平成29年度補正予算　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

成果概要報告
（最終報告）

2020年8月

技術研究組合　国際廃炉研究開発機構

無断複製･転載禁止　技術研究組合　国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

目次(1/2)

1.研究の背景・目的
2.目標
　2.1 目標：上部穴開け調査工法
　2.2 目標：側面穴開け調査工法
3.実施項目とその関連、他研究との関連
　3.1 本研究の実施項目
　3.2 実施項目間の関係性
　3.3 他研究との関係性
4.実施スケジュール
5.実施体制図

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

目次(2/2)

6.実施内容
6.1 調査計画・開発計画の策定
6.1.1 燃料デブリ取り出しに必要な情報の整理
6.1.2 調査計画・開発計画の策定・更新
6.2 工法計画の立案
6.2.1 作業ステップの具体化、工法手順の合理化
6.2.2 安全要求の整理、被ばく評価
6.3 調査用付帯システムの検討
6.4 アクセス装置・調査装置の開発
6.4.1 上部穴開け調査工法の装置開発
6.4.2 側面穴開け調査工法の装置開発
7.まとめ

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1.研究の背景と目的

【原子炉圧力容器（RPV）内部調査の目的】

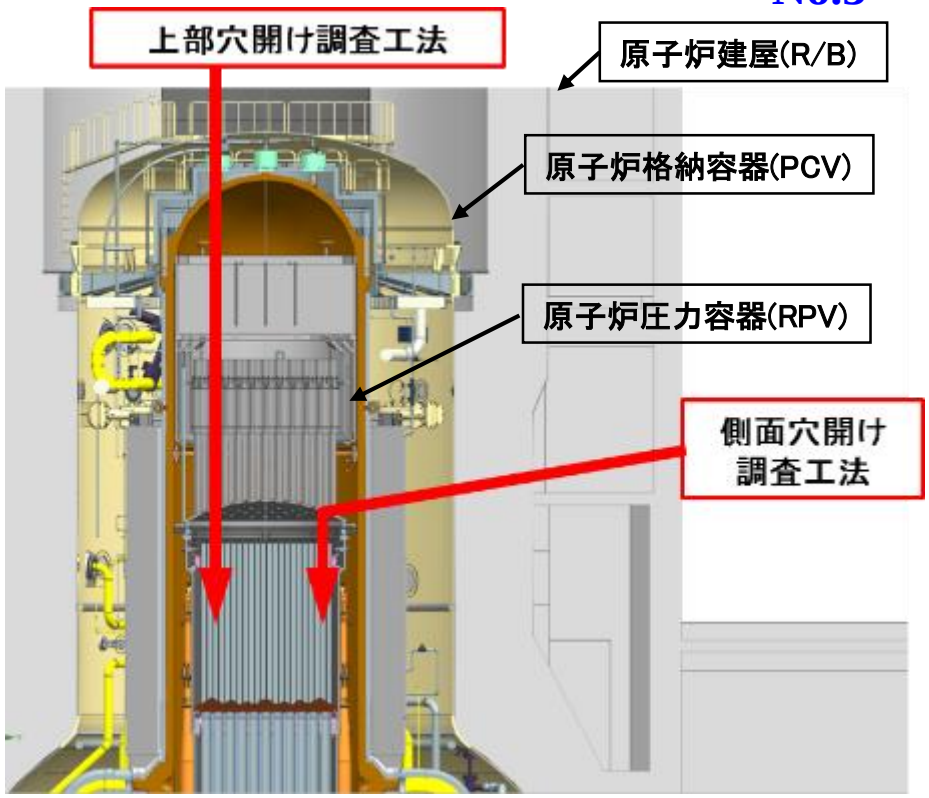
燃料デブリを取り出すためのRPV内部の基礎情報（炉底部までの燃料デブリ分布、線量、構造物の状態等）の取得。

【技術開発の目的】

燃料デブリ取り出しに必要なRPV内部の情報（調査ニーズ）を整理して調査対象を明確にし、要求される調査を可能にする技術を開発する。

【2016/2017年度の実施内容】

2015年度までに立案したRPV内部調査計画・技術開発計画の立案・更新を行い、側面穴開け調査工法の技術開発を行うこととした。調査計画・開発計画に基づき、RPV内の燃料デブリの状況や線量等の環境条件を確認するための遠隔操作による調査装置・システムの開発として、上部から炉心にアクセスする装置の開発、及び炉心部までの調査方式の開発・選定を行った。さらに、上部穴開け調査工法、側面穴開け調査工法の両工法について、調査装置全体システムの設計と工法計画で調査前の準備から調査後の処置まで一連の作業ステップを策定した。



【成果の反映先への寄与】

本研究開発結果を基に実機調査を実施することで、燃料デブリ取り出し作業及び臨界管理の詳細検討に資する情報を提供。

原子炉圧力容器
内部調査技術の開発
→
実機調査
→
RPV内部の情報
（視覚情報・線量率　等）
→
燃料デブリ取り出し
工法検討・装置設計

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2. 目標（2018/2019年度）

実施内容	目標達成指標
(1) 調査計画・開発計画の策定	燃料デブリ取り出しに必要な情報が整理され、適用時期等の現場調査に関わる前提条件を明確にした調査計画が策定されていること。また、必要に応じて開発計画が更新されていること。 （情報整理のため技術成熟度（TRL）目標設定の対象外とする）
(2) 工法計画の立案	作業ステップ、工法手順が具体化されており、合わせて安全要求も整理されている。また、具体化した作業ステップ、工法手順を基に被ばく評価を行い、調査工事に伴う周辺環境への影響が評価されていること。 （情報整理のため技術成熟度（TRL）目標設定の対象外とする）
(3) 調査用付帯システムの検討	調査実施に必要な付帯システムへの要求仕様及び被ばく評価に必要なシステム構成が検討されていること。 （終了時目標TRL：レベル2）
(4)アクセス装置・調査装置の開発 ①上部穴開け調査工法の装置開発	上部穴開け調査工法に関し、装置設計の具体化が図られ、必要に応じて要素試験を行い、現場状況等、実機適用に向けた各装置の現場への適用性が確認されていること。 （終了時目標TRL：レベル4）
②側面穴開け調査工法の装置開発	側面穴開け調査工法に関し、装置設計の具体化が図られ、必要に応じて要素試験を行い、現場状況等、実機適用に向けた各装置の現場への適用性が確認されていること。 （終了時目標TRL：レベル4）

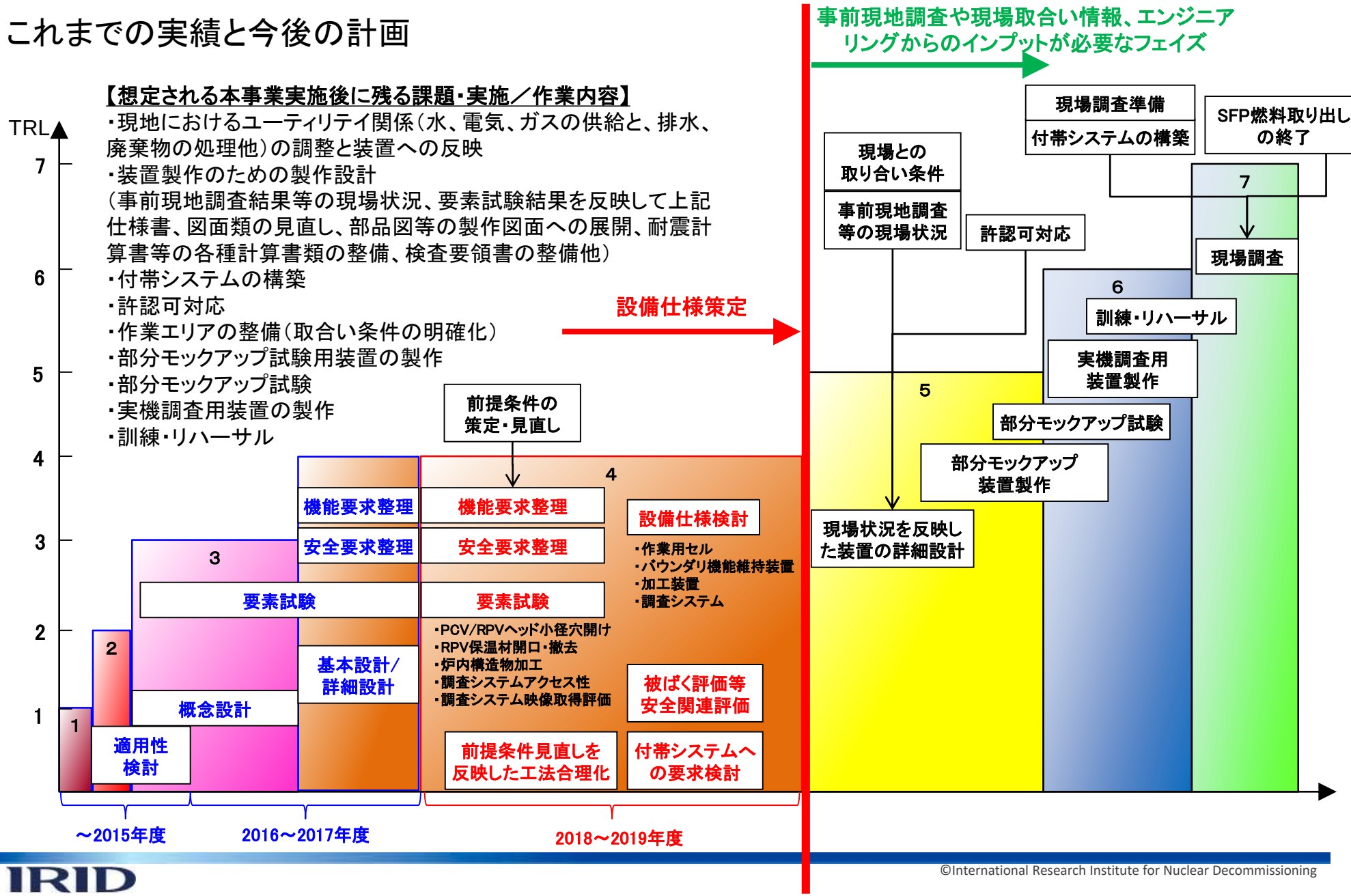
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2.1 目標：上部穴開け調査工法

これまでの実績と今後の計画

【想定される本事業実施後に残る課題・実施／作業内容】

・現地におけるユーティリテイ関係（水、電気、ガスの供給と、排水、廃棄物の処理他）の調整と装置への反映
・装置製作のための製作設計
（事前現地調査結果等の現場状況、要素試験結果を反映して上記仕様書、図面類の見直し、部品図等の製作図面への展開、耐震計算書等の各種計算書類の整備、検査要領書の整備他）
・付帯システムの構築
・許認可対応
・作業エリアの整備（取合い条件の明確化）
・部分モックアップ試験用装置の製作
・部分モックアップ試験
・実機調査用装置の製作
・訓練・リハーサル



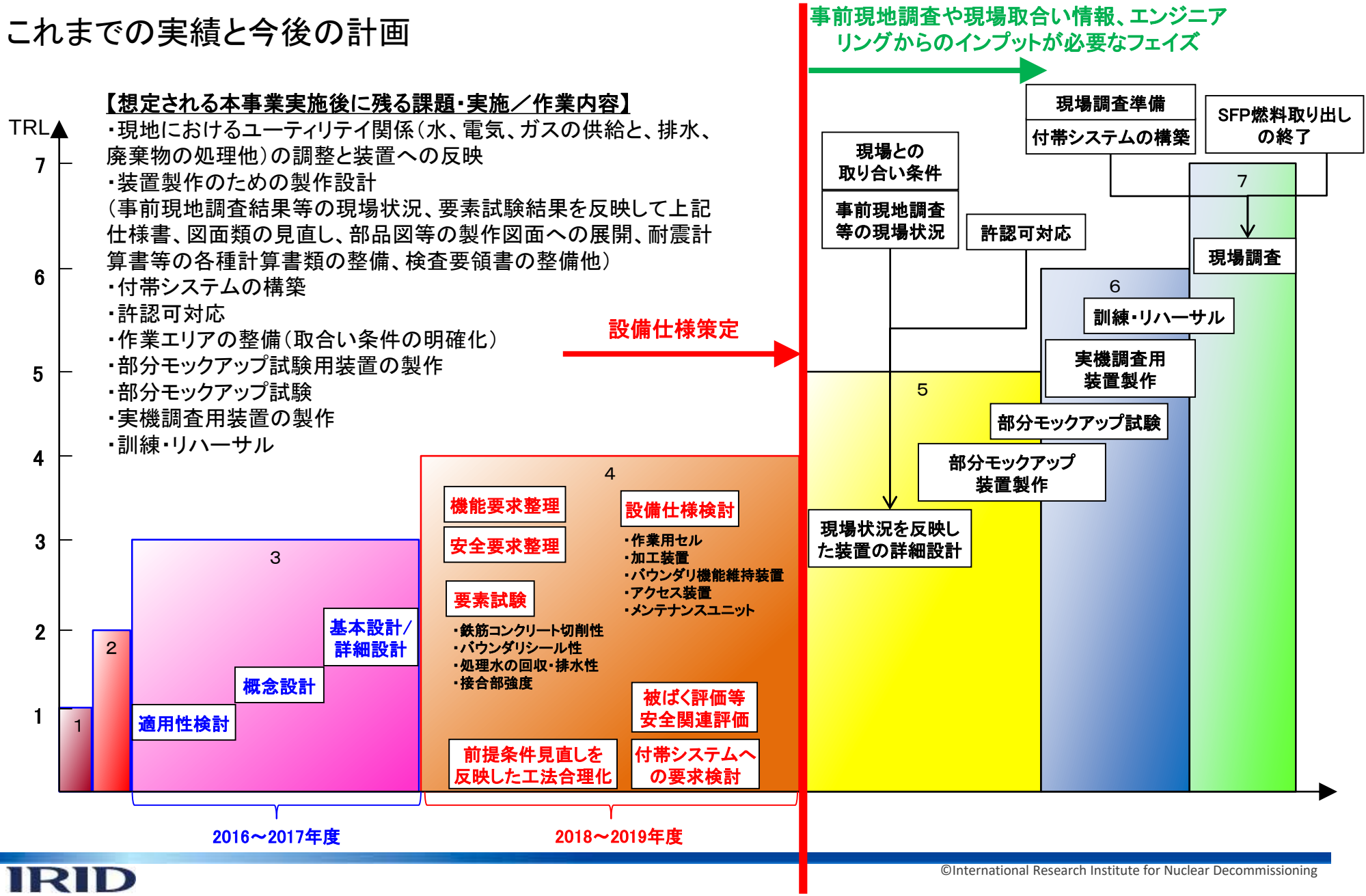
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2.1 目標：側面穴開け調査工法

これまでの実績と今後の計画

【想定される本事業実施後に残る課題・実施／作業内容】

・現地におけるユーティリテイ関係（水、電気、ガスの供給と、排水、廃棄物の処理他）の調整と装置への反映
・装置製作のための製作設計
（事前現地調査結果等の現場状況、要素試験結果を反映して上記仕様書、図面類の見直し、部品図等の製作図面への展開、耐震計算書等の各種計算書類の整備、検査要領書の整備他）
・付帯システムの構築
・許認可対応
・作業エリアの整備（取合い条件の明確化）
・部分モックアップ試験用装置の製作
・部分モックアップ試験
・実機調査用装置の製作
・訓練・リハーサル



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

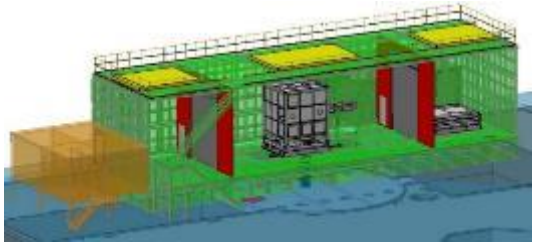
3.1 本研究の実施項目（2018/2019年度）

実施項目	実施概要
(1)調査計画・開発計画の策定（→6.1） ①燃料デブリ取り出しに必要な情報の整理（→6.1.1）	RPV内部調査に対する調査ニーズを整理・更新する。
②調査計画・開発計画の策定・更新（→6.1.2）	調査ニーズの整理・更新結果を踏まえて調査計画・開発計画を更新する。また、調査に必要な前提条件の見直しを行う。
(2)工法計画の立案（→6.2） ①作業ステップの具体化、工法手順の合理化（→6.2.1）	2017年度の本事業にて検討した一連の作業ステップの具体化を図るとともに、ステップ毎の手順の明確化や合理化を検討する。
②安全要求の整理、被ばく評価（→6.2.2）	調査に対する安全要求を明確化し、被ばく評価を実施して、調査工事に伴う周辺環境への影響を評価する。
(3)調査用付帯システムの検討（→6.3）	ダスト拡散防止のため、ガス管理、負圧管理システム、窒素供給、臨界管理システム等、調査の実施や安全の観点で必要となる付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確にする。
(4)アクセス装置・調査装置の開発（→6.4） ①上部穴開け調査工法の装置開発（→6.4.1）	2017年度の本事業で実施した要素試験結果等を踏まえ、現場での施工に向けた課題解決のための技術開発を行い、装置・システム設計の具体化、合理化を行う。また、2018 年度に必要性を検討した上で、装置に関する要素試験を行い、現場状況等、実機適用に向けた各装置の現場への適用性を確認する。
②側面穴開け調査工法の装置開発（→6.4.2）	2017年度の本事業で実施した検討結果を踏まえ、現場での施工に向けた課題解決のための技術開発を行い、装置・システム設計の具体化、合理化を行う。また、2018 年度に必要性を検討した上で、装置に関する要素試験を行い、現場状況等、現場適用に向けた各装置の現場への適用性を確認する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.2 実施項目間の関係性：上部穴開け調査工法

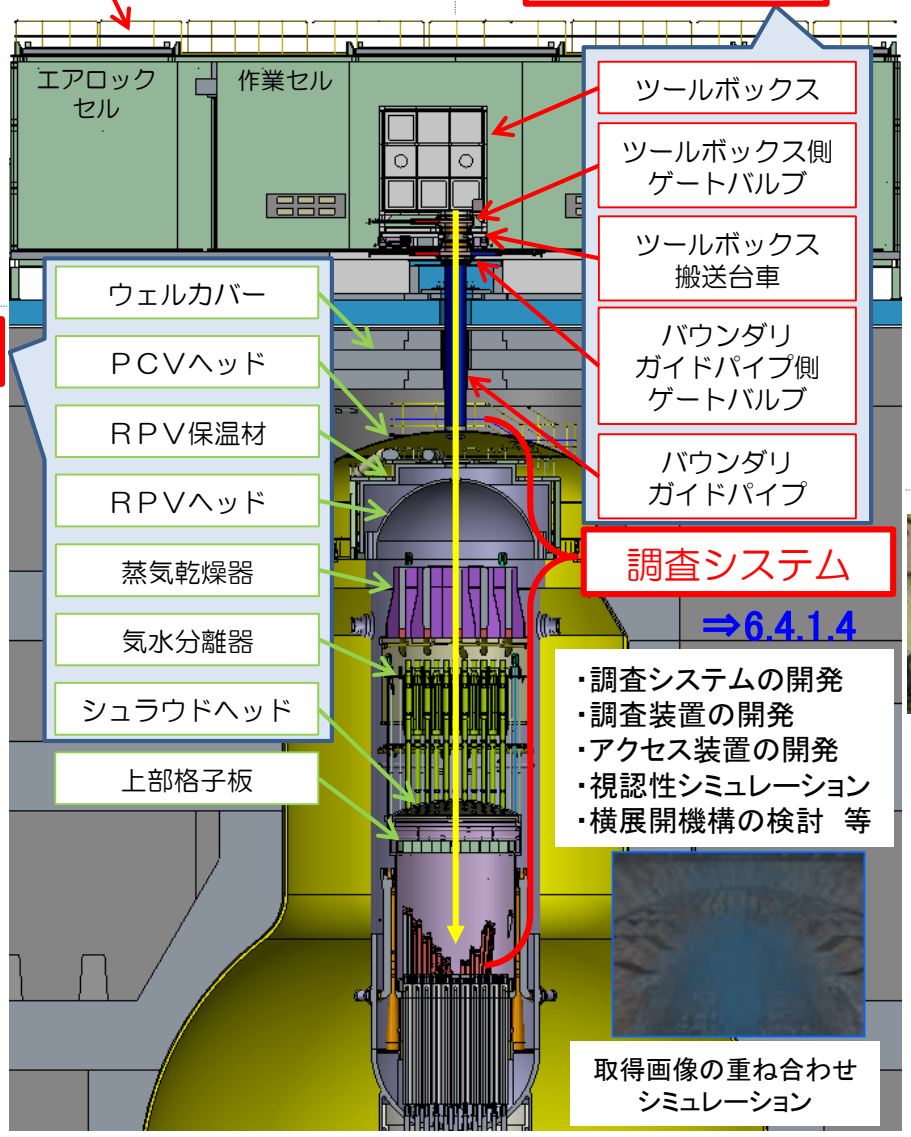
・汚染拡大防止のための負圧維持・管理システムの検討
・装置搬出入方法/装置の検討　等

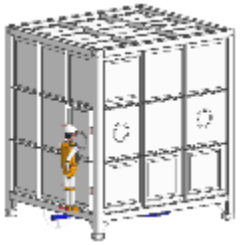


作業用セル ⇒6.4.1.1

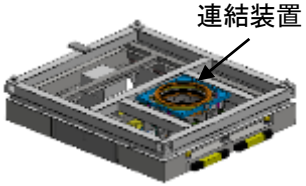
バウンダリ機能維持装置 ⇒6.4.1.2

・ツールボックスの検討
・ゲートバルブの開発
・シール機構（樹脂パッキン）の検討　等





ツールボックス



連結装置

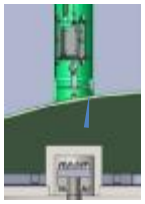
ツールボックス搬送台車

バウンダリ
ガイドパイプ側
ゲートバルブ

バウンダリガイドパイプ
（PCVヘッド取合部）

加工装置

・各開口装置の開発
・小径穿孔装置の開発　等 ⇒6.4.1.3



PCVヘッド
加工装置

RPV保温材
開口装置

RPVヘッド
予備ノズル
フランジ開口装置

炉内構造物加工
アクセス装置

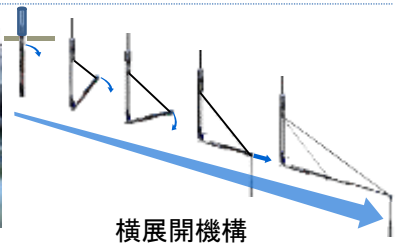
AWJ
ツールヘッド

調査システム ⇒6.4.1.4

・調査システムの開発
・調査装置の開発
・アクセス装置の開発
・視認性シミュレーション
・横展開機構の検討　等

取得画像の重ね合わせ
シミュレーション

吊り下ろし装置



横展開機構

アクセス装置

事前確認用

本格調査用

調査装置

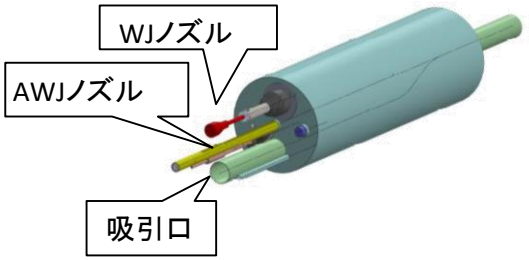
※：AWJ：アブレイシブウォータージェット

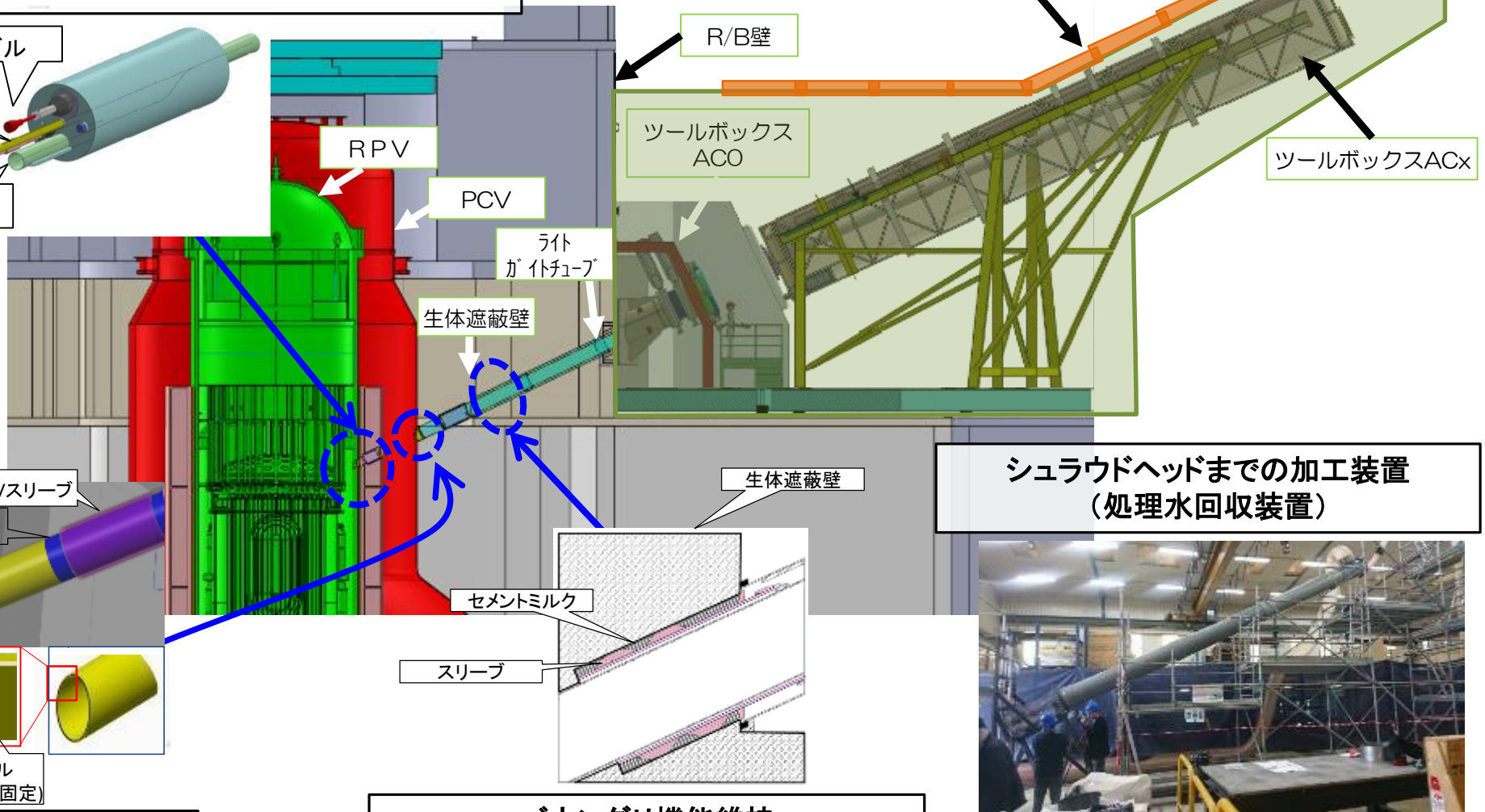
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.2 実施項目間の関係性：側面穴開け調査工法

シュラウドヘッドまでの加工装置
（ハイブリッドウォータージェット切削ツールヘッド）

⇒6.4.2.2





シュラウドヘッドまでの加工装置
（処理水回収装置）

バウンダリ機能維持
(ガイドチューブのシール性)

⇒6.4.2.3

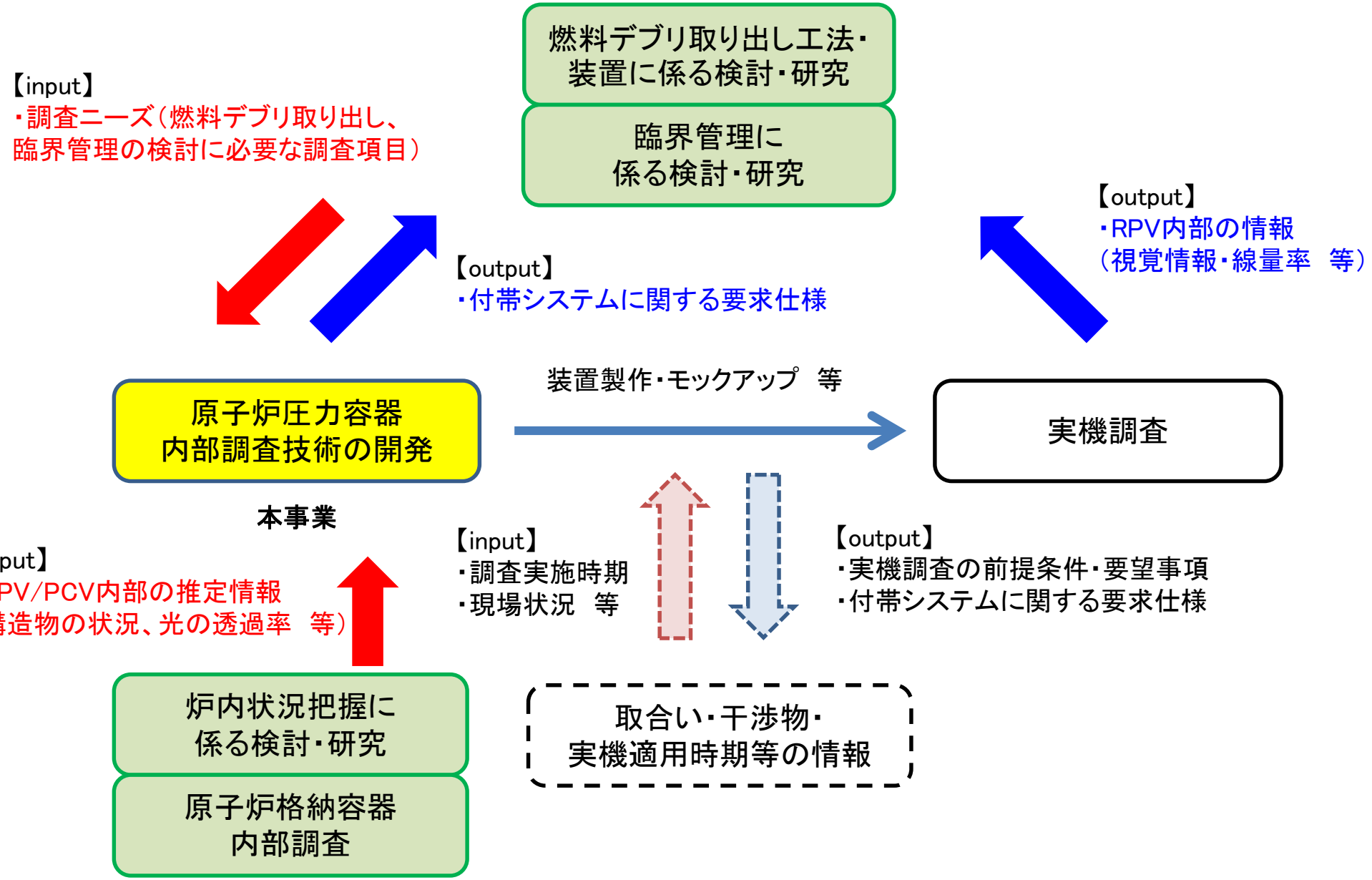
バウンダリ機能維持
（生体遮蔽壁内のガイドチューブ保持）

⇒6.4.2.3

⇒6.4.2.2

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

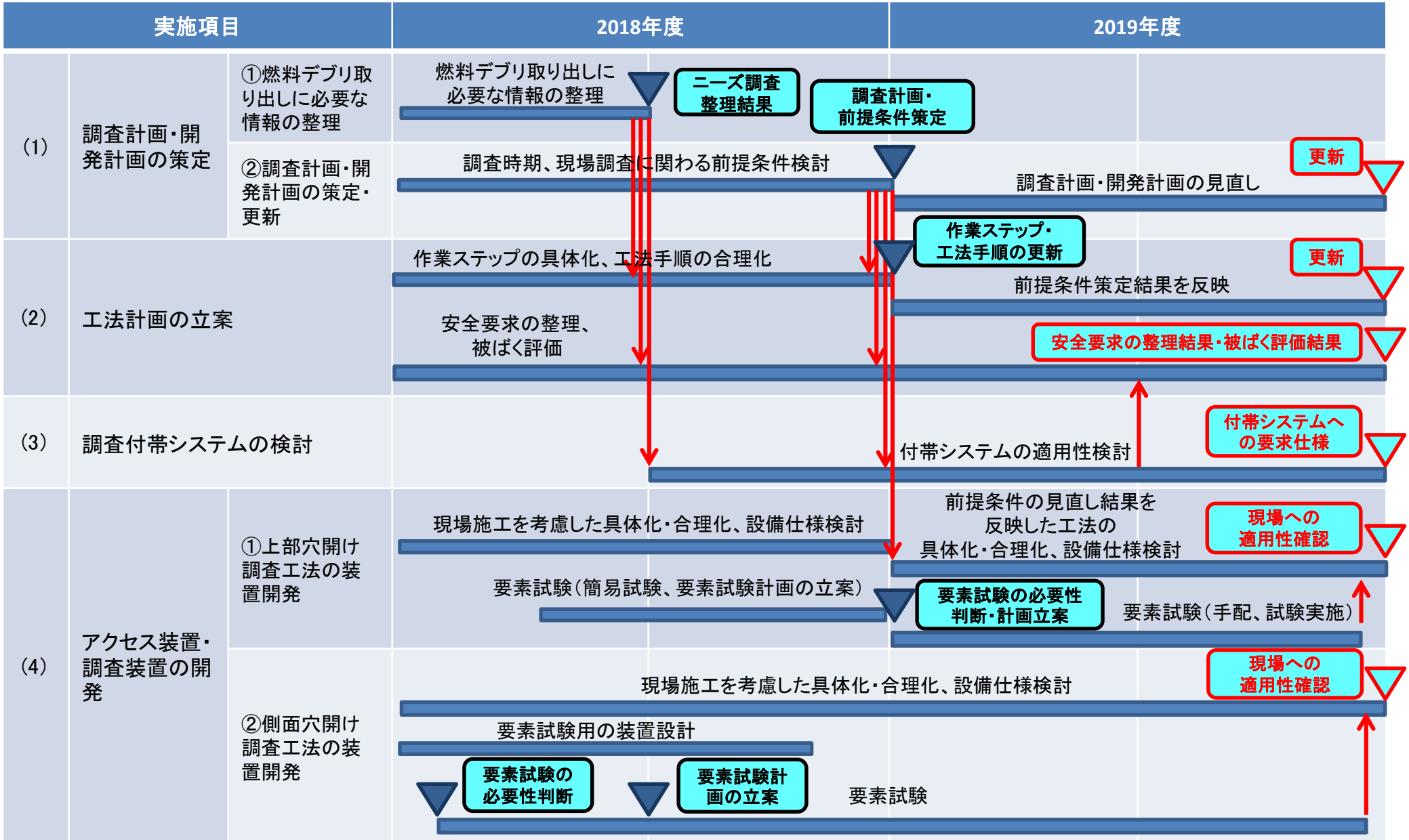
3.3 他研究との関係性



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

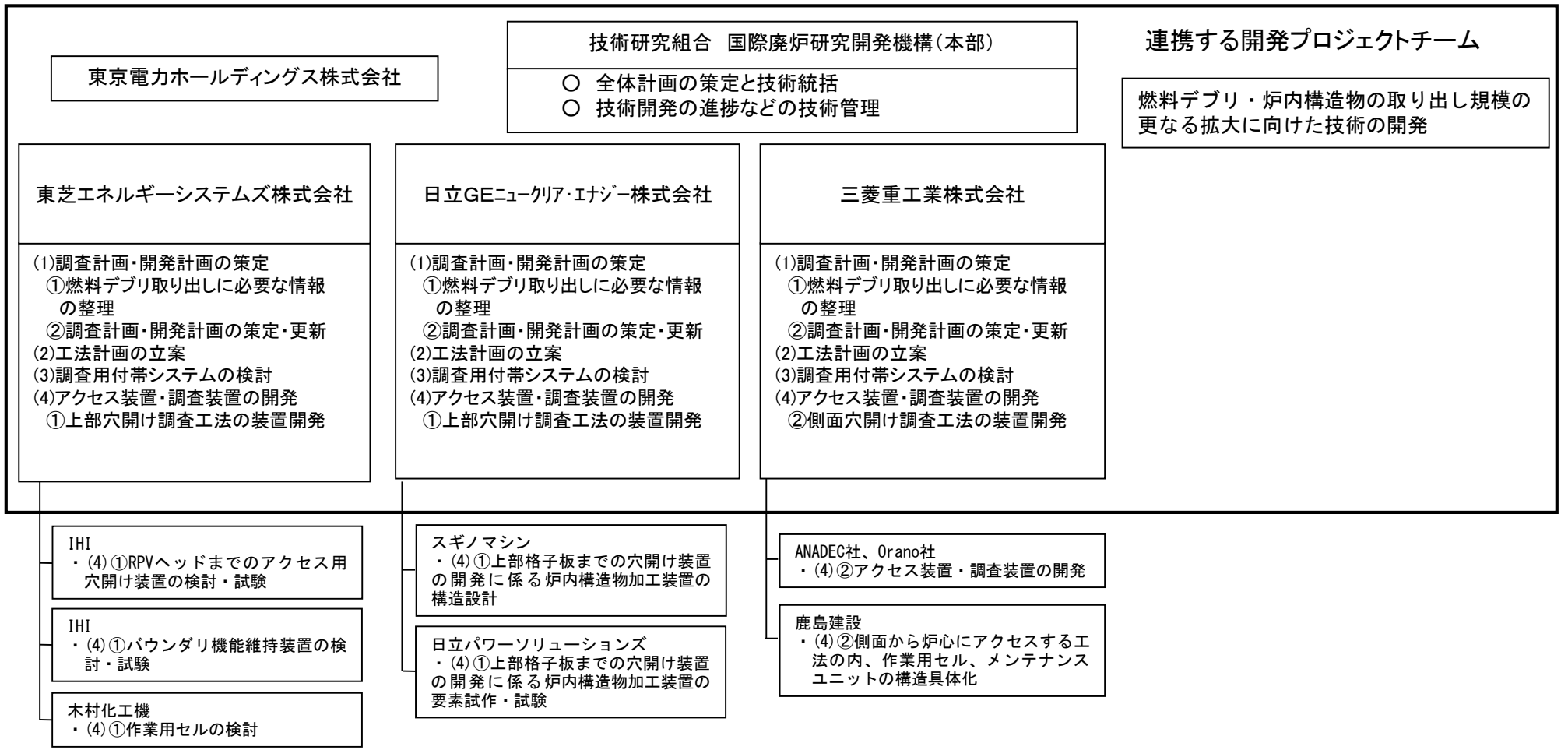
4. 実施スケジュール

※簡易試験：要素技術の実現性確認や要素試験計画策定のための試験
　要素試験：装置仕様の妥当性確認または策定に資する情報を取得するための試験



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5. 実施体制図



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容 (1)前提条件(前年度までの成果含む)

