

平成29年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金
原子炉压力容器内部調査技術の開発

平成30年度実施分成果報告

令和元年7月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

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

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

1.研究の背景と目的

【原子炉圧力容器(RPV)内部調査の目的】

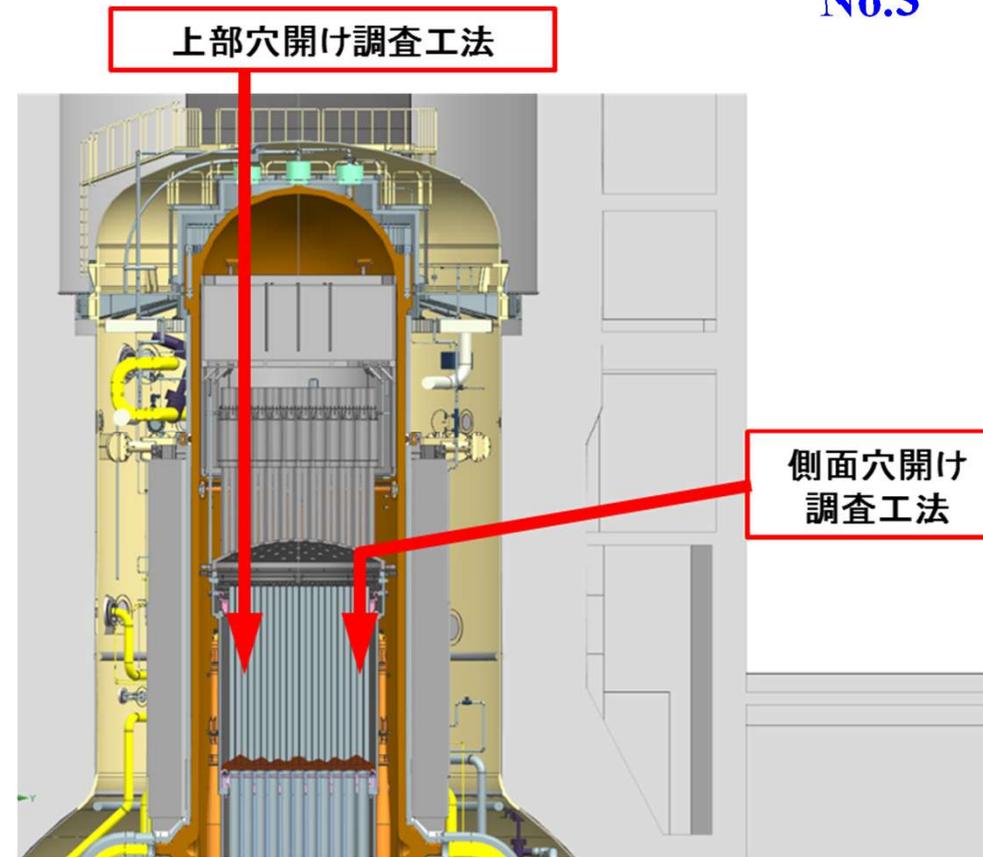
燃料デブリを取り出すためのRPV内部の基礎情報(炉底部までの燃料デブリ分布、線量、構造物の状態等)の取得。

【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

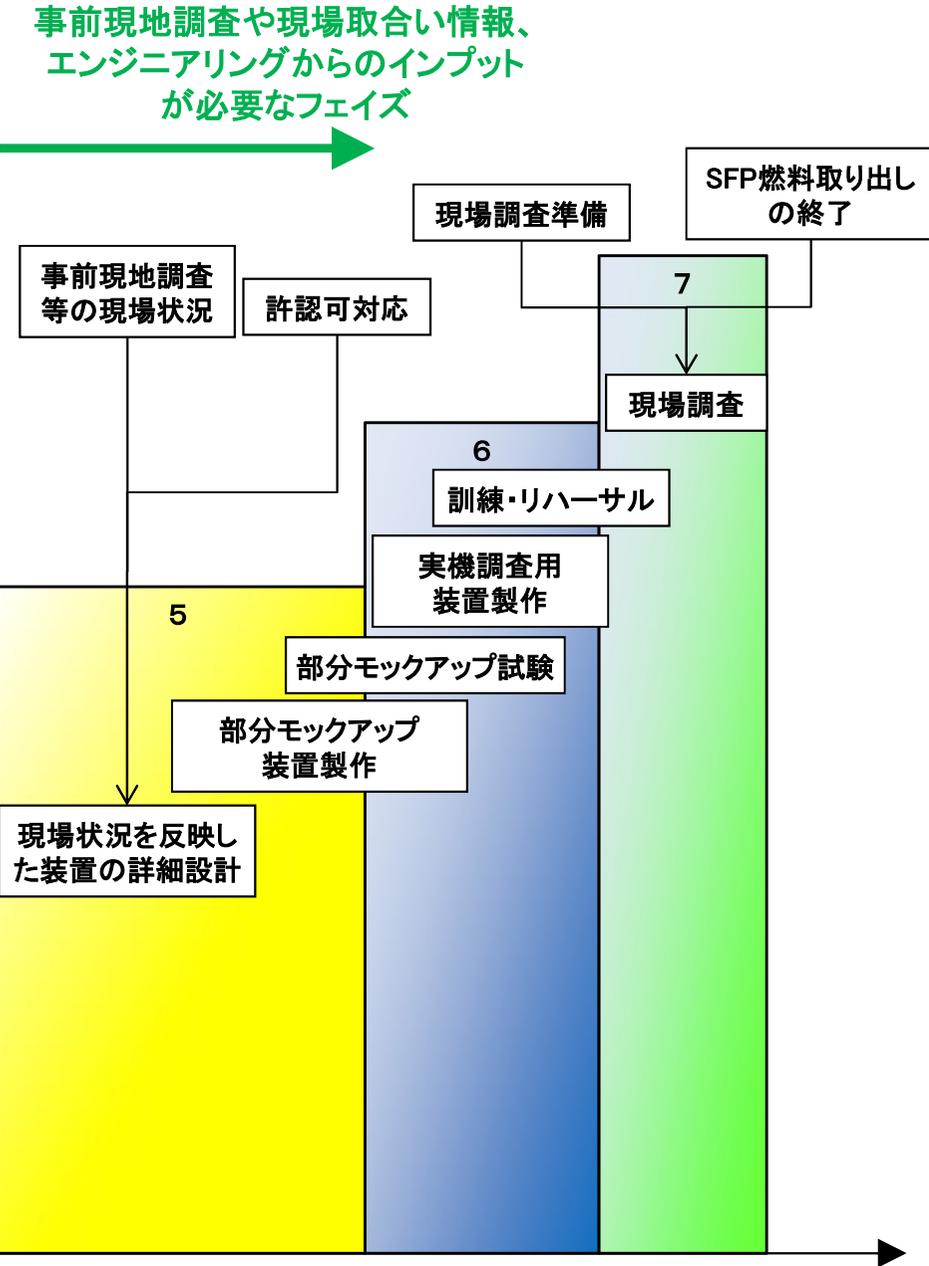
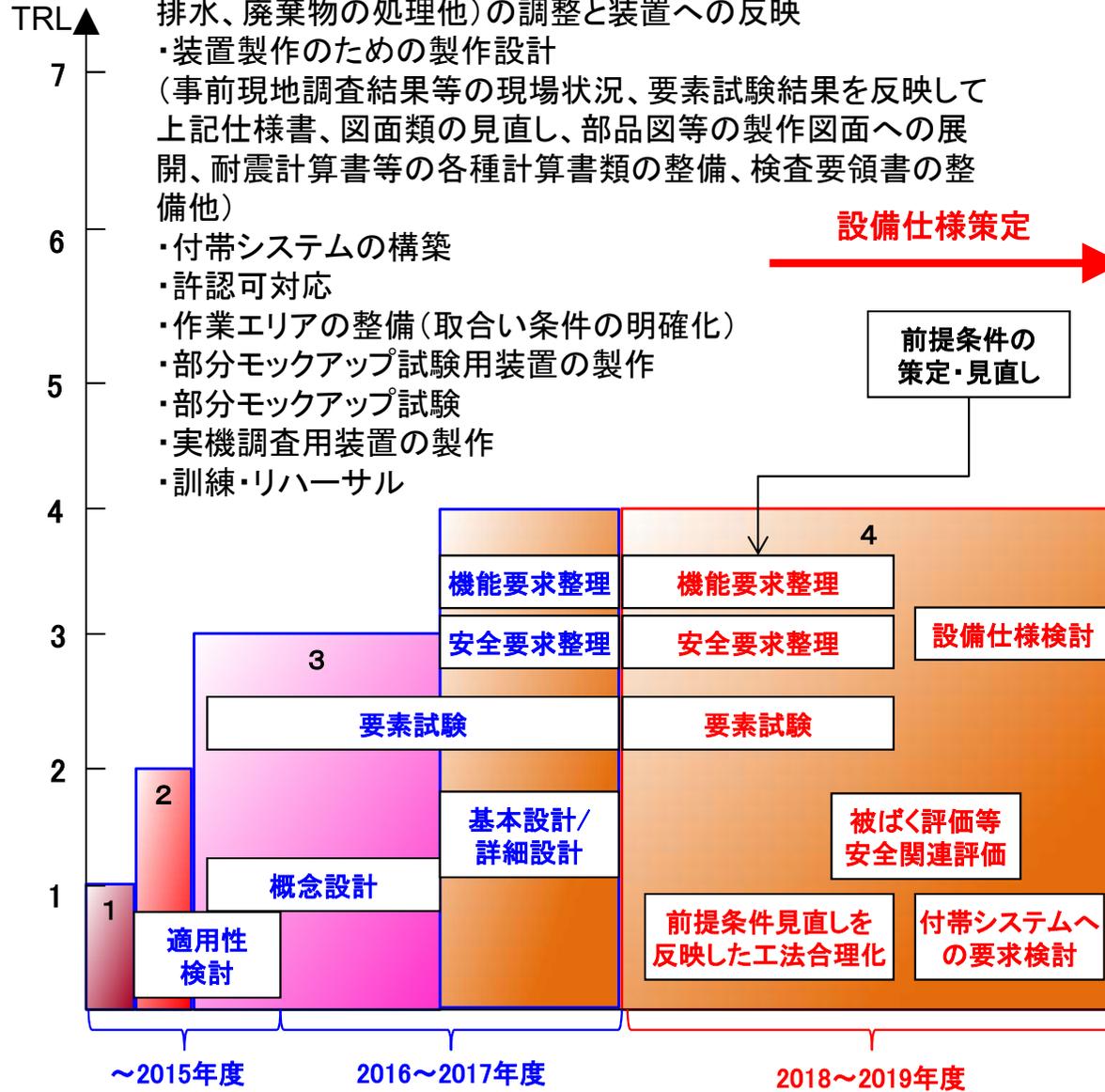
実施内容	目標達成指標
(1) 調査計画・開発計画の策定	<p>燃料デブリ取り出しに必要な情報が整理され、適用時期等の現場調査に関わる前提条件を明確にした調査計画が策定されていること。また、必要に応じて開発計画が更新されていること。 (情報整理のため技術成熟度(TRL)目標設定の対象外とする)</p>
(2) 工法計画の立案	<p>作業ステップ、工法手順が具体化されており、合わせて安全要求も整理されている。また、具体化した作業ステップ、工法手順を基に被ばく評価を行い、調査工事に伴う周辺環境への影響が評価されていること。 (情報整理のため技術成熟度(TRL)目標設定の対象外とする)</p>
(3) 調査用付帯システムの検討	<p>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)</p>
(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	<p>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)</p>
② 側面穴開け調査工法の装置開発	<p>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)</p>

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ィ関係（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

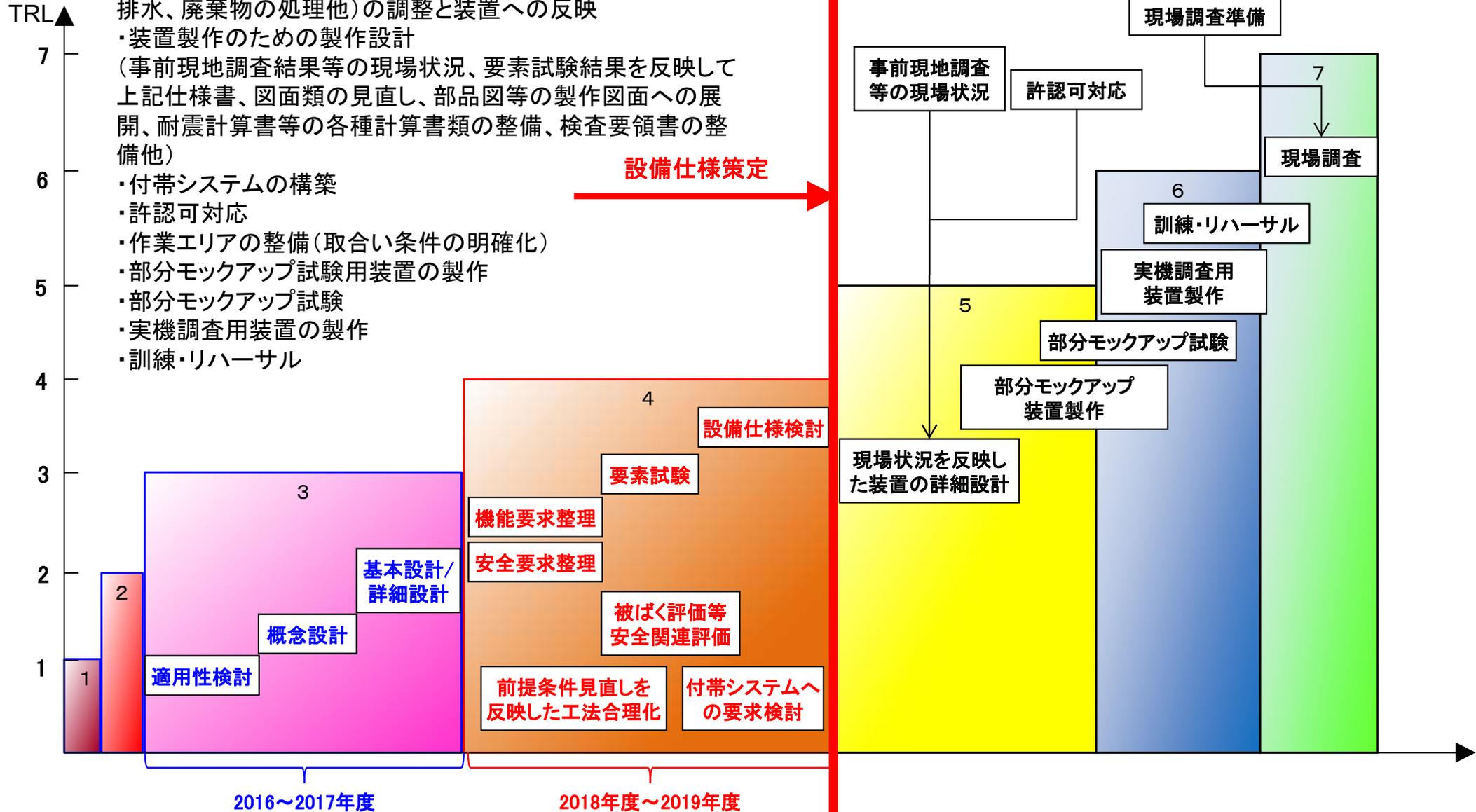


2.1 目標：側面穴開け調査工法

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ィ関係(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



3.1 本研究の実施項目(2018/2019年度)

No.7

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章) 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。

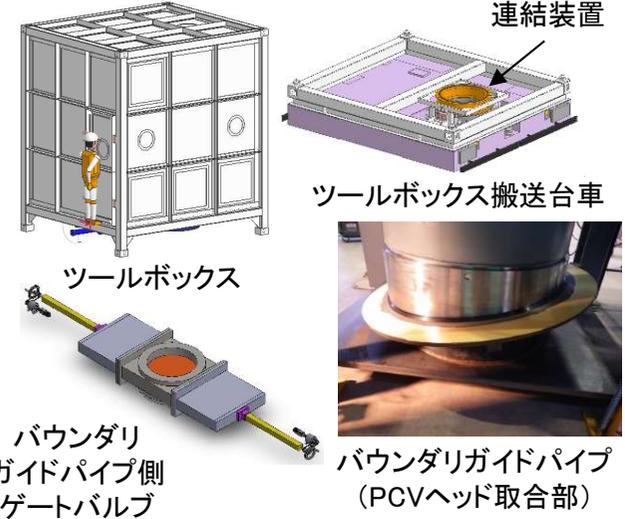
3.2 実施項目間の関係性：上部穴開け調査工法

- ・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

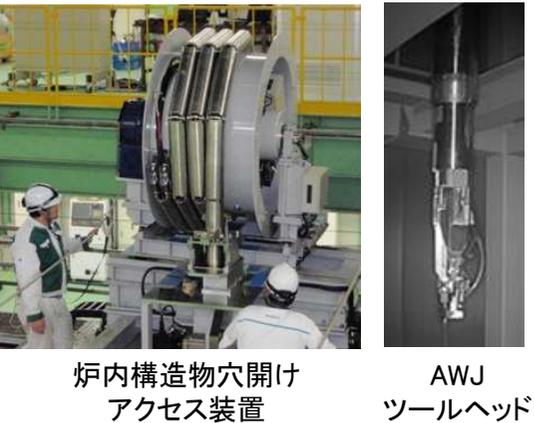
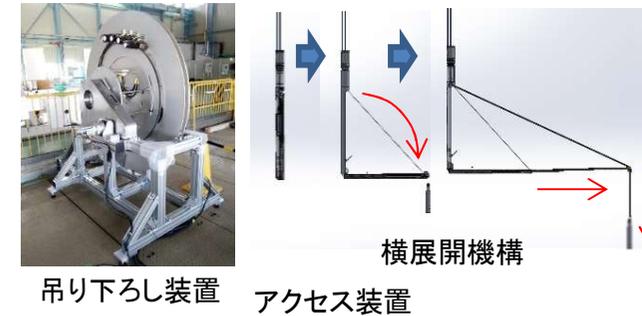
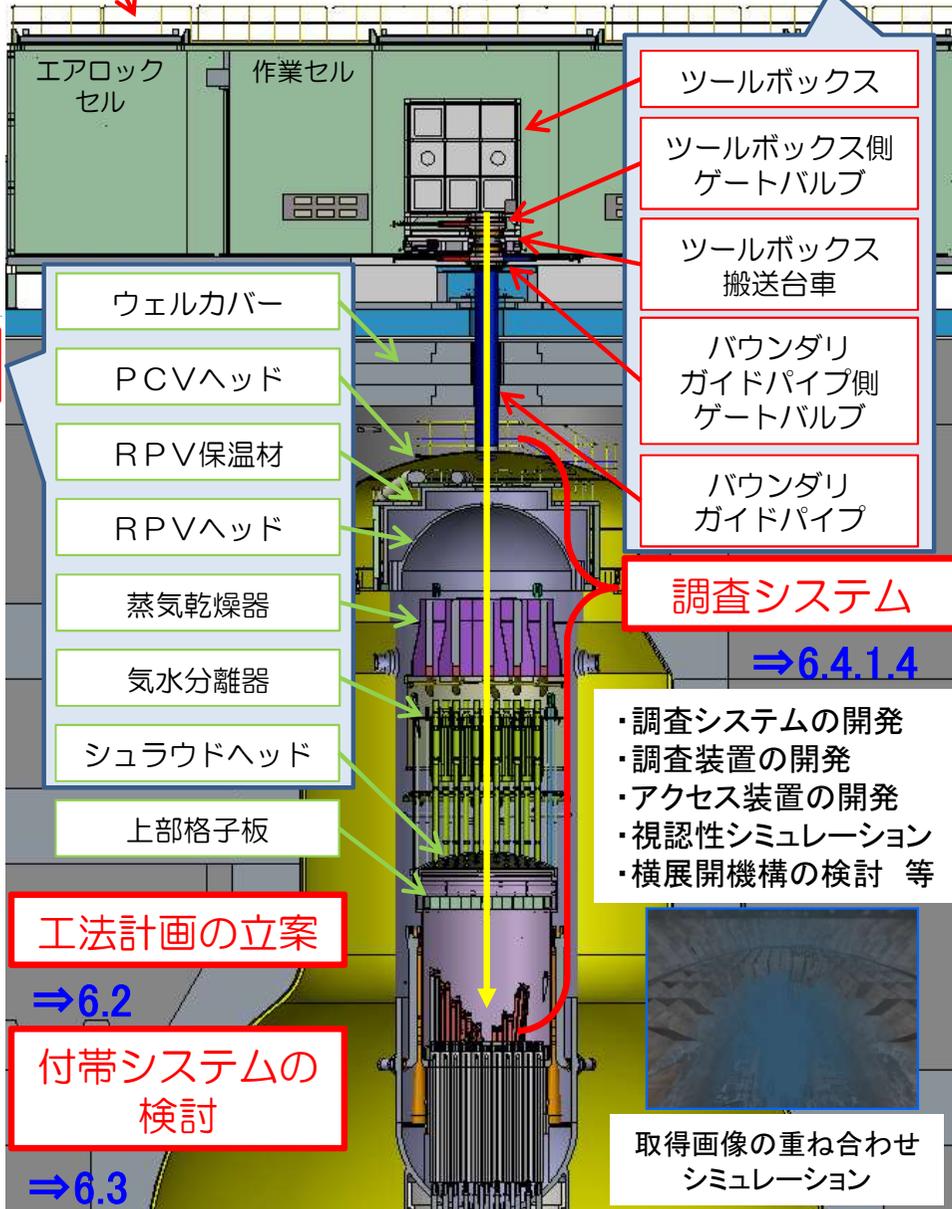
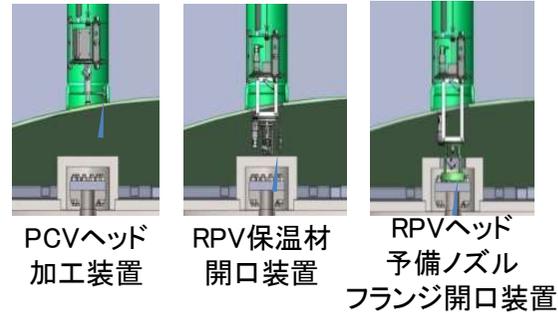
バウンダリ機能維持装置 ⇒6.4.1.2

