認)する。	2021年度	実施済
	2	厳しい環境下での機能維持に関する検討	厳しい環境下で、必要な機能を付加したジオポリマーの機能維持状態(α 線照射時の強度変化等の影響)を確認する。	2021～2022年度	次頁以降説明
実機を想定したRPV内への充填材施工の検討	3	炉内への充填施工方法の検討	RPV内を充填する際、どのように注入すべきか(注入点やその後の充填のされ方)を検討する。	2022年度	次頁以降説明
	4	ドラム缶スケールでの注入試験による特性把握(ID.1と合わせて実施)	前回の基礎試験より規模を拡大して、ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーの特性把握(充填可能か、強度等確認)を実施する。	2021年度	実施済
	4-2	珪砂充填量増加による対策(ID.1と合わせて実施)	クラック対策として、細骨材増加により固化体全体の収縮量を小さくした場合のドラム缶スケール試験を実施する。	2022年度	次頁以降説明
	4-3	継ぎ足し施工	接着性不足対策として、継ぎ足しがジオポリマーの強度に与える影響を確認する。強度低下しない継ぎ足し間隔があるか確認する。	2022年度	次頁以降説明
	5	貫通孔からの流出抑制方法の検討	温度や添加物を適切に組合せて、どの程度の開口であれば、流出抑制が可能か検討する	2022年度	次頁以降説明
	6	実機での施工に向けた施工手順・施工方法の検討	ID.3、ID.4の検討結果を受けて、どのような設備が必要かを検討する。	2022年度	次頁以降説明
充填による影響評価	7	処理・処分への影響	充填固化体の処理・処分への影響を検討する。	今後検討	今後検討
	8	発熱体を固化した際の影響	燃料デブリ(発熱体)が固化体内部にある場合の固化体への影響や放熱(冷却)方法等を検討する。	今後検討	今後検討

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.593

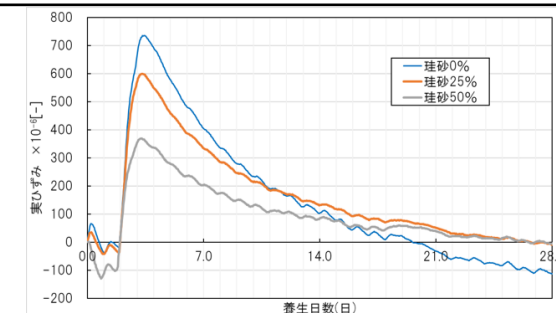
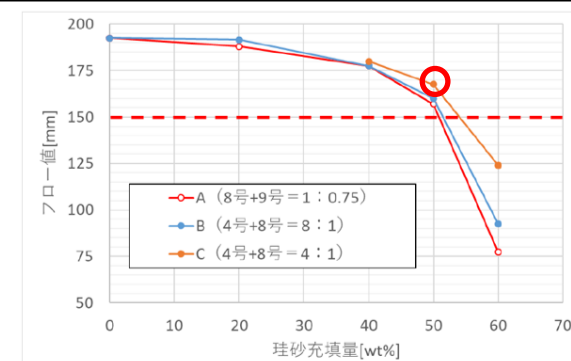
① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:珪砂充填量増加による対策】

ID.	検討項目	内容
4-2	珪砂充填量増加による対策	クラック対策として、細骨材増加により固化体全体の収縮量を小さくした場合のドラム缶スケール試験を実施する。

- テーブルフロー試験(*)・ひずみ測定試験を実施し、ドラム缶スケール試験で使用する珪砂の配合と有効性について確認した。(※)モルタルの柔らかさの指標を示すもの

試験項目	目的	試験結果
テーブルフロー試験	<p>既存のモルタルポンプで圧送可能なテーブルフロー値15cm以上となる配合で、珪砂の組合せを検討する。</p>	<p>・検討した配合では、すべて50wt%まではフロー値15cmを上回り、60wt%で下回った為、珪砂充填量50wt%を選定した。</p> <p>・その中でフロー値の最も大きい珪砂4号:8号=4:1の配合を試験条件として選定した。(粒径4号:0.21~1.18mm、8号:0.05~0.15mm)</p>
ひずみ測定試験	<p>珪砂充填量増加がクラック対策に有効か確認する為、テーブルフロー試験で選定した配合で熱膨張による影響を確認する。</p>	<p>・珪砂充填量を増加させると、体積変化が減少することを確認し、細骨材増加がクラック対策に有効であることを確認した。</p> <p>→今回の配合では珪砂充填量50%が有効であることを確認した。</p>



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.594

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:200Lドラム缶スケール試験】

● 200Lドラム缶スケール試験条件:

試験No.	2021年度			2022年度	
	1,2,3	6	7(3回注入)	200L予備試験	200L本試験
ジオポリマー種類	SIAL® (水中使用想定し、短時間で固化することを想定した配合)	メタカオリン+Na系		SIAL® (水はほとんど存在しないが湿度100%に近い環境を想定した配合)	
珪砂配合	8号のみ	9号のみ		4号:8号=4:1	
珪砂充填量(wt%)	16	30	20/40/40	50	
フロー値(cm) ^{※1}	21	20	未計測	17	
熱電対	有り(ドラム缶中心、サポート有)	有(ドラム缶中心、サポート無し) ^{※2}	無し	無し	有り(ドラム缶中心、サポート無し) ^{※2}
水位(mm)	100	無し		無し	
ヒーター加熱	無し/60°C/80°C	無し		無し	40°C(側面+底面) ^{※3} 約2週間
注入方法	ポンプ注入			無し	手入れ
注入速度(kg/min)	29.7/11.8/15.2	8.5	9.9(参考値)	—	5
重量(kg)	282/276/259 (固化前)	331 (固化前)	326.4 (固化前)	314.6 (固化後)	244.4 (固化前)

(※1)ラボスケール試験時測定値

(※2)長尺板状のサポートで割れが生じた為、針金状に細径化

(※3)現状のRPV底部温度(33.9°C/2号機)を参考に設定、満遍なく加熱する為側面にもヒーター追加

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.595

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:200Lドラム缶スケール試験】

● 試験装置等:



混錬装置



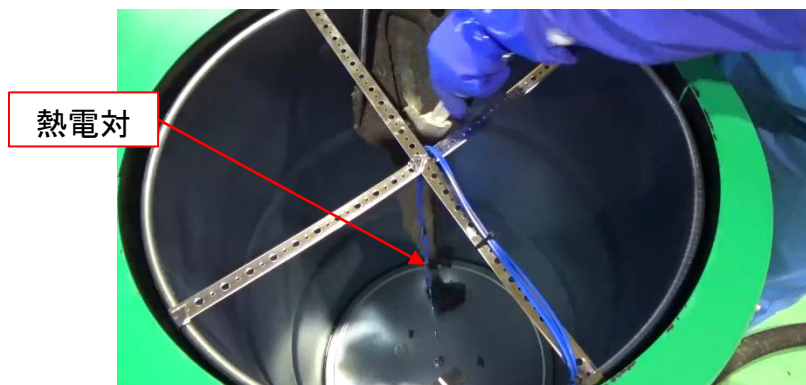
混錬装置(メタカオリン投入)



混錬後ジオポリマー



切断装置(ワイヤソー)



注入開始



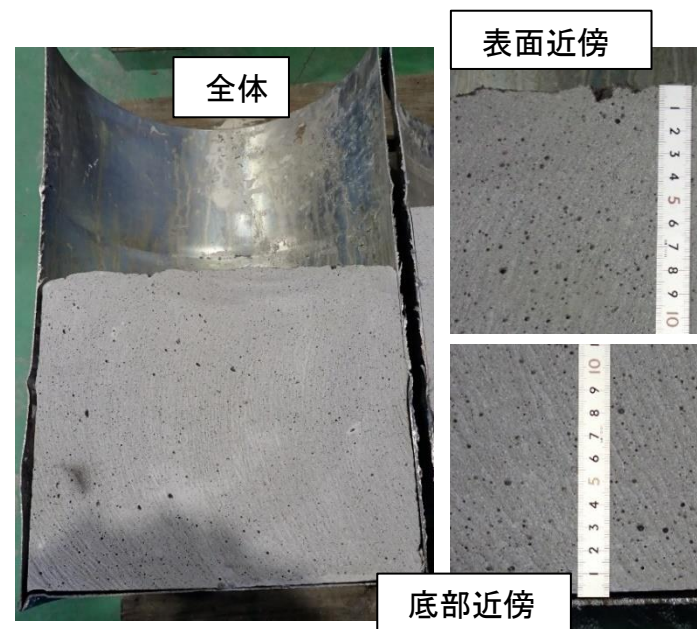
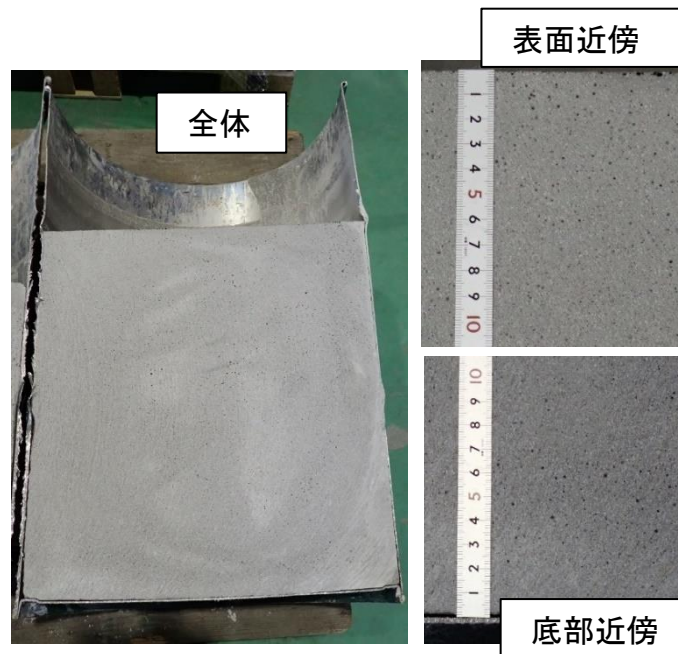
注入終了(注入開始から50分後)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.596

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:200Lドラム缶スケール試験結果】

● 試験結果:



- ・断面観察の結果、内部にクラックは無く、珪砂の偏在もないことを確認した。
→珪砂充填量増加による対策が有効であることを確認した。
- ・200L予備試験と本試験を比較すると、空孔の大きさ(多さ)に違いがあることを確認した。
→手入れにより空気を巻き込みながら充填した為、本試験では空気がそのまま残ってしまったと想定。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.597

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:継ぎ足し施工】

ID.	検討項目	内容
4-3	継ぎ足し施工	接着性不足対策として、継ぎ足しがジオポリマーの強度に与える影響を確認する。強度低下しない継ぎ足し間隔があるか確認する。

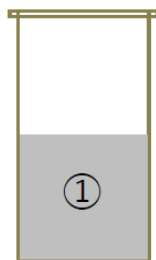
● 打ち継ぎ試験

〈試験内容〉打ち継ぎした試料の圧縮・引張試験、断面観察を実施し、打ち継ぎ無しの試料と比較する。

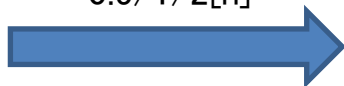
〈試験条件〉打ち継ぎ間隔を変化させる。使用するジオポリマーはA社のもの(200L試験と同じ配合)とする。

〈試験手順〉

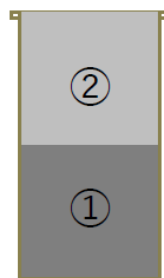
①型枠の半分まで充填する
(使用型枠(φ50×100))



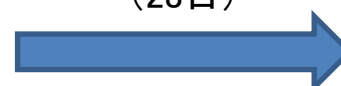
打ち継ぎ間隔
0.5/1/2[h]



②型枠の残りを充填する



気中養生
(28日)



③圧縮試験/直接引張試験
/断面観察実施



直接引張試験写真

● 直接引張試験方法


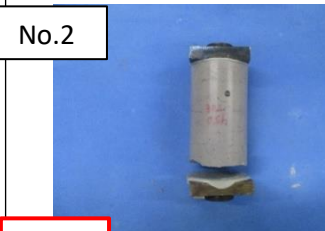
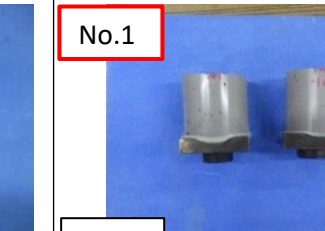
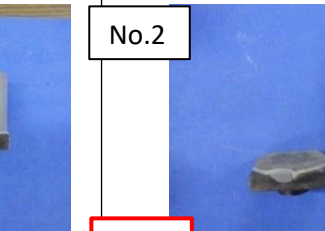

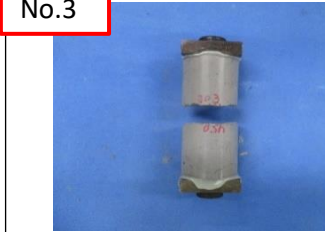
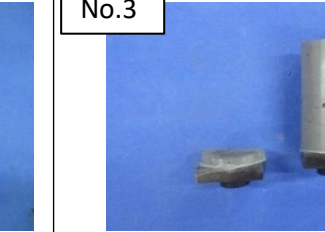
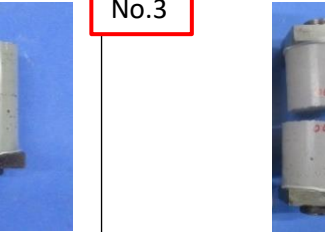

試料の両端面を研磨により面出しし、エポキシ樹脂系接着剤を用いて治具を接着。
24時間以上静置したのちに引張試験実施。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.598

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:打ち継ぎ試験結果】

● 圧縮試験/引張試験結果

		打継間隔[h]	0 (打継無し、比較用)			0.5			1			2					
圧縮試験	圧縮強度 [MPa]	個別	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
			72.3	76.1	92.1	84.2	69.7	98.9	77.2	96.7	66.6	107.2	109.2	98.2			
		平均	80.2			84.3			80.2			104.9					
引張試験	引張強度 [MPa]	個別	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
			6.4	5.2	5.8	6.3	5.1	5.1	5.8	6.3	6.6	6.7	6.7	4.9			
		平均	5.8			5.5			6.2			6.1					
引張試験	試験後の試験体外観 (代表例)	No.1				No.2				No.1				No.2			
		No.3				No.3				No.3				No.3			
		 : 打ち継ぎ部で破断															

- ・圧縮強度、引張強度とも打継間隔2時間まででは多少ばらつきがあるが、強度の低下がないことを確認した。
- ・引張試験の外観観察の結果、打継ぎ界面(中央)に限らず他の部分でも破断しており、打ち継ぎ界面は強度面で他の部位と差がないことを確認した。

→試験を実施した範囲内である2時間までは打継施工が可能であることを確認した。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.599

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:打ち継ぎ試験結果】

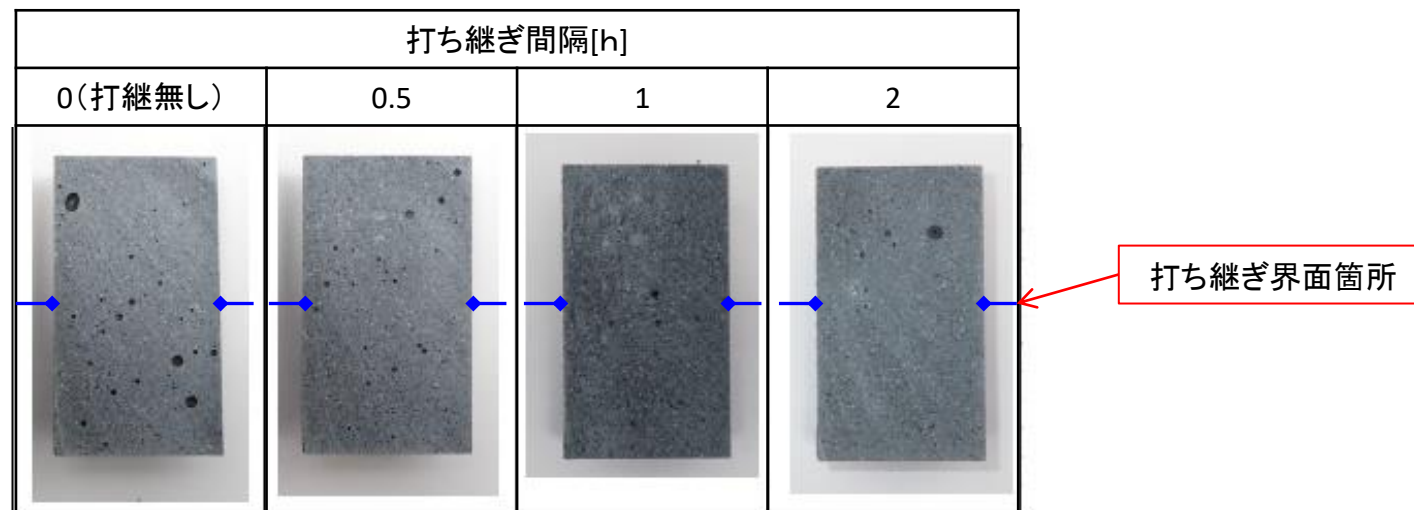
● 断面観察結果

・圧縮引張試験を行っていない試験体について、切断と界面付近を観察する。

→すべての試験体で界面や珪砂の偏在は確認されなかった。

→試験を実施した範囲内である打ち継ぎ間隔2時間までは1回目と2回目のジオポリマー組織が一体化したと考えられる。

・今後、実機を想定した場合の継ぎ足し間隔2時間以上でのデータ取得が必要である。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.600

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:厳しい環境下(α 線照射時)の機能維持に関する検討】

ID.	検討項目	内容
2	厳しい環境下での機能維持に関する検討	厳しい環境下で、必要な機能を付加したジオポリマーの機能維持状態(α 線照射時の強度変化等の影響)を確認する。

● 外観観察およびSEM観察、ビッカース硬さ測定(C社ジオポリマー)

〈試験内容〉平均燃焼度約57 GWd/t の燃料要素から採取した半割れ状被覆管付き燃料ペレット片(照射フラックス約 $4.5 \times 10^9 \alpha / m^2 \cdot s$)をジオポリマーに埋込み、所定時間経過後に観察・測定を実施する。

〈試験条件〉測定回数4回、試験開始時と開始後30日、64日、427日経過時点にホットラボから取り出し
ビッカース硬さ測定箇所:硬さ測定用試料の燃料接触部、中間部、最上部、加重:10g(98mN)

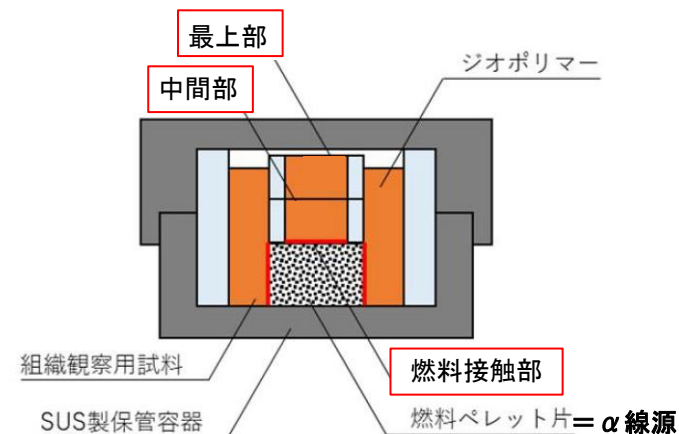
〈試験体〉材齢21日、固化状態、添加剤なし(ブランク条件)

〈試験結果:外観観察およびSEM観察〉

外観観察およびSEM観察による組成観察で、大きな変化のないことを確認した。

〈試験結果:ビッカース硬さ測定〉

- ・ α 線照射に曝された箇所の方が、曝されていない箇所に比べて、硬さが大きかった。
- ・ α 線照射により硬さが大きくなる傾向がある為、今後強度測定の実施を検討する。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.601

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:貫通孔からの流出抑制方法の検討】

ID.	検討項目	内容
5	貫通孔からの流出抑制方法の検討	温度や添加物を適切に組合せて、どの程度の開口であれば、流出抑制が可能か検討する

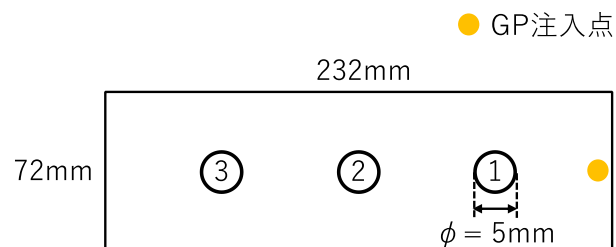
● 開口部閉塞性確認試験(C社ジオポリマー)

〈試験内容〉底面に直径5mmの穴が3箇所空いた、40×76×236mm、厚み2mmのポリプロピレン製透明容器に、作成したジオポリマーを右端から流し込み、到達した開口地点における垂直方法の閉塞性を確認する。

〈試験条件〉以下の3種類のジオポリマーを用いる。

No.	GP状態	密度[g/ml]	粘度[Pa・s]	フロー値[cm]	備考
1	ブランク	1.79	2.58	21.3	—
2	珪砂添加50%	1.98	5.75	15.9	粘度を増加させ収縮防止を目的に珪砂を添加
3	作製後6時間養生	1.79	5.48	未測定※	粘度上昇を目的に養生

※ 参考値7時間養生:13.7[cm]



容器底面開口の概要図
(辺の長さは厚みを除いた値)

ジオポリマー注入地点から開口部までの距離

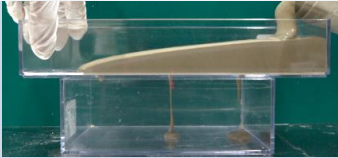

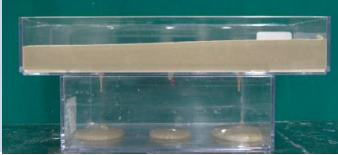

穴	注入地点からの距離[cm]
①	5.7
②	11.6
③	17.5

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.602

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:開口部閉塞試験結果】

・3条件全てのジオポリマーについて、開口部到達直後は連続的に滴り落ちた後、徐々に落下量が減少し開口部を閉塞することを確認した。

	No.1(ブランク)	No.2(珪砂添加50%)	No.3(養生6時間)
密度[g/ml]	1.79	1.98	1.79
粘度[Pa・s]	2.58	5.75	5.48
フロー値[cm]	21.3	15.9	未測定
開口③到達直後			
5分後			
落下量	中間	一番多い	一番少ない
落下速度	一番速い	一番遅い	中間
閉塞までの時間	6分	11分以上	5.5分

- ・No.1とNo.3の比較の結果、同様の密度条件において、粘度が増すほど閉塞性が高くなることを確認。
- ・No.2とNo.3の比較の結果、近い粘度条件において、密度が大きいほど閉塞性が小さくなることを確認。
- 粘度が大きく、密度が小さい材料特性のジオポリマーを使用することが、垂直方向の開口部閉塞に効果的であると考えられる。
- ・ID.4-2,3で適用した珪砂充填量50%の配合においても、φ5mmの開口を閉塞可能な見通しを得た。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.603

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:要求事項の整理】

○:課題あり
△:課題対策中
×:課題なし

No.	要求事項	評価項目	数値目標 (暫定)	備考・対策方針	課題 有無
1	所定の温度下で、混練終了から注入完了まで十分な時間を確保できること	時間、温度	10℃以下6時間	所定の温度を維持可能な注入設備を検討する。	○
2	ポンプで送液可能なこと	フロー値	15cm以上	現有ポンプより仮設定。今後、実機適用のポンプ能力に応じて設定する。	○
3	燃料デブリ、構造物の隙間に侵入すること	粘度	10Pa・S	2020年度に60℃、粘度10Pa・SでCRD.GTの隙間に侵入可能なことを確認済。 介在物があった場合の割れの懸念がある為、今回製作した配合のジオポリマーでの確認試験が必要。	△
4	未臨界を維持できること	中性子吸収材量、均一性	今後設定	中性子吸収材(BまたはGd)がジオポリマーと混合できることを確認済。	△
5	継ぎ足し施工後に強度低下がないこと	引張強度	今後設定	継ぎ足し間隔2時間まで強度低下がないことを確認済。 今後、実機適用に有効な継ぎ足し間隔を確認要。	△
6	開口部を閉塞できること	粘度、密度	今後設定	直径5mmの開口を閉塞できることを確認済。	△
7	固化し自重に耐えられること	圧縮強度、引張強度	今後設定		
8	放射線環境下で所定の強度を下回らないこと	放射線照射後の圧縮強度・引張強度	今後設定	炉内の状況に応じた充填方法(全充填、部分充填)に基づき強度上の要求事項を検討する。	○
9	注水環境下で所定の強度を下回らないこと	水中での圧縮強度・引張強度	今後設定		
10	燃料デブリの崩壊熱に耐えられること(クラック等発生しない)	耐熱温度	300℃	ラボスケールで耐熱温度300℃まで耐えられることを確認済。	△
11	水の放射線分解による水素発生を抑制可能なこと	水素発生量(G値)	今後設定	ジオポリマーとPd粉末を混合した試料について、水素発生量が検出限界値以下であることを確認済。	△
12	切断可能なこと	硬さ	今後設定	コンクリートカッター・ワイヤソー・レーザ切断実績あり。	△

注記:長期保管(放射線核種の閉じ込め機能)、廃棄物処理・処分に関する要求事項の整理は、今後の検討課題であり、本表の対象外とした。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.604

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

ID.	検討項目	内容
3	炉内への充填施工方法の検討	RPV内を充填する際、どのように注入すべきか(注入点やその後の充填のされ方)を検討する。
6	実機での施工に向けた施工手順・施工方法の検討	ID.3、ID.4の検討結果を受けて、どのような設備が必要かを検討する。

- 炉内への充填施工方法について、全充填・部分充填の大きく2つに分類される。
- 損傷状態に合わせて充填方法を整理した。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.605

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

	A. 損傷進展 小規模	B. 損傷進展 中規模	C. 損傷進展 大規模
概念図	<p>炉心部に一部燃料が残存</p> <p>炉底部に燃料デブリ存在 ペDESTALへの流出小</p> <p>充填固化</p> <p>大部分の支持構造物は形状維持</p> <p>下鏡の開口は少数存在</p>	<p>大部分の燃料は下鏡に流出</p> <p>炉底部に燃料デブリ存在 ペDESTALへの流出大</p> <p>局所の充填固化</p> <p>多くの支持構造物は溶融・損傷</p> <p>下鏡の開口は多数存在</p>	<p>大部分の燃料はペDESTALに流出</p> <p>下鏡の構造物は溶融してペDESTALに落下</p>
対応	<ul style="list-style-type: none"> 炉心部、炉底部の燃料デブリを充填固化 大型構造物として切断して搬出 	<ul style="list-style-type: none"> 残存する燃料デブリに局所充填し固化 燃料デブリ残存部に範囲縮小して大切り搬出 	<ul style="list-style-type: none"> 充填固化の適用は不要 搬出可能な大きさを分割切断
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 充填範囲の詳細な位置決めが不要 	<ul style="list-style-type: none"> 必要なジオポリマー量が少ない 	—
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 必要なジオポリマー量が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 堰を設置し、充填したい箇所からジオポリマーが流出しないようにする必要がある 	—

- 本資料では上記の損傷状況に対する、充填施工方法を検討する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.606

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

- ジオポリマーの充填施工方法について、以下の2つの施工方法を検討した。

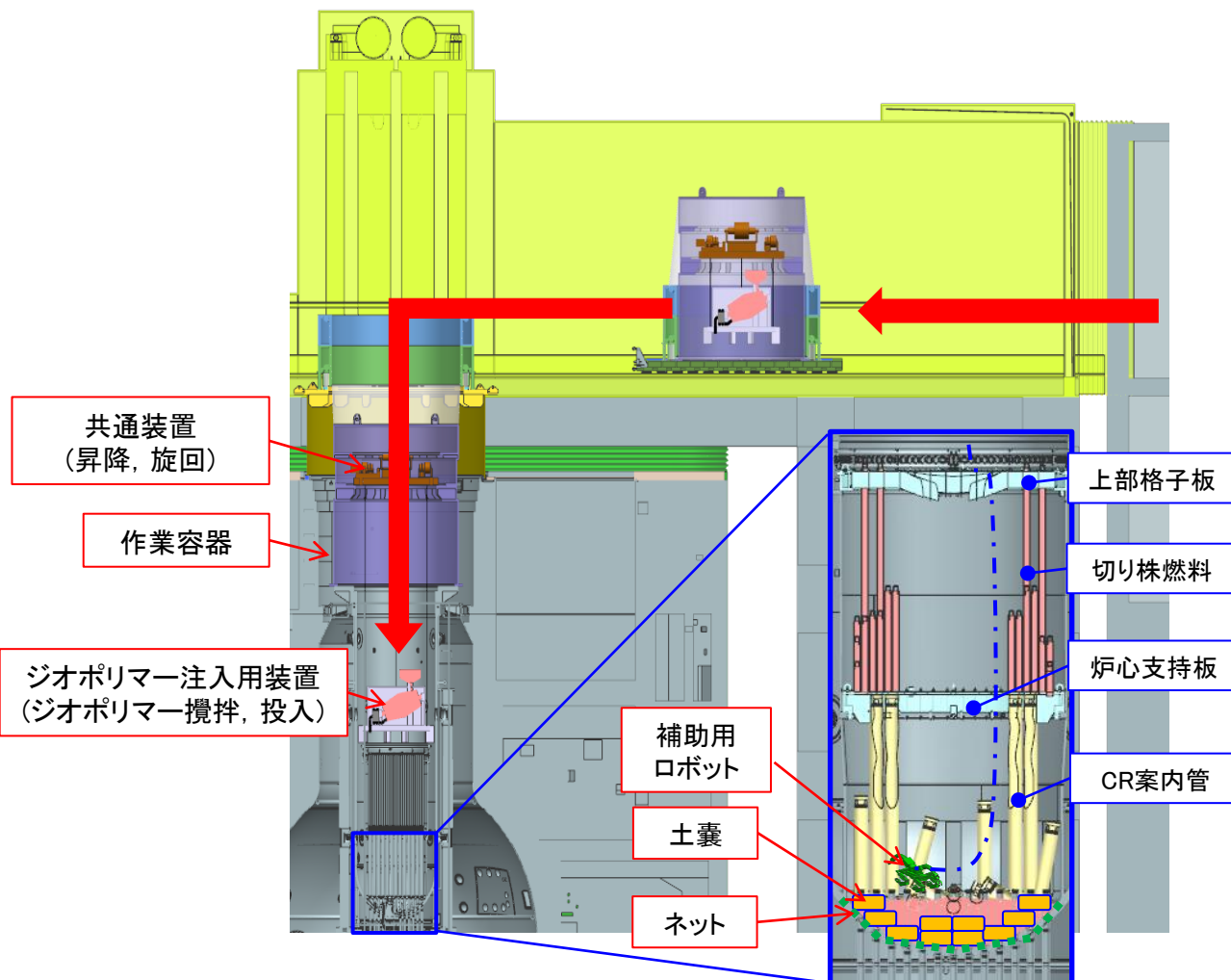
	バッチ処理	連続投入
コンセプト	炉内で材料を混錬し、充填施工箇所までの距離を短くすることで、流動性を維持しながら施工する	構台上で材料を混錬し、炉内へホースで圧送することで、連続して施工する
イメージ図		