項目	内容
調査ニーズ	・早期に炉心部へのアクセスを行いデータを採取することで、燃料デブリ取り出し装置の詳細設計に反映可能。 ・取得するデータは視覚的なデータと線量率の2項目。
作業方針	上部格子板以下の構造物は燃料デブリと定義し、加工や積極的に接触はしない。加工対象はシュラウドヘッドまで。
検討対象号機 (2017年度までの成果)	・上部穴開け:3号機 ・側面穴開け:2号機
アクセスルート (2017年度までの成果)	・上部穴開け:RPV予備ノズル直上から炉心部 ・側面穴開け:R/B東側空調機室屋上から炉心部
作業エリアの前提条件	・上部穴開け:オペフロ上の干渉物は撤去され、床に遮蔽体が設置されていることを想定。作業エリアは1 mSv/hの環境が構築されている前提。 ・側面穴開け:排気ダクト、チラーが撤去されていることを想定。作業エリアは1 mSv/hの環境が構築されている前提。
想定空間線量率 (最大)	・ドライウェル:16 Sv/h ・炉内(蒸気乾燥器/気水分離器近傍):800 Sv/h ・炉内(炉心近傍):5000 Sv/h
想定される各構造物の状況	・ウェルカバー～シュラウドヘッド:健全な状態として検討。 ・上部格子板以下:大規模な損傷が生じていると想定。尚、炉底部最深部までのアクセスは炉心部の燃料・構造物等は中心部から溶融していることを想定。
光の透過率 (霧環境下)	・1.5m先で46%(1号機のPCV内部調査結果より):吸収係数:0.511 ・1.5m先で72%(2号機のPCV内部調査結果より):吸収係数:0.223⇒設計条件として設定
作業場所・遠隔性について	・上部穴開け:オペフロエリアとする。また、オペフロから1.3 m高さに作業エリアが設置されていることを想定。 ・側面穴開け:R/B東側の空調機器室屋上。
作業の遠隔性について	装置の設置等は人手作業。加工・調査作業は遠隔で実施する方針とする。
加工時の加工片について	炉心部へ落下する可能性のある最大の加工片(約16kg)が落下した場合でも臨界発生の可能性は低いと評価。その範囲内での加工片の落下を許容する。
バウンダリについて (2017年度までの成果)	バウンダリはPCVで構築する。調査において開口する箇所に対して放射性物質が漏えいした場合に備えて、作業用セルをオペフロ上あるいは空調機器室屋上に設置し、作業用セル内は負圧環境を構築する方針とする。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.1 調査計画・開発計画の策定

6.1.1 燃料デブリ取り出しに必要な情報の整理

PCV内部調査結果から得られた格納容器下部の状況等、新たな状況を反映して、燃料デブリ取り出し時に必要な調査ニーズを整理・更新する。

	項目	概要	進捗状況	2018年度	2019年度
1	燃料デブリ取り出しに必要な情報の整理	燃料デブリ取り出しに必要な情報を各PJ等から収集し、更新する。	2016年度に整理した調査ニーズを更新。調査項目について変更はなかった。（既報）	調査ニーズ整理 → 調査ニーズの整理結果	

2018年度に整理した調査ニーズ

- 早期に炉心部へのアクセスを行いデータを採取することで、燃料デブリ取り出し装置の詳細設計に反映できる。
  - ✓ 詳細設計時に必要。調査時期が早いほど、取得できた情報が有効に活用できる。
  - ✓ 炉心部・炉底部の情報が最も重要。その次に、蒸気乾燥器／気水分離器などのRPV内上部の情報。
- 取得情報としては下記について、リスク低減の効果があると評価。
  - ✓ 視覚的な情報 ： 構造物の変形・損傷、燃料デブリの分布、切り株状燃料の有無などの確認。寸法測定などを伴う詳細調査より、燃料デブリの分布、構造物の傾きや変形の有無など全体状況の把握。分解能は数cm。
  - ✓ 線量情報 ： 線量率（Gy/h）のオーダー（1～10^3）の確認。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.1.2 調査計画・開発計画の策定・更新

6.1.1で整理した調査ニーズとの対応を明らかにして調査計画を2018年度に立案する。燃料プール内の燃料取り出し作業計画等、現場状況を反映して、より実現性の高い調査計画に更新するとともに、適用時期と環境整備等の現場調査（現地実証）に関わる前提条件を明確にする。また、必要に応じてアクセス装置・調査装置の開発計画を更新する。

	実施項目	概要	進捗状況
1	全体計画を踏まえたRPV内部調査実施スケジュールの策定	SFP燃料取り出しや燃料デブリ取り出し工程を踏まえたRPV内部調査の全体スケジュールを策定する。	調査ニーズの更新結果に基づき、調査計画・開発計画の更新を実施。（既報） 現場状況等、最新の状況に応じて調査計画を更新。
2	構造物の状態評価	PCV内部調査の結果や炉内状況把握PJの2017年度のアウトプットを基に構造物の状態を推定する。	平成29年度の炉内状況把握PJにおける事故進展解析結果に基づき、炉内構造物温度推移を分析し、構造物の状態を推定。（既報）
	想定される空間線量率の評価	PCV内部調査の結果や炉内状況把握PJの2017年度のアウトプットを基に5000Sv/hの妥当性を確認する。	装置設計の前提条件となる線量評価を実施。（既報）
	加工片落下時の臨界評価※	炉心部へ落下しても問題ない加工片の仕様を臨界の観点で評価する。	想定する加工片の落下においては臨界発生の可能性は小さく万一臨界が発生した場合でも公衆被ばく・建屋外作業員被ばく影響は許容範囲内となることを確認。（既報）

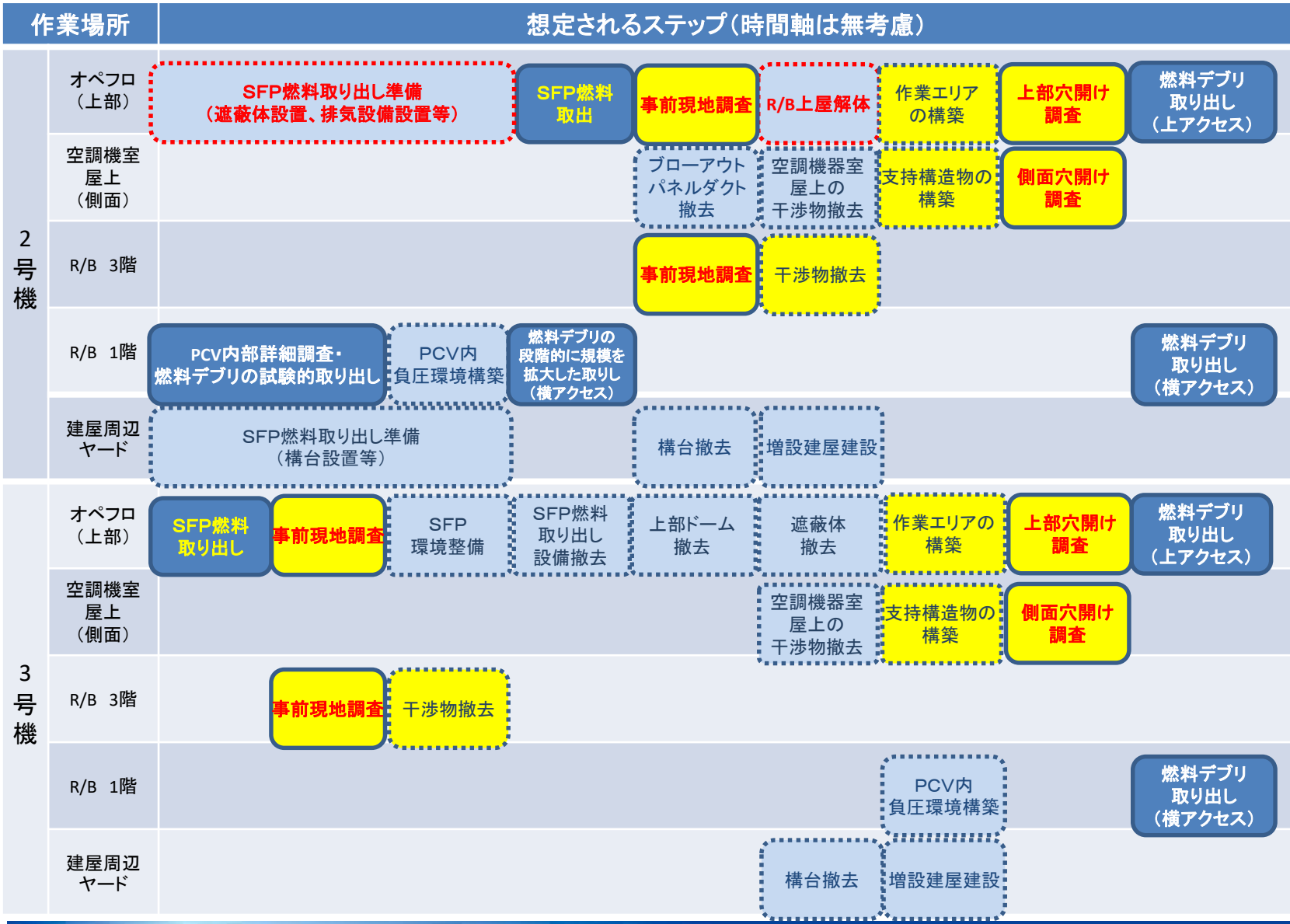
※基本的評価手法については他PJと共通。RPV内部調査で想定される評価、モデル構築を本事業にて実施。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.1.2.1 調査計画の更新

全体工程を踏まえた2/3号機の想定作業ステップ（案）

＜前提条件＞
・側面穴開け調査は、上部よりも先行して実施可能な場合のみ実施。
・上部穴開け調査は、SFP燃料取り出し、負圧環境構築後に設定。



備考

＜検討・調整事項＞
○共通
・事前現場調査の実施
・各作業の優先順位の決定
・各項目の実施期間の設定
・負圧環境構築時期の設定

○2号機
・空調機室屋上の干渉物撤去可能時期
・SFP燃料取り出し計画及び調査後の燃料デブリ取り出しに向けたR/B上屋解体、オペフロ上の取合い調整

○3号機
・SFP燃料取り出し計画及び調査後の燃料デブリ取り出しに向けたオペフロ上の取合い調整
・ウェルカバー損傷状況の把握

：RPV内部調査関連

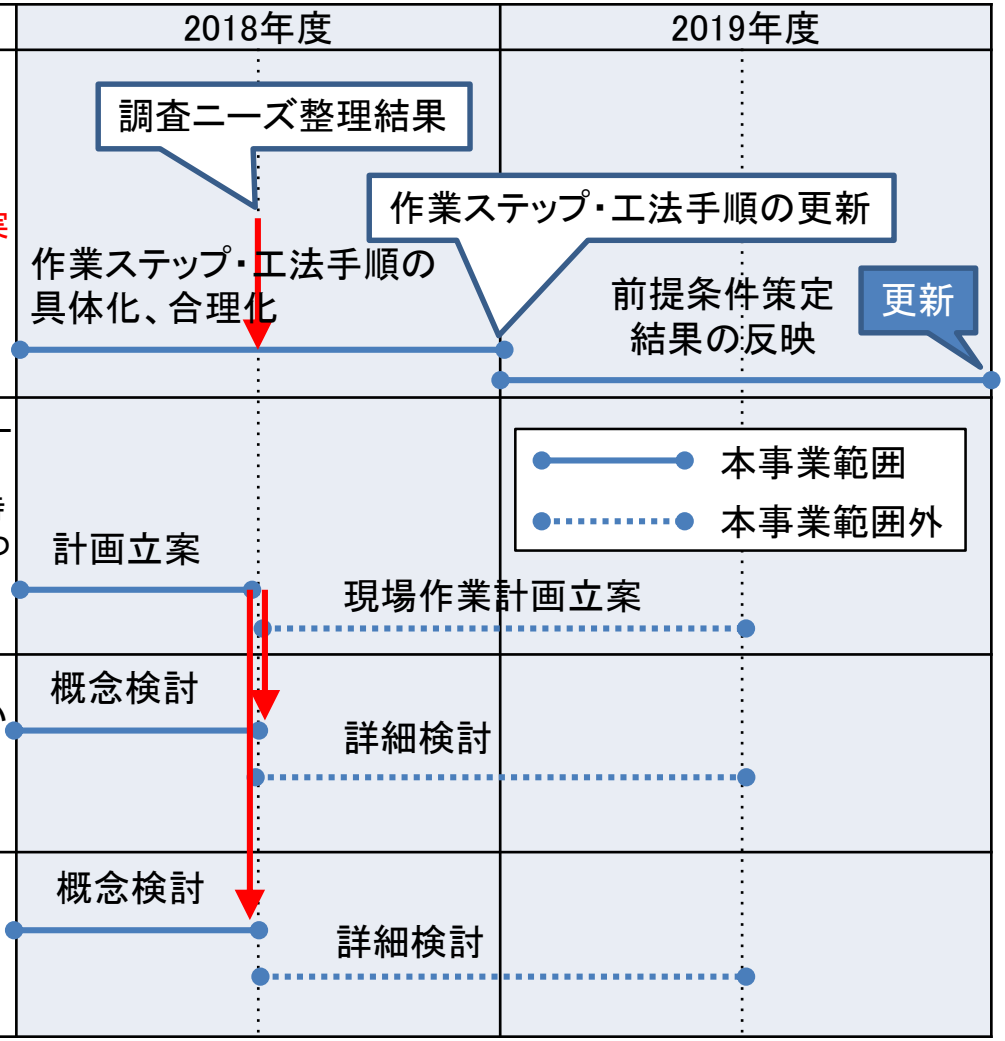
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2 工法計画の立案

6.2.1 作業ステップの具体化、工法手順の合理化

2017年度の本事業にて検討した一連の作業ステップの具体化を図るとともに、ステップ毎の手順の明確化や合理化を検討する。

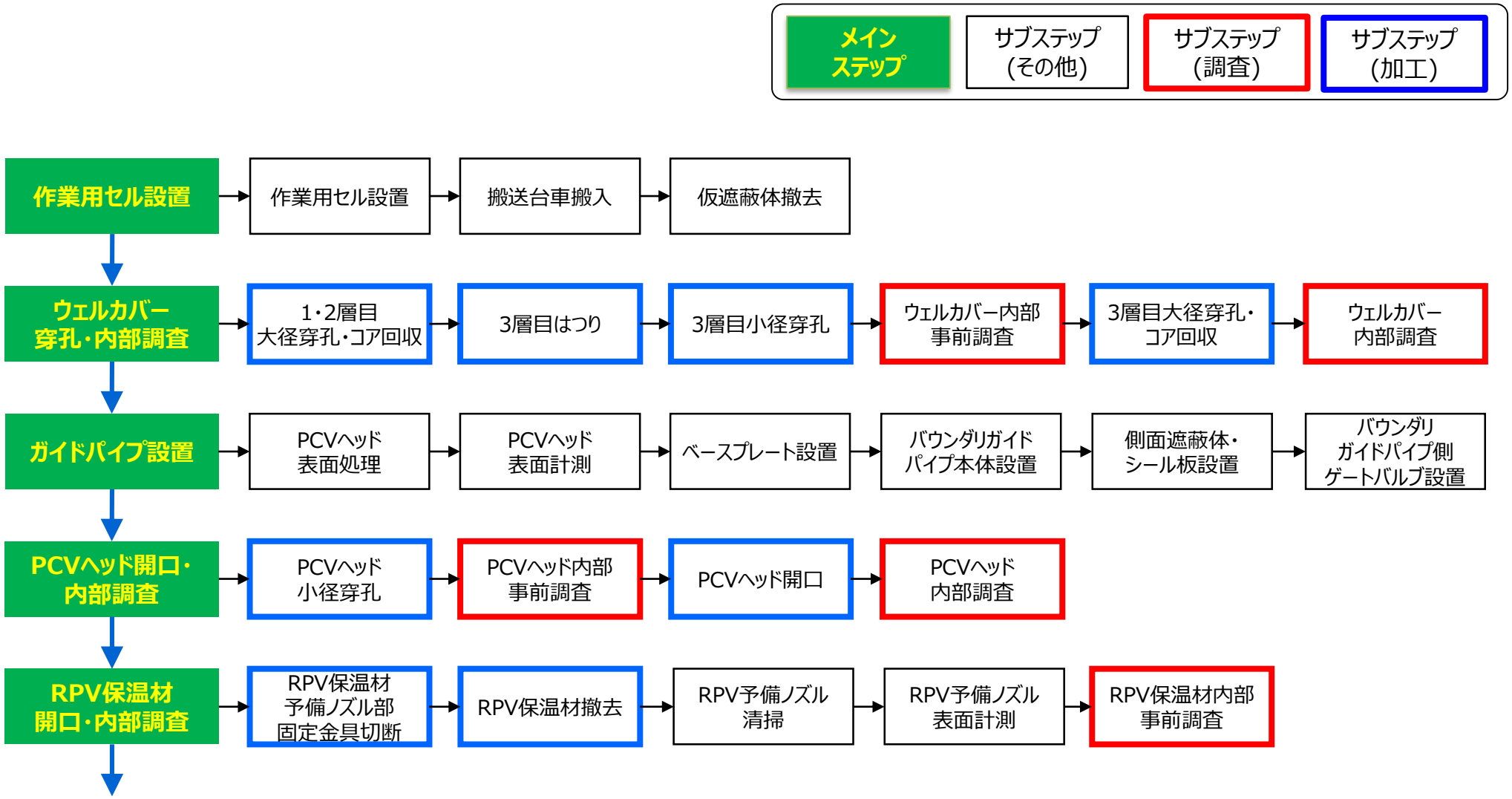
	実施項目	概要	進捗状況
1	作業ステップ・工法手順の具体化、合理化（ステップ図作成）	2017年度までの検討結果を基にSTEP2以降の工法の具体化、合理化	要素試験結果等、設計進捗を反映して改訂を実施。
2*	事前現地調査（STEP1）計画の立案	原子炉ウェル内へのアクセスルート、穴あけ位置の選定	調査装置のアクセスルート、穴開け位置、穴開け位置等を検討し、実施時期等、具体的な計画については東電HD殿と今後協議が必要
	事前現地調査（STEP1）工法の検討（穴開け）	穴開け工法の検討	ウェルカバー及びウェルカバー上に設置されている遮蔽体への穴開け工法の概念検討を実施。（既報）
	事前現地調査（STEP1）工法の検討（調査）	調査工法の検討	調査に適用する調査装置及び想定されるアウトプットイメージを検討。（既報）



*）上部穴開け調査工法のみを対象。側面穴開け調査工法の事前現地調査は既存の技術、装置にて実施し、開発要素がないため

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

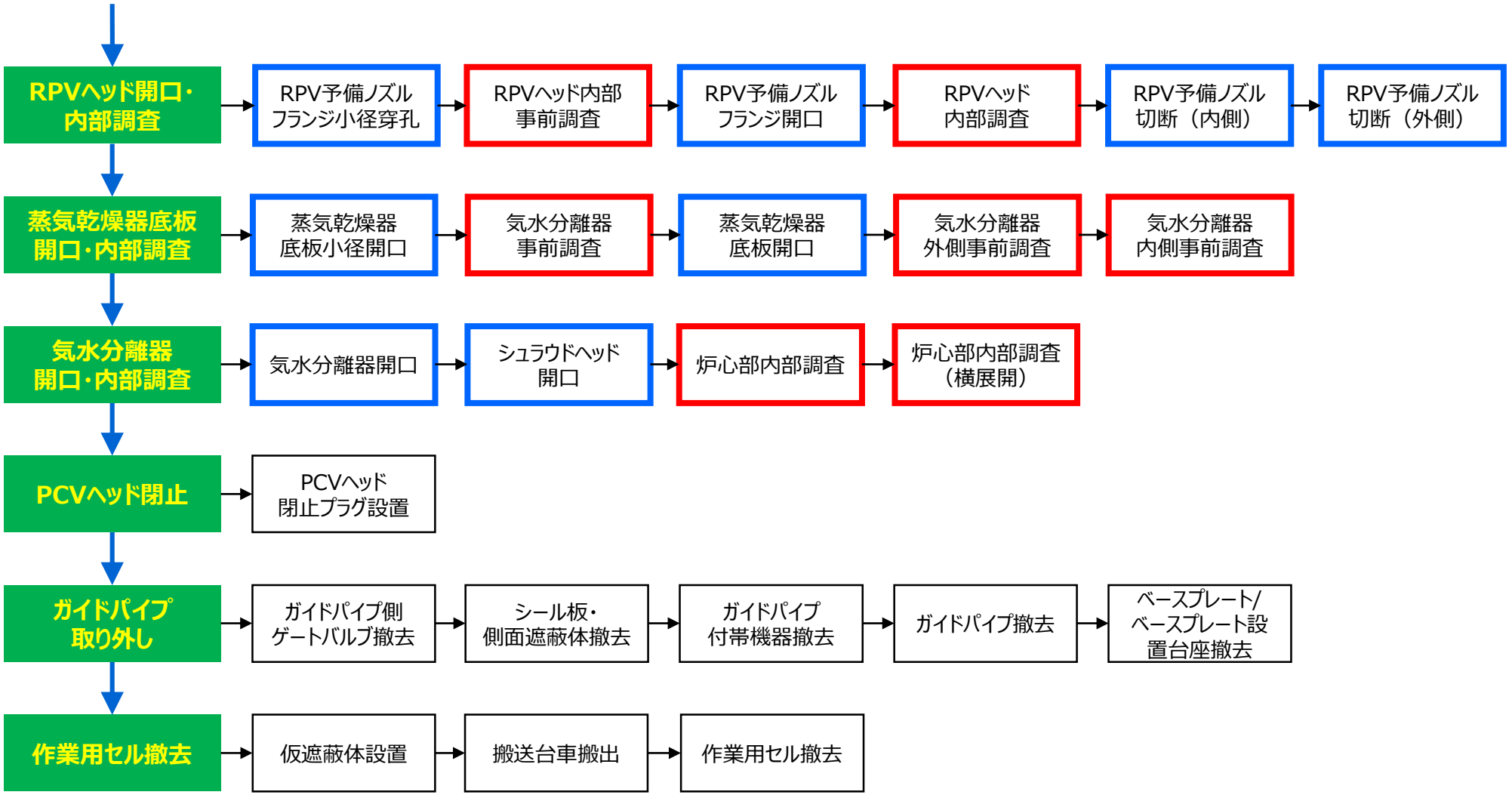
6.2.1.1 作業ステップ：上部穴開け調査工法(1/2)



※各サブステップにてツール交換時における気密試験等は実施するが、本図では示していない。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

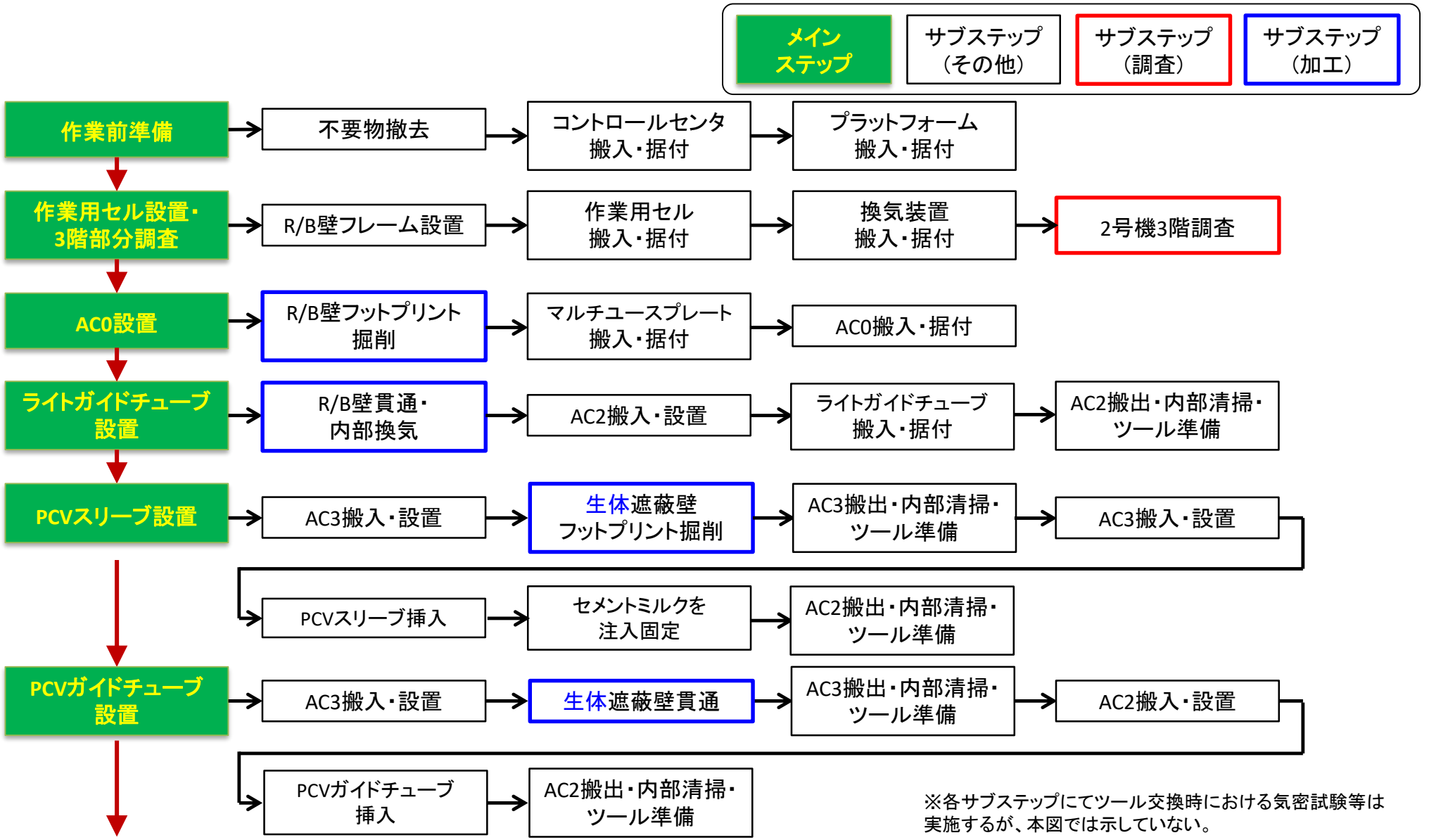
6.2.1.1 作業ステップ：上部穴開け調査工法(2/2)



※各サブステップにてツール交換時における気密試験等は実施するが、本図では示していない。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.1.2 作業ステップ：側面穴開け調査工法（1/2）

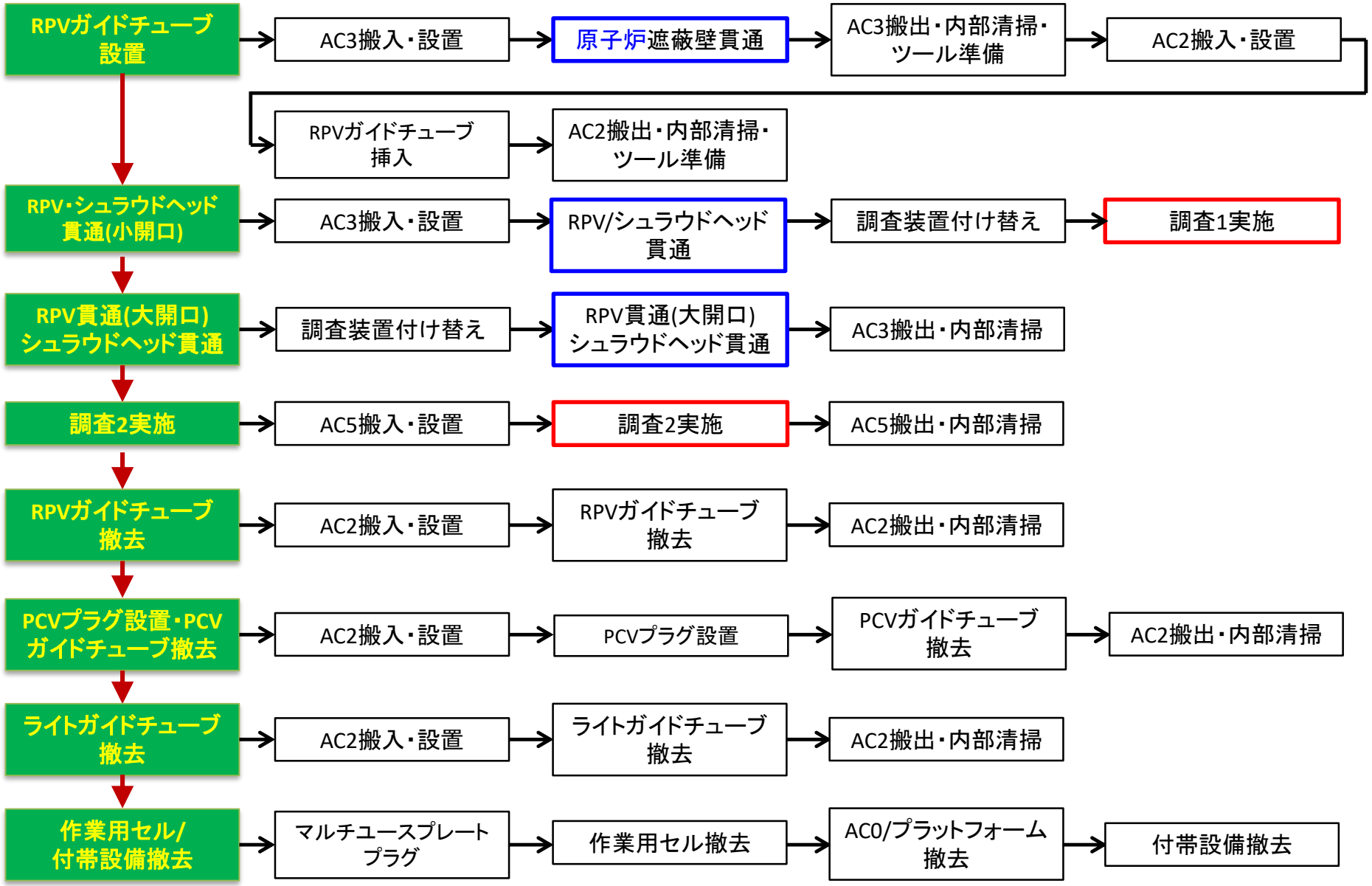


※各サブステップにてツール交換時における気密試験等は実施するが、本図では示していない。

※：ツールボックスAC2, AC3, AC5については、設備・装置仕様No.75及びNo.77を参照。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.1.2 作業ステップ：側面穴開け調査工法（2/2）



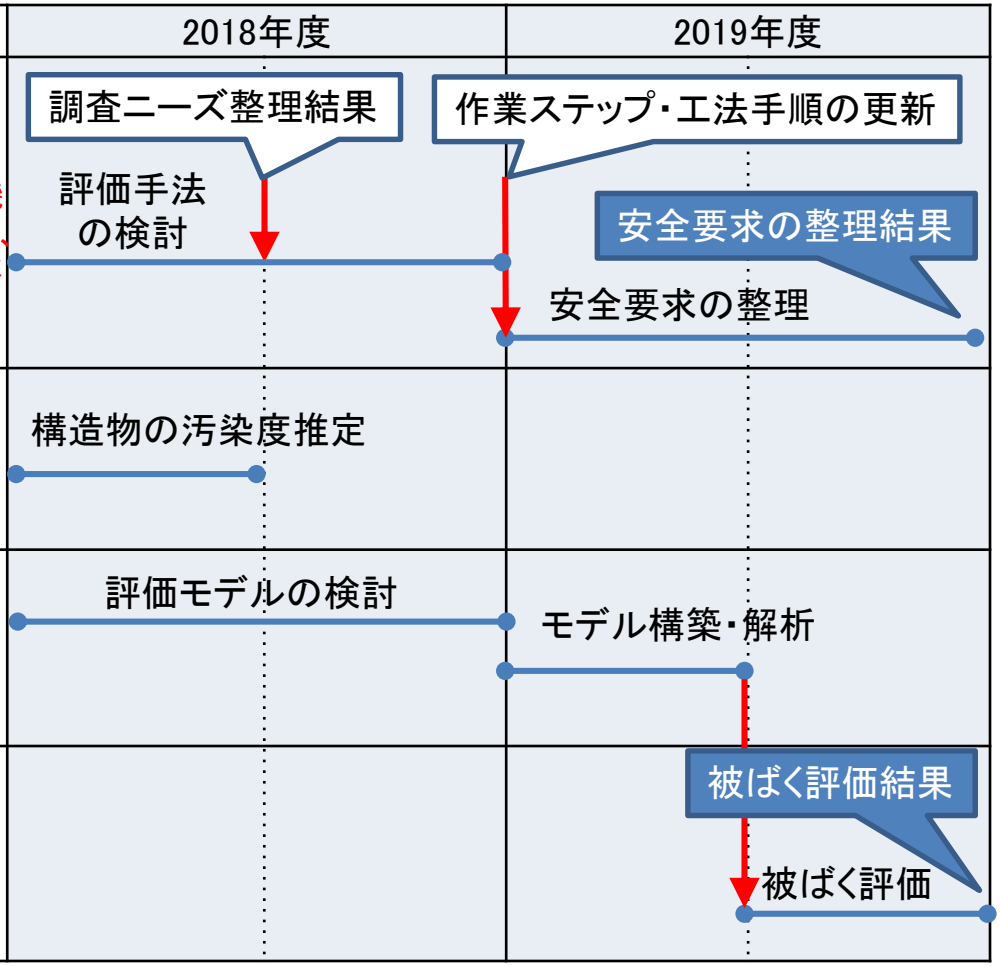
※：ツールボックスAC2, AC3, AC5については、設備・装置仕様No.75及びNo.77を参照。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2 安全要求の整理、被ばく評価

安全要求を整理し、事故事象、単一故障事象や耐震クラス等の明確化を行うと共に、装置設計や調査計画の具体化の結果を反映した被ばく評価を行い、調査工事に伴う周辺環境への影響を評価する。