- ・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



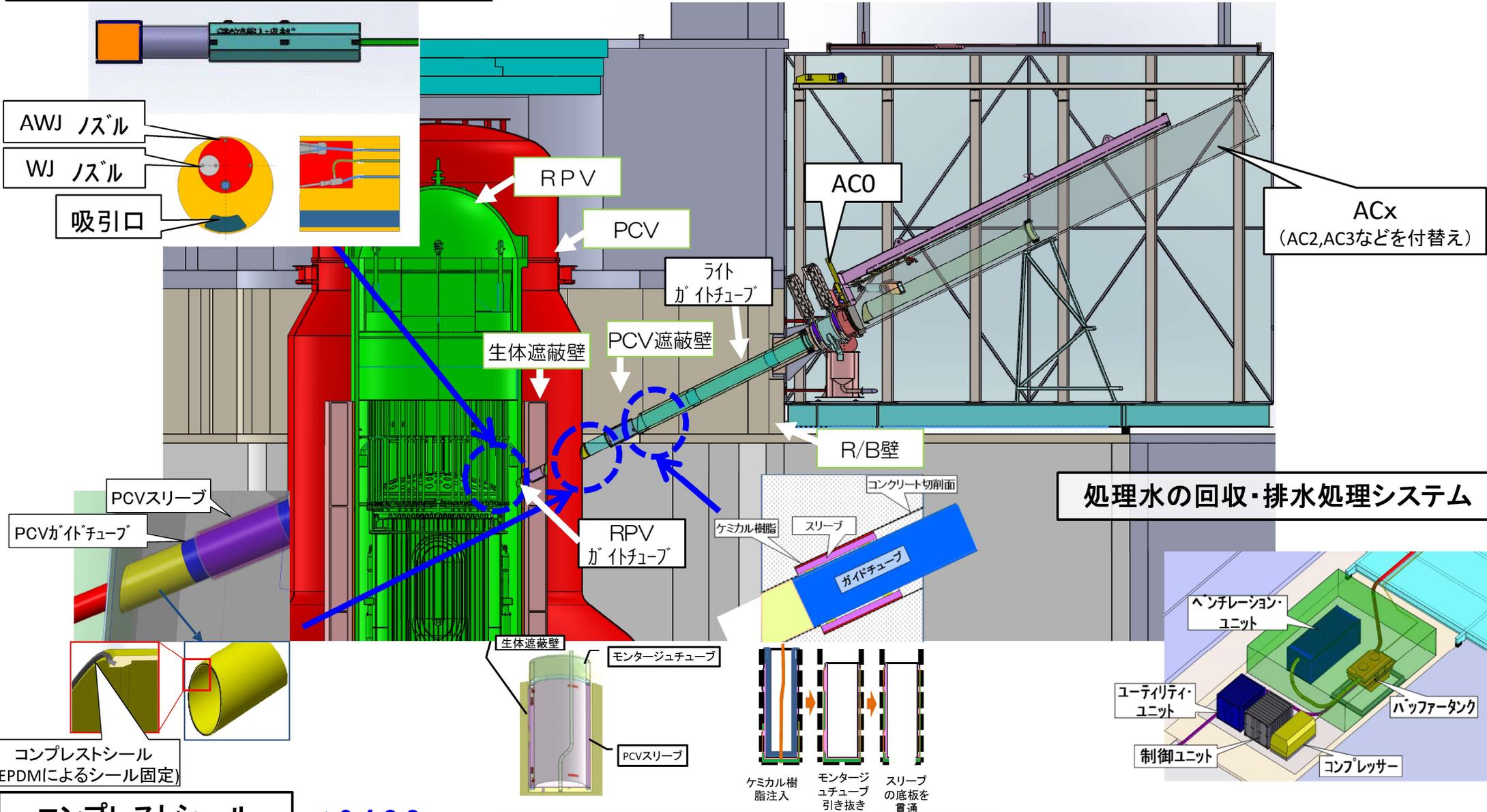
加工装置

- ・各開口装置の開発
- ・小径穿孔装置の開発 等 ⇒6.4.1.3



3.2 実施項目間の関係性:側面穴開け調査工法

AWJ/WJ ハイブリッド・ツールヘッド ⇒6.4.2.2



コンプレストシール ⇒6.4.2.3

ケミカル樹脂によるガイドチューブ固定 ⇒6.4.2.3

⇒6.4.2.2

3.3 他研究との関係性

【input】

- ・調査ニーズ(燃料デブリ取り出し、臨界管理の検討に必要な調査項目)

燃料デブリ取り出し工法・
装置に係る検討・研究

臨界管理に
係る検討・研究

【output】

- ・付帯システムに関する要求仕様

【output】

- ・RPV内部の情報
(視覚情報・線量率 等)

原子炉压力容器
内部調査技術の開発

装置製作・モックアップ 等

実機調査

本事業

【input】

- ・RPV内部の推定情報
(構造物の状況 等)

【input】

- ・調査実施時期
・現場状況 等

【output】

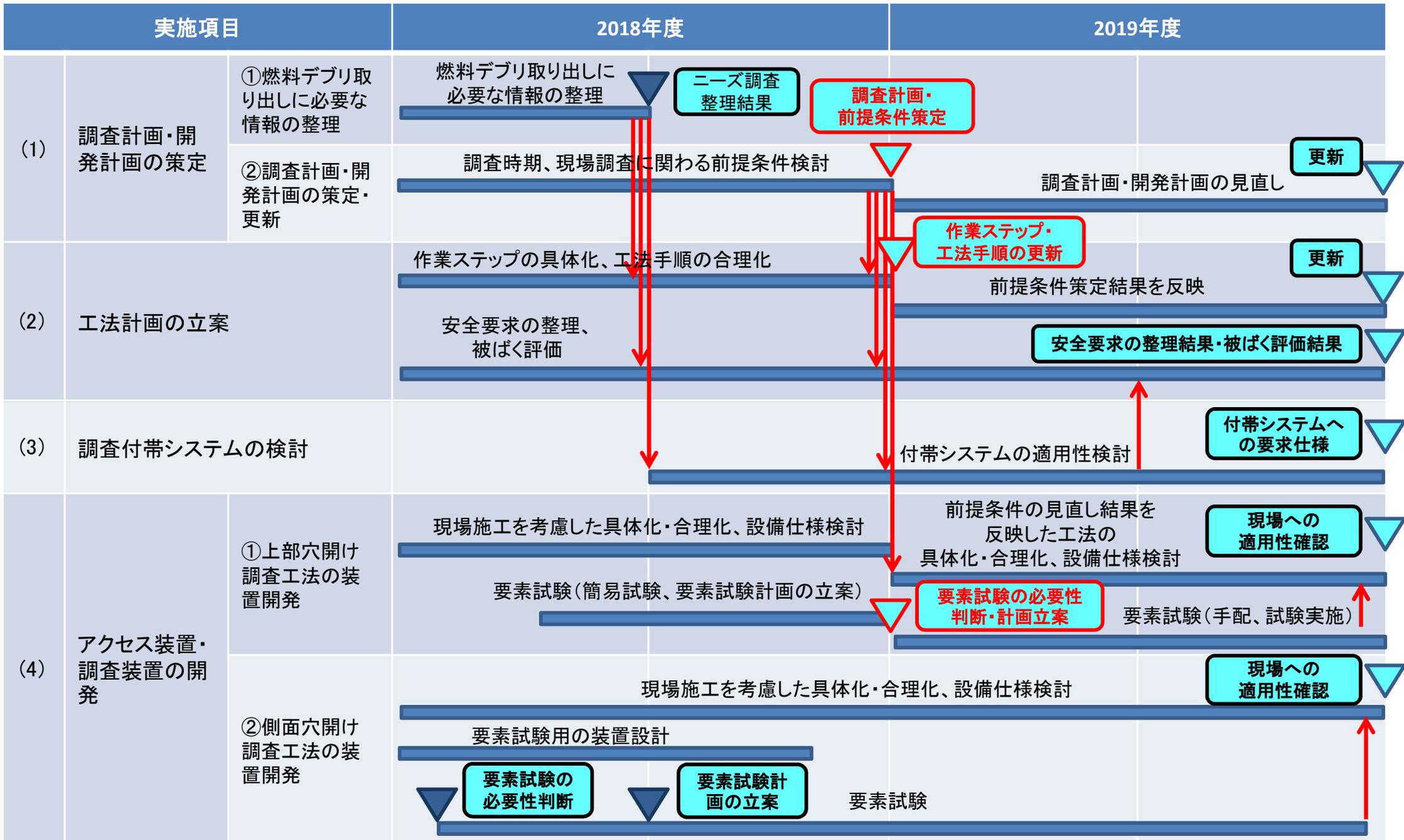
- ・実機調査の前提条件・要望事項
・付帯システムに関する要求仕様

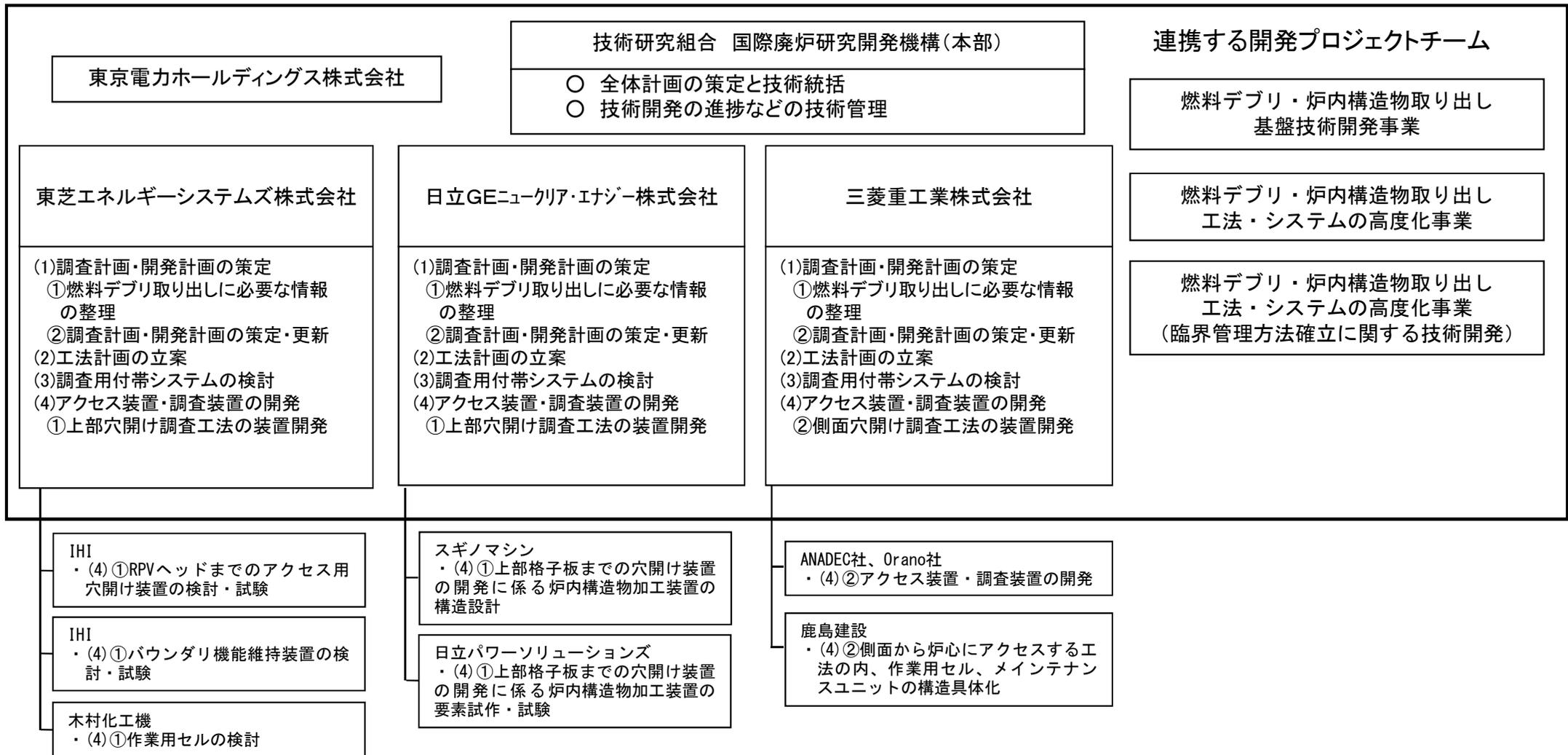
炉内状況把握に
係る検討・研究

取合い・干渉物・
実機適用時期等の情報

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





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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
検討対象号機 (2017年度までの成果)	<ul style="list-style-type: none"> ・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)	<ul style="list-style-type: none"> ・上部穴開け:RPV予備ノズル直上 ・側面穴開け:R/B東側空調機室屋上
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可能性があり、上部格子板以下の構造物を燃料デブリと定義し、調査はシュラウドヘッドまでは加工する。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	作業場所は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。側面穴開け調査工法においては、R/B東側の空調機器室屋上を作業場所として、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。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	炉心部へ落下しても問題ない加工品の仕様を臨界の観点で評価を行い、その範囲内での加工片落下を許容する。
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、作業用セル内に負圧環境を構築する方針とする。

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

原子炉格納容器(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。	調査ニーズ整理	調査ニーズの整理結果

上期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(1～10³)の確認。

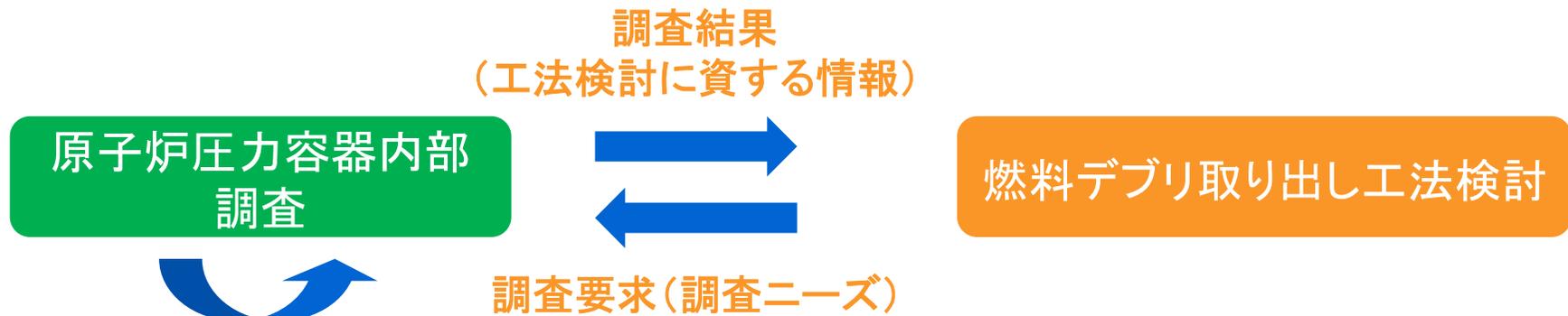
6.1.2 調査計画・開発計画の策定・更新

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	2018年度	2019年度
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。	調査実施時期、環境条件の策定	調査計画・前提条件の見直し
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。	温度変化の推定 構造物影響の検討	
	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オペフロ上の線量評価を実施。	構造物の汚染度推定 空間線量率評価	
	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。	評価方針の検討 重量物落下時の臨界評価	

6.1.2 調査計画・開発計画の策定・更新

6.1.2.1(1) ステップバイステップ(調査計画)の考え方



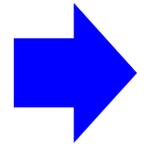
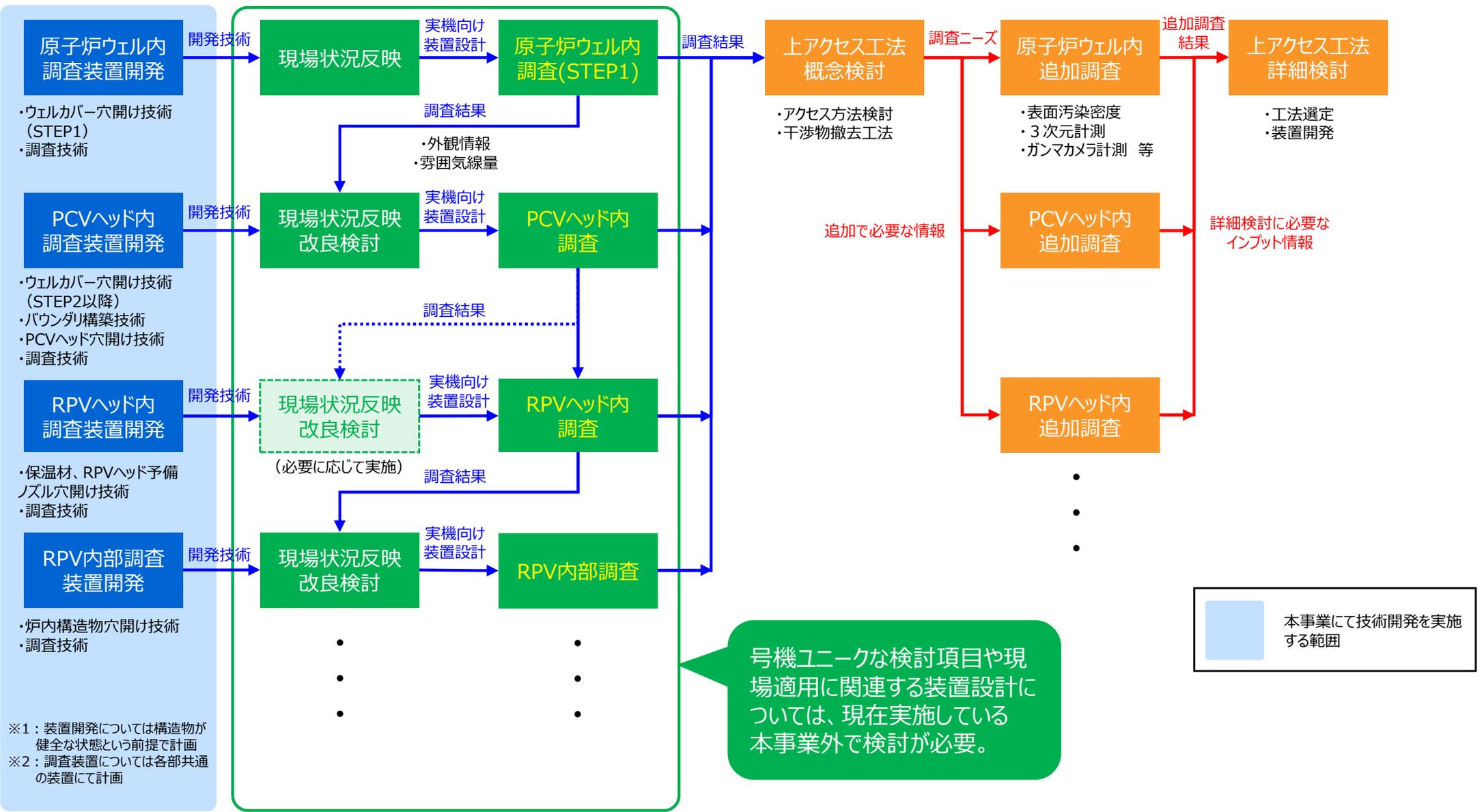
自らの調査計画に
フィードバック

・RPV内部調査PJでは、最終的なRPV内部調査の姿(≒炉心部の調査)を目指した開発を進めている。
・内部のインプット情報がないため、アクセスルートである炉心上部の構造物は建設時の状態のままという前提条件を置いて開発を行っている。
⇒調査で得られた情報が次ステップの調査計画にフィードバックできる。

・燃料デブリ取り出し上アクセス工法の検討について、これまで実機情報が取得できておらず、検討が進んでいない状況。
・現在、大規模取り出しに向けた方針検討ができておらず、上アクセスと横アクセスのどちらを主軸にするか、RPV内部調査の結果がインプットとして必要。
⇒調査で得られた情報で上アクセス工法の概念検討が開始でき、工法検討が進めば追加で必要な情報が新たな調査ニーズとなる。さらにその追加調査結果が工法検討に資する情報となる。

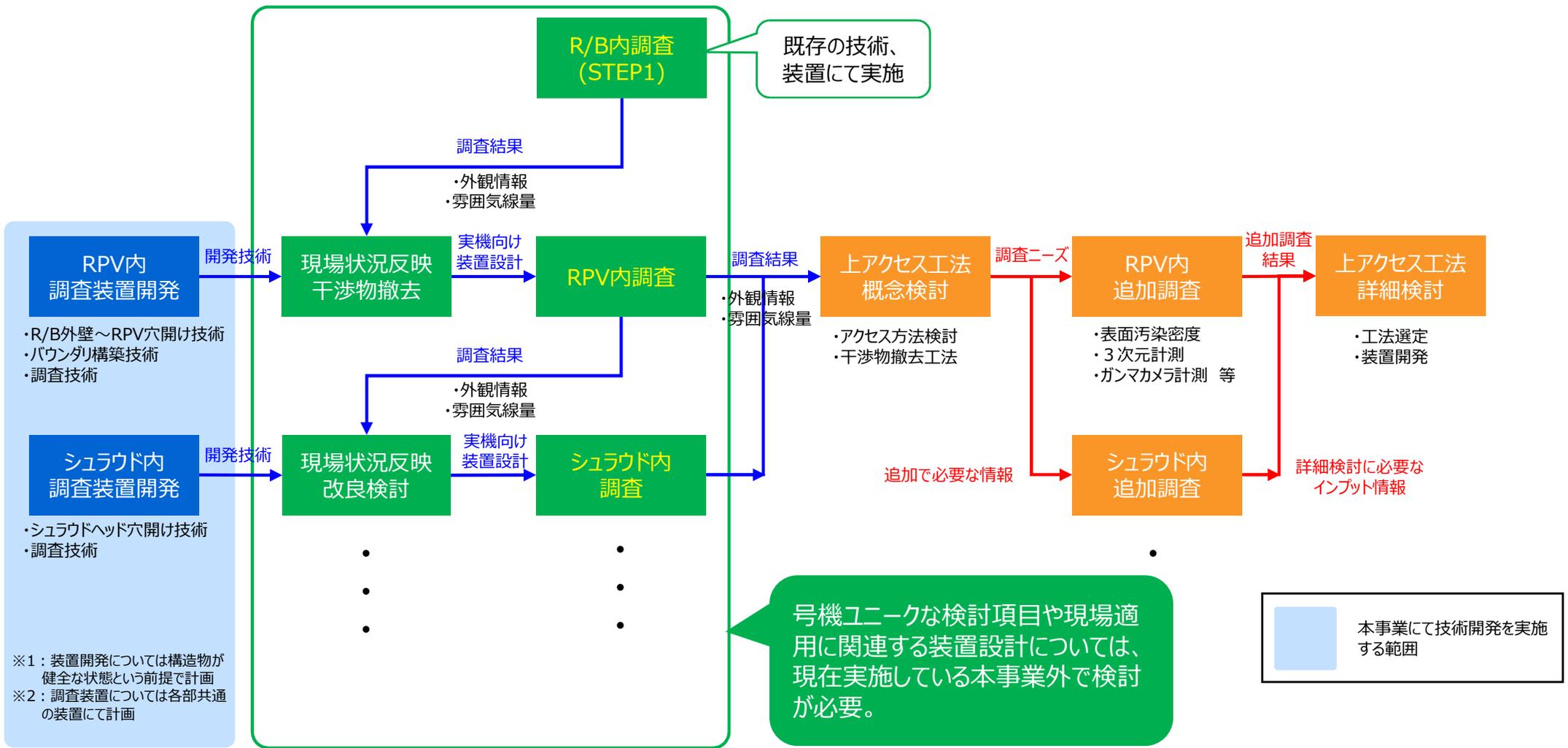
内部の状態は号機毎に全く異なっており、早期に内部の状況を確認して次の調査計画・開発計画へのフィードバック、燃料デブリ取り出し工法検討へのフィードバック(ステップバイステップ)が重要。

6.1.2.1 (2) 調査計画・開発計画：上部穴開け調査工法



炉心部までアクセスして調査するための装置開発を行う（開発計画に変更なし）。尚、ステップバイステップの調査結果から現場状況の反映や改良検討を行う。

6.1.2.1 (3) 調査計画・開発計画：側面穴開け調査工法



➡ 炉心部までアクセスして調査するための装置開発を行う（開発計画に変更なし）。

6.1.2.1(4) 調査計画・開発計画の更新:まとめ

○調査計画→更新

✓ 外観情報と線量率を取得して、1.RPV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調査計画へ見直し。