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.607

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

● バッチ処理施工方法概要(1/2)



〈前提条件〉

解体装置・補助ロボットを用いて干渉物を撤去後、炉底部下鏡の開口部に、ネット・土嚢を設置して開口部を小さくし、ジオポリマーによる閉塞を可能にする。

炉心部溶融時はシュラウドレグの隙間からジオポリマーの流出を防ぐ為、土嚢を積み上げる(次頁図参照)。

下鏡の状況によりネット設置が困難な場合は、炉底部から設置する落下防止シートで落下物を回収する。

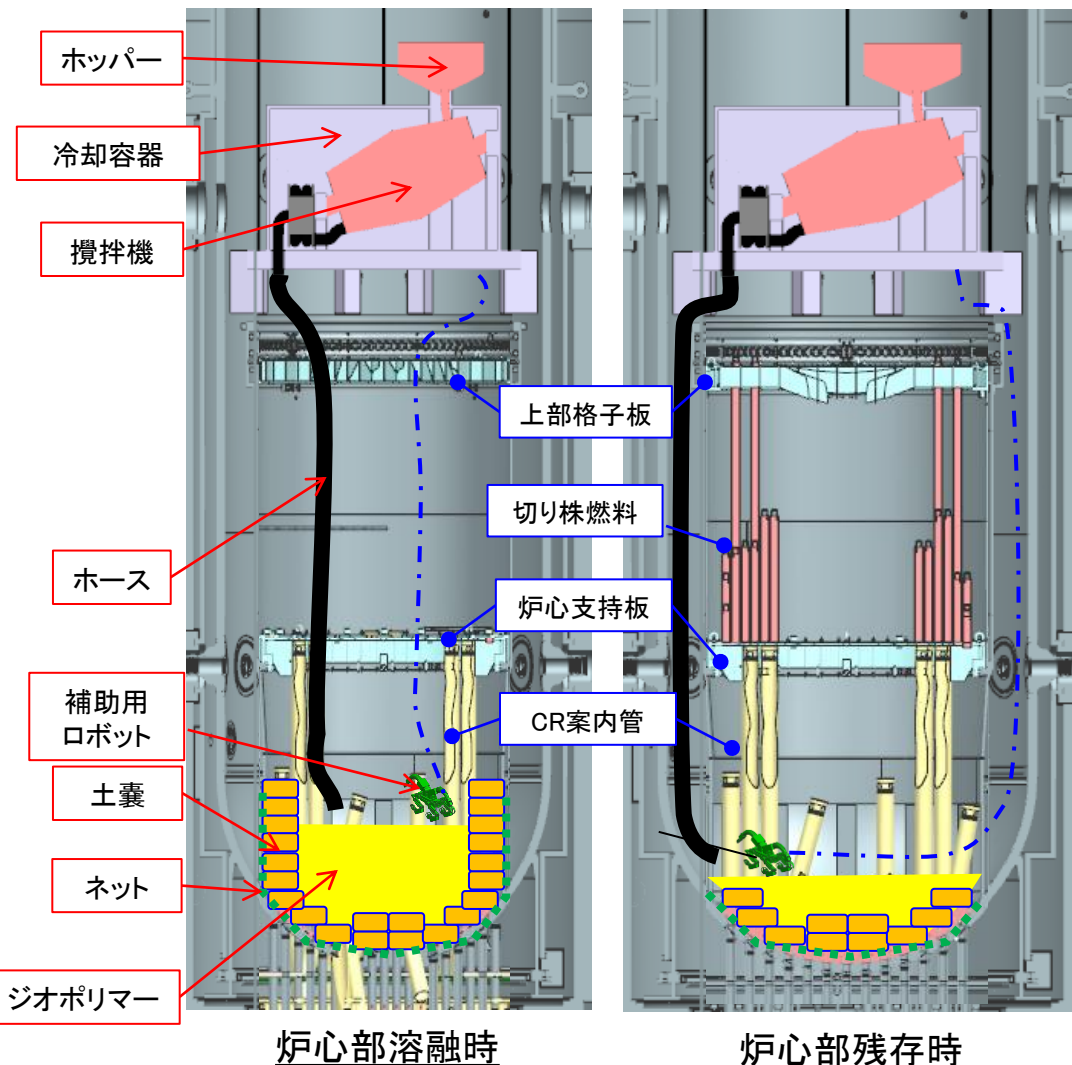
- 増設建屋内で作業容器にジオポリマー注入装置を搭載し、RPV内まで移動する。
- 作業容器からジオポリマー注入装置を吊り降ろし、シュラウド上面に設置する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.608

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

● バッチ処理施工方法概要(2/2)



- ホッパー内の材料を攪拌機に投入し、ジオポリマーを作製する。
- 作製したジオポリマーをホースで炉底部に注入する。その際、注入点の調整を補助用口ロボットで実施する。
- 炉心部に残存構造物があり、炉底部にアクセスが難しい場合は、シュラウドレグ外周部からアクセスし、炉底部を固化してから、炉心部を充填する。
- 攪拌機内のジオポリマー注入が完了したらホースを回収し、次の材料を補充する為に増設建屋まで移動する。
- 以後、繰り返し

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.609

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

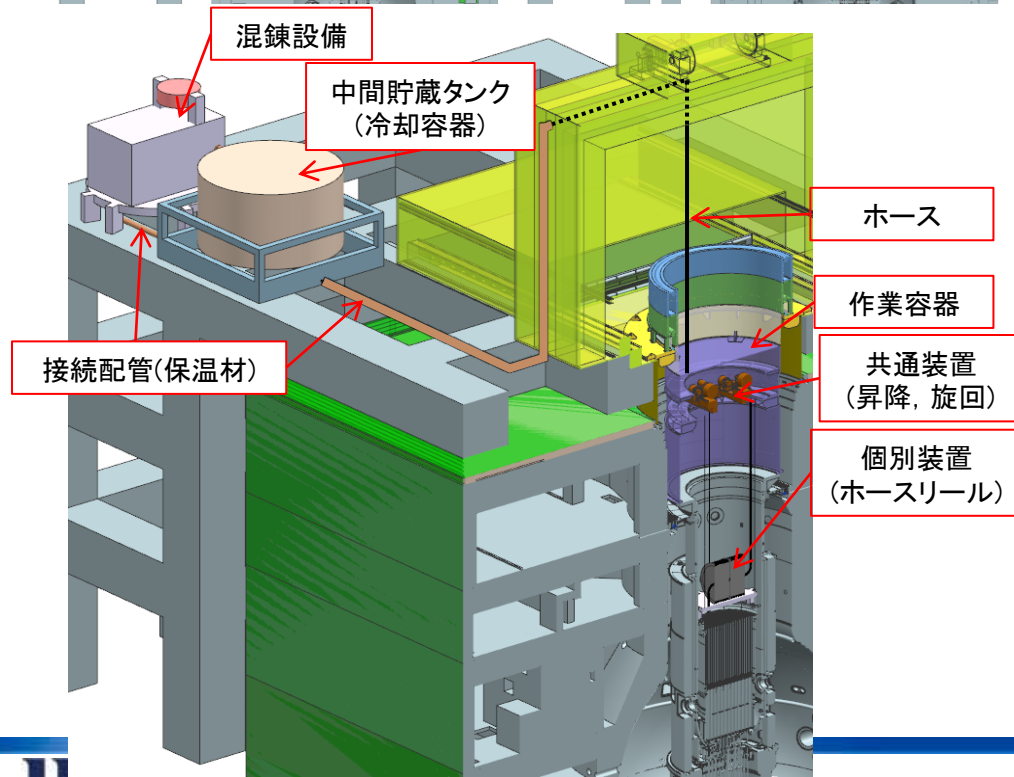
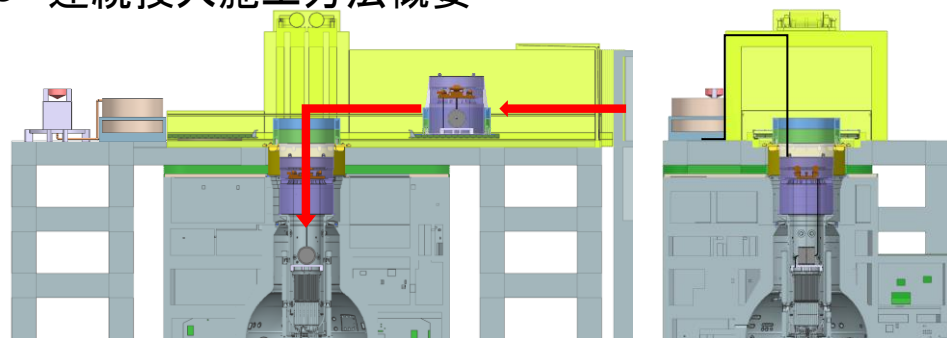
【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

● 連続投入施工方法概要

〈前提条件〉

バッチ処理施工方法と同様

- ホースリールを搭載した作業容器をシュラウド上面に設置する。
- 構台に設置した中間貯蔵タンクからの接続配管と、ホースリールのホースを接続する。
- 混錬設備でジオポリマーを作製し、中間貯蔵タンクに圧送する。
- 構台に設置した中間貯蔵タンクからの接続配管と、ホースリールのホースを接続する。
- 炉底部の注入点にホース先端の位置決めが完了したら、中間貯蔵タンクからジオポリマーを圧送する。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.610

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:炉内への充填施工方法の検討】

● 各施工方法の比較

	バッチ処理	連続投入
メリット	<ul style="list-style-type: none">・混錬箇所から注入点が近い為、流動性維持が容易。・装置を毎回取り換える為、メンテナンスが容易。	<ul style="list-style-type: none">・混錬箇所が構台の為、材料の供給が容易。・装置の取り換えが発生しない為、作業量の削減が可能。
デメリット	<ul style="list-style-type: none">・一度に投入できる量が少ない為、継ぎ足し箇所が多くなる。・装置の入替え作業(材料補充含む)に時間を要する為、充填完了までの作業に時間が掛かる。	<ul style="list-style-type: none">・必要なホース長が長くなり、ジオポリマーの圧送や冷却(保温)が難しい。・ホース長が長い為、ジオポリマー圧送中に中で固まってしまう恐れがある。また、その場合にホースの取り扱いが難しく非常回収の難易度が高い。・混錬や中間貯蔵を構台上で実施する為、構台の大型化の懸念有。

● 結論

ホース処理・10℃以下維持(流動性確保)が必須なことから、管理が容易な**バッチ処理方式**を有力候補として検討を進める。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.611

① 大型切断工法:(c)炉内構造物

【充填材検討:まとめ】

- 充填材として検討中のジオポリマーについて、ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーの特性把握を実施した。
- RPV内想定温度(40℃)でのドラム缶スケールで、クラックのない固化体を作製することができた。
珪砂充填量増加(50%添加)によるクラック対策の有効性を確認した。
今後、介在物等残存時のクラック対策の有効性を確認する必要あり。
- 継ぎ足し施工試験の結果、2時間までは打継施工が可能なことを確認した。
1, 2回目のジオポリマー組織の一体化を確認。強度面でも他の部位と差異無し。
今後、打ち継ぎ時間をどこまで伸ばすことができるか確認する必要あり。
- 放射線照射による影響確認試験を実施し、硬さが上昇するという傾向を確認した。
今後、強度の確認も必要。
- 充填材への要求仕様を整理し、実機適用およびスケール拡大に向けた課題を抽出した。
- 実機での充填材施工に向けた施工方法を検討し、ジオポリマーの流動性確保の観点からバッチ処理方法を有力候補とし、貫通孔からの流出抑制方法も含めて概念検討した。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.612

① 大型切断工法:(c)炉内構造物 【充填材検討:まとめ】

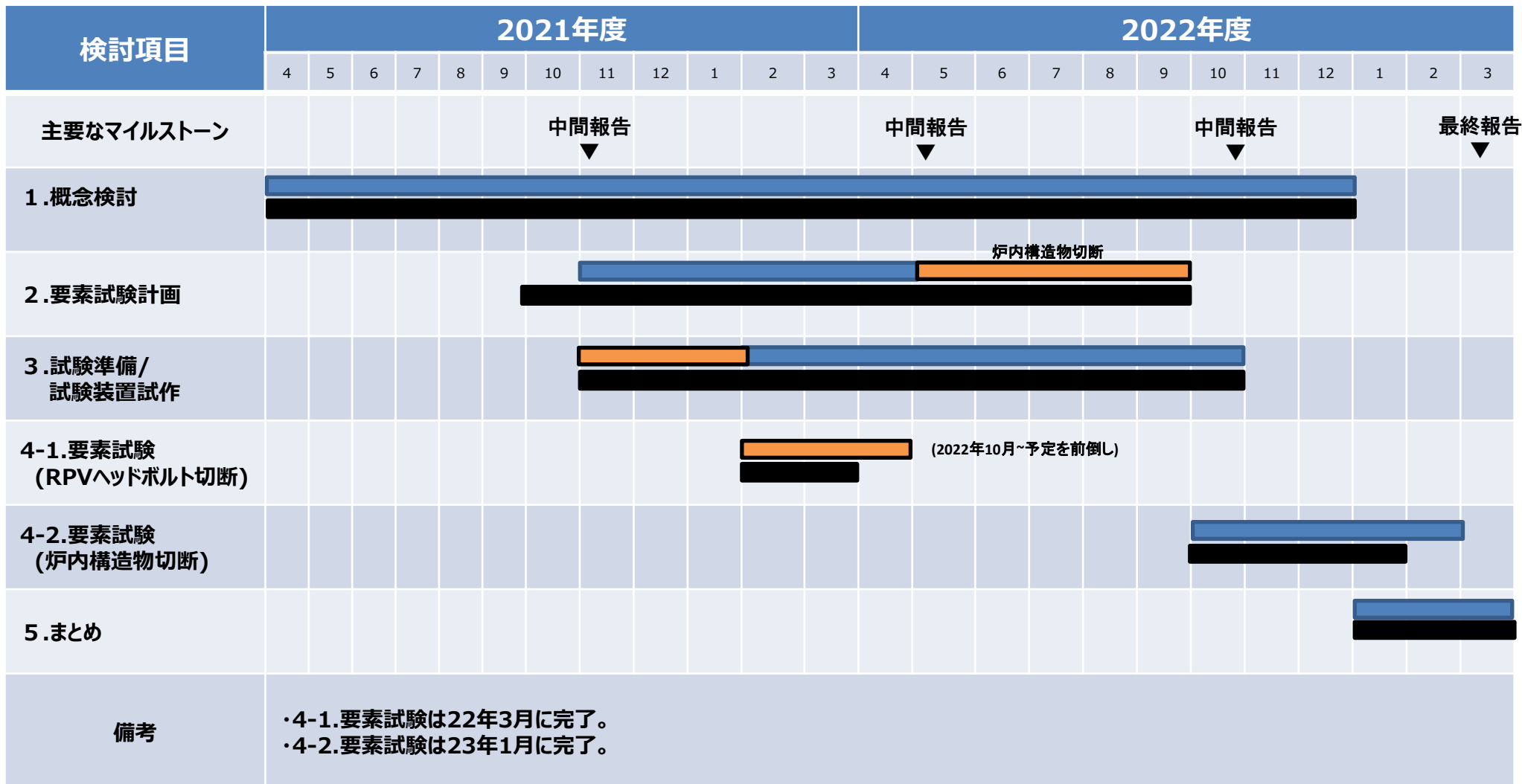
課題	ID.	検討項目	検討結果	課題
充填固化体の機能維持に関する検討	1	RPV内環境条件(温度)を想定した固化機能への影響評価	想定されるRPV内の温度として40℃でドラム缶スケールでクラックのない固化体を作製できることを確認。	実機を想定した場合の継ぎ足し間隔(2時間以上)での強度や温度データの充実化が必要。
	2	厳しい環境下での機能維持に関する検討	α 線照射時に外観および組成に大きな変化のないこと、硬さは大きくなる傾向があることを確認。	ジオポリマーの混錬完了から固化完了までの間の α 線照射による影響確認要。
実機を想定したRPV内への充填材施工の検討	3	炉内への充填施工方法の検討	RPV内を充填する方法としてバッチ処理と連続投入を検討し、ジオポリマーの流動性確保の観点からバッチ処理方式を有力候補として検討。	実機向けの充填設備の具体化及び要素試験による施工方法の課題抽出が必要。また、スループット向上方法についても検討要。
	4	ドラム缶スケールでの注入試験による特性把握(ID.1と合わせて実施)	ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーを充填可能であること、充填剤としての要求を満たすことを確認。	実機を想定した場合の、熱膨張抑制効果の測定データの充実化が必要。また、実機を想定した構造物内在時のクラック対策効果の確認が必要。
	4-2	珪砂充填量増加による対策(ID.1と合わせて実施)	クラック対策として、細骨材増加によりクラックないドラム缶スケールの固化体を作製できることを確認。また、ひずみ測定試験により、細骨材増加が熱膨張抑制に効果があることを確認。	
	4-3	継ぎ足し施工	試験を実施した範囲内である2時間までは打ち継ぎ施工が可能であることを確認。この時、断面観察により1,2回目のジオポリマー組織の一体化を確認し、強度面でも他の部位と差がないことを確認。	ID.1参照
	5	貫通孔からの流出抑制方法の検討	ϕ 5mmの開口に対し、珪砂充填量50%の配合においても、ジオポリマーを注入して閉塞可能であることを確認。	実機想定 of 貫通孔からの流出抑制方法(ネット、土嚢等との組合せ)について要素試験による課題抽出要。
	6	実機での施工に向けた施工手順・施工方法の検討	バッチ処理方式に必要な設備について概念検討を実施。	ID.3参照
充填による影響評価	7	処理・処分への影響	充填固化体の処理・処分への影響を検討する。(今後検討)	高レベル放射性廃棄物(ドラム缶収納)への適用実績に加え、JAEA英知事業でのセシウム浸出性抑制効果を確認中との話もあり、これらのジオポリマー特性データを踏まえて、処理・処分方法の検討が必要。
	8	発熱体を固化した際の影響	燃料デブリ(発熱体)が固化体内部にある場合の固化体への影響や放熱(冷却)方法等を検討する。(今後検討)	発熱体内包時の基礎データを取得するとともに、実機適用に向けた施工方法(放熱・冷却)の検討が必要。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.613

① 大型切断工法

■ 開発工程

■ :計画
 ■ :計画(見直し後)*
 ■ :実績



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.614

① 大型切断工法：まとめ

- 大型一体搬出工法について前提条件を整理し、**全体ステップを作成**。
- 「炉内構造物以外」の切断として、2021年度に原子炉ウェル内の構造物の内、RPVヘッドのスタッドボルトを切断する工法について検討し、実機と同規模の模擬試験体(RPVヘッド、ボルト)を製作し、ボルトをAWJで切断する要素試験を実施。**RPVヘッドボルト切断工法の実現性を確認し、課題を整理した。**(「2021年度実施分成果*」で報告済)
- 「炉内構造物」切断について、充填固化後の炉心部を切断する為、シュラウド構造物および充填材を切断する方法を検討した。シュラウド外周切断後に内部(充填固化部)を切断する分割切断について、**シュラウド外周切断方法を優先して開発**。
- シュラウド外周切断方法として、**レーザ+パルスWJ切断**を選択し、要素試験計画を立案し、試験を実施。要素試験結果から、**シュラウド外周切断への適用の実現性を確認し、実機装置設計に向けた課題を抽出・整理した。**
- 充填材として検討中の**ジオポリマー**について、**ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーの特性把握**に加え、**放射線照射による影響確認試験**を実施し、**実機適用およびスケール拡大に向けた課題を抽出・整理**。また、**充填固化についての作業ステップ**を整理した。

② 大型搬出容器

燃料デブリ・炉内建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為 大型一体搬出工法について2019年度からの開発で検討を進めている。その成立の為には、建造物の原子炉からの切り離しと大型建造物の搬出が必要になりますが、後者に用いる大型搬出容器について、汚染拡大防止機能及び高線量の収納物に対する遮蔽機能を有するものとして開発する必要がある。

2020年度から、大型搬出容器の前提条件と必要開発項目について検討整理し、大型搬出容器蓋部の気密・遮蔽構造の開発、搬出システムの概念検討及び、蓋部気密構造の成立性に関する要素試験によって、大型搬出容器の現場適用性に関する評価と課題整理を進めている。

大型搬出容器は原子炉から切り離れた建造物を一体で収納する為、RPVと同程度以上の直径かつ10m近くの高さの規模となることから、整理した課題を踏まえてより具体化を進める必要があり、収納方法を含む搬出システムの概念構築、及び蓋部を含む大型搬出容器全体の気密・遮蔽構造、製作手順等に関する詳細検討を実施する。また、大型搬出容器は再使用可能とすることを前提とし内部は除染が容易な構造とする。その上で実規模の搬出容器を試作し、要素試験によって性能検証を行い、成立性の確認と現場適用の課題抽出を実施する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.616

② 大型搬出容器

目次

- 20年度までの検討状況
- 課題、実施内容、得られる成果
- 前提条件
- 大型搬出容器の要求機能
- 大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ

- 大型搬出容器の構造設計

- 要素試験の計画
- 要素試験項目と試験内容
- 要素試験結果
- 実機反映方針

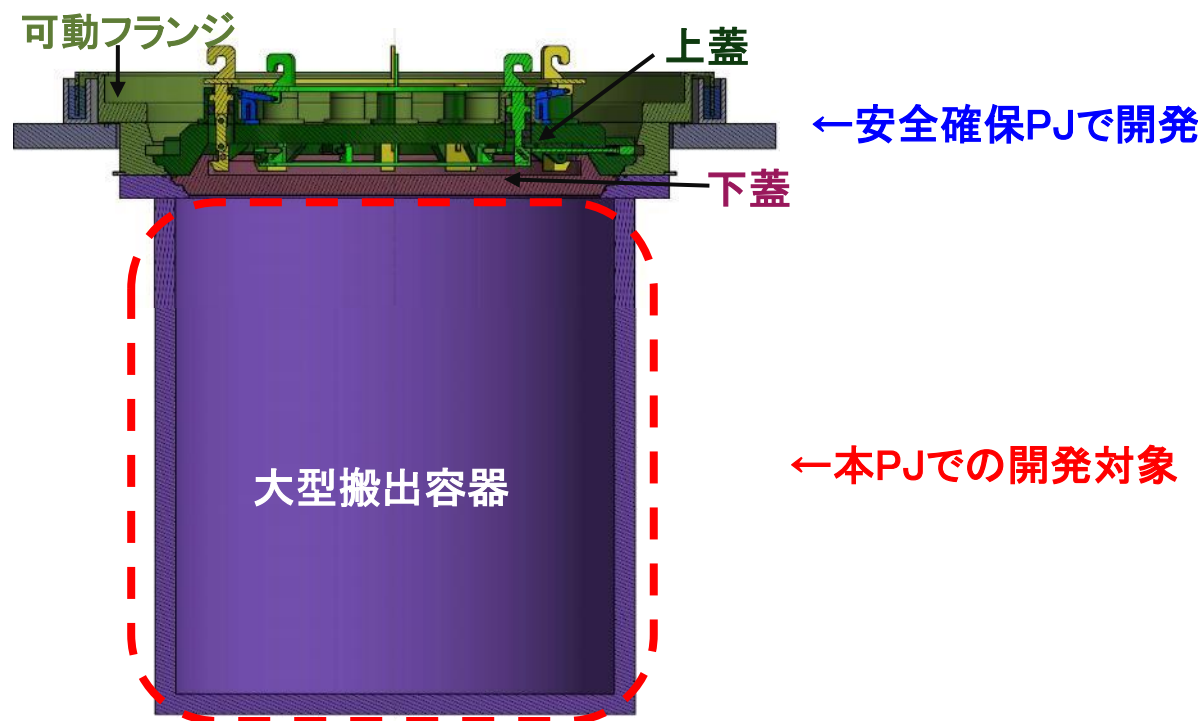
- 開発工程
- まとめ

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.617

② 大型搬出容器

【20年度までの検討状況】

- 大型搬出容器の概念検討を実施
- 大型搬出容器蓋部については、気密性に関する要素試験を安全確保PJ*で実施



⇒大型搬出容器本体の構造を具体化し、製作性を含めた構造成立性の検討を進める。**容器本体に関わる気密性について、容器を試作し、検証する。**

*安全確保PJ:「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)」

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.618

② 大型搬出容器

【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

【課題】

- ・ 構造物一体搬出の為、**汚染拡大防止機能を有する大型搬出容器を開発**する必要がある。
- ・ 大型搬出容器開閉時を含めた**閉じ込め性の検討および実現性の確認**。
- ・ 加工や組立を含めた**製作性の検討および実現性の確認**。
- ・ 遠隔での大型搬出容器と蓋の接続方法等、**取り扱い性**。

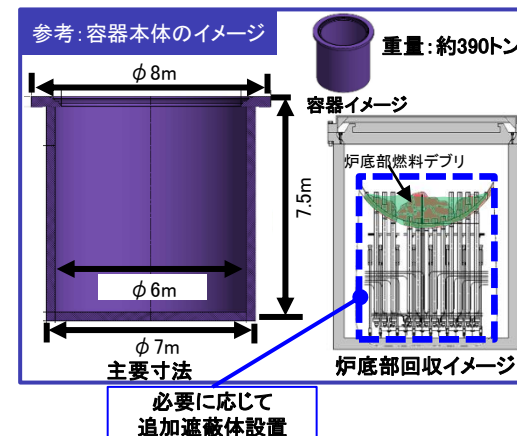
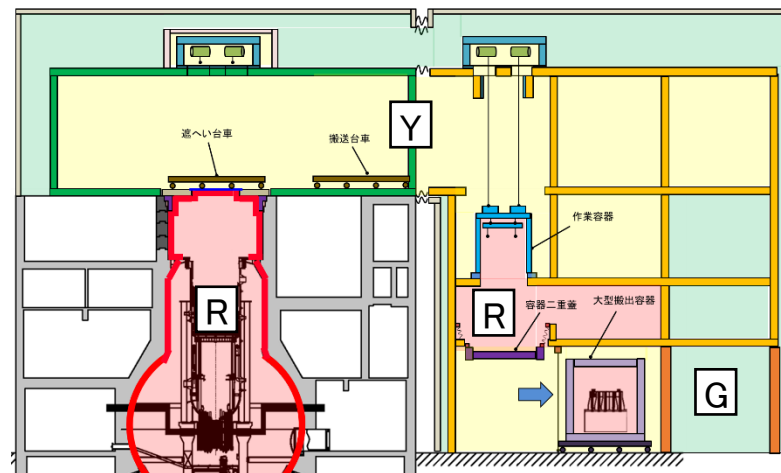
注) 本図は大型搬出容器運用のイメージを説明するものである。
作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

【実施内容】

- ・ 検討に関わる前提条件を整理する。
- ・ 大型搬出容器について、安全確保PJで検討した課題も踏まえ、**収納方法を含む搬出システムの概念構築及び大型搬出容器全体の詳細な搬出手順の検討**を実施する。
- ・ 大型搬出容器の**構造設計を実施**する。搬出容器は繰り返し使用を前提とし、内部の除染作業を考慮した検討を行う。
- ・ 大型搬出容器を試作し、要素試験を計画し、**大型搬出容器の試作を実施し、実現性の確認と課題抽出**を行う。

【得られる成果】

- ・ **大型搬出容器による搬出システムの詳細手順図の提示**。
- ・ 製作性を考慮した構造設計図の提示。
- ・ 要素試験による**シール性確認結果、及び実現性評価と課題の提示**。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.619

② 大型搬出容器

【前提条件】

- 大型一体搬出工法的前提条件を以下に示す。

ID.	前提条件	根拠
1	大型切断した構造物を収納可能な構造とする。 (φ5.5m、H5.5m程度の構造物を収納可能な容器構造とする)	大型一体搬出工法で構造物毎に切断して搬出されたものを収納可能な構造とする。
2	大型搬出容器は増設建屋から保管建屋等の別建屋まで移動する為の構内輸送容器とする。	まずは、構内輸送用容器として成立するかを確認し、今後の補助事業で保管への適用性を評価する。
3	大型搬出容器は構内輸送容器として繰り返し使用可能な構造とする。	大型搬出容器を繰り返し使用できた方が合理的な為。
4	その他大型搬出容器の基本的な仕様については、安全確保PJでの検討結果を適宜反映しながら進めるものとする。	安全確保PJと協調して進める。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.620