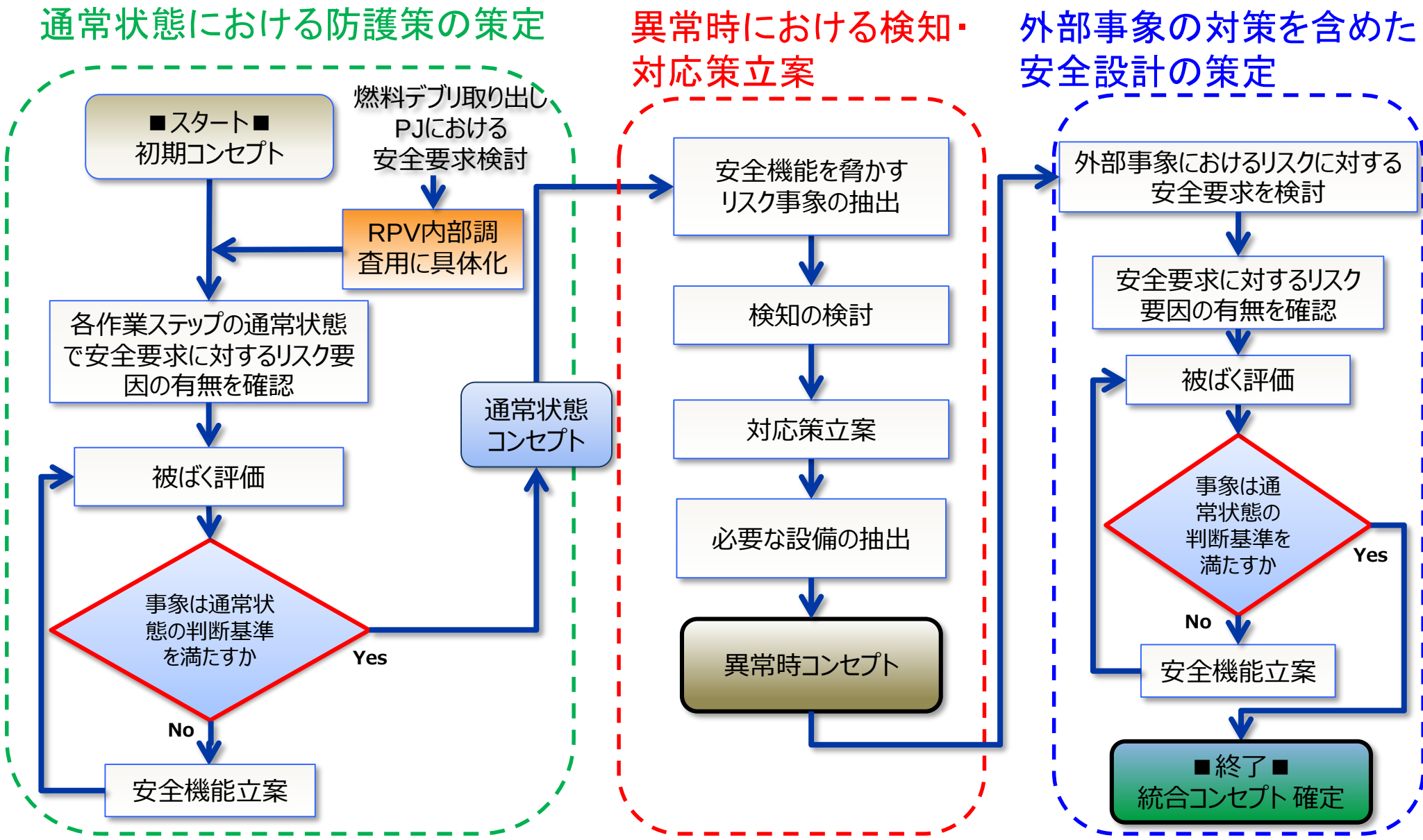
	実施項目	概要	実施内容・成果
1	安全要求の整理	調査時の安全要求に対する考え方を整理する。 ⇒関連PJ：燃料デブリ取り出し工法・システム	安全設計プロセスを整備し安全要求の整備を行った。また整理結果を基に通常状態における安全機能、異常時に必要な対策、を特定した。また、外部事象に対する安全要求の整理を実施した。
2	構造物の汚染度推定	加工時に飛散する放射能量の推定を実施し、評価モデルへ反映する。	平成29年度の炉内状況把握PJでの事故進展解析結果に基づき、Cs付着量を概算。（既報）
	被ばく評価モデルの精査（気流解析）※	被ばく評価モデルの具体化としてPCV内部の気流解析を実施し、評価モデルへ反映する。	被ばく評価モデルを精査し、気流解析を実施しダストの重力沈降等による放射能低減効果を評価。
	被ばく評価※	調査工事に伴う被ばく評価を実施する（作業員被ばく、敷地境界での被ばく）。	過年度評価に対して条件を見直して再評価を実施し、安全評価上は問題ないことがわかった。



※基本的評価手法については他PJと共通。RPV内部調査で想定される評価、モデル構築を本事業にて実施。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2.1 安全要求の整理（安全設計プロセス）



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2.1 安全要求の整理（まとめ）

安全要求	内部事象			外部事象	
	通常状態 安全機能	異常時		地震	その他
		検知	対応策		
気相中の 放射性物質の閉じ込め	1次バウンダリによる気相部放射性物質の閉じ込め	ガス管理設備停止警報、原子炉ウェル、オペフロ及び作業用セルの放射線・ダストモニタ	ガス管理設備の冗長系作動、作動失敗の場合は窒素封入設備停止、隔離弁によるツールボックスへの放射性物質移行の遮断、作業用セル設置によるオペフロへの放射性物質漏洩量の低減、作業用セル換気系（フィルタ）の設置による放射性物質放出量の低減	新たな安全機能を追加する必要がないことを確認した	1Fにおいて想定される環境条件に対してRPV内部調査のために設置する設備が機能を喪失しないよう設計すること
液相中の 放射性物質の閉じ込め	1次バウンダリによる気相部放射性物質の閉じ込めに包絡	－	－	－	
臨界管理	状態監視(臨界監視)及び器具等の落下防止による対応 回収しない加工片の落下は質量制限による対応	－	－	－	
除熱管理	状態監視(温度監視)及び器具等の落下防止による対応	－	－	－	
異常な切削による過度な放射能の放散防止	状態監視及び適切な工程管理による対応	－	－	－	
作業員被ばくの低減 （外部被ばく）	遮蔽設計により対応	－	－	－	
作業員被ばくの低減 （内部被ばく）	1次バウンダリによる気相部放射性物質の閉じ込めに包絡	－	－	－	
火災・爆発の防止	局所的な滞留水素による爆轟に至らないような作業管理	－	－	－	

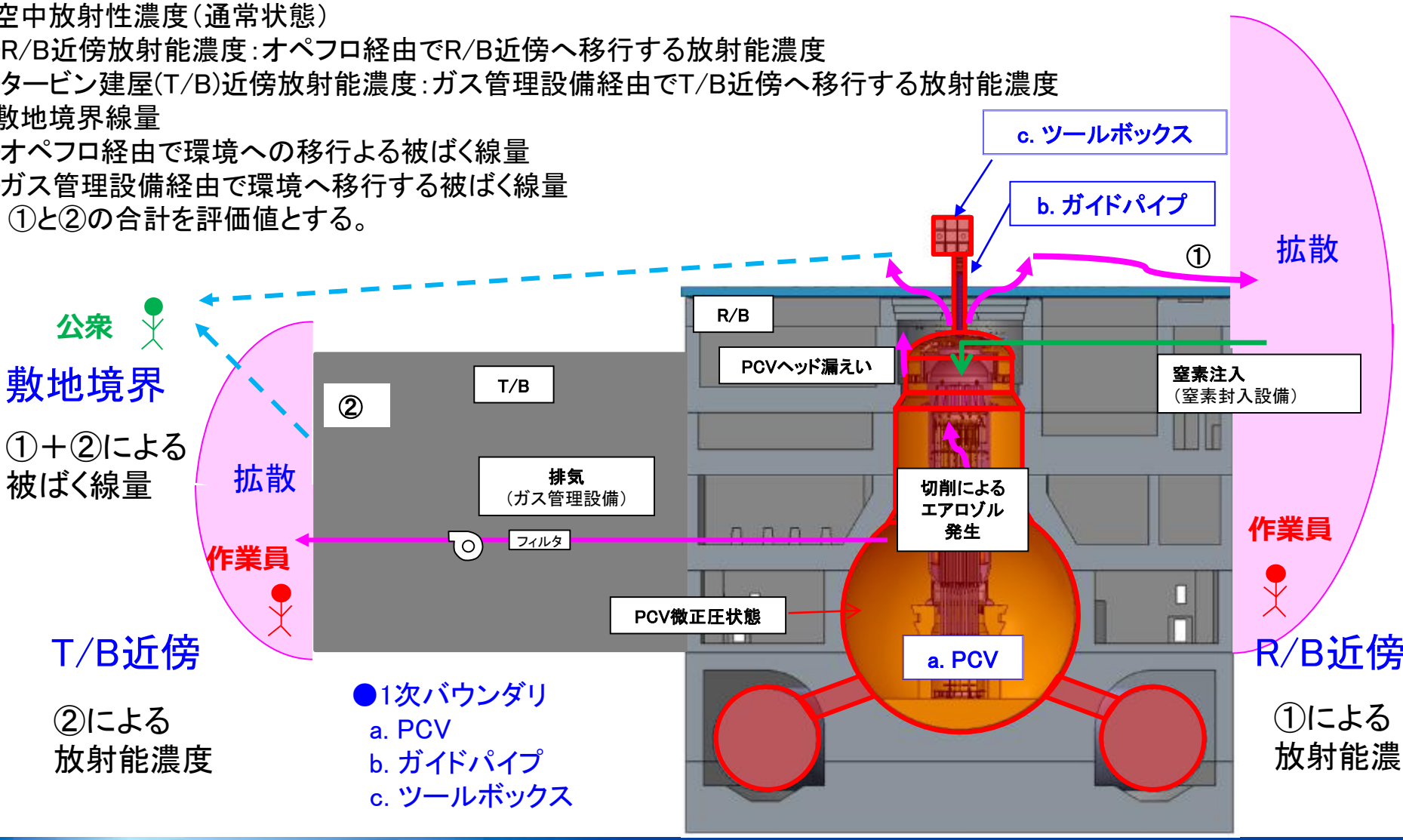
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2.2 被ばく評価：評価内容

●PCV微正圧状態で被ばく評価（2017年度評価の条件見直し）
評価対象は上部穴開け調査工法

1．空中放射性濃度（通常状態）
　①R/B近傍放射能濃度：オペフロ経由でR/B近傍へ移行する放射能濃度
　②タービン建屋(T/B)近傍放射能濃度：ガス管理設備経由でT/B近傍へ移行する放射能濃度

2．敷地境界線量
　①オペフロ経由で環境への移行よる被ばく線量
　②ガス管理設備経由で環境へ移行する被ばく線量
　　①と②の合計を評価値とする。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2.2 被ばく評価結果（上部穴開け調査：2017年度評価との比較）

（ ）内は目標値に対する桁数（〇：何桁満足しているか、×：何桁未達か）

評価項目	前回評価結果	今回評価結果	見直し評価の効果	目標値
R/B近傍放射能濃度（Cs-137）[Bq/m3]	1.7E+00 (*1) 〇（3桁）	2.6E-02 (*1) 〇（5桁）	2桁	3.0E+03 （屋外　マスク無し）
R/B近傍放射能濃度（Pu-238）[Bq/m3]	2.7E-5 (*1) 〇（4桁）	2.6E-07 (*1) 〇（6桁）	2桁	7.0E-01 （屋外　マスク無し）
2．敷地境界線量 [μSv/y]	1.9E+01 (*2) 〇（1桁）	1.6E-01 〇（3桁）	2桁	1.0E+02

(*1) R/B近傍放射能濃度は2017年度最大となった気水分離器切削時の値（ガス管理設備放出建屋近傍濃度を除く）
(*2)敷地境界線量はPCVヘッド、RPV保温材、RPVヘッド、蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッド切削時の合計（ガス管理設備放出(フィルタDF=1000）による寄与を含む）が対象

本年度評価では2017年度評価と同様に、上部穴開け調査工法において、PCV微正圧状態でRPV内部調査作業を実施しても安全評価上は問題ない結果となった。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.2.2.2 被ばく評価：R/B内の放射能濃度について

項目	①2017年度 上部穴開け調査工法	②2019年度 上部穴開け調査工法	①の桁－②の桁	目標値
R/B内放射能濃度（Cs137） 最大値（Bq/m3）	1.1E+06	1.9E+07	-1桁	3.0E+03 （屋外　マスク無し）
R/B内放射能濃度（Pu238） 最大値（Bq/m3）	1.8E+01	8.6E+01	0桁	7.0E-01 （屋外　マスク無し）

一方、R/B内の放射能濃度について、前回評価同様に目標値を上回り、上部穴開け調査工法をPCV内微正圧環境で実施できないという結果となった。

尚、今回の評価結果に大きく影響した評価条件の変更点は以下であった。

- 評価対象構造物の追加　⇒加工対象物としてすべての構造物を考慮
- PCV、R/Bでの滞留、沈着を考慮　⇒GOTHICコードによる気流解析結果を反映
- R/Bでの放射能希釈体積　⇒R/B希釈体積を縮小

但し、被ばく評価には評価条件（MAAPによる汚染度の設定、加工時の気中移行率の設定、PCVからの漏えい箇所・漏えい率の設定等）に不確かさがあり、さらなる評価の精緻化には実機情報の取得等が必要な状況。

また、PCVを微正圧環境、R/Bを負圧環境にて実施すれば成立する可能性もあるが、本調査実施時には段階的に規模を拡大した取り出し向けにPCVの負圧環境が構築されている可能性もある。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.3 調査用付帯システムの検討

ダスト拡散防止のため、ガス管理、負圧管理システムに加え、窒素供給、ダストモニタリング、臨界管理システム等、調査の実施や安全の観点で必要となる付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確にする。特に、上部穴開け調査工法では、PCV底部の燃料デブリ取り出しに先立って整備される負圧環境を利用するので、負圧管理に必要なガス管理システム、負圧管理システムへの要求仕様も明確化する。なお、ダスト拡散防止の一環として、リアルタイムでのダストモニタリングシステムの運用管理を行う必要がある場合には、その実施要領について検討する。

	実施項目	概要	実施内容・成果	2018年度	2019年度
1	調査に必要なシステムへの要求仕様策定	調査の実施や安全の観点で必要となる付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確にする。 ⇒関連PJ：燃料デブリ取り出し工法・システム、臨界管理	安全要求の整理結果から、要求仕様の検討を実施。	作業ステップ・工法手順の更新 付帯システムの適用性検討	付帯システムへの要求仕様策定

No.	調査に必要と想定される付帯システム	概要
1	ガス管理システム	PCV内気体の排気・ろ過などによって、環境へ放出される放射性物質の濃度および量を達成できる限り低減するためのシステム。
2	窒素供給システム	水素爆発を予防するために、RPV内およびPCV内に窒素を封入することで不活性雰囲気を維持するためのシステム。
3	負圧管理システム （上部穴開け調査工法のみ）	構造物加工時に気中へ移行する放射性物質をPCV外へ放出されないよう、内部を負圧環境とするためのシステム。
4	臨界管理システム	構造物加工時に残存する燃料や燃料デブリが臨界とならぬよう監視する、また万が一臨界が発生した場合に抑制するためのシステム。⇒既設設備にて対応する計画
5	ダストモニタリングシステム	構造物加工時の気中放射能濃度を監視するためのシステム。
6	水処理システム	構造物加工時に水中へ移行する放射性物質をろ過などによって、環境へ放出される放射性物質の濃度および量を低減するためのシステム。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.3.1 付帯システムへの要求事項

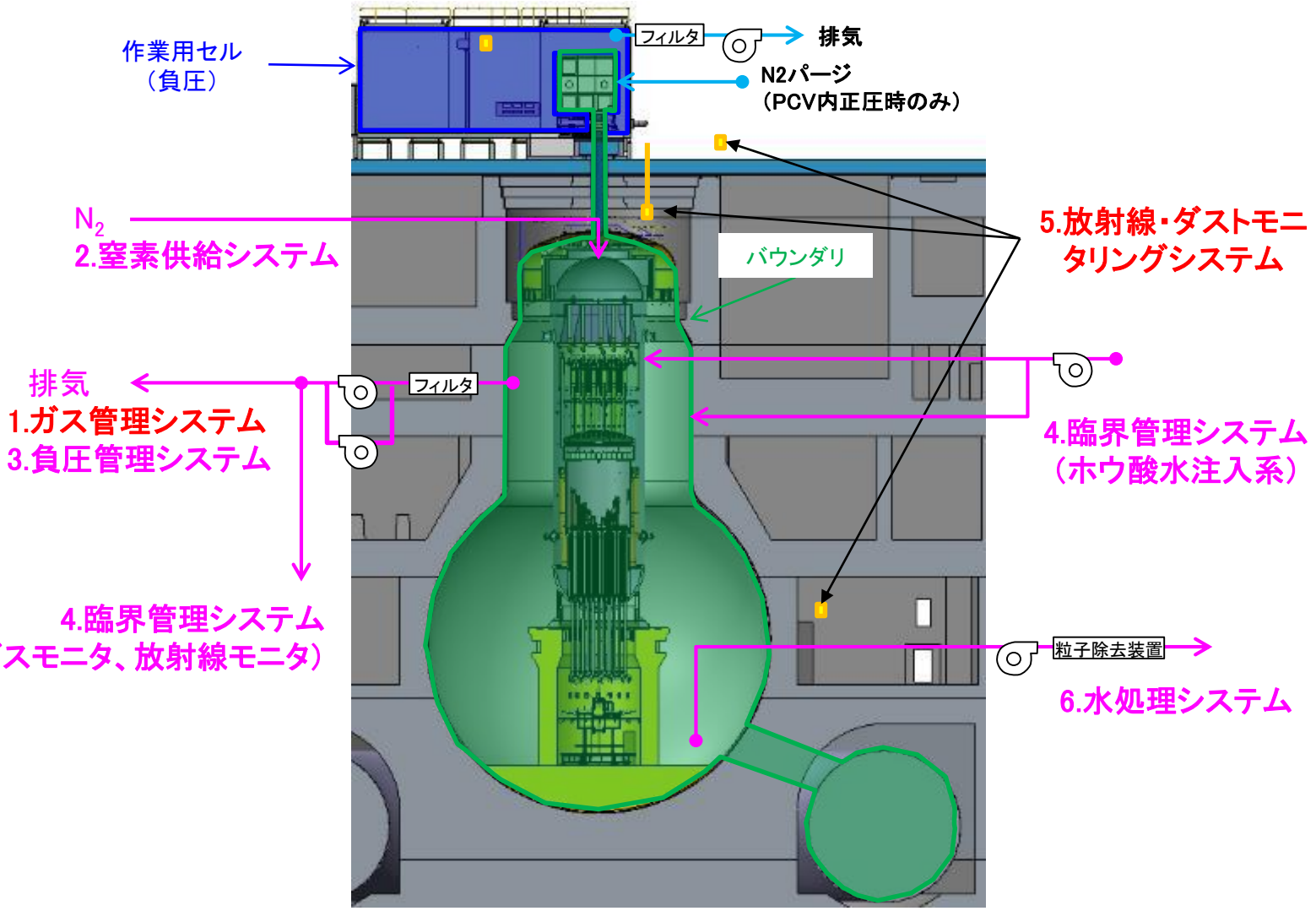
安全要求の整理結果から異常事象とその対応策について以下に整理した。

検知・対応策		必要な設備
検知	ガス管理設備の停止警報による検知	**ガス管理設備停止時の警報**
	原子炉ウェルの放射線モニタ・ダストモニタによる漏洩検知	**原子炉ウェルの放射線モニタ・ダストモニタ**
	オペフロの放射線モニタ・ダストモニタによる漏洩検知	**オペフロの放射線モニタ・ダストモニタ**
	作業用セル内放射線モニタ・ダストモニタの設置による漏洩検知	作業用セル内放射線モニタ・ダストモニタ（本事業で検討）
対応策	ガス管理設備の冗長系作動、作動失敗の場合は窒素封入設備停止	**ガス管理設備の冗長系**
	隔離弁によるツールボックスへの放射性物質移行の遮断	隔離弁（本事業で検討）
	作業用セル設置によるオペフロへの放射性物質漏洩量の低減	作業用セル（本事業で検討）
	作業用セル換気系（フィルタ）の設置による放射性物質放出量の低減	作業用セル換気系(フィルタ)（本事業で検討）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.3.2 上部穴開け調査における付帯システム

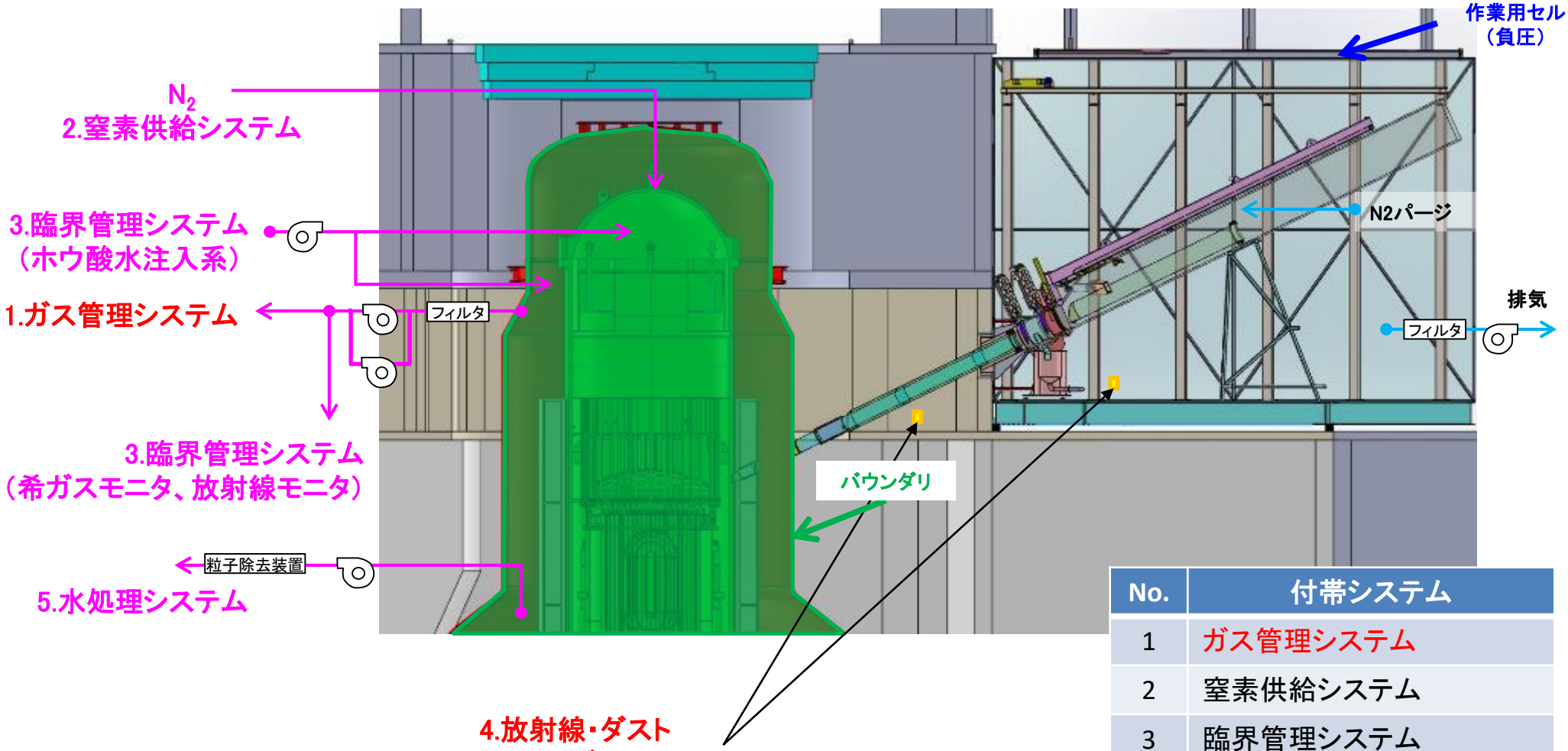
No.	付帯システム
1	ガス管理システム
2	窒素供給システム
3	負圧管理システム（上部穴開け調査工法のみ）
4	臨界管理システム
5	放射線・ダストモニタリングシステム
6	水処理システム



安全要求の整理結果から上部穴開け調査工法に必要となる付帯システムを更新（赤字部）。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.3.3 側面穴開け調査における付帯システム



No.	付帯システム
1	ガス管理システム
2	窒素供給システム
3	臨界管理システム
4	放射線・ダストモニタリングシステム
5	水処理システム

安全要求の整理結果から側面穴開け調査工法に必要となる付帯システムを更新（赤字部）。

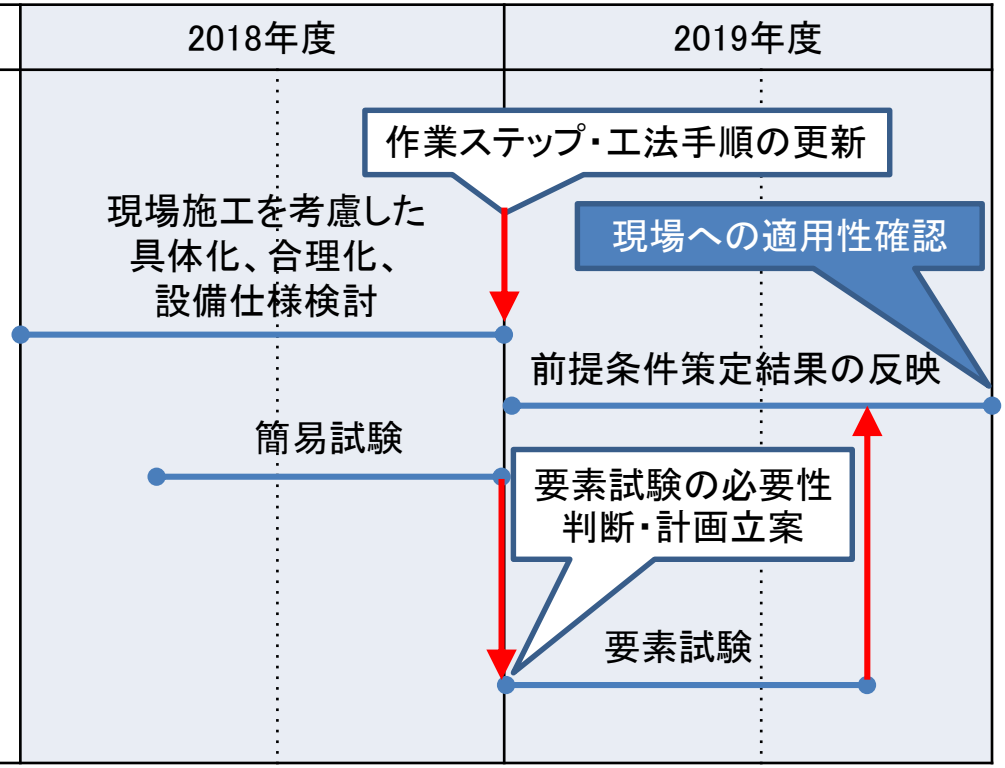
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4 アクセス装置・調査装置の開発

6.4.1上部穴開け調査工法の装置開発

オペフロ上側からシュラウドヘッドまでの穴開け装置、ダスト拡散防止のための装置、各部の調査装置について、2017年度までの成果を踏まえ、現場での施工に向けた課題解決のための技術開発を行い、装置・システム設計の具体化、合理化を行う。また、2018 年度に必要性を検討した上で、装置に関する要素試験を行い、現場状況等、実機適用に向けた各装置の現場への適用性を確認する。

	実施項目	概要	進捗状況
1	作業用セルの開発	2017年度の成果を踏まえ、現場での施工に向けた課題解決のための技術開発を行い、装置・システム設計の具体化、合理化を行う。尚、組合せ試験のような大規模な要素試験については、必要性を検討したうえで実施する。	次項以降参照
2	バウンダリ機能維持装置の開発		
3	加工装置の開発		
4	調査システムの開発		



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1 上部穴開け調査工法の装置開発

項目	実施計画	実施内容・成果
作業用セル	・各装置の作業性を考慮した構造・工法の合理化 ・作業用セル内および周辺配置計画の合理化 ・設置方法、取合条件の明確化 ・負圧管理システムの詳細検討	・穴開け・調査作業を含む準備、ツールボックスの交換等、各作業手順の整理を実施。 ・作業セルに必要な付帯設備（負圧維持や状態監視方法）の検討を実施。 ・各装置に必要なユーティリティ・設備や取り合い情報の整理を実施。 ・配置計画の詳細検討を実施。 ・換排気系統において、故障時を想定した2系統の構成にて検討。
バウンダリ機能維持装置	・作業性を考慮した構造・工法の合理化 ・ガイドパイプ負圧用シール構造の信頼性向上 ・ガイドパイプ－ツールボックス間のシール性（閉じ込め機能）の確認	・ツールボックスの交換に伴う搬送台車、連結機構、ゲートバルブ等に必要な各種作業項目の整理を実施。 ・負圧向けシール構造の簡易試験を実施し負圧向けシール構造を決定。 ・ゲートバルブ、連結装置に関する簡易試験を実施し、簡易クランプ機能や必要な押し付け力を確認。 ・連結機構に関し、ベローズ昇降機能・強制引き離し機能、シール機能について簡易試験を実施目標機能・性能を得られることを確認。
RPVヘッドまでの加工装置	・構造・工法の合理化 ・RPV予備ノズル部以外のアクセスルート（RPV保温材、RPVヘッドの加工方法）検討	・PCV/RPVヘッドへの小径穿孔に関し、水素抜きと事前確認用の加工を一回の作業にて実施する工法について要素試験を実施。 ・ウェルカバーの開口に関し、代替案であるAWJの適用に関する簡易試験を実施。 ・RPV保温材の開口・撤去工法について要素試験を実施。
炉内構造物加工装置	・ツールヘッド装置小型化の検討 ・ガイドパイプ振れ低減の検討 ・切断、アクセスの精度、施工性向上の検討 ・炉内での干渉回避、開口位置決め方法の検討 ・炉内状況を想定した装置検討 ・装置、システムの開発、設計及び現場施工性確認	・切断時の噴射反力による開口位置のズレを低減するために、噴射反力受けを設置。要素試験にて効果を検証・確認。 ・気水分離器・シュラウドヘッドの開口について要素試験計画を立案。連節ガイドパイプの直線性向上を確認。 ・AWJの切断パラメータを再評価。加工速度等を調整した結果、アブレイシブの量を約20tから約9tに削減できることを確認. ・要素試験にてシュラウドヘッド切断条件を変更したことを受け、ツールヘッドに噴射反力受け兼加工片回収用治具を新設する設計とした.
調査システム	・調査装置のアクセス性、操作性向上 ・視認性向上施策（画像処理） ・推定される炉内状況に即した調査工法、装置検討 ・炉内調査機器の設計進捗を側面穴開け調査におけるアクセス装置設計へ反映	・要素試験としてアクセス性確認試験を実施し、試験結果を反映して調査装置・アクセス装置の設計確認を完了。 ・吊り下ろし距離を模擬し、天球画像(B2)／円筒展開画像(B3)作成動作にて顕著な揺れが発生せず、隙間なく画像合成できることを確認。

※：調査装置B2、B3については、設備・装置リスト(No.57)を参照

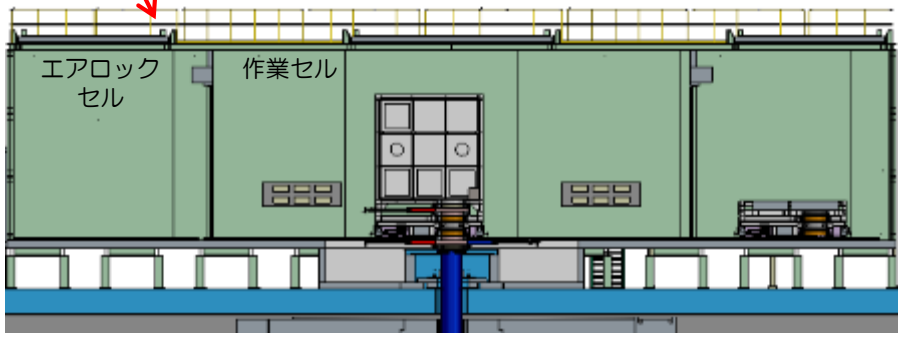
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

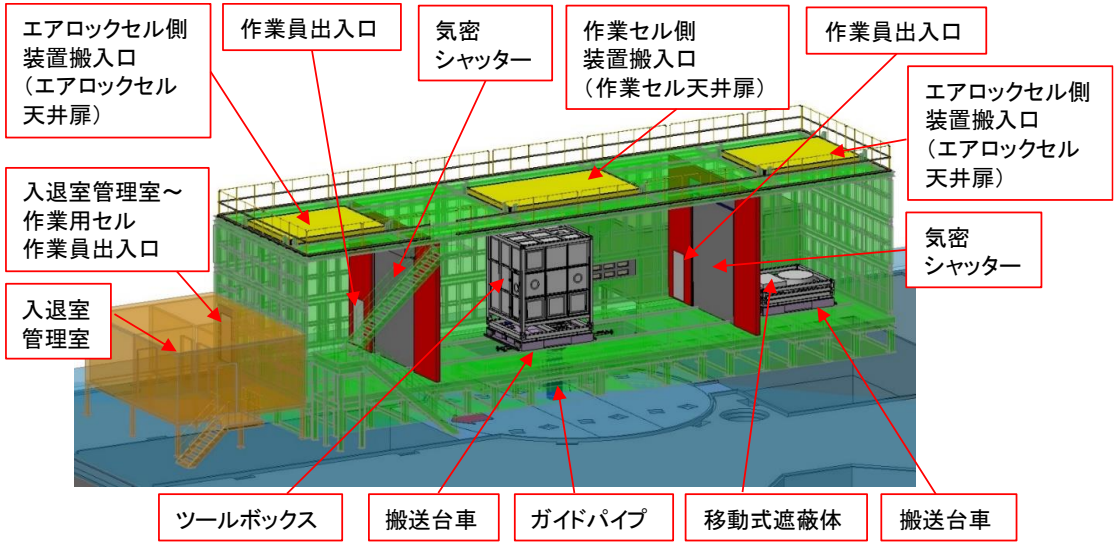
6.4.1.1 上部穴開け調査工法 作業用セル

実施項目	実施計画	実施内容・成果	備考
各装置の作業性を考慮した構造・工法の合理化	・作業セルの設置から各種加工・調査装置の設置、作業を行う上で、作業員保護や被ばく低減の観点で構造・工法を見直し、作業時間の低減や被ばく量を可能な限り低くするために合理化を行う。	・穴開け・調査作業を含む準備、ツールボックスの交換等、各作業手順の整理を実施。(既報) ・作業セルに必要な付帯設備(負圧維持や状態監視方法)の検討を実施。	
作業用セル内および周辺配置計画の合理化	・作業用セル周辺の作業員の動線を考慮した配置計画および上記工法の合理化に伴うユーティリティ供給等の配置計画の検討を行う。	・各装置に必要なユーティリティ・設備や取り合い情報の整理を実施。 ・配置計画の詳細検討を実施。	
設置方法、取合条件の明確化	・作業用セルを設置するエリアとの取合い、耐震設計条件の調整を実施する。	・耐震設計方針はPCV内部調査と同等として検討を進める方針。(既報)	
作業用セル内負圧管理システムの詳細検討	・作業用セル内の負圧管理システムにおいて安全要求の観点から必要な機能の検討を行い、システム仕様として反映を行う。	・換排気系統において、故障時を想定した2系統の構成にて検討。(既報)	

作業用セル

PCVバウンダリが万が一に破れた場合に環境への汚染物質拡散防止、作業における作業者の保護、装置使用環境の提供を行う仮設設備。※





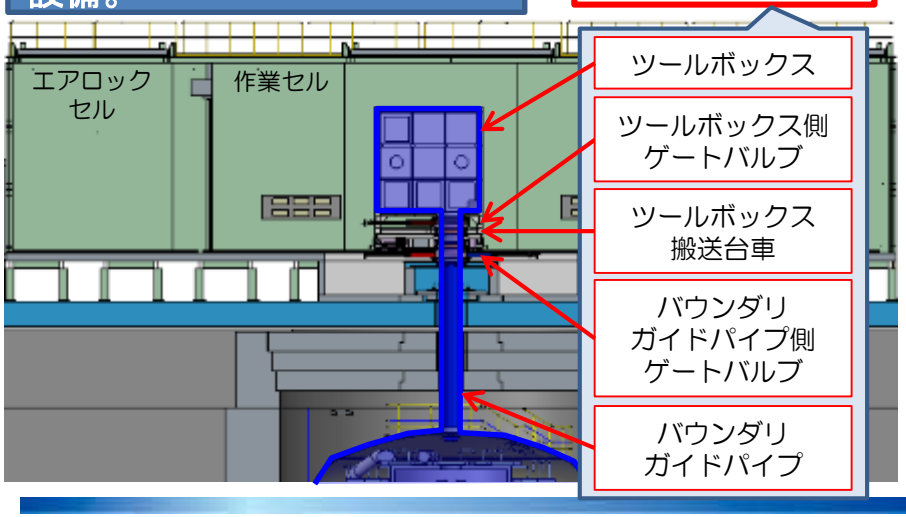
※燃料デブリ取り出し等で計画している1次バウンダリを構築する「セル」とは異なる。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

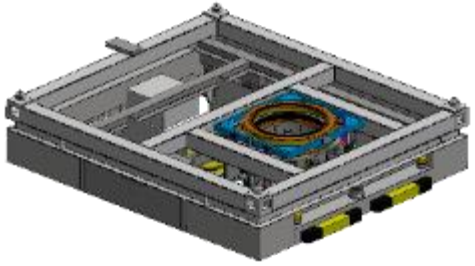
6.4.1.2 上部穴開け調査工法 バウンダリ機能維持装置の開発

実施項目	実施計画	実施内容・成果	備考
作業性を考慮した構造・工法の合理化	・バウンダリガイドパイプの設置から各種ツールボックスの設置、作業を行う上で、作業員保護や被ばく低減の観点で構造・工法を見直し、作業時間の低減や被ばく量を可能な限り低くするために合理化を行う。	・ツールボックスの交換に伴う搬送台車、連結機構、ゲートバルブ等に必要な各種作業項目の整理を実施。(既報)	
バウンダリガイドパイプ負圧用シール構造の信頼性向上	・バウンダリガイドパイプ負圧向けシール構造の信頼性向上評価	・負圧向けシール構造の簡易試験を実施し負圧向けシール構造を決定。(既報)	簡易試験含む
バウンダリガイドパイプ－ツールボックス間のシール性(閉じ込め機能)の確認	・ゲートバルブの実現性確認 ・バウンダリガイドパイプとツールボックスの連結装置のシール性確認	・ゲートバルブ、連結装置に関する簡易試験を実施し、簡易クランプ機能や必要な押し付け力を確認。(既報) ・連結機構に関し、ベローズ昇降機能・強制引き離し機能、シール機能について簡易試験を実施目標機能・性能を得られることを確認。	簡易試験含む