・上部穴開け調査工法については、実機状況/推定状況を考慮したステップにて調査を計画(更新)。

➡ 側面穴開け調査工法については、シュラウドヘッド以外の炉内構造物を切削しない計画のため、炉内構造物に著しい変形が無ければ、基本的に調査計画の変更はない。

○開発計画→変更なし

✓ 上期に実施した調査ニーズの再調査の結果から取得情報に変更なし。

➡ 本事業では、これまで通り、炉心部までの外観情報・線量率を取得することを想定した装置開発を実施。

6.2 工法計画の立案

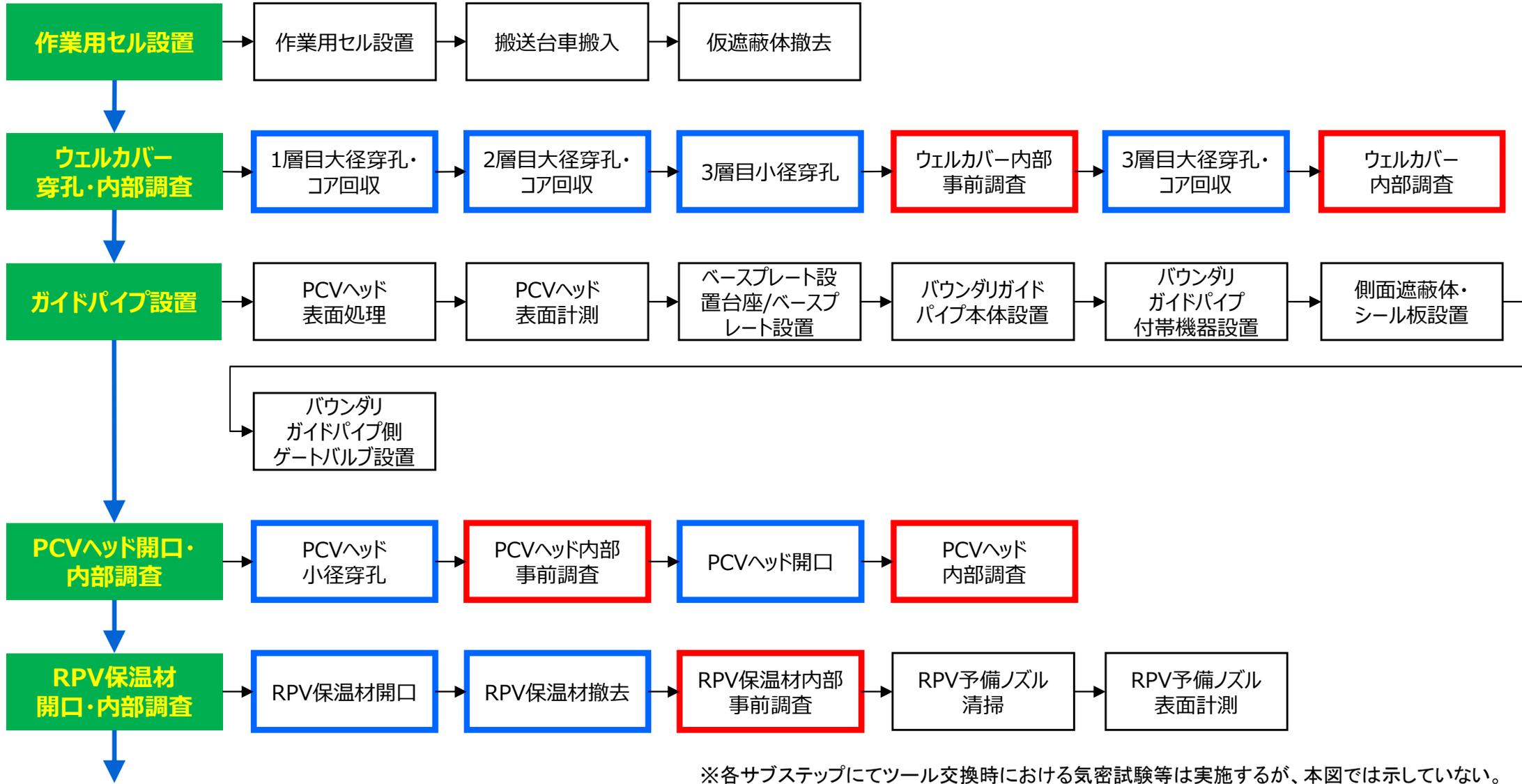
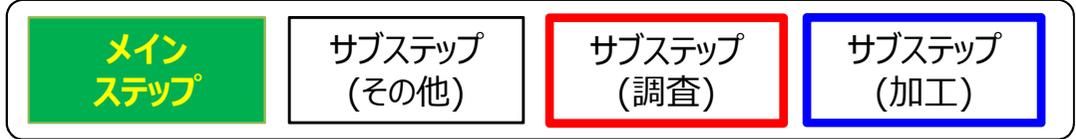
6.2.1 作業ステップの具体化、工法手順の合理化

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	2018年度	2019年度
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	調査ニーズの整理結果を踏まえて、作業ステップの具体化、工法手順の合理化を行い、工法ステップ図の見直しを実施。	調査ニーズ整理結果 作業ステップ・工法手順の具体化、合理化	作業ステップ・工法手順の更新 前提条件策定結果の反映 更新
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殿と協議中。	計画立案	現場作業計画立案
2* 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。	概念検討	詳細検討
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。	概念検討	詳細検討

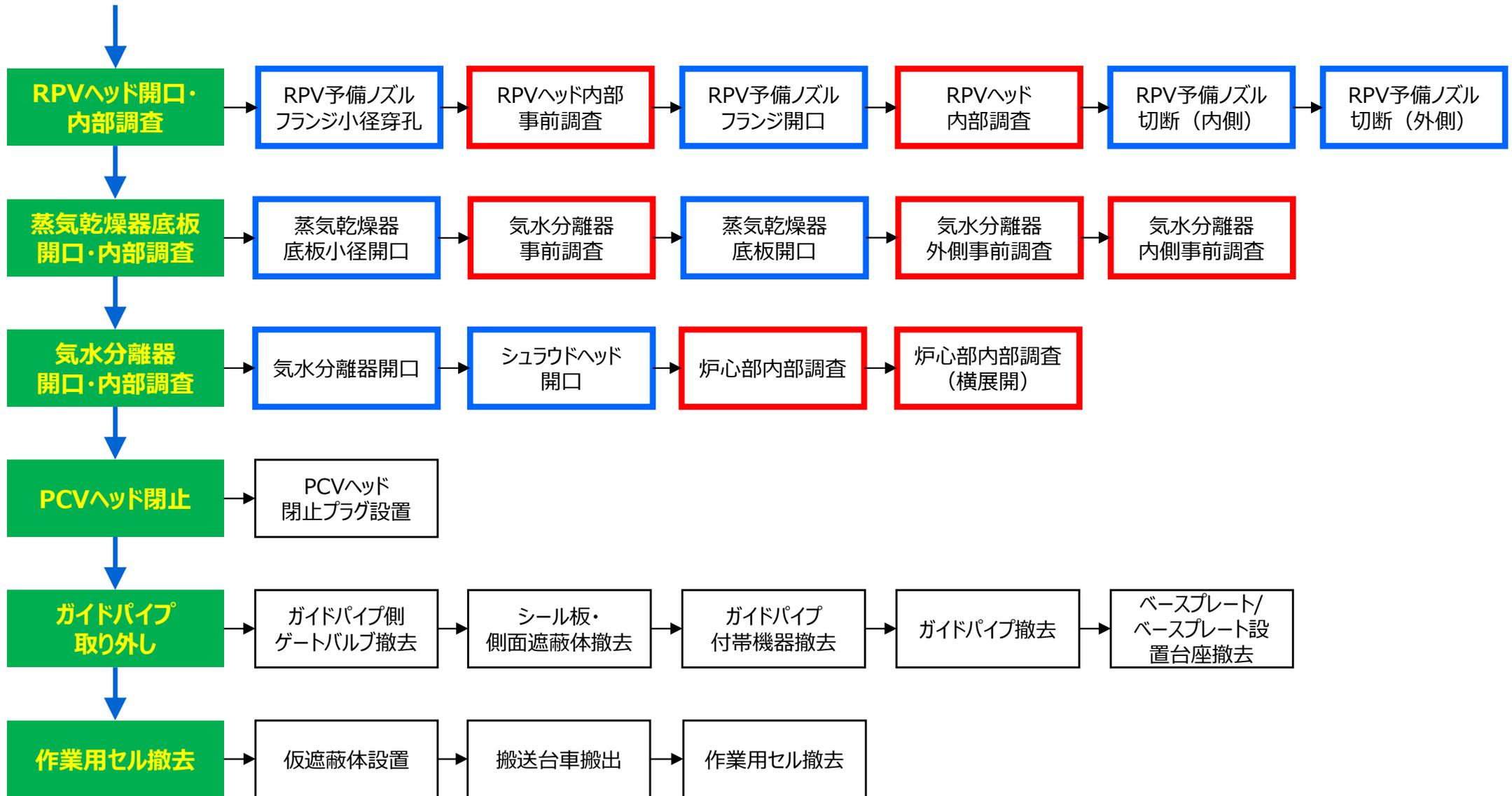
* : 上部穴開け調査工法のみを対象。側面穴開け調査工法の前記現地調査は既存の技術、装置にて実施し、開発要素がないため

6.2.1.1 上部穴開け調査の作業ステップ(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。

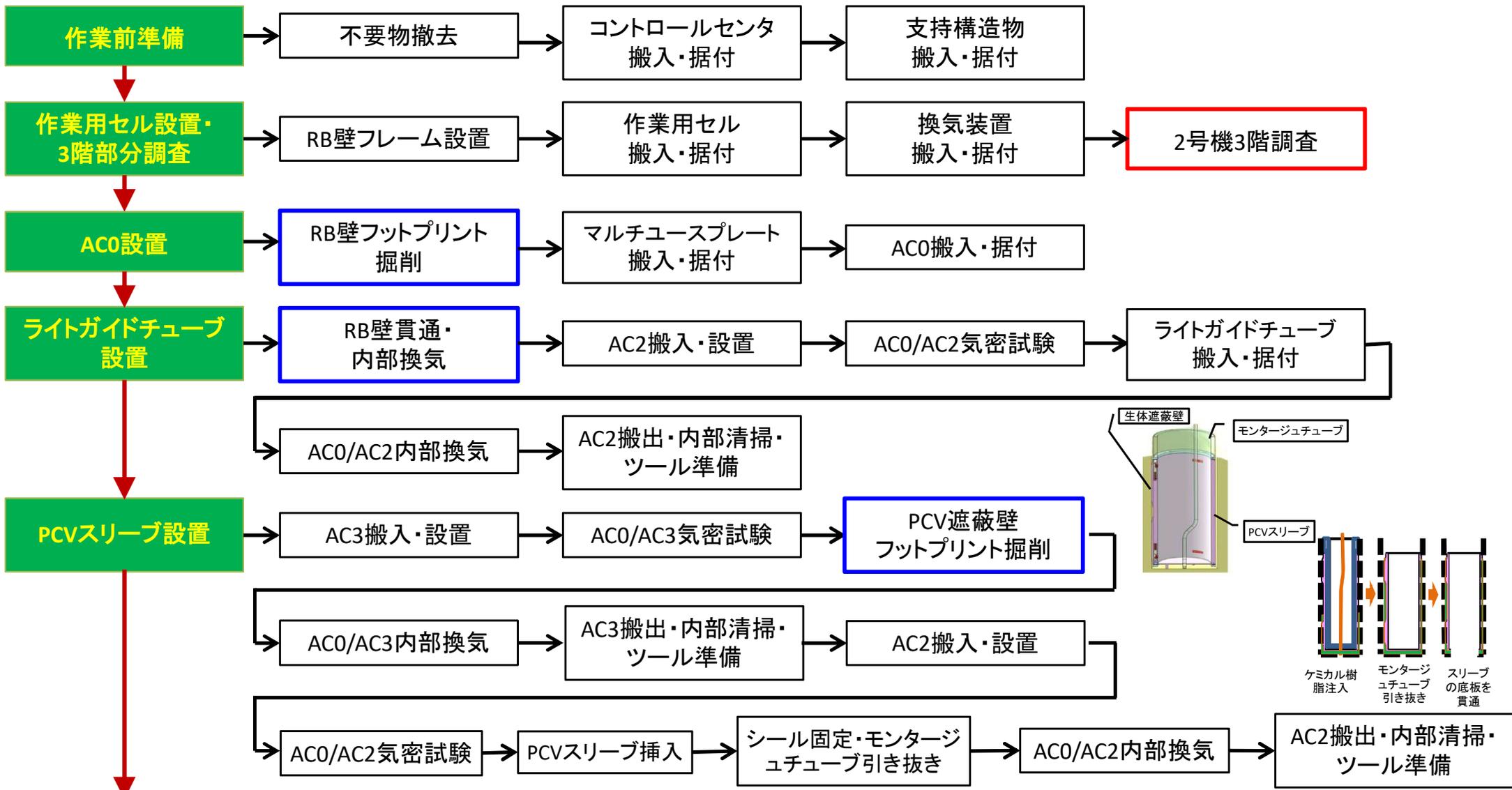
6.2.1.1 上部穴開け調査の作業ステップ(2/2)



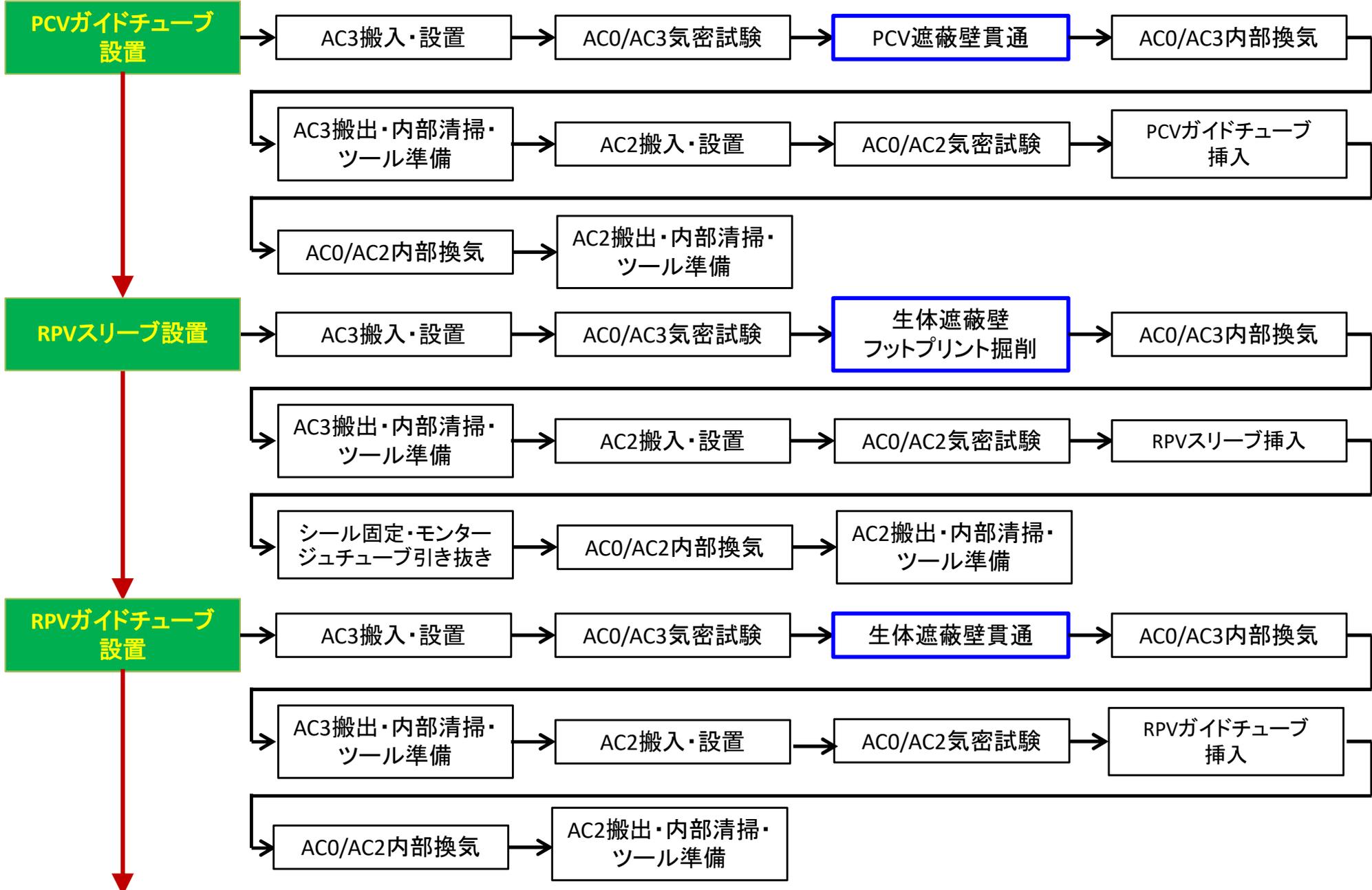
※各サブステップにてツール交換時における気密試験等は実施するが、本図では示していない。

6.2.1.2 側面穴開け調査の作業ステップ(1/3)

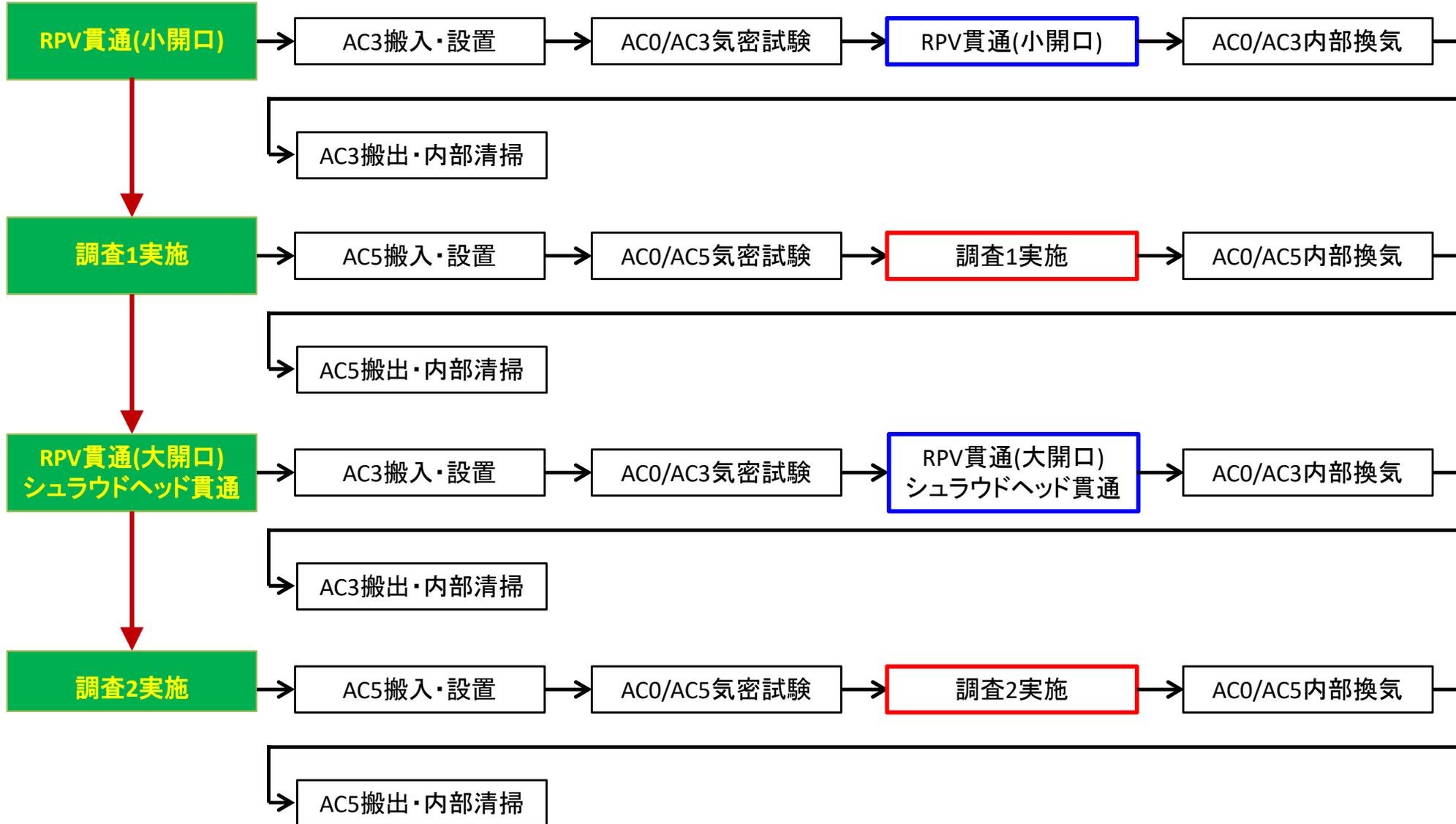
メイン ステップ	サブステップ (その他)	サブステップ (調査)	サブステップ (加工)
-------------	-----------------	----------------	----------------



6.2.1.2 側面穴開け調査の作業ステップ(2/3)



6.2.1.2 側面穴開け調査の作業ステップ(3/3)



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	進捗状況	2018年度	2019年度
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構築し、通常状態の安全要求を整理するために防護策を立案。RPV内臨界停止策として短期の注水停止策の可能性を確認。	調査ニーズ整理結果 評価手法の検討	作業ステップ・工法手順の更新 安全要求の整理結果 安全要求の整理
	建造物の汚染度推定	加工時に飛散する放射エネルギーの推定を実施し、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。	建造物の汚染度推定	
	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。	負圧化要否を判断するための概略評価モデルを構築、解析を実施。その結果より通常状態における簡易線量評価を実施。	評価モデルの検討	モデル構築・解析
	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)。	被ばく評価モデル構築後に実施予定(計画通り)。		被ばく評価結果 被ばく評価

※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。

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。

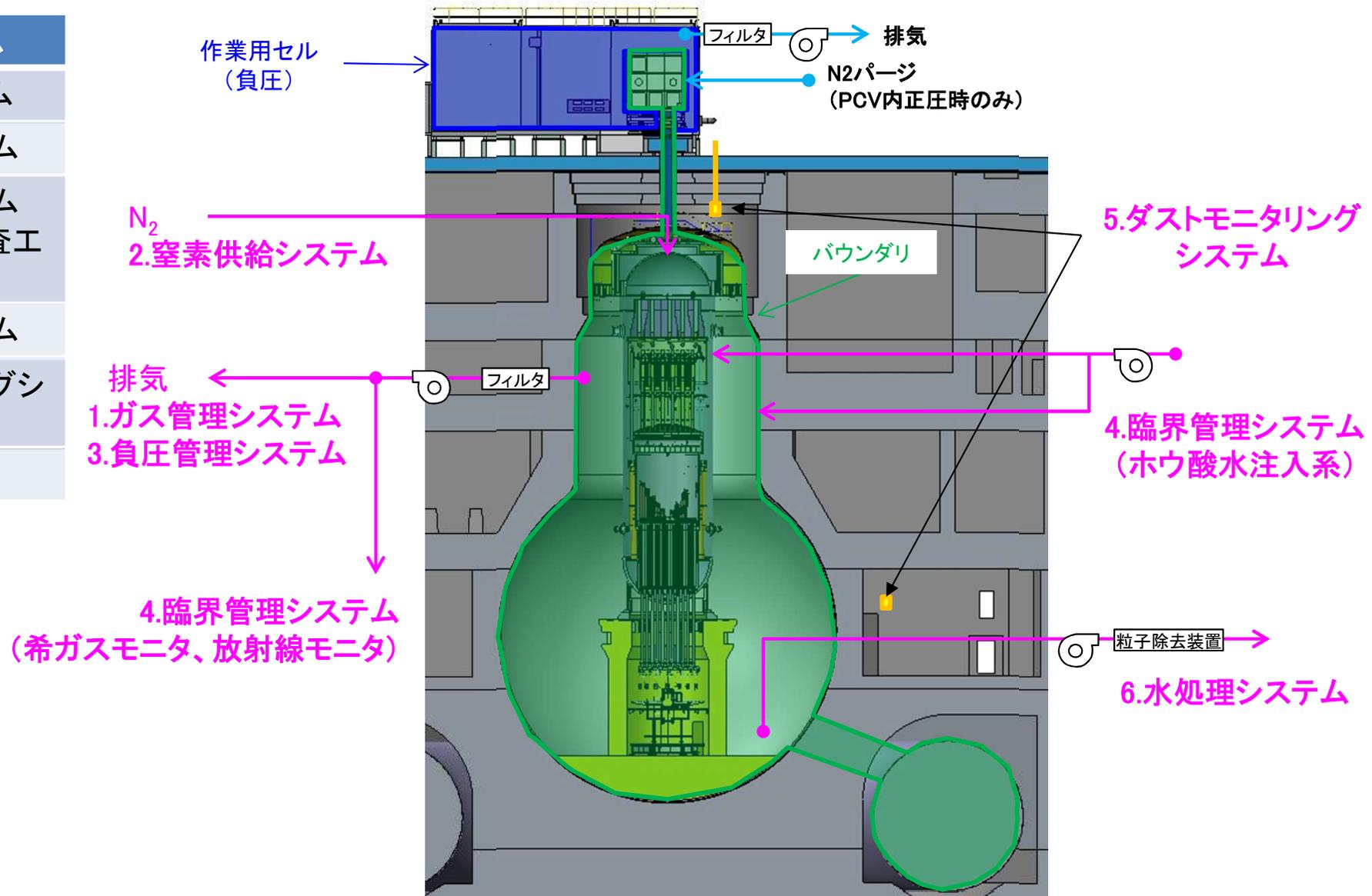
	実施項目	概要	進捗状況	2018年度	2019年度
1	調査に必要なシステムへの要求仕様策定	調査の実施や安全の観点で必要となる付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確にする。 ⇒関連PJ: 燃料デブリ取り出し工法・システム、臨界管理	調査に必要と想定される付帯システムを抽出。 2019年度に要求仕様の整理を実施予定。	作業ステップ・工法手順の更新	付帯システムへの要求仕様策定