② 大型搬出容器

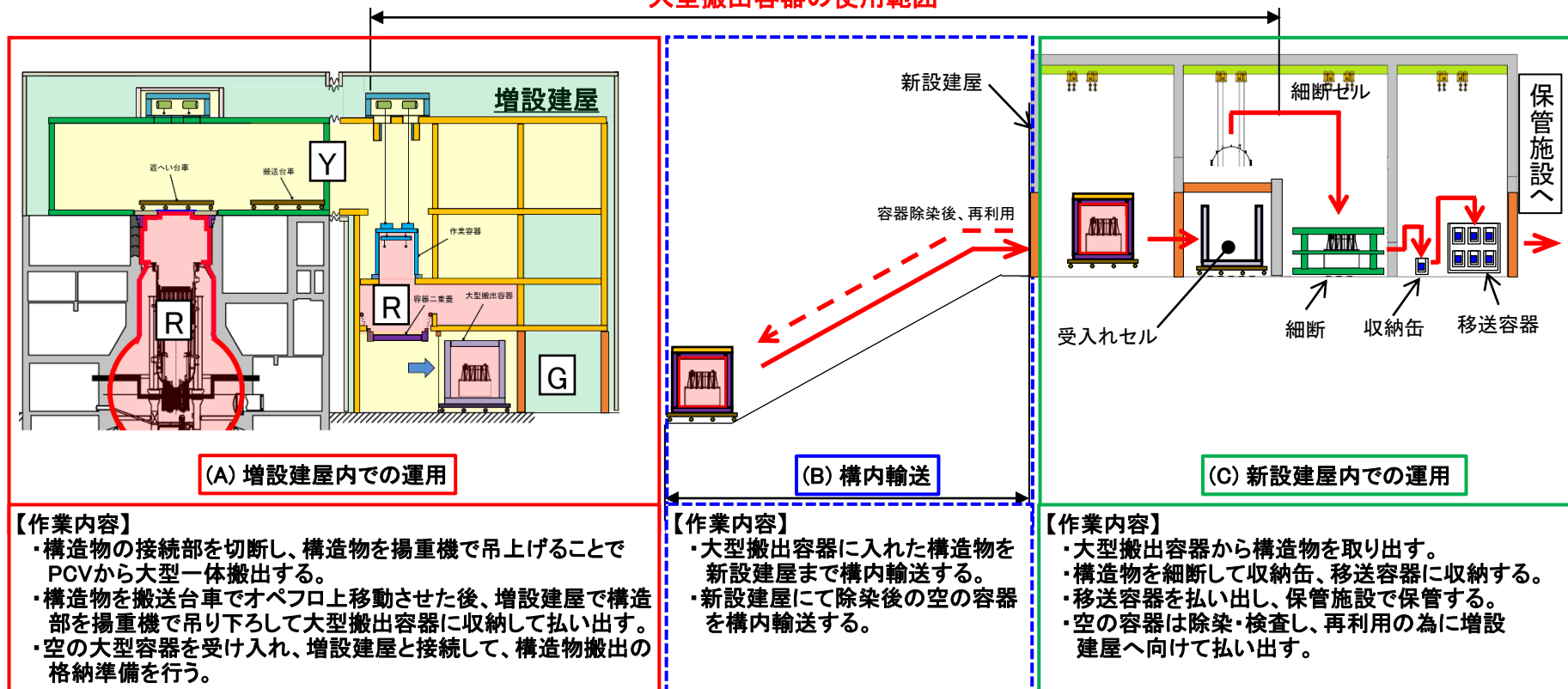
【前提条件】

大型搬出容器の概略運用ステップは以下の通り。

- (A) PCVから一体搬出した構造物を増設建屋まで搬送して大型搬出容器に収納する。
- (B) 大型搬出容器に入れた構造物を新設建屋まで構内輸送する。
- (C) 新設建屋内で大型搬出容器から構造物を取り出し、細断して収納缶、移送容器に収納する。

【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

大型搬出容器の使用範囲



注) 本図は大型搬出容器の運用ステップを説明するものである。
作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.621

② 大型搬出容器

【大型搬出容器の要求機能】

- ・大型搬出容器と福島3号機の使用済燃料輸送容器の構造概要を下表の通り比較する。
表より、既存輸送容器に要求される各構造と同等のものを計画しており、大型搬出容器は構内輸送用容器として成立すると考える。

ID	項目	福島3号機 使用済燃料輸送容器※	大型搬出容器
1	遮蔽構造 (γ線源、中性子線源)	①γ線遮蔽材は、胴、底板及び外筒の炭素鋼と蓋のステンレス鋼 ②中性子遮蔽材は、胴内水及び胴と外筒間のレジン	① γ線遮蔽材 は、本体、蓋、追加遮蔽の 炭素鋼 で構成 ② 中性子遮蔽材 は、本体、蓋の レジン で構成
2	臨界防止構造	燃料を収納するバスケット(ボロン入りステンレス鋼)は格子構造として、燃料を所定の幾何学的配置に維持	容器内にあらかじめ臨界防止に必要な量の 非溶解性中性子吸収材(B・Gd入りガラス材) を充填しておく。(除染時のドレンの支障にならないようフィルタ、充填構造など検討要)
3	除熱構造	容器本体胴に伝えられた熱は主として中性子遮蔽部のレジン中に設けた伝熱フィンにより放散する。	徐熱構造(伝熱フィン等)の要否は、内包物の発熱量次第(現時点の概算評価では伝熱フィン不要の評価結果)。必要に応じて、容器本体側部及び下部に銅からなる 伝熱フィンの追加も可能 。
4	気密漏洩検査	輸送容器密封部に0.9MPaG以上の圧力を加え、一次蓋、二次蓋及びポートカバーの各部の漏えい率が 9×10^{-1} ref cm ³ /sを超えないこと。	構内輸送時には輸送蓋+金属リングを用いるので、 金属キャスク相当 と考える。
5	構造強度	ハンドリングフローに基づき、構内用輸送容器の取扱い並びに、輸送において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して事象の発生の可能性を検討。 事業所外輸送用ではなく、構内輸送専用であり、1F構内では車両を徐行させ、他の車両の立ち入りを制限する為、輸送中の事故を想定した落下は設計要件としていない。また、1F構内での取扱い中に発生する荷重に耐える構造強度であることを確認している。なお、輸送容器の落下防止対策を講じていることから、取扱い中の落下事象は設計要件ではない。	ハンドリングフローに基づき、構内用輸送容器の取扱い並びに、輸送において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して事象の発生の可能性を検討。 大型搬出容器も構内輸送専用の為、左記同様事故を考慮した落下は設計要件としない。 また、輸送時は吊上げは行わず、輸送用の架台によって 倒れ防止措置を講じる計画であり、取扱中の落下も設計要件としない。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.622

② 大型搬出容器

【大型搬出容器の要求機能】

・大型搬出容器の要求機能と、現状の容器仕様について以下に示す。

ID	要求機能	項目	現状の容器仕様	備考
1	大型一体搬出で取り出した建造物を収納し、構内輸送ができること。	搬送対象物	ドライヤ、セパレータ、上部格子板、炉心部、炉底部 他	炉内建造物を一体で収納することを想定。 左記以外にも隔離シート等の重量、線量など、影響を考慮して検討する。
2		容器概算寸法	内径φ6000×H7500[mm]	代表建造物を収納可能な容器形状
3	増設建屋のセル内で汚染拡大防止をしながら建造物の収納ができること。	バウンダリ維持機能	一連の手順でバウンダリ維持可能な二重蓋構造とする	ダブルドアを参考にシール部構成を検討
4		セル内圧力	-400 [PaG]	作業容器(レッド区域)-400Paと接続した状態で蓋閉め
5		目標漏洩率(増設建屋セル内運用時)	0.1[vol%/h]	バウンダリ内でのセルに許容される漏洩率と同程度と考え、原子力施設の空気管理(ホットセル)の設計基準を基に設定した。
6	建造物の輸送時に遮蔽ができること。	内容物最大線量率	300[Sv/h]	収納する建造物の線量で評価
7		遮蔽厚(γ線)	280[mm]	線量の高い建造物については別途追加遮蔽体130mmを事前に取り付ける。
8		遮蔽厚(中性子線)	100[mm]	燃料デブリ線源で評価。
9		概算重量	520[ton]	容器本体、下蓋、及び輸送用蓋のみ(建造物含まず)構造物、輸送条件としては追加遮蔽を含めた総重量で検討。(約1300ton)
10	繰り返し使用可能なこと。	使用回数	複数回使用する計画	安全確保PJでは複数回の使用を想定して容器主材質・シール部材質の検討を実施した。
11		容器主材質	炭素鋼	シール部及び内面をSUSクラッドとする
12		シール部材質	ゴム系リング(CR)	二重蓋を複数回開閉すること、脱落を考慮して設置はあり溝とした。
13		除染性	ドレン及びSUSの内張構造とする	内面の水洗浄を考慮してSUS内張、ドレンを設置する。
14	燃料デブリの発熱を考慮した設計とすること。	容器表面設計温度	130[°C]	燃料デブリの発熱について試算した結果を基に仮設定。 なお、現状シール部で約60°Cの計算結果であり、本仕様で問題ないとする。

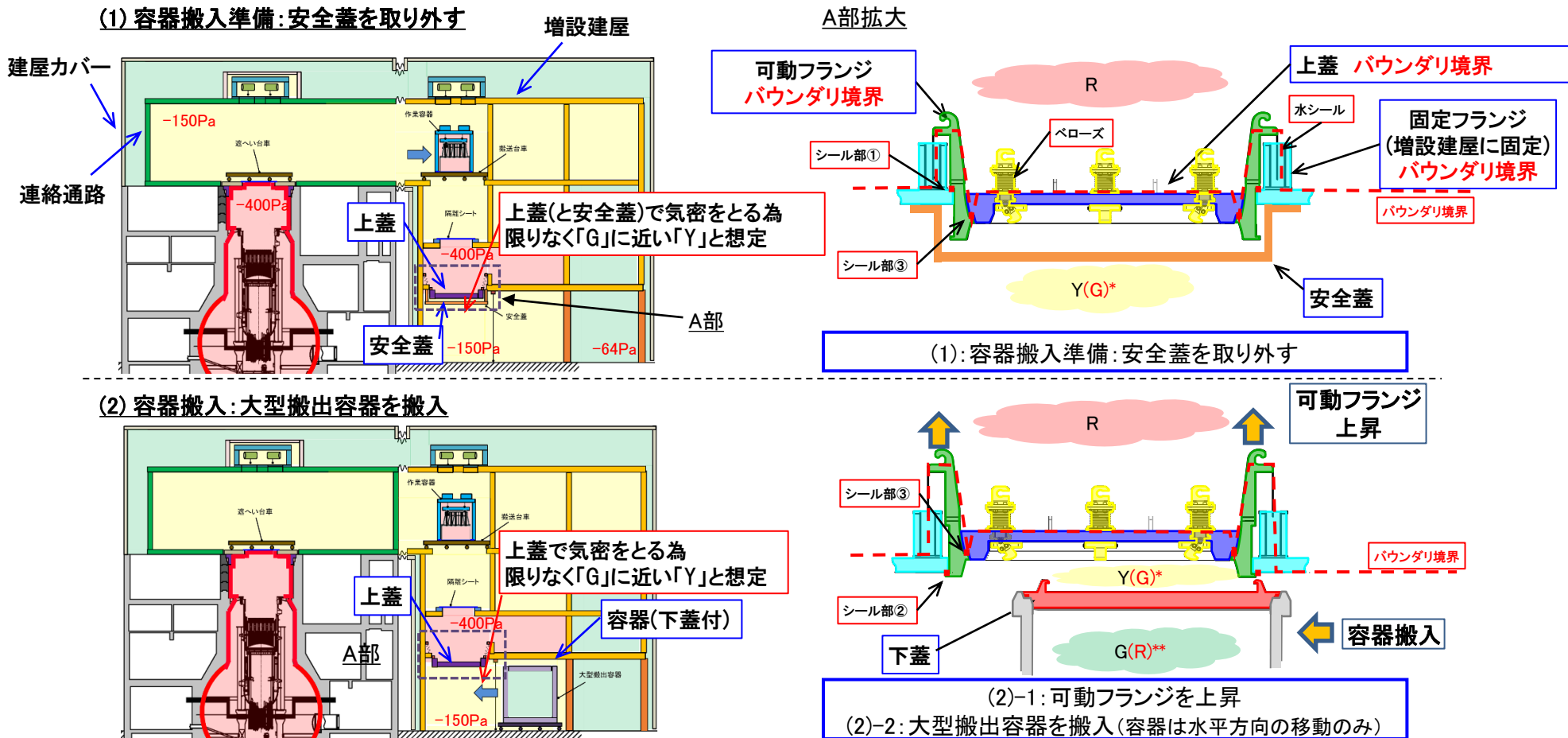
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.623

② 大型搬出容器

【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

【大型一体搬出工法での建造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(1/7)】

建造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。



*限りなく「G」に近い「Y」と想定 **大型搬出容器の再使用時は、容器内は「G」とはならない可能性がある

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.624

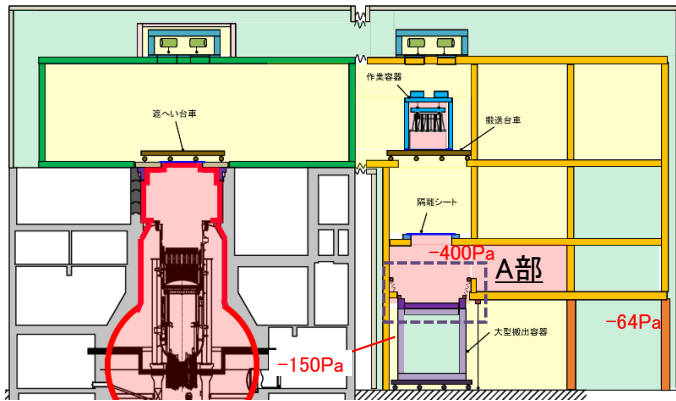
② 大型搬出容器

【大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(2/7)】

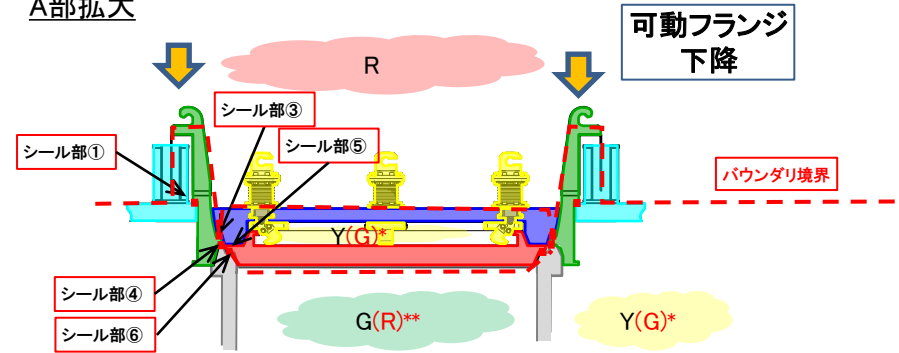
構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

【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

(3) 容器接続:上蓋と下蓋(容器)を接続

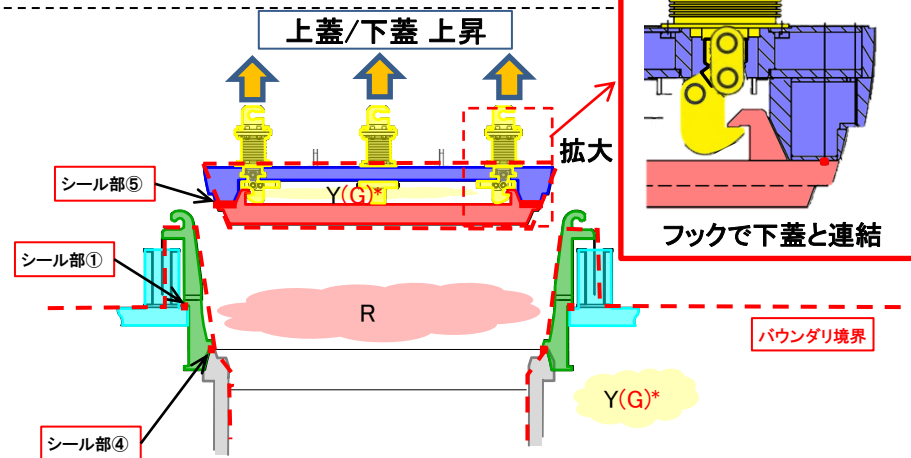
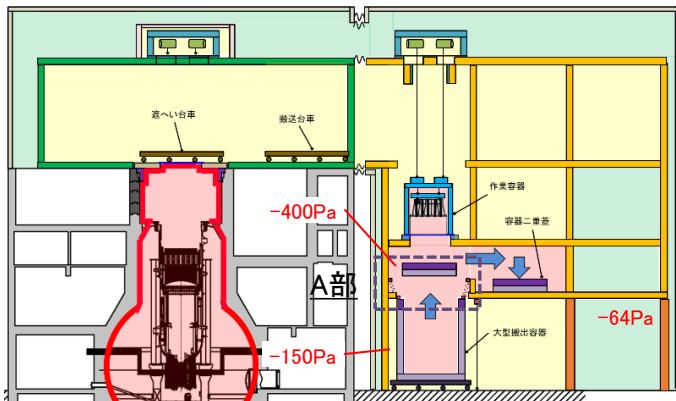


A部拡大



(3)-1: 可動フランジを下降
(3)-2: 上蓋と下蓋(容器)を接続

(4) 二重蓋吊り上げ、容器解放



(4)-1: 二重蓋を吊り上げて容器開放

*限りなく「G」に近い「Y」と想定 **大型搬出容器の再使用時は、容器内は「G」とはならない可能性がある

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.625

② 大型搬出容器

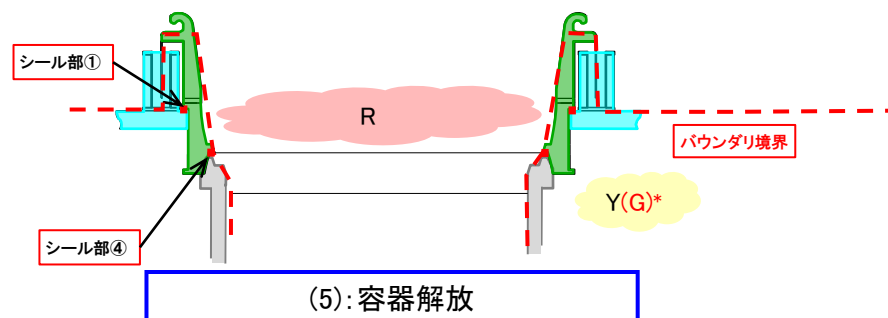
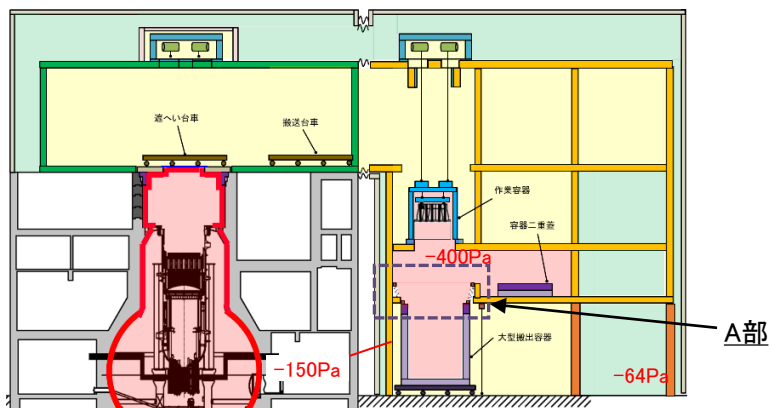
【注記】
 色で以下の汚染レベルを表記*
 R(赤色):レッド(高汚染)区域
 Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
 G(緑色):グリーン(低汚染)区域
 *主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記

【大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(3/7)】

構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

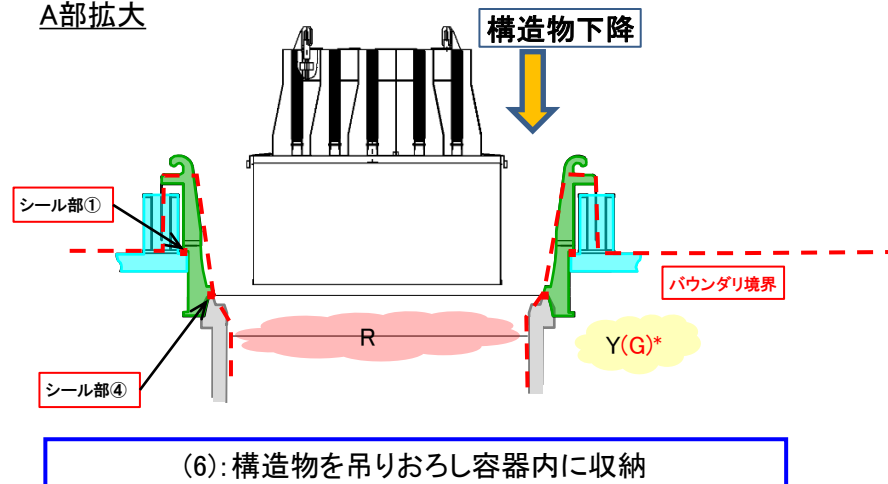
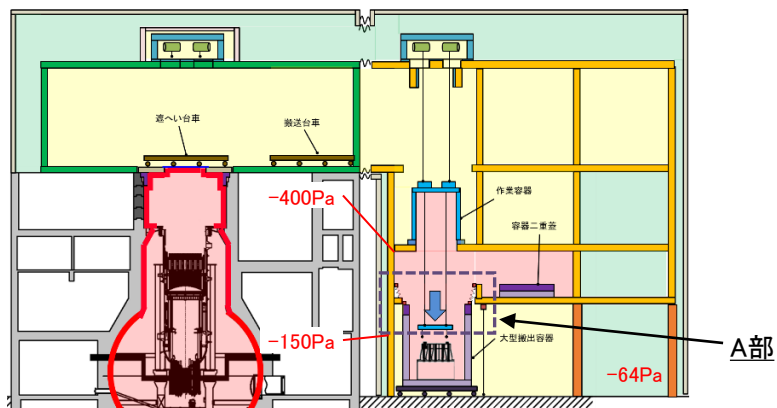
(5) 容器解放完了

A部拡大



(6) 構造物収納

A部拡大



*限りなく「G」に近い「Y」と想定

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.626

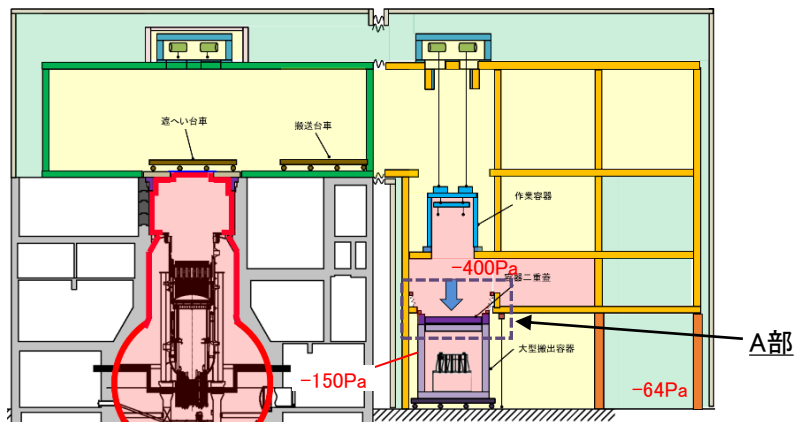
② 大型搬出容器

【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

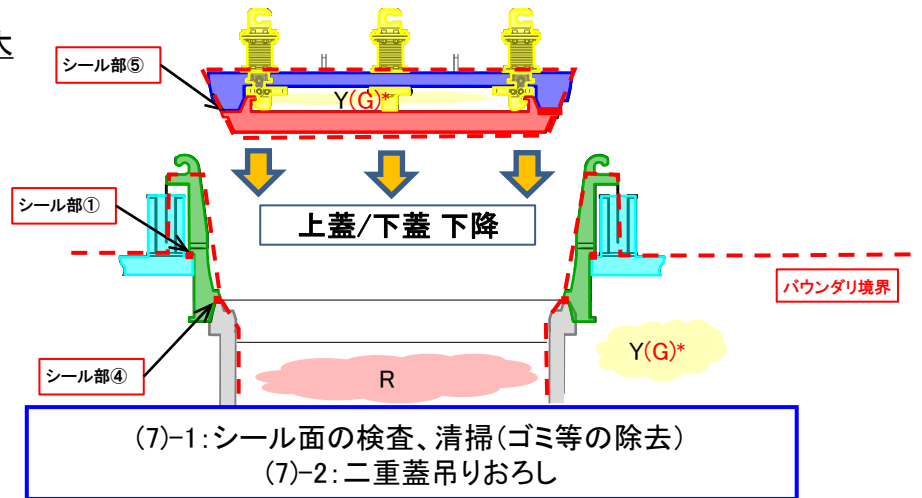
【大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(4/7)】

構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

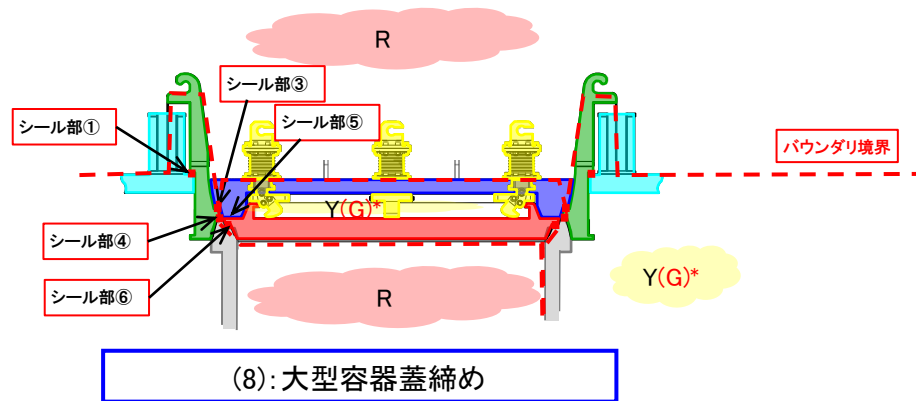
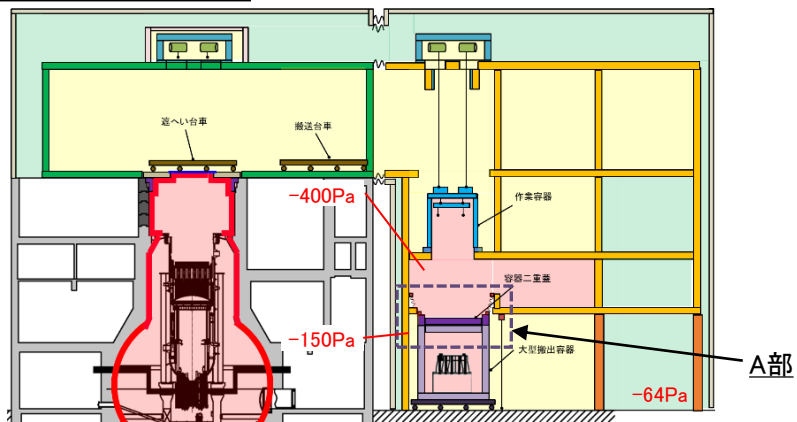
(7) 二重蓋吊り下ろし



A部拡大



(8) 二重蓋容器蓋締め



*限りなく「G」に近い「Y」と想定

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.627

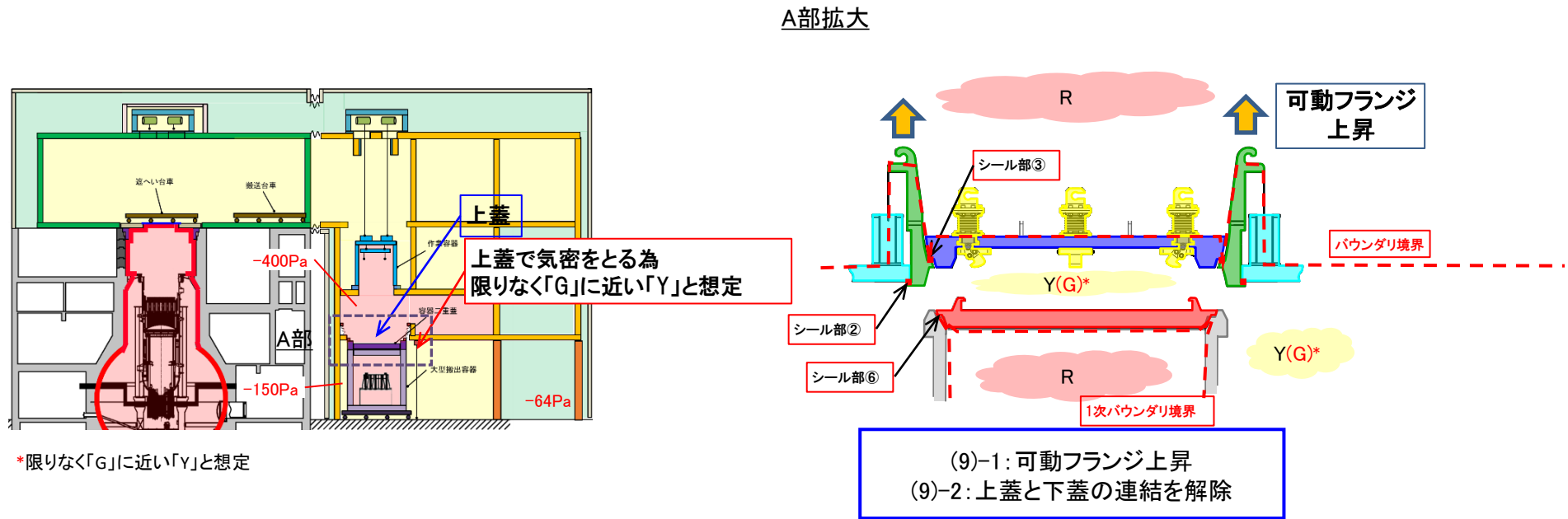
② 大型搬出容器

【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

【大型一体搬出工法での建造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(5/7)】

建造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

(9) 容器切り離し:上蓋と下蓋の連結を解除



汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.628

② 大型搬出容器

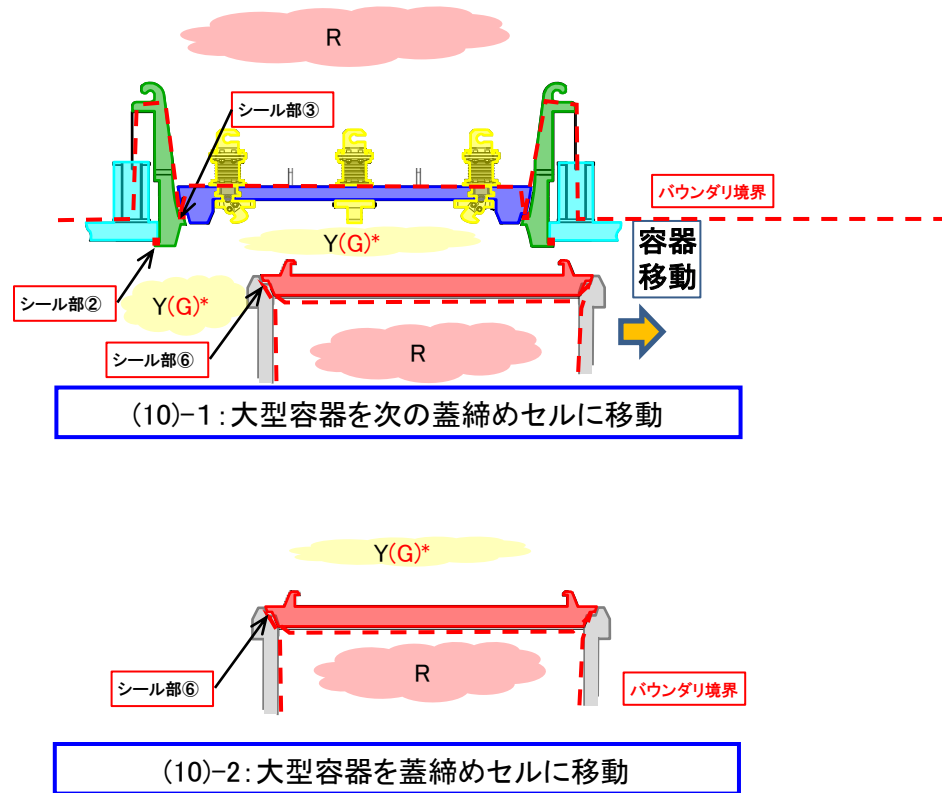
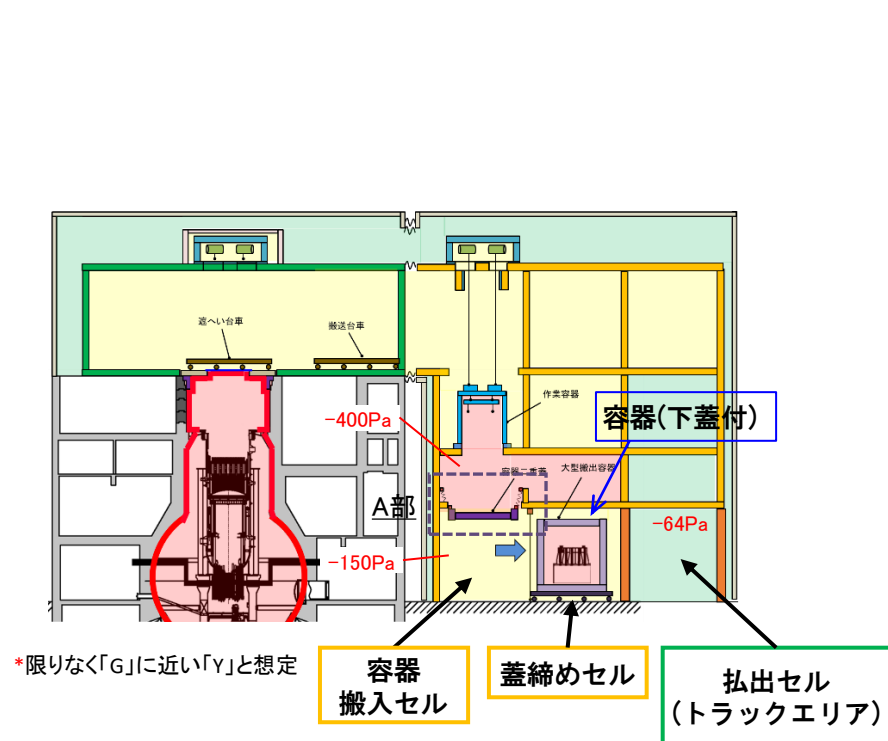
【注記】
 色で以下の汚染レベルを表記*
 R(赤色):レッド(高汚染)区域
 Y(黄色):イエロー(中汚染)区域
 G(緑色):グリーン(低汚染)区域
 *主要区域には色のほか、R・Y・Gと表記