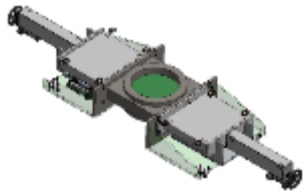
PCVで構築するバウンダリを拡張してPCV内部へ加工・調査装置を投入するための仮設設備。



ツールボックス

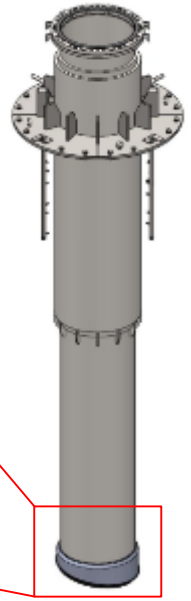


ツールボックス搬送台車



バウンダリガイドパイプ側
ゲートバルブ

PCVヘッド取合部
(2017年度試験の様子)



バウンダリガイドパイプ

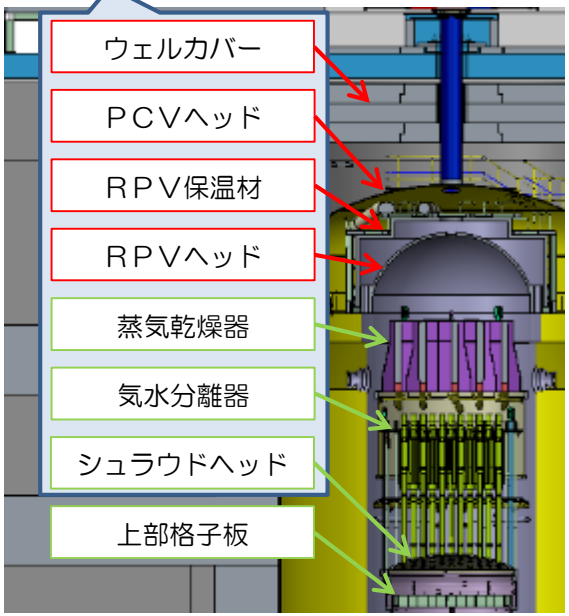
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.3 上部穴開け調査工法 加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け

実施項目	実施計画	実施内容・成果	備考
構造・工法の合理化	・作業セルの設置から各種加工・調査装置の設置、作業を行う上で、作業員保護や被ばく低減の観点で構造・工法を見直し、作業時間の低減や被ばく量を可能な限り低くするために合理化を行う。	・PCV/RPVヘッドへの小径穿孔に関し、水素抜きと事前確認用の加工を一回の作業にて実施する工法について要素試験を実施（既報）	要素試験含む
過年度の課題に対する設計検討・成立性確認	・過年度に実施した要素試験や設計検討の中で挙げられた課題に対する設計検討や成立性確認のための簡易試験・要素試験を実施し、装置設計へ反映する	・ウェルカバーの開口に関し、代替案であるAWJの適用に関する簡易試験を実施。（既報） ・RPV保温材の開口・撤去工法について要素試験を実施。	簡易試験、要素試験含む

加工装置

調査装置を投入するアクセスルートを構築するための穴開け装置。



＜RPVヘッドまでの穴開け概要＞

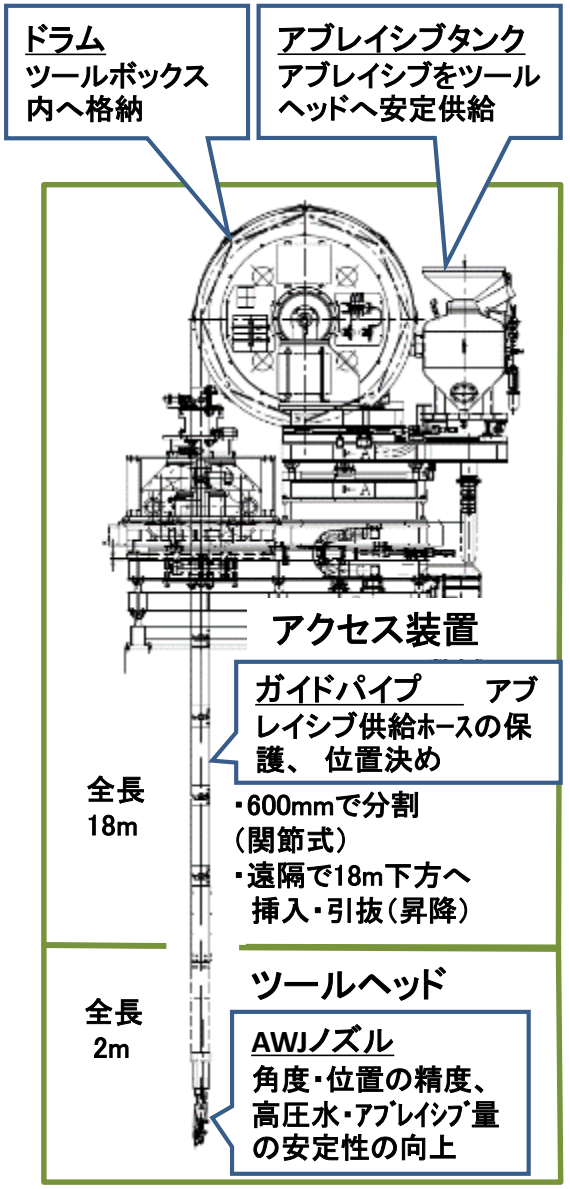
加工対象物	加工対象物の仕様	加工方法	要求開口径
ウェルカバー	材質：鉄筋コンクリート 板厚：618mm（上段）、610mm（中、下段）	コアボーリング AWJ（代替案）	φ750mm以上
PCVヘッド	材質：炭素鋼 板厚：30mm 曲率：8347mm	小径開口：機械加工※ 大径開口：AWJ	小径：φ40mm以上 大径：φ550mm以上
RPV保温材	材質：SUS304、A3004P-0 板厚：0.7mm／1.5mm	AWJ	φ600mm以上
RPVヘッド（予備ノズル部）	材質：ASTM A 533 Gr.B CL.1 板厚：最小75mm	小径開口：機械加工※ 大径開口：AWJ	小径：φ40mm以上 大径：φ300mm以上

※残留水素を考慮した工法を検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.3 上部穴開け調査 工法加工装置(2)炉内構造物加工

	実施項目	実施計画	実施内容・成果	備考
装置の構造設計	ツールヘッド小型化	・作業用セル内へ格納(高さ4m以下、暫定)のため、ツールヘッドの分割で小型化(600mm長さに関節で分割)	• ツールヘッド内部品の小型化・配置の見直しを実施。 • 現行設計との比較、成立性の見通し確認を実施。	2018年度実施済 簡易試験含む
	ガイドパイプ位置振れ低減	・ツールヘッド位置振れの低減のため、関節の固定、調整構造の見直し、精度向上の具体化	• ガイドパイプの位置振れの要因を調査し、改善案を検討。 • 改善案の部品設計・簡易試験を実施。	
	切断、アクセスの精度、施工性向上	・遠隔施工時の開口径精度向上、再加工作業低減のため、AWJ切断条件(組合せ角度・位置等)の見直し、装置の高度化・アブレイシブ供給の安定化(アブレイシブ消費量:200→最大500g/min)	• AWJ切断条件の見直しを検討。 • アブレイシブ供給の安定化のための要因を調査し、改善案を検討。 • アブレイシブ供給の安定化のためのパラメータの最適化、部品の再選定・追加を実施。	
要素試作・試験	炉内での干渉回避、開口位置決め方法	・装置設計(加工対象及び開口部の位置決め)に応じて、遠隔作業、監視の合理化	• 切断時の噴射反力による開口位置のズレを低減するために、噴射反力受けを設置。要素試験にて効果を検証・確認。	2019年度実施済 要素試験含む
	装置、システムの現場施工性	・遠隔作業、監視、用役管理の確認のため、ツールヘッドとアクセス装置の組合せによる試作、部分モックアップ試験	• 気水分離器・シュラウドヘッドの開口について要素試験計画を立案。連節ガイドパイプの直線性向上を確認。 • AWJの切断パラメータを再評価。加工速度等を調整した結果、アブレイシブの量を約20tから約9tに削減できることを確認.	
	炉内状況を想定した装置の合理化	・加工・調査ステップの策定(加工対象物の配置、穴開け位置、開口径)、炉内への加工片落下制限緩和に応じて、工法・装置の合理化	• 要素試験にてシュラウドヘッド切断条件を変更したことを受け、ツールヘッドに噴射反力受け兼加工片回収用治具を新設する設計とした.	



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

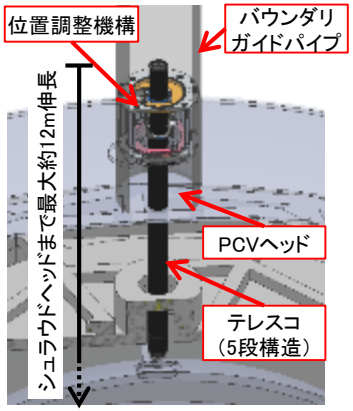
6.4.1.4 上部穴開け調査工法 調査システム

項目	実施計画	実施内容・成果	備考
調査装置の試作、アクセス性・操作性向上	・平成29年度に設計した装置や簡易試験によって明らかになった課題に対し、要素試作を行い機能確認を行う。 ・吊り下ろし装置と調査装置を組み合わせて炉内構造物に対するアクセス性確認試験を行う。	・本格調査装置（B2/B3）の部分試作評価結果に基づき調査装置全体の改良設計・試作を行い、構造物模擬環境下で、炉底部相当(約26[m])のアクセス性と、天球画像／円筒展開画像の取得を確認。 ・吊り下ろし装置（ケーブルドラム）のスリップリングによるノイズ評価結果に基づいて決定した機器配置構成で単一ケーブルドラム試作し、ノイズ評価を実施。ドラム駆動時には映像にノイズ混入するものの、操作に影響しない程度。Ethernet信号は専用スリップリングが必要。 ・調査装置・アクセス装置の設計確認を完了。	簡易試験、要素試験含む
推定される炉内状況に即した調査工法、装置検討	・炉心部の調査範囲を広げるために平成30年度に構想設計を行った横展開機構の展開量拡大機構および、その吊り降ろし機構としてのテレスコピックガイドパイプ機構の詳細設計と試作を行い、機能確認を行う。 ・炉内構造物に対するアクセス性確認試験を行う。	・炉心部の調査範囲を広げるために横展開機構の展開量を拡大した改良機構を試作。併せて横展開機構の吊り下ろしに適したテレスコガイドパイプおよびその位置調整機構を試作。 ・構造物模擬環境にて、上部格子板上までテレスコ伸展したあとに、横展開して調査装置Cを吊り下ろせることを確認。	簡易試験、要素試験含む
調査画像取得評価	・霧環境下における視認性確認試験を行う。 ・吊り降ろし時の揺れを考慮した鮮明化処理を構築する。（実績のあるPCV内部調査よりも吊り下ろし量が大きく、揺れの影響も大きいと想定される） ・取得した映像の画像処理技術の構築（天球画像等）。	・事前確認用（AHS/AHB）、本格調査用（B1/B2/B3/B4）について調査装置構成で視認性確認試験を完了（平成30年度）。 ・揺れ発生時にも対応する画像鮮明化アルゴリズムを構築完了。 ・吊り下ろし距離を模擬し、天球画像(B2)／円筒展開画像(B3)作成動作にて顕著な揺れが発生せず、隙間なく画像合成できることを確認。	簡易試験、要素試験含む

調査装置B2

調査装置B3

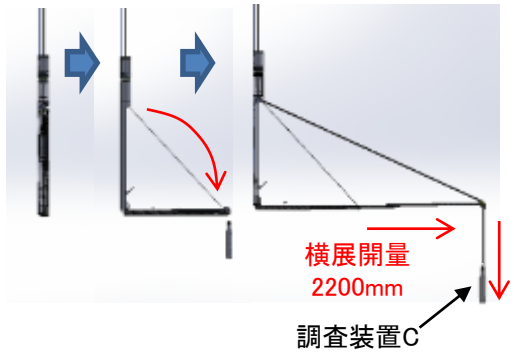
２重ケーブルドラム



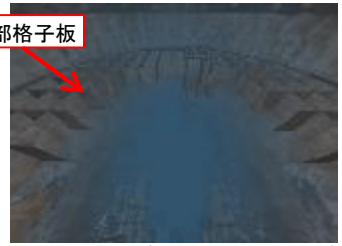
テレスコガイドパイプと位置調整機構（調査装置C用）

本格調査装置試験体

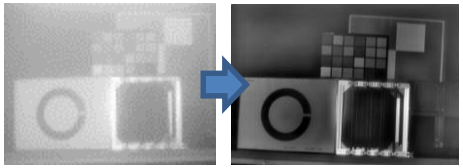
吊り下ろし装置



伸展量を拡大した横展開機構



天球画像取得イメージ
（上部格子板中央部が溶融と仮定）



原画像　鮮明化処理結果

揺れに対応した画像鮮明化処理

※：調査装置AHS、B1等については、設備・装置リスト(No.57) を参照

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.4上部穴開け調査工法 調査システム：調査装置の改良試作（調査装置B2）

2018年度の試作・評価

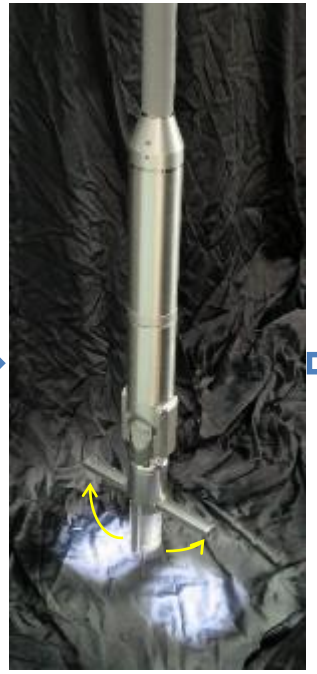
機構要素の機能検証

- 駆動機構の動作確認
  - 可動部の狭小空間に合わせてケーブルの細径化を図り、カメラ映像・センサ信号にノイズが乗らないことを確認
  - パン・チルトの動作に対して装置内配線の挙動に問題が無いことを確認
- 故障時回収性（スリップクラッチ動作）確認
  - チルト駆動できないときに外力によってスリップ動作させて引き上げ回収できることを確認

視認性の評価

- 暗闇霧環境下で視認性を評価

昇降姿勢


照明展開

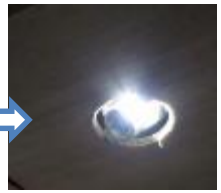
チルト90°姿勢

2019年度の設計・試作

全体試作

- 照明展開機構の追加
  - チルト軸に加え、展開軸にはスリップクラッチを搭載し、モータ故障時も装置引き上げ時に収納可能
- 制御システム試作
  - パン・チルト指定角に対し、装置の揺動を抑制するように加減速制御し、±0.5°以内（目標±1.0°）に収まることを確認
  - 天球画像作成システムと連携した自動遠隔制御を実現

チルト90°、照明展開状態


開口を通過

スリップクラッチにより、装置故障時でも調査装置を強制的に引き上げることで構造物に押されてスリップ動作して回収可能

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.4 上部穴開け調査工法 調査システム :調査装置の改良試作（調査装置B3）

2018年度の試作・評価

機構要素の機能検証

- 駆動機構の動作確認
  - パン動作に対して装置内配線の挙動に問題が無いことを確認
  - パン回転部のシール摩擦抵抗は、長時間静止させると約３倍（1.2[Nm]）に増加することを確認。装置に搭載した撮像管旋回ユニットを活用する設計としたが駆動トルク不足になる恐れがあることが判明。

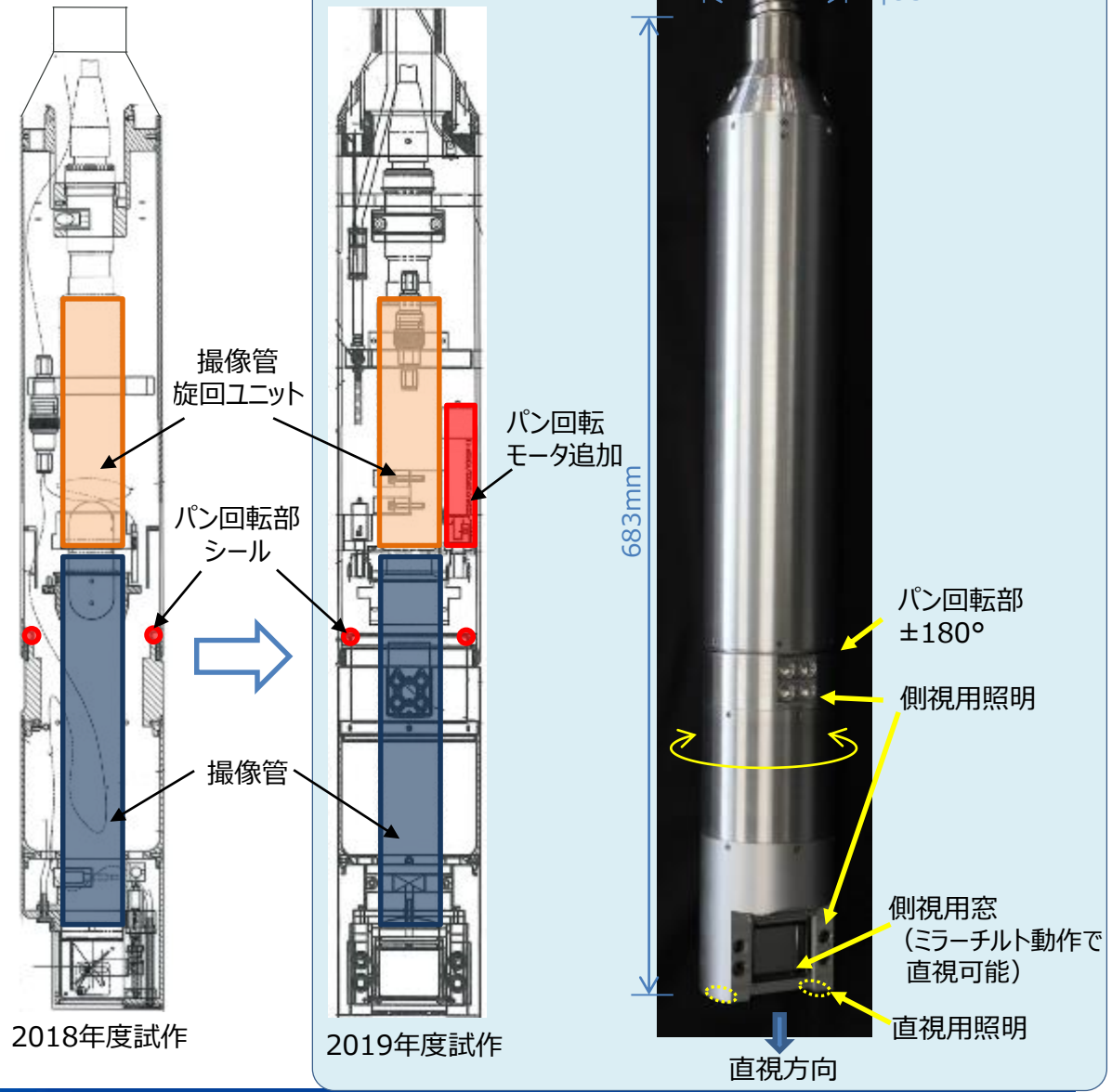
視認性の評価

- 暗闇霧環境下で視認性を評価

⇩

2019年度の設計・試作

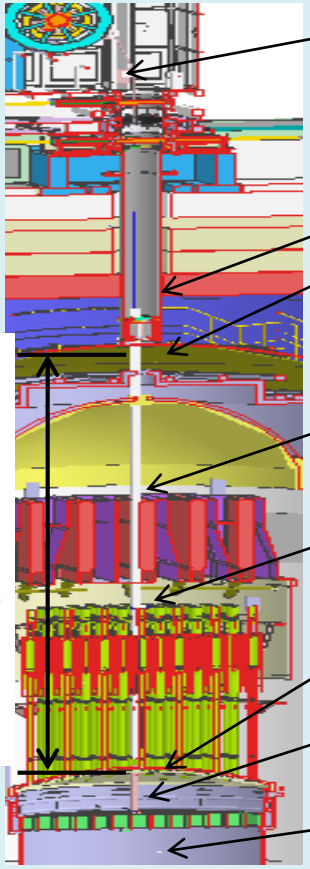
- パン回転トルクの向上
  - パン回転用モータを追加搭載して駆動トルクを2倍（2.6Nm）に向上し、確実なパン回転動作を実現
- 制御システム試作
  - 調査装置B2と制御器を共通化し、円筒展開画像作成システムと連携した自動遠隔制御を実現



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.4上部穴開け調査工法 調査システム：調査装置の改良試作 （調査装置C）横展開機構 アクセス装置構成

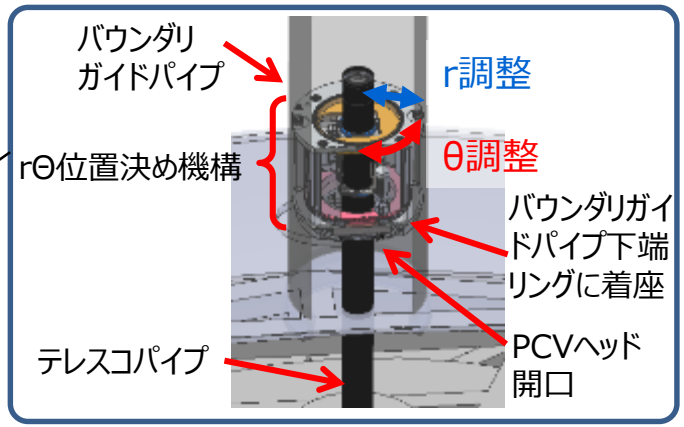
バウンダリガイドパイプ内のPCVヘッド部からテレスコパイプを伸展し、シュラウドヘッドの下方に横展開機構と調査装置Cを下ろし水平方向に展開して炉心部に広くアクセスする。



・横展開機構の昇降と展開、調査装置Cを昇降

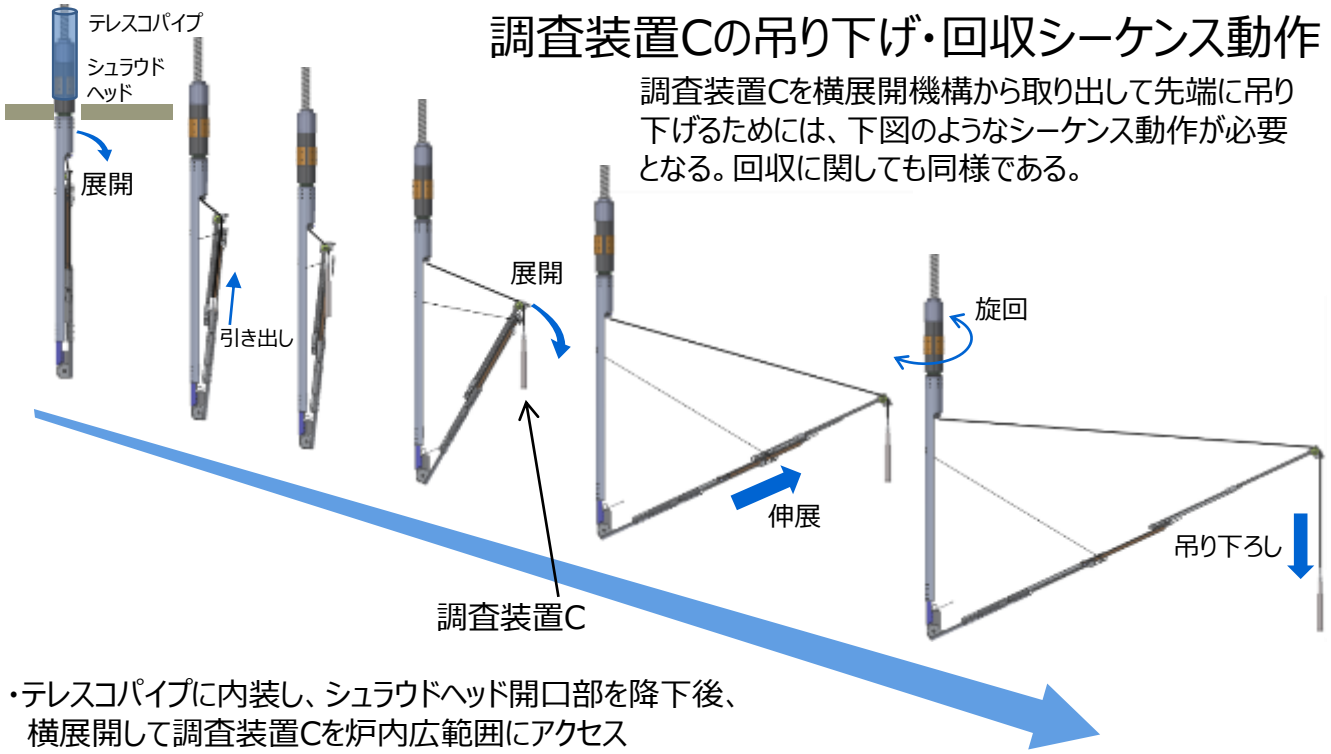
バウンダリガイドパイプ内でテレスコパイプの径方向rと周方向Θの位置を調整

CFRP製５段構造のテレスコで、横展開機構をシュラウドヘッド開口下に昇降



調査装置Cの吊り下げ・回収シーケンス動作

調査装置Cを横展開機構から取り出して先端に吊り下げるためには、下図のようなシーケンス動作が必要となる。回収に関しても同様である。



・テレスコパイプに内装し、シュラウドヘッド開口部を降下後、横展開して調査装置Cを炉内広範囲にアクセス

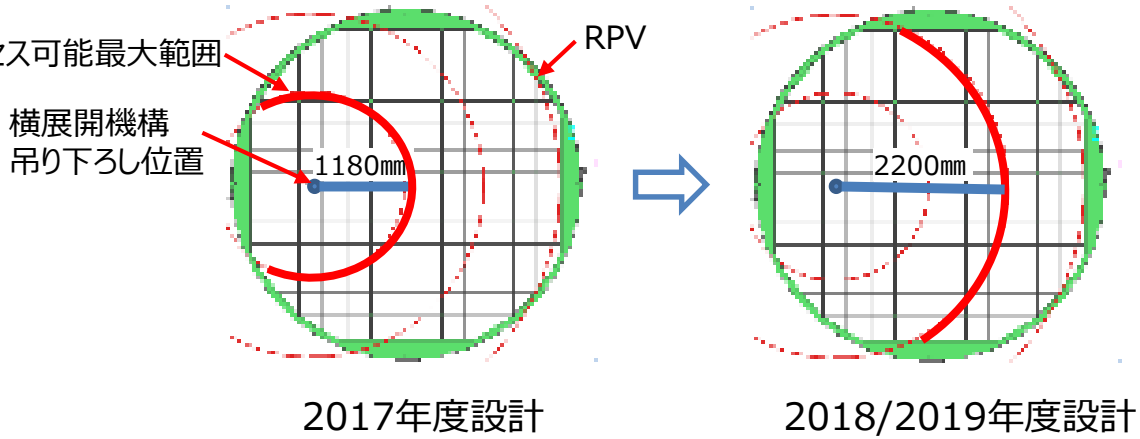
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.4上部穴開け調査工法 調査システム：調査装置の改良試作（調査装置C）横展開機構

2018年度の設計

機構の構想設計

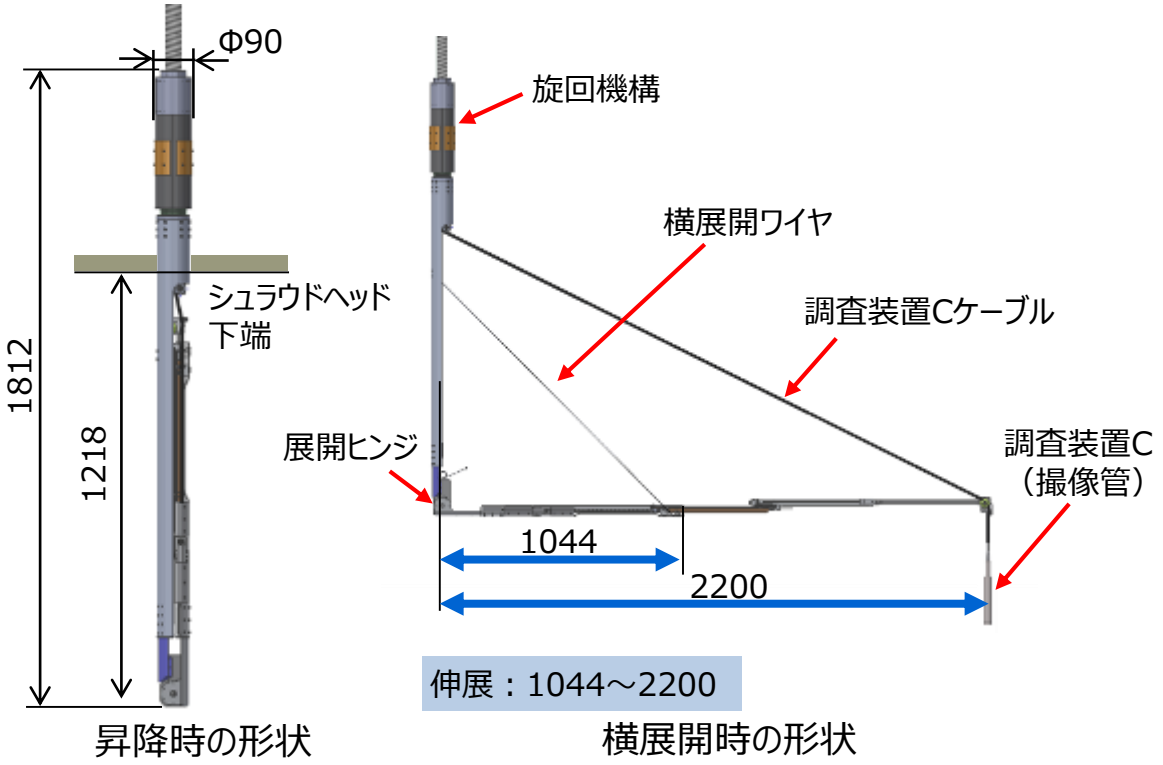
- 調査装置の吊り下ろし可能範囲拡大のための横展開量の拡大（2017年度設計時の展開量は1180mm）
- ➢ 横展開したアーム部に３段構造の伸展機構を搭載する構造を構想



2019年度の設計・試作

機構の詳細設計、制御系を含む試作

- ➢ 伸展機構の詳細設計および試作を完了し、伸展量2200mmを実現
- ➢ 単体機能確認およびアクセス性確認試験を実施



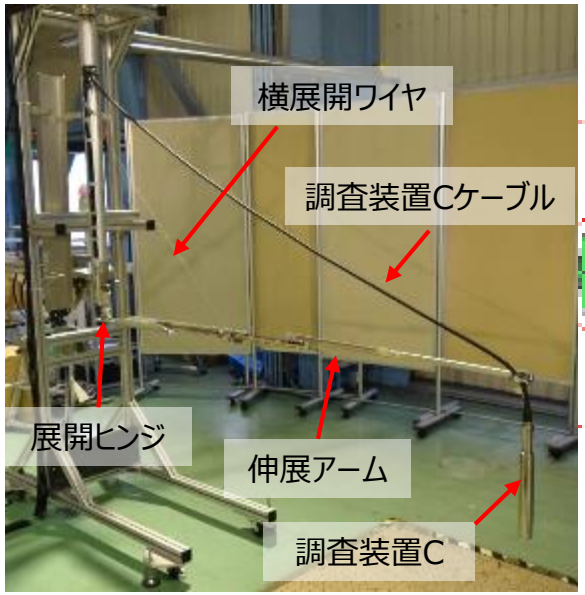
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.4上部穴開け調査工法 調査システム：調査装置の改良試作（調査装置C）横展開機構

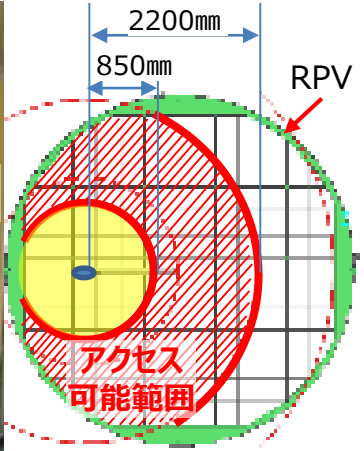
単体機能確認試験

＜目的＞
開閉・伸展動作ができること、調査装置Cを取り出して炉底部までの吊り下げ相当の荷重をかけて昇降動作ができること、伸展状態で旋回動作時の剛性を確認する。

試験項目	確認ポイント	試験結果
開閉動作 （ケーブル類は手動）	・0°～90° 横展開動作 ・調査装置Cの吊り下げ・回収	動作できることを確認し、詳細シーケンスを定義
伸展アームの伸展・縮小動作 （ケーブル類は手動）	・2200mmまでの伸展と縮小動作 ・上記動作のできる展開ヒンジの限界角度	・展開ヒンジが60°～90°のとき、2200mm伸展が可能 ・縮小は展開ヒンジの制限なく可能
旋回機構による±180° 旋回動作	・±180° の旋回動作	全領域旋回できることを確認。揺れを抑制するために0.3deg/sec以下で運用する。
10m（炉底部想定）昇降動作（ケーブル類は手動）	・10mのケーブル質量2kgを錘で模擬して昇降動作 ・上記動作のできる展開ヒンジの限界角度	・展開ヒンジが55°～90°の時、昇降できることを確認。（右上図850mm～2200mm）



横展開機構の試験体系



横展開機構の
アクセス可能範囲結果
（10m吊り下ろし）
黄色エリアは調査装置Bで調査

伸展アームの最大伸展姿勢(2200mm)

調査装置Cの吊り下げシーケンス動作

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5上部穴開け調査工法の要素試験計画（既報）

	試験項目	目的・必要性		試験概要
加工装置	①PCV/RPVヘッド小径穴開装置の現場施工性確認試験（既報）	2017年度の他事業※の要素試験にて、S/C上部の水素抜きのための小径穴開（φ10mm）について確認しているが、工法の合理化のため、水素抜きと事前確認用の加工（φ40mm）を一回の作業にて実施する工法について成立性を確認する。		模擬PCVヘッド、RPVヘッドを簡易試作機にて穴開作業を行い、以下を確認する。 ・PCV/RPVヘッドへのφ40mm以上の穴開可否 ・穴開時の反力/振動抑制方法の確認・仕様策定に資する情報取得
	②RPV保温材開口・撤去装置の現場施工性確認試験（No.45参照）	過年度試験時の課題（加工片回収時の保温材分離・脱落、ツール旋回機構へのアブレイシブ堆積、オフセット時のツール傾き）に対する対策案の成立性を確認する。また、2015年度にアクセスルート見直しの結果、開口径を拡大。保温材撤去（φ570mm）工法の成立性を確認する。		模擬保温材を簡易試作機にて開口・撤去作業を行い、以下を確認する。 ・開口時の切断片脱落事象への対策・仕様策定に資する情報取得 ・保温材撤去工法の成立性 ・ツール旋回機構へのアブレイシブ堆積への対策・仕様策定に資する情報取得 ・オフセット動作におけるツール傾き事象への対策・仕様策定に資する情報取得
	③炉内構造物加工装置の現場施工性確認試験（No.46-48参照）	(1)気水分離器開口	過年度試験時の課題（連節ガイドパイプの位置振れ、アブレイシブ供給量低下）に対する対策案の妥当性、および作業時間低減のために見直した加工条件の成立性を確認する。	模擬気水分離器を試作機にて開口し、以下を確認する。 ・連節ガイドパイプ位置振れ量 ・アブレイシブ供給量 ・φ160mmの開口可否 ・気水分離器内側への加工片落下の有無 ・作業時間
		(2)シュラウドヘッド開口	過年度試験時の課題（開口径不足）に対する対策案の成立性、および妥当性を確認する。	模擬シュラウドヘッドを試作機にて開口し、以下を確認する。 ・ツールヘッドと周辺構造物との干渉有無 ・φ110mm以上の開口可否 ・シュラウドヘッド加工片の回収可否
調査システム	④調査システムアクセス性確認試験（No.49-54参照）	調査装置A、Bについて、改良設計によるアクセス性改善効果（ケーブル曲がり癖の解消、中間屈曲の確実性向上）を確認する。調査装置Cについて、テレスコ機構の伸展・収納動作、開口部の通過性を確認する。		調査装置が通過する開口位置や加工面状態等の通過を阻害する条件を想定・模擬し、カメラ映像に基づいて遠隔操作し、以下を確認する。 ・開口部通過性（調査装置A/B/C） ・テレスコ機構の伸展・収納動作（調査装置C）
	⑤調査システム映像取得評価（調査システムB）（No.51-52参照）	調査装置B2（パンチルト駆動式）/B3（パン駆動・チルトミラー式）について、天球画像（調査装置B2）／円筒展開画像（調査装置B3）を隙間なく作成できるかおよび昇降移動に伴う揺動の影響を評価する。		本格調査用の調査装置B2/B3を撮影ポイントに昇降移動させ、計画した手順で画像を取得し、以下を確認する。 ・天球画像（B2）、円筒展開画像（B3）の作成精度 ・装置揺動が低減するまでの待機時間を含めた所要撮影時間

※：原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験
②RPV保温材開口・撤去装置の現場施工性確認試験