付帯システムの適用性検討

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。

6.3.1 上部穴開け調査における付帯システム

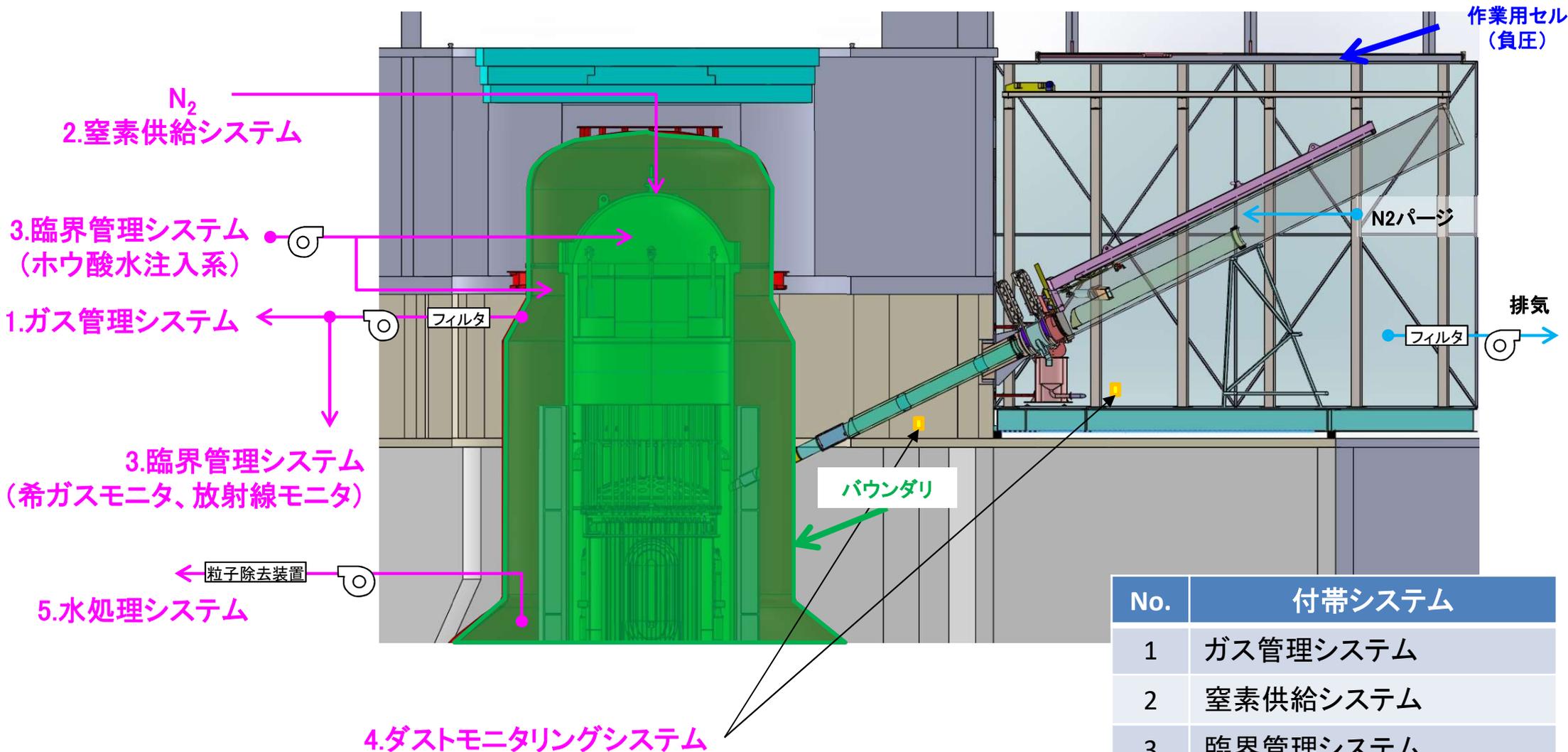
No.	付帯システム
1	ガス管理システム
2	窒素供給システム
3	負圧管理システム (上部穴開け調査工法のみ)
4	臨界管理システム
5	ダストモニタリングシステム
6	水処理システム



上部穴開け調査工法に必要な付帯システムを抽出。
2019年度に要求仕様の整理を実施予定。

6.3.2 側面穴開け調査における付帯システム

No.29



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	ダストモニタリングシステム
5	水処理システム

側面穴開け調査工法に必要な付帯システムを抽出
2019年度に要求仕様の整理を実施予定

6.4 アクセス装置・調査装置の開発

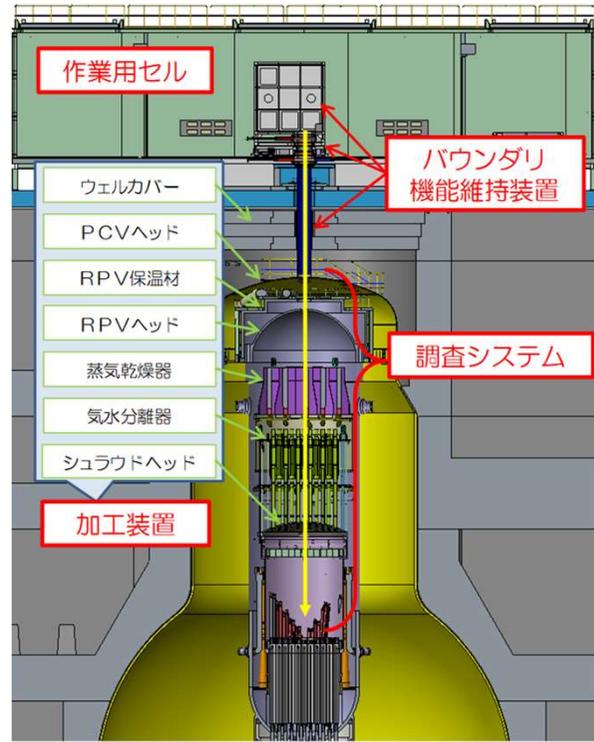
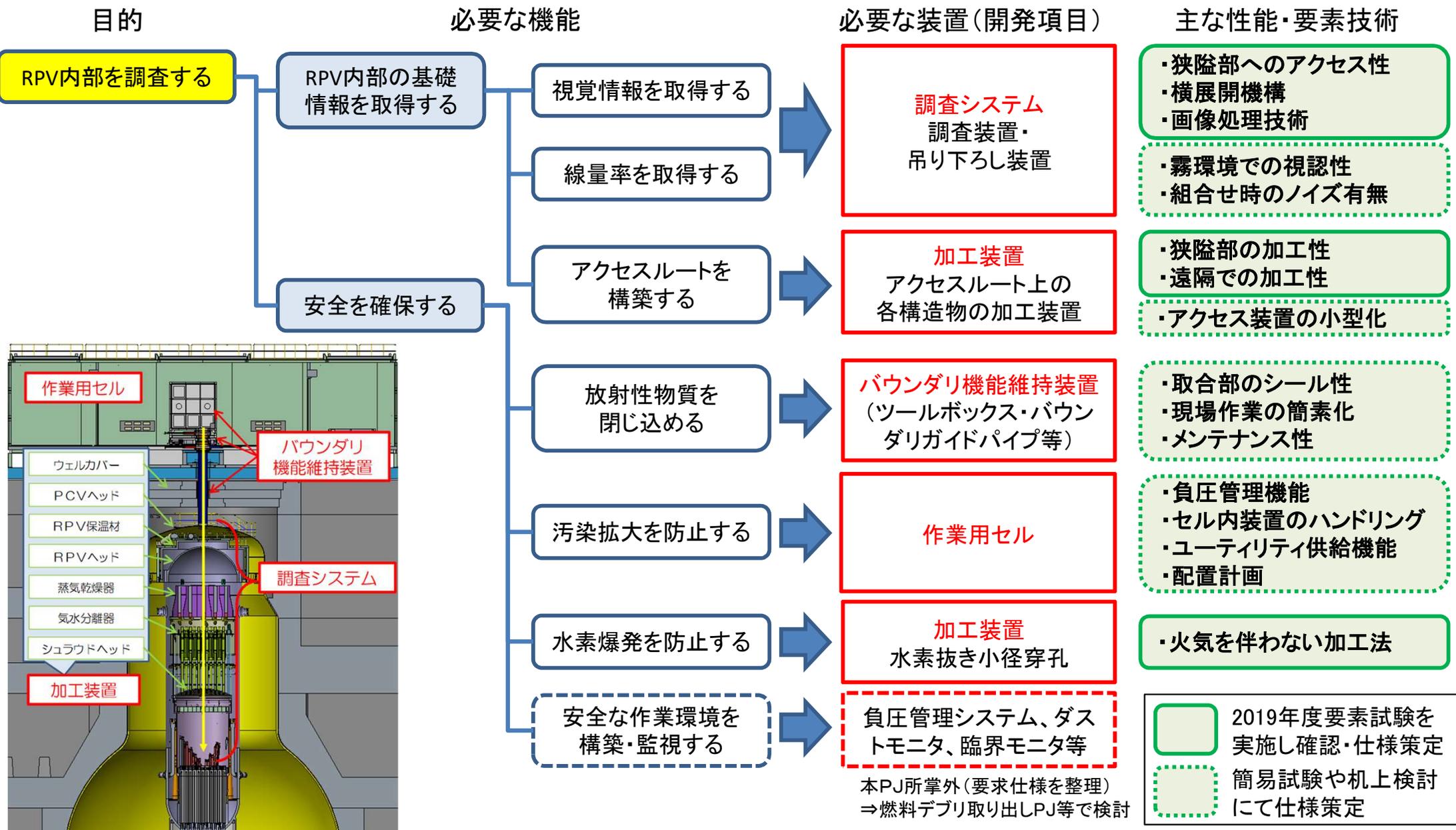
6.4.1 上部穴開け調査工法の装置開発

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	2018年度	2019年度
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	現場施工を考慮した具体化、合理化、設備仕様検討	作業ステップ・工法手順の更新
2	バウンダリ機能維持装置の開発				現場への適用性確認
3	加工装置の開発				前提条件策定結果の反映
4	調査システムの開発				要素試験
				簡易試験	要素試験の必要性判断・計画立案

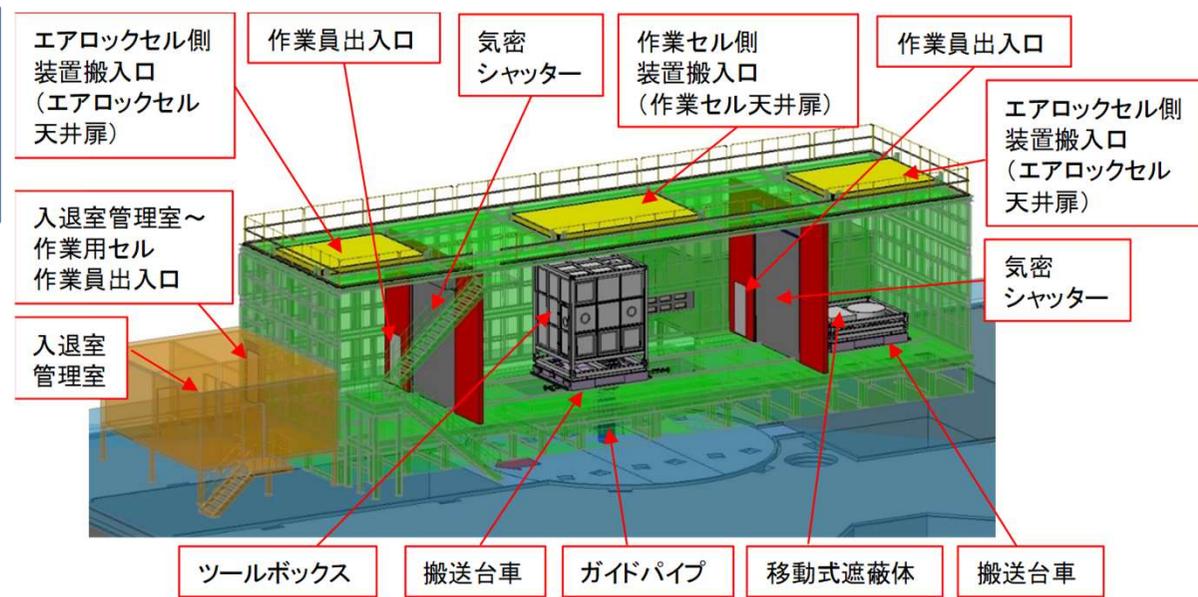
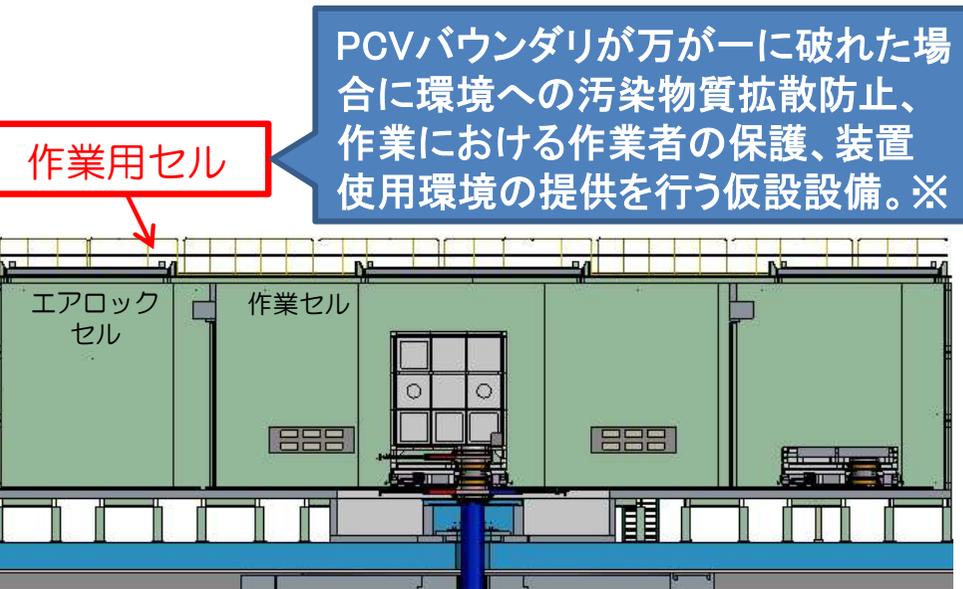
6.4 アクセス装置・調査装置の開発

6.4.1 上部穴開け調査工法の装置開発：調査に必要な機能・装置

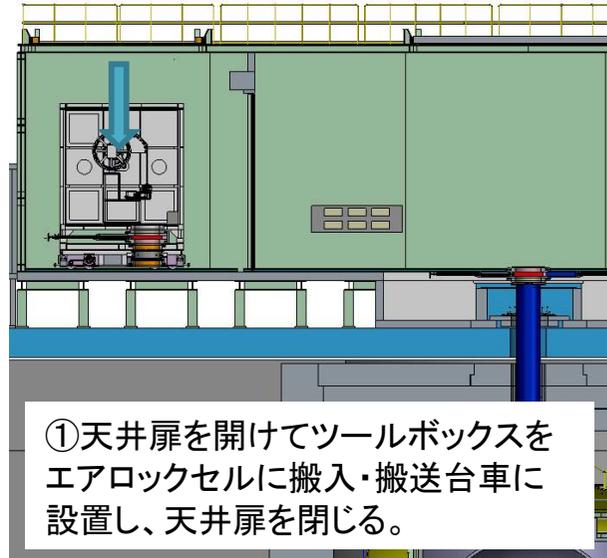
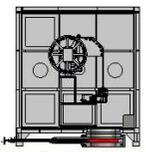


6.4.1.1 作業用セル

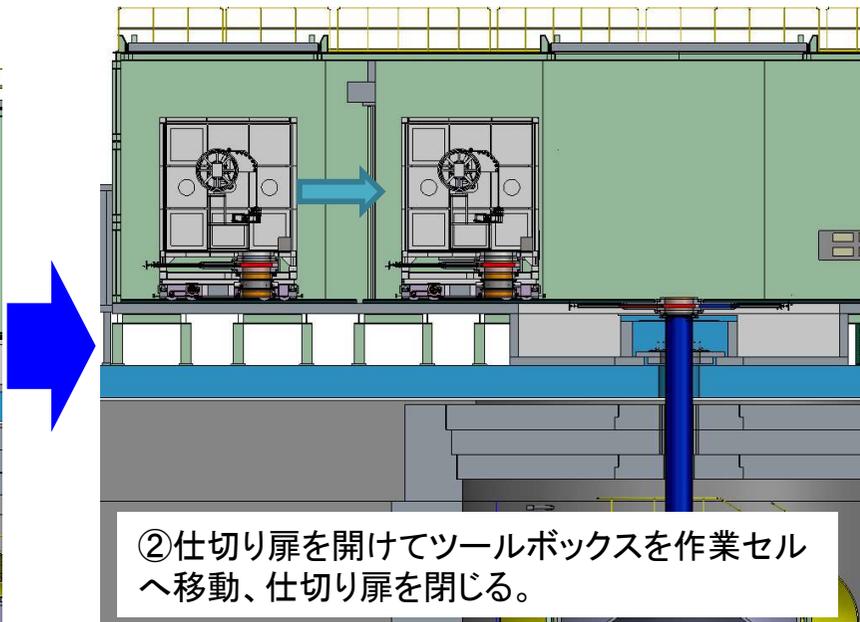
実施項目	実施内容・対応方針案	進捗状況	備考
各装置の作業性を考慮した構造・工法の合理化	作業セルの設置から各種加工・調査装置の設置、作業を行う上で、作業員保護や被ばく低減の観点で構造・工法を見直し、作業時間の低減や被ばく量を可能な限り低くするために合理化を行う。	・穴開け・調査作業を含む準備、ツールボックスの交換等、各作業手順の整理を実施。 ・作業セルに必要な付帯設備(負圧維持や状態監視方法)の詳細検討を実施予定。	
作業用セル内および周辺配置計画の合理化	作業用セル周辺の作業員の動線を考慮した配置計画および上記工法の合理化に伴うユーティリティ供給等の配置計画の検討を行う。	・各装置に必要なユーティリティ・設備や取り扱い情報の整理を実施。 ・配置計画の詳細検討を実施予定。	
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。	
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。 ・安全要求の整理後に必要に応じて変更予定。	



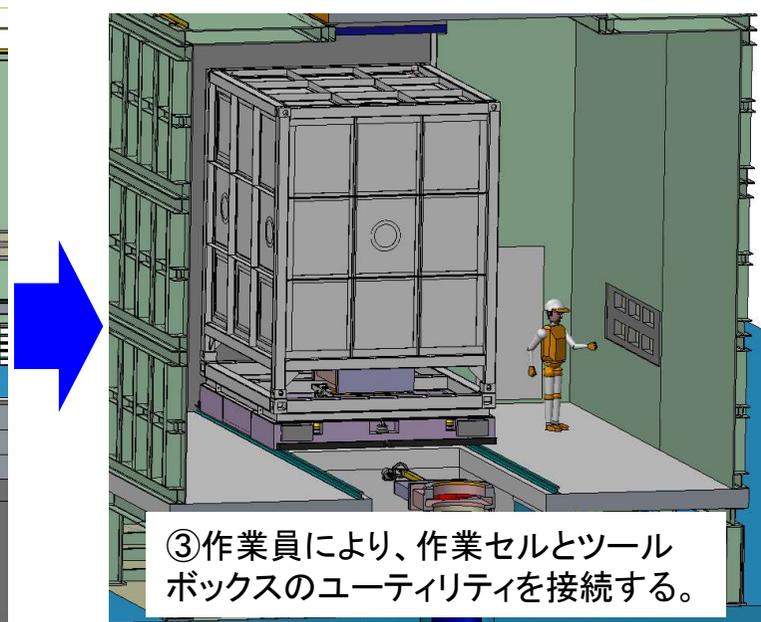
6.4.1.1 作業用セル: ツールボックスの基本動作ステップ



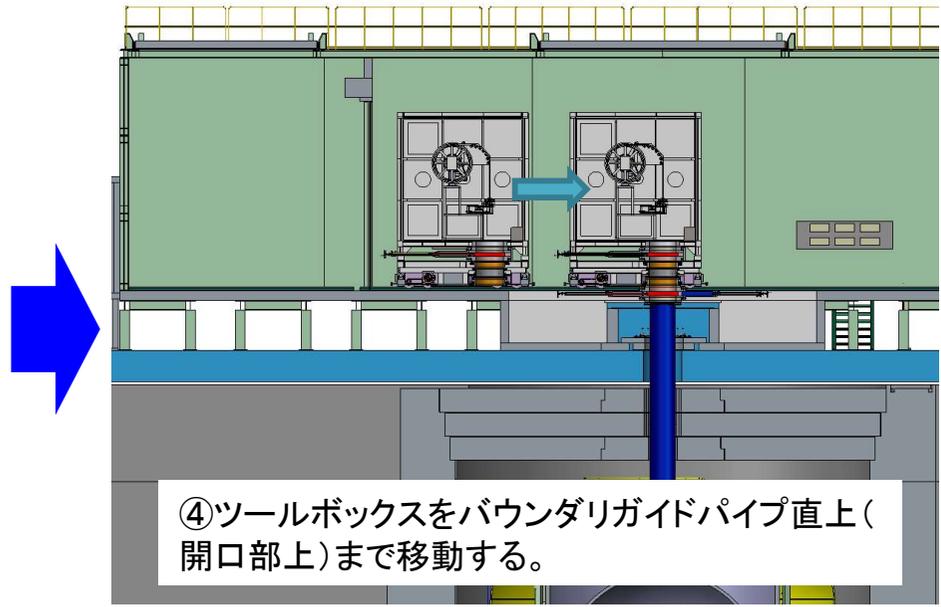
①天井扉を開けてツールボックスをエアロックセルに搬入・搬送台車に設置し、天井扉を閉じる。



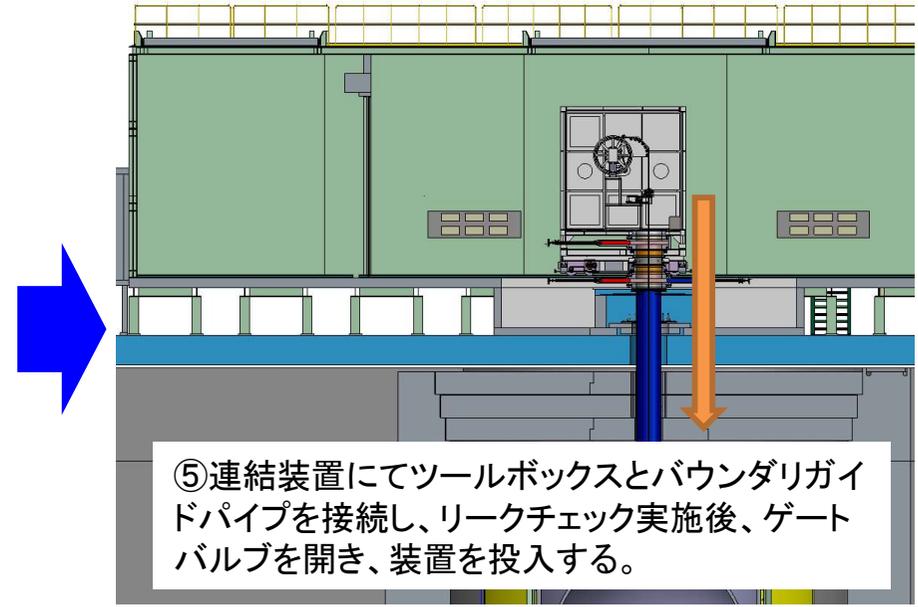
②仕切り扉を開けてツールボックスを作業セルへ移動、仕切り扉を閉じる。



③作業員により、作業セルとツールボックスのユーティリティを接続する。



④ツールボックスをバウンダリガイドパイプ直上(開口部上)まで移動する。

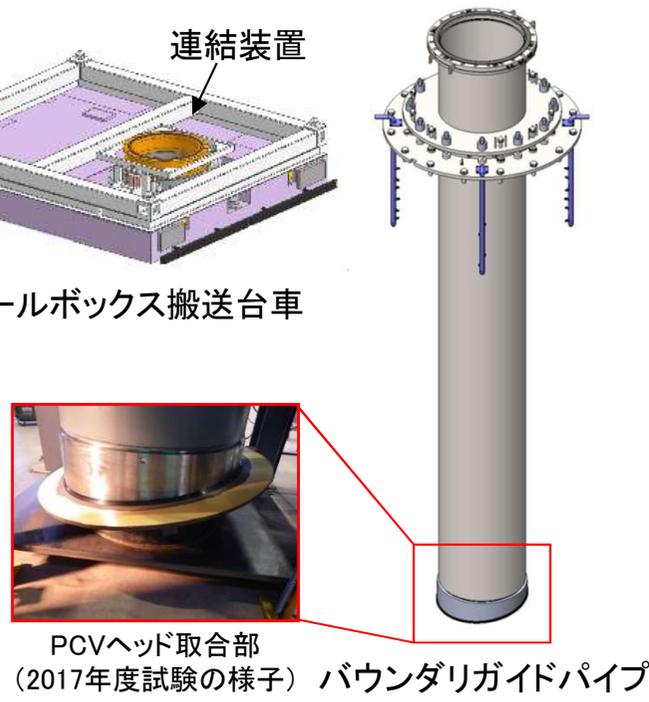
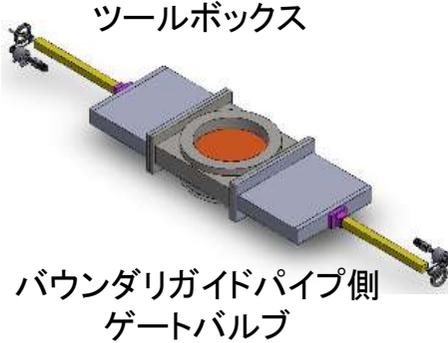
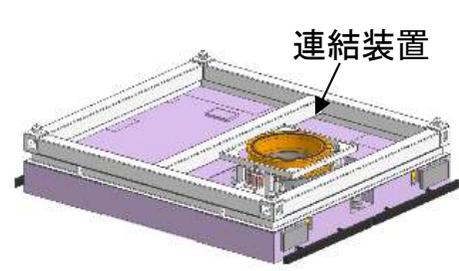
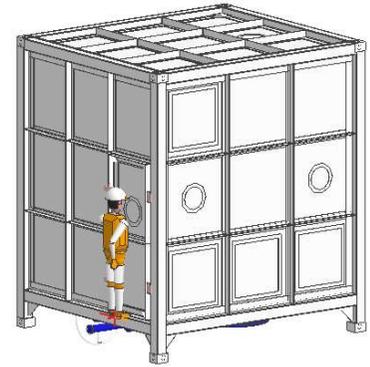
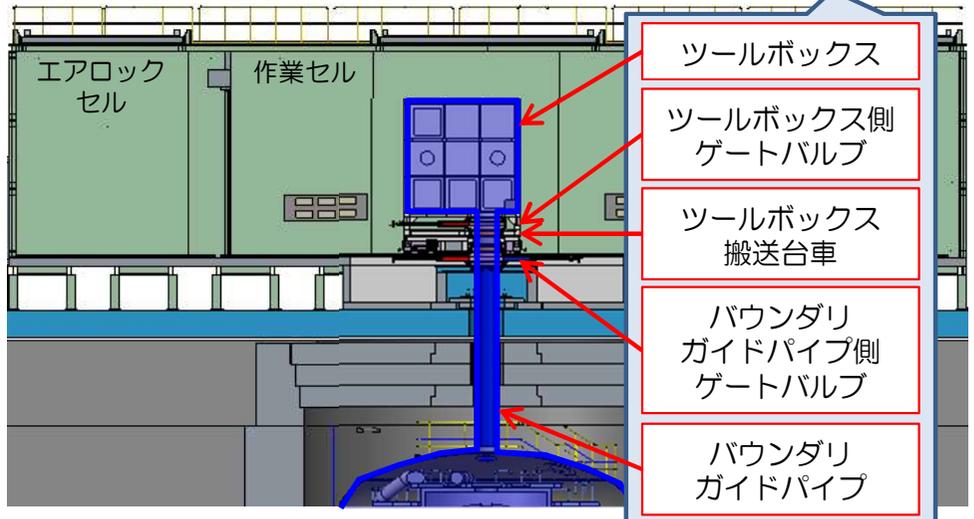


⑤連結装置にてツールボックスとバウンダリガイドパイプを接続し、リークチェック実施後、ゲートバルブを開き、装置を投入する。

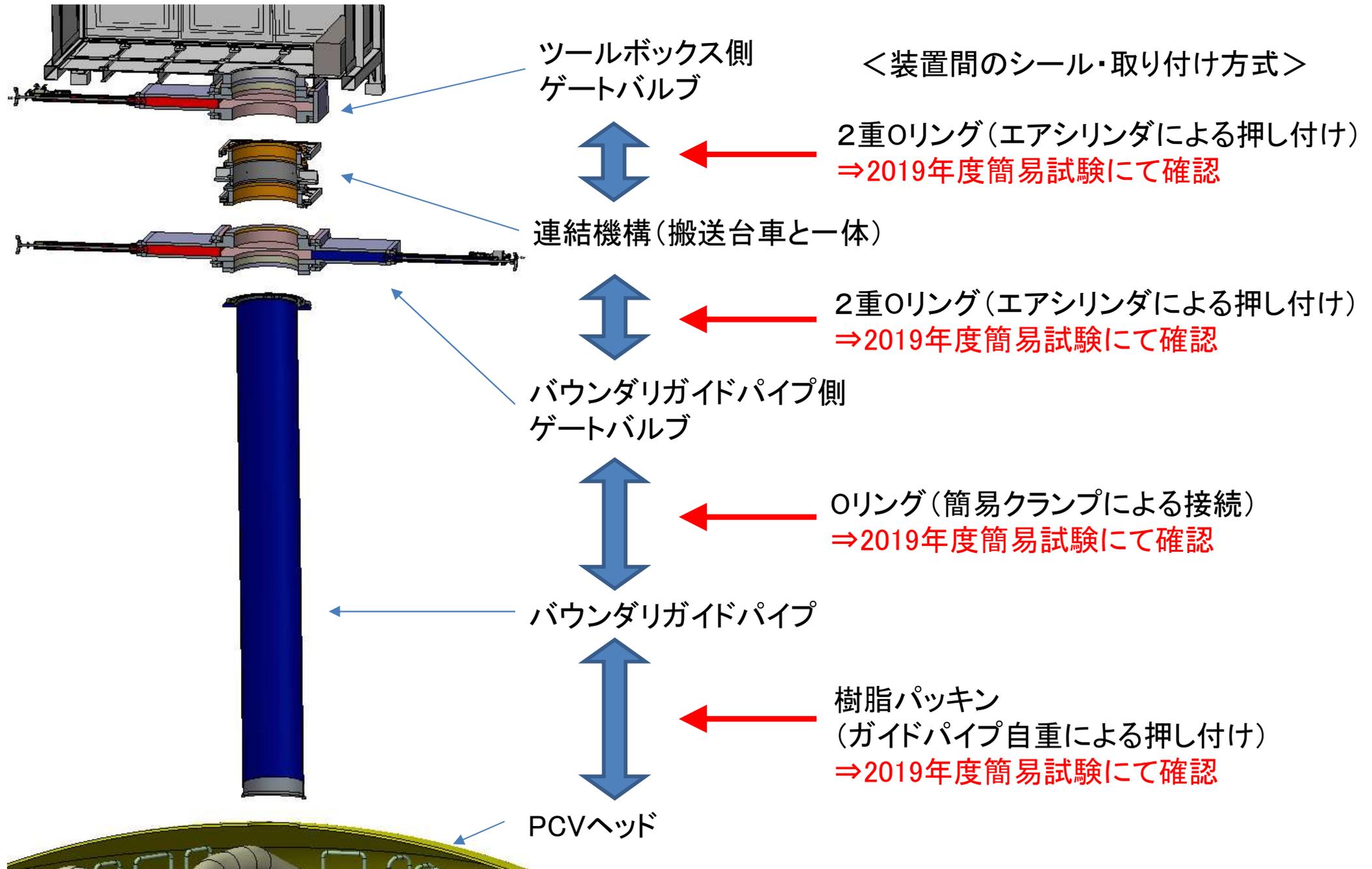
6.4.1.2 バウンダリ機能維持装置の開発

実施項目	実施内容・対応方針案	進捗状況	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。	
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	・2019年度実施予定の負圧向けシール構造の簡易試験計画を立案。	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。 ・2019年度実施する連結装置の簡易試験計画を立案。	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備。



6.4.1.2 バウンダリ機能維持装置の開発：各部のシール方法



6.4.1.3加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け

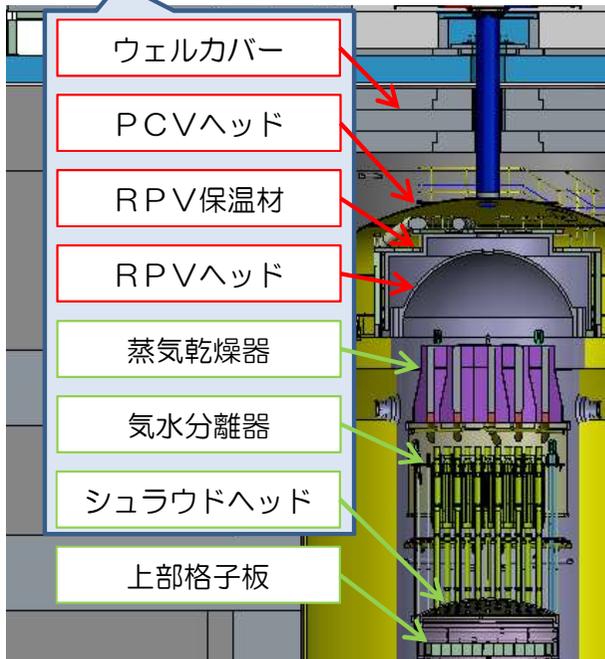
実施項目	実施内容・対応方針案	進捗状況	備考
構造・工法の合理化	作業セルの設置から各種加工・調査装置の設置、作業を行う上で、作業員保護や被ばく低減の観点で構造・工法を見直し、作業時間の低減や被ばく量を可能な限り低くするために合理化を行う。	PCV/RPVヘッドへの小径穿孔に関し、水素抜きと事前確認用の加工を一回の作業にて実施する工法について要素試験計画を立案。	要素試験含む
過年度の課題に対する設計検討・成立性確認	過年度に実施した要素試験や設計検討の中で挙げられた課題に対する設計検討や成立性確認のための簡易試験・要素試験を実施し、装置設計へ反映する。	<ul style="list-style-type: none"> ・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計画を立案 ・RPV保温材の開口・撤去工法について要素試験計画を立案 	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>

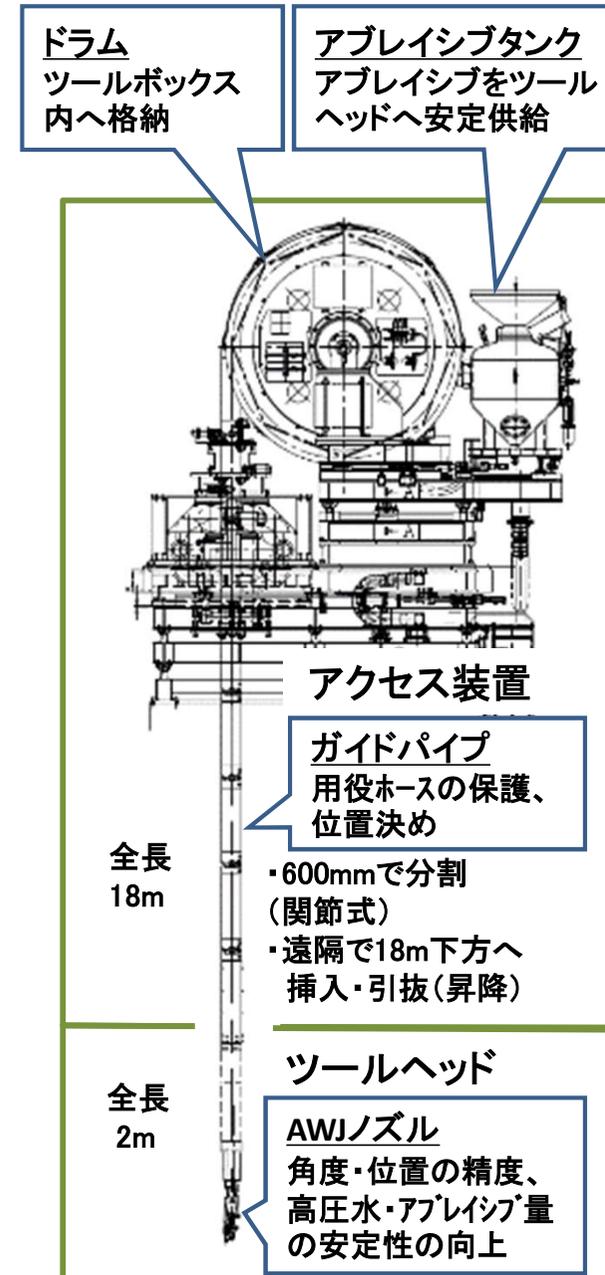
加工対象物	加工対象物の仕様	加工方法	要求開口径
ウェルカバー	材質:鉄筋コンクリート 板厚:618mm(上段), 610mm(中,下段)	コアボーリング AWJ(代替案)	φ750mm以上
PCVヘッド	材質:炭素鋼 板厚:30mm 曲率:8347mm	小径開口:機械加工※ 大径開口:AWJ	小径:φ40mm以上 大径:φ550mm以上
RPV保温材	材質:SUS304, A3004P-0 板厚:0.7mm/1.5mm	AWJ	φ600mm以上
RPVヘッド (予備ノズル部)	材質:ASTM A 533 Gr.B CL.1 板厚:最小75mm	小径開口:機械加工※ 大径開口:AWJ	小径:φ40mm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

※残留水素を考慮した工法を検討



6.4.1.3加工装置(2)炉内構造物加工

実施項目		実施内容・対応方針案	進捗状況	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)	<ul style="list-style-type: none"> 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、成立性の見直し確認を実施。 	2018年度実施 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	<ul style="list-style-type: none"> 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・用役供給の安定化(アブレイシブ消費量:200→最大500g/min)	<ul style="list-style-type: none"> AWJ切断条件の見直しを検討。 用役供給の安定化のための要因を調査し、改善案を検討。 用役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	<ul style="list-style-type: none"> 2019年度に実施し、要素試験にて検証予定(計画通り)。 	2019年度実施予定 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	
	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	<ul style="list-style-type: none"> 2019年度に実施し、要素試験にて検証予定(計画通り)。 	



6.4.1.4 調査システム

項目	実施内容・対応方針案	進捗状況	備考
調査装置の設計検証、アクセス性・操作性向上	<ul style="list-style-type: none"> 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る炉内構造物に対するアクセス性確認試験を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 本格調査装置(B2/B3)の光学系機構部・駆動部の部分試作を行い機能確認を実施。 中間屈曲機構の屈曲動作の確実性を向上する機構改良を行い機能確認を実施。 吊り下ろし装置(ケーブルドラム)のスリッピングによるカメラ・センサ信号に対するノイズ評価試験を実施。 2019年度にアクセス性確認試験を実施予定 	簡易試験、要素試験含む
視認性確認、視認性向上施策(画像処理)	<ul style="list-style-type: none"> 調査装置構成での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)。 	<ul style="list-style-type: none"> 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実施。 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。 天球及び円筒展開画像生成処理の基本アルゴリズムを構築。 2019年度に吊り下ろし距離を模擬し、天球画像作成を評価予定 	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	前提条件の見直し結果に基づく横展開方式を検討する。(炉底部までアクセスすることを目標に炉内状況の推定状況に応じた横展開機構の検討を行う)	<ul style="list-style-type: none"> 炉心部の調査範囲を広げるために横展開機構の展開量拡大できる改良機構を設計。併せて横展開機構の吊り下ろしに適したアクセス装置を検討。 2019年度に試作し、機能確認とアクセス性確認試験を実施予定 	簡易試験、要素試験含む



調査装置B2 調査装置B3

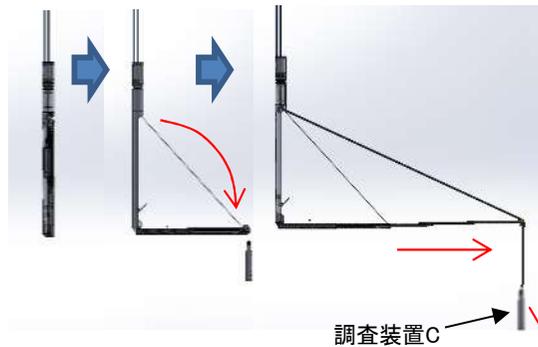
本格調査装置試験体



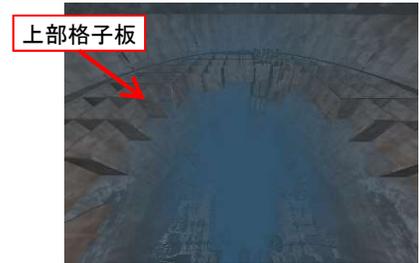
調査装置ALB



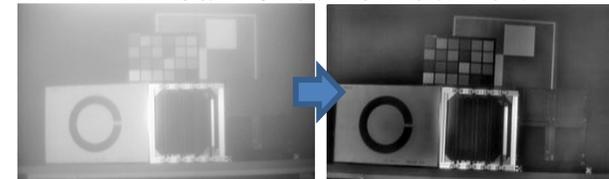
改良型中間屈曲機構と吊り下ろし装置(二重ケーブルドラム)



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

6.4.1.4 調査システム:2018年度実施の簡易試験項目

No.39

No	分類	検証課題	試験概要/検証内容
1	設計検証	ケーブルドラムに搭載するスリップリング(回転コネクタ)においてカメラ、センサ(線量計/温度計)の微弱信号に対するノイズ有無を確認し、アンプ類をケーブルドラムに搭載するか外部に設置するかを判断して設計に反映	①カメラヘッド(CID、撮像管)とコントローラ(アンプ)間にスリップリングを挿入・回転させてノイズ混入や画質劣化が無いことを確認する。 ②線量計/温度計とアンプ間にスリップリングを挿入・回転させてノイズ混入が無いことを確認する。 ③ ①②の結果に基づいた機器配置構成において、モータ動力系、カメラ系、センサ系のケーブルを同一スリップリングに接続したときのノイズ有無を確認する。
2	設計検証	調査装置B2/B3/B4の駆動機構の成立性に関し、パンやチルト動作に伴う装置内ケーブルの挙動、損傷有無、屈曲負荷を確認	装置内ケーブル挙動や屈曲動作に影響する構造および駆動機構を部分試作し、パン・チルト動作の成立性やケーブル損傷有無、駆動モータトルクが十分であることを確認する。
3	設計検証	調査装置ALB/AHB用の二重ケーブルドラムにおいて、調査装置ケーブルと中間屈曲機構の同時吊り下ろしや屈曲動作、調査装置の送り出しなど装置の成立性を確認	二重ケーブルドラムを試作し、内/外ドラムの同期動作や必要トルク、中間屈曲機構シース管内への調査装置シース管の送り込み挙動、中間屈曲機構と組み合わせた屈曲駆動性を確認する。
4	設計検証	横展開機構/調査装置Cの機構および運用特性に合った吊り下ろし装置構成・設計改良に関し、テレスコ構造の基本機械特性を確認	テレスコ構造の部分試作(伸展1段)し、摺動抵抗や曲げ剛性を確認する。また、CFRPの耐放射線性の評価として、照射前後の材料強度(引張および曲げ)を確認する。
5	調査装置のアクセシビリティ、操作性向上	狭隘箇所への挿入性向上のためにケーブル(シース管)の曲がり癖量を低減	シース管構造/被覆材料を変更して曲がり癖の低減効果を確認する。
6	調査装置のアクセシビリティ、操作性向上	中間屈曲機構について、調査装置ケーブルの剛性に依存せず確実に屈曲動作できるように機構を改良	ジンバル機構を採用した改良型屈曲機構に対し、ワイヤ引張とリニアアクチュエータによる2種の駆動方式について試作し、屈曲量と動作の確実性を評価する。(1m短尺モデル)
7	視認性確認	調査装置B1/B2/B3/B4の装置形態における視認可能距離を確認	暗闇霧環境下において、視認対象物(燃料棒模擬体φ10mm)の視認可能距離を確認する。調査装置B1は試験機を利用し、B2(CIDパンチルト)/B3(撮像管ミラー側視)/B4(CIDミラー側視)はミラーやガラス窓、照明など光学系を試作して評価する。
8	視認性確認	調査装置AHS/AHBのイメージファイバ用広角レンズ試作と照明照度向上対策を図った状態における視認性確認	調査用に試作した広角レンズ(画角59°)を用いてNo.7と同様に視認可能距離を確認する。照明照度向上のためにストロボ撮影方式についても評価する。
9	視認性向上施策(画像処理)	調査装置の吊り下ろし時の揺れによる映像ブレによって視認性が低下する懸念があることから、画像処理による鮮明化処理の効果を確認	霧環境施設でカメラヘッドが揺れた時の映像を取得し、この映像を基に鮮明化処理を試行して効果を評価し、鮮明化処理ロジックを構築する。
10	視認性向上施策(画像処理)	ミラー側視(調査装置B3,B4)で取得した画像を結合して円筒展開画像を作成することの実現性を確認	円筒展開画像を作成する画像処理ソフトを試作し、調査装置B3でパン回転させて撮影した側視映像を用いて同処理の適用性を評価する。

6.4.1.5 上部穴開け調査工法の要素試験計画

2019年度に実施予定の要素試験計画を以下に示す。

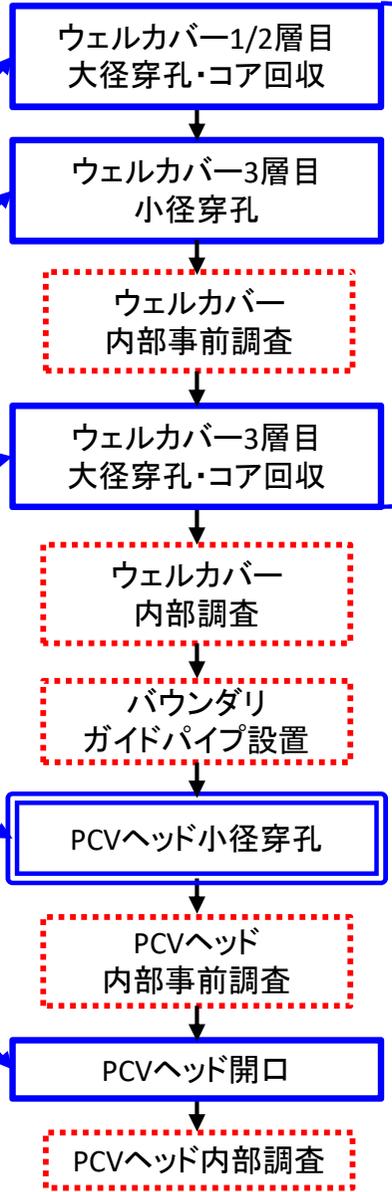
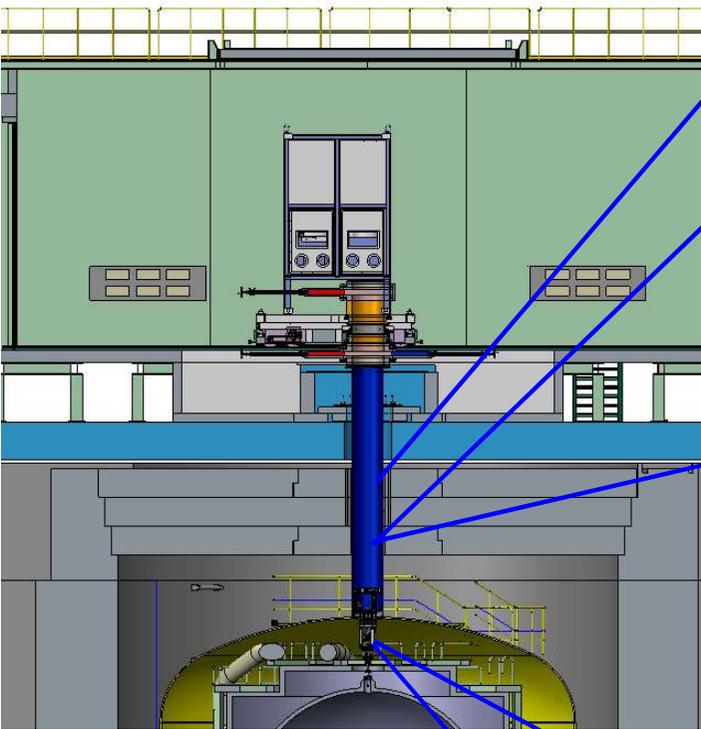
試験項目	目的・必要性	試験概要	
①PCV/RPVヘッド小径穿孔装置の現場施工性確認試験	2017年度の他事業※の要素試験にて、S/C上部の水素抜きのための小径穿孔(φ10mm)について確認しているが、工法の合理化のため、水素抜きと事前確認用の加工(φ40mm)を一回の作業にて実施する工法について成立性を確認する。	模擬PCVヘッド、RPVヘッドを簡易試作機にて穿孔作業を行い、以下を確認する。 <ul style="list-style-type: none"> ・PCV/RPVヘッドへのφ40mm以上の穿孔可否 ・穿孔時の反力/振動抑制方法の確認・仕様策定に資する情報取得 	
②RPV保温材開口・撤去装置の現場施工性確認試験	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。開口径拡大に伴う、保温材撤去(φ600mm)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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・保温材へのφ400mm以上の開口・回収可否 ・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	(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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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
④調査システムアクセス性確認試験	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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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)	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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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 	

加工装置

調査システム

6.4.1.5 加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け:要素試験概要

■ 上部穴開け調査の作業ステップ (ウェルカバー穿孔・内部調査～PCVヘッド内部調査)

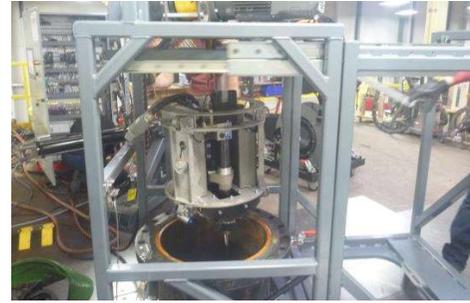


2014年度の簡易試験にて、コアボーリングによる開口、加工片の回収に関する実現性見込みを確認し、装置仕様を策定。コアボーリングが適用できない場合の代替案として、AWJでの加工に関し、簡易試験にて実現性見込みを確認し仕様を策定する。したがって、要素試験は実施しない。



コアボーリングによるウェルカバー開口簡易試験(2014年度)

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穿孔(φ10mm)について確認している。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ため、2019年度に要素試験を実施する。⇒要素試験①



S/C穿孔(φ10mm)試験(2017年度)

2014年度の簡易試験にて、AWJによる開口、加工片の回収に関する実現性見込みを確認し、装置仕様を策定。また、装置の共通機能については他試験にて機能を確認できるため要素試験は実施しない。

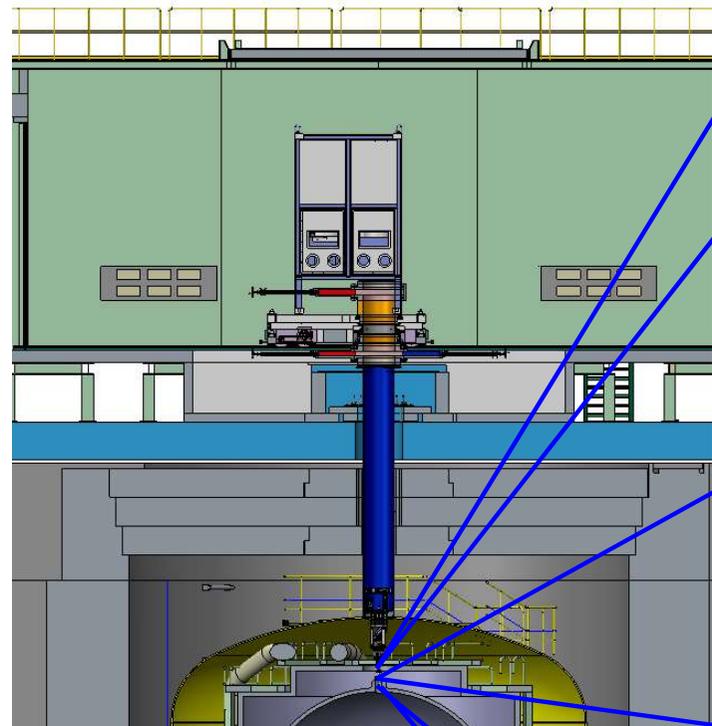


PCVヘッド開口簡易試験(2014年度)

- 【凡例】
- : RPVヘッドまでの穴開け作業対象(要素試験を実施する項目)
 - : RPVヘッドまでの穴開け作業対象(要素試験を実施しない項目)
 - : RPVヘッドまでの穴開け作業対象外

6.4.1.5 加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け:要素試験概要

■ 上部穴開け調査の作業ステップ (RPV保温材開口・内部調査～RPVヘッド開口・内部調査)



2014年度の簡易試験にて、RPV保温材開口、加工片の回収に関する実現性見込みを確認したが、開口時に保温材が分離する課題を抽出。課題への対策案の成立性確認のため、2019年に要素試験を実施する。
⇒要素試験②

2015年度の検討において、到達目標位置の変更(RPVヘッド内部→炉心部)に伴い、アクセスルートの見直しを実施した結果、RPV保温材の撤去範囲が拡大した。撤去工法の成立性確認のため、2019年に要素試験を実施する。⇒要素試験②

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穿孔(φ10mm)について確認している。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ため、2019年度に要素試験を実施する。
⇒要素試験①

2017年度の要素試験にて、RPV予備ノズルフランジ開口・撤去工法の成立性確認し、各装置の共通機能であるツール旋廻機構とオフセット機構に関し課題を抽出。当該課題は2019年度に実施するRPV保温材開口・撤去工法の要素試験にて対策案の確認が実施できるため、要素試験は実施しない。



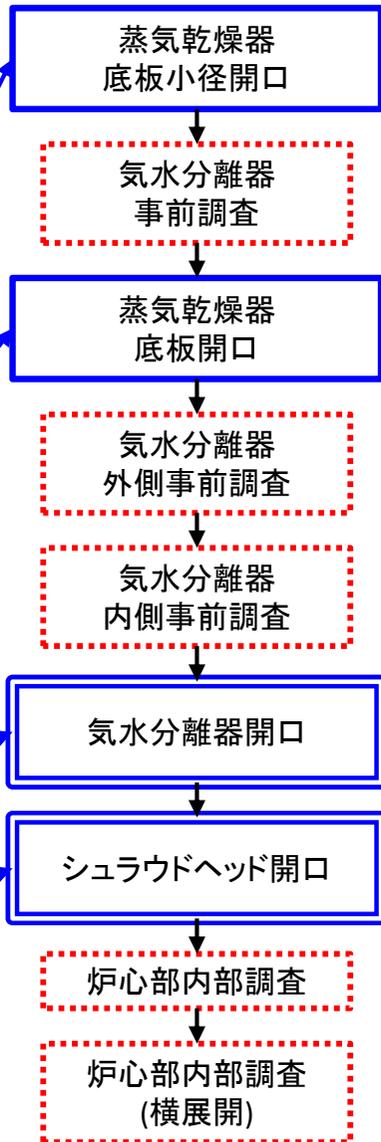
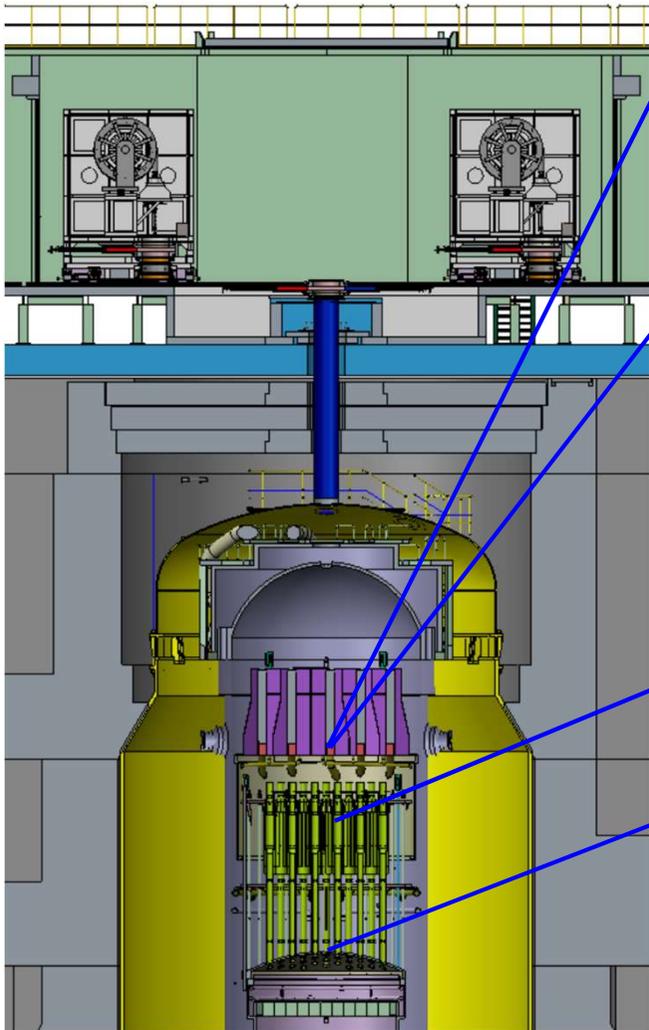
RPVヘッド予備ノズル撤去試験(2017年度)

- 【凡例】
- : RPVヘッドまでの穴開け作業対象(要素試験を実施する項目)
 - : RPVヘッドまでの穴開け作業対象(要素試験を実施しない項目)
 - : RPVヘッドまでの穴開け作業対象外

6.4.1.5 加工装置(2)炉内構造物加工：要素試験概要

■ 上部穴開け調査の作業ステップ

(蒸気乾燥器底板開口・内部調査～気水分離器開口・内部調査)



「シュラウドヘッド開口」と同様の作業であり、試験での実施項目が重複するため、2019年度には要素試験を実施しない。

2017年度の要素試験にて課題(*)が確認されているが、課題への対策の効果は「気水分離器開口」に関する要素試験にて確認するため、試験実施項目が重複する。したがって、2019年度には要素試験を実施しない。
 (*): 接続ガイドパイプ位置ずれおよびアブレイシブ供給量低下による切残り発生

2017年度の要素試験にて、接続ガイドパイプ位置ずれおよびアブレイシブ供給量低下のため切残りが発生していた。2018年度に検討した、上記の課題に対する改善の効果、および加工時間短縮を目的とした組合せ切断条件の見直しの効果を確認するため、2019年度に要素試験を実施する。
 ⇒要素試験③(1)

2017年度の要素試験にて、開口径が計画値(φ110mm)を満たしていなかった。シュラウドヘッド開口時の加工条件を見直し、計画値通り開口可能であることを確認するため、2019年度に要素試験を実施する。
 ⇒要素試験③(2)

【凡例】

- : 炉内構造物加工装置の作業対象(要素試験を実施する項目)
- : 炉内構造物加工装置の作業対象(要素試験を実施しない項目)
- : 炉内構造物加工装置の作業対象外

6.4.1.5 加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け:要素試験計画(1/2)

要素試験計画:①PCV/RPVヘッド小径穿孔装置の現場施工性確認試験

○課題・目的

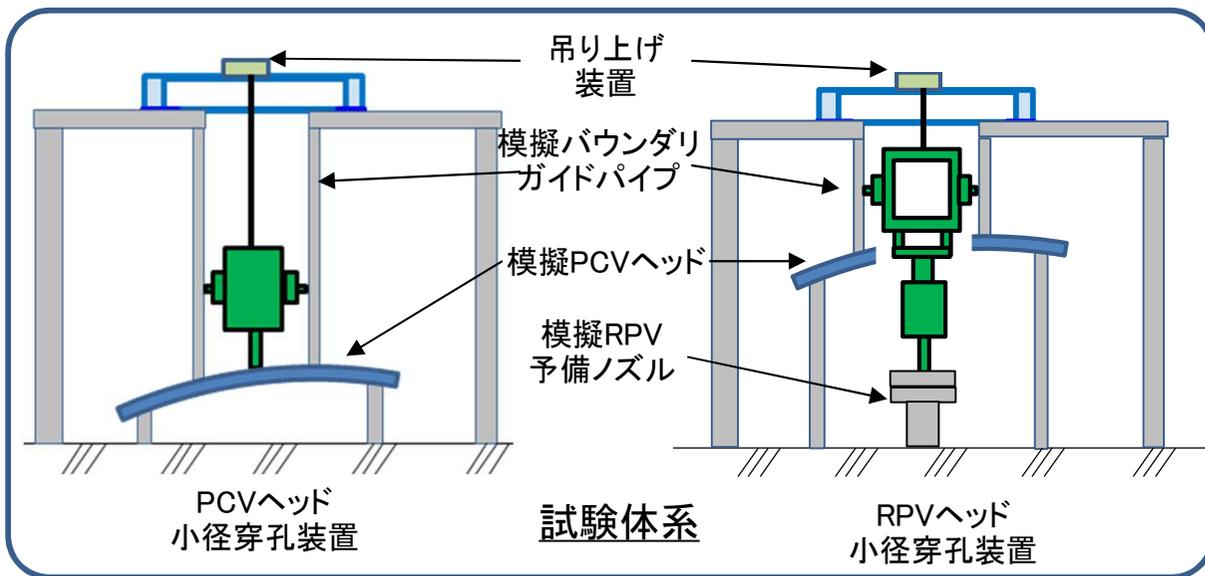
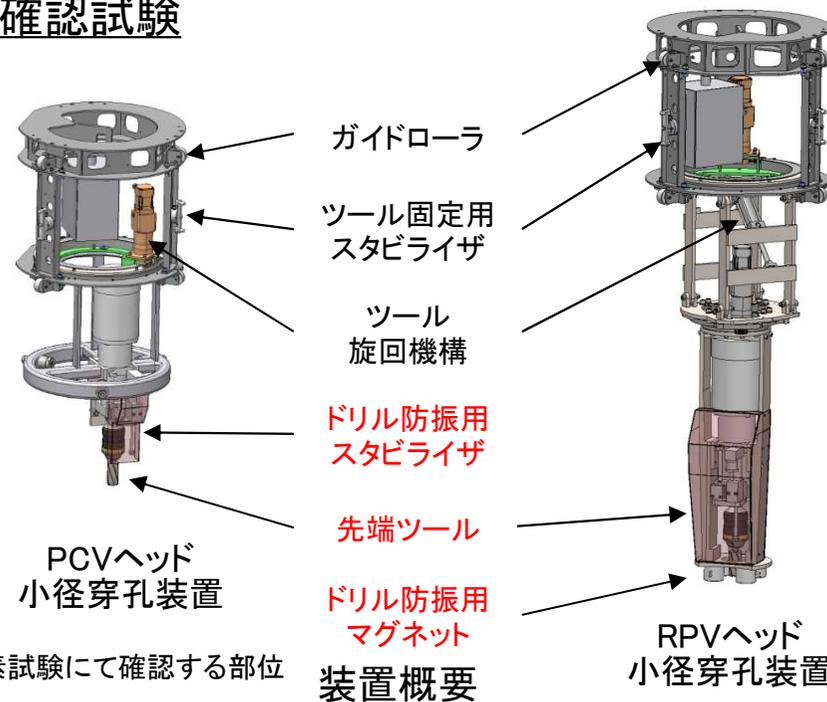
2017年度の他事業※の要素試験にて、S/C上部の水素抜きのための小径穿孔(φ10mm)について確認しているが、工法の合理化のため、水素抜きと事前確認用の加工(φ40mm)を一回の作業にて実施する工法について成立性を確認する。

○確認項目

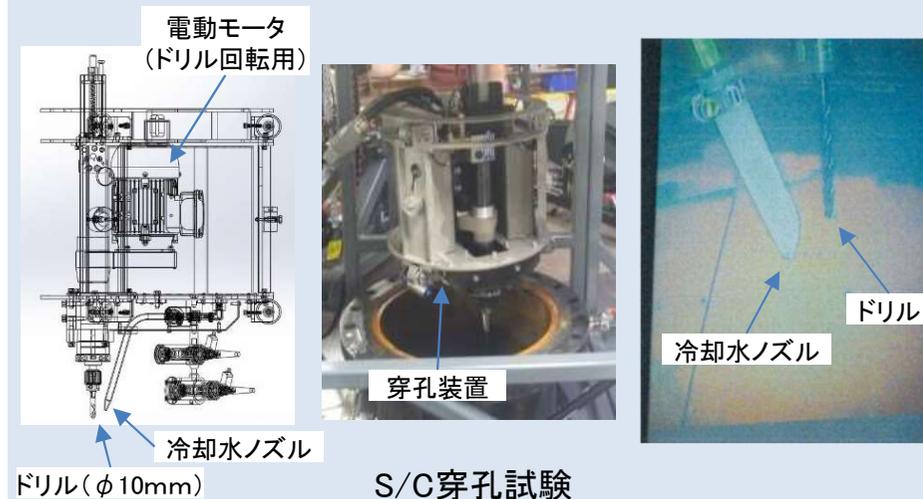
- ・PCV/RPVヘッドへのφ40mm以上の穿孔可否
- ・穿孔時の反力/振動抑制方法の確認・仕様策定に資する情報の取得

○試験概要

模擬PCVヘッド、RPVヘッドを簡易試作機にて機械加工による穿孔作業を行い、成立性を評価する。



<他事業※における過年度の試験>



6.4.1.5 加工装置(1)RPVヘッドまでの穴開け:要素試験計画(2/2)

要素試験計画:②RPV保温材開口・撤去装置の現場施工性確認試験

○課題・目的

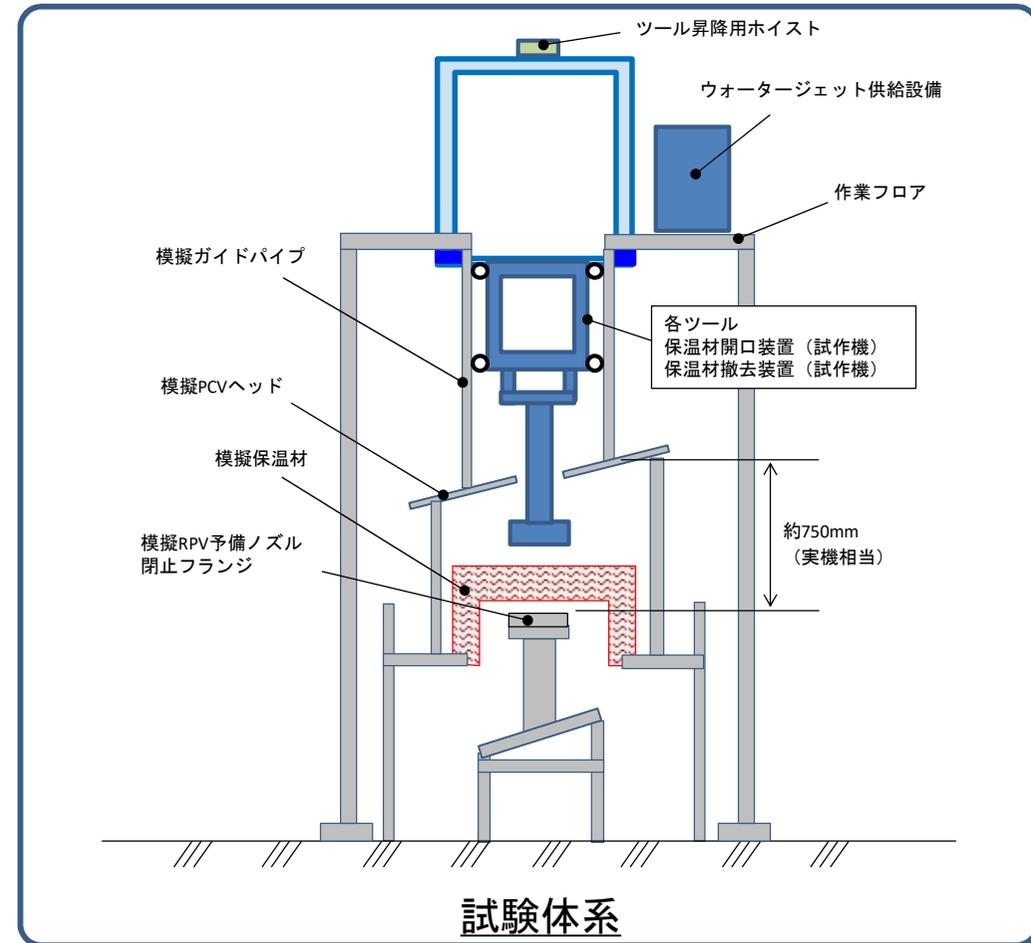
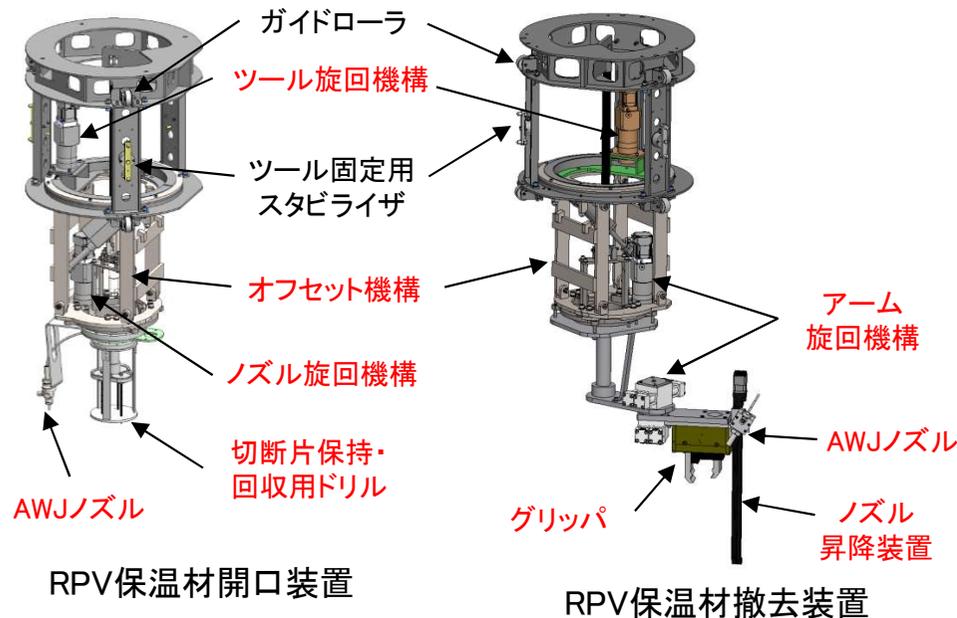
過年度試験時の課題(加工片回収時の保温材分離・脱落、ツール旋回機構へのアブレイシブ堆積、オフセット時のツール傾き)に対する対策案の成立性確認する。また、2015年度にアクセスルート見直しの結果、開口径を拡大。開口径拡大に伴う、保温材撤去(ϕ 680mm)工法の成立性を確認する。

○確認項目

- ・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
- ・保温材への ϕ 400mm以上の開口・回収可否
- ・保温材の撤去工法の成立性
- ・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

○試験概要

模擬保温材を簡易試作機にて開口・撤去作業を行い、工法の成立性を評価する。



赤字:要素試験にて確認する部位

6.4.1.5 加工装置(2)炉内構造物加工：要素試験計画(1/2)

要素試験計画：③炉内構造物加工装置の現場施工性確認試験(1)気水分離器開口

○課題・目的

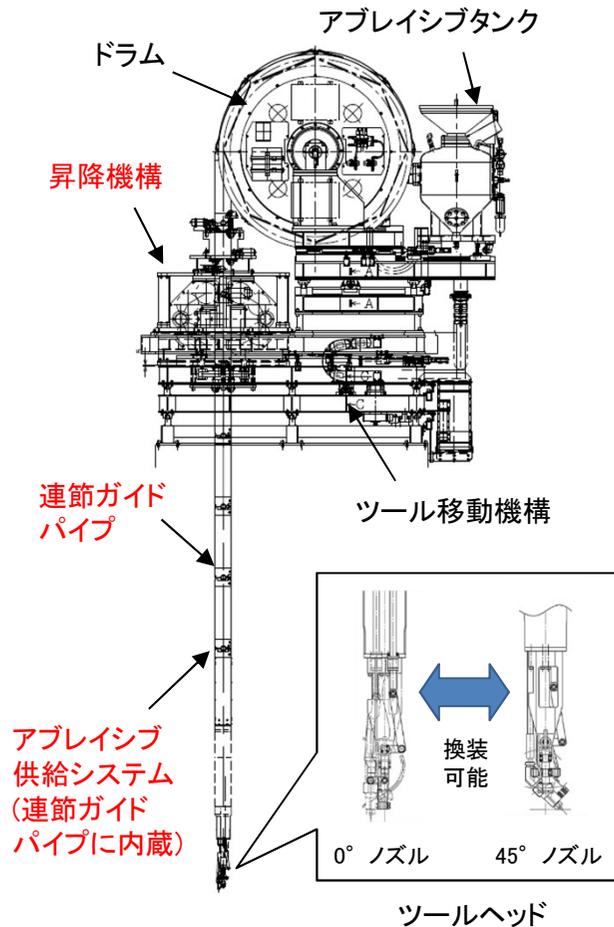
過年度試験時の課題に対する対策案の妥当性、および作業時間低減のために見直した加工条件の成立性を確認する。

○確認項目

- ・ 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
- ・ 気水分離機内側への加工片落下の有無
- ・ 作業時間

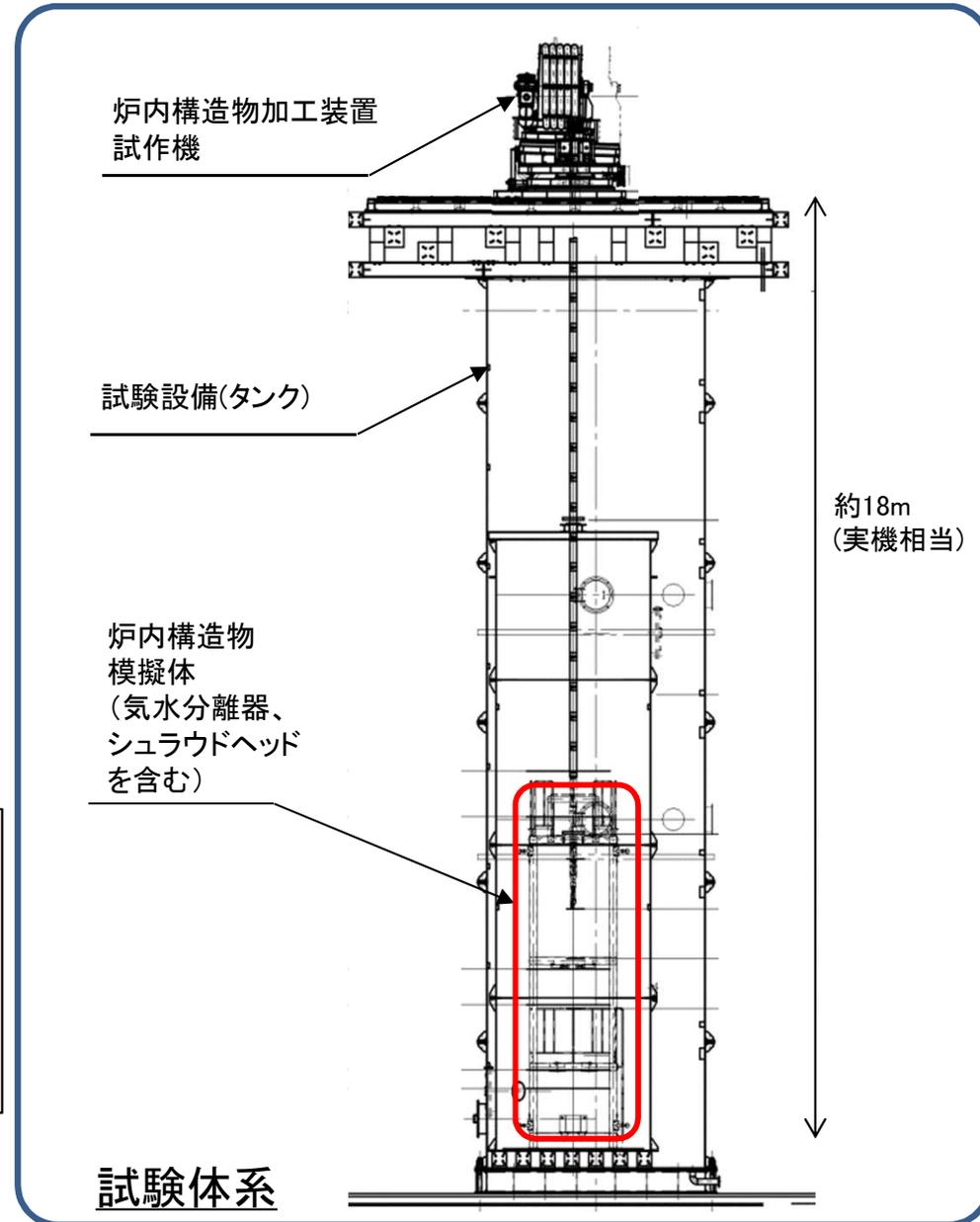
○試験概要

模擬気水分離器に対し、炉内構造物加工装置試作機を用いて開口作業を実施し、上記の確認項目を評価する。



赤字：要素試験にて確認する部位

試作機概要



試験体系

6.4.1.5 加工装置(2)炉内構造物加工：要素試験計画(2/2)

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

○課題・目的

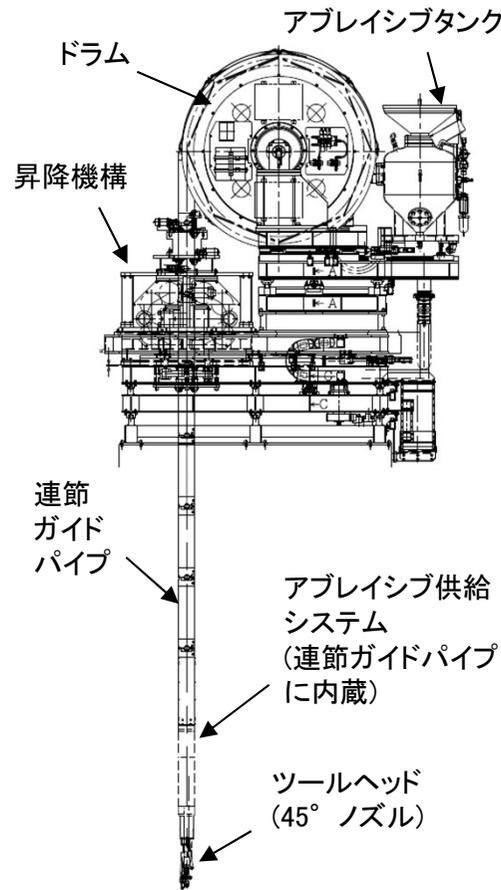
過年度試験時の課題に対する対策案の成立性および妥当性を確認する。

○確認項目

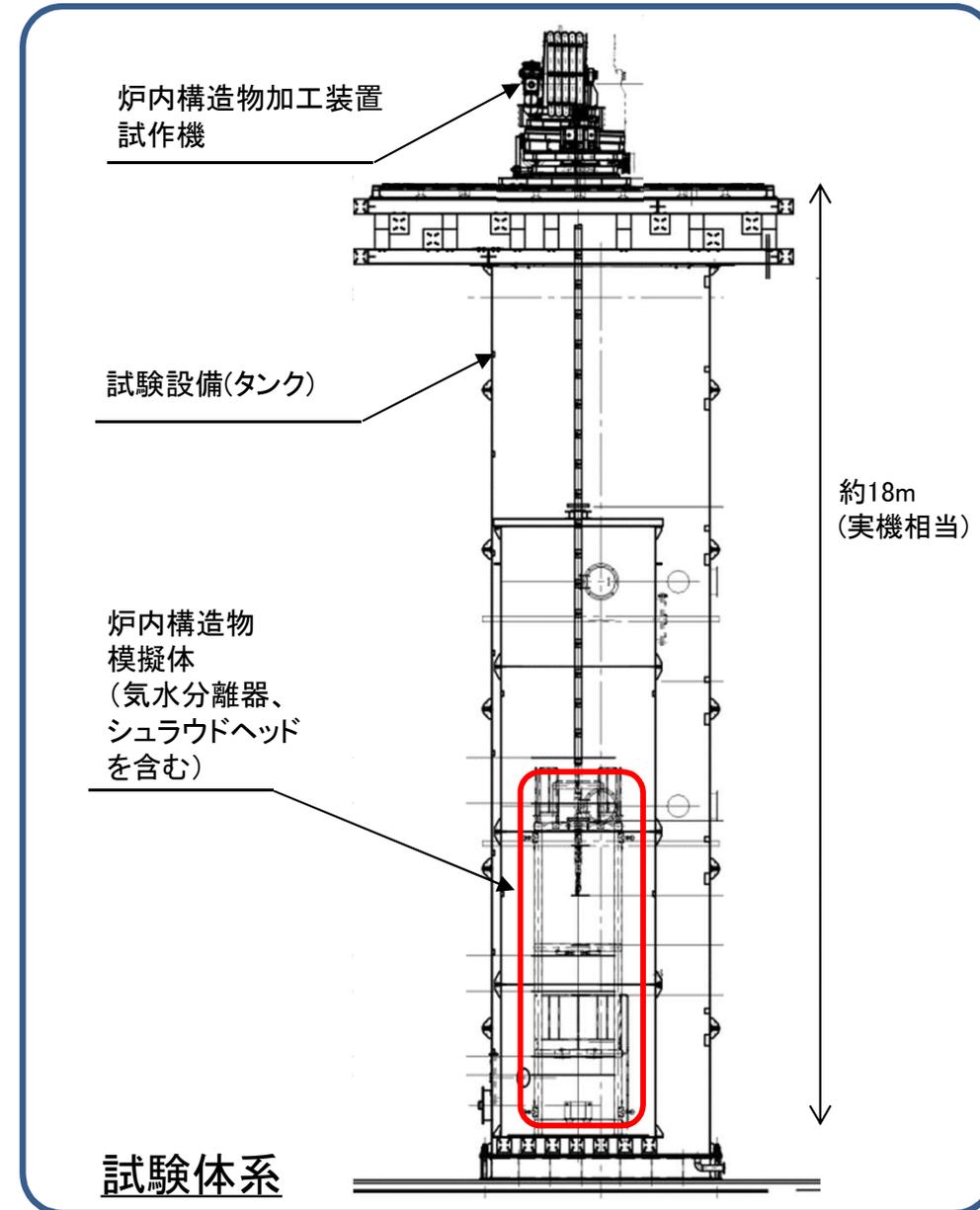
- ・ ツールヘッドと周辺構造物との干渉有無
- ・ シュラウドヘッドへの $\phi 110\text{mm}$ 以上の開口可否
- ・ シュラウドヘッド加工片の回収可否

○試験概要

模擬シュラウドヘッドに対し、炉内構造物加工装置試作機を用いて開口作業を実施し、上記の確認項目を評価する。



試作機概要



試験体系

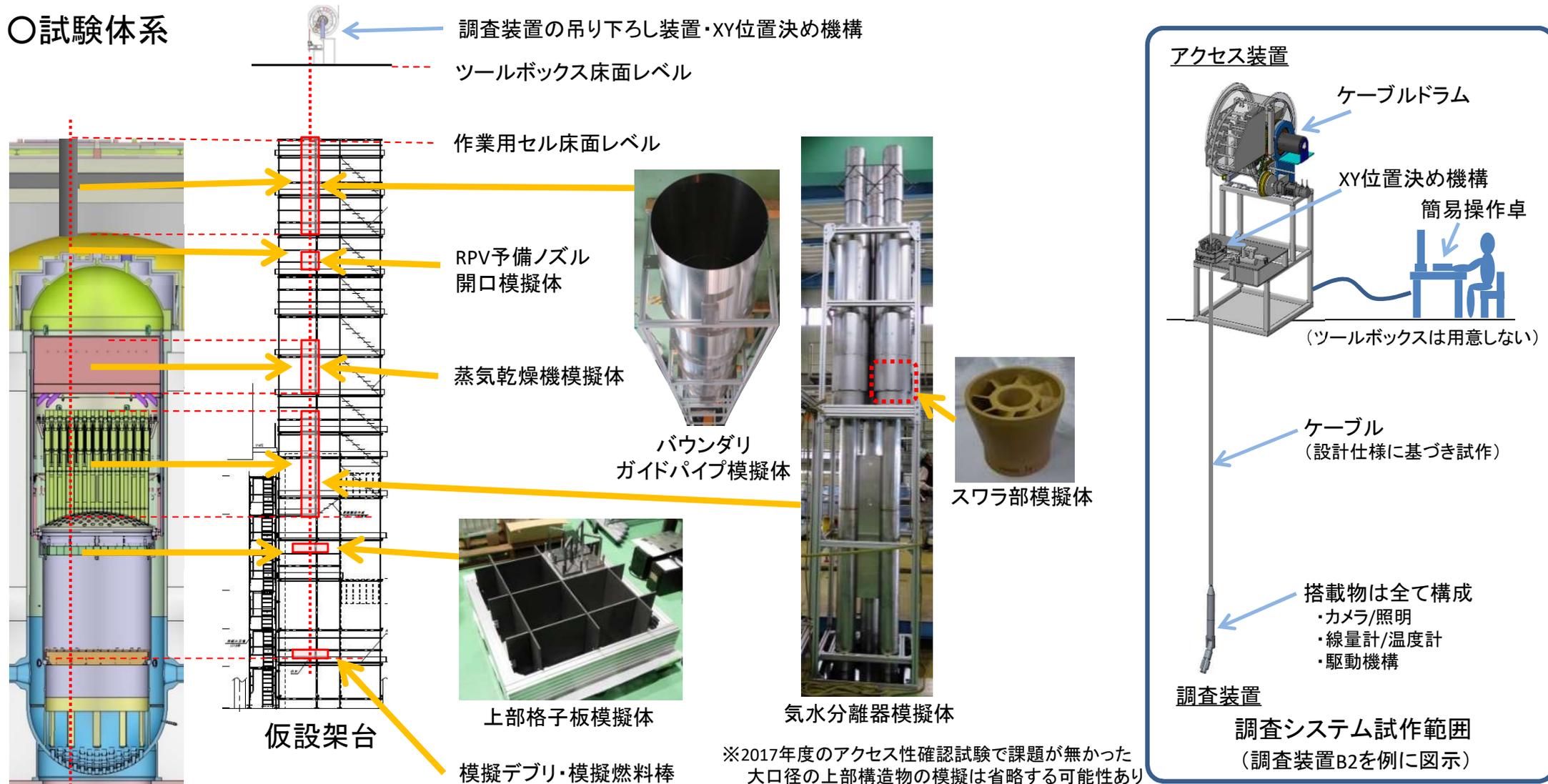
6.4.1.5 調査システム：要素試験計画(1/3)

要素試験計画：④調査システムアクセス性確認試験(1/2)

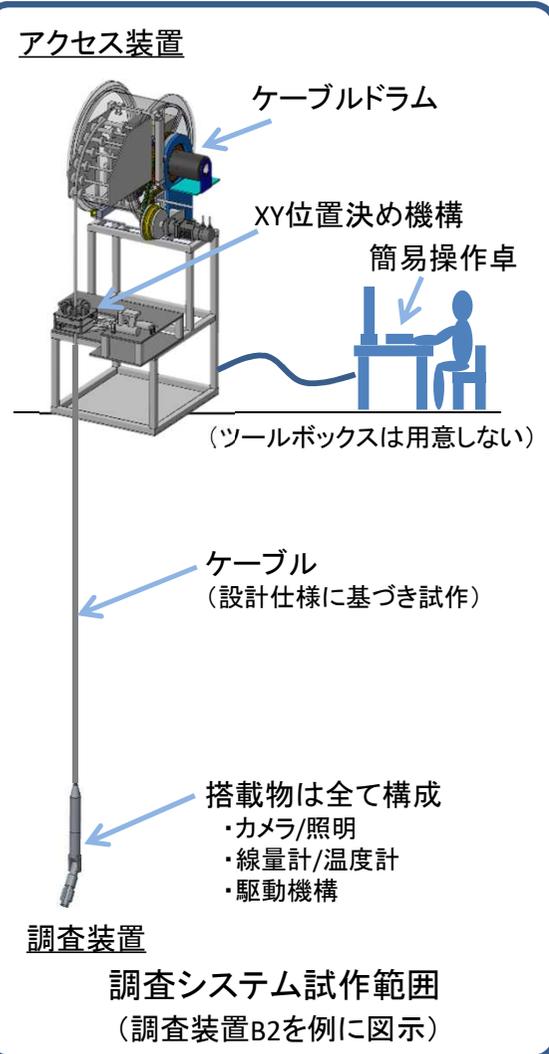
○課題・目的

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。

○試験体系



※2017年度のアクセス性確認試験で課題が無かった大口径の上部構造物の模擬は省略する可能性あり



6.4.1.5 調査システム：要素試験計画(2/3)

要素試験計画：④調査システムアクセス性確認試験(2/2)

○試験条件

- ・通過経路の主要構造物を簡易模擬
- ・カメラ映像を見ながら遠隔操作
- ・暗闇環境(調査装置に搭載した照明を利用)
- ・ツールボックス床面位置から調査位置(最深部は炉底部)までの昇降動作

○対象装置および評価項目

対象装置	主な評価項目	確認項目・判定基準
調査装置ALS/AHS 調査装置ALB/AHB 調査装置B2/B3	<ul style="list-style-type: none"> ・開口部通過性 <ul style="list-style-type: none"> ・改良設計によるアクセス性改善効果(ケーブル曲がり癖解消、中間屈曲の確実性向上) ・開口位置や形状・加工面状態(バリ等)に対する通過性 ・所要時間 	<ul style="list-style-type: none"> ・各開口に対して遠隔にて位置決め操作でき、開口部を通過(吊り下ろし・引き上げ)できること。 ・引っ掛かり発生時にカメラ映像または吊り下ろし装置のケーブルドラム駆動トルクで検知できること。
調査装置C	<ul style="list-style-type: none"> ・テレスコ機構の伸展・収納動作 ・開口部通過性 <ul style="list-style-type: none"> ・テレスコの位置決め調整 ・横展開量・旋回量の調整による、上部格子板に対する調査装置の吊り下ろし位置の調整 ・所要時間 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計通りに上段から順に伸展、下段から収納できること。 ・各開口に対して遠隔にて位置決め操作でき、開口部を通過(吊り下ろし・引き上げ)できること。また、同様に上部格子板の計画位置に横展開・旋回の操作ができ、調査装置が通過できること。 ・引っ掛かり発生時にカメラ映像または吊り下ろし装置のケーブルドラム駆動トルクで検知できること。

- ・暗闇霧環境における視認性評価は、視認性評価試験で検証済み
- ・線量計・温度計の測定精度は2017年度に検証済み

6.4.1.5 調査システム：要素試験計画(3/3)

要素試験計画：⑤調査システム映像取得評価(調査システムB)

○課題・目的

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、また昇降移動に伴う揺動の影響を評価する。

○対象装置および評価項目

対象装置	主な評価項目	確認項目・判定基準
調査装置 B2/B3	<ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>→画像ラップ率(パンチルト駆動のピッチ量)や、パンチルト駆動速度に反映</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・結合画像が隙間なく作成できること。

調査装置の揺動の要因

- ・昇降動作
- ・水平方向の吊り下ろし位置の調整動作
- ・パンチルト動作によるカメラ姿勢の変化

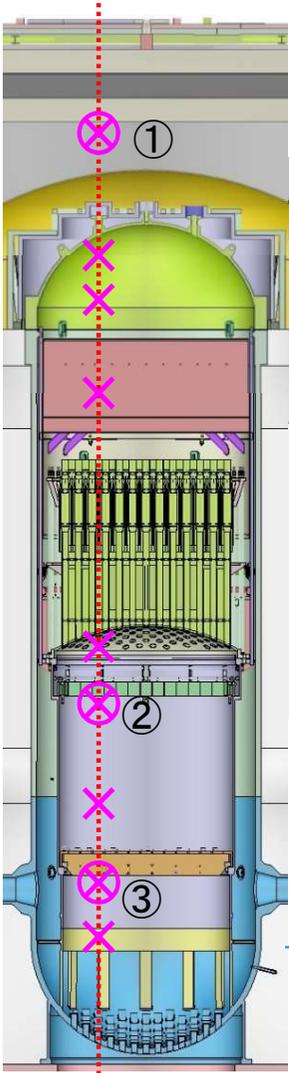
評価する撮影ポイントの考え方

調査装置の揺れ周期は吊り下ろし距離が長いほど長周期となり、揺動低減までの時間が長くなる。評価する代表ポイントは以下の3点とする。

- ①画像取得ポイントで最も吊り下ろし距離が短い箇所。揺動が小さく天球画像が取得しやすい。
 - ②炉心部を俯瞰する最も重要な撮影ポイント。
 - ③試験場で評価できる最も吊り下ろし距離が長い箇所。揺動が大きく天球画像を取得しにくい。
- ※円筒展開画像は、上記の3点について昇降方向に一定距離の区間の撮影を行い評価する。

----- 仮設架台の床レベル

- ×:天球画像撮影ポイント
- ⊗:評価する撮影ポイント



パン・チルト軸を一定ピッチで変化させて隙間なく画像を撮影して結合

天球画像撮影方法



パン軸を一定ピッチで変化させて全方位を撮影し、さらに一定ピッチで吊り下ろして隙間なく画像を撮影して結合

円筒展開画像撮影方法

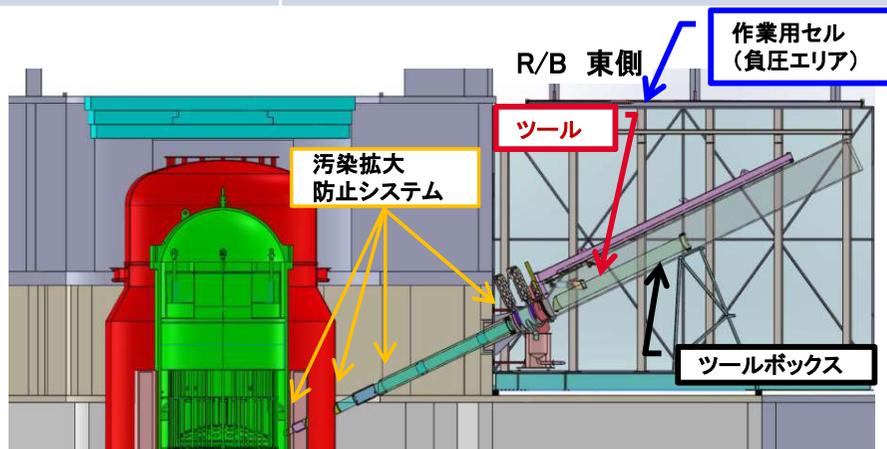
6.4.2 側面穴開け調査工法の装置開発

原子炉建屋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。

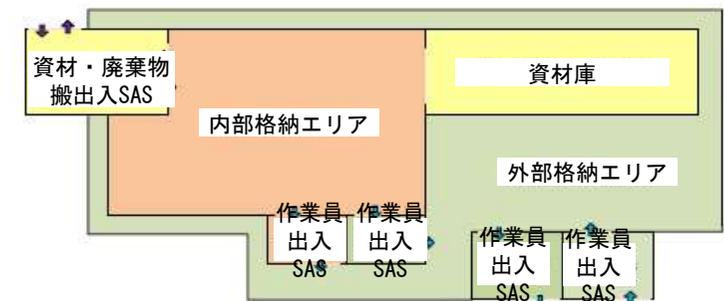
項目		概要	進捗状況	2018年度	2019年度	
1	作業用セルの開発	放射性ダストが万ツールボックスから漏洩する場合も想定して、負圧に維持するシステムを検討する。	次項参照	必要性検討	要素試験計画の立案	
2	シュラウドヘッドまでの穴開け装置の開発	生体遮蔽壁や、PCV、RPVを穿孔する都度、テレスコピックにガイドチューブを挿入してバウンダリを構築することで放射性物質の飛散防止に配慮した工法を実現するための装置を開発する。特に、本工法のキー技術となるアブレイズウォータージェットによる切削やその排水処理については早期に要素試験を実施して設計検討に反映する。		要素試験		
3	放射性物質飛散防止のための装置の開発			現場施工を考慮した具体化、合理化、設備仕様検討		現場への適用性確認
	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、グラウ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。				

6.4.2 側面穴開け調査工法の装置開発

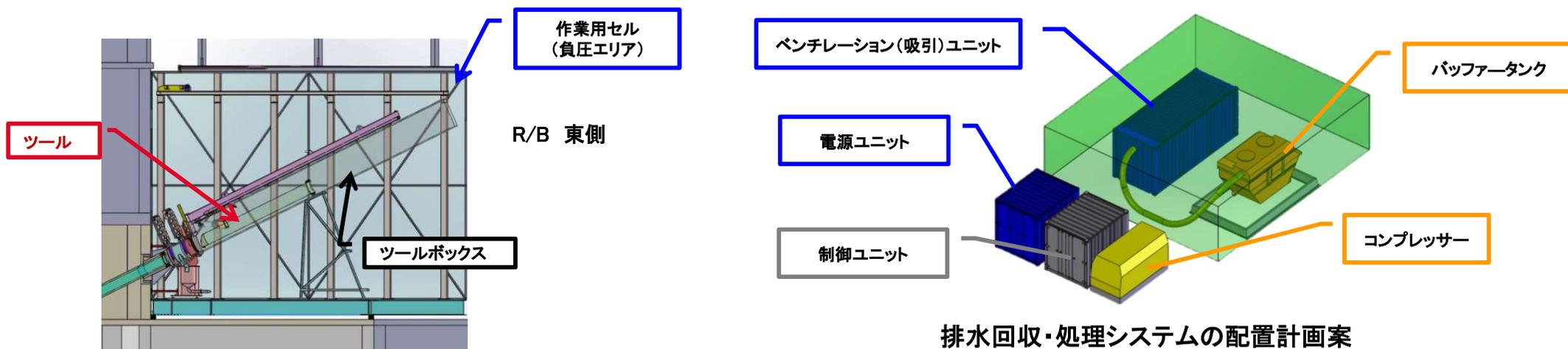
項目	実施内容	進捗状況
作業用セル	<ul style="list-style-type: none"> 作業ステップを考慮した構造・工法の合理化、支持構造物も含めた軽量化 作業用セル内および周辺配置計画の合理化 アクセスルート上の干渉物回避、取合条件の明確化 負圧管理システムの詳細検討 	<ul style="list-style-type: none"> 空調機器室天井のスラブ強度の制限を勘案して、作業用セルや支持構造物の軽量化を検討中。 作業用セル内の作業員の動線にも配慮しつつ、セル内外の配置計画を検討中。
シュラウドヘッドまでの加工装置	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 要素試験の試験計画を立案。試験計画を踏まえて、供試体の手配を進めている。
バウンダリ機能維持	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 要素試験の試験計画を立案。試験計画を踏まえて、供試体の手配を進めている。
調査装置をアクセスさせる装置	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
メンテナンスユニット	<ul style="list-style-type: none"> メ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 	<ul style="list-style-type: none"> 作業用セル内外の配置計画に配慮しつつ、設計条件を整理中。



メンテナンスユニット(平面図)

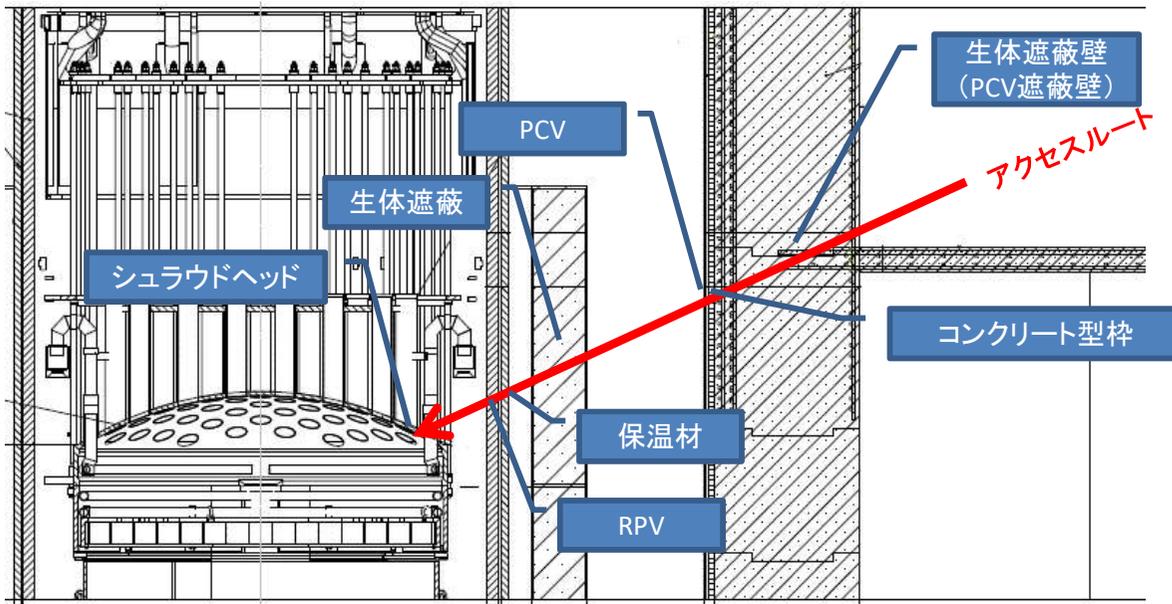


項目	実施内容	進捗状況
作業用セル・支持構造物の軽量化	<ul style="list-style-type: none"> ・2017年度の検討結果から、作業用セル重量が大きくなる見込みとなったことを受け、支持構造物も含めた軽量化を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・空調機器室天井のスラブ強度の制限を勘案して、作業用セルの軽量化を検討中。軽量化が難しい場合には、天井への荷重を分散させるべく、支持構造物の面積を広げる案も検討中。
作業用セル内および周辺配置計画の合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・作業用セルの周辺に配置される主な装置類としては、排水の回収・処理システムと、負圧管理システムとなるが、各システムに必要な物量を想定して、前項の作業用セルの軽量化にも配慮しつつ、配置計画を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水回収の簡易試験を行い、回収に必要なとなる吸引装置等の物量を試算した。
アクセスルート上の干渉物回避、取合条件の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
負圧管理システムの詳細検討	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全要求整理後に実施予定(計画通り)。



6.4.2.2 シュラウドヘッドまでの加工装置

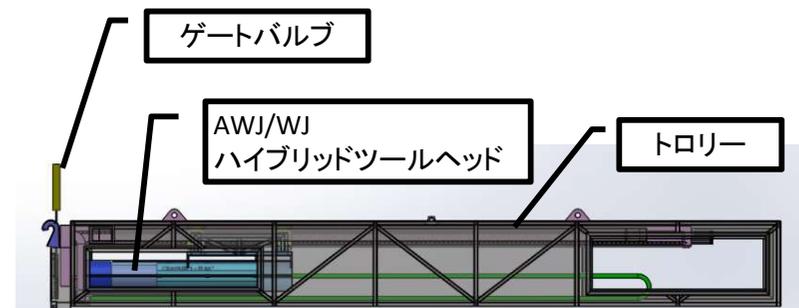
項目	実施内容	進捗状況
掘削ツールの成立性確認(切削性及び処理水の回収)、合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・成立性確認のため要素試験の計画を立案する。また、アクセスルート上の掘削対象について、その仕様あるいは建設記録を収集して、供試体の仕様を設定する。 ・要素試験に先立つ簡易試験を行い、要素試験の試験条件設定を行うとともに、要素試験用装置の設計・製作を行う。 ・要素試験を実施して、要素技術の成立性を確認するとともに、装置設計に必要な基礎データを収集する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・要素試験の計画を立案した。 ・アクセスルート上の掘削対象について、その仕様あるいは建設記録を収集して、供試体の仕様を設定した。 ・要素試験用供試体の手配中。
ツールボックスの構造・工法の合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ツールボックスの基本構造を検討した。



アクセスルート上の掘削対象

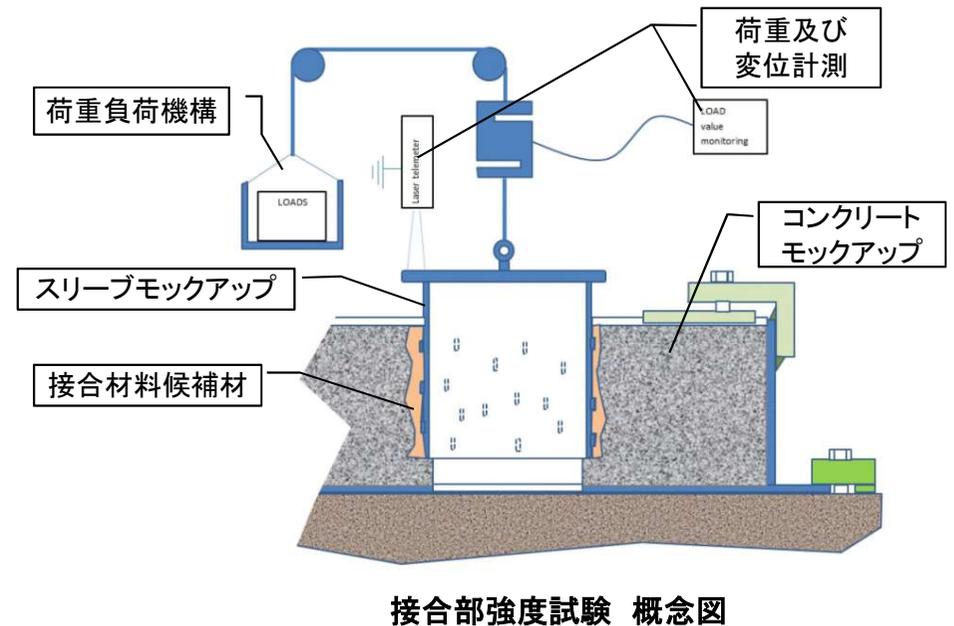
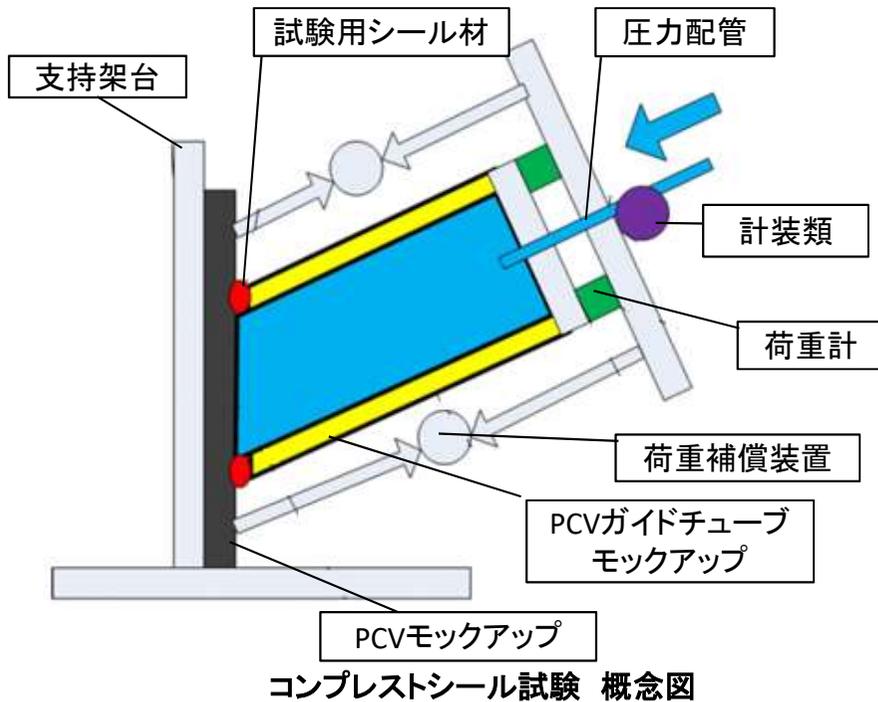


手配中供試体の一部 (RPV模擬供試体)



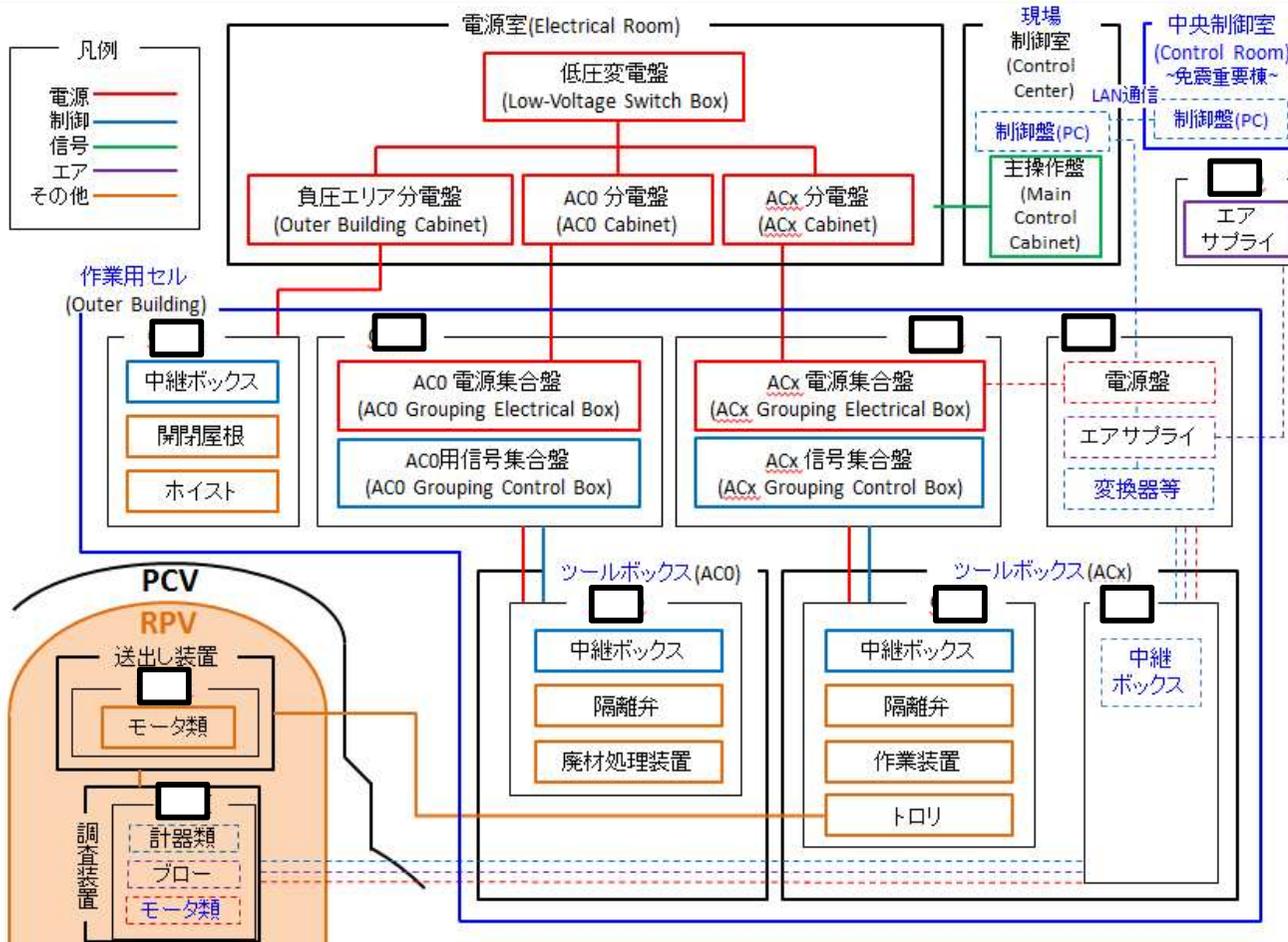
ツールボックス基本構造案

項目	実施内容	進捗状況
ガイドパイプのシール性 (閉じ込め機能)の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・成立性確認のため要素試験の計画を立案する。 ・要素試験に先立つ簡易試験を行い、シールに加える軸荷重とリークレート等の基礎データ収集し、要素試験用装置の設計・製作を行う。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・要素試験(コンプレストシール試験)の計画を立案した。 ・要素試験に先立つ簡易試験を行い、シールに加える軸荷重とリークレート等の基礎データを収集中。 ・要素試験用供試体の手配中。
作業性を考慮した構造・ 工法の合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・成立性確認のため要素試験の計画を立案する。 ・要素試験に先立つ簡易試験を行い、コンクリート切削面とスリーブ(金属面)とを接合する接合材料候補を選定するとともに、要素試験用装置の設計・製作を行う。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・要素試験(接合部強度試験)の計画を立案した。 ・要素試験用供試体の手配中。



6.4.2.3 調査装置をアクセスさせる装置、メンテナンスユニット

項目	実施内容	進捗状況
調査装置をアクセスさせる装置	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
メンテナンスユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・メ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 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業用セル内外の配置計画に配慮しつつ、設計条件を整理中。



調査装置の電源・通信系
ブロック線図(例)

試験項目	目的・必要性	試験概要
ハイブリッド・ウォータージェットツールによる切削性試験	福島鉄筋コンクリートの切削性データとして、鉄筋コンクリートの切削片の大きさや、切削面の表面粗さなどを採取する。 実機で必要となる研磨剤量や処理水量を試算するための基礎データを採取する。	アクセスルート上の切削対象物を模擬した供試体を製作し、各々についてウォータージェットあるいはアブレイシブ・ウォータージェットによって切削して、研磨剤量や処理水量などの必要なデータを採取する。
コンプレストシール試験	ガイドチューブが傾斜角度を持ってPCVと相対することから、バウンダリを構成するPCV表面(円柱構造体)へのシール性が確保されることを確認する。	PCVを模擬した供試体を製作し、ガイドチューブ/PCV間のシール性が確保されることを確認する。
処理水の回収・排水試験	処理水がツールヘッド部から回収され、切削片と水分が分離されることを確認する。	ツールヘッドから回収機構までの距離や角度を模擬した要素試験装置を製作し、処理水が回収できることを確認する。また、排水処理機構を模擬した要素試験装置を製作し、切削片と水が計画通りに分離できることを確認する。
接合部強度試験	PCV遮蔽壁に切削した調査孔内でガイドチューブを保持(ガイドチューブに一定の軸荷重を負荷)しうる接合材料を選定するとともに、軸荷重に対する耐荷重値を採取する。	鉄筋コンクリート切削面とスリーブ(ガイドチューブ)間の接合部を模擬した供試体を製作し、複数の接合材料について接合部強度データを採取して、適切な材料を選定する。

実施項目	進捗状況	今後の計画
(1)調査計画・開発計画の策定 ①燃料デブリ取り出しに必要な情報の整理	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し。	— (必要に応じて更新を行う)
②調査計画・開発計画の策定・更新	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。(側面穴開け調査工法については更新なし。) 開発計画については変更なし。	— (必要に応じて更新を行う)
(2)工法計画の立案 ①作業ステップの具体化、工法手順の合理化	工法手順の合理化を行い、作業ステップの具体化、更新を実施。	前提条件の整備結果や調査計画の更新結果、設計進捗を踏まえて更新予定。
②安全要求の整理、被ばく評価	安全要求の抽出手法を検討。また、被ばく評価を実施するための前提条件の整備や評価モデルの構築作業を実施。	前提条件の整備結果や調査計画の更新結果を踏まえた被ばく評価を実施予定。
(3)調査用付帯システムの検討	調査に必要と想定される付帯システムを抽出。	抽出した付帯システムへの要求仕様の整理を実施予定。
(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	2017年度の検討・要素試験結果で残った課題等に対し、課題解決のための検討や簡易試験を実施。2019年度実施する仕様確認のための要素試験計画を立案。	要素試験を実施し、装置設計へ反映し設備仕様を策定予定。
②側面穴開け調査工法の装置開発	設備仕様を検討するために必要となる要素試験の試験計画を具体化し、簡易試験を実施して要素試験用装置製作のためのデータを収集するとともに、供試体の準備を進めた。	要素試験を実施し、装置設計へ反映し設備仕様を策定予定。設計条件の整理結果を踏まえ、合理化や軽量化等を考慮しつつ、設計検討作業を行う予定。