【大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(6/7)】

構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

(10) 容器搬出:大型搬出容器を搬出

A部拡大



汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である)
 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.629

② 大型搬出容器

【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

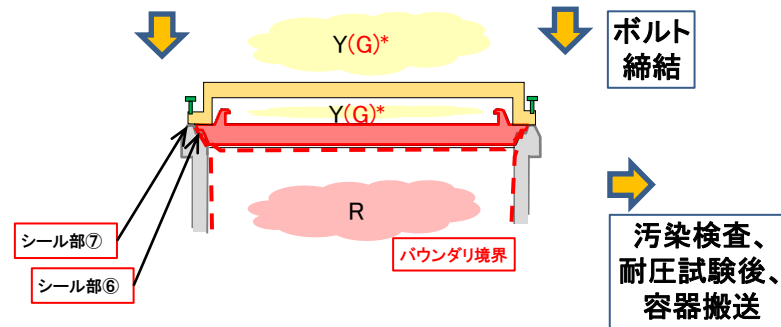
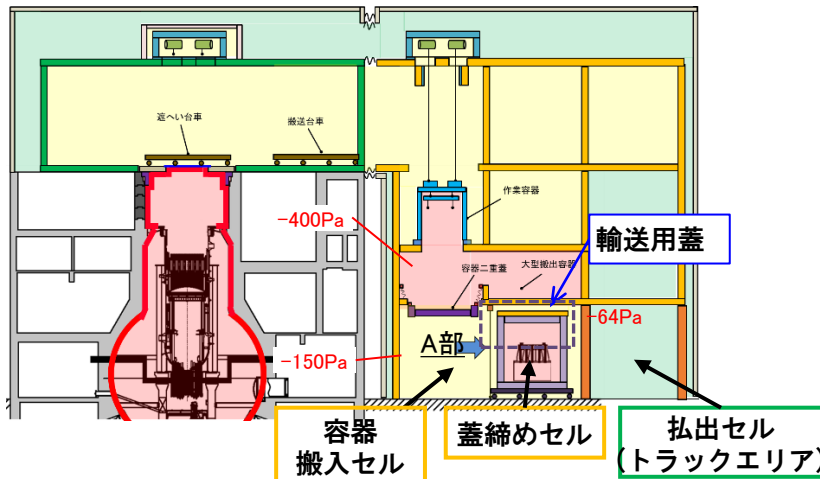
【大型一体搬出工法での構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップ(7/7)】

構造物搬出に関わる二重蓋運用ステップおよびバウンダリ境界を以下に示す。

(11) 2次蓋取り付け: 構内輸送用に輸送用蓋を取り付け

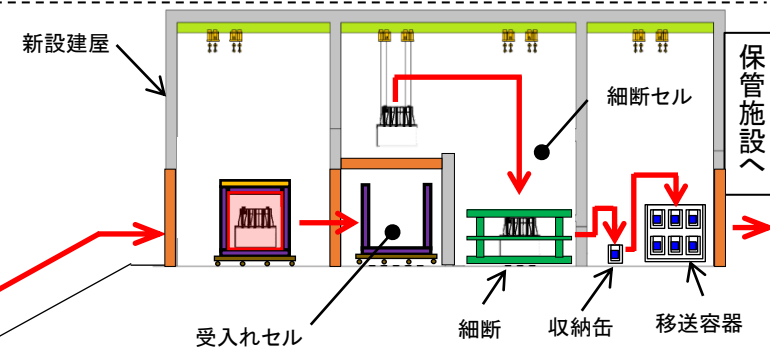
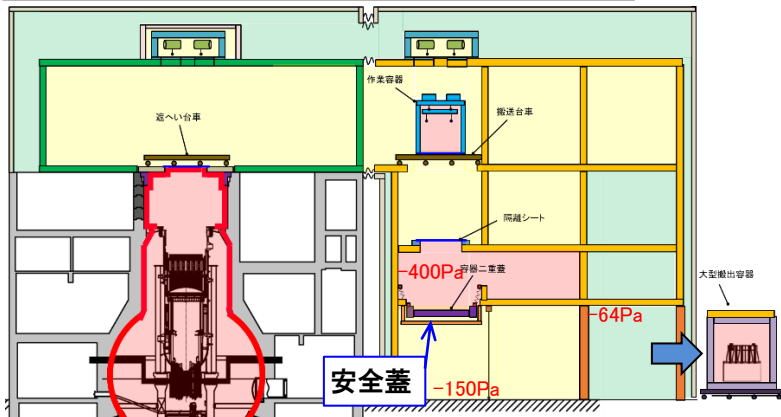
A部拡大

*限りなく「G」に近い「Y」と想定



(11)-1: 大型容器に構内輸送用蓋を取り付け
 (11)-2: 汚染検査、気密確認後払出セルへ移動

(12) 別建屋へ搬送: 大型搬出容器を別建屋へ搬送



(12)-1: 構内輸送により、別建屋へ搬送
 (12)-2: 構造物取り出し後、別エリアにて容器内除染

汚染エリア区分等は検討中の為今後変更する可能性がある

注)本図は大型搬出容器の蓋締めに係るステップを説明するものである。(図中記載の圧力は想定値である) 作業容器の着座位置は、6.2)(1)①(a)大型一体搬出工法における概念図および増設建屋の配置検討結果を参照のこと。

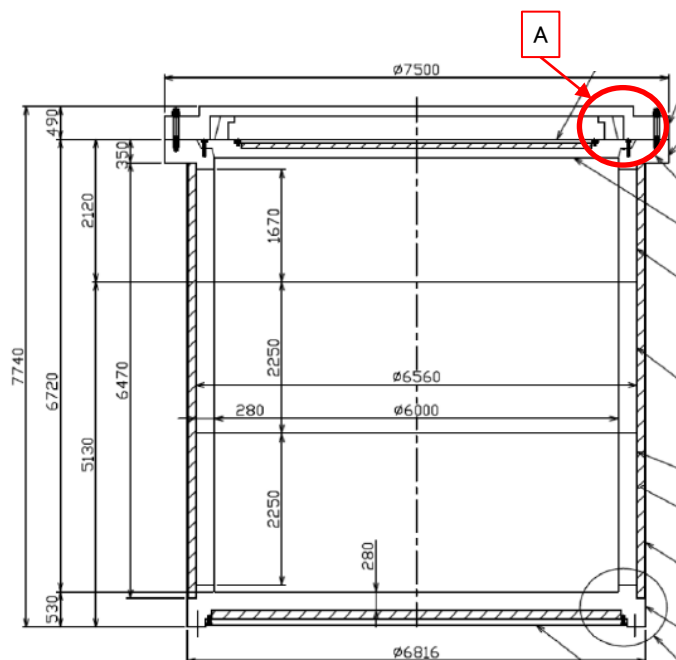
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.630

② 大型搬出容器

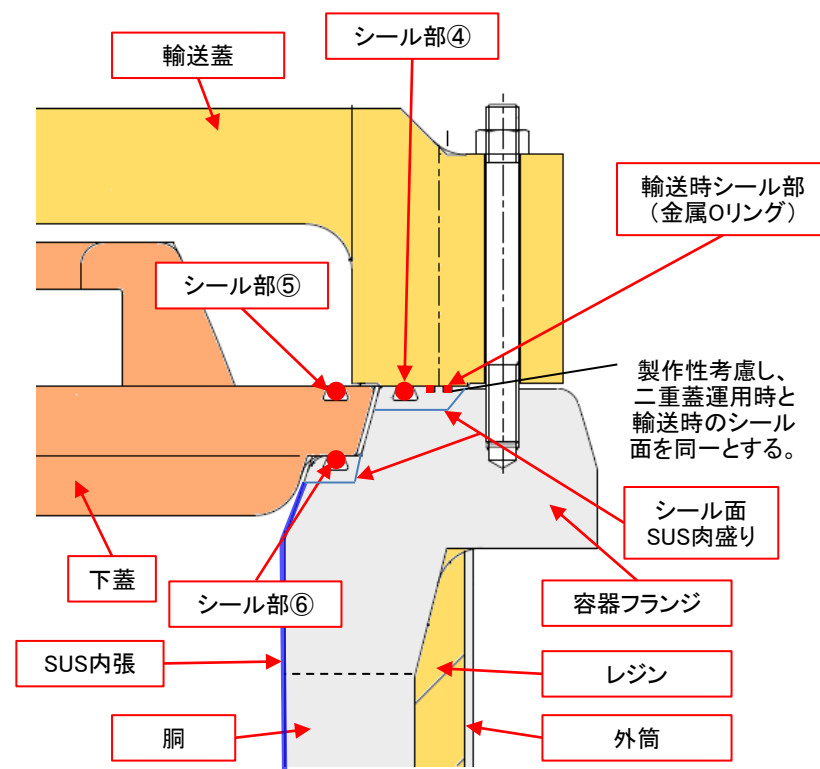
【大型搬出容器の構造設計】

大型搬出容器の実機構造設計について検討を実施した。

要素試験では、本構造を基に製作手順を検討した上で、製作性を確認できる構造で試験用の容器を試作。



大型搬出容器実機構造案



A部詳細

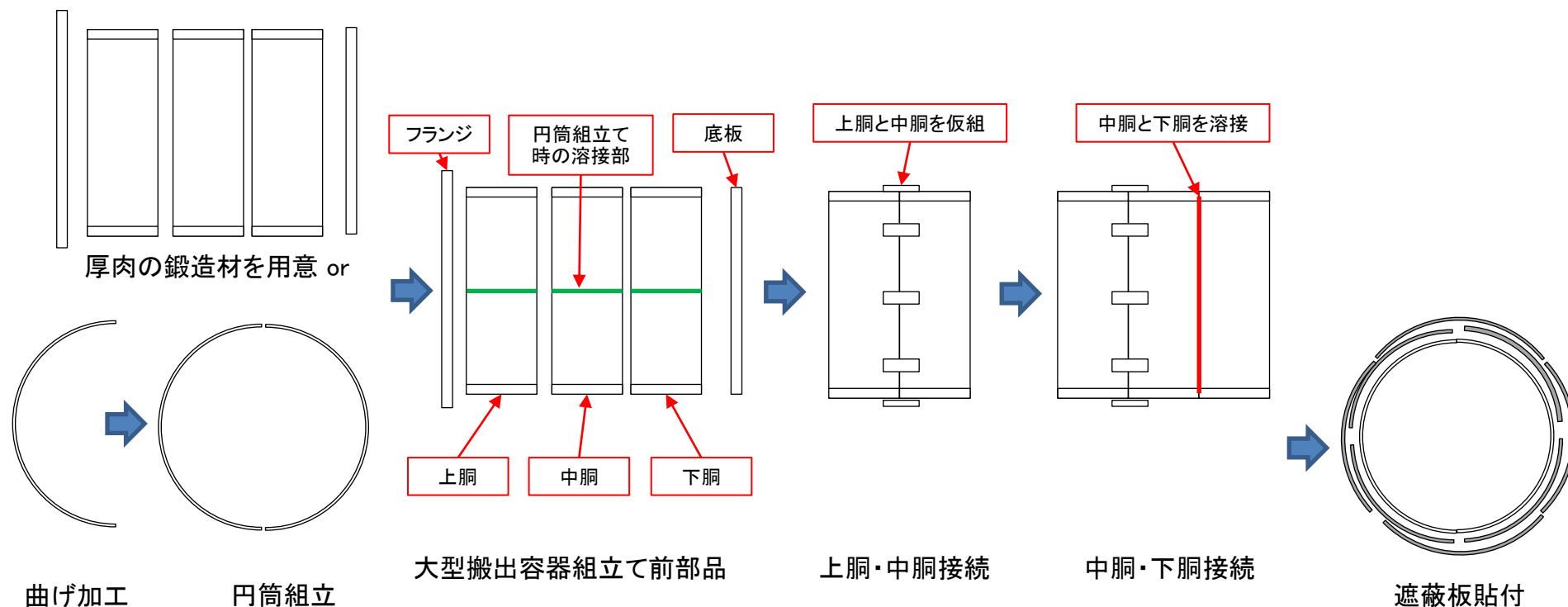
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.631

② 大型搬出容器

【大型搬出容器の構造設計】

大型搬出容器の実機構造設計の結果を基に、製作手順についても検討した。

- ・また、容器板厚については、冷間曲げ加工可能な板厚で板曲げ加工、円筒組立後に目標の板厚まで分割曲げ板を貼付ける、または目標板厚の厚肉鍛造材を製作する。
- ・容器胴部の製作においては、胴部を高さ方向に3分割に分割したものを溶接する計画としている。



大型搬出容器製作手順案

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.632

② 大型搬出容器

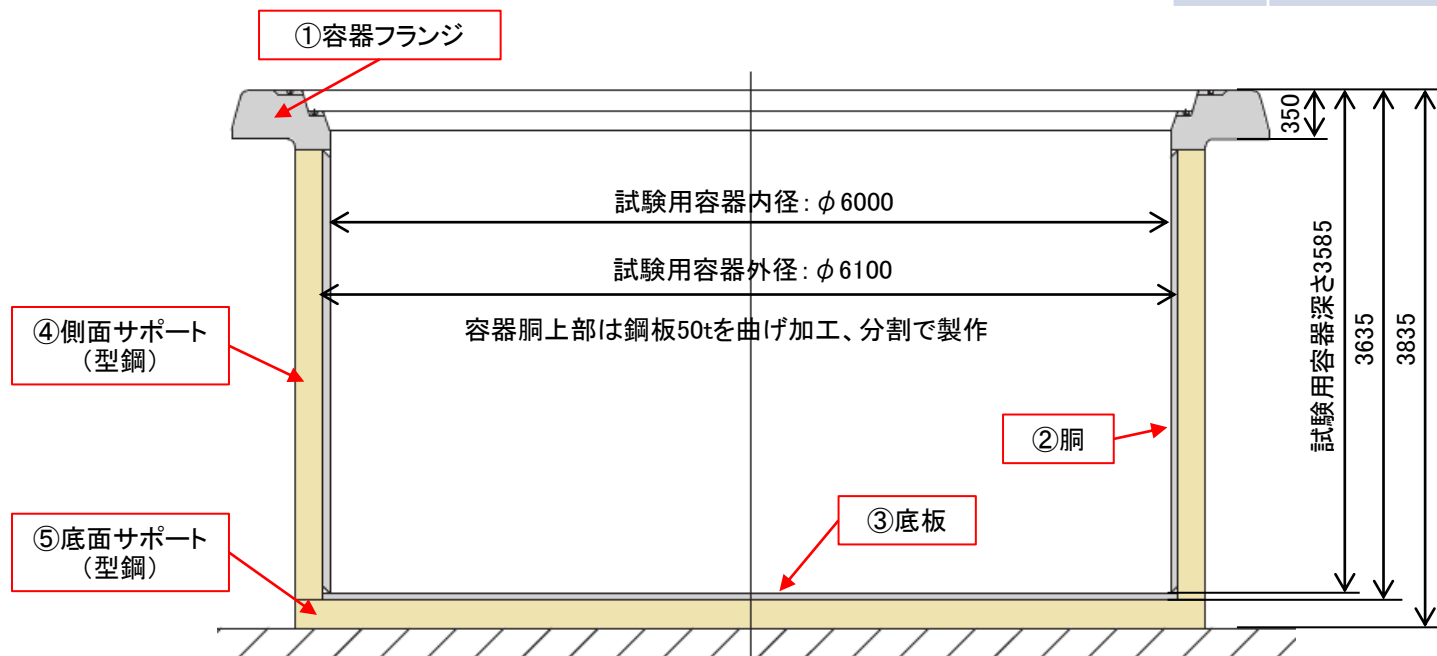
【要素試験の計画(要素試験用大型搬出容器 概略仕様)】

大型搬出容器の実機構造および製作手順の検討結果から、容器フランジについては、実機相当の構造で製作することとした。

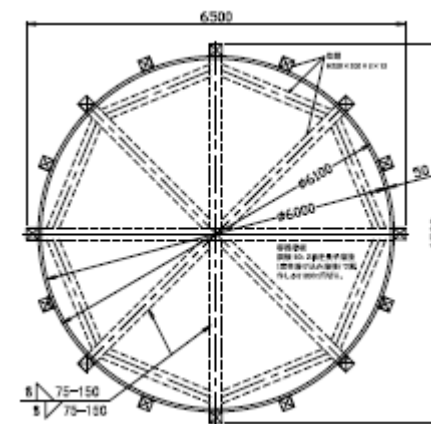
要素試験用容器胴体の高さは、板を曲げて溶接ができれば良いと考え、実機用容器高さ約7.5mに対して半分程度の約4m(板割の1枚高さ分)とした。

要素試験用大型搬出容器 部品表

品番	品名	員数	材質	備考
1	容器フランジ	1	SF440A	炭素鋼鍛鋼品
2	胴	1式	SS400	分割板曲げ
3	底板	1式	SS400	分割鋼板
4	側面サポート	1式	SS400	
5	底面サポート	1式	SS400	



要素試験用大型搬出容器 断面図



底面構造

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.633

② 大型搬出容器

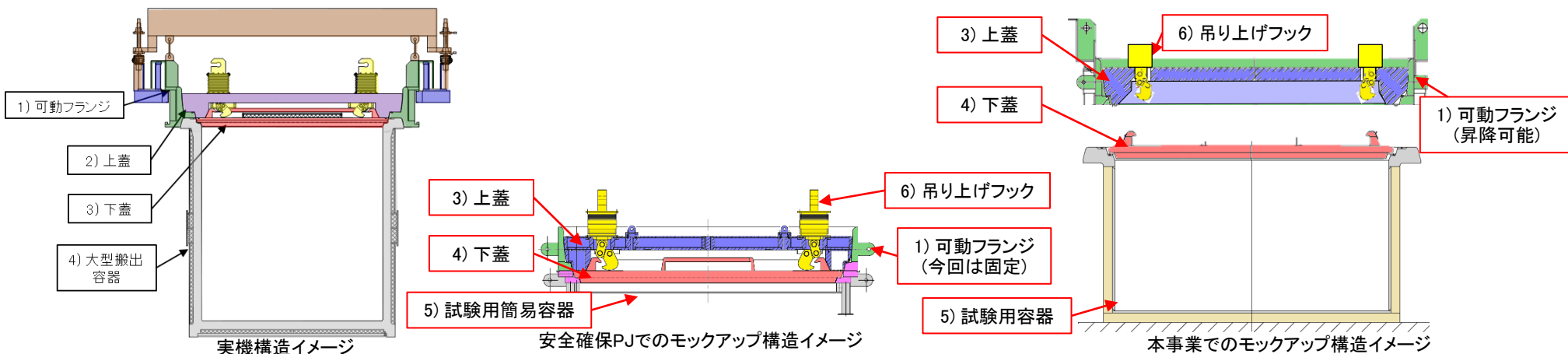
【要素試験の計画(実機模擬範囲)】

開発試作対象

ID.	機器	実機仕様(概略寸法)	モックアップ仕様(概略寸法)	試験での模擬方法
1)	可動フランジ	➢ 直径9300、高さ1600、重量150ton	➢ 直径8000、高さ1100、重量46ton	➢ 取合い部分の形状を模擬する。
2)	固定フランジ	➢ 直径11100、厚さ375、重量170ton	—	➢ 今回は模擬しない。
3)	上蓋	➢ 直径6800、高さ800、重量50ton	➢ 実機と同じ(安全確保PJ製作品を流用)	➢ 実機形状を模擬する。
4)	下蓋	➢ 直径6800、厚さ280、重量80ton	➢ 実機と同じ(安全確保PJ製作品を流用)	➢ 実機形状を模擬する。
5)	容器	➢ 内径6000、厚さ280、高さ7500、重量390ton	➢ 内径6000、厚さ50、高さ3635、重量85ton	—
6)	吊り上げフック	➢ 直径500、高さ1500	➢ 直径500、高さ1500	➢ フック形状を模擬する。

安全確保PJで検討、試験を実施した二重蓋試験用モックアップ構造との相違点は以下の通り。

- ・**容器胴体の高さは実機製作手順を考慮して決定。**(容器の製作性等を確認可能な最低限の構造)
- ・**可動フランジのフランジ部は昇降可能**な構造。(より実機に近い形での位置合わせ確認可能)



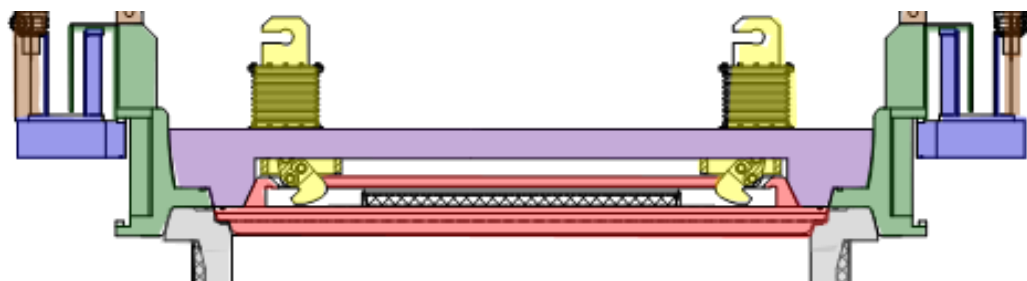
6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.634

② 大型搬出容器

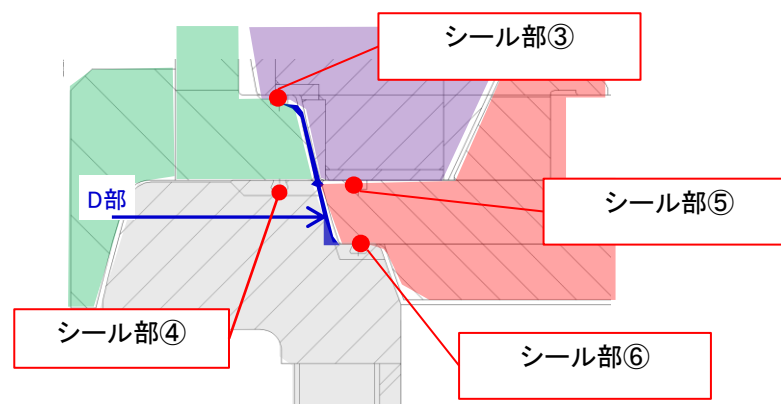
【要素試験の計画(試験で確認するシール部)】

要素試験では、実機での運用ステップを考慮して、以下の4つのシール部の気密性を確認する。

ID.	シール部	気密取り合い	気密確保方法	気密確保必要運用ステップ	備考
1	シール部③	● 上蓋－可動フランジ間	<ul style="list-style-type: none"> 上蓋の自重でOリングを潰して所定のつぶし量を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> (3)容器接続以前 (9)容器切り離し以降 	<ul style="list-style-type: none"> 安全確保PJで検討、試験実施済み。 本事業で可動フランジ昇降の影響確認
2	シール部④	● 可動フランジ－容器フランジ間	<ul style="list-style-type: none"> 可動フランジの自重でOリングを潰して所定のつぶし量を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> (3)上蓋と下蓋(容器)接続 (8)大型容器蓋締め 	<ul style="list-style-type: none"> 本事業で試験実施
3	シール部⑤	● 上蓋－下蓋間	<ul style="list-style-type: none"> 上蓋の自重でOリングを潰して所定のつぶし量を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> (4)二重蓋吊上げ、容器開放 (7)二重蓋吊り下ろし 	<ul style="list-style-type: none"> 安全確保PJで検討、試験実施済み。 本事業で可動フランジ昇降の影響確認
4	シール部⑥	● 下蓋－容器間	<ul style="list-style-type: none"> 下蓋の自重でOリングを潰して所定のつぶし量を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> (2)容器搬入 (10)容器搬出 	<ul style="list-style-type: none"> 安全確保PJで検討、試験実施済み。 本事業で製作する容器フランジで確認



実機概略図



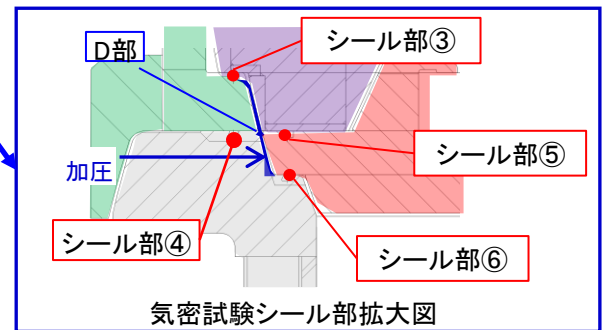
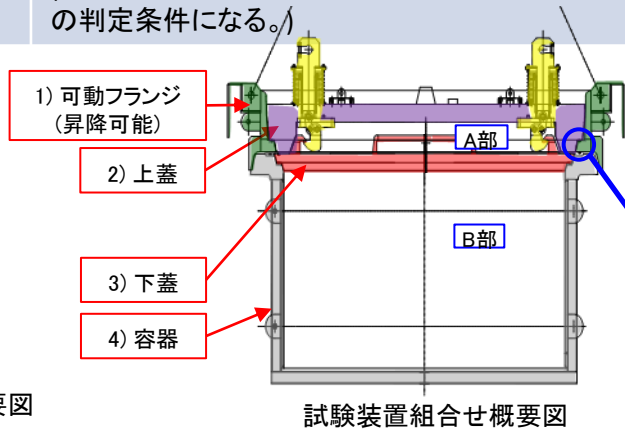
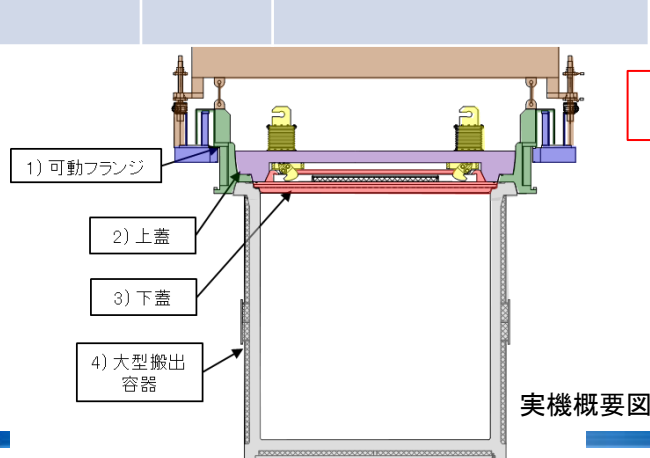
D部拡大