＜目的＞

模擬保温材を簡易試作機にて開口・撤去作業を行い、以下を確認する。

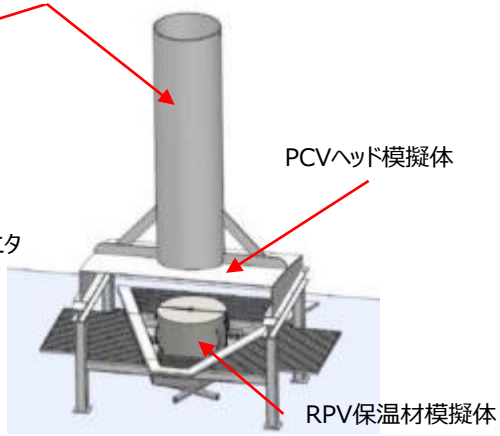
・開口時の切断片脱落事象への対策・仕様策定に資する情報取得
・保温材固定金具の切断、撤去工法の成立性
・ツール旋回機構へのアブレイシブ堆積への対策・仕様策定に資する情報取得
・オフセット動作におけるツール傾き事象への対策・仕様策定に資する情報取得

＜試験項目＞

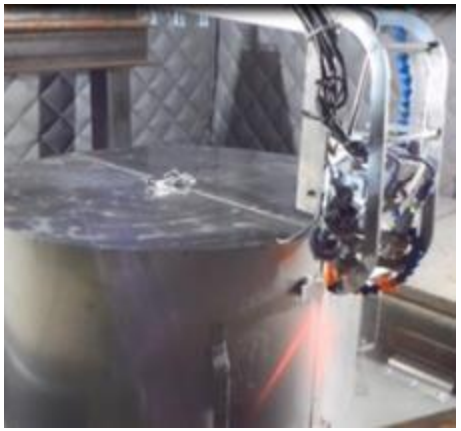
下記２パターンにて実施

・オフセットなし（ガイドパイプとRPV予備ノズルフランジの中心軸がずれていない場合）
・オフセット100mm（中心軸が100mmずれている場合）

＜試験設備＞



＜固定金具切断＞



＜保温材撤去＞

＜試験結果および詳細設計時に考慮すべき事項＞

・100mmオフセット無しと有りの２パターンとも固定金具切断及び把持による撤去が可能であった。
・非常に狭隘なスペースで遠隔作業を実施する必要があるため、装置の小型化およびカメラ台数の追加等により、更なる遠隔作業の作業性向上を図る必要がある。
・インシュレーションの残置方法としては、撤去したインシュレーションを横に倒す方法と立てたままとする方法の２種類について試験を行い、双方とも実施可能であった。今後、作業員による遠隔作業の習熟訓練等を通じて、作業員の負担の小さい方法を選択していく必要がある。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

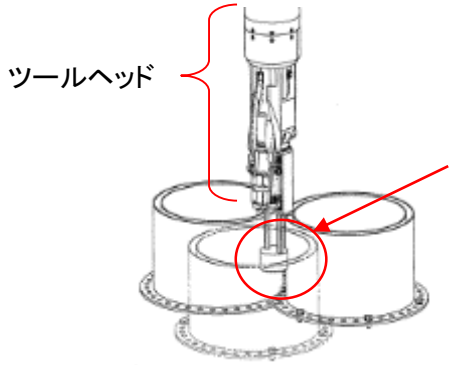
6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

③炉内構造物加工装置の現場施工性確認試験　要素試験結果：（1）気水分離器開口①

<目的>
過年度試験時の課題（連節ガイドパイプの位置振れ、アブレイシブ供給量低下）に対する対策案の妥当性、および作業時間低減のために見直した加工条件の成立性の検証

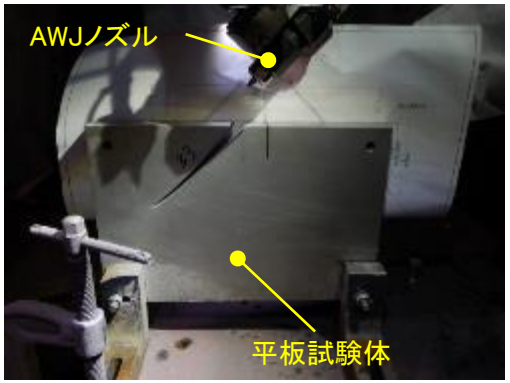
<確認項目>
3種類の試験体(平板試験体、気水分離器上部模擬体、気水分離器下部模擬体)に対し、炉内構造物加工装置試作機にて開口し、以下を確認する。
- ・AWJ噴射による連節ガイドパイプ位置振れ量
- ・アブレイシブ供給量
- ・φ160mmの開口可否
- ・気水分離器内側への加工片落下の有無
- ・作業時間

<試験結果>：平板試験体切断結果
気水分離器と同程度の高さに設置した平板試験体に対し、AWJ切断を実施したところ、噴射反力によるツールヘッドの位置振れ量が最大で60mm程度あり、許容値を超えることを確認。
⇒対策として、ツールヘッド先端に噴射反力受け治具を追加。



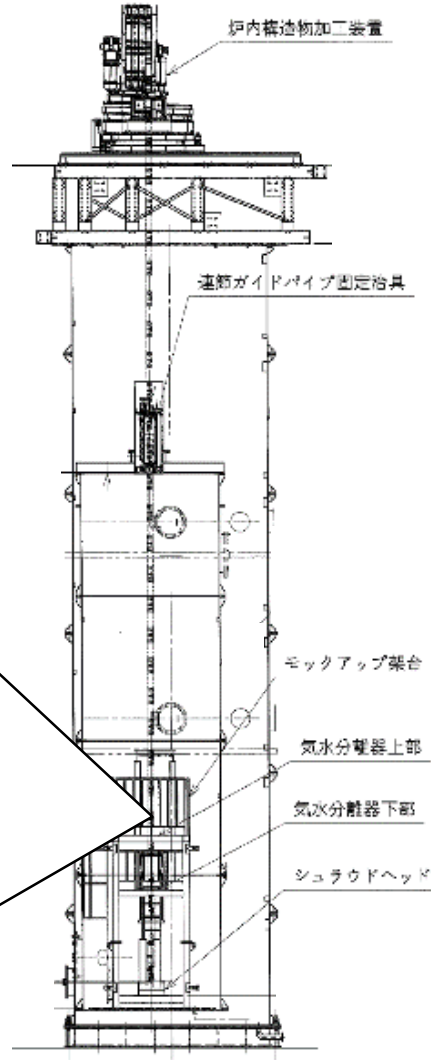
噴射反力受け治具

噴射反力受けを気水分離器3筒の隙間に差し込むことで、ツールヘッドの軸を3筒中心に合わせ、かつ、治具が気水分離器の外筒に接することで、噴射反力を受ける



平板試験体切断

平板試験体切断結果



試験設備

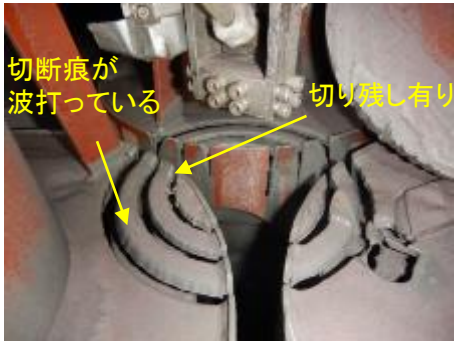
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

③炉内構造物加工装置の現場施工性確認試験　要素試験結果：（1）気水分離器開口②

<試験結果>：気水分離器上部模擬体、気水分離器下部模擬体切断結果

確認項目	確認結果
AWJ噴射による連節ガイドパイプ位置振れ量	加工後に切れ残しは無く、切断痕の形状も概ね一様であることから、気水分離器の開口に十分な程度まで、ツールヘッドの位置振れ量を低減できていることを確認。
アブレイシブ供給量	加工後に切れ残しは無く、切断痕の表面が一様に滑らかであることから、気水分離器の開口に十分な程度まで、アブレイシブ供給量を安定して維持できていることを確認。 (試験時のアブレイシブ供給量：　589～703 g/min)
φ160mmの開口可否	切断後の開口部に外形160mmの円筒を通過させ、φ160mm以上の穴が開いていることを確認。
気水分離器内側への加工片落下の有無	気水分離器内側に加工片の落下が確認されたが、いずれも16kg未満のサイズであり、仮に炉心へ落下した場合でも、燃料デブリが臨界に至る可能性は低いことを確認。
作業時間	本試験結果を踏まえ、気水分離器開口にかかる切断時間(AWJ噴射時間)は、合計で約228hと算出され、2017年度の試験結果(約702h)と比較し、70%程度の削減を確認。 アブレイシブ総使用量については、約9tonと算出され、2017年度の試験結果(約21ton)と比較し、60%程度の削減を確認。パラメータを最適化することで、さらなる減量は可能な見込み。



2017年度の切断痕(例)

2019年度の切断痕(例)

開口径の確認

気水分離器内に落下した加工片(例)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

③炉内構造物加工装置の現場施工性確認試験　要素試験結果：(2)シュラウドヘッド開口

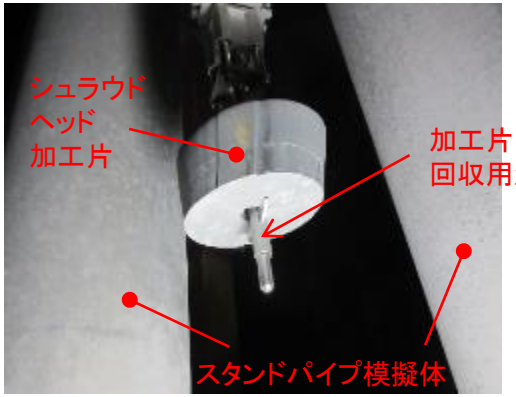
<目的>
過年度試験時の課題(開口径不足)に対する対策案の成立性、および妥当性の検証

<確認項目>
シュラウドヘッド模擬体に対し、炉内構造物加工装置試作機にて開口し、以下を確認する。
・ツールヘッドと周辺構造物との干渉有無
・シュラウドヘッドへのφ110mm以上の開口可否
・シュラウドヘッド加工片の回収可否

<試験結果>
- 気水分離器とは形状の異なる噴射反力受けをツールヘッド先端に追加し、試験を実施したところ、ツールヘッドと周辺構造物(スタンドパイプ)との干渉は確認されなかった。
- シュラウドヘッドの開口はφ110mmに満たなかったため、切断条件を見直して再切断したところ、φ110mm以上の開口は可能であることが確認できた。
- シュラウドヘッドの加工片回収も可能な見込みであることを確認した。
- 噴射反力受けの追加および切断条件見直し結果を、ツールヘッド設計に反映することとした。

シュラウドヘッド加工用噴射反力受け治具

シュラウドヘッド切断後の状況



シュラウドヘッド加工片

シュラウドヘッド開口径の確認

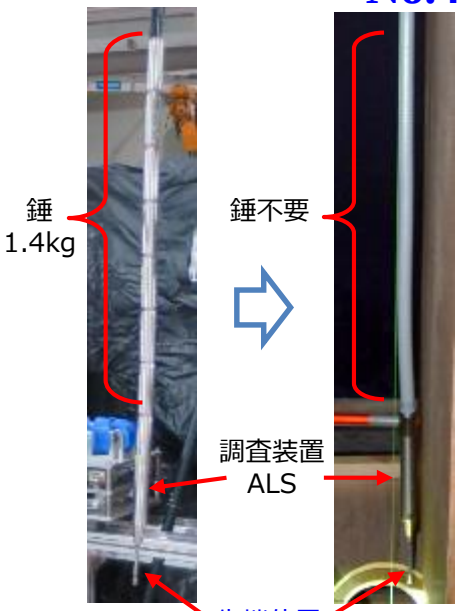
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験
④調査システムアクセス性確認試験(調査装置ALS)

＜目的＞
ケーブル曲がり癖を低減するための改良（シース管とその被覆、工業用内視鏡ケーブルの柔軟化）によるアクセス性改善効果と、試作したケーブルドラムと組み合わせてアクセス操作できることを確認する。

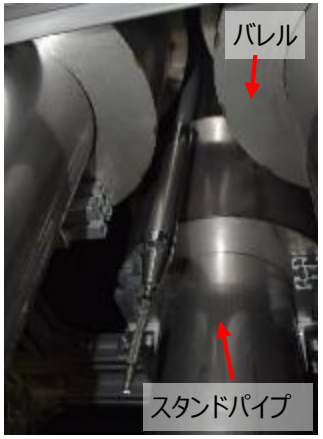
＜試験結果＞
- 小径開口（φ40㎜）に対して吊り下ろし位置を遠隔操作により調整し、引っかかることなく通過できることを確認。特に長尺開口（ウェルカバー）に対する通過性が改善した。
- ケーブルが柔軟になったため、吊り下ろし位置の調整動作（水平移動速度1mm/s）において、改良前装置よりも揺れが大きくなったが、試験で各開口を通過できたこと、これよりも低速にした場合に映像の変化で移動方向を判断することが困難になることから、この速度で運用するものとする。
- 引き上げ時に、故意に開口に調査装置を引っかけようとしても引っ掛かりは発生しなかった。

調査ステップ	確認ポイント	試験結果
ウェルカバー下（PCVヘッド）事前調査	最小開口φ40mmのうち最も長い618mmの長尺開口への位置決め・通過	開口に挿入する際に調査装置の先端が開口端部に突っかかったが調査装置の映像で状況を認識でき位置調整可能。改良前はシース管の曲がり癖によって開口内面に突っ張ることで引っ掛かっていたが、改良後はスムーズに通過できることを確認した。往復時間は約15分。
蒸気乾燥器底板下（気水分離器上）事前調査	最下端位置にあるφ40mmの開口への位置決め・通過	約18m下降して開口直上で位置決めし、通過できることを確認。引っ掛かりは発生せず。往復時間は約25分。
気水分離器外側・シュラウドヘッド調査	気水分離器のバレルと連結棒からなる狭隘部への位置決め・通過	蒸気乾燥器上と底板直上、気水分離器連結棒直上で位置調整し、気水分離器外側を通過してシュラウドヘッドまでのアクセスができることを確認した。往復時間は約45分。



（錘を付けてもずれ量が大きく、アクセス性が悪い）

蒸気乾燥器底板下(気水分離器上部)調査の様子



気水分離器バレル下の通過の様子

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

④調査システムアクセス性確認試験(調査装置ALB/AHB：中間屈曲機構)

＜目的＞

改良した調査装置ALB/AHBについて、アクセス性の改善効果を確認する。

調査装置ALB：工業用内視鏡のケーブル曲がり癖の低減改良（柔軟化）と先端錘を材質変更して小型化したことの効果

調査装置AHB：筐体を材質変更して質量増加を図ったことによる効果（重力による推進力増加）

＜試験結果＞

- 調査装置ALB/AHBともに蒸気乾燥器底板開口の近傍にある気水分離器３筒のいずれにもアクセスしてシュラウドヘッド下に吊り下ろせることを確認した。また、狭隘なスワラ部も引っかかることなく昇降できることを確認した。

調査ステップ	確認ポイント	試験結果
気水分離器上部開口へのアプローチ	中間屈曲機構の操作による気水分離器上部開口への進入	**調査装置ALB**:目標気水分離器方向に屈曲動作してから気水分離器方向にXY位置決め機構で移動して近づくことで進入できることを確認した。 **調査装置AHB**:目標気水分離器方向に屈曲後、XY移動することなく進入できることを確認した。 ツールボックスからの往復時間はALB/AHBどちらも約15分。
気水分離器内部（内側段差・スワラ）通過	中間屈曲機構・ケーブルドラムの操作による気水分離器内部の段差とスワラの通過	**調査装置ALB**:工業用内視鏡の先端屈曲動作を活用して段差を回避し、スワラ開口に先端を挿入して通過できた。引っ掛かりなし。 **調査装置AHB**:先端屈曲機構が無いが、中間屈曲機構を使って先端を揺らしながら送り込むことでスワラ開口に先端を挿入して通過できた。引っ掛かりなし。
シュラウドヘッド下（炉心部）調査～回収	炉心部への吊り下ろしと、ケーブルドラム操作による吊り上げ回収	**調査装置ALB**:引っかかること無く吊り下ろし、吊り上げ回収できることを確認した。気水分離器上端から炉底部までの往復時間は約50~55分。 **調査装置AHB**:同上。上記往復時間は約50分。 ※上部格子板/炉心支持板の模擬範囲外に吊り下りた場合は到達できるところまで確認。

調査装置ALB　　調査装置AHB

気水分離器上部開口へのアクセスの様子

スワラ上部に吊り下ろし　　中間屈曲動作で先端揺らしながら吊り下ろし　　スワラ開口に先端挿入

気水分離器スワラ挿入の様子（調査装置AHB）

※調査装置ALBは先端屈曲動作により揺らすことなく挿入可能

※カメラ映像：調査装置ALBは工業用内視鏡の映像、調査装置AHBはファイバースコープが構造模擬体であり映像取得できないため別カメラの映像で俯瞰監視して操作

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

④調査システムアクセス性確認試験（調査装置B2/B3）

⑤調査システム映像取得評価（調査装置B2/B3）

＜目的＞

試作した調査装置とケーブルドラムを組み合わせてアクセス操作できることを確認する。また、併せて天球画像（B2）／円筒展開画像（B3）を作成し、作成に影響する調査装置の揺動の発生有無、揺動が収束するまでに必要な時間、撮影所要時間を確認する。

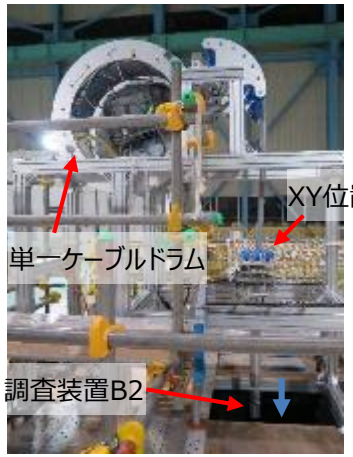
＜試験結果＞

- 各開口に対して調査装置の映像をもとに吊り下ろし位置を調整して通過できることを確認した。調査装置が開口に引っ掛かった時は調査装置が傾くため取得映像で検知することができ、傾き方向から接触方位も判断できることから引っ掛かりを解消するための操作ができることを確認した。
- 昇降動作、XY位置調整動作、パン・チルト動作によって、開口へのアクセス性や取得画像のパノラマ合成に影響する揺動は発生しないことを確認した。

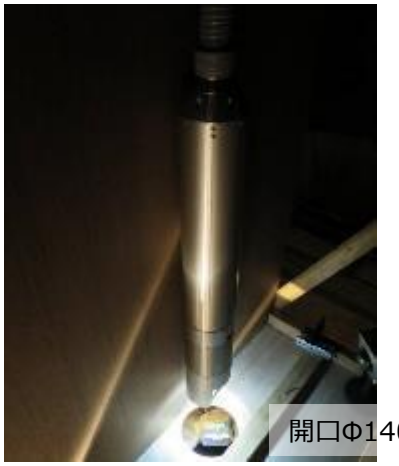
調査ステップ	確認ポイント	試験結果
RPVヘッド下詳細調査	RPVヘッド下位置での天球／円筒展開画像取得、揺動影響	B2：ツールボックスからの往復時間：約25分 天球画像取得：約140分 B3：ツールボックスからの往復時間：約20分 円筒展開画像取得：約60分
炉心部（上部格子板下）詳細調査	上部格子板下位置での天球／円筒展開画像取得、揺動影響	B2：天球画像取得：約150分 B3：円筒展開画像取得：約60分
炉心支持板下詳細調査	炉心支持板上位置での天球／円筒展開画像取得、揺動影響	B2：ツールボックスからの往復時間：約65分 天球画像取得：約130分 B3：ツールボックスからの往復時間：約50分 円筒展開画像取得：約60分

・調査装置B2において、パン・チルト動作により発生する微小な揺動は1分未満でパノラマ合成処理に問題ない振幅に収束した。
・調査装置B3は、パン・ミラーチルト動作による揺動は全く発生しなかった。

＜撮影画像数＞
天球画像：276枚、円筒展開画像：126枚（高さ1.25m分）

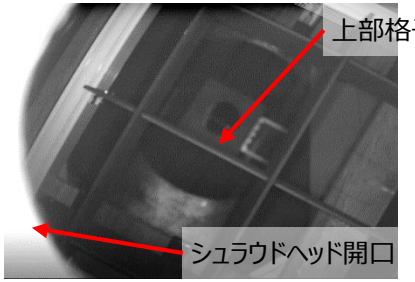


アクセス装置



蒸気乾燥器底板開口通過の様子
（調査装置B3）

シュラウドヘッド開口を通過後、
パン・チルト動作、照明展開した状態
（調査装置B2）

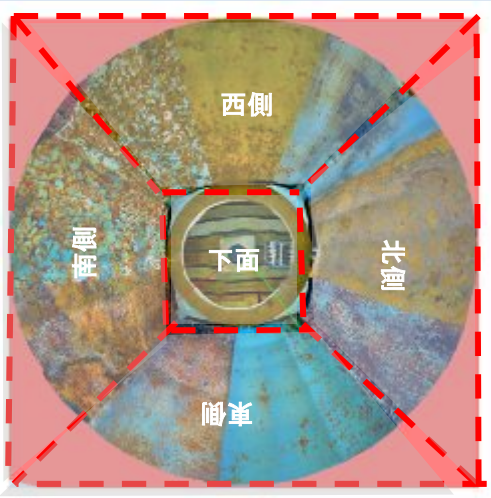


シュラウドヘッド開口通過時の
調査装置映像（調査装置B3）

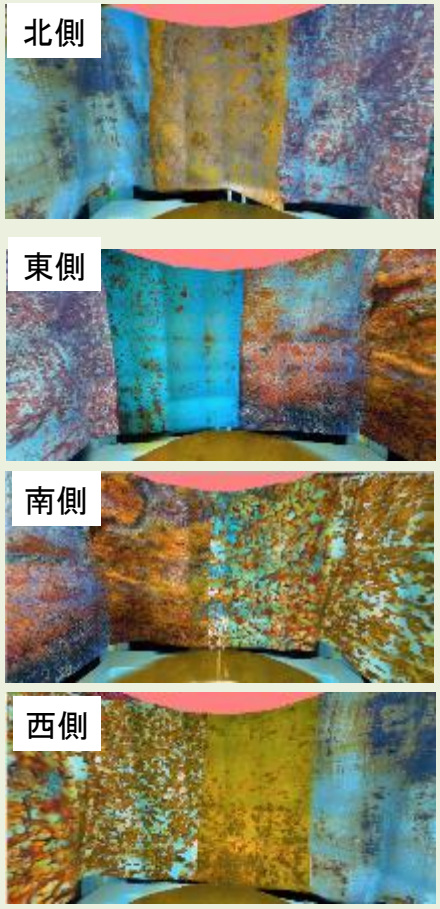
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

④調査システムアクセス性確認試験（調査装置B2/B3）
⑤調査システム映像取得評価（調査装置B2/B3）

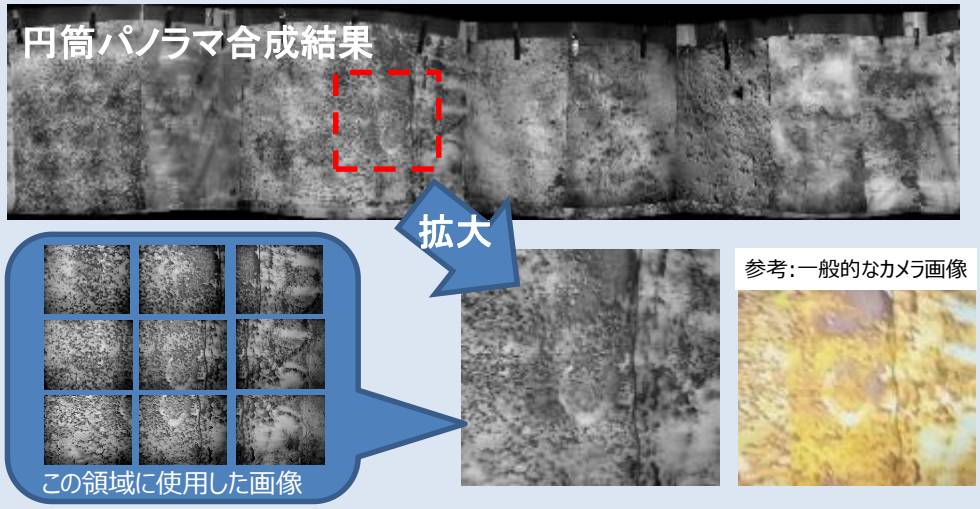


天球パノラマ合成結果

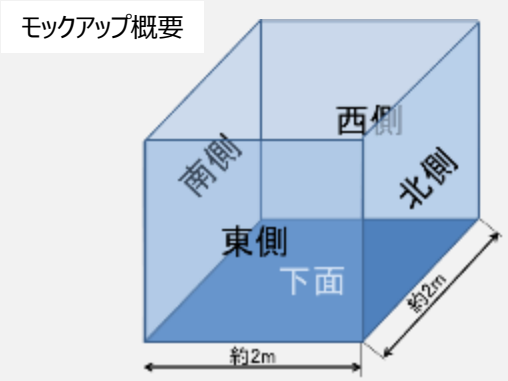


天球パノラマ合成詳細

天球パノラマ合成結果（調査装置B2）：上部格子板下



円筒パノラマ合成結果（調査装置B3）：上部格子板下



モックアップ中心から撮影。壁面には暗幕を貼り、内側に錆面模様を印刷した布を設置した。

試験環境について

パン・チルト動作による調査装置の揺れは発生せず、画像結合処理により隙間ができること無くパノラマ合成できることを確認

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

④調査システムアクセス性確認試験(調査装置C)

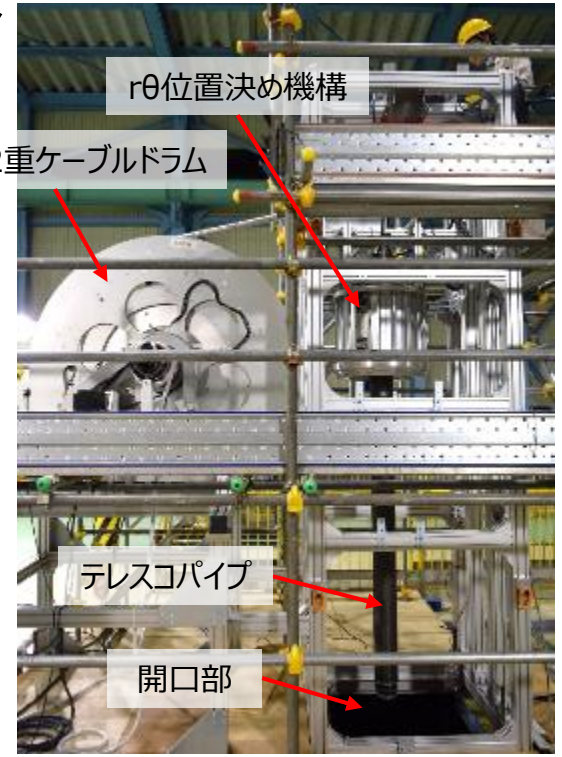
1.テレスコガイドパイプ昇降試験

＜目的＞

調査装置Cの映像および操作画面に表示している装置各軸値をもとに、炉内構造物の開口を通過して上部格子板上方へ調査装置Cをアクセスさせることが可能か確認する。試験はrθ位置決め機構が着座した状態から実施した。

＜試験結果＞

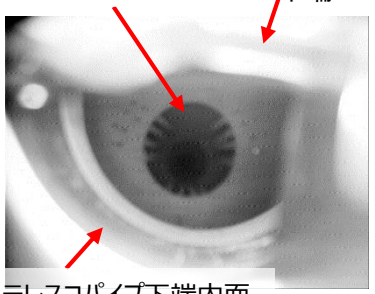
試験項目	確認ポイント	試験結果
炉内構造物 アクセス性 確認試験	①蒸気乾燥器底板開口部 φ200の通過 ②気水分離器バレル開口部 φ140の通過 ③シュラウドヘッド開口部 φ110の通過 ④上部格子板上方への到達 ⑤吊り下ろし位置の調整	・全ての開口部の通過と位置調整が可能であることを確認。 ・テレスコ位置調整は映像内のテレスコパイプと開口部の位置から判断して操作できることを確認。 ・テレスコパイプ位置決め開始から、上部格子板上方到達までの時間は約30分。
引っ掛かり 解消確認試験	調査装置Cの映像からテレスコパイプの引っ掛かり検知および解消の操作ができるかを確認する。	・昇降両方向とも引っ掛かり発生時に調査装置Cがテレスコパイプ内で移動するため、映像で検知できることを確認(テレスコパイプ内面が視野に入ることが重要)。 ・吊り下ろし時はテレスコパイプのガタにより構造に倣うため引っ掛かりにくいことを確認。 ・引き上げ時にテレスコパイプの先端金具が引っ掛かると、引っ掛かった方位が分からず解消に時間がかかるため金具の形状改良が必要。



調査装置Cアクセス装置の試験機

着座位置

横展開姿勢



調査装置Cの映像

気水分離器
バレル開口通過時

引っ掛かり位置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験

④調査システムアクセス性確認試験(調査装置C)

2.横展開機構展開・調査装置C吊り下ろし試験

＜目的＞

調査装置Cを上部格子板の目標格子位置に対して、旋回、展開、伸展操作を行ってアクセスし、吊り下ろすことが可能か確認する。また、調査装置Cが上部格子板に引っ掛かった時に、調査装置Cの映像だけで引っ掛かりを解消する操作ができるか確認する。なお、構造物模擬環境の寸法制約から、この試験は横展開機構のみで実施する。

＜試験概要＞

➢ 上部格子板アクセス性確認試験

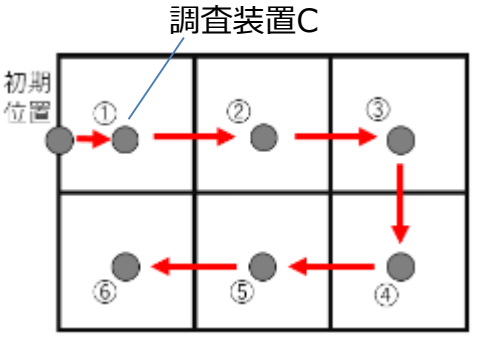
調査装置Cを上部格子板模擬体において、図(a)のように初期位置からスタートし、①～⑥へ順番に吊り下ろせるか確認する。上部格子板模擬体の配置位置は図(b)のように0°方位（主に伸展操作）と45°方位（伸展と旋回の組み合わせ操作）の位置とした。試験は環境を模擬するために暗闇とし、装置操作は調査装置Cのみの映像で行う。

➢ 上部格子板引っ掛かり解消試験

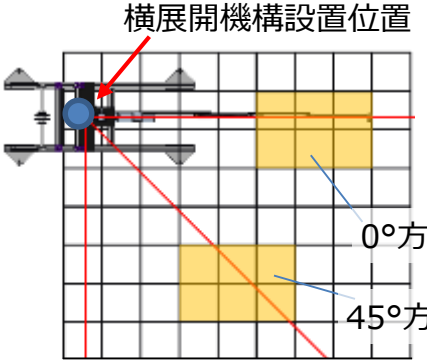
調査装置Cの引き上げ時に上部格子板に引っ掛かった状態を模擬し、調査装置Cの映像から引っ掛かり箇所を判断して解消させる操作ができるか確認する。

＜試験結果＞

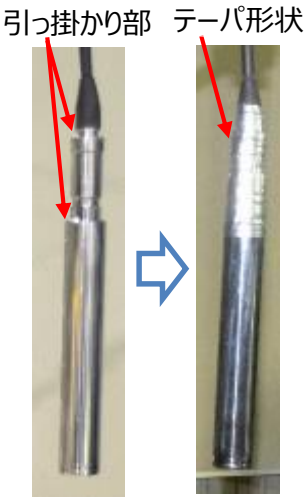
試験項目	確認ポイント	試験結果
上部格子板アクセス性確認試験（ケーブル類は手動）	調査装置Cの映像のみで、目標格子位置へ吊り下ろせるか	各目標格子位置に吊り下ろせることを確認。格子板の上面や側面を目印に操作する。隣接した格子への位置決め時間は5～6分程度。
上部格子板引っ掛かり解消試験（ケーブル類は手動）	調査装置Cの映像のみで引っ掛かりを検知し、解消できるか	映像から引っ掛かりを検知できるが、調査装置の姿勢が変わらないため引っ掛かった方位の判断が困難であり、解消する操作はできなかった。実機では装置の各軸値から吊り下ろし位置を図示する支援ツールを用意するものとする。調査装置のコネクタ部で引っ掛かるが、テーパ形状とすることで抑制できることを確認。



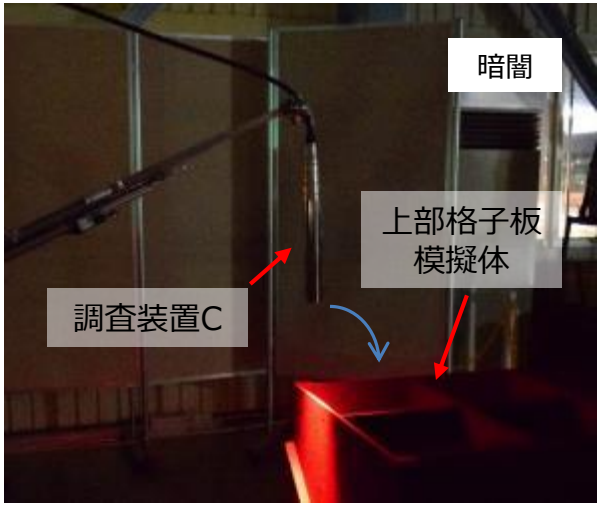
(a)調査装置Cの吊り下ろし順序



(b)上部格子板模擬体の配置位置



調査装置C形状改良



試験風景

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備仕様　各種パラメータ
加工時に使用するアブレイシブ、水の使用量（概算見積）について

加工対象物		開口条件	工法	作業時間(分)	使用水量(L)	アブレイシブ量(kg)
ウェルカバー	1/2層目穿孔	φ950mm	コアボーリング	900	30,000	—
	3層目穿孔	φ750mm	WJ／AWJ	420	10,000	500
PCVヘッド	表面処理	—	WJ	120	600	—
	小径穿孔	φ40mm	ドリル	15	—	—
	大径穿孔	φ550mm	AWJ	160	700	130
RPV保温材	固定金具切断	—	AWJ	60	300	50
	撤去	φ570mm	把持・移動	60	—	—
RPVヘッド	予備ノズル清掃	—	WJ	180	700	—
	小径穿孔	φ40mm	ドリル	30	—	—
	フランジ開口	φ385mm	AWJ	90	400	80
	ノズル撤去		AWJ	40	200	40
	根本撤去		AWJ	240	1,000	190
蒸気乾燥器	底板　小径	φ40mm	AWJ	5	19	3
	底板　大径	φ184mm	AWJ	30	111	15
気水分離器	連結棒	φ190mm	AWJ	120	444	60
	本体	φ162mm（78段）	AWJ	42,120	156,000	21,060
シュラウドヘッド	加工片回収用穴	φ12mm	AWJ	10	37	5
	調査装置通過用穴	φ120mm	AWJ	40	148	20
合計				44,640	200,659	22,153
				約745時間 約31日	約201ton	約22ton

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備仕様　設備・装置リスト(1/2) No.56

No.	装置・設備名	概要
1*	作業用セル	PCVバウンダリが万が一に破れた場合に環境への汚染物質拡散防止、作業における作業者の保護、装置使用環境の提供を行う負圧環境の仮設設備
2	ツールボックス搬送台車	ツールボックスを遠隔で開口部まで搬送する装置
3	連結機構	ツールボックスとバウンダリガイドパイプを遠隔で接続する機構
4	バウンダリガイドパイプ側ゲートバルブ	PCVと接続されたバウンダリガイドパイプを隔離するためのバルブ
5*	バウンダリガイドパイプ	PCVヘッド開口後のバウンダリ維持のための設備
6	バウンダリガイドパイプ設置装置	バウンダリガイドパイプを設置するための装置
7	遮蔽台車	ツールボックスを設置していない時に開口部上を遮蔽するための台車
8	クレーン台車	バウンダリガイドパイプ側ゲートバルブのメンテナンス用のクレーン台車
9	バウンダリガイドパイプ内面水噴射装置	バウンダリガイドパイプの内面へ水を噴射する装置
10	ツールボックス1	各調査装置・アクセス装置、炉内構造物加工装置を収納する容器
11	ツールボックス2	RPVヘッドまでの加工装置等を収納する容器
12	ツールボックス3	RPVヘッドまでの加工装置を収納する容器
13	ウェルカバーコアボーリング装置	ウェルカバー(第1 層および第2 層)の穿孔を行うための装置
14	ウェルカバーAWJ はつり装置	ウェルカバーへの小径穿孔、第3 層の撤去、及び第1 /2層目変形時のバックアップとして準備する装置
15	PCVヘッド表面処理装置(WJ)	PCVヘッド表面のガイドパイプ設置面及びその周辺部の塗装剥離・異物除去を行い、ガイドパイプのシール工法に有意な悪影響を及ぼさないようにPCVヘッド表面を加工する装置
16	PCVヘッド表面処理装置(ブラシ)	PCVヘッド表面処理装置(WJ)にて除去できなかった塗装・異物をPCVヘッド表面から除去する装置

No.	装置・設備名	概要
17	PCVヘッド表面計測装置	3Dレーザスキャナを用いてPCVヘッドのガイドパイプ設置面周辺の形状計測を行うための装置。
18	PCVヘッド小径穿孔装置	PCVヘッド内部滞留水素による悪影響のリスクを排除するため、本格開口作業を実施する前にPCVヘッドへの小径穿孔を行うための装置
19*	PCVヘッド開口装置	PCVヘッドの開口を行うための装置
20	RPV保温材固定金具切断装置	保温材の固定金具を切断するための装置
21	RPV保温材撤去装置	RPV予備ノズル撤去に影響ない範囲の保温材の撤去を行うための装置
22	RPV予備ノズルクリーニング装置	RPV予備ノズル撤去範囲における残存した保温材及び金属片等を取り除くための装置
23	RPV予備ノズル表面計測装置	3Dレーザスキャナを用いてRPV予備ノズル周辺の形状計測を行うための装置
24	RPV予備ノズルフランジ小径穿孔装置	RPV予備ノズル内部滞留水素による悪影響のリスクを排除するため、本格開口作業を実施する前にRPV予備ノズルフランジへの小径穿孔を行うための装置
25	RPV予備ノズルフランジ開口装置	RPV予備ノズル閉止フランジの開口を行うための装置
26	RPV予備ノズル内側切断装置	AWJツールを当該ノズル内部に挿入し、ノズル内側から当該ノズルを切断し、ノズル上部の撤去を行うための装置
27	RPV予備ノズル外側切断装置	AWJツールを当該ノズルの外側からRPV予備ノズルの根元部(RPVヘッド表面)にアクセスさせ、当該ノズルを根元から切断し、ノズル下部の撤去を行うための装置
28*	炉内構造物加工装置	蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッドの開口を行うための装置
29	炉内構造物加工装置固定治具	炉内構造物加工装置の連節ガイドパイプを固定するための装置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備仕様　設備・装置リスト(2/2)

No.	装置・設備名	概要
30	調査装置ALS	炉内構造物に小径の開口(φ40mm)を加工したのち、その下部にある構造物や環境(空間線量率、温度)の状態や次ステップの加工可否を確認するための事前調査装置
31	調査装置AHS	炉内構造物に小径の開口(φ40mm)を加工したのち、その下部にある構造物や環境(空間線量率、温度)の状態や次ステップの加工可否を確認するための事前調査装置
32	調査装置ALS/AHSアクセス装置	調査装置ALS/AHSをツールボックスからシュラウドヘッドまで吊り下ろすための装置
33	調査装置ALB	気水分離器内側へ進入し、通過できた場合に炉心部を調査するため装置
34	調査装置AHB	気水分離器内側へ進入し、通過できた場合に炉心部を調査するため装置
35	調査装置ALB/AHBアクセス装置	調査装置ALB/AHBを気水分離器内部に吊り下ろすための装置
36	調査装置B1	炉内構造物に大径の開口(φ110mm以上)を加工したのち、その下部にある構造物や燃料デブリ、環境(空間線量率、温度)の状態を詳細に調査するための本格調査装置
37*	調査装置B2	炉内構造物に大径の開口(φ110mm以上)を加工したのち、その下部にある構造物や燃料デブリ、環境(空間線量率、温度)の状態を詳細に調査するための本格調査装置
38	調査装置B3	炉内構造物に大径の開口(φ110mm以上)を加工したのち、その下部にある構造物や燃料デブリ、環境(空間線量率、温度)の状態を詳細に調査するための本格調査装置
39	調査装置B4	炉内構造物に大径の開口(φ110mm以上)を加工したのち、その下部にある構造物や燃料デブリ、環境(空間線量率、温度)の状態を詳細に調査するための本格調査装置
40	調査装置Bアクセス装置	調査装置B1/B2/B3/B4をツールボックスからシュラウドヘッドまで吊り下ろすための装置
41	調査装置C	環境線量が高いと想定される炉心部調査において、アクセス装置(横展開機構)と組み合わせて上部格子板の上方で水平位置を調整して広く炉心部にアクセスして調査する調査装置
42	調査装置Cアクセス装置	調査装置Cを上部格子板上方まで吊り下ろした後、シュラウドヘッドと上部格子板の間にて横展開し、調査装置Cの吊り下ろし経路を水平方向に調整した上で炉底部までアクセスさせる装置

*)本表の内から、主要な機材の詳細について次葉以降に示します。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.1：作業用セル

＜装置概要＞

オペフロ上のツールボックスやバウンダリガイドパイプとの接続部などから放射性物質が漏洩した際、外部への漏洩を防止することを目的とした設備。

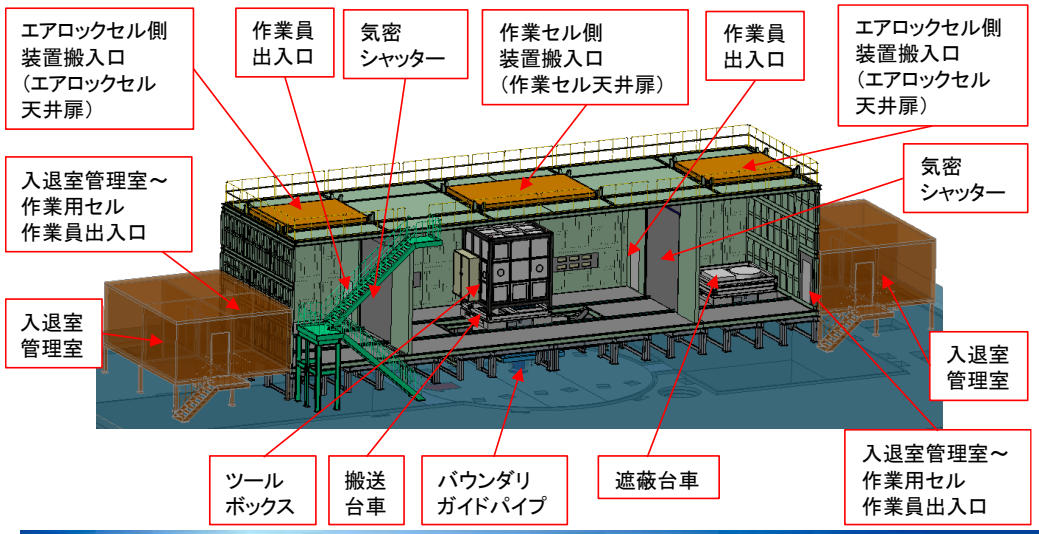
作業セルの調査用開口穴付近は、バウンダリガイドパイプ周辺装置の取り合いやガイドパイプ側ゲートバルブが動作不良を起こした場合の人手作業による操作を考慮し、新設遮蔽床の高さまで作業用セルの床を下げたピット状とする。

作業用セルの床上には、エアロックセルから作業セルまで移動可能なレールを設置し、搬送台車がバウンダリガイドパイプ上部までツールボックスを搬送台車に積載したまま移動が可能。

作業セルとエアロックセル間は気密シャッターで仕切られ、装置の搬出入時に作業セルとエアロックセルが直接通じるのを防ぎ、負圧維持管理を可能とする。また、装置を交互に入れ替えて作業することを考慮し、エアロックセルは作業セルの両側に1室ずつ設ける。作業セル側の壁には、装置へのユーティリティ供給を行うパネルを設けツールボックス内部の装置にユーティリティを供給する。

作業用セル天井部には開口部を設け、エアロックセル天井開口部はツールボックスなどの装置の搬出入、作業セル天井開口部はバウンダリガイドパイプ周辺装置などの搬出入に使用する。

＜装置外観＞



＜主要な機能・特徴＞

【負圧維持管理機能】

・ツールボックスやバウンダリガイドパイプとの接続部などから漏洩した汚染物質を作業用セル内に留めるため、作業用セル内を排気ファン（ブロワ）とグラビティダンパにて負圧維持する。また、作業員の入退出や装置搬出入時において、作業用セル内を負圧に維持するため、作業用セルは開口部直上のエリア（以降、「作業セル」という）と、作業セル両端にツールボックスを搬出入するためのエリア（以降、「エアロックセル」という）を設ける。

【ユーティリティ供給機能】

・作業用セルの外部にある供給源から、作業用セルの側面を貫通して内部の機器・装置類にユーティリティを供給するため、作業用セル側面に取り外し可能な気密パネルを準備し、装置ごとに気密パネルで取り合う。

＜基本仕様＞

【構造】

・パネル組み立て方式　気密建屋

【概略外形寸法】

・作業用セル：7.85m(W)×28m(D)×7.8m(H)

【内容積】

・1,365 m^3

＜内訳＞

エアロックセル(A)：290 m^3

エアロックセル(B)：290 m^3

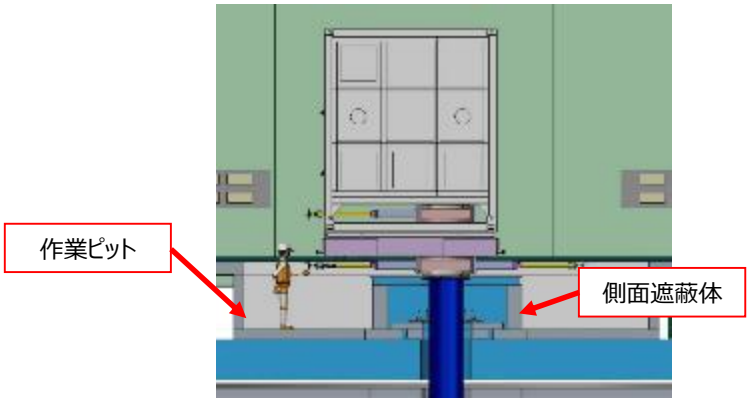
作業セル：785 m^3

【概略重量】

・196 ton

【排気ファン容量】

・4,095m3/hr



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

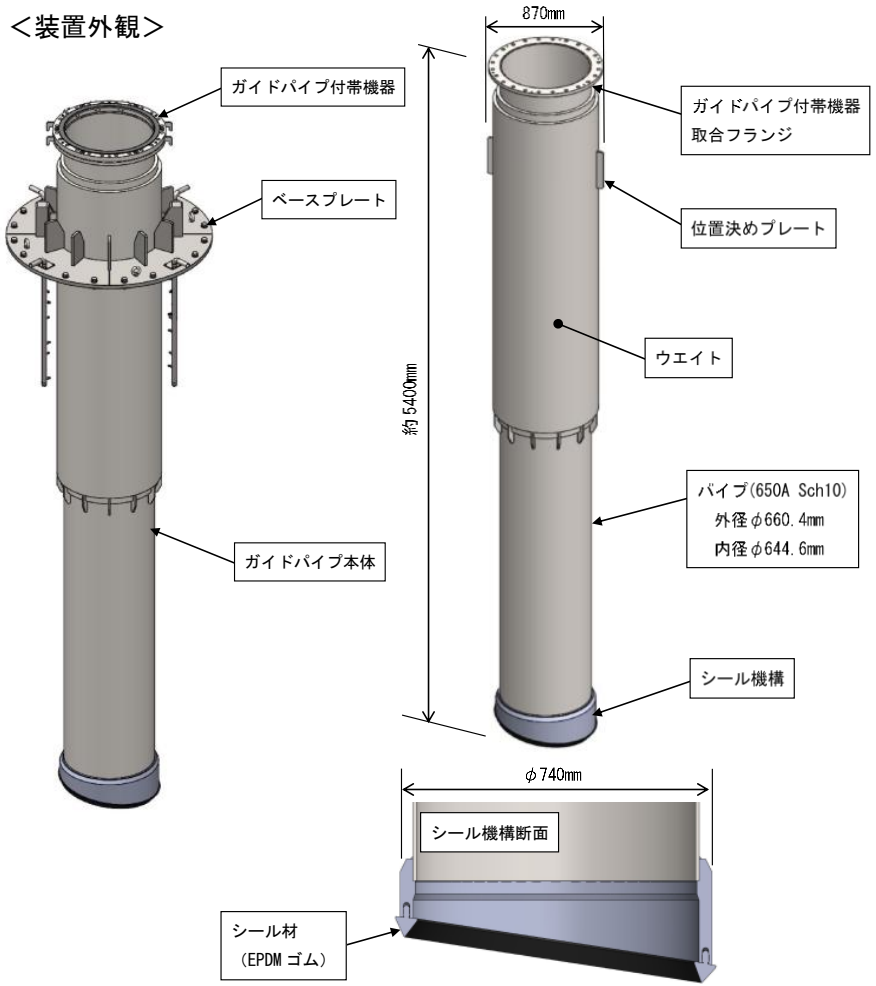
6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備・装置仕様

No.5：バウンダリガイドパイプ

＜装置概要＞

作業セル～PCVヘッド間において、PCVヘッド開口後のPCVバウンダリ維持のために設置する装置。

＜装置外観＞



＜主要な機能・特徴＞

【構成】

・本装置は、ガイドパイプ本体とガイドパイプ本体と取合うシール機構、ガイドパイプを作業セルに固定するためのベースプレート、圧力計等のユーティリティ用のポートを付帯した付帯設備にて構成される。

・樹脂シールを自重で押し付けられるようにガイドパイプ本体上部にはウエイトを設置する。

【シール機能】

・本装置は、ガイドパイプ先端のPCVヘッド取合い面に、EPDM等の樹脂シール材を予め設置しておき、ガイドパイプ設置時に樹脂シールをガイドパイプの自重によりPCVヘッドに押し付けることによりシールする機能を確保する。

・以下のシール性能を有する。

正圧 10kPa

負圧：PCV（ガイドパイプ）内部＜作業用セル内部：負圧100Pa、

PCV（ガイドパイプ）内部＜原子炉ウェル内部（大気圧部）：負圧160Pa

【位置調整機能】

・作業セル床面には、ベースプレートを固定するためのタップが予め処理されていることを前提とし、そのタップを利用してベースプレートが固定される。

・上記ベースプレートに取付けられた位置決めガイドブロックによって、ガイドパイプの適切な位置への設置を可能としている。

【計測機能】

・ガイドパイプ付帯機器に圧力計、窒素供給、水素／酸素濃度計測及び排気ライン接続ポートを設け各種計測を行う。

【洗浄機能】

・ベースプレートに取り付けられたスプレー管により、ガイドパイプ表面を洗浄可能とする。

＜基本仕様＞

【ガイドパイプ本体】

・概略寸法：870mm×　L 5400mm

・パイプサイズ：650A　Sch10（外径φ660.4mm、内径φ644.6mm）

・概略重量：約2000kg

【ベースプレート】

・概略寸法：φ1500mm×H280mm

・概略重量：約400kg

【ガイドパイプ付帯機器】

・概略寸法：φ825mm×t 50mm

・概略重量：約65kg

【ガイドパイプ据付精度（目安）】

・傾き：1°　、平面位置：±10mm

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

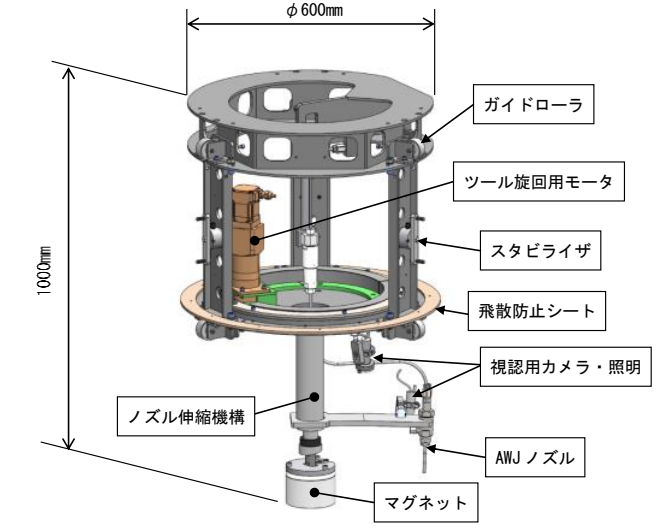
6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備・装置仕様

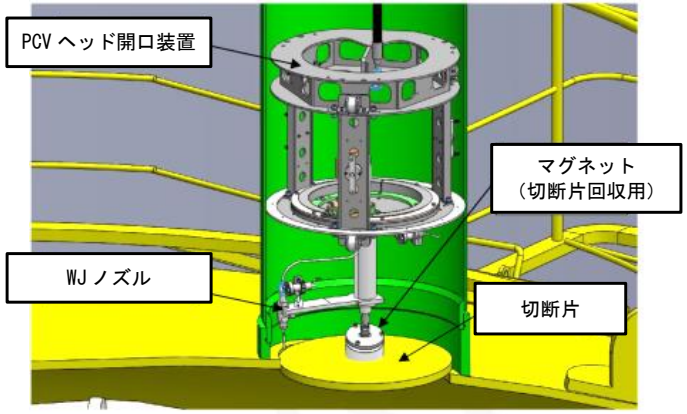
No.19：PCVヘッド開口装置

＜装置概要＞

PCVヘッドの小径穿孔後、所定位置（RPV予備ノズル直上）において、PCVヘッドの開口を行うための装置。

＜装置外観＞





＜主要な機能・特徴＞

【構成】

・本装置は、ガイドパイプ内昇降時にガイドとして機能するガイドローラ及びガイドパイプ内壁に固定するためのスタビライザを搭載したツールフレームと、ツールフレームに設置されるAWJ穿孔ツールから構成される。

【昇降機能】

・ツールフレームはガイドパイプ上部に設置されるツールボックス内のホイストにてガイドパイプ内（ツールボックス～PCVヘッド上面間）を昇降可能である。

・PCVヘッド上面にアクセス後はエア駆動のスタビライザ（空圧シリンダ）によって、ガイドパイプ内壁に固定される。

【穿孔機能】

・AWJ穿孔ツールを、電動のツール旋回機構により旋回させ、PCV表面をツール中心（ガイドパイプ中心）にφ550mm程度の円形開口を行う機能を有する。

【アブレイシブ飛散防止機能】

・飛散防止シートの設置により、AWJ噴射時のアブレイシブの飛散を防止する機能を有する。

【切断片保持・回収機能】

・AWJによるPCVヘッド穿孔中の切断片の保持及び穿孔後の切断片回収は、AWJ穿孔ツールのツール中心部に設置される永久磁石により行う。本永久磁石は、空圧による遠隔ON/OFF機能を有する。

【監視機能】

・本装置の搬送・設置及び運転中の状況監視のため、本装置に小型の視認カメラ及び照明を備える。

＜基本仕様＞

【装置全体】

・概略主要寸法：　φ600mm×H1000mm

・概算重量：　約100kg

・主要構造物の主材質：　SUS304

【昇降機構】

・本装置の昇降を行うため、ツールボックス内に電動ホイストが設置される。本ホイストは、装置の落下防止のため二重化を図り2基設置される。

【ツール旋回機構】

・電動モータによるツール下部の旋回

・旋回範囲：0～360°　以上

【ツール固定用スタビライザ】

・空圧シリンダ（3基）によるツール固定

・押付け力：約150kgf

【AWJ穿孔ツール】

・AWJ機構：　吐出圧：約345～380MPa、アブレイシブ供給量：約0.78kg/min

・AWJノズル伸縮機構：　PCVヘッド表面の曲面形状に沿って、PCVヘッド表面とノズル間距離を一定に維持した状態でAWJ穿孔を行うためのノズル位置の上下伸縮機構。本機構にアクチュエータはなく、リンク機構及びスプリング反力によりノズルを昇降させる。

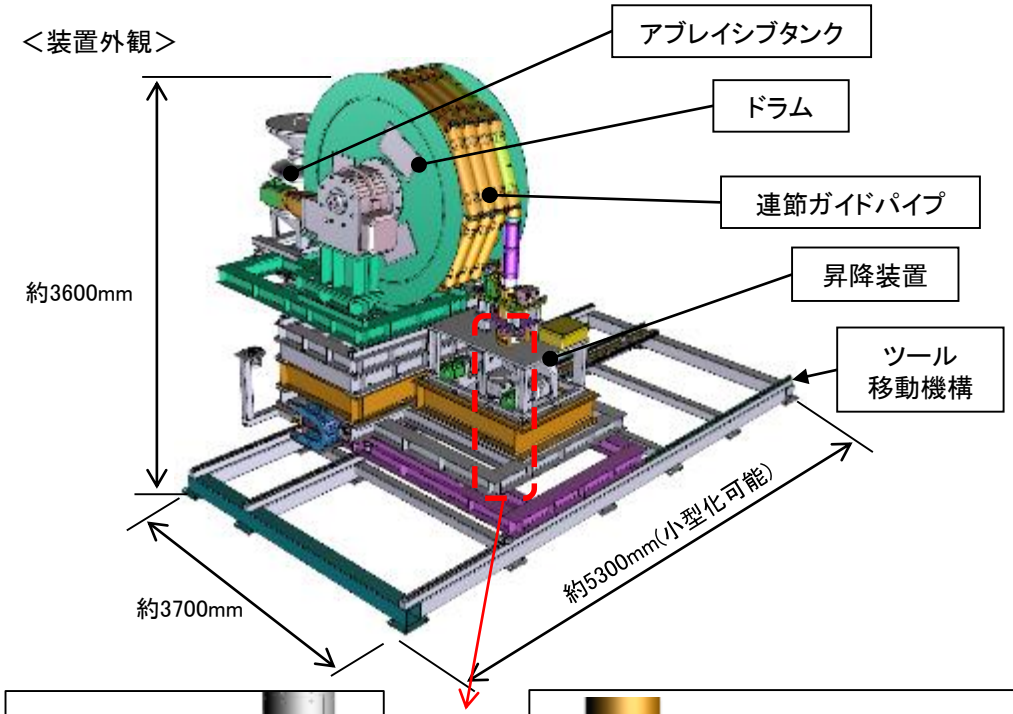
・切断片保持・回収機構：　空圧シリンダによるON/OFF機能を有する永久マグネット、保持力：120kg以上（切断片重量：約60kg）

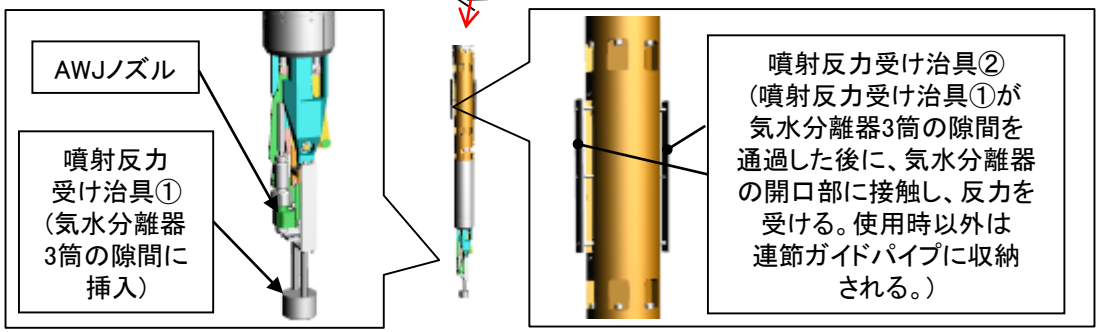
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備・装置仕様：No.28：炉内構造物加工装置

＜装置概要＞
作業セル上の開口計画位置（RPV予備ノズル直上位置）において、蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッドの開口を行う装置

＜装置外観＞





ツールヘッド(気水分離器加工用)

＜主要な機能・特徴＞
【構成】
・炉内構造物加工装置は、AWJノズルを有するツールヘッド、連節ガイドパイプ、昇降機構、ドラム、アブレイシブタンク、ツール移動機構にて構成される。
・AWJ用の高圧水は作業用セル外に設置する超高圧ポンプから供給される。
【ツールヘッド】
・ツールヘッドはAWJノズル、噴射反力受け治具、AWJノズルの位置・角度を調整するリンク機構、ツールヘッドを旋回させるθ軸モータから構成される。
【連節ガイドパイプ】
・連節ガイドパイプは、長さ700mmのパイプが連なって構成され、先端にはツールヘッドが接続されている。他方の先端はドラムに取り付けられている。
・ドラムの回転に連動し、連節ガイドパイプは送り出され/巻き取られ、ツールヘッドの昇降を行う。
・各関節は昇降機構通過時に、上下のパイプの軸が一致するよう固定され、ツールヘッドを支持する。
【昇降機構】
・昇降ローラ、トグルロック機構から構成され、連節ガイドパイプの昇降をアシストする。
【ドラム】
・連節ガイドパイプの送り出し、巻き取りの機能を有する。
【アブレイシブタンク】
・アブレイシブをためるタンク、重量計から構成される。
【ツール移動機構】
・炉内構造物加工装置の水平位置を調整する機能を有する。

＜基本仕様＞
【装置全体】
・概略主要寸法：5300mm(※)×3700mm　×H3600mm
(※)ツール移動機構の必要ストロークに応じて小型化可能
・概略重量：約10,000kg
【穿孔機構】
・AWJノズル
【各種機構】
・遠隔操作による電動駆動および水圧駆動

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の設備・装置仕様

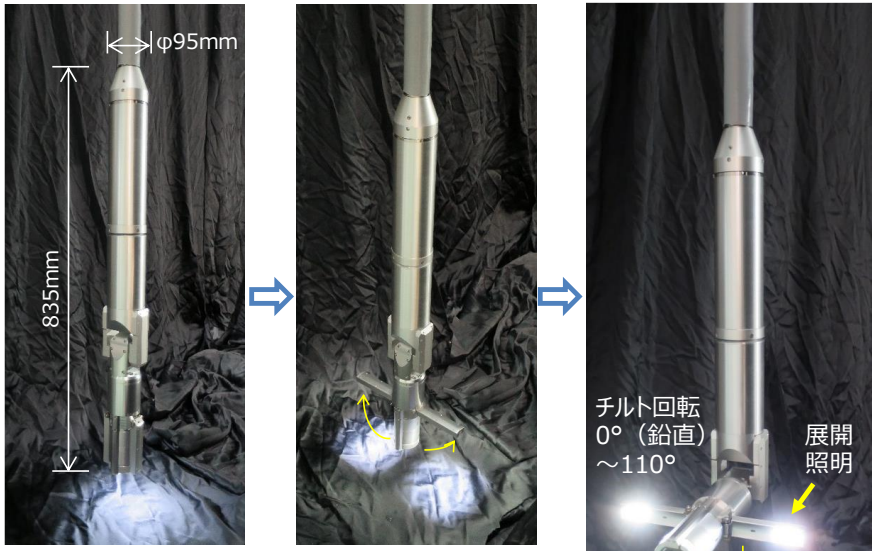
No.37：調査装置B2

＜装置概要＞

炉内構造物に大径の開口（φ110mm以上）を加工したのち、その下部にある構造物や燃料デブリ、環境（空間線量率、温度）の状態を詳細に調査するための本格調査装置。カメラの耐放射線性が高いため、調査エリアが高線量の場合に利用する。視線方向を変えながら撮影してパノラマ画像を作成することができる。主に以下のエリアの調査に利用する。

- ウェルカバー内部調査
- PCVヘッド内部調査
- RPVヘッド内部調査
- 炉心部内部調査

＜装置外観＞



昇降姿勢　照明展開　チルト90°姿勢

＜主要な機能・特徴＞

【構成】
- カラーCIDカメラ、パンチルト機構、LED照明（展開方式）、線量計、温度計
- ケーブル類はシース管（SUS製フレキ管）にまとめてケーブル保護

【機能】
- チルト軸、照明展開軸にはスリップクラッチを搭載しており、故障時も強制的に引き上げることで開口に倣って閉じて通過可能
- 天球画像（パノラマ画像）作成可能

【メリット】
- カラー画像を取得可能
- 垂直方向の視認範囲が広い
- 下方向の天球画像（俯瞰画像）が取得可能

【デメリット】
- チルト時に重心位置が変化するため装置が傾斜する（姿勢補正が必要）

＜基本仕様＞

【外形】
- 主要寸法　：外径Φ95mm、長さ835mm
- 質量　：約6kg

【視覚情報取得性】
- カメラ方式　：CID（カラー）、対角画角35°、約30万画素
- 照明　：LED（3Wx6：展開時）、カメラとの光軸間距離117.5㎜
- 視認可能距離　：2,000mm（吸収係数0.223の霧環境中におけるφ10mm燃料棒の認識）

【視認方向調整】
- パン・チルト方式：パン軸±180°、チルト軸0°（鉛直）～110°

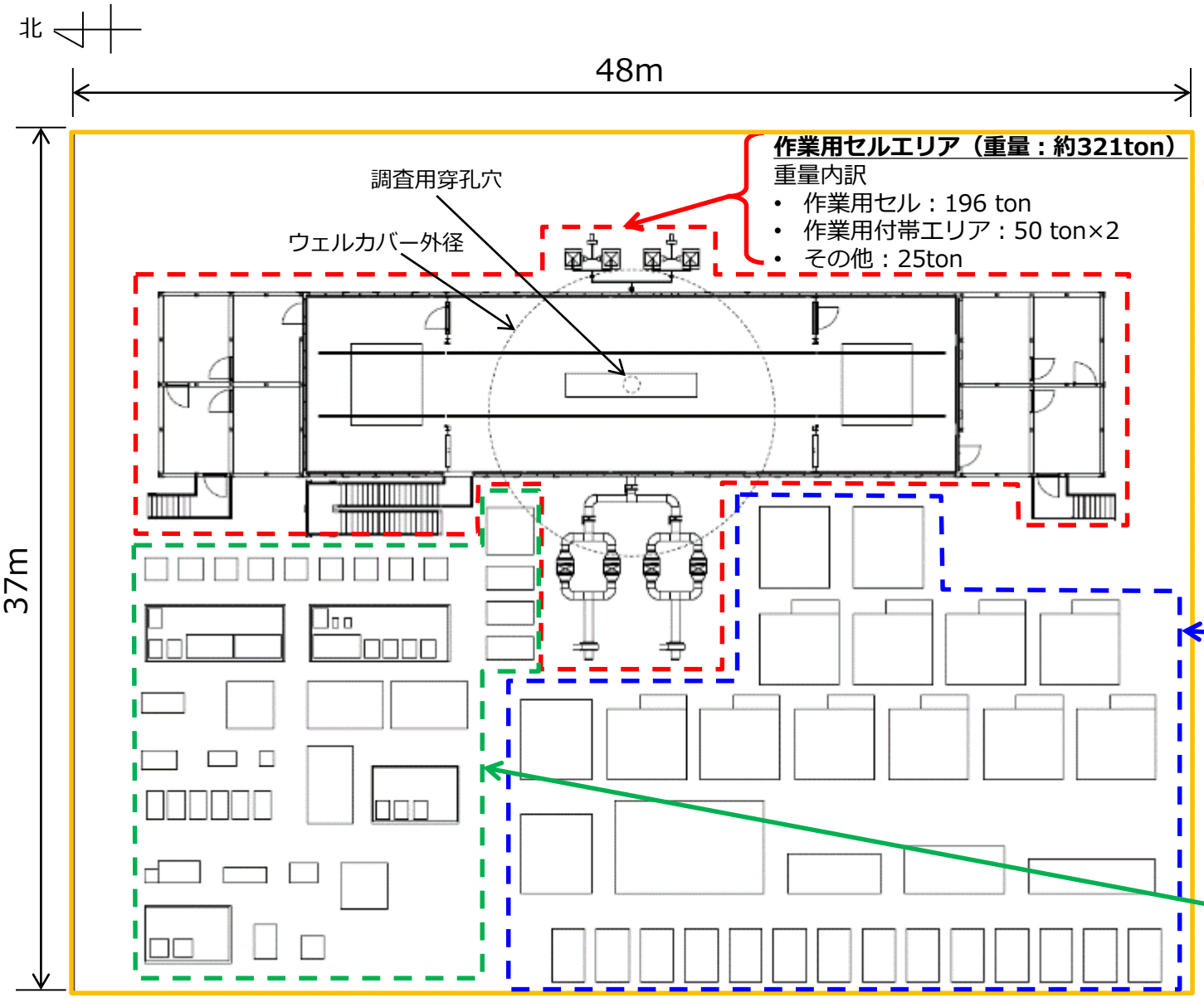
【搭載センサ】
- 線量計　：1～5,000Gy/h、オーダーが分かる精度
- 温度計　：0～50℃、±1.5°

【耐放射線性】
- 積算線量　：30kGy
- 調査可能時間　：10h（3,000Sv/h環境、LED照明の限界値）

【防水・防塵性】
- IPX4相当

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の配置検討（オペフロレイアウト）



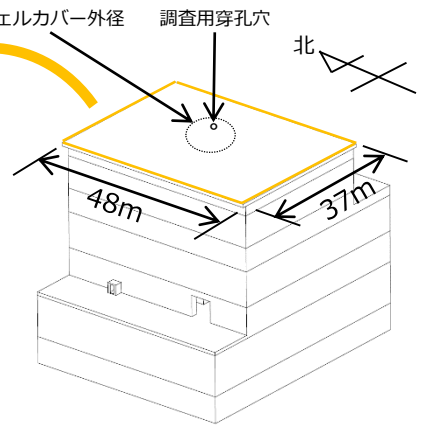
福島第一発電所３号機 オペフロ上部（上面図）

作業用セルエリア（重量：約321ton）

重量内訳

- 作業用セル：196 ton
- 作業用付帯エリア：50 ton×2
- その他：25ton

総重量：約600 ton
（すべての設備をオペフロへ設置した場合）



福島第一発電所３号機オペフロ上部（鳥観図）

装置エリア（重量：約213 ton）

重量内訳

- バウンダリ機能維持装置類：10 ton
- RPVヘッドまでの穴開け装置類：113 ton
- 炉内構造物加工装置類：24 ton
- 調査システム類：66 ton

⇒オペフロ以外の場所へ配置可能

制御盤エリア（重量：約52 ton）

重量内訳

- バウンダリ機能維持装置制御機器：21 ton
- RPVヘッドまでの穴開け装置制御機器：20 ton
- 炉内構造物加工装置制御機器：8 ton
- 調査システム制御機器：3 ton