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.635

② 大型搬出容器

【要素試験項目と試験内容】

試験No.	試験名称		試験内容	備考
1-1	事前 確認 試験	上蓋+下蓋	装置そのものの不具合がないことを確認する為に実施する。 (事前確認として実施。) 各機器単体の組合せでシール機能があること健全であることを確認する。 (単体同士の嵌め合い、気密、及び発泡試験を実施する。)	A部単体試験。二重蓋吊り上げ状態でも確認する。
1-2		上蓋+可動フランジ		容器+可動フランジも兼用
1-3		下蓋+容器		B部単体試験。
1-4		可動フランジ+容器		No.1-2で確認
2-1	総合 機能 試験	嵌め合い試験	●吊上げフック脱着時の異音、ガタの有無確認 ●フックで上蓋と下蓋を一体で(二重蓋)吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認 ●上蓋と可動フランジを一体で吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認	実機運用ステップを模擬し、嵌め合い、気密機能を確認する。
2-2				
3	気密試験		各嵌め合い試験後の状態で、気密がとれていることを確認する。 (実機では気密が取れていることが二重蓋の開放、容器の脱着の判定条件になる。)	

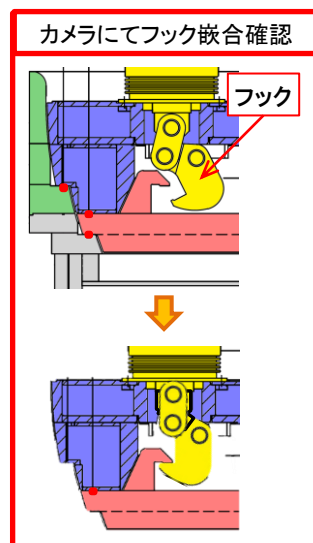


6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.636

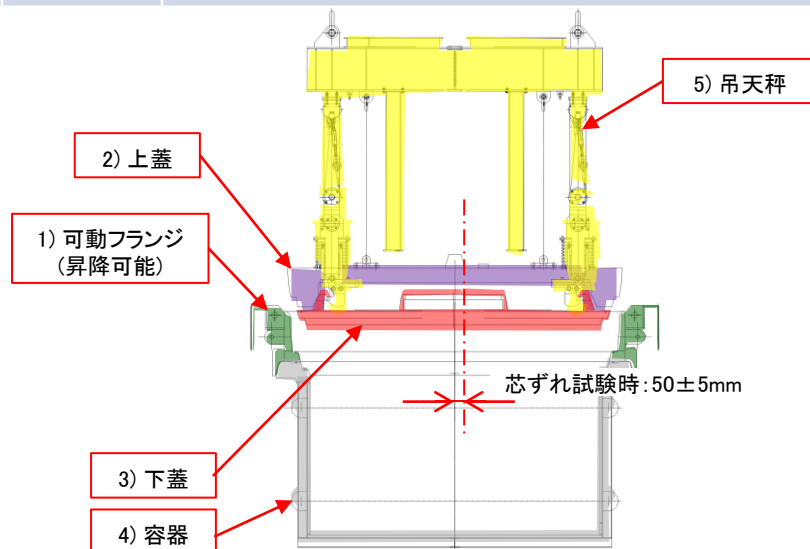
② 大型搬出容器

【要素試験項目と試験内容】

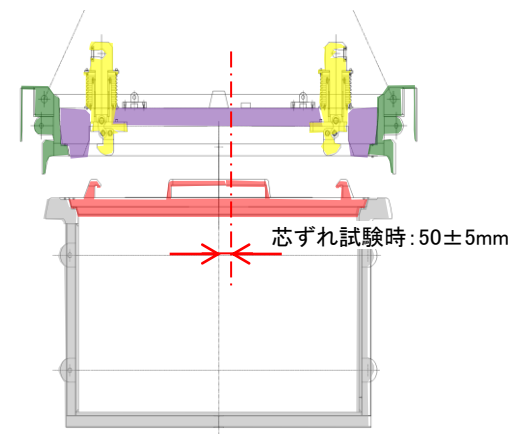
試験No.	試験名称		試験内容	判定基準
2-1	総合機能試験	嵌め合い試験	<ul style="list-style-type: none"> ●吊上げフック脱着時の異音、ガタの有無確認 ●フックで上蓋と下蓋を一体で(二重蓋)吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認 ●上蓋と可動フランジを一体で吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認 	各機器が異音等なく、スムーズに着座、嵌め合いすること。
2-2			上記の嵌め合わせを芯ずれ(中央から50mm以内)させて実施し、ガイド形状に倣って問題なく組合せることを確認する。	



上蓋+下蓋共吊時確認
⇒吊上げフック脱着時の異音、ガタの有無確認



二重蓋吊上げ時
⇒フックで上蓋と下蓋を一体で(二重蓋)吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認



可動フランジ吊上げ時
⇒上蓋と可動フランジを一体で吊り上げた際の取り合いおよび隙間等の確認

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.637

② 大型搬出容器

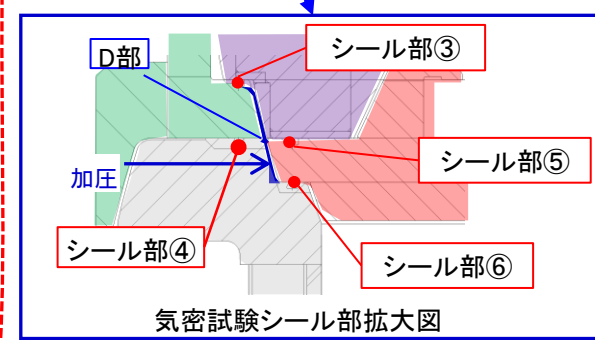
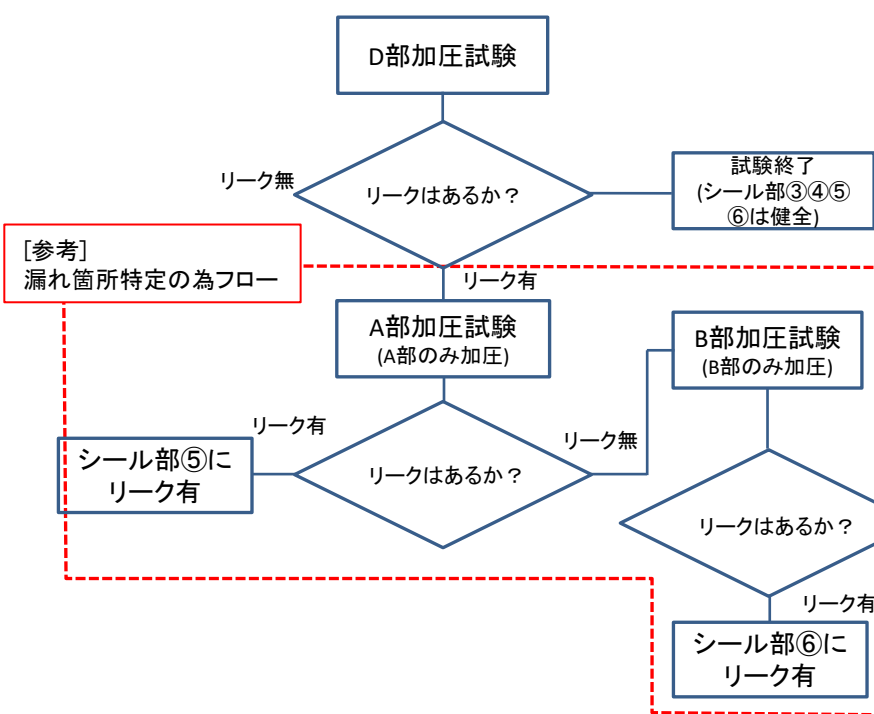
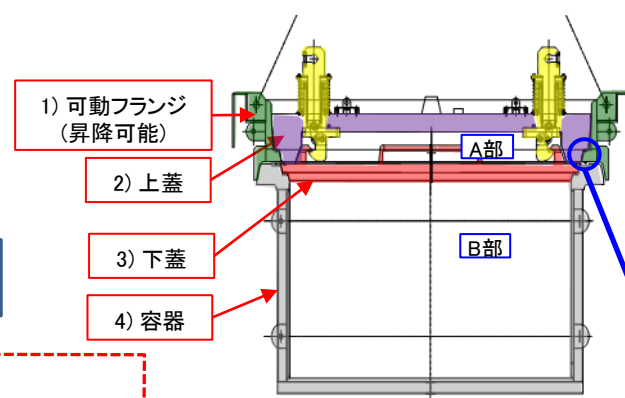
【要素試験項目と試験内容】

試験No.	試験名称	試験内容	判定基準
3	総合機能試験 気密試験	各嵌め合い試験後の状態で、気密がとれていることを確認する。 (実機では気密がとれていることが二重蓋の開放、容器の脱着の判定条件になる。)	漏れ量 $q \leq 12L/h$ ※

$$*Q = \frac{VT_{20}}{\Delta t} \left(\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \right) + \frac{VT_{20}}{\Delta t} \left(\frac{P_{atm2}}{T_2} - \frac{P_{atm1}}{T_1} \right) [Pa \cdot L/s]$$

$$q = \frac{Q}{101325} [L/s]$$

ここで、Q : 20°C換算の漏れ量(Pa・L/s)
 P_1 : 測定開始時の試験体のゲージ圧(Pa)
 P_2 : 測定終了時の試験体のゲージ圧(Pa)
 P_{atm1} : 測定開始時の大気圧力(外気圧力)(Pa)
 P_{atm2} : 測定開始後の大気圧力(外気圧力)(Pa)
 Δt : 測定開始から測定終了までの時間(s)
 V : 試験体の内容積(L)
 T_{20} : 基準温度 293 (K)
 T_1 : 測定開始時の試験体内の気体の絶対温度(K)
 T_2 : 測定終了時の試験体内の気体の絶対温度(K)
 q : 20°C、1気圧換算漏れ量(L/s)



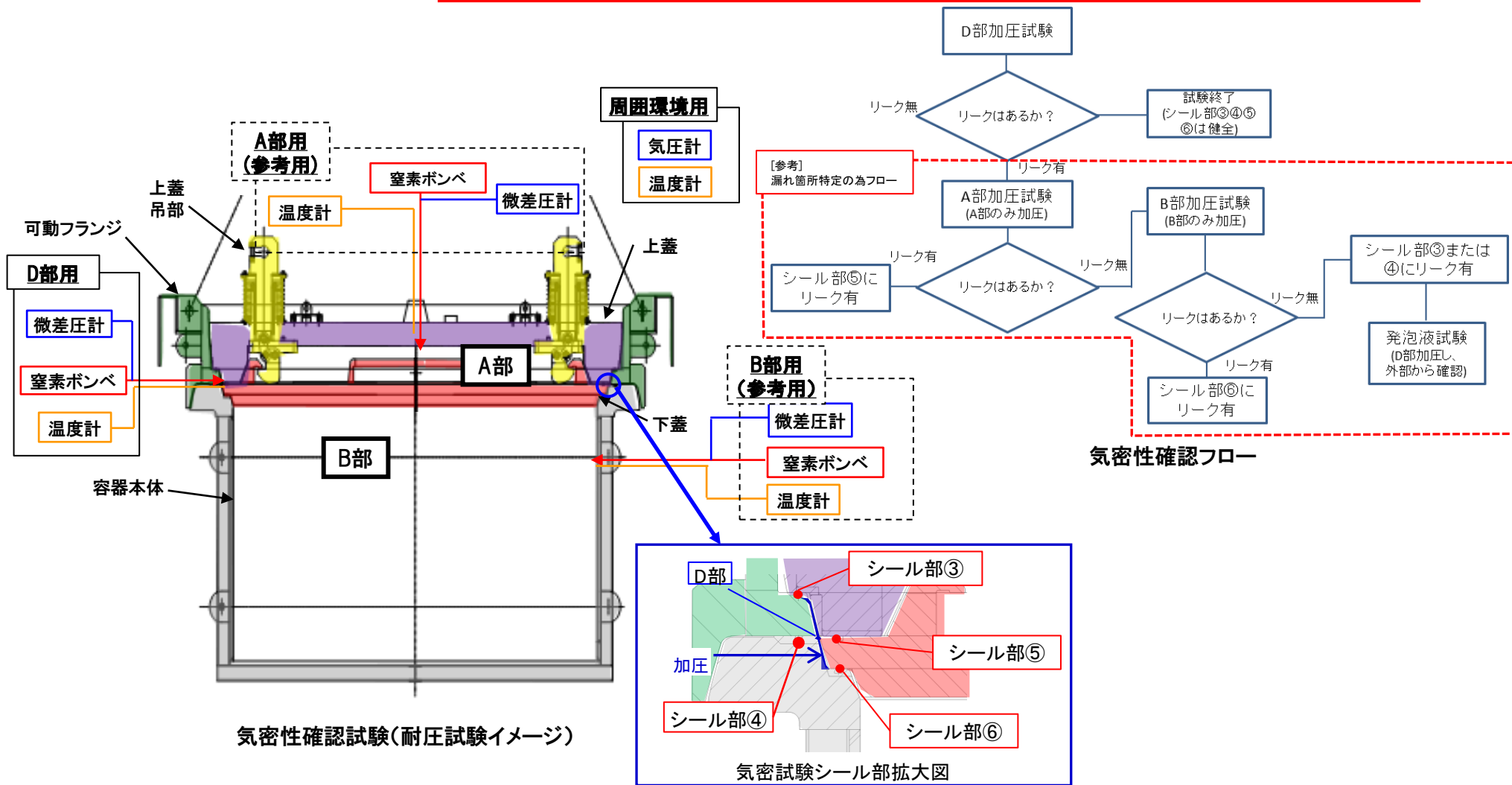
気密試験概要図

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.638

② 大型搬出容器

【要素試験項目と試験内容】

D部を加圧して圧力変動を確認することで各シール部の気密性を確認する。リークがあった場合にシール部で気密される各エリア(A部、B部)を個別に加圧して圧力変動を確認する。



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.639

② 大型搬出容器

【要素試験結果】

・試験状況

主な動作ステップ毎の写真を下図に示す。

要素試験の動作ステップ手順(本手順を必ずれなし3回、必ずれ有3回、計6回繰り返す)



可動フランジ動作



二重蓋開閉動作



可動フランジ移動



移動後の可動フランジ+上蓋



可動フランジ動作時のガイド状況



二重蓋フック着環前



二重蓋フック着環後



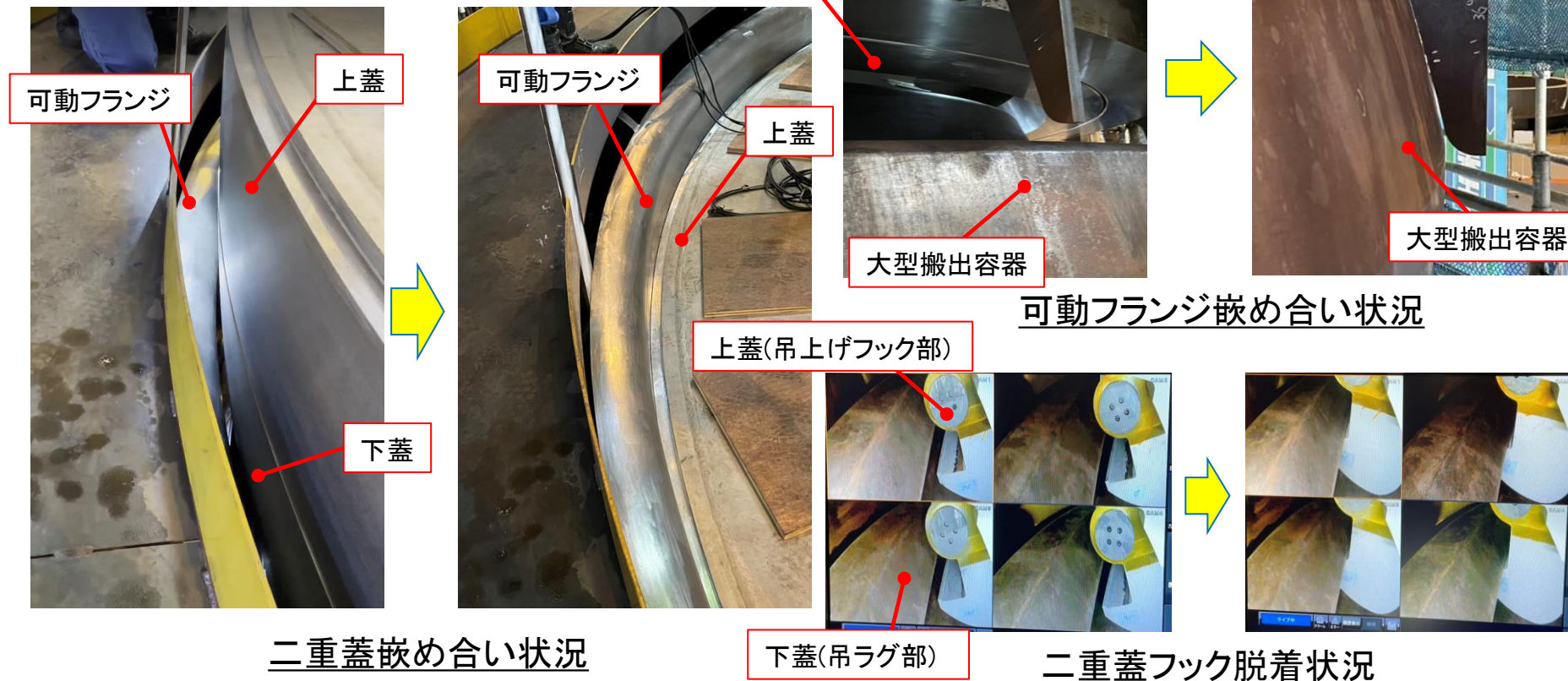
可動フランジ移動後の容器+下蓋

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.640

② 大型搬出容器

【要素試験結果】

・嵌め合い試験



可動フランジ、二重蓋ともに、芯ずれ有の場合もガイドに倣って異音等なく所定の位置に嵌め合うことを確認した。また、二重蓋フックは異音等なく着脱することを確認した。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.641

② 大型搬出容器

【要素試験結果】

・気密試験

加圧法を使用した漏れ量は、以下の式(※1)で算出する。

$$Q = \frac{VT_{20}}{\Delta t} \left(\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \right) + \frac{VT_{20}}{\Delta t} \left(\frac{P_{atm2}}{T_2} - \frac{P_{atm1}}{T_1} \right) [Pa \cdot L/s]$$

$$q = \frac{Q}{101325} [L/s] \quad \text{判定基準: } q < 0.003L/s = 12L/h$$

ここで、Q : 20°C換算の漏れ量(Pa・L/s)

P₁ : 測定開始時の試験体のゲージ圧(Pa)

P₂ : 測定終了時の試験体のゲージ圧(Pa)

Patm1: 測定開始時の大気圧力(外気圧力)(Pa)

Patm2: 測定開始後の大気圧力(外気圧力)(Pa)

Δt : 測定開始から測定終了までの時間(s)

V : 試験体(シール部)の内容積 101(L)

T₂₀ : 基準温度 293 (K)

T₁ : 測定開始時の試験体内の気体の絶対温度(K)

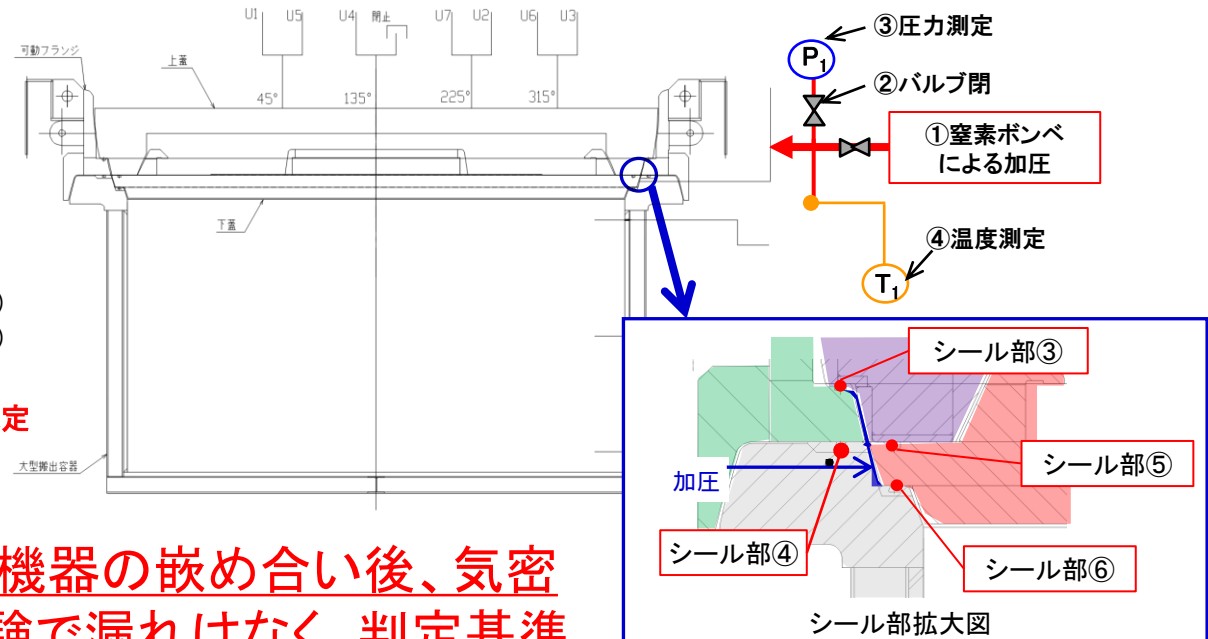
T₂ : 測定終了時の試験体内の気体の絶対温度(K)

q : 20°C、1気圧換算漏れ量(L/s)

(※1): JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法で規定する圧力変化法加圧法による。

凡例: ● 合格、× 不合格

芯ずれ無			芯ずれ有		
1回目	容器接続	● +0.02 L/h	1回目	容器接続	● +0.01 L/h
	二重蓋開閉	● +0.02 L/h		二重蓋開閉	● +0.02 L/h
2回目	容器接続	● -0.01 L/h	2回目	容器接続	● +0.02 L/h
	二重蓋開閉	● +0.02 L/h		二重蓋開閉	● +0.03 L/h
3回目	容器接続	● -0.02 L/h	3回目	容器接続	● -0.02 L/h
	二重蓋開閉	● +0.01 L/h		二重蓋開閉	● 0.00 L/h



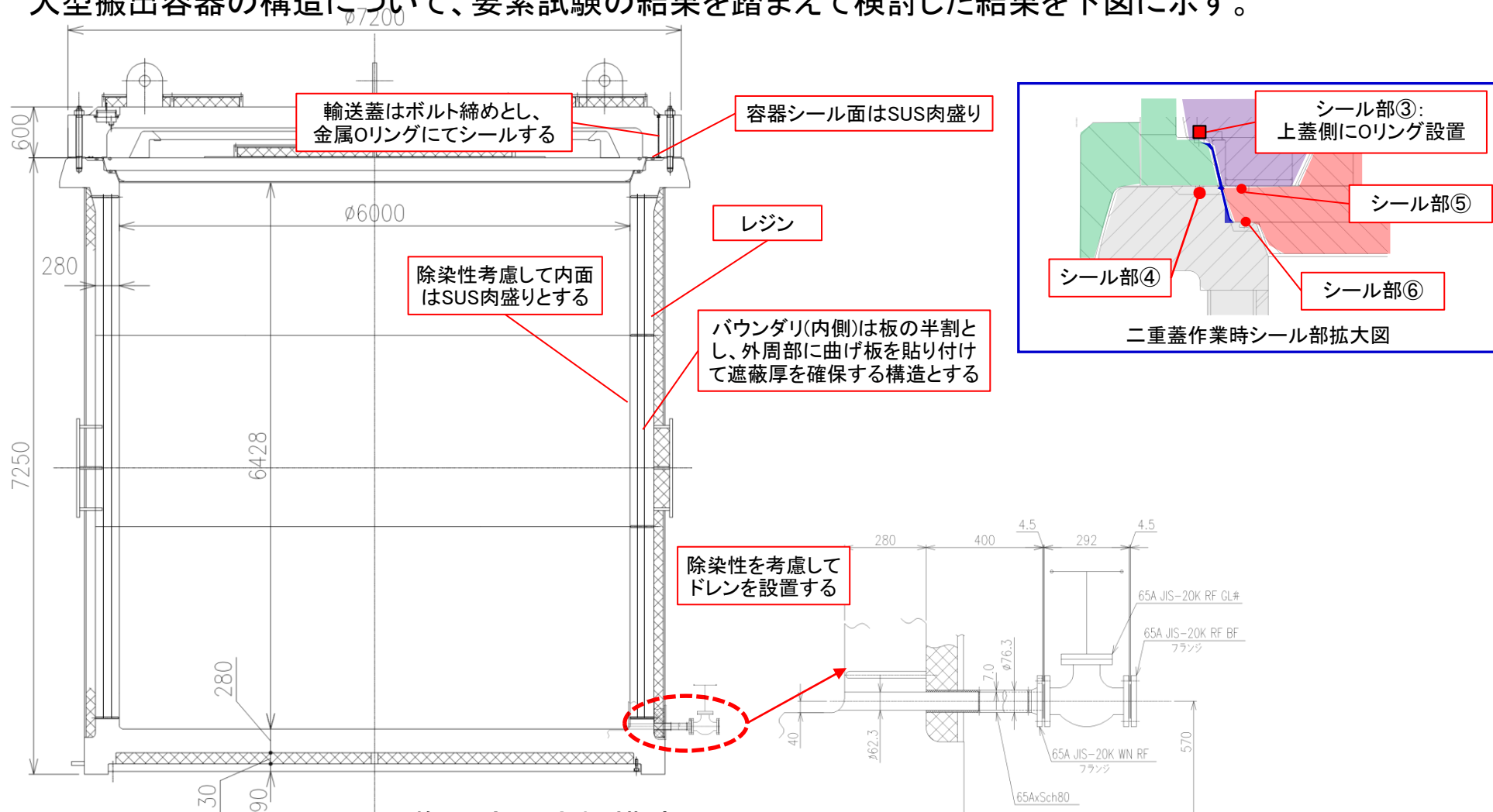
芯ずれ無・有の両条件で各機器の嵌め合い後、気密試験を実施し、すべての試験で漏れはなく、判定基準を満たして合格。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.643

② 大型搬出容器

【実機反映方針】

大型搬出容器の構造について、要素試験の結果を踏まえて検討した結果を下図に示す。



大型搬出容器実機構造図

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.644

② 大型搬出容器

【実機反映方針】

主な課題を次の通り抽出し、対応方針を検討した。

大型搬出容器の抽出課題一覧表

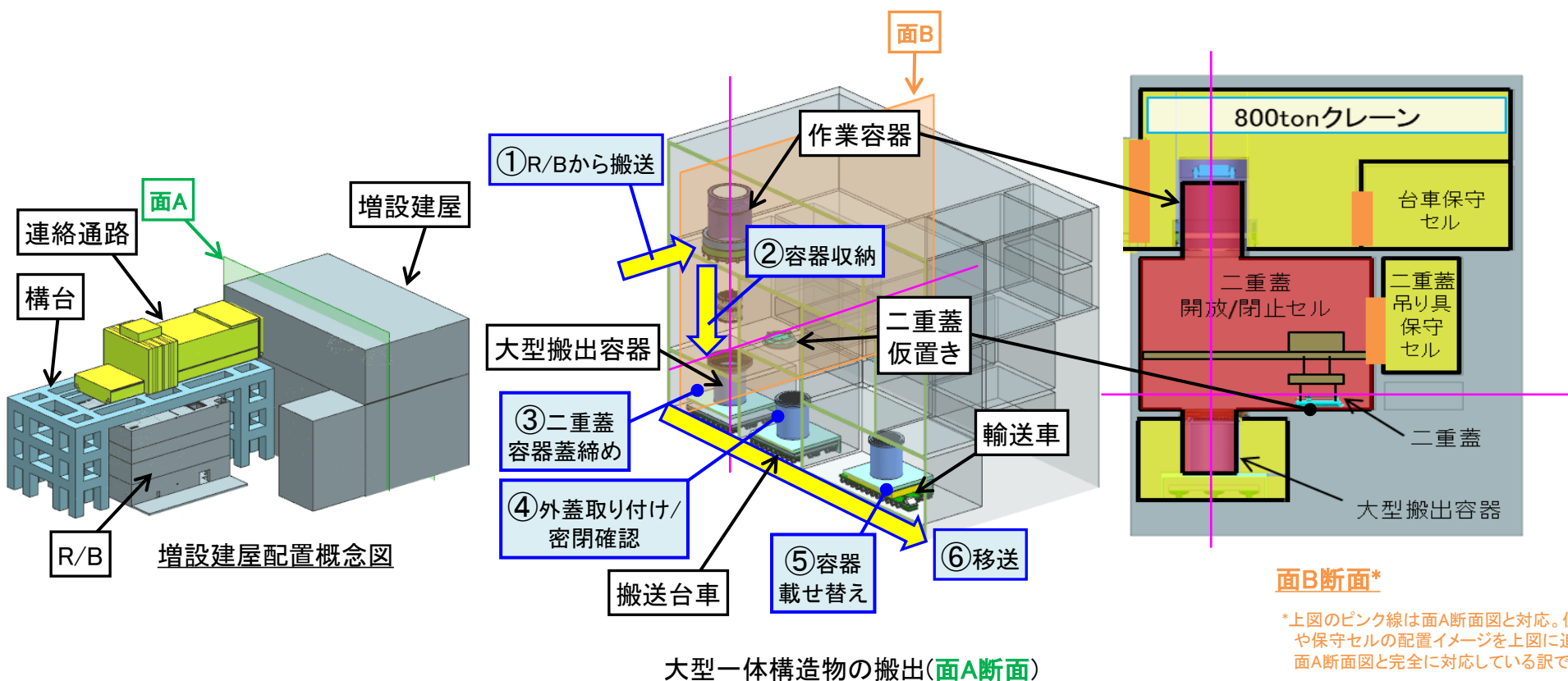
No.	課題	対応方針
1	各シール部のOリング交換、メンテナンス、溝部の状態監視・清掃方法	上蓋シール部③のOリング交換、溝の清掃についてはメンテナンスセルに二重蓋を格納後、実施する。なお、可動フランジのシート面清掃はメンテナンスセルから清掃装置を持っていく方針。その他の下蓋・容器シール部④⑤⑥は容器を構内輸送し、構造物搬出後、新設建屋内の除染に合わせて実施する見込み。また、増設建屋内(二重蓋作業セル)にはシール面(溝部含む)の監視カメラを設置して、ゴミなどが飛来していないことを監視する方針。
2	容器の除染作業方法	容器内の構造物搬出後、新設建屋内にて除染装置を入れて実施。除染前に掃除機などで中性子吸収材を取り出し、除染後はドレンで排水の計画。(中性子吸収材がドレンの支障にならないよう検討する。)
3	シール部③のOリング設置方向を可動フランジシール面から上蓋シール面へ構造変更する為、影響確認要	あり溝であれば、Oリング脱落の危険はなく、影響はないと考えている。実機製作時気密性に影響ないことを再確認する。
4	実機運用中のD部及び二重蓋内(上蓋と下蓋の間)圧力監視方法	上蓋側にD部圧力監視ラインと二重蓋内部圧力監視ラインを設置する。圧力計を接続し、カメラなどで圧力を監視する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.645

② 大型搬出容器

【実機反映方針】

- 大型搬出容器への建造物格納から、輸送蓋(二次蓋)をボルト締め後、構内輸送するまでのフローを示す。
- 増設建屋床面に大開口を設けるものとした。(増設建屋検討時の課題)



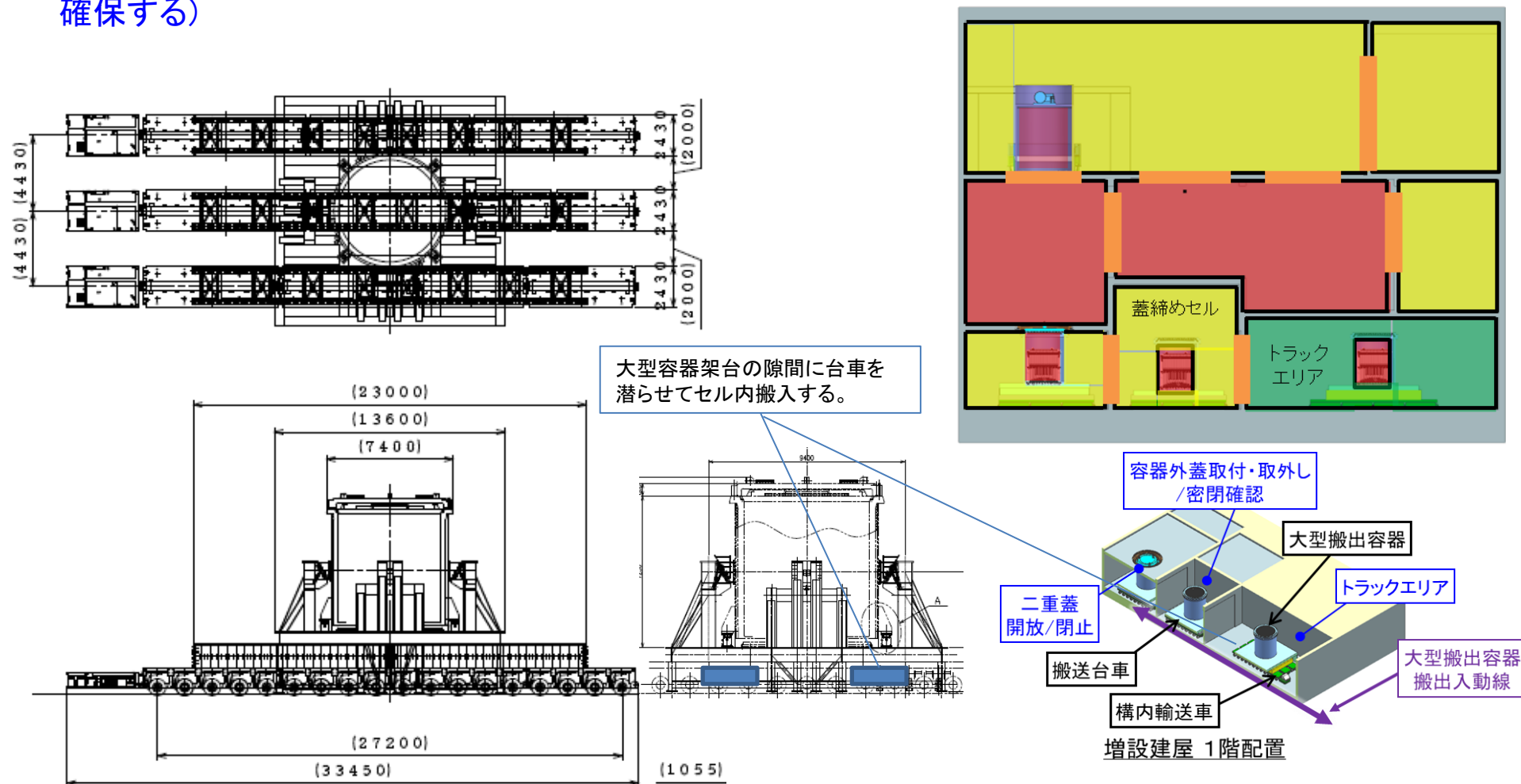
*上図のピンク線は面A断面図と対応。但し、クレーンや保守セルの配置イメージを上図に追加しており、面A断面図と完全に対応している訳ではない。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.646

② 大型搬出容器

【実機反映方針】

- 輸送用ドーリの構造を示す。
- 輸送時には建屋近傍にて輸送用ドーリに載せ替えて輸送する。(またはドーリで直接乗り入れるエリアを確保する)

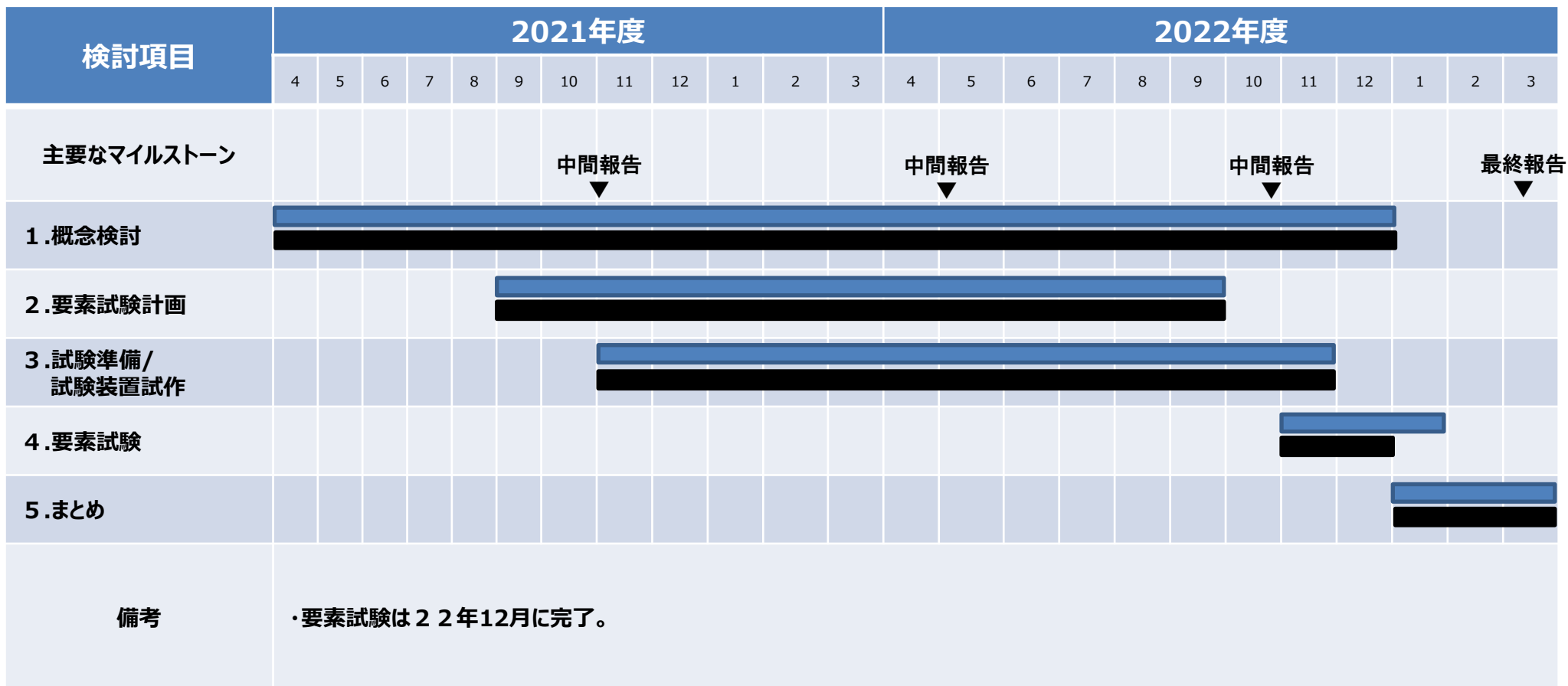


6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.647

② 大型搬出容器

■ 開発工程

■ :計画
■ :実績



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.648

② 大型搬出容器:まとめ

- 大型搬出容器について2021年度に前提条件を整理し、開発方針及び運用方法を検討した。また大型搬出容器の構造、製作手順及び運用方法を考慮し、試験での模擬範囲について検討した。運用上、**二重蓋を動作して容器を開閉するステップが気密性に重要な部分である為、要素試験用の容器を試作して要素試験で二重蓋を動作して容器を開閉するステップにおける気密性を確認する計画とした。**
- **製作性及び運用方法を考慮して、実機大型搬出容器の構造設計を実施した。**
- **要素試験を実施し大型搬出容器の実現性を確認した。**
 - 嵌め合い試験の結果、実機運用ステップを模擬して装置を動作させた際に、想定通り装置が嵌め合い、芯ずれ有の場合でも装置ガイドに倣って所定の位置に接続できることを確認した。
 - 気密試験の結果、上記嵌め合い位置においてD部(シール部③、④、⑤、⑥でシールされた部位)で漏洩量は基準値を満足できることを確認した。
- **実機適用に対する課題を抽出し、実機での容器仕様・装置設計等への反映事項を整理した。**

③ 大型搬送装置

燃料デブリ・炉内建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為に大型一体搬出工法について2019年度からの開発で検討を進めている。その成立の為に、大型建造物の原子炉からの切り離しと搬出が必要になるが、搬出に用いるR/B内の大型搬送装置は、原子炉から切り離した建造物を一体で搭載し、閉じ込めと遮蔽を必要とする搬送用通路を気密ゲートで区分できるように開発する必要がある。

大型搬送装置は、R/Bのオペフロ荷重低減の為に小型軽量化すること、重量建造物の搭載による変形等による走行機能への影響がないこと等が必要になる。また、搬送装置を台車方式とする場合、一般的にはワイヤけん引方式は自走式に比べ低床化が可能で小型化に有利であるが、汚染エリア区分の為に気密ゲートを設ける場合には適用が難しくなる。このような大型搬送装置の前提条件と必要開発項目について検討整理し、気密ゲートへの適応性など汚染した大型重量建造物を確実に搬送する方法について調査検討を実施し、駆動機構を含む搬送装置の構造検討及び要素試験によって、大型搬送装置の現場適用性に関する評価と課題整理を行う。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.650

③ 大型搬送装置

目次

- 課題、実施内容、得られる成果
- 前提条件

- 遮蔽/搬送台車の必要機能
- 遮蔽/搬送台車の駆動方式
- 遮蔽/搬送台車の駆動方式の比較評価
- 遮蔽/搬送台車の構造検討
- 遠隔コネクタ方式要素試験計画
- 要素試験状況
- 要素試験結果
- 課題

- 開発工程
- まとめ

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.651

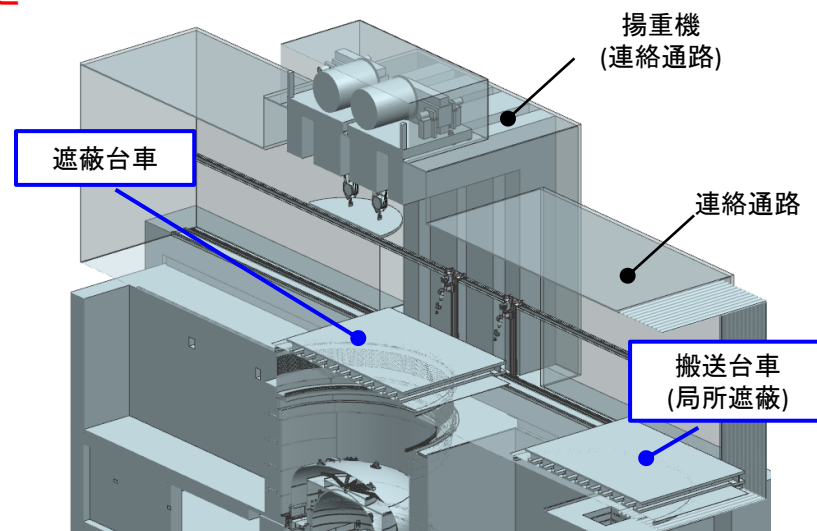
③ 大型搬送装置

【課題】

- 搬送対象は重量物である為、大型搬送装置は重量物搭載の影響を考慮する必要がある。
- 連絡通路内気密ゲートによる気密維持と、大型搬送装置による重量物搬送を両立させる必要がある。
- 連絡通路天井高、作業容器吊り代を考慮し、大型搬送装置は可能な限り低床化する必要がある。

【実施内容】

- 連絡通路内の気密ゲート機能(気密維持による汚染エリア区画)を損なわない大型搬送装置の前提条件と必要機能を整理する。
- 大型重量構造物を搬送する方法について、従来技術・実績等の調査検討を行う。
- 駆動機構を含む大型搬送装置の構造を検討する。
- R/Bオペフロ荷重不可低減の為、大型搬送装置の小型軽量化方法を検討する。
- 重量物搭載による走行への影響を検討する。
- 連絡通路内における大型搬送装置およびその駆動機構の配置の成立性を検討する。
- 大型搬送装置のうち、特に開発が必要な要素を抽出し、当該箇所の実機適用性の為要素試験を計画、実施して大型搬送装置の現場適用性に関する評価と課題整理を行う。



(注記)「遮蔽台車」および「搬送台車」が「大型搬送装置」

【得られる成果】

- 大型搬送装置の現場適用性に関する評価結果と課題。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.652

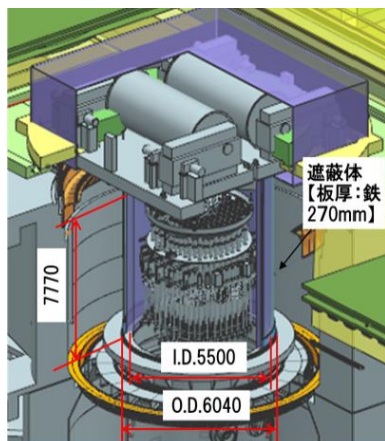
③ 大型搬送装置

【前提条件】

- 大型搬送装置(遮蔽/搬送台車)の設計にあたっての前提条件を以下に示す。

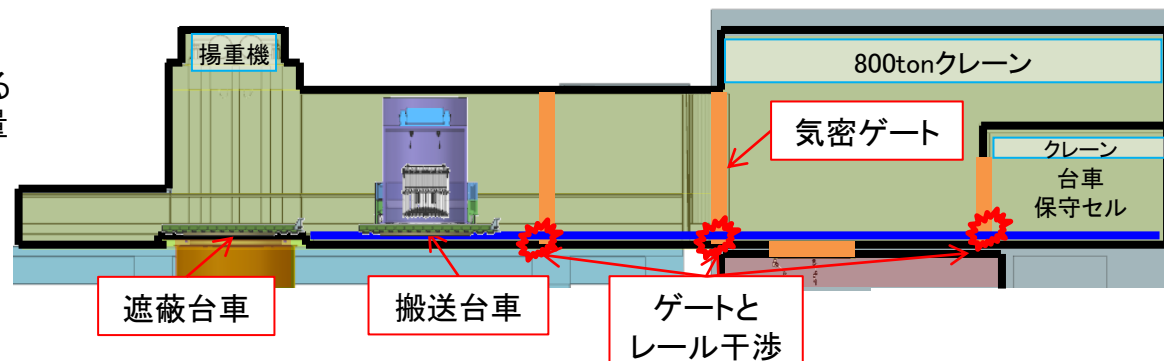
ID.	前提条件	備考
1	上アクセス用の増設建屋は横アクセス用の増設建屋とは別に設置する。	上アクセスは構造物を一体で搬出することを検討しており、横アクセスとの払い出し設備の共用は難しい。
2	取り出し設備等を設置する連絡通路の荷重は架構を設置して地表面で支持し、搬送台車は架構上を走行する。	オペフロの耐荷重を考慮すると連絡通路の荷重を支持することは困難と想定。
3	搬送可能重量は大型重量構造物および作業容器が搬送できるように検討する。	大型重量構造物および作業容器が搬送できるよう、最大サイズ・最大重量※1を考慮した設計とする。
4	連絡通路には汚染エリア区分を目的に気密ゲート※2を設置する。	気密ゲート機能を損なわない大型搬送装置構造を検討する必要がある。

※2: 今年度は、気密ゲートは単純なシャッターを想定して遮蔽/搬送台車の検討を実施した。
気密ゲートの詳細な構造は来年度以降に検討し、検討結果は適宜、遮蔽/搬送台車構造に反映するものとする。



※1: 大型搬送装置に積載される
最大サイズおよび最大重量
(炉底部取り出し時想定)
最大サイズ: $\phi 6040\text{mm} \times$
 $H7770\text{mm}$
最大重量: 800ton

【最大積載サイズ・重量】



【大型搬送装置イメージ】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.653

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の必要機能】

- 遮蔽/搬送台車の必要機能と、後段の駆動方式比較評価項目との対応を下表に示す。

【遮蔽/搬送台車の必要機能一覧】

No.	必要機能	内容	駆動方式の比較評価項目
1	遠隔走行機能	①内部/外部動力により遠隔走行可能である	①遠隔での走行難易度
2	セル間の移動と汚染拡大抑制(セル内/外)	①セルを跨いだ移動が可能である ②連絡通路に傾斜があった場合でも(1/1000程度を想定)走行可能であること ③遮蔽/搬送台車を独立で制御できること ④セルを区画する気密ゲートとの干渉回避 ⑤気密ゲートにとの干渉がある場合は汚染エリアの拡大を抑制できる ⑥セルに貫通部がある場合は放射性物質のセル外への拡散を抑制できる	①セル間移送の難易度 ②傾斜での停止難易度 ③遮蔽/搬送台車の独立制御の難易度 ④気密ゲート干渉有無 ⑤汚染エリア拡大リスク(セル内) ⑥汚染エリア拡大リスク(セル外)
3	ウェル上での位置決め	①ウェル上の規定範囲内に搬送/遮蔽台車を停止可能である	①位置決め精度
4	大型重量構造物(暫定値:800ton)の搬送	①大型重量構造物および作業容器を積載して移動が可能である ②大型重量構造物積載による搬送台車のたわみを抑制、もしくはたわんだ状態でも走行できること	①大型重量構造物搬送の難易度 ②省略(遮蔽/搬送台車構造で対応)
5	ウェルの遮蔽	①ウェル上に遮蔽/搬送台車を停止し、炉内→連絡通路への放射線量を抑制可能である	①省略(遮蔽/搬送台車構造で対応)
6	遠隔保守/非常回収	①遮蔽/搬送台車駆動に資する設備を遠隔でメンテナンスできること ②遮蔽/搬送台車駆動に資する設備が故障した場合に、遮蔽/搬送台車を増設建屋に回収できること	①駆動設備の保守・遠隔交換の難易度 ②遮蔽/搬送台車の非常回収可否の難易度
7	駆動設備の製作性と配置成立性	①駆動設備の製作が技術的に可能であること ②連絡通路-増設建屋間に配置可能な設備規模であること	①製作難易度(気密ゲート含む) ②配置成立性の難易度

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.654

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の駆動方式】

- 先述の、遮蔽/搬送台車の必要機能(特に、駆動方式で対応が必要な機能)を満たす駆動方式として、従来技術・実績を参考に下記(a)～(g)の駆動方式を検討した。

【遮蔽/搬送台車の駆動方式案(1/2)】

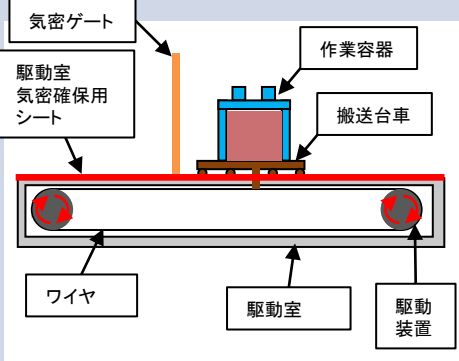
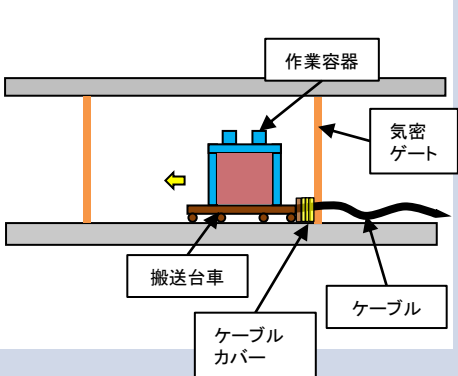
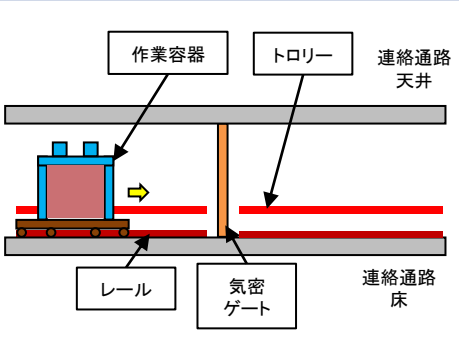
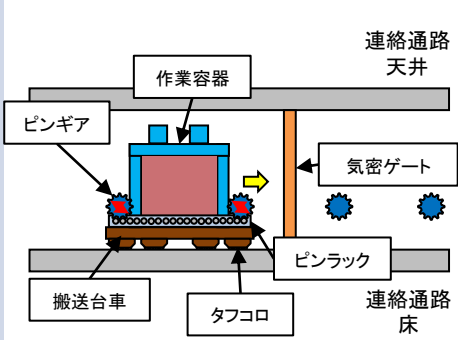
駆動方式	(a)遠隔コネクタ方式	(b)ワイヤ搬送方式	(c)ネジ軸式搬送方式
概念図			
動力	電動機(コネクタを介し給電)	ワイヤにて牽引	ネジ軸の回転
概要	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽/搬送台車前後のコネクタ差込口と、セル上に設置した給電コネクタの遠隔接続/解除を繰り返して台車を移送する 	<ul style="list-style-type: none"> セル壁を貫通するワイヤの駆動により遮蔽/搬送台車を移送する 	<ul style="list-style-type: none"> ネジ軸を回転させ、遮蔽/搬送台車に設置されている半割のナットを介し、駆動力を遮蔽/搬送台車に伝達する
課題	<ul style="list-style-type: none"> 実機スケールでのコネクタ遠隔接続/解除の成立性が不透明 セル内の給電コネクタ/ケーブルベアのメンテナンスが困難 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔でのワイヤ交換が困難 遮蔽/搬送台車用のワイヤ・駆動装置の配置スペース確保が困難 	<ul style="list-style-type: none"> 大型かつ水平なネジ軸の製作が困難 遮蔽/搬送台車用のネジ軸配置スペースの確保が困難

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.655

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の駆動方式】

【遮蔽/搬送台車の駆動方式案(2/2)】

駆動方式	(d)ワイヤ駆動方式	(e)ケーブル給電方式	(f)トロリー方式	(g)ピンギア方式
概念図				
動力	ワイヤにて牽引	電動機(ケーブルを介し給電)	電動機(トロリーを介し給電)	ピンギアの回転
概要	<ul style="list-style-type: none"> セル床下(もしくはセル側壁内)のワイヤと遮蔽/搬送台車を接続し、ワイヤの駆動により遮蔽/搬送台車を移送する 	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽/搬送台車積載の電動機にケーブルを介し給電する 	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽/搬送台車積載の電動機にトロリーを介し給電する 	<ul style="list-style-type: none"> セル側壁に設けたピンギアが遮蔽/搬送台車上のピンラックに噛みこんだ状態で回転する
課題	<ul style="list-style-type: none"> 駆動室を経由した汚染エリアの拡大リスクが高い 床下に駆動室を設ける場合、駆動装置とウェル開口が干渉するリスクがある 	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルの遠隔交換が困難 遮蔽/搬送台車の独立制御が困難 	<ul style="list-style-type: none"> トロリーが遠隔で取り扱うには大型である為、遠隔交換が困難 	<ul style="list-style-type: none"> セル外の駆動装置のメンテナンス/交換時における、気密を維持しながらの貫通軸の取り扱いが困難

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.656

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の駆動方式の比較評価】

- 前述の駆動方式評価項目に沿った評価結果を下記に示す（差異が大きいもののみ抜粋）。
- 特に課題が小さい(a)遠隔コネクタ方式、(f)トロリー方式を有望な駆動方式とした。
- 上記2方式の内、(a)遠隔コネクタ方式は、搬送台車への水・エアの供給など、より汎用性が高い駆動方式として有望と考えられることから、本方式について、遮蔽/搬送台車の構造検討および要素試験を実施した。

【駆動方式の比較評価結果】

赤字：特に課題が大きい項目

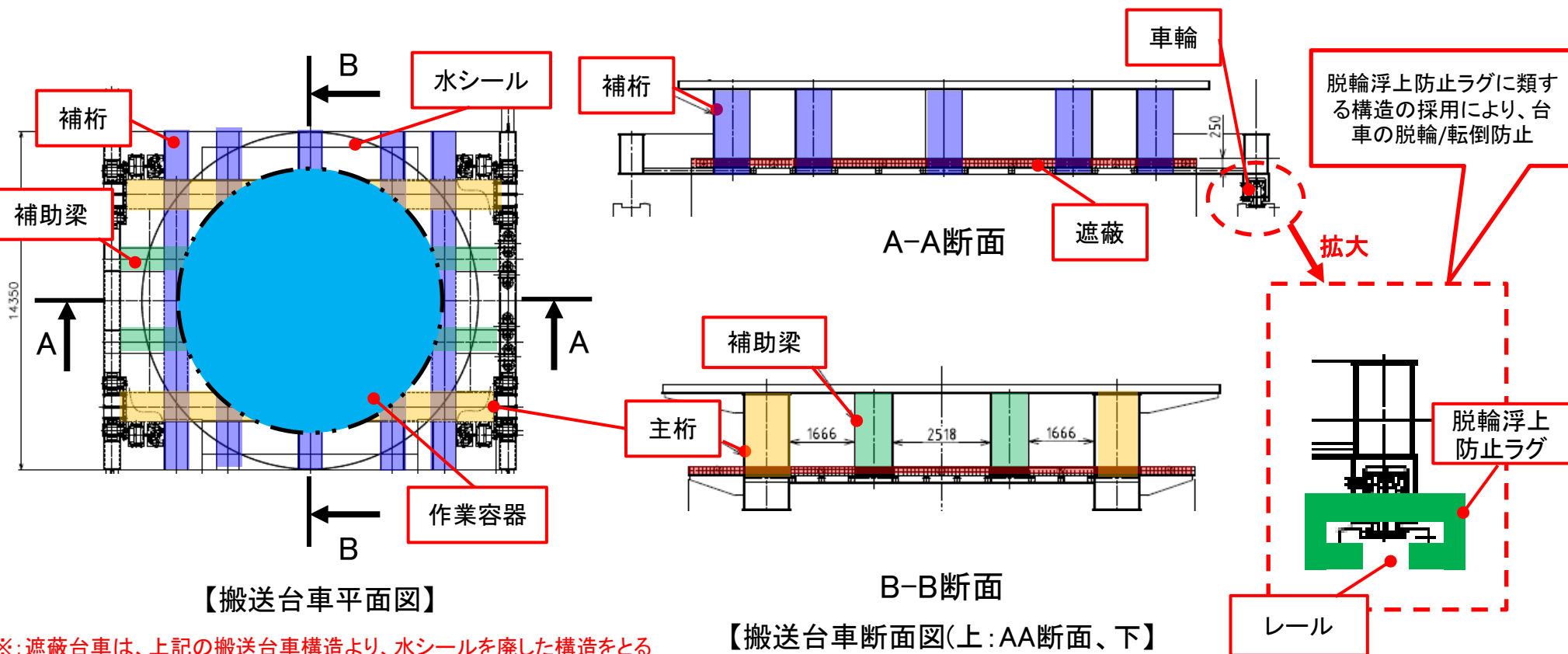
駆動方式	(a)遠隔コネクタ方式	(b)ワイヤ搬送方式	(c)ネジ軸式搬送方式	(d)ワイヤ駆動方式	(e)ケーブル給電方式	(f)トロリー方式	(g)ピンギア方式
製作難易度(気密ゲート含む)	○:比較的容易 (製作にあたっての課題が小さい)	△:比較的困難 (ワイヤのセル貫通部の気密維持に課題あり)	▲:困難 (長尺の水平なネジ軸の製作が困難)	○:比較的容易 (製作にあたっての課題が小さい)	△:比較的困難 (気密ゲートのケーブル用開口に課題あり)	○:比較的容易 (製作にあたっての課題が小さい)	○:比較的容易 (製作にあたっての課題が小さい)
配置成立性の難易度	△:比較的困難 (ケーブル本数が増大した場合は、配置不成立のリスクが高まる)	▲:困難 (セル内/外の駆動系配置スペース確保に課題あり)	▲:困難 (ネジ軸とネジ軸貫通部、軸受け部のスペース確保に課題あり)	▲:困難 (駆動装置が多数必要になり、ウェル開口部との干渉リスクあり)	△:比較的困難 (遮蔽/搬送台車のケーブル敷設スペース確保が必要)	△:比較的困難 (トロリー本数が増大した場合は、配置不成立のリスクが高まる)	△:比較的困難 (駆動装置設置スペースの確保が必要)
駆動設備の保守・遠隔交換の難易度	△:比較的困難 (交換が不要な構造としつつ、一体で着脱可能な構造とすることで改善)	▲:困難 (遠隔でのワイヤ交換が困難(セル外への汚染拡大抑制を考慮した交換方法、搬送ユニットの遠隔着脱))	△:比較的困難 (ネジ軸をまっすぐ接続する機構が必要)	▲:困難 (ワイヤの遠隔交換が困難(遠隔での駆動装置からの離脱、駆動室へのアクセス))	▲:困難 (ケーブルの遠隔交換が困難(ケーブル断線時のケーブル回収))	△:比較的困難 (交換が不要な構造としつつ、一体で着脱可能な構造とすることを検討)	▲:困難 (駆動装置保守時の貫通軸取り扱い(気密を維持した状態での交換作業)が困難)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.657

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の構造検討①】

- 遮蔽/搬送台車※は可能な限り軽量化を図り、下図の構造とした(台車重量:約547ton)。
- 更に遮蔽/搬送台車を軽量化する場合は、遮蔽/搬送台車はほぼすべてが強度部材で構成されている為、強度部材自体に手を加える必要があり、結果的に設計上重要なたわみ等が許容値を逸脱する恐れがある。
- 遮蔽/搬送台車の転倒防止対策として、脱輪浮上防止ラグに類する構造を採用する。



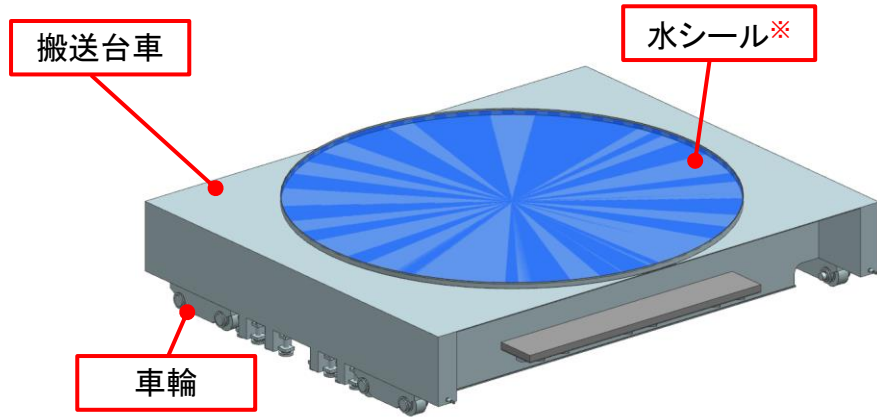
※:遮蔽台車は、上記の搬送台車構造より、水シールを廃した構造をとる

6. 本事業の実施内容【2】(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.658

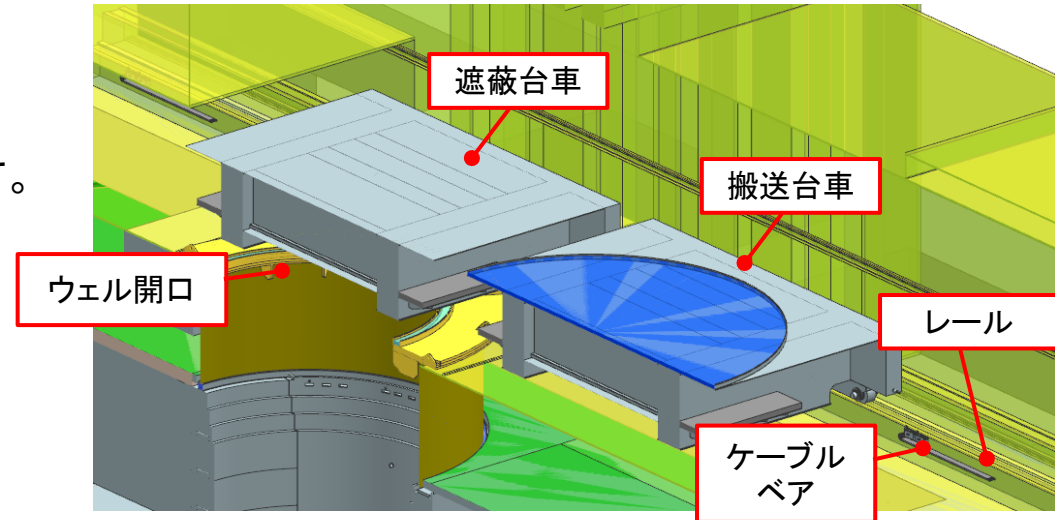
③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の構造検討②】

- 搬送台車の構造図と、連絡通路上配置図を示す。

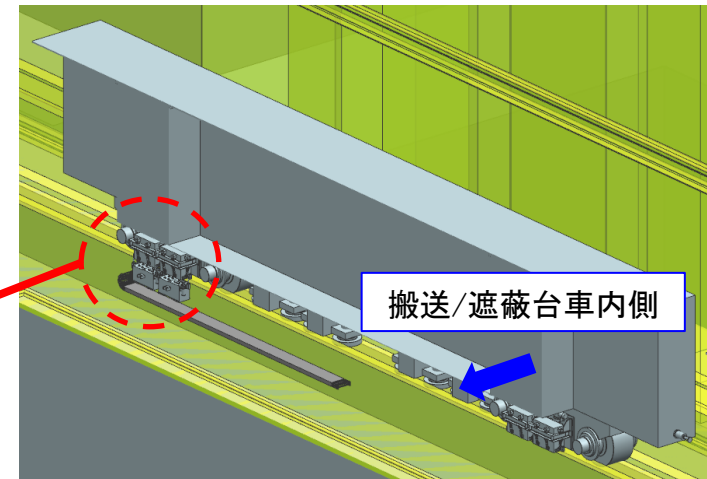
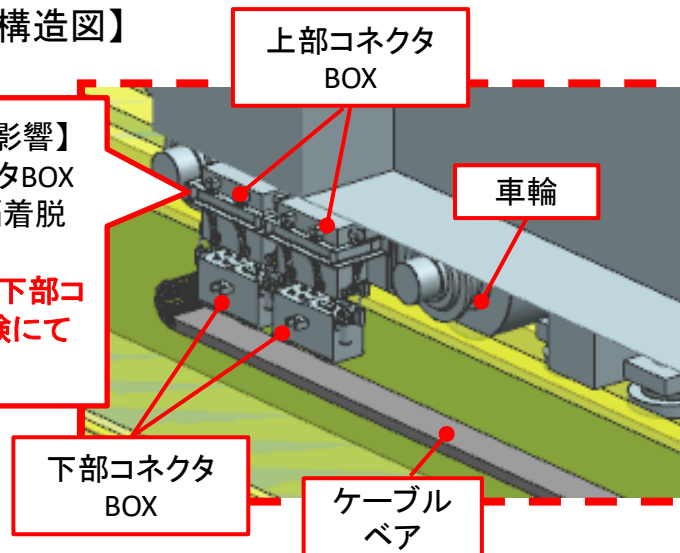


【搬送台車構造図】



【遮蔽/搬送台車配置図】

【大型重量構造物積載時の走行への影響】
搬送台車のたわみにより、上部コネクタBOXが傾き、上部/下部コネクタBOXの遠隔着脱に支障をきたす可能性がある。
→搬送台車たわみ時における、上部/下部コネクタBOXの遠隔着脱可否を要素試験にて確認した



【遮蔽/搬送台車断面図】

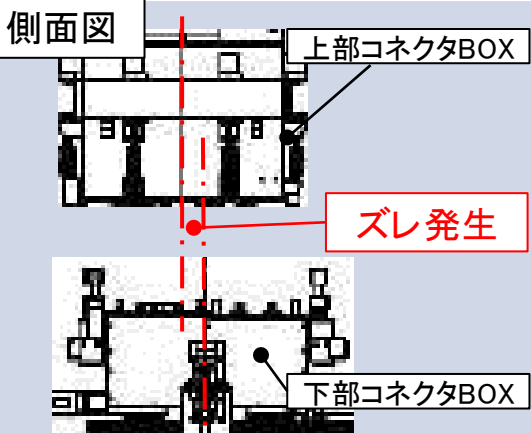
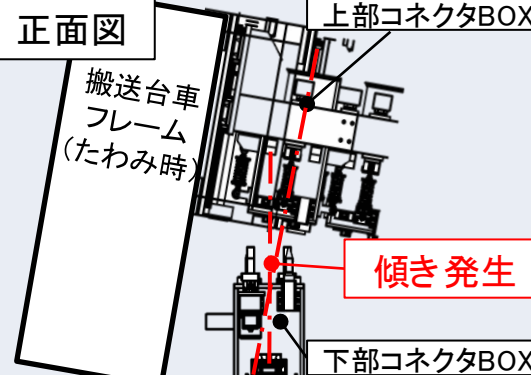
※:作業容器底面の汚染物質拡大防止設備として搭載

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.659

③ 大型搬送装置

【遮蔽/搬送台車の構造検討③】

- 遮蔽/搬送台車の構造検討結果に基づき、要素試験における確認項目を整理した。

確認項目	理由	イメージ図 注)ズレおよび傾きを誇張して表現しています
停止位置ズレ時のコネクタ接続可否 (試験項目No.4)	<p>構造検討を実施した遮蔽/搬送台車の停止精度(目標停止位置に対する停止位置のズレ)は、計算の結果より、約±6mmと想定される。</p> <p>→下部コネクタBOXは、目標停止位置で遮蔽/搬送台車が停止した際(ズレ0mm時)に、上部コネクタBOXの直下となる位置に停止している。</p> <p>→遮蔽/搬送台車が目標停止位置からズレて停止した際は、上部コネクタBOXと下部コネクタBOXも同様にズレる為、ズレを吸収して接続する必要がある。</p>	<p>側面図</p>  <p>上部コネクタBOX</p> <p>ズレ発生</p> <p>下部コネクタBOX</p>
たわみ発生時のコネクタ接続可否 (試験項目No.5)	<p>構造検討を実施した搬送台車は、大型重量構造物の積載に伴いたわみが発生する。</p> <p>→たわみ量(傾き角度)は、クレーン工業規格に記載の「天井クレーンのたわみの限度」を参考として、進行方向と直角方向に0.14°程度と想定される。</p> <p>→当該たわみにより、搬送台車に搭載されている上コネクタBOXは、下コネクタBOXに対し傾いた状態となる為、傾きを吸収して接続する必要がある。</p>	<p>正面図</p>  <p>搬送台車フレーム(たわみ時)</p> <p>上部コネクタBOX</p> <p>傾き発生</p> <p>下部コネクタBOX</p>

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.660

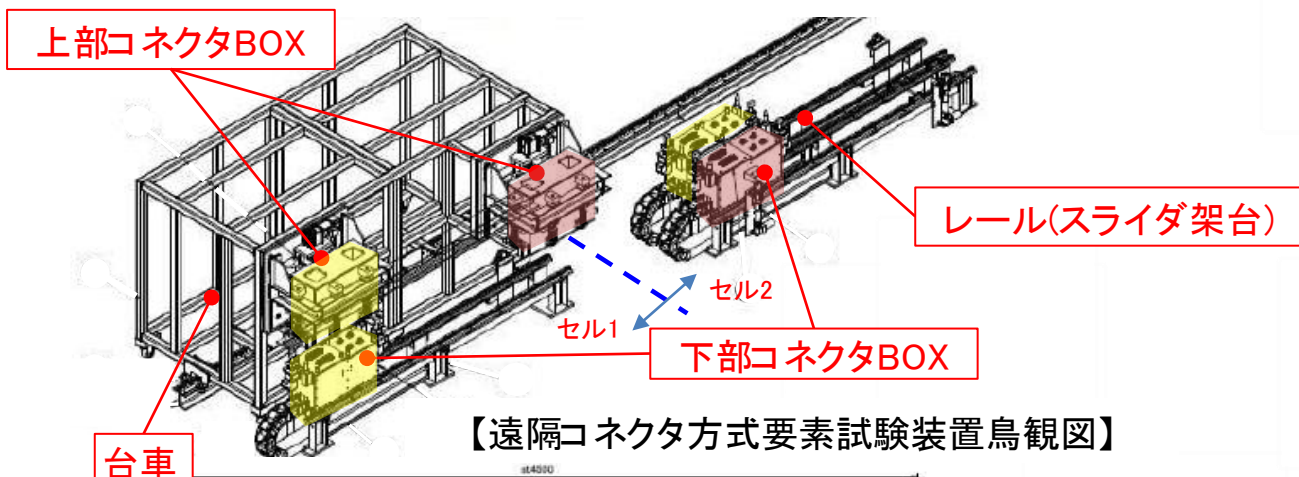
③ 大型搬送装置

【遠隔コネクタ方式要素試験計画①】

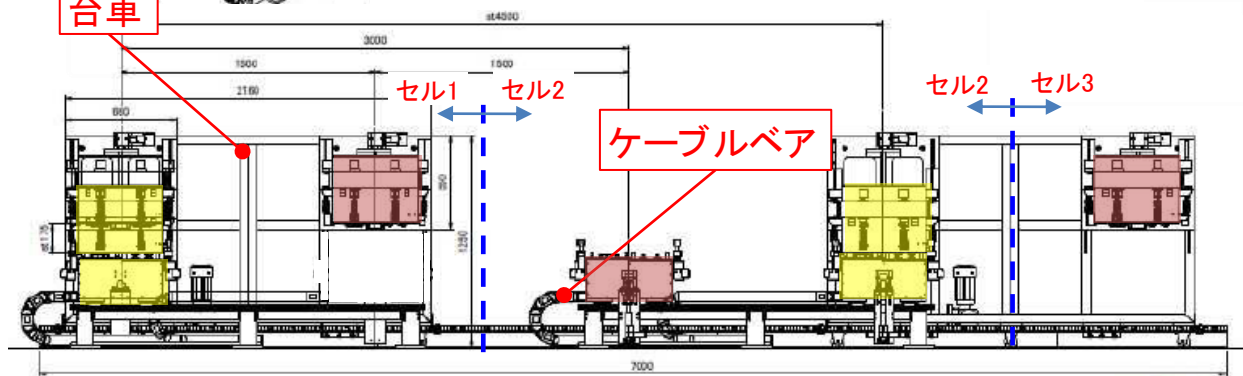
- 要素試験の目的は、実機スケールでのコネクタ遠隔着脱及び台車のセル間移動成立性の確認である。
- 要素試験装置の概略構造を下図に示す。

(実機相当:上部/下部コネクタBOX、レール(スライダ架台))

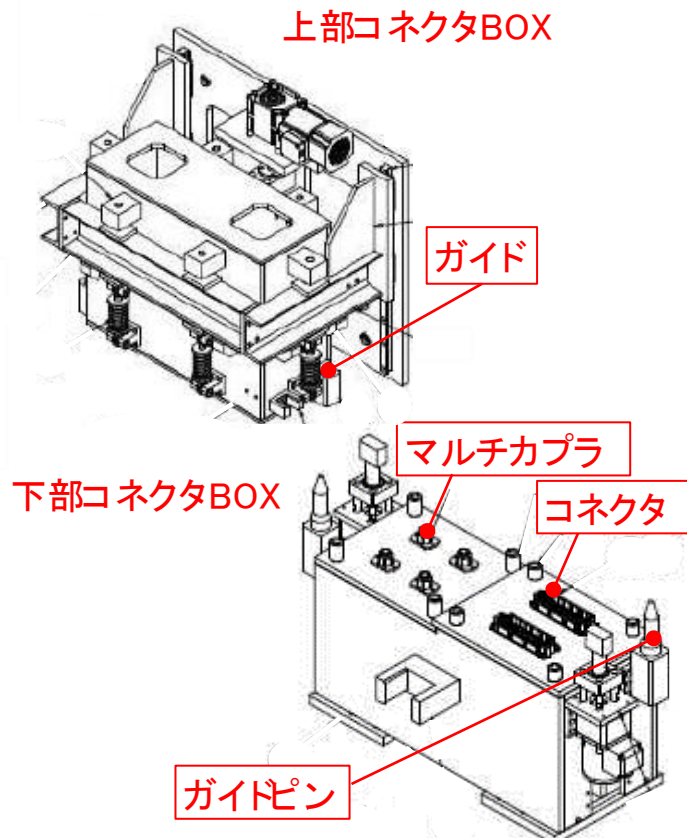
(1/4スケール:コネクタBOXのスパン、スライダ架台の長さ)



【遠隔コネクタ方式要素試験装置鳥観図】



【遠隔コネクタ方式要素試験装置概略図】



【上部/下部コネクタBOX 概略図】

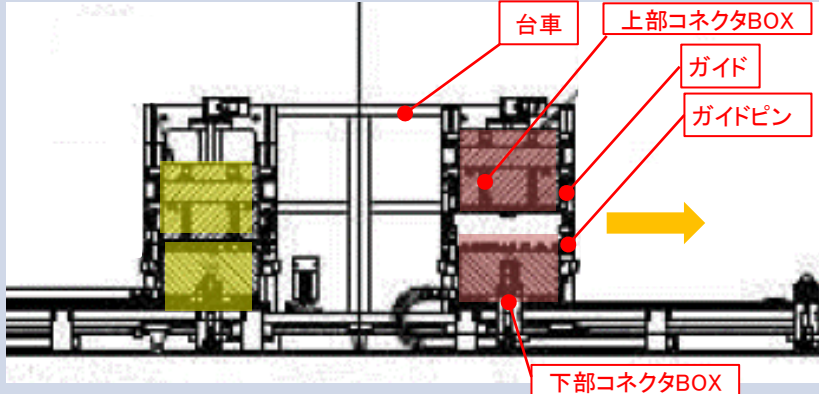
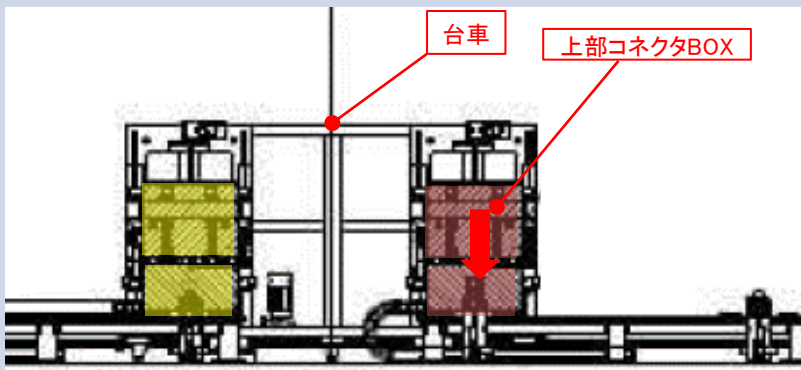
6. 本事業の実施内容【2】(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.661

③ 大型搬送装置

【遠隔コネクタ方式要素試験計画②】

- 要素試験における遠隔コネクタ接続手順を以下に示す。
- 下記手順を、上部コネクタBOXの適正配置時/位置ズレ時/傾き時それぞれにて行う。
- 位置ズレは、構造検討を実施した搬送/遮蔽台車の停止時の位置ズレを想定した。
- 傾きは、搬送台車に大型重量構造物を搭載した際の搬送台車のたわみを想定した。

【コネクタBOX遠隔接続手順】

STEP	①位置合わせ	②上部コネクタBOX下降
イメージ		
内容	台車の水平移動により、上部コネクタBOXの位置合わせを行う。 位置合わせ完了後、上部コネクタBOXを下降させ、上部コネクタBOXのガイド部に下部コネクタBOXのガイドピンが通ることを確認する。	上部コネクタBOXの下降のみでコネクタ接続を行う。 台車に給電/信号伝達を行い、指示通りに台車を移動可能である(コネクタ接続が完了している)ことを確認する。

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.662

③ 大型搬送装置

【遠隔コネクタ方式要素試験計画③】

- 下表に示す試験項目および判定基準を策定した。

【要素試験 試験項目一覧表】

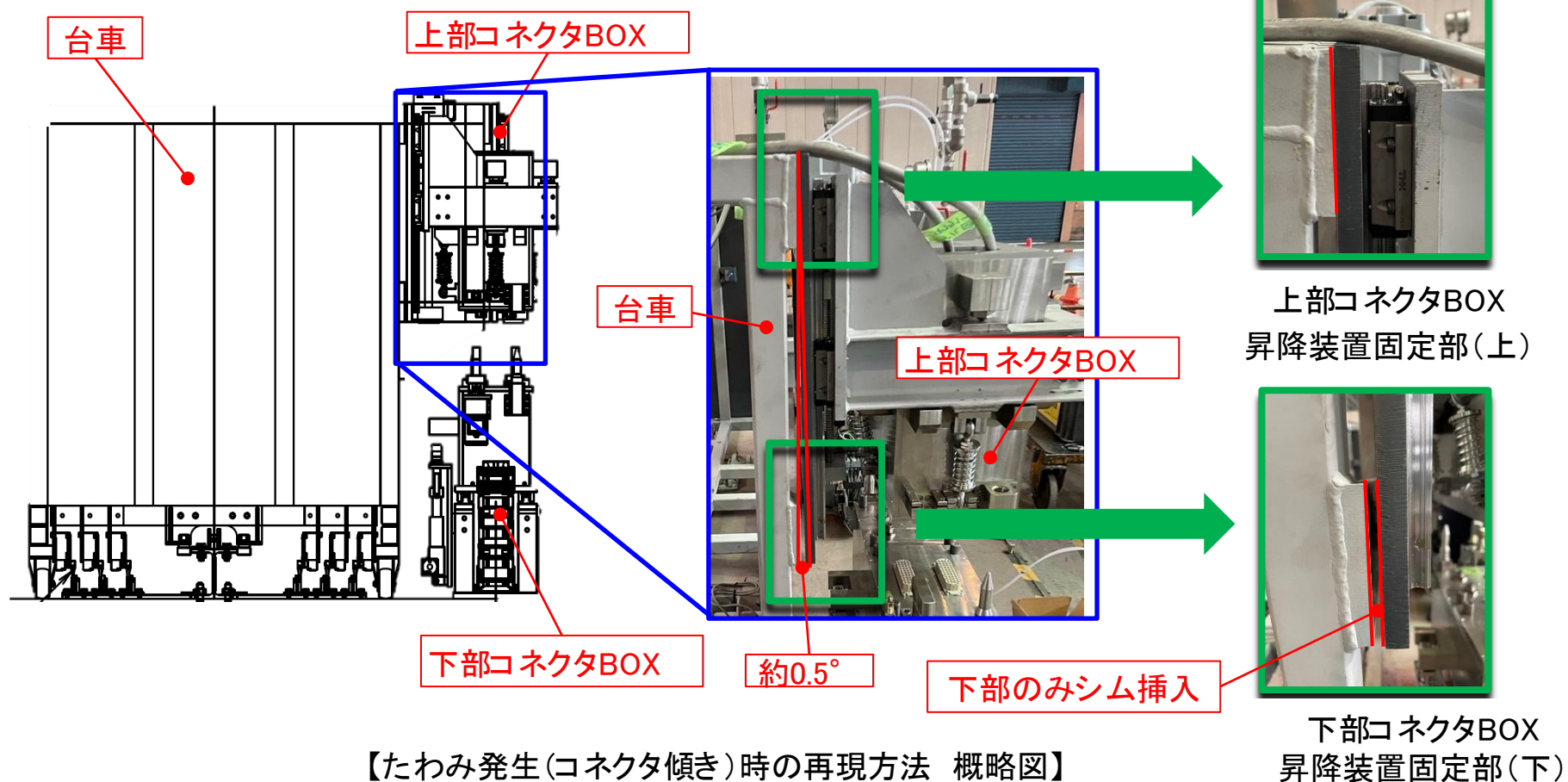
No.	試験項目	内容	判定基準
1	遠隔でのコネクタ接続可否	遠隔での給電コネクタの接続が可能であることを確認する。	①: 上部コネクタBOXの下降中に干渉が無いこと ②: 上部コネクタBOXの下降後、設計通りの位置にあること ③: コネクタ接続後制御盤通電ランプが点灯すること ④: 前進指示で異常なく台車が前進すること
2	遠隔でのコネクタ解除可否	遠隔での給電コネクタの接続解除が可能であることを確認する。	①: 上部コネクタBOXの上昇後、設計通りの位置にあること ②: 上部コネクタBOXの上昇中に干渉が無いこと ③: 前進指示で異常なく台車が前進すること ④: 各コネクタ・カプラに変形、破損がないこと ⑤: 各コネクタ・カプラの表面に有害な傷がないこと
3	セル間移送動作可否	遠隔でのコネクタ接続/解除を繰り返しながら、隣接セルへの搬送台車の移動が可能であることを確認する。	①: 台車がセル1→セル2→セル3→セル2→セル1の移動を遠隔操作のみで可能なこと ②: 各セルの台車停止位置と規定停止位置との水平方向のズレ量が±10mm(ガイドの取り合い精度)以下であること ③: 台車がレール切れ目を完全に渡り終わること(進行方向に対し後方の台車車輪が移動先のセル内レールへ載ること)
4	停止位置ズレ時のコネクタ接続可否	台車停止位置を故意に±10mmの範囲(実機想定位置ズレ範囲)でずらした状態においても、コネクタの接続が可能であることを確認する。	①: 制御盤通電ランプが点灯すること ②: 前進指示で異常なく台車が前進すること ③: ガイドピンと嵌め合い部以外への干渉がないこと
5	たわみ発生時のコネクタ接続可否	実機における台車の歪みを想定し、上部コネクタBOXが下部コネクタBOXに対して傾いた状態においても、コネクタの接続が可能であることを確認する。(傾きは実機におけるたわみを考慮して0.5°、レールに対して直角方向とする)	①: 上部コネクタBOXの下降中に干渉が無いこと ②: 上部コネクタBOXの下降後、設計通りの位置にあること ③: コネクタ接続後制御盤通電ランプが点灯すること ④: 前進指示で異常なく台車が前進すること ⑤: 各コネクタ・カプラに変形、破損がないこと ⑥: 各コネクタ・カプラの表面に有害な傷が無いこと

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.663

③ 大型搬送装置

【遠隔コネクタ方式要素試験計画④】

- 遮蔽/搬送台車の停止位置のズレは、台車を手動で(安全率等を考慮し)±10 mmずらして再現する。
- 搬送台車のたわみは、上部コネクタBOXの昇降装置を(安全率等を考慮し)約0.5° 傾けて再現する。
- 昇降装置を傾ける為、台車と昇降装置との固定部にシムを挿入する。

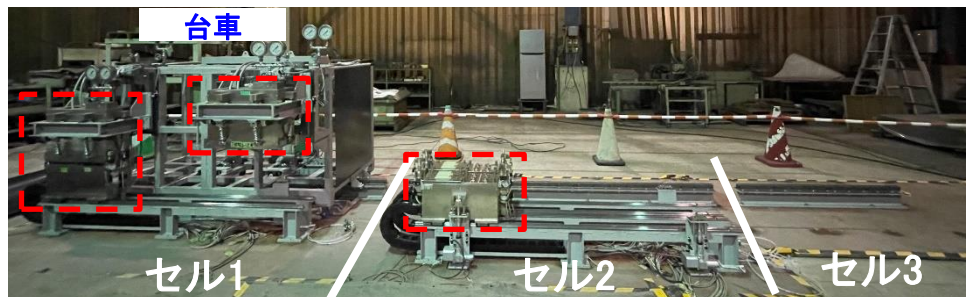


6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.664

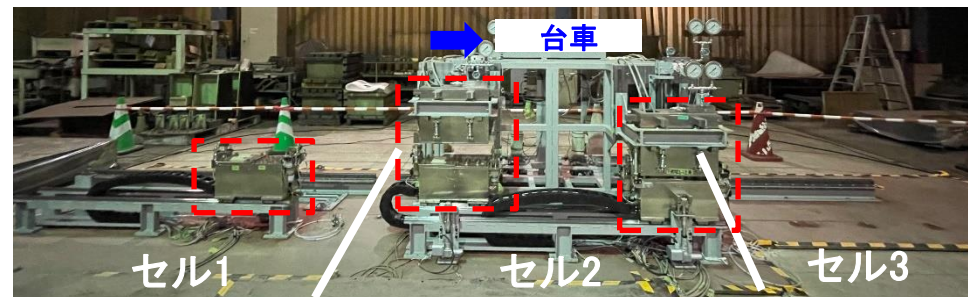
③ 大型搬送装置

【要素試験状況(セル間移送動作可否確認時)】

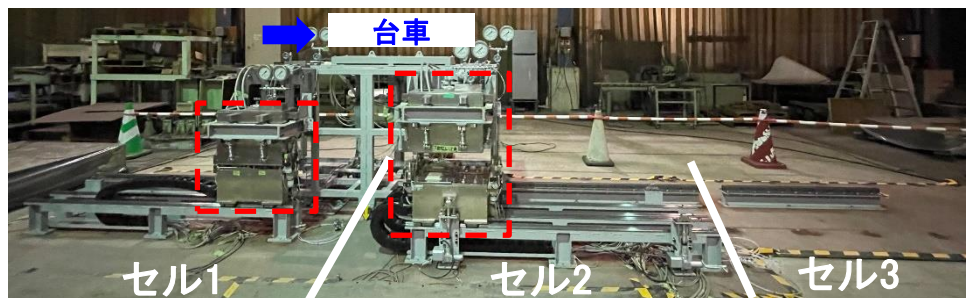
☐:コネクタBOX



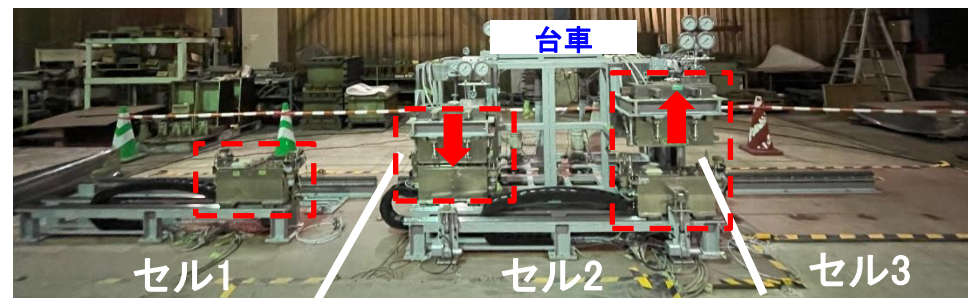
①初期状態



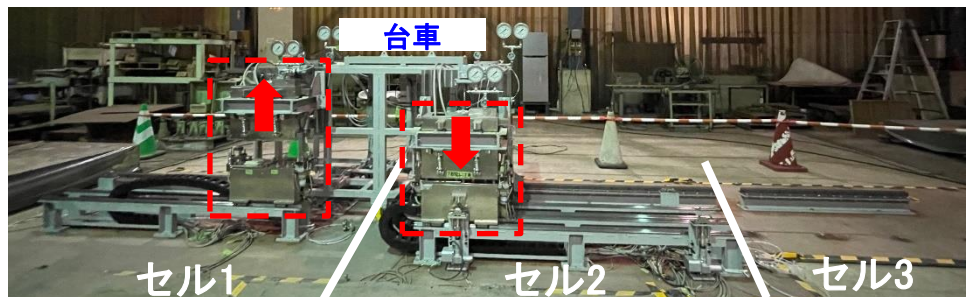
④台車移動(セル2へ)