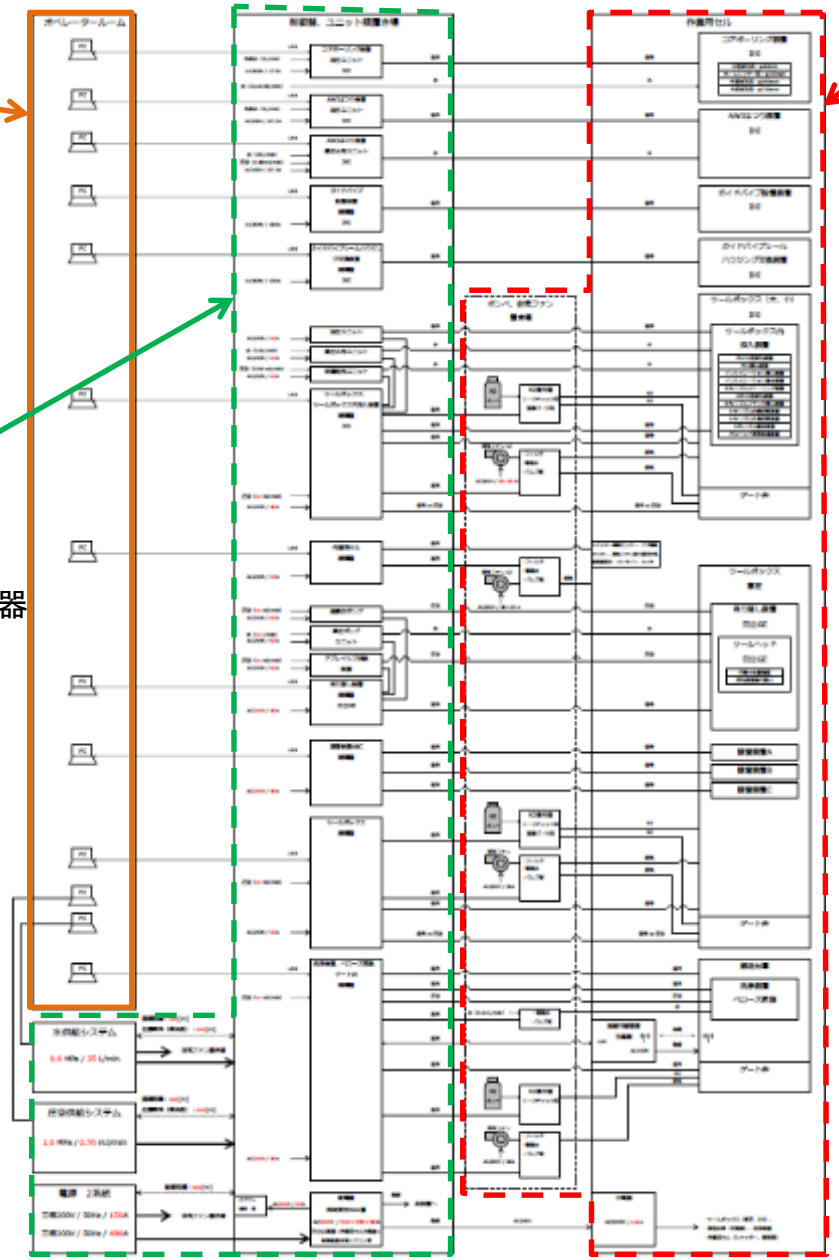
⇒オペフロ以外の場所へ配置可能

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.1.6　上部穴開け調査工法の概略システム構成

＜遠隔操作室エリア＞
- 制御用PC

＜制御盤エリア＞
- バウンダリ機能維持装置制御機器
- RPVヘッドまでの穴開け装置制御機器
- 炉内構造物加工装置制御機器
- 調査システム制御機器



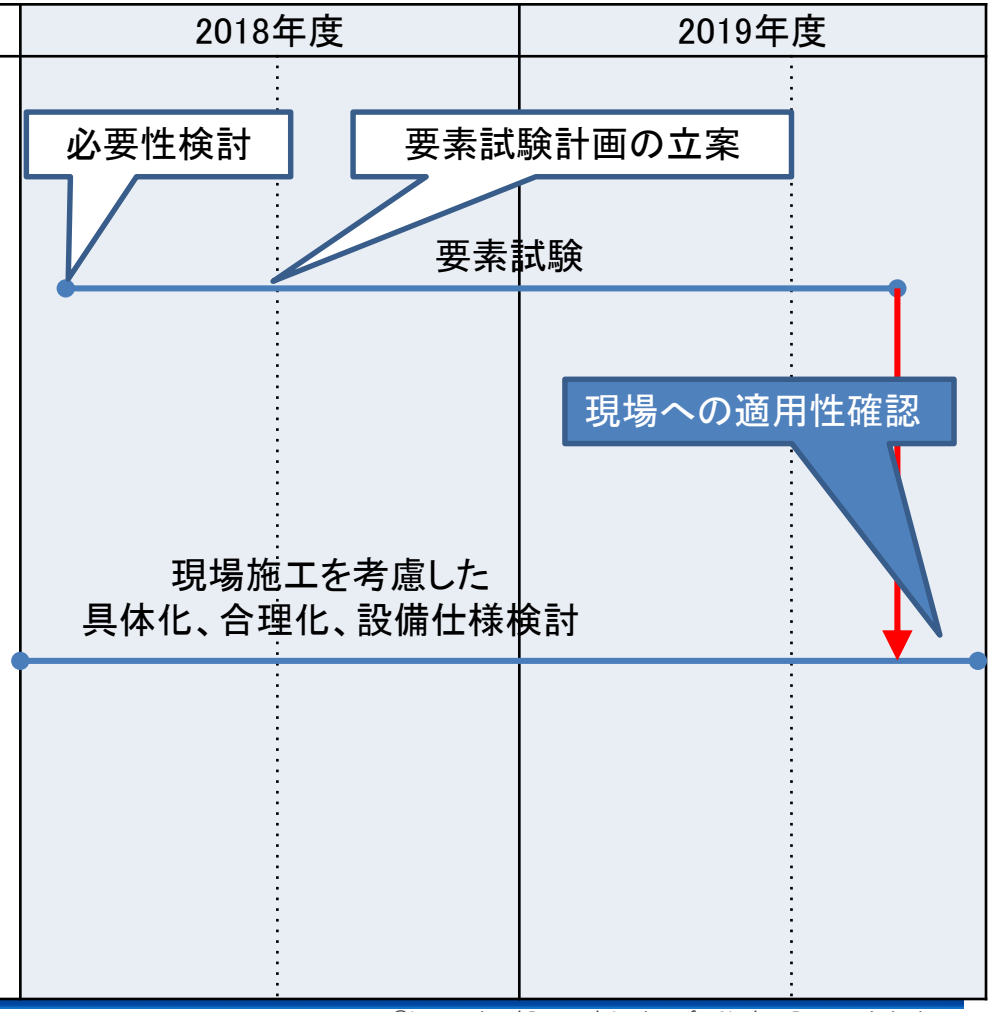
＜作業用セルエリア＞
- バウンダリ機能維持装置類
  - ✓ バウンダリガイドパイプ
  - ✓ バウンダリガイドパイプ設置装置
  - ✓ バウンダリガイドパイプ側ゲートバルブ
  - ✓ ツールボックス（1、2、3）
  - ✓ ツールボックス側ゲートバルブ
  - ✓ ツールボックス搬送台車（連結機構含む）
  - ✓ 遮蔽台車
  - ✓ クレーン台車
  - ✓ バウンダリガイドパイプ内面水噴射装置
  - ✓ 作業用セル用排風機
  - ✓ ツールボックス用排風機
- RPVヘッドまでの穴開け装置類
  - ✓ ウェルカバーコアボーリング装置
  - ✓ ウェルカバーAWJはつり装置
  - ✓ PCVヘッド表面処理装置（WJ、ブラシ）
  - ✓ PCVヘッド表面計測装置
  - ✓ PCVヘッド小径穿孔装置
  - ✓ PCVヘッド開口装置
  - ✓ 固定金具切断装置
  - ✓ RPV保温材撤去装置
  - ✓ RPV予備ノズルクリーニング装置
  - ✓ RPV予備ノズル表面計測装置
  - ✓ RPV小径穿孔装置
  - ✓ RPV予備ノズルフランジ開口装置
  - ✓ RPV予備ノズル内側切断装置
  - ✓ RPV予備ノズル外側切断装置
  - ✓ PCVヘッドプラグ装置
- 炉内構造物加工装置類
  - ✓ 炉内構造物加工装置（1号機、2号機）
- 調査システム類
  - ✓ 調査装置（ALS、AHS、ALB、AHB）
  - ✓ 調査装置（B1、B2、B3、B4）
  - ✓ 調査装置C
  - ✓ 調査装置アクセス装置(A,B,C)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2 側面穴開け調査工法の装置開発

R/B外側からシュラウドヘッドまでの穴開け装置、ダスト拡散防止のための装置、調査装置をアクセスさせる装置について、現場での施工に向けた課題解決のための技術開発を行い、装置・システム設計の具体化、合理化を行う。また、2018 年度に必要性を検討した上で、装置に関する要素試験を行い、現場状況等、現場適用に向けた各装置の現場への適用性を確認する。

	項目	概要	進捗状況
1	作業用セルの開発	放射性ダストが万一ツールボックスから漏洩する場合も想定して、負圧に維持するシステムを検討する。	次項参照
2	シュラウドヘッドまでの穴開け装置の開発	生体遮蔽壁や、PCV、RPVを穿孔する都度、テレスコピックにガイドチューブを挿入してバウンダリを構築することで放射性物質の飛散防止に配慮した工法を実現するための装置を開発する。特に、本工法のキー技術となるアブレイシブウォータージェットによる切削やその排水処理については早期に要素試験を実施して設計検討に反映する。	
3	放射性物質飛散防止のための装置の開発 調査装置をアクセスさせる装置の開発		
4	メンテナンスユニットの開発	穴開け装置や放射性物質飛散防止のための装置を備えたツールボックスは、グランドレベルに設置予定のメンテナンスユニットで前準備/後処理を行う計画であり、この設備も放射性物質の飛散防止に配慮したシステムとする。	



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

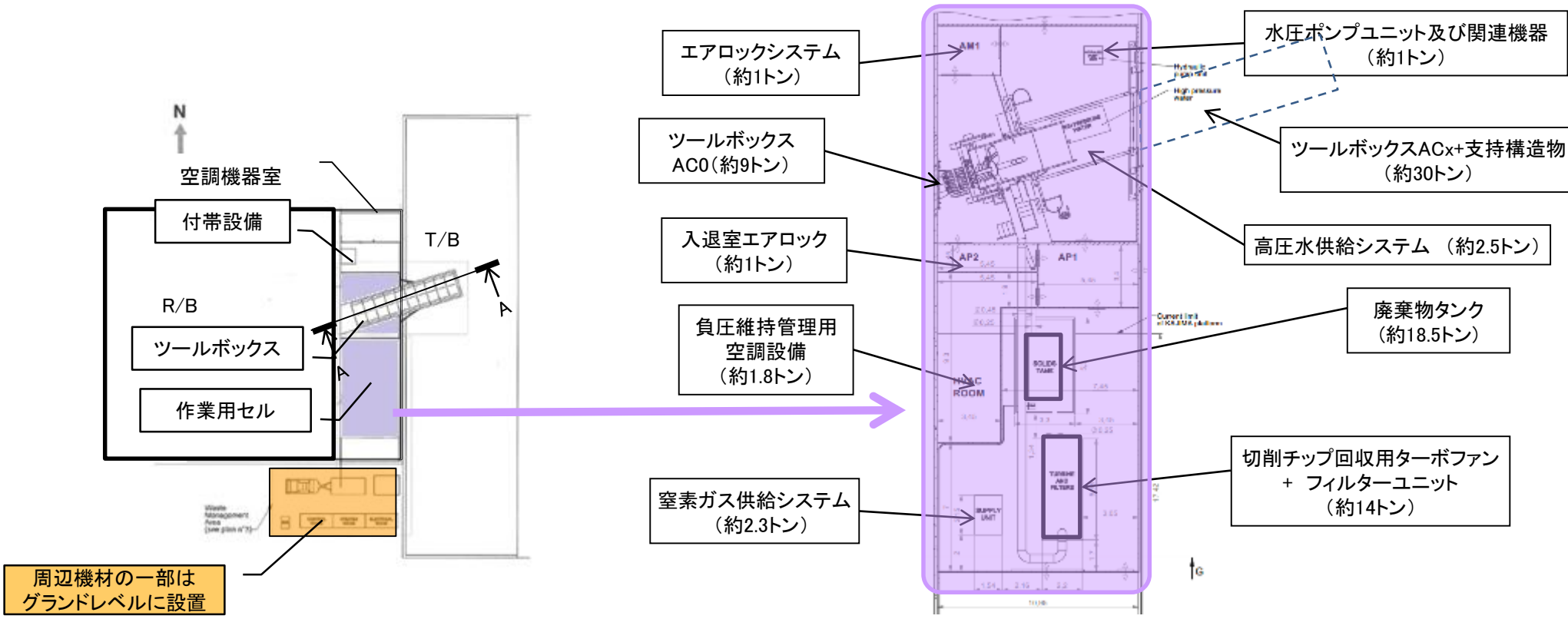
6.4.2 側面穴開け調査工法の装置開発

項目	実施計画	実施内容・成果
作業用セル	・作業ステップを考慮した構造・工法の合理化、支持構造物も含めた軽量化 ・作業用セル内および周辺配置計画の合理化 ・アクセスルート上の干渉物回避、取合条件の明確化 ・負圧管理システムの詳細検討	・作業用セル内の作業員の動線にも配慮しつつ、セル内外の配置計画を策定。 ・空調機器室天井のスラブ強度の制限を勘案して、作業用セルや支持構造物の軽量化及び分散配置案を策定し、成立性を確認。 ・負圧維持の風量バランスを設定し、システム構成及び設備容量を設定した。
シュラウドヘッドまでの加工装置	・掘削ツールの成立性確認（切削性及び処理水の回収）、合理化 ・ツールボックスの構造・工法の合理化 ・調査装置とツールボックスとのインターフェイス	・切削性試験及び処理水回収試験を実施し、ツールボックス及び切削ツールヘッドの基本構造を設定するとともに、設備構成を確定し、系統設計を実施して各部仕様を設定した。
バウンダリ機能維持	・作業性を考慮した構造・工法の合理化 ・ガイドパイプのシール性（閉じ込め機能）の確認 ・微加圧管理システムの詳細検討	・要素試験でガイドチューブのシール性を確認。 ・各ガイドチューブの基本構造を確定。 ・PCV内圧に対して微加圧状態を維持するためのマスバランスを算定し、システム構成及び設備容量を設定した。
調査装置をアクセスさせる装置	・カメラ等の調査装置自体は上部穴開け調査工法用に開発中の技術を転用するとの方針を踏まえ、調査装置を炉心まで運搬する機構等を検討	・設計条件となる調査装置のインターフェイス情報（形状、重量、電気・通信関係）を整理し、搬送機構を設定した。
メインテナンスユニット	・メインテナンスユニット内および周辺配置計画の合理化 ・装置、システムの開発、設計及び現場施工性確認	・メンテナンスユニットの機能、設備構成を検討し配置計画図を作成。 ・配置計画に基づき強度評価を実施した。また、設計仕様を確定した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.1 側面穴開け調査工法　作業用セル(1/2)

項目	実施計画	実施内容・成果
作業用セル・支持構造物の軽量化 周辺配置計画の合理化	・2017年度の検討結果から、作業用セル重量が大きくなる見込みとなったことを受け、作業用セル及び支持構造物の軽量化を図る。 ・処理水の回収・排水システムや、負圧管理システム等、作業用セルの周辺に配置される主な装置類の物量を想定して、空調機器室天井の床スラブ強度の制約を満たす配置計画を検討する。	・空調機器室天井のスラブ強度の制限を勘案して、作業用セルの軽量化、及び空調機器室屋上への荷重分散を考慮した配置案を策定、R/Bピラーへの荷重分散を検討し、成案を得た。 (作業用セルの小型化、補強用支持構造の拡大及び装置の一部を地上レベル設置に変更)



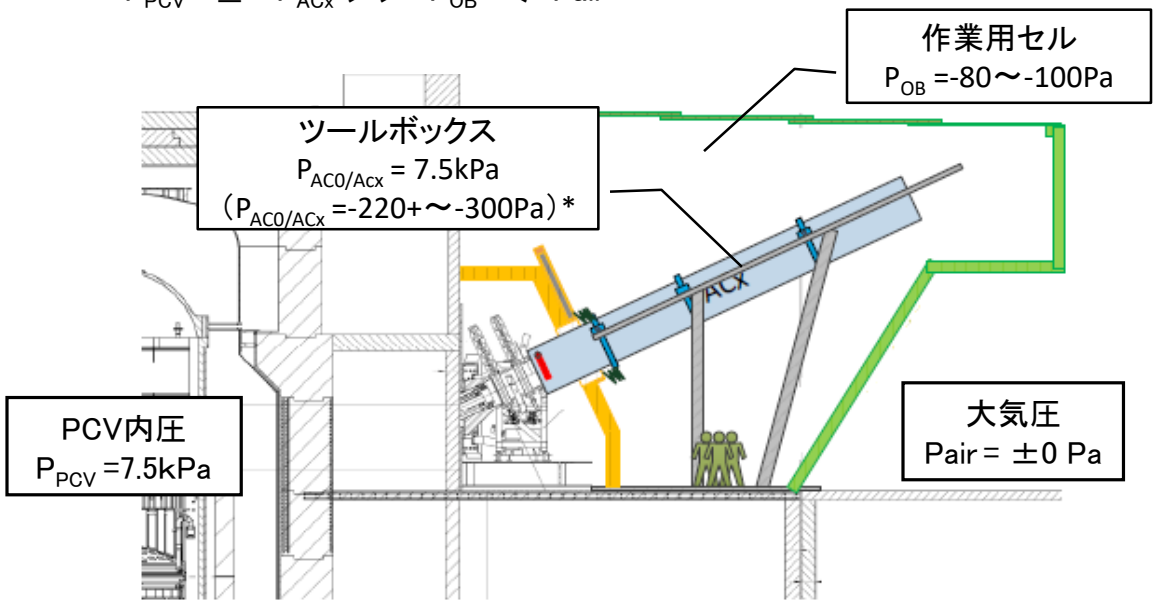
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.1 側面穴あけ調査工法　作業用セル(2/2)

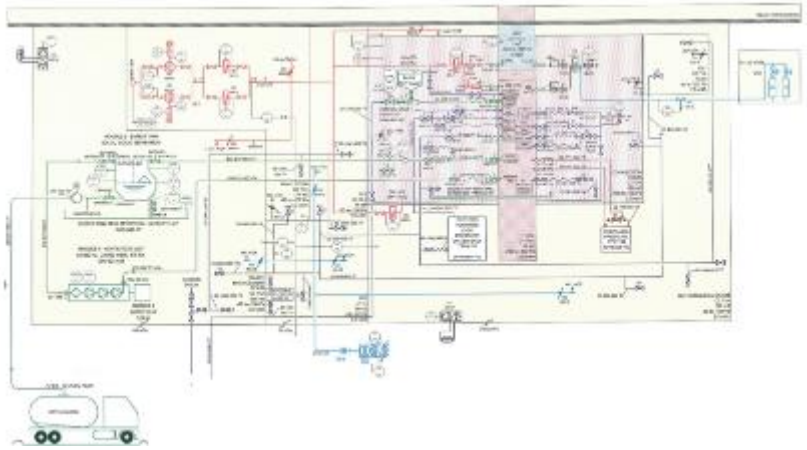
項目	実施計画	実施内容・成果
アクセスルート上の干渉物回避、取合条件の明確化	・調査孔穿孔に伴って、炉内注水配管等を回避するアクセスルートを検討し、ツールボックスの取り付け位置(調査孔の穿孔角度)を設定する。 ・作業用セルを設置するエリアとの取合い、耐震設計条件の調整を実施する。	・炉内注水配管等を回避するアクセスルート案を設定した(既報)。
負圧管理システムの詳細検討	作業用セル内の負圧管理システムにおいて、安全要求の観点から必要な機能の検討を行い、システム仕様として反映を行う。	・各バウンダリの負圧程度(～-300Pa)を設定し、系統図を作成し、各部屋の風量バランスを設定した。(既報) ・システム仕様を確定させた。

AC0の隔離弁解放前には、窒素ガスをACx及びAC0に供給することで、ACx及びAC0の圧力を格納容器の内圧に比べて約1.25倍の状態を構成。隔離弁開放以降は、下式のように各部の圧力を設定することで、PCV内の放射性ダストが大気中に拡散してしまうことを抑制する。(PCV内圧は、プラントデータ最高値に余裕を持たせた設計値)

$P_{PCV} \leqq P_{ACx} >> P_{OB} < Pair$



*)(　)内は、隔離弁開放前の状態。

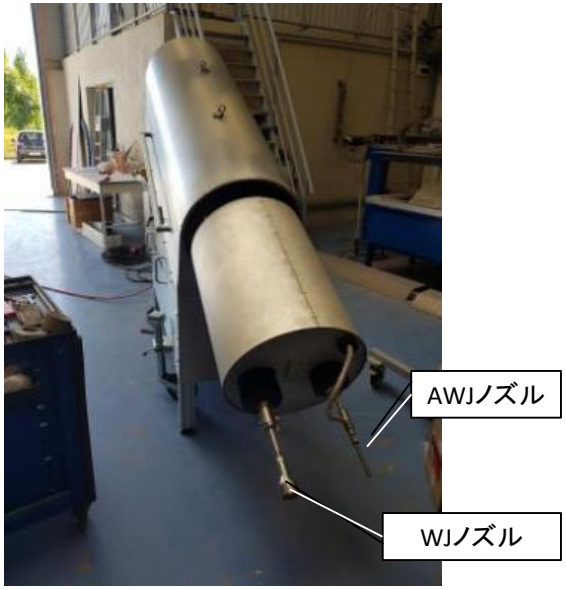


空調機器室屋上に設置する機材の系統図
(AC0にACxをドッキングした状態)

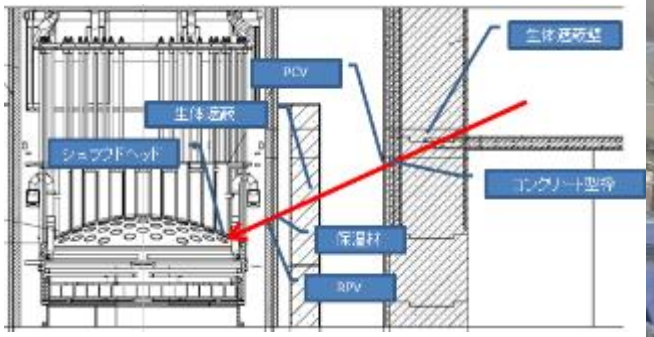
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.2 側面穴開け調査工法 シュラウドヘッドまでの加工装置(1/2) No.69

項目	実施計画	実施内容・成果
掘削ツールの成立性確認(切削性及び処理水の回収)、合理化	・要素試験を実施して、要素技術の成立性を確認するとともに、装置設計に必要な基礎データを収集する。	・切削性に係る要素試験、及び処理水の回収に係る要素試験の供試体を製作するとともに、同試験を実施した。(既報) ・試験の評価結果を設計に反映するとともに、切削に必要となるアブレイシブ量、水量等を試算した。



切削性試験用のツールヘッド



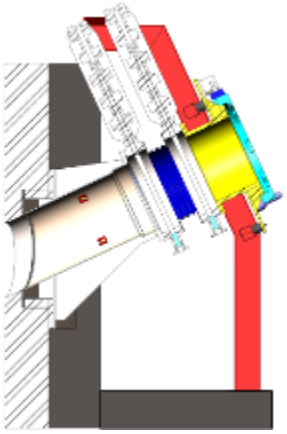
アクセスルート上の掘削対象

処理水回収試験用装置

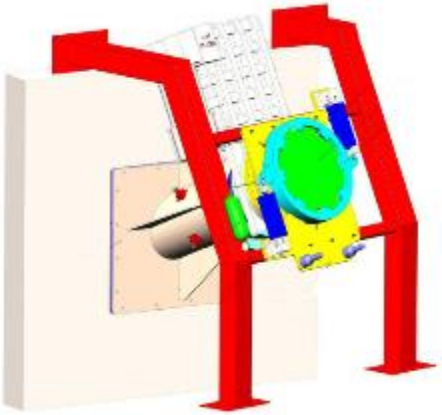
切削対象	使用水量 (L)	使用アブレイシブ量 (kg)	切削時間 (時間:分)	備考
生体遮蔽壁 +PCV	83,986	4,520 (4290+230)*1	176:04	*1)AWJによるアブレイシブの使用量の大部分は、生体遮蔽壁の主鉄筋細断(下左写真)のために消費されており、PCVのみの貫通に必要なアブレイシブは230kgである。したがって、約4300kgのアブレイシブは処理水とともに回収される。
RPV遮蔽壁 +保温材 +RPV	15,671	705	31:25	
シュラウドヘッド	1,270	163*2	4:30	*2)炉心への落下物による未臨界性を確保する観点から、落下物重量を16kg以下に抑制する必要あり。

6.4.2.2 側面穴開け調査工法 シュラウドヘッドまでの加工装置(2/2) No.70

項目	実施計画	実施内容・成果
ツールボックスの構造・工法の合理化	・ツールボックスの重量、ハンドリング時の重心等に配慮しつつ、基本構造を検討する。 ・内装する各ツールの仕様を踏まえて、ツールボックスの構造を具体化する。	・ツールボックス及びツールヘッドの基本構造を設定した。 AC0:R/Bに常設して、その他のツールボックス(ACx)を接合するベースとなるツールボックス AC2:ガイドチューブ挿入用ツールボックス AC3:切削ツール用ツールボックス AC5:調査装置挿入用ツールボックス • ツールをガイドチューブ内で安定してブレることなく挿入/引き抜きする機構を設定。(ガイドチューブの中心線上を移動するように、ローラーと回転抑止機構を装備した“クローラー”によって各ガイドチューブ内を挿入/引き抜きされる。下図参照)

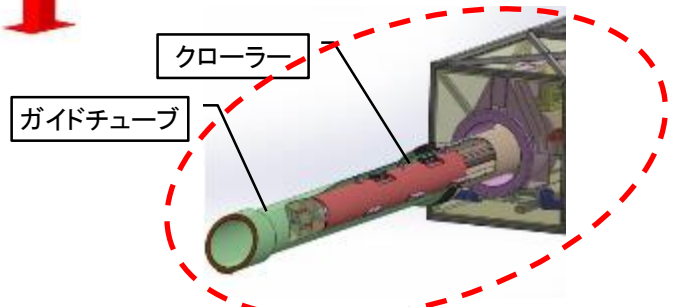


AC0側面図

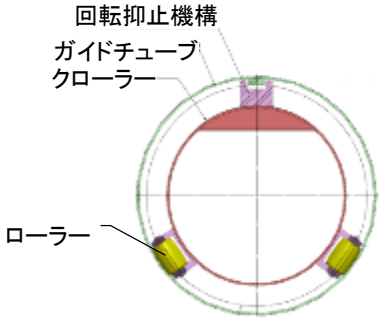


AC0鳥瞰図

ツールボックス(AC2、AC3、AC5)基本構造



ツールボックスからガイドチューブ及びクローラーを挿入中のイメージ図

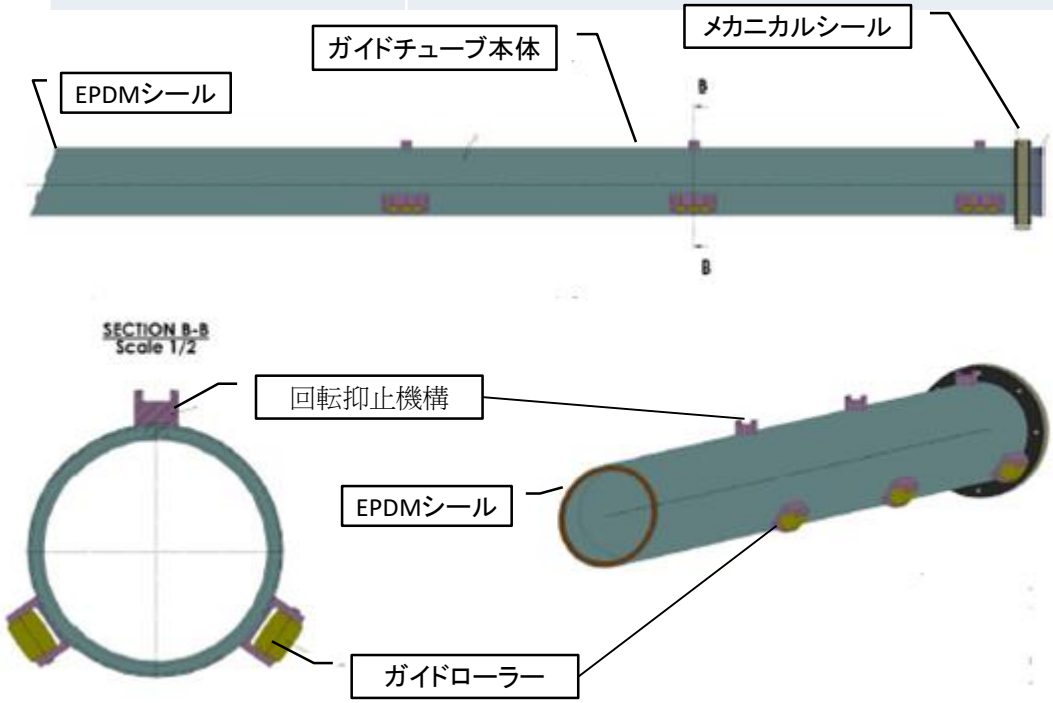


ガイドチューブ内の断面図

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

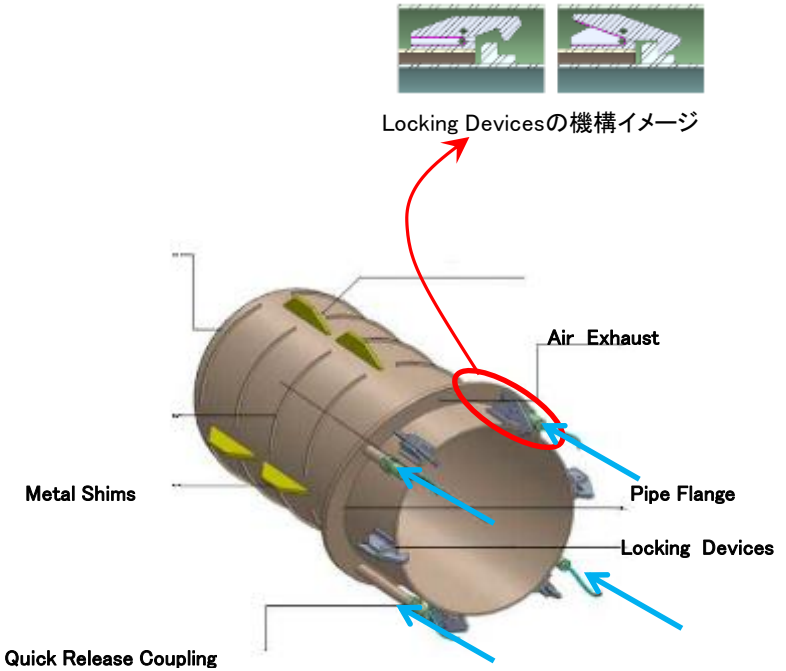
6.4.2.3 側面穴開け調査工法 バウンダリ機能維持

項目	実施計画	実施内容・成果
ガイドチューブのシール性（閉じ込め機能）の確認	・要素試験を実施して、要素技術の成立性を確認するとともに、装置設計に必要なリークレート等の基礎データを収集する。	・要素試験を実施し、グローブボックスなどに適用されるISO10648の漏えい率を参考に目標値（0.05vol%/h以下）を満足するデータが得られた。（既報）
作業性を考慮した構造・工法の合理化	・要素試験を実施して、要素技術の成立性を確認するとともに、装置設計に必要な基礎データを収集する。	・要素試験（接合部強度試験）を実施し、上記のシール性確認試験で得られた必要な軸荷重に耐えうる強度が得られることを確認した。



ガイドチューブ構造図

各ガイドチューブが同心円状の中心軸上で固定されるよう、ガイドローラーと回転抑止機構を具備している。



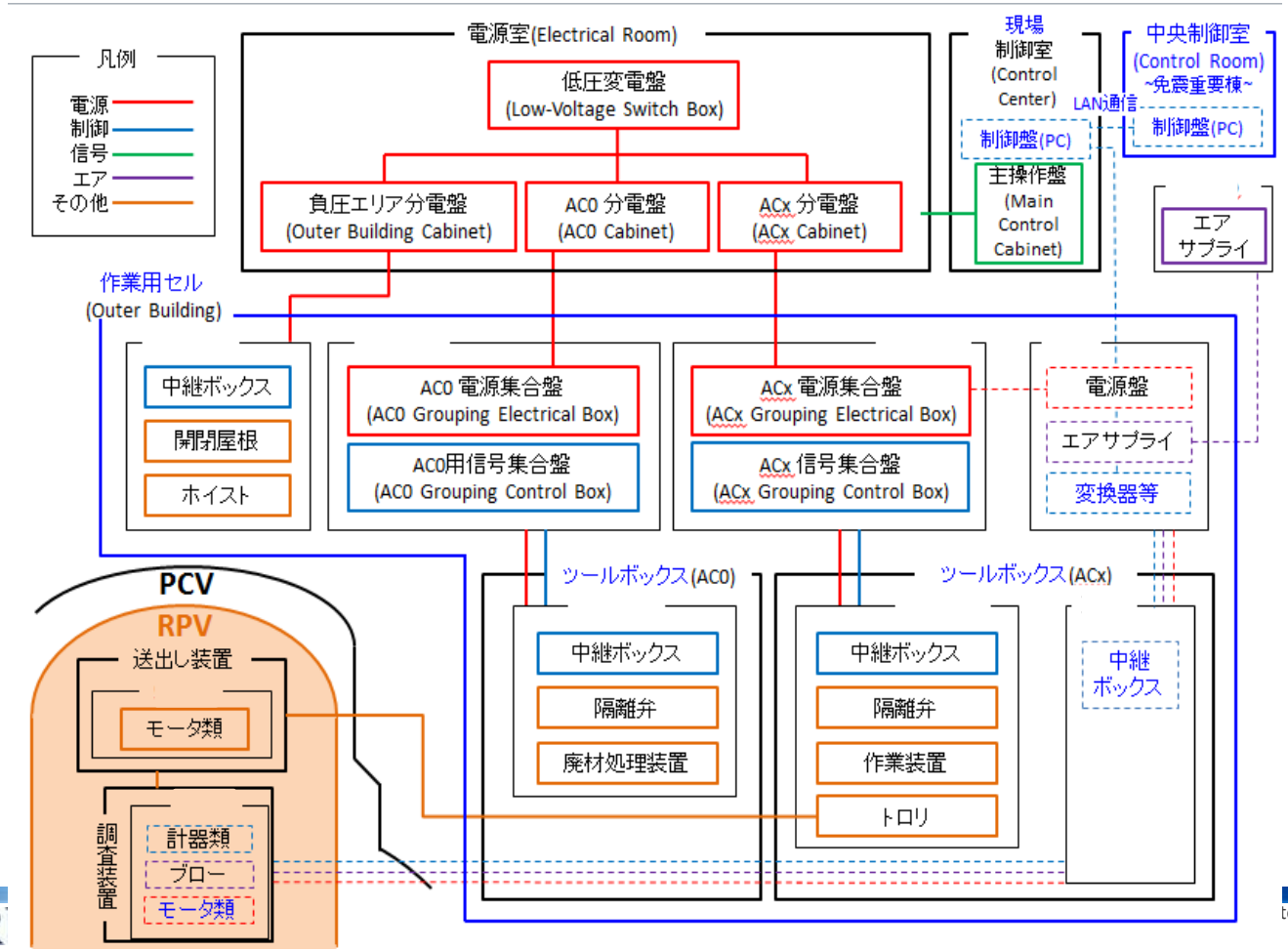
PCVガイドチューブスリーブの構造図

スリーブと切削孔との間のギャップ全周にセメントミルクが行き渡るようセメントミルク注入孔をスリーブ上端部の4か所に設置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.4 側面穴開け調査工法　調査装置をアクセスさせる装置

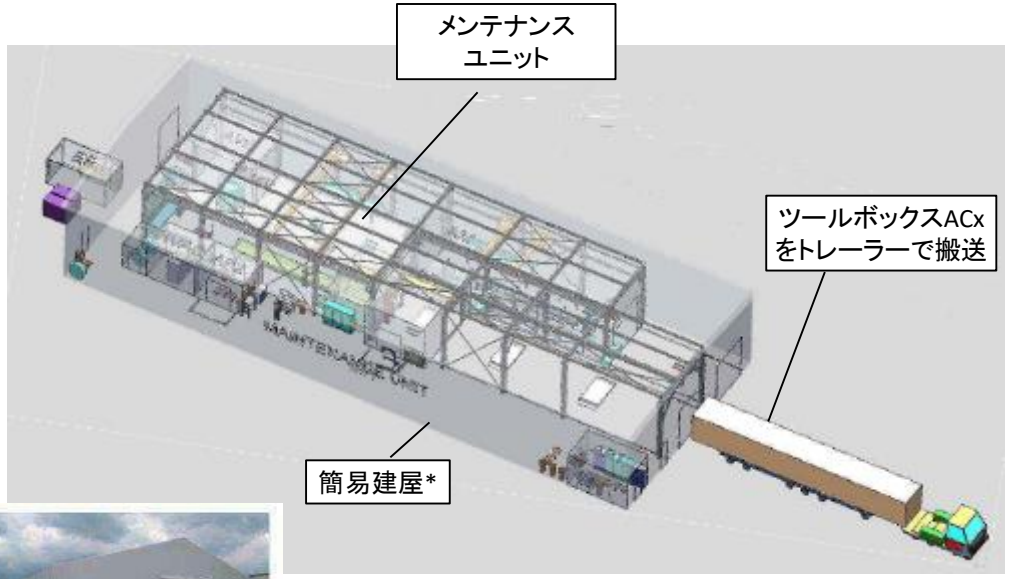
項目	実施計画	実施内容・成果
調査装置をアクセスさせる装置	・カメラ等の調査装置自体は上部穴開け調査工法用に開発中の技術を転用するとの方針を踏まえ、調査装置とツールボックスとのインターフェイスを調整する。 ・調査装置を炉心まで運搬する機構等を検討する。	・設計条件となる調査装置のインターフェイス情報（形状、重量、電源・通信関係）を整理し、調査装置を確実にツールボックスへ収納し、機能を発揮させるための インターフェイス調整を実施した。（既報）



調査装置の電源・通信系ブロック線図（例）

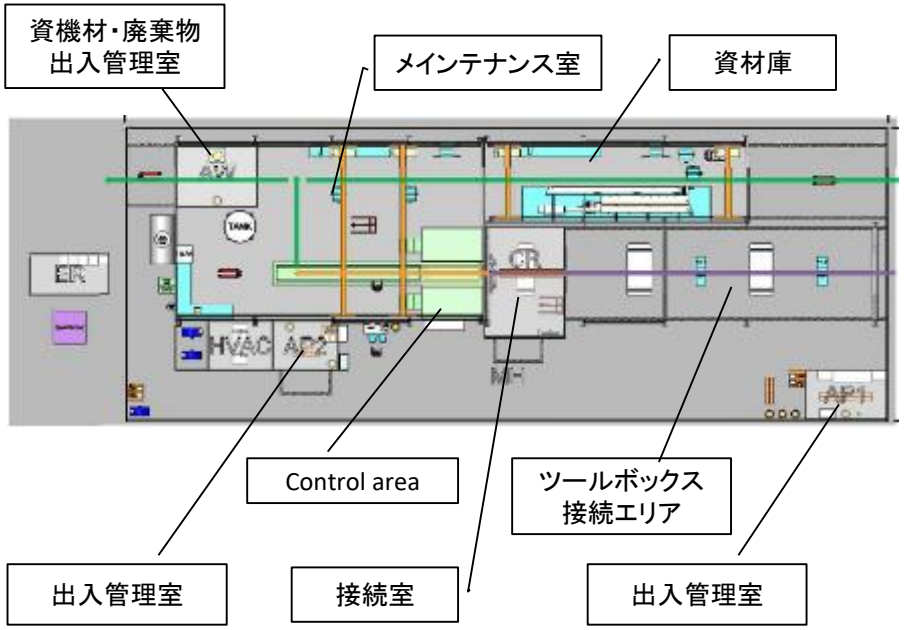
6.4.2.5 側面穴開け調査工法 メンテナンスユニット

項目	実施計画	実施内容・成果
メンテナンスユニット	・メインテナンスユニット内および周辺配置計画の合理化 ・装置、システムの開発、設計及び現場施工性確認	・メンテナンスユニットの機能、設備構成を検討し配置計画図を作成。(既報) ・室内の負圧維持に係る設備の系統図を作成し(次頁)、負圧レベルに応じ風量バランスを設定した。 ・装置仕様を確定するとともに、装置仕様に基づき強度評価を実施した。