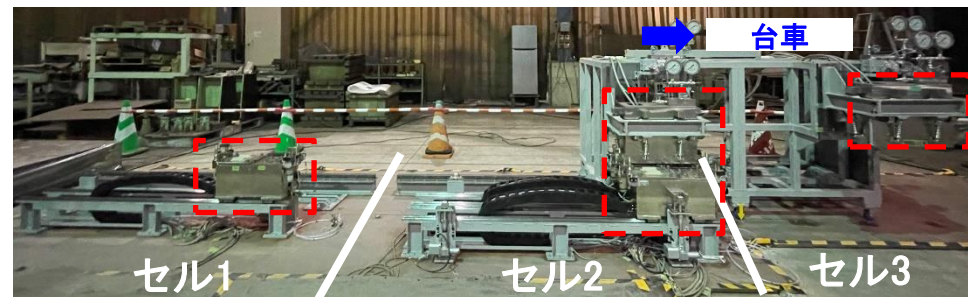
②台車移動(セル1,2中間へ)



⑤コネクタBOX接続切り替え(セル2)



③コネクタBOX接続切り替え(セル1,2中間)



⑥搬送台車移動(セル2,3中間へ)

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.665

③ 大型搬送装置

【要素試験結果①】

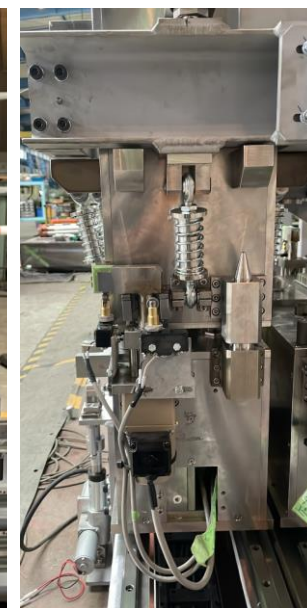
- コネクタ接続後、コネクタを介し搬送台車に給電・信号伝達を行い、指示通りに搬送台車を操作できることを確認した。
- 2つのコネクタが搬送台車に接続されている状態で、片方のコネクタを遠隔操作にて接続解除する。もう片方のコネクタを介し給電・信号伝達を行い、接続解除したコネクタと独立して搬送台車が動作可能であることを確認した。
- 台車停止位置を故意に±10mmの範囲(実機想定的位置ズレ範囲)でずらした状態においても、上コネクタボックスを約0.5°傾けた状態においても、コネクタの接続が可能であることを確認した。



a. 接続前



b. 接続後



【遠隔コネクタ接続状況】

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.666

③ 大型搬送装置

【要素試験結果②】

- 遠隔コネクタ着脱に係る要素試験を実施した。
- 要素試験の全試験項目において、判定基準を満足する結果を得た。
- 判定結果に基づき、実機スケールでのコネクタ遠隔着脱及びセル間移動の成立性を確認した。

No.	試験項目	判定基準	試験結果
1	遠隔でのコネクタ接続可否	<ul style="list-style-type: none"> ①: 上部コネクタBOXの下降中に干渉が無いこと ②: 上部コネクタBOXの下降後、設計通りの位置にあること ③: コネクタ接続後制御盤通電ランプが点灯すること ④: 前進指示で異常なく台車が前進すること 	<p>判定基準を満足した。</p> <p>コネクタ接続後、コネクタを介し搬送台車に給電・信号伝達を行い、指示通りに搬送台車を操作できることを確認した。</p>
2	遠隔でのコネクタ解除可否	<ul style="list-style-type: none"> ①: 上部コネクタBOXの上昇後、設計通りの位置にあること ②: 上部コネクタBOXの上昇中に干渉が無いこと ③: 前進指示で異常なく台車が前進すること ④: 各コネクタ・カプラに変形、破損がないこと ⑤: 各コネクタ・カプラの表面に有害な傷がないこと 	<p>判定基準を満足した。</p> <p>2つのコネクタが搬送台車に接続されている状態で、片方のコネクタを遠隔操作にて接続解除できることを確認した。</p> <p>また、コネクタを切り替えて、もう片方のコネクタによって給電・信号伝達を行い、搬送台車を操作できることを確認した。</p>
3	セル間移送動作可否	<ul style="list-style-type: none"> ①: 台車がセル1→セル2→セル3→セル2→セル1の移動を遠隔操作のみで可能なこと ②: 各セルの台車停止位置と規定停止位置との水平方向のズレ量が±10mm以下であること ③: 台車がレール切れ目を完全に渡ること(進行方向に対し後方の台車車輪が移動先のセル内レールへ載ること) 	<p>判定基準を満足した。</p> <p>端のセルから他端のセルまで、給電コネクタの接続/解除を繰り返しながら、遠隔操作のみで移動可能であることを確認した。</p>
4	位置ズレ時のコネクタ接続可否	<ul style="list-style-type: none"> ①: 制御盤通電ランプが点灯すること ②: 前進指示で異常なく台車が前進すること ③: ガイドピンと嵌め合い部以外への干渉がないこと 	<p>判定基準を満足した。</p> <p>台車停止位置を故意に±10mmの範囲(実機想定の位置ズレ範囲)でずらした状態においても、コネクタの接続が可能であることを確認する。</p>
5	たわみ発生時のコネクタ接続可否	<ul style="list-style-type: none"> ①: ガイドピンと嵌め合い部以外への干渉が無いこと ②: 上部コネクタBOXが昇降後に設計通りの位置にあること ③: 制御盤通電ランプが点灯すること ④: 前進指示で異常なく台車が前進すること ⑤: 各コネクタ・カプラに変形、破損がないこと ⑥: 各コネクタ・カプラの表面に有害な傷が無いこと 	<p>判定基準を満足した。</p> <p>上コネクタBOXが、台車進行方向に対し、約0.5°傾いている場合においても、コネクタ接続後、コネクタを介し搬送台車に給電・信号伝達を行い、指示通りに搬送台車を操作できることを確認した。</p>

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.667

③ 大型搬送装置

【課題(今後の検討事項)】

-現場適用性に関する評価結果-

- 800tonの大型重量構造物を積載した搬送台車(要素試験にてたわみ、停止精度を模擬)を、遠隔コネクタ方式により、遠隔操作にてセル間を移動させることが可能な見通しを得た。

-課題-

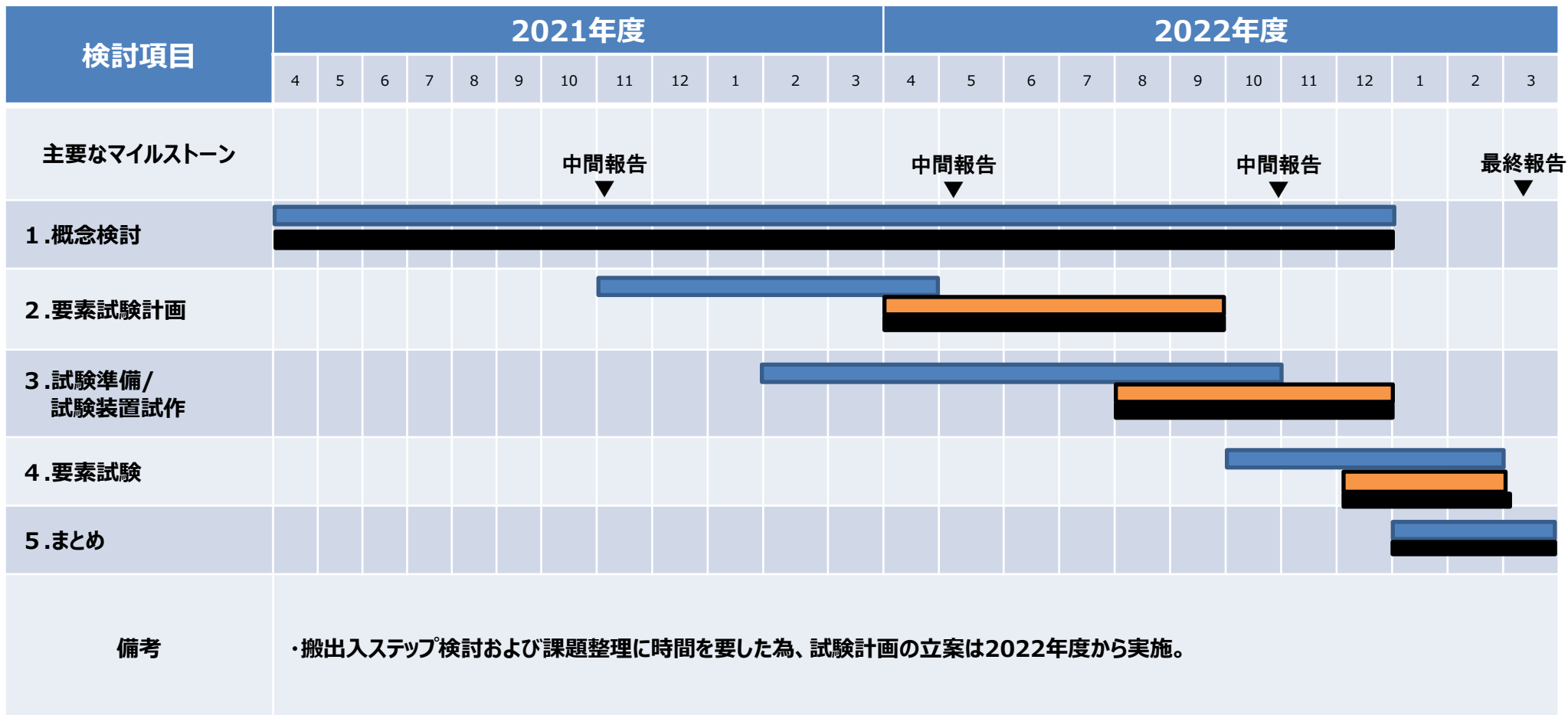
- 遠隔で下部コネクタBOXとケーブルベアを交換する装置(ロボット)の検討が必要
(遠隔交換のコンセプトとしては、ロボットにて下部コネクタBOXおよびケーブルベアを一体で連絡通路側のコネクタBOXより取り外し後、非常回収用の台車に積載して増設建屋へ移送する想定である)
- 実機ケーブル本数における上部/下部コネクタBOXの遠隔接続の成立性確認が必要
- 遮蔽/搬送台車の駆動部と気密ゲートとの組合せによる機能確認が必要

6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.668

③ 大型搬送装置

■ 開発工程

■ : 計画
■ : 計画(見直し後)*
■ : 実績



6. 本事業の実施内容【2)(1)大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発】No.669

③ 大型搬送装置

- 大型搬送装置構造について2021年度に前提条件を整理し、開発方針を検討した。
- 大型搬送装置の必要機能について検討し、整理した。また、既存技術/実績を調査して大型搬送装置に適用可能な搬送/遮蔽台車駆動方式候補を抽出し、更に整理された必要機能に基づいた比較評価を行い、特に有望な駆動方式の検討を実施した。
- 遠隔コネクタを介し給電を行う遠隔コネクタ方式に着目し、要素試験を実施することとし、試験計画を立案(試験項目・確認内容・判定基準を整理)した。
- 要素試験を実施し実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

7. まとめ

1)横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発

① 大型重量構造物の設置

- アクセス用設備のセルアダプタ、遮蔽扉及び燃料デブリ取り出しセルに関するバウンダリ部（接続部、組合せ部及び設置部）に着目し構造の詳細化を行った。
- アクセス用設備及びその他の燃料デブリ取り出し設備のセルは、最短距離のアクセスルート構築の為、ペDESTAL開口部とX-6ペネ開口部の直線上に精度良く据え付ける必要がある。この為、据付手順、構造を検討し、据付精度を考慮し、全体として実現可能な構造・据付け案を構築した。
- スループットの向上を図る為の検討の一環として、スループット算出結果の精度を上げる為にセル内の作業の詳細化を図った。
- 大型重量構造物の据付作業ステップの詳細化及び見直しを行い、各ステップにおける課題を抽出し、対処方針及びその確認の為必要な要素試験（据付け基準位置の設定、セルアダプタフランジ部の3D加工手法確認、挿入性の確認及び全体構築）を立案し、試験完了。
- 高線量環境下の据付作業となる為、遠隔装置による据付を要求されるセルアダプタに対して、据付手順の詳細ステップの整理と課題を整理した。また、具体化した構造をもとに、遠隔装置への要求条件を明確にする為の試験計画を立案し、試験完了。

1)横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発(続き)

② PCV 接続スリーブ遠隔設置・溶接

スリーブ遠隔設置

- スリーブ遠隔設置については、2021年度に要求事項(前提条件)・送り出し工法および装置の検討結果を整理した。アクセストンネル本体の送り出しと同じ「全体送り出し方式」を選定し、課題および試験等で確認が必要な項目について整理した。
- 上記整理結果を基に、スリーブ遠隔設置装置・スリーブ構造・開口部・設置手順等についてモックアップでの仕様を検討した。実機(想定)とモックアップ装置の比較・整理を行った。センシングも含めた試験計画を立案し、判定基準としてギャップ20mm以下(目標7.5mm以下)と定めた。
- スリーブ遠隔設置の実規模試験装置や設備を準備し、スリーブ遠隔設置手順および装置に関する実現性を確認試験を実施した。
- 試験の結果、目標の7.5mm以下を満足することを確認した。また、実機適用に対する課題を抽出し整理した。

7. まとめ

1) 横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発(続き)

② PCV 接続スリーブ遠隔設置・溶接(続き)

スリーブ遠隔溶接

- スリーブ遠隔溶接については、2021年度に2019-20年度補助事業で整理した課題に対する対応方法を検討し、課題および試験等で確認が必要な項目について整理した。
- 溶接、研磨、蛍光PT(検査)の各試験について、確認項目や監視・測定記録項目を具体化し、判定基準を定めた。
- スリーブ遠隔溶接の要素試験装置や設備を準備し、スリーブ遠隔溶接の手順および装置に関する実現性を確認する為の要素試験を実施した。
- 実規模試験を行い、溶接ギャップ7.5mm以下における遠隔溶接の実現性を確認した。ただし、溶接ギャップ7.5mm～20mmについては、溶接条件の見直しが必要となる見込みである。また、保守についても検討を行い実機適用性を確認した。
- 試験結果から実機適用に対する課題を抽出し整理した。

1) 横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発(続き)

③ 遮蔽体設置

- 遮蔽体追設工法検討の為、2021年度に検討方針および前提条件を整理したうえで遮蔽評価を実施し、中性子線の線量が高い為、遮蔽厚さ削減の為には中性子遮蔽の設置が必要であるという結果を得た。
- 必要な遮蔽厚さを壁300mm(鉄)から200mm(鉄)へ見直し(一部アクセストンネル内台車へ付加)、増設建屋建設工事との干渉を回避できる(クローラクレーンでアクセストンネルユニットの吊り込みが可能な)見通しを得た。PCV内の状況把握後に必要に応じて遮蔽を追加する為、引き続き遮蔽体追設工法の検討を実施した。
- 球状遮蔽体追設案については要素試験による実現性確認が必要と判断した。充填試験における確認項目や監視・測定記録項目について検討し、判定基準として充填率60%と計画し、試験を実施した。
- 要素試験の結果、ブラスト装置およびストレートノズルを用いることで20m先まで球状遮蔽材が充填できることを確認した。また、セル幅は500mmまで充填可能であり、セル内の構造物(補強材)が充填に与える影響がないことを確認した。
- 20m先まで球状遮蔽材を充填できる為、R/B外からの作業が可能であり、作業員被ばくを低減できることを確認した。

7. まとめ

1)横取り出し工法の開発

(1) アクセス用設備の設置工法の開発(続き)

④ シールドプラグの解体

- 1号機シールドプラグおよび2、3号機コンクリートブロック解体方法について、2021年度に検討方針および前提条件を整理し、解体撤去手順の概略検討を実施。解体手順を整理した。各方法に対する課題抽出と概算被ばく線量評価を実施した。
- 使用重機やツールを具体化し、コンクリートブロック等の加工対象について加工可否を検討した。平滑化方法の検討も含めて試験の必要性を評価し、試験計画を立案(試験項目・確認内容・判定基準を整理)した。
- 上記試験計画をもとに要素試験を実施し、3号機コンクリートブロックについて、今回試験を実施した手法を組合せる(3tonクラス重機+ブレーカー)ことで撤去可能な見通しを得た。また、試験結果から実機適用に向けた課題を抽出し、整理した。

1) 横取り出し工法の開発(続き)

(2) 解体・撤去技術の開発

① HVH解体

- HVH解体について、2021年度に前提条件、解体難易度からの試験対象の選定、切断技術として丸ノコ・砥石グラインダの選定および解体作業ステップからの要素試験項目の抽出に関する検討結果について整理した。作業ステップの詳細検討を行い、各ステップでの課題を抽出し、要素試験計画を立案して試験項目や判定基準等を検討した。
- 切断に関する単体試験(環境模擬体外で装置単体で実施する試験)を実施し、要素試験での切断方針を具体化した。
- HVH解体・撤去工法の実現性を確認する為の要素試験を実施し、結果を整理した。
- 実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する方針を整理した。

7. まとめ

1)横取り出し工法の開発(続き)

(2) 解体・撤去技術の開発(続き)

② CRD交換機の解体

- CRD交換機解体について前提条件を整理し、1～3号機のCRD交換機解体撤去方法、作業ステップを検討し、試験項目を選定した。
 - ・ 2号機対象:P/F上にレールを敷設し、レール上を走行させてペDESTAL内の所定位置まで装置が移動し、解体撤去する工法。
 - ・ 1/3号機対象:ペDESTAL内壁のP/F旋回レールブラケットを活用してペDESTAL内に足場を構築し、足場上を走行させてペDESTAL内の所定位置まで装置が移動し、解体撤去する工法。
- 2号機ベースと1/3号機ベースに分けて、要素試験に使用する模擬設備・試験体・装置・治具類を試作し、作業ステップを具体化して要素試験計画を立案した。
- 要素試験により、CRD交換機解体撤去工法の実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

1) 横取り出し工法の開発(続き)

(2) 解体・撤去技術の開発(続き)

③ ポンプピット内干渉物撤去

- ポンプピット内干渉物撤去について、2021年度に前提条件としてポンプピット内燃料デブリの状況、撤去対象のポンプ仕様、ポンプピット仕様および位置について検討・整理した。ポンプピット内干渉物撤去に関する作業ステップを検討し、試験項目を選定した。
- 要素試験に使用するポンプ・ポンプピット模擬体、装置、治具等を検討し、作業ステップを具体化して要素試験計画を立案(確認項目、試験内容、確認項目を整理)した。
- 要素試験により、ポンプの切断や吊り上げ等が遠隔で実施できることを確認し、ポンプピット内干渉物撤去工法の実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

1)横取り出し工法の開発(続き)

(3) 取り出し工法の高度化開発

① 取り出し用遠隔先端ツール 先端ツール

- アクセス装置の仕様を考慮した先端ツールで加工試験を実施し、課題はあるものの実機適用の目処の重要性や把持動作中の衝突回避の必要性が明らかになった。また、被験者オペレータを得ることができた。また、加工速度、刃物寿命のスループット評価データの精緻化ができた。
- 上記スループット評価データを使用したスループット評価を実施し、スループットの精緻化ができた。
- 加工試験により、加工反力(刃物押付、刃物回転)のロボットアームへの要求値を取得することができた。
- 加工試験で明らかとなった課題に対し、対応案の立案ができた。

操作システム

- 4人の被験者オペレータが、開発した操作システム(軌道計画)を用いて干渉物撤去のモックアップ試験に取り組んだ。操作システムの衝突回避機能によって、ペDESTAL開口部のような狭隘な環境でも一連の作業が成立することを確認することができた。
- モックアップ試験によって、位置合わせの重要性や把持動作中の衝突回避の必要性が明らかになった。また、オペレータが時間を要した作業項目が確認することができた。
- 今回のモックアップ試験で抽出した課題から、今後 更なる作業安全性・効率向上につながる項目を選定した。

2) 上取り出し工法の開発

(1) 大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発

① 大型切断工法

- 大型一体搬出工法について前提条件を整理し、全体ステップを作成。
- 「炉内構造物以外」の切断として、2021年度に原子炉ウェル内の構造物の内、RPVヘッドのスタッドボルトを切断する工法について検討し、実機と同規模の模擬試験体(RPVヘッド、ボルト)を製作し、ボルトをAWJで切断する要素試験を実施。RPVヘッドボルト切断工法の実現性を確認し、課題を整理した。(「2021年度実施分成果*」で報告済)
- 「炉内構造物」切断について、充填固化後の炉心部を切断する為、シュラウド構造物および充填材を切断する方法を検討した。シュラウド外周切断後に内部(充填固化部)を切断する分割切断について、シュラウド外周切断方法を優先して開発。
- シュラウド外周切断方法として、レーザ+パルスWJ切断を選択し、要素試験計画を立案し、試験を実施。要素試験結果から、シュラウド外周切断への適用の実現性を確認し、実機装置設計に向けた課題を抽出・整理した。
- 充填材として検討中のジオポリマーについて、ドラム缶スケールでの注入試験によりジオポリマーの特性把握に加え、放射線照射による影響確認試験を実施し、実機適用およびスケール拡大に向けた課題を抽出・整理。また、充填固化についての作業ステップを整理した。

7. まとめ

2) 上取り出し工法の開発(続き)

(1) 大型建造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発(続き)

② 大型搬出容器

- 大型搬出容器について2021年度に前提条件を整理し、開発方針及び運用方法を検討した。また大型搬出容器の構造、製作手順及び運用方法を考慮し、試験での模擬範囲について検討した。運用上、二重蓋を動作して容器を開閉するステップが気密性に重要な部分である為、要素試験用の容器を試作して要素試験で二重蓋を動作して容器を開閉するステップにおける気密性を確認する計画とした。
- 製作性及び運用方法を考慮して、実機大型搬出容器の構造設計を実施した。
- 要素試験を実施し大型搬出容器の実現性を確認した。
 - 嵌め合い試験の結果、実機運用ステップを模擬して装置を動作させた際に、想定通り装置が嵌め合い、芯ずれ有の場合でも装置ガイドに倣って所定の位置に接続できることを確認した。
 - 気密試験の結果、上記嵌め合い位置においてD部(シール部③、④、⑤、⑥でシールされた部位)で漏洩量は基準値を満足できることを確認した。
- 実機適用に対する課題を抽出し、実機での容器仕様・装置設計等への反映事項を整理した。

7. まとめ

2) 上取り出し工法の開発(続き)

(1) 大型構造物の取り出しコンセプト実現に向けた技術開発(続き)

③ 大型搬送装置

- 大型搬送装置構造について2021年度に前提条件を整理し、開発方針を検討した。
- 大型搬送装置の必要機能について検討し、整理した。また、既存技術/実績を調査して大型搬送装置に適用可能な搬送/遮蔽台車駆動方式候補を抽出し、更に整理された必要機能に基づいた比較評価を行い、特に有望な駆動方式の検討を実施した。
- 遠隔コネクタを介し給電を行う遠隔コネクタ方式に着目し、要素試験を実施することとし、試験計画を立案(試験項目・確認内容・判定基準を整理)した。
- 要素試験を実施し実現性を確認した。実機適用に対する課題を抽出し、実機での装置設計等へ反映する。

<p>1)横取り出し工法の開発 (1)アクセス用設備の設置工法の開発</p>	<p>① 大型重量構造物の設置 【目標】 PCVに接続するアクセスルートを構築するセルアダプタ、遮蔽扉及びセルの設置方法について、構造や設置工法を詳細化し、要素試験により実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル 4) 【達成度評価】 PCVに接続するアクセスルートを構築するセルアダプタ、遮蔽扉及びセルの設置方法について、構造や設置工法を詳細化し、要素試験により実現性を確認した。(TRL:レベル 4)</p>
	<p>② PCV 接続スリーブ遠隔設置・溶接 【目標】 PCVに接続するアクセストンネルのスリーブについて、遠隔設置方法の検討を行い、要求事項を整理したうえで要素試験により実現性が示されていること。また、スリーブの遠隔溶接方法について、要素試験により実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル4) 【達成度評価】 PCVに接続するアクセストンネルのスリーブについて、遠隔設置方法の検討を行い、要求事項を整理したうえで要素試験により実現性を確認した。スリーブの遠隔溶接方法について、要素試験により実現性を確認した。 (TRL:レベル 4)</p>

8. 実施目的を達成する為の具体的目標と達成度評価

No.683

<p>1)横取り出し工法の開発(続き) (1)アクセス用設備の設置工法の開発(続き)</p>	<p>③ 遮蔽体設置 【目標】 アクセスシネルの遮蔽体について、要素試験により製作性等の実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 アクセスシネルの遮蔽体設置(追設)工法について、要素試験により追設工法に関する実現性を確認した。(TRL:レベル3)</p>
	<p>④ シールドプラグの解体 【目標】 横アクセス工法での機器ハッチ前のシールドプラグ等(シールドプラグ、ブロックアウト)の撤去方法について、要素試験により切断/解体方法の実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 機器ハッチ前のシールドプラグ(コンクリートブロック)撤去方法について、要素試験により切断/解体方法に関する実現性を確認した。 (TRL:レベル3)</p>
<p>(2) 解体・撤去技術の開発</p>	<p>① HVH解体 【目標】 ペDESTAL外部に設置されている機器の中でも大型であるHVHの撤去方法について、要素試験により具体的な切断/回収方法の実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 HVHの撤去方法について、要素試験により具体的な切断/回収方法の実現性を確認した。(TRL:レベル3)</p>

8. 実施目的を達成する為の具体的目標と達成度評価

No.684

<p>1)横取り出し工法の開発(続き) (2)解体・撤去技術の開発(続き)</p>	<p>② CRD交換機の解体 【目標】 大型構造物でありペデスタル中央に位置するCRD交換機の撤去方法について、要素試験により具体的な切断/回収方法の実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 CRD交換機の撤去方法について、要素試験により具体的な切断/回収方法の実現性を確認した。(TRL:レベル3)</p>
	<p>③ ポンプピット内干渉物撤去 【目標】 PCV内のポンプピットに水中ポンプを設置する為に必要であるポンプピット内干渉物の撤去方法について、要素試験により切断等を行って搬出する方法の実現性が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 ポンプピット内干渉物の撤去方法について、要素試験により切断等を行って搬出する方法の実現性を確認した。(TRL:レベル3)</p>
<p>(3) 取り出し工法の高度化開発</p>	<p>① 取り出し用遠隔先端ツール 【目標】 PCV内の干渉物、燃料デブリの加工からユニット缶による回収等の一連の作業について、要素試験等により、作業の成立性が示され、スループット評価用データが取得できていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 PCV内の干渉物、燃料デブリの加工からユニット缶による回収等の一連の作業について、要素試験等により、作業の成立性を確認し、スループット評価用データを取得した。(TRL:レベル3)</p>

<p>2) 上取り出し工法の開発 (1) 大型構造物の取り出しコンセプト 実現に向けた技術開発</p>	<p>① 大型切断工法 【目標】 上アクセス工法での構造物切断方法について、要素試験により切断して切る離す方法の実現性が示されていること。また、切断後の構造物を大型搬送装置に搭載するまでの搬出方法について検討し、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) 【達成度評価】 上アクセス工法での構造物切断方法について、RPVヘッドボルト切断およびシュラウド外周切断に関する要素試験を実施し、実現性を確認した。また、構造物の取り出しから搬送も含めた全体ステップを作成し、課題を抽出した。(TRL:レベル3)</p>
	<p>② 大型搬出容器 【目標】 上アクセス工法で構造物を一体で収納し、搬出する容器について、要素試験により性能検証が行われ、現場適用の課題が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 上アクセス工法で構造物を一体で収納し、搬出する容器(大型搬出容器)について、気密性に関する要素試験を実施し、製作性も含め実現性を確認して実機適用に対する課題を抽出した。(TRL:レベル3)</p>

8. 実施目的を達成する為の具体的目標と達成度評価

<p>2) 上取り出し工法の開発(続き) (1) 大型構造物の取り出しコンセプト 実現に向けた技術開発(続き)</p>	<p>③ 大型搬送装置 【目標】 上アクセス工法で取り出した構造物をR/B内で搬出する搬送装置について、要素試験により駆動機構を含む大型搬出装置の現場適用性が評価され、課題が整理されていること。 (終了時目標TRL:レベル3) 【達成度評価】 搬送装置について、要素試験により駆動機構を含む大型搬出装置の実現性を確認し、課題を抽出した。(TRL:レベル3)</p>
---	---

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	従来の経験を応用、組合せによる開発、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

用語説明(1/2)

No.	用語	説明
1	1F	福島第一原子力発電所
2	R/B	原子炉建屋
3	Rw/B	廃棄物処理建屋
4	T/B	タービン建屋
5	PCV	原子炉格納容器
6	RPV	原子炉圧力容器
7	CRD	制御棒駆動機構
8	オペフロ	オペレーティングフロア
9	X-6ペネ	PCV配管貫通部の一つ
10	S/C	サブプレッションチェンバー
11	セルアダプタ	PCVとセルを繋ぐピースのこと
12	BSW	生体遮蔽壁
13	MCCI	溶融炉心-コンクリート相互作用
14	UC	ユニット缶(燃料デブリを入れる容器)
15	AWJ	アブレシブウォータージェット
16	HVH	空調ユニット
17	CRGT	制御棒案内管
18	G/H	グリーンハウス
19	LLW	低汚染レベル廃棄物
20	MSM	マスタースレーブマニピュレータ 注記: マスタースレーブは差別用語が含まれる為使用を控える方向性にあるが、ロボット学では学術用語として長年定着していることから用語としてそのまま採用している。 今後の使用にあたっては、ロボット学会等の関連学会の動向を参考にしたい。

用語説明(2/2)

No.	用語	説明
21	CW	カウンターウェイト
22	AVC	アーク電圧調整機能(溶接トーチと母材間の電圧変動を一定範囲内に抑えることでアーク長を補正する機能)
23	OSC	溶接トーチの揺動を制御する機能
24	P/F	プラットフォーム
25	TIP	移動式炉心内計装
26	CID	電荷注入素子
27	MS	主蒸気
28	DSP	機器貯蔵プール
29	FWS/CS	給水系/炉心スプレイ系
30	ICM	炉内核計装