鳥瞰図

＊)外側の建屋は、テント倉庫のような簡易建屋とすることで、工期や費用を抑制。



簡易建屋内の配置図(平面図)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の各種パラメータ
加工時に使用するアブレイシブ、水の使用量(概算見積)について

加工対象物	開口条件	工法	作業時間 (時間:分)	使用水量 (L)	アブレイシブ量 (kg)
生体遮蔽壁	φ480mm	WJ/AWJ	176:04	83,986	4,520 (4290+230)*1
PCV	φ400mm				
RPV遮蔽壁	φ400mm	WJ/AWJ	31:25	15,671	705
保温材	φ300mm				
RPV	φ220mm				
シュラウドヘッド	φ220mm	AWJ	4:30	1,270	163*2
合計			211:59	100,972	5,388
			約8.9日	約10万L	約5.3ton

＊1)AWJによるアブレイシブの使用量の大部分は、生体遮蔽壁の主鉄筋細断(下左写真)のために消費されており、PCVのみの貫通に必要なアブレイシブは230kgである。したがって、約4300kgのアブレイシブは処理水とともに回収される。
＊2)炉心への落下物による未臨界性を確保する観点から、落下物重量を16kg以下に抑制する必要あり。シュラウドヘッドは下右写真の通り4分割に切断。

要素試験における生体遮蔽壁内の主鉄筋切断状況

要素試験におけるシュラウドヘッド4分割切断状況

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置リスト

No.	設備・装置名	概要
1	作業用セル	切削、調査作業中は室内を負圧に維持して放射性ダストの拡散を抑制。
2	支持構造物	ツールボックスACx吊り込み/吊り上げ時の一時仮置き。ツールボックスAC0とのドッキング/アンドッキング
3	コネクションルーム	作業用セルの構造部材を活用して、ツールボックスACxとAC0の接合部をカバー。脱着時における万一の汚染拡大を抑止。
4*	ツールボックスAC0	R/B壁に固定したマルチユースプレートに接続し、2段の隔離弁を具備。ツールボックスACxを接合していない場合は直接線を抑止するためのキャップを設置。
5*	ツールボックスAC2	エキスパンダブルマンドレルを内部に装備し、ライトガイドチューブ、PCVガイドチューブ、PRVガイドチューブを設置する際に使用。
6*	ライトガイドチューブ	AC0～生体遮蔽壁までをカバーするガイドチューブ。
7*	PCVガイドチューブ	AC0～PCVまでをカバーするガイドチューブ。先端にはEPDMシールが具備され、バウンダリを構成。ガイドローラーと回転抑止機構により、ライトガイドチューブと同軸上に設置。
8	PCVスリーブ	PCVスリーブと生体遮蔽壁間にセメントミルクを充填して、生体遮蔽壁へPCVガイドチューブに加える軸荷重を負担させるための機材。
9*	RPVガイドチューブ	AC0～RPVまでをカバーするガイドチューブ。ガイドローラーと回転抑止機構により、ライトガイドチューブと同軸上に設置。
10*	ツールボックスAC3	AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッドを内部に装備し、生体遮蔽壁、PCV、RPV遮蔽壁、保温材、RPV、及びシュラウドヘッドを切削する。
11*	AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッド	φ480、400、300、220mm直径の穴を穿孔するために4種類の切削ツールヘッドを準備。
12*	クローラー	AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッドとリジッドに結合されてガイドチューブ内を挿入/引き出しされる。クローラーの外面にはガイドローラーとロッキングデバイスが設けられており、これらがその外側のガイドチューブの内面に沿って移動することで、ガイドチューブの中心軸と同心軸上をガイドすることとなる。
13*	ツールボックスAC5	上部穴あけ調査工法向けに開発された調査装置を炉心内へ搬送するための装置を装備。
14	処理水の回収、排水システム	3セットのターボファンユニットで切削片（コンクリー片や鉄筋片）を回収。また、回収した処理水はフィルターを通して切削片と水分を分離。
15	プラットフォーム	空調機器室屋上に作業用セル、ツールボックス、ユーティティを設置する際に、これらの荷重を天井スラブだけではなく、R/Bの壁などに分散させる鉄骨構造体。
16	メインテナンスユニット	ツールボックスACxに内装する切削ツールや、ガイドチューブなどの前準備や後処理（内装物の入れ替え）を行うためにグランドレベルに設置予定の施設。

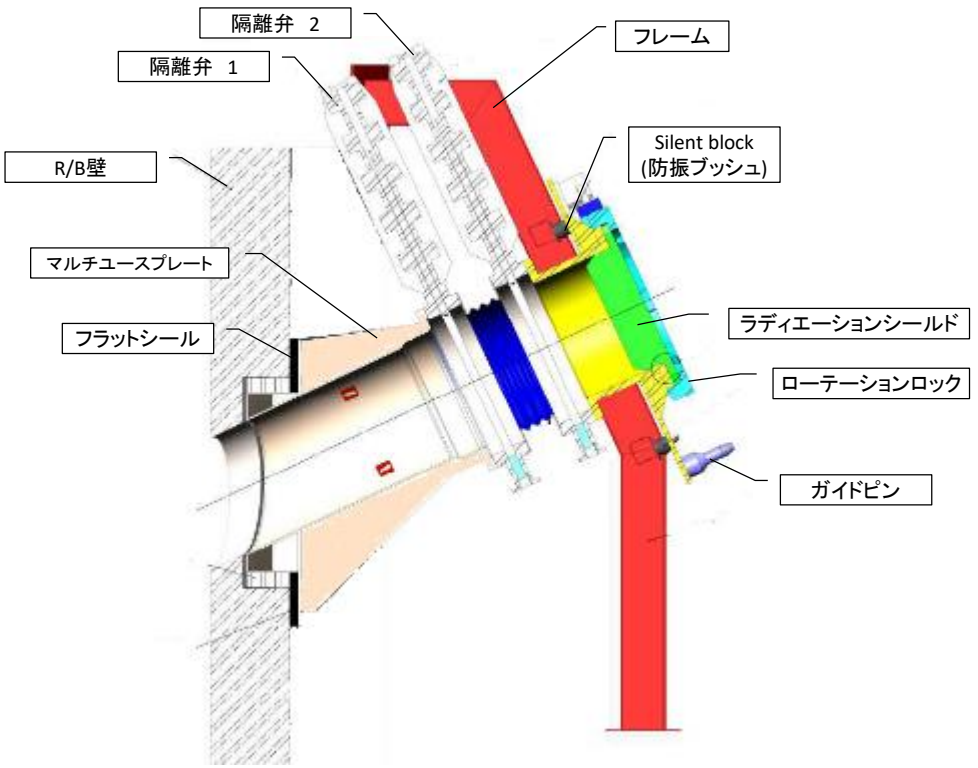
*）本表の内から、特に調査孔を掘削する主要な機材の詳細について次葉以降に示します。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.4：ツールボックスAC0

＜装置概要＞
R/B壁にアンカーボルトで固定したマルチユースプレートに固定する形で作業用セル内に常設するツールボックス。ツールボックスACxを接合せず、切削等の作業をしない時には炉心からの直接線を遮蔽するキャップ（ラディエーションシールド）を被せておく。

＜装置外観＞



＜主要な機能・特徴＞
【構成】
・フラットシールを介して、マルチユースプレートをアンカーボルトでR/Bに固定する。
・フレームもR/B壁に固定し、防振ブッシュを介してACx接続時の荷重を分担。
・2セットの隔離弁を具備することで放射性ダストの拡散防止に寄与。

【ACxのガイド機能】
・ツールボックスACxをドッキングさせる際には、ガイドピンがACx側のガイドホールと勘合して位置合わせを行う。また、ドッキング後にはローテーションロックを回転させてAC0-ACx間の接合を確実なものとする。

【直接線のシールド機能】
・ツールボックスACxを接合せず、切削等の作業をしない時には炉心からの直接線を遮蔽するキャップ（ラディエーションシールド）を設置。

【放射性ダスト拡散防止機能】
・2セットの隔離弁を具備することで、万一、1セットの隔離弁に不具合が発生した場合にでも開口部（ガイドチューブ）の閉止を実現する。

＜主要部品仕様＞
【隔離弁】
・ VAT valve 社製　Series 192 UHV- DN 40 / 1000 mm (supplier ref 19260-PE44)
【ローテーションロック機構】
・遠隔操作による電動駆動

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.5、10、13：ツールボックスACx

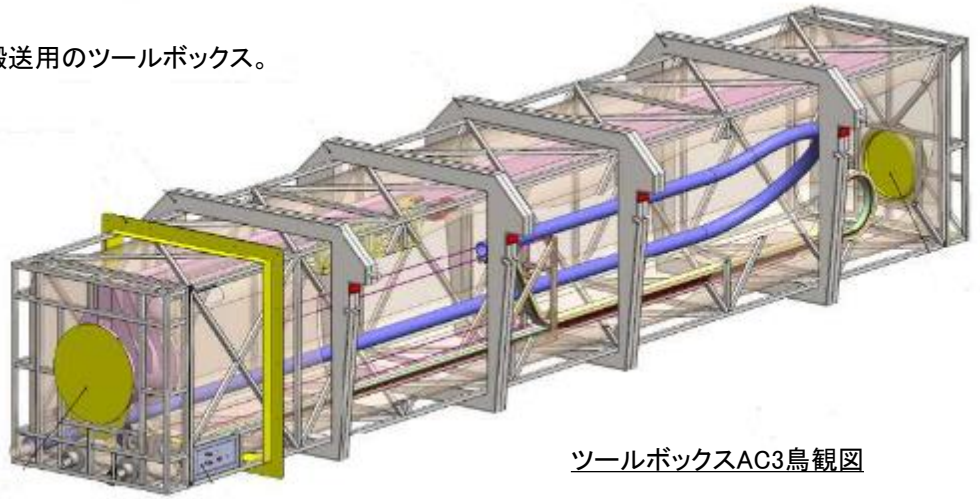
＜装置概要＞
AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッドやガイドチューブなどを掘削孔に送り込むための搬送用のツールボックス。

＜主要な機能・特徴＞
【構成】
次の3種類のツールボックスを準備する。
・AC2：ガイドチューブ搬送用。
・AC3：AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッド搬送用。
・AC5：調査装置搬送用。
メインテナンスユニットにおいて、各ツールボックスに内装するガイドチューブやツール類を入れ替える。

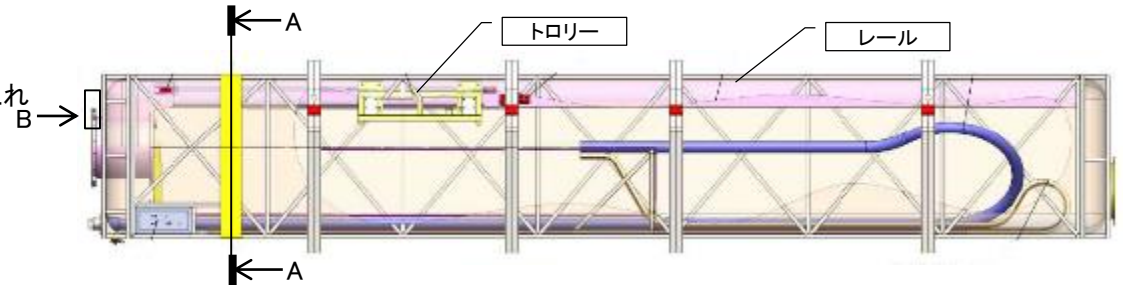
【ツール類の挿入/引き抜き機能】
・ツールボックスの天板側にトロリー用のレールが取り付けられており、このレールに沿ってトロリーが駆動してツール類を掘削孔に挿入/引き出しを行う。
・トロリーとは別に、万一トロリーが駆動しない場合を想定してクローラーを引き抜くためのウィンチ（2式）を装備。クローラーに接続したワイヤーをウィンチで巻き上げることでツール類を引き抜く。

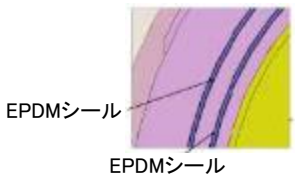
【シール機能】
・AC0とドッキングするフランジ面には、2重のEPDMシールが仕込まれており、これをAC0側のフランジ面に押し当てることで、AC0-ACx間の気密性を確保する。

＜主要部品仕様＞
・概略主要寸法 ： W2200mm×H2300mm×L18000mm（AC2）
： W2200mm×H2300mm×L15000mm（AC3）
： W2200mm×H2300mm×L11500mm（AC5）
・概略重量：約30,000kg(最重量のツールを装備した場合）

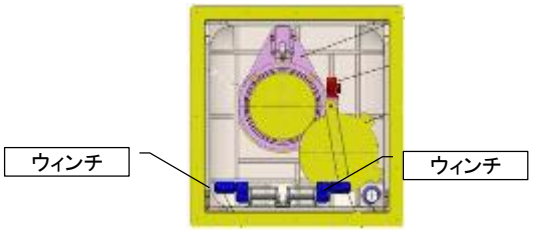


ツールボックスAC3鳥観図





矢視B 拡大図



断面A-A

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.6、7、9：ガイドチューブ

＜装置概要＞

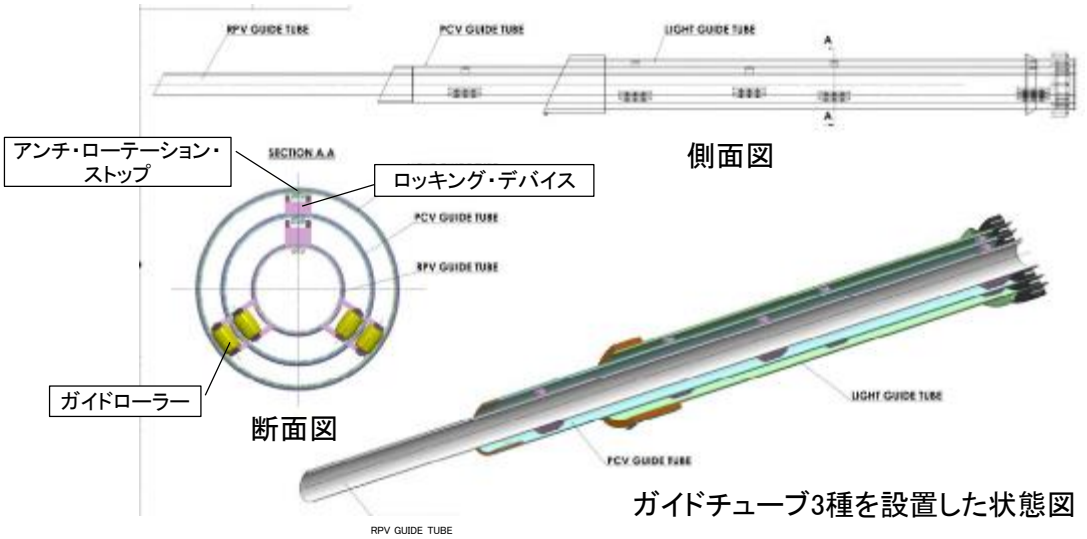
ライトガイドチューブ、PCVガイドチューブ、及びRPVガイドチューブは入れ子構造となっており、内包するガイドチューブの外面にはガイドローラーとロッキングデバイスが設けられており、これらがその外側のガイドチューブの内面に沿って移動することで、同心軸上をガイドすることとなる。また、PCVガイドチューブの先端面にはEPDMシールが組み込まれており、これをPCV外面に押し当てることでバウンダリを構成する。

＜主要な機能・特徴＞

【構成】
- ガイドチューブの外面にガイドローラー、及びロッキング・デバイスを具備。
- ガイドチューブの内面にアンチ・ローテーション・ストップを具備。
- PCVガイドチューブ及びライトガイドチューブの先端面に切り欠いたアリ溝にPEDMシールが仕込まれている。
- 各ガイドチューブの手元側にはメカニカルシールを設置してマルチユースプレートと接合される。

【ガイド機能】
- ガイドローラーが、ガイドチューブ同士の隙間を一定に保つことで、両者の中心軸を同軸上にガイドする。また、アンチ・ローテーション・ストップとロッキングデバイス（回転抑止機構）が各ガイドチューブの回転を抑止する。

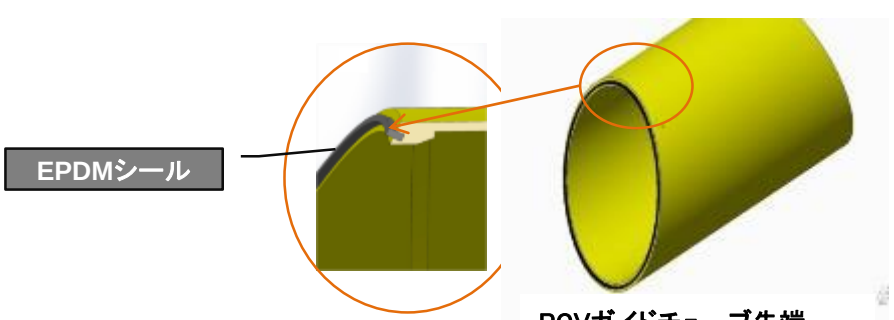
【シール機能】
- ガイドチューブ先端面に仕込んだEPDMシールをPCVに押し付ける形でPCV外面とのシールを確立して、バウンダリを構成する。
- ライトガイドチューブとマルチユースプレート、及びガイドチューブ間はメカニカルシールを介してシールする。



ガイドチューブ3種を設置した状態図

＜基本仕様＞

ガイドチューブ	材料	外径/肉厚/長さ 単位：mm
ライトガイドチューブ	ステンレス鋼管	φ660.4/6.4t/6622L
PCVガイドチューブ	ステンレス鋼管	φ457.2/6.4t/8741L
RPVガイドチューブ	ステンレス鋼管	φ267.4/6.4t/11274L



PCVガイドチューブ先端

メカニカルシールの例

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.11：AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッド

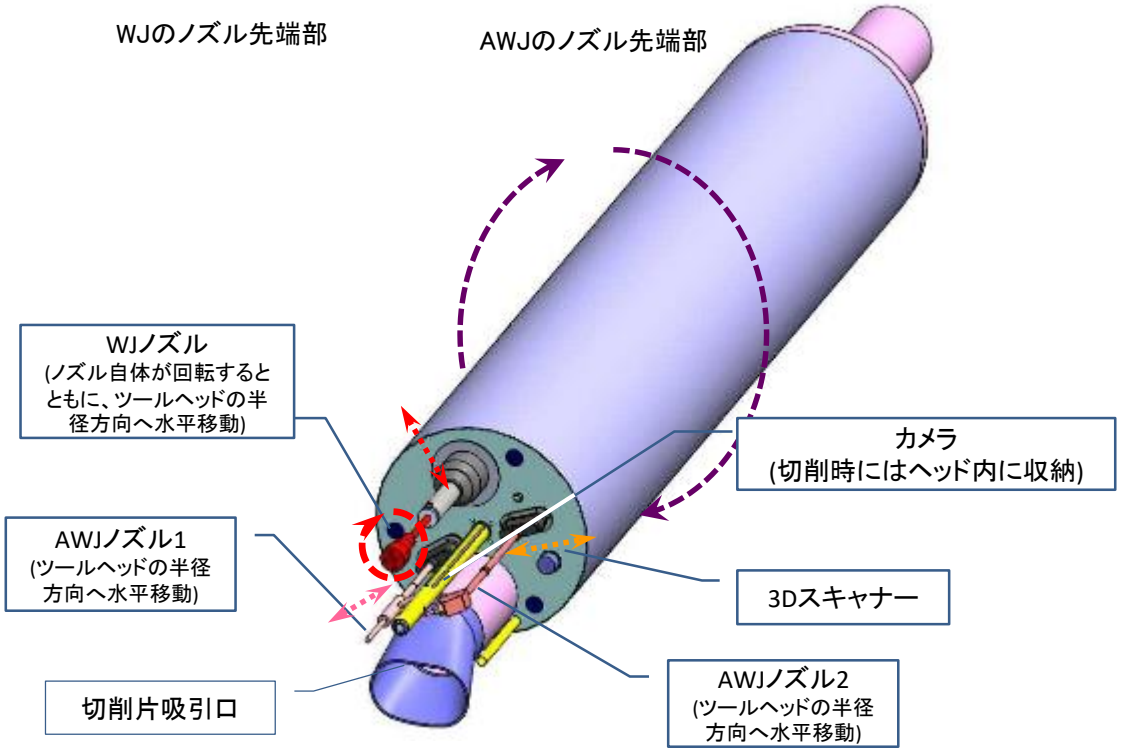
＜装置概要＞
生体遮蔽壁～PCVに貫通孔を開ける際に使用する切削ツールのヘッド部分で、通常のウォータジェット（WJ）とアブレイシブウォータージェット（AWJ）を組み合わせた（ハイブリッド）装置

＜主要な機能・特徴＞
【構成】
・コンクリート層をはつるWJノズル。
・鉄筋及び鋼板を切断するAWJノズル。
・コンクリート片、及び金属片を吸引回収する切削片吸引口。
・切削孔内の状況を捉えるカメラ。（カメラには、AWJ切断時の音を把握するためのマイクロフォンを内蔵）
・鉄筋位置を特定するための3Dスキャナ。
【穿孔ガイド】
・ツールヘッドの手元側に長さ3000mmのクローラーがリジッドに接続されており、このクローラーに装着されたガイドローラーとロッキングデバイス（回転抑止機構）がライトガイドチューブの内面を沿いながら前進することで、ツールヘッドの中心軸をガイドする。
【コンクリート層穿孔機能】
・WJにより、コンクリート層をはつる。WJノズルには右写真のように中心軸から外向きに傾斜した2つのノズルが備えられており、直径φ480mmの穿孔を行う。
【金属層穿孔機能】
・AWJにより、鉄筋及び鋼板を穿孔し、直径φ400mmの穿孔を行う。
【回収機能】
・切削したコンクリート片や転勤片は、切削片吸引工から吸引して回収する。

＜基本仕様＞
【装置全体】
・概略主要寸法：φ440mm×L3000mm
【金属層穿孔機構】
・アブレイシブ（ガーネット）によるアブレイシブウォータージェット

WJのノズル先端部

AWJのノズル先端部



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の設備・装置仕様
No.12：クローラー

＜装置概要＞

AWJ/WJハイブリッド切削ツールヘッドは、クローラーに結合されてガイドチューブ内を挿入/引き出しされる。クローラ0の外面にはガイドローラーとロッキングデバイスが設けられており、これらがその外側のガイドチューブの内面に沿って移動することで、ガイドチューブの中心軸と同心軸上をガイドすることとなる。また、クローラーの内部には、切削ツールヘッドに水やアブレイシブを供給し、処理水を輩出する配管類や、電気計装用のケーブル類を内包をする。

＜主要な機能・特徴＞

【構成】

・クローラーの外面にガイドローラー、及びロッキング・デバイスを具備。

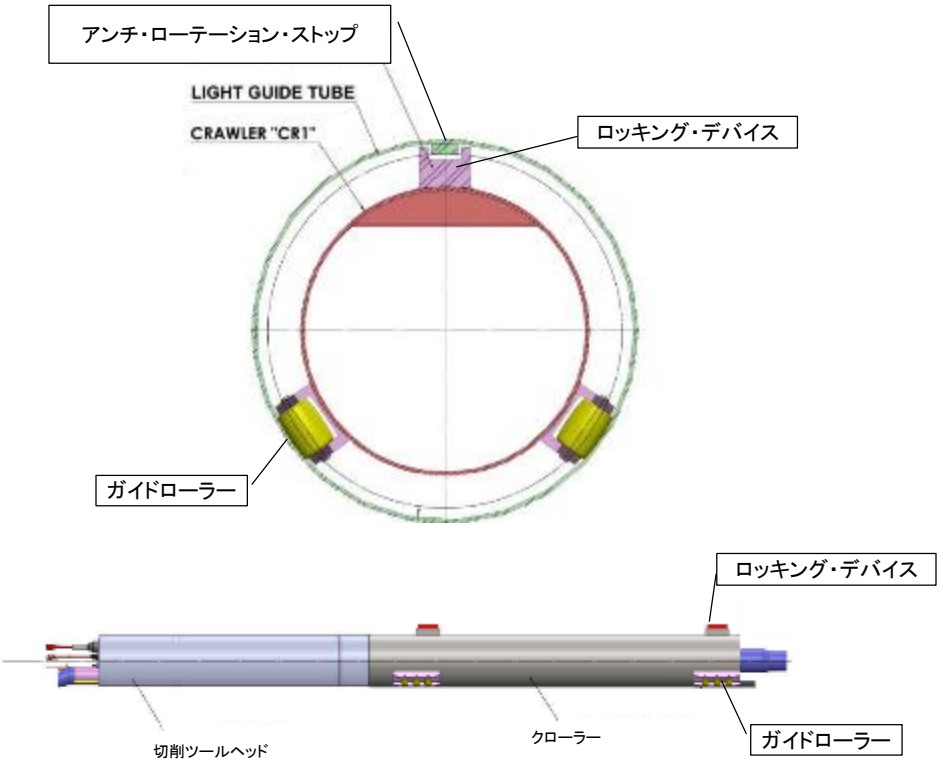
【ガイド機能】

・ガイドローラーが、ガイドチューブ同士、あるいはガイドチューブとクローラーの間の隙間を一定に保つことで、両者の中心軸を同軸上にガイドする。また、ロッキングデバイス（回転抑止機構）がライトガイドチューブの内面のアンチ・ローテーションストップに沿いながら挿入/引抜することで、ツールヘッドの中心軸をガイドする。

・ツールボックスからツールヘッドへ配管、ケーブル類を繋ぐ経路となっており、チェーンドライブを活用して、ツールヘッドの挿入・引き抜きに当たって配管やケーブル類が円滑に稼働するように配慮されている。

＜基本仕様＞

クローラー	結合対象ツール	材料	外径/長さ 単位：mm
CR1	切削ツールヘッドH1（生体遮蔽壁）	ステンレス鋼管	φ457/3650L
CR2	切削ツールヘッドH2 （PCV、原子炉遮蔽壁、保温材）	ステンレス鋼管	Φ355.6/3650L
CR3	切削ツールヘッドH3 （RPV、シュラウドヘッド）	ステンレス鋼管	φ208/3190L
CR4	調査装置	ステンレス鋼管	φ208/4600L



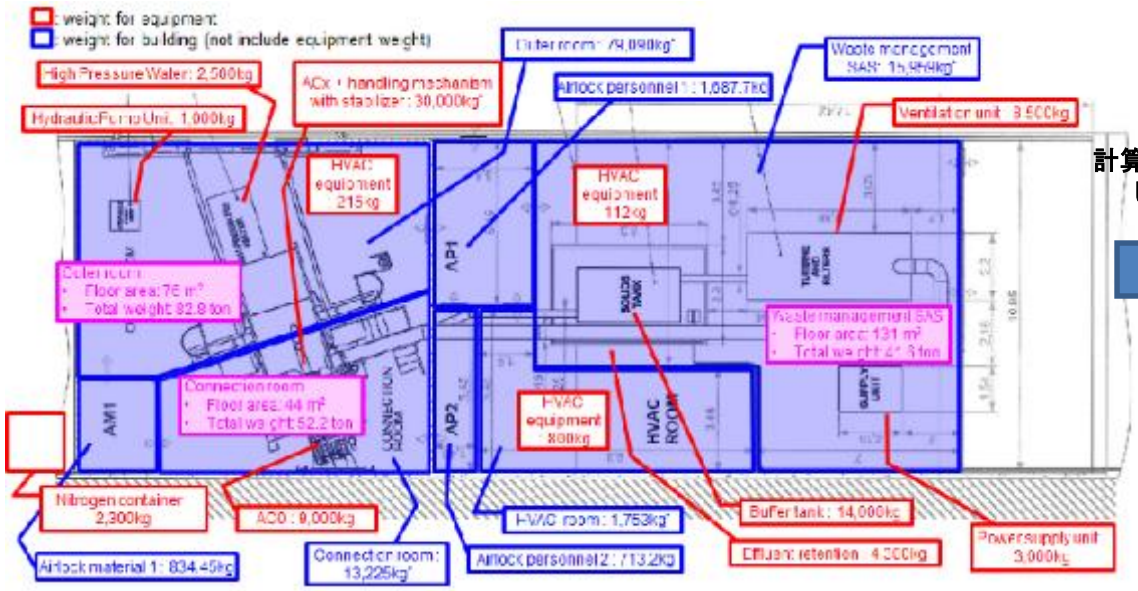
クローラーと切削ツールヘッドを結合させた状態図

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6 側面穴開け調査工法の配置検討

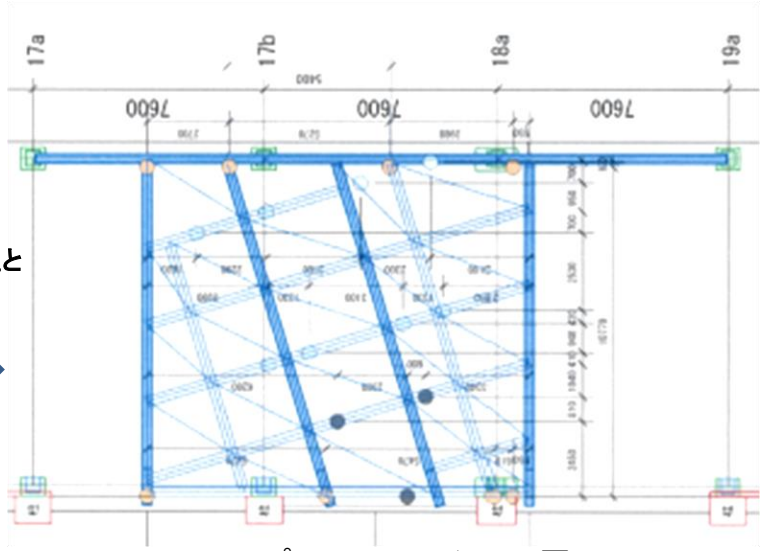
作業用セルを設置するプラットフォーム

- 作業用セルを含む空調機器室屋上に配置する機材の総重量は約140トン(負圧エリア部は80トン)と試算された。屋上の床スラブ部強度は高くないことから、機材重量を屋上の床スラブのみで支えることは極めて難しい。そこで、機材の配置と重量情報を踏まえて、各機器を設置するプラットフォームの設置方法の検討を行った。プラットフォームを屋上上面のチラー設置用基礎(床スラブ)ばかりでなく、R/B東側の柱及び空調機器室壁面にも荷重を分散させるよう配慮し、プラットフォームの仕様を設定した。

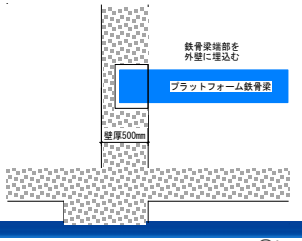


空調機器室屋上に設置する
機材の配置と概算重量分布

計算の入力値として反映



プラットフォーム平面図
(特に荷重が集中する負圧エリアは配置に合わせプラットフォームを設計)



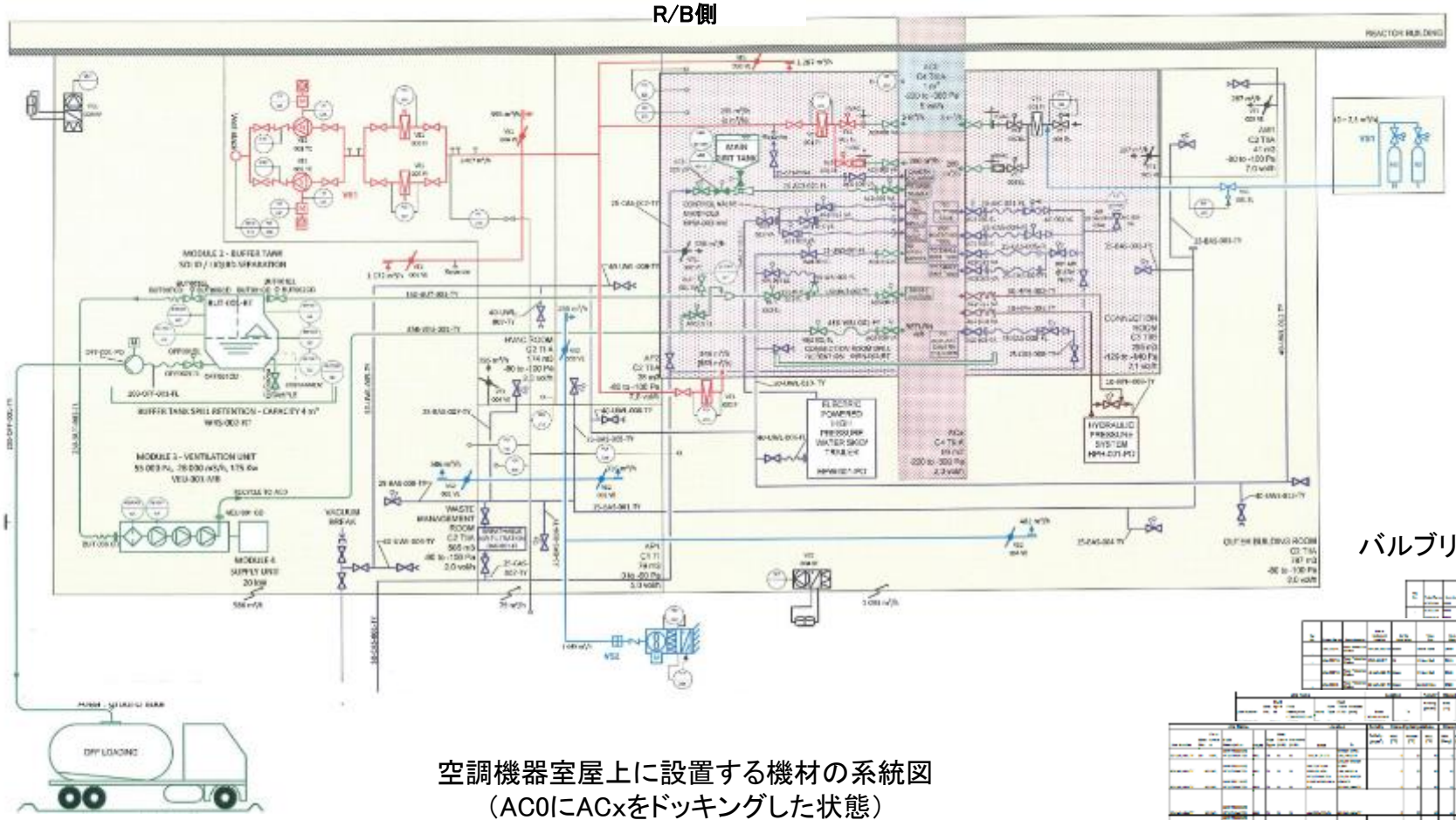
R/B東側の柱に荷重を分散させる
工法イメージ
(鉄骨梁端部を壁に差し込み、コンクリートの圧縮力で支持)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.4.2.6　側面穴開け調査工法の概略システム構成

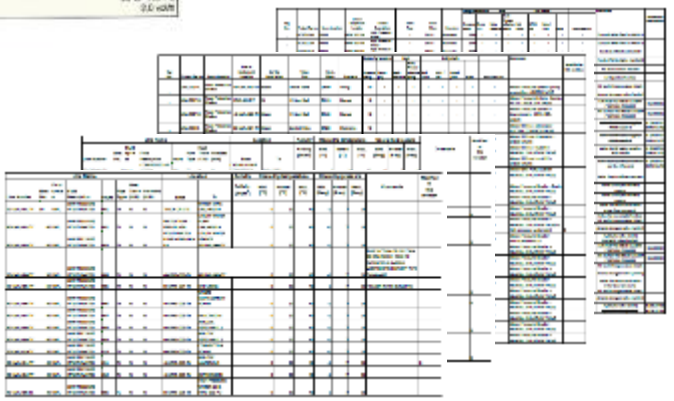
前項の負圧管理を実現するための系統設計を行い、系統図、パイピングリスト、バルブリストを作成し、設備の規模感を把握するための情報を整備した。この結果を踏まえて、前項の装置重量を試算した。

R/B側



空調機器室屋上に設置する機材の系統図
（AC0にACxをドッキングした状態）

バルブリスト、パイピングリスト等



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

7.まとめ

7.1 調査計画・開発計画の策定

取得情報としては、2016年度のニーズ調査と同様の内容となった。時期は更新されたが、できるだけ早期にデータを採取するという要求は変更なかった。調査計画については、①RPV内部調査の次ステップに反映、②燃料デブリ取り出し工法検討に反映することを目的とした、ステップバイステップの調査計画へ更新を実施した。開発計画については変更がなかった。

7.2 工法計画の立案

被ばく評価にて安全評価上問題ないことを確認した。但し、上部穴開け調査工法では、R/B内の放射能濃度が上昇するため、PCV内の負圧化が必要な状況となった。側面穴開け調査工法についてはPCV内微正圧でも実施可能という評価結果となった。

7.3 調査用付帯システムの検討

安全要求の整理、被ばく評価結果から必要な付帯システムを抽出し、要求事項として整理した。異常時に対応するための放射線・ダストモニタの設置やガス管理設備の冗長化を抽出した。

7.4 アクセス装置・調査装置の開発

各作業ステップに必要な要素技術について試験を実施して実現性を確認し、詳細設計に必要な情報やパラメータを取得した。また、各作業に必要となるユーティリティの供給量の試算や、要素試験結果を反映して作業ステップ、設備・装置仕様を策定した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning