

# 平成27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28年度末中間報告

平成29年 4月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

# 目次

## 1.概要

## 2.研究内容および成果

### 2.1 調査計画・開発計画の立案・更新

#### ①-1 調査ニーズの整理

#### -2 調査方法の検討

#### ② 側面穴開け調査工法 適用性評価

### 2.2 上部から炉心にアクセスする装置の開発

#### 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

#### 2.2.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発

#### 2.2.3 上部格子板までの穴開け装置の開発

### 2.3 炉心部までの調査方式の開発、選定

### 2.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

## 3.まとめ

# 1. 概要

## 【原子炉压力容器(RPV)内部調査の目的】

燃料デブリを取り出すための原子炉压力容器(RPV)内部の基礎情報(燃料デブリの分布、線量、構造物の状態等)の取得。

## 【技術開発の目的】

必要な情報(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。

## 【実施内容】

平成27年までの検討結果を踏まえて、

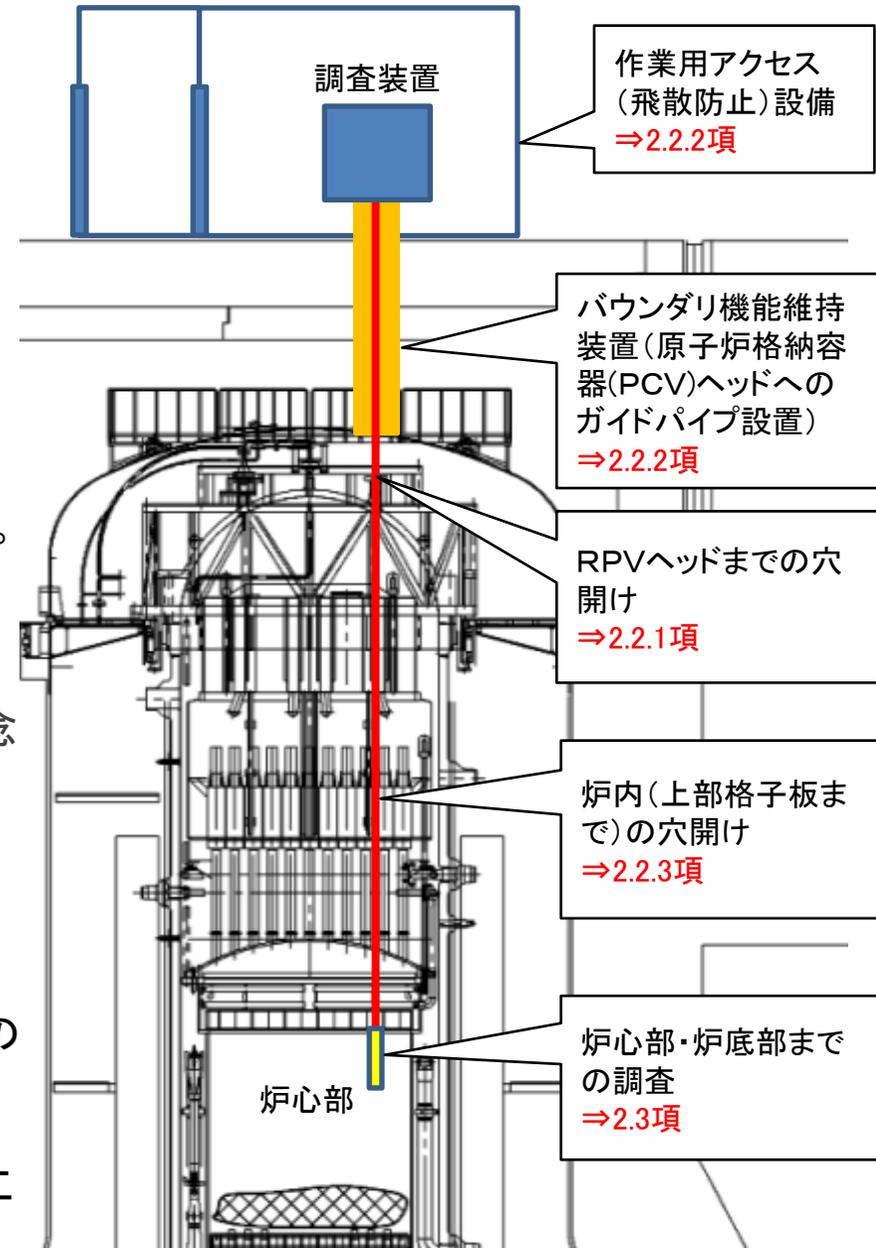
- 調査計画・開発計画の立案・更新(⇒2.1項)
  - ⇒調査ニーズに基づく開発計画を更新し、工法計画に反映。
  - ⇒側面穴開け調査工法について適用性を評価。
- 上部から炉心にアクセスする装置の開発(⇒2.2項)

### ○汚染拡大防止システム

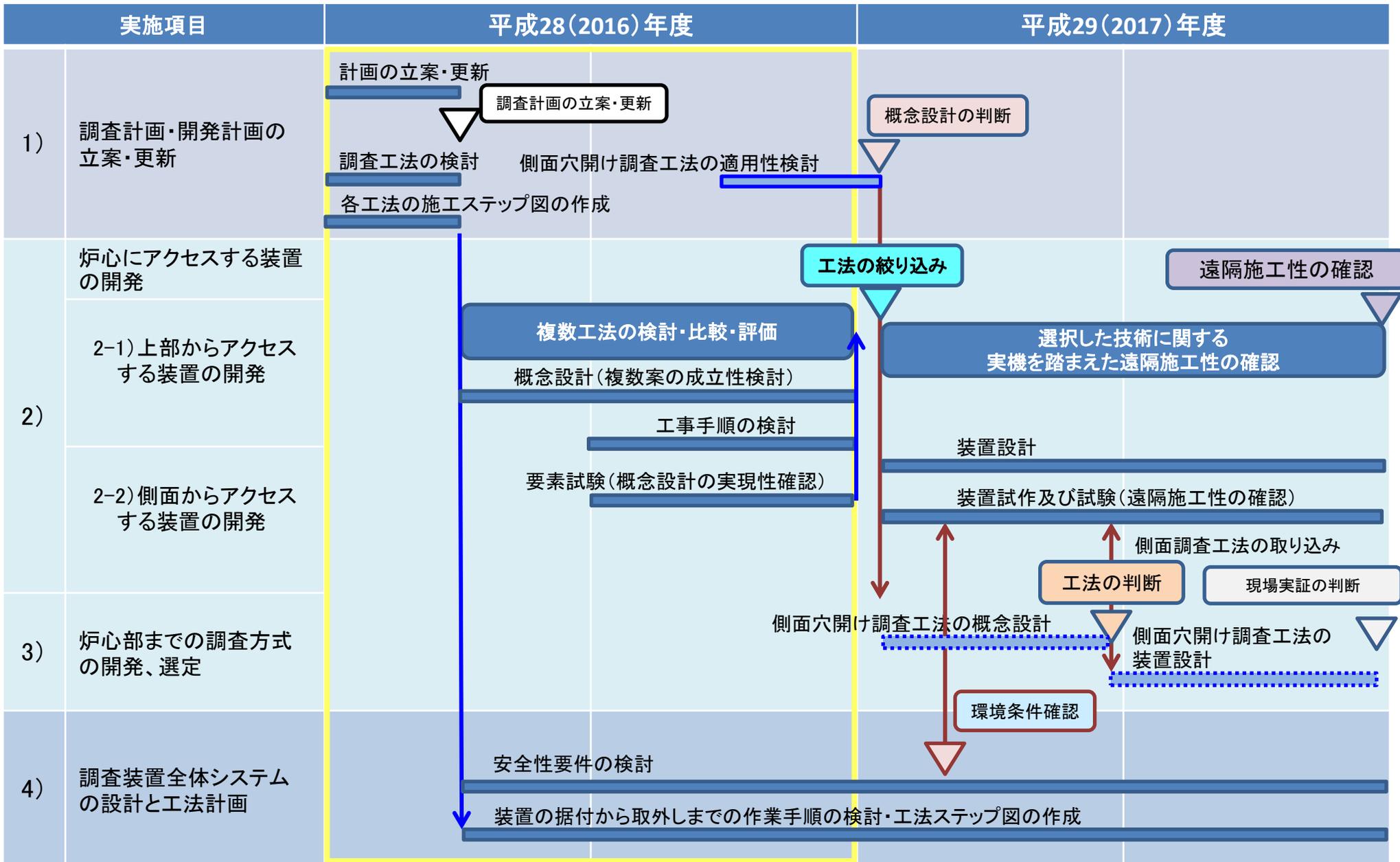
- ⇒穴開け作業に伴う放射性物質の飛散防止システムの概念を検討。
- ⇒原子炉格納容器の穴開け部のシール機能に関する要素試験を実施。

### ○炉心部への調査ルート構築

- ⇒炉内構造物(蒸気乾燥器、気水分離器等)の狭隘部で穴開け加工を行うアグレイシブウォータージェット(AWJ)の小型ツールヘッドを試作、要素試験を実施。
- 炉心部までの調査方式の開発、選定(⇒2.3項)
  - ⇒調査に関する装置・システムに関する概念設計を行い、工法の絞り込みを行い、工事計画を策定。(⇒2.4項)。



# 1. 概要：概略スケジュール



## 2.研究内容および成果：検討課題と解決手段

No.4

#	項目	平成27年度までの成果	平成28～平成29年度の課題	解決手段
2.1	調査計画・開発計画の立案・更新 (平成28年度第1四半期)	<ul style="list-style-type: none"> <li>工法ステップ図を作成</li> <li>各PJからのニーズを調査し、調査計画・開発計画を立案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>側面アクセス工法の成立性検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成28～29年度に、側面穴開け調査工法に関し机上検討を実施する。</li> </ul>
2.2.1	RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウェルカバー、PCVヘッド、RPV保温架台、RPVヘッドの穴開け装置概念検討</li> <li>平成26年度、要素試験実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔での作業計画(位置決め、芯の合わせ方、設置固定)</li> <li>水素爆発回避の加工方法の検討</li> <li>加工片の落下防止、固定・回収方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置設計・要素試験(平成28～29年度) <ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔操作による作業手順について、装置部分試作による工法・装置の検証。</li> </ul> </li> </ul>
2.2.2	バウンダリ機能維持装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本概念立案・2015年度、シール機能試験を実施し、基本構造を確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バウンダリ維持装置の遠隔設置・固定手順の確立、耐震設計</li> <li>設置時の検証方法(現地試験方法)</li> <li>調査完了時の処置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置設計・要素試験(平成28～29年度) <ul style="list-style-type: none"> <li>装置部分試作による工法・装置の検証</li> <li>穴開け装置との取り合い確認。</li> </ul> </li> </ul>
	作業用アクセス装置(バウンダリセル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成27年度概念検討を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造(耐震)設計、遮へい設計</li> <li>ハンドリングツール検討</li> <li>エア(空調)システム</li> <li>監視計画(扉の開閉時、異常時)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置設計(平成28～29年度) <ul style="list-style-type: none"> <li>穴開け装置との取り合い確認。</li> </ul> </li> </ul>
2.2.3	炉内(上部格子板までの)穴開け技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心へのアクセスのキーとなるRPV内での炉内構造物の穴開け加工の実現性を要素試験で確認。</li> <li>平成27年度概念検討を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ツールヘッド・加工片除去機構(上からのアクセス:狭隘・複雑形状対象)</li> <li>ガイドパイプ挿入・ツール移動機構(上からのアクセス:約20m下方)</li> <li>装置の遠隔操作, 回収</li> <li>ダストなど放射性物質の移行挙動把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置設計・要素試験(平成28～29年度) <ul style="list-style-type: none"> <li>装置試作による装置や工法の検証試験要否を判断する。試験については、装置設計の結果必要性を評価し、実施する。</li> </ul> </li> </ul>
2.3	炉心部・炉底部の調査技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成27年度概念検討を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カメラ、検出器など調査方法絞り込み</li> <li>搭載する検出器(線量、温度など)</li> <li>炉心までのアクセス方法(ワイヤ、テレスコ、ガイドパイプ等)</li> <li>故障時のレスキュー方法</li> <li>炉心部・炉底部の調査方法</li> <li>要求精度の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置設計・要素試験(平成28～29年度) <ul style="list-style-type: none"> <li>部分要素(シュラウドヘッド、上部格子板など)を用いた、調査方法の検証。</li> </ul> </li> </ul>
2.4	調査装置全体システムの設計と工法計画	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.2、2.3項で検討した装置に関する工法手順、作業計画詳細化(エリア除染、準備から完了まで。装置の取出し・除染・メンテナンスなど)</li> <li>安全性要件の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HPを設け、被ばく評価条件を精査し、微正圧環境での調査成立性を確認する。</li> <li>工法ステップ図を作成する。</li> </ul>

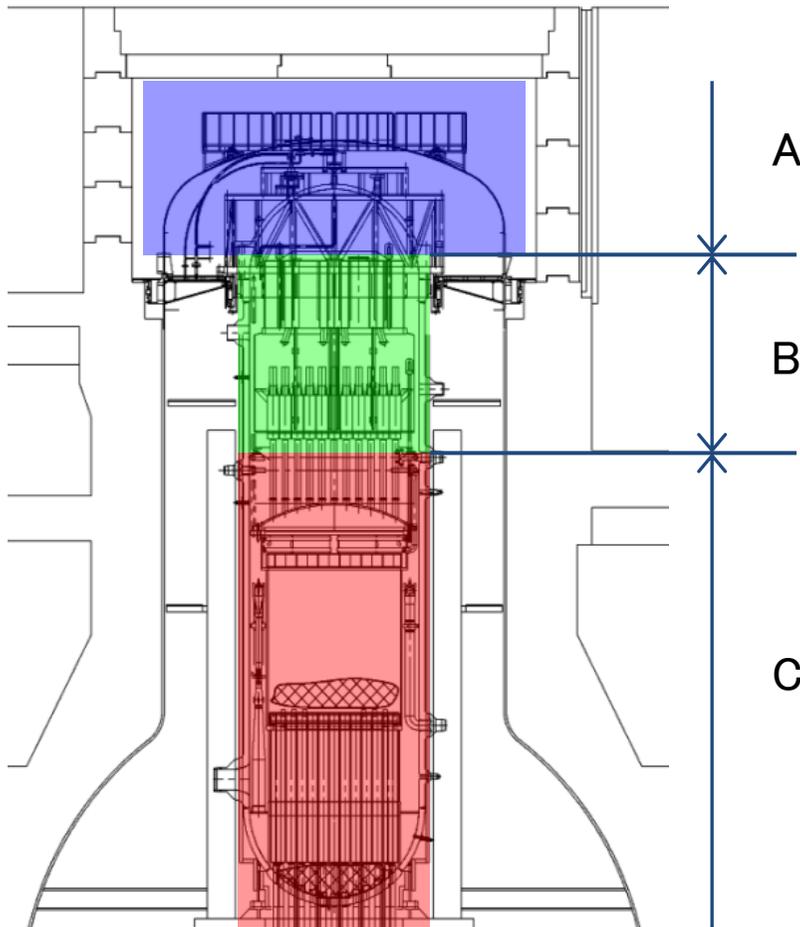
## 2.研究内容および成果:概略開発工程(上部穴開け調査工法)

No.5

#	項目	平成28年度	平成29年度
2.1	調査計画・開発計画の立案・更新	▼ 調査計画の立案・更新(IDR) 調査ニーズの整理 調査工法の検討	
2.2.1	RPVヘッドまでのアクセス用穴あけ装置	概念設計(複数工法の比較評価) 要素試験	基本設計(システム構成等) 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験
2.2.2	バウンダリ機能維持装置	概念設計(複数工法の比較評価) 要素試験	基本設計(システム構成等) 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験
	作業用アクセス装置	概念設計(複数工法の比較評価)	建屋との取合いを考慮したバウンダリ構築方法の検討 基本設計(システム構成等) 詳細設計
2.2.3	炉内(上部格子板まで)の穴あけ技術の開発	概念設計 要素試験	基本設計 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験
2.3	炉心部・炉底部の調査技術の開発	概念設計 要素試験	炉内既存の空間を利用した調査装置の概念設計 基本設計(システム構成等) 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験
2.4	調査装置全体システムの設計と工法計画	安全性要件の検討 工法手順、作業ステップの検討	安全性要件の検討 工法手順、作業ステップの検討 作業ステップ図の作成

## 2.研究内容および成果：前提条件(1)：環境条件

- 線量率、霧環境(光の透過率)については、原子炉格納容器(PCV)内部調査結果等から推定し、前提条件として設定した。



### ■ 線量率

エリア		推定線量率 (Sv/h)
A	ドライウエル	16
B	炉内(蒸気乾燥器/ 気水分離器近傍)	800
C	炉内(炉心部近傍)	5000

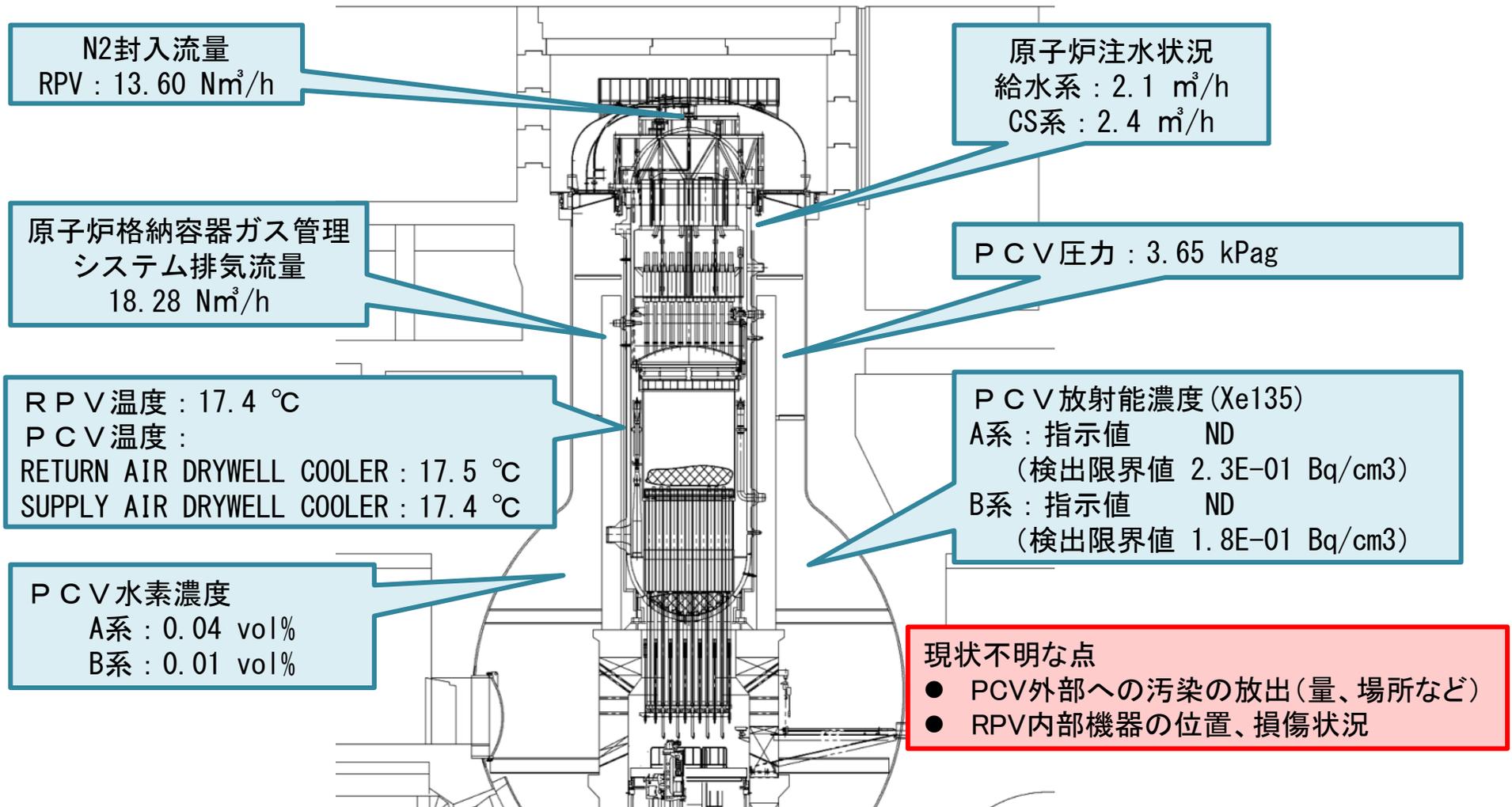
### ■ 霧環境(光の透過率)

光の透過率 (1F-1の調査結果より)	対象物までの距離
46%	1.5m

⇒この値を基に吸収係数を算出し、各距離における透過率を推定。

## 2.研究内容および成果：前提条件(2)：プラントパラメータ

■プラントパラメータを踏まえ設計条件を設定する(2号機 2017年1月31日のデータ)。



# 2.1 調査計画・開発計画の立案・更新

## 1)概略工程

#	項目	平成27年度までの成果	平成28年度	平成29年度
2.1	① ・調査ニーズの整理 ・リスクベネフィット 評価	各PJからニーズを調査し、 調査計画・開発計画を立案	調査計画の立案・更新 (IDR) ▼ 調査ニーズの整理 複数工法の検討	
	② 側面穴開け調査工 法の適用性検討	—	計画策定・検討着手 (IDR) ▼ 適用性検討	適用性の評価 ▼ 概念設計 ▼ 工法の判断 ▼ 装置設計

## 2)平成28年度の実施内容

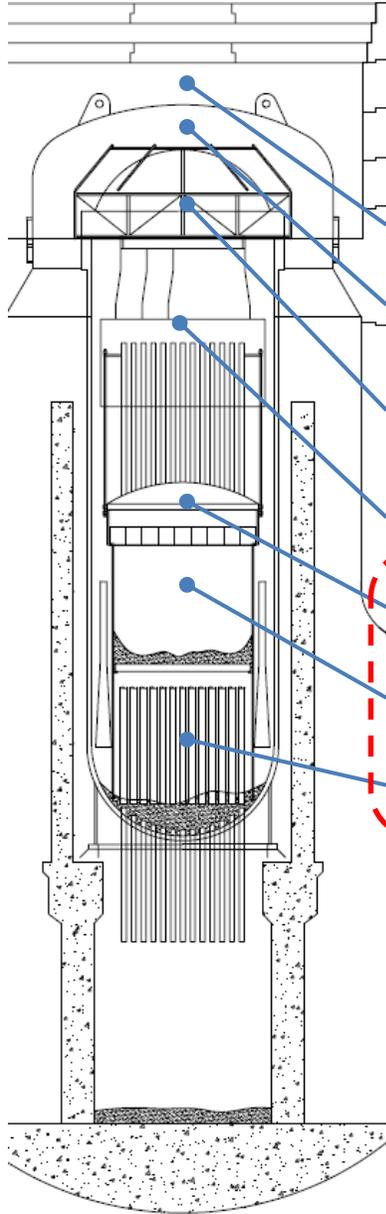
・ニーズの再調査・整理し、調査の価値(リスクベネフィット)評価を行った結果、更新・追加となった開発項目として以下を抽出した。

⇒側面穴開け工法の成立性概念検討→追加

⇒炉心部・炉底部の調査方法・装置の開発→更新(炉心部・炉底部までのアクセス、外観情報・線量率の取得)

・上記の調査計画の更新結果から、側面穴開け調査工法を追加で検討することとし、平成29年度末までの開発計画を策定し(計画変更を実施)、適用性検討を行いその結果に基づき平成29年度に概念設計に着手することとなった。

・使用済み燃料プール(SFP)の燃料取出し作業の状況や現状の炉内状況把握や各調査結果から調査の優先号機を評価し、上部穴開け調査:3号機、側面穴開け調査:2号機 を設計の条件として平成29年度の装置設計を進める。ただし、2号機においては、SFP燃料取出し計画の進捗に応じて、SFP燃料取出し前に本調査を実施することも考慮する。



	線量率	汚染 状況	外観・損傷状況					合計
			炉内 構造物	RPV	燃料 集合体	デブリ 状況	水位	
原子炉ウェル	○	—	—	—	—	—	—	180
PCVヘッド内側	○	◎	○	◎	—	—	—	
RPVヘッド内側	○	◎	○	◎	—	—	—	
蒸気乾燥器(ドライヤ) 気水分離器(セパレータ)	○	◎	○	—	—	—	—	930
炉心上部 上部格子板	◎	—	◎	—	◎	—	—	
炉心中央	◎	—	◎	—	◎	◎	—	
炉心下部～炉底部	—	—	○	—	—	◎	◎	
<b>調査ニーズ</b>	<b>270/270</b>	<b>0/90</b>	<b>450/450</b>	<b>0/90</b>	<b>1/1</b>	<b>206/206</b>	<b>3/3</b>	<b>930/1110</b>

炉心部で 84% をカバー

◎ : 直接測定したデータを調査したい領域

○ : ◎領域のデータからの推測でも可能

デブリ取出しPJ(810)とデブリ臨界管理(300)の調査ニーズの大きさは合計1110。

全体(1110)のうち、930(84%)は炉心からの直接入手するデータ。

残り(RPVの損傷、汚染=180)は原子炉圧力容器上部から入手するデータ。

⇒後述調査工法の**上部穴開け調査:1110(青字)**、**側面穴開け調査:930(赤字)**

- 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、デブリ取出し装置の詳細設計に反映できる。
  - ✓ 2018年の工法確定後の詳細設計時に必要。調査時期が早いほど、取得できた情報が有効に活用可能。
  - ✓ 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、デブリの分布、炉心部の残存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、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<sup>3</sup>)。

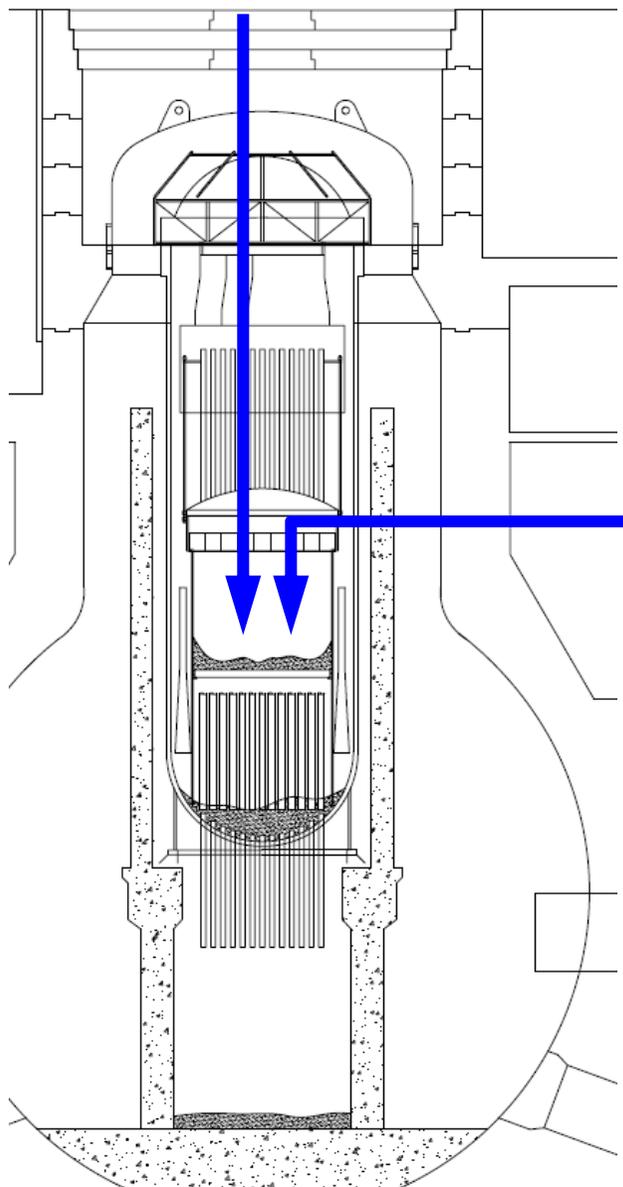
## 2.1 ①-2 調査工法の検討:調査方針

### ■調査ニーズからの要求

調査機能	内容
調査方法	調査対象部位に接近(アクセス)し、そのアクセスルート上において、直接計測、映像などのデータ取得を行う。
調査範囲(到達エリア)	シュラウド内側の物理的に接近可能な全範囲とする。尚、燃料デブリ(上部格子板も含む)には触れない。
アクセスルート構築	PCV、RPV、炉内構造物等を加工して炉心にアクセスする。アクセスルート構築に当たっては、作業量が最小(板厚薄、開口寸法小、加工性を総合的に評価)になること、閉止措置が容易であること。

### ■「5つの基本的考え方」※に沿った本PJの開発方針

考え方	内容	
安全	放射性物質の漏えい防止	オペフロからの放射性物質の漏えいを防止、または基準値以下に抑制する。建屋内の気体中の放射性物質を増加させない。
	燃料デブリの臨界防止	本調査による現状変化(加工片の脱落等)による臨界を抑制する。加工片は燃料デブリ・残存燃料が存在すると想定される炉心部(シュラウド内部)に落下させない。
	火災・爆発の防止	加工時等に残留していると想定される水素による爆発を防止する。
确实	実績・開発要素の有無	適用する技術は極力実績のある技術を適用し、開発要素を少なくする。
合理的	コスト	調査ニーズを満足できる費用対効果の高い調査工法とする。
	廃棄物発生量の抑制	できるだけ繰り返し使用できる装置設計とし、放射性廃棄物の少なくする。
	作業エリア(装置規模)	装置規模はできるだけ小さくし、取扱いが容易な装置設計とする。
迅速	着実な進捗・調査までの期間	段階的な調査(ステップ・バイ・ステップ)により着実に進捗する調査工法とする。また、早期に調査を実施すべく、負圧環境整備前に調査を行う。
現場指向	作業性・現場適用性・保守性	耐環境性、アクセス・作業性、メンテナンス・トラブル対応性の高い(シンプルな構成、メンテナンス頻度の低い)装置設計とする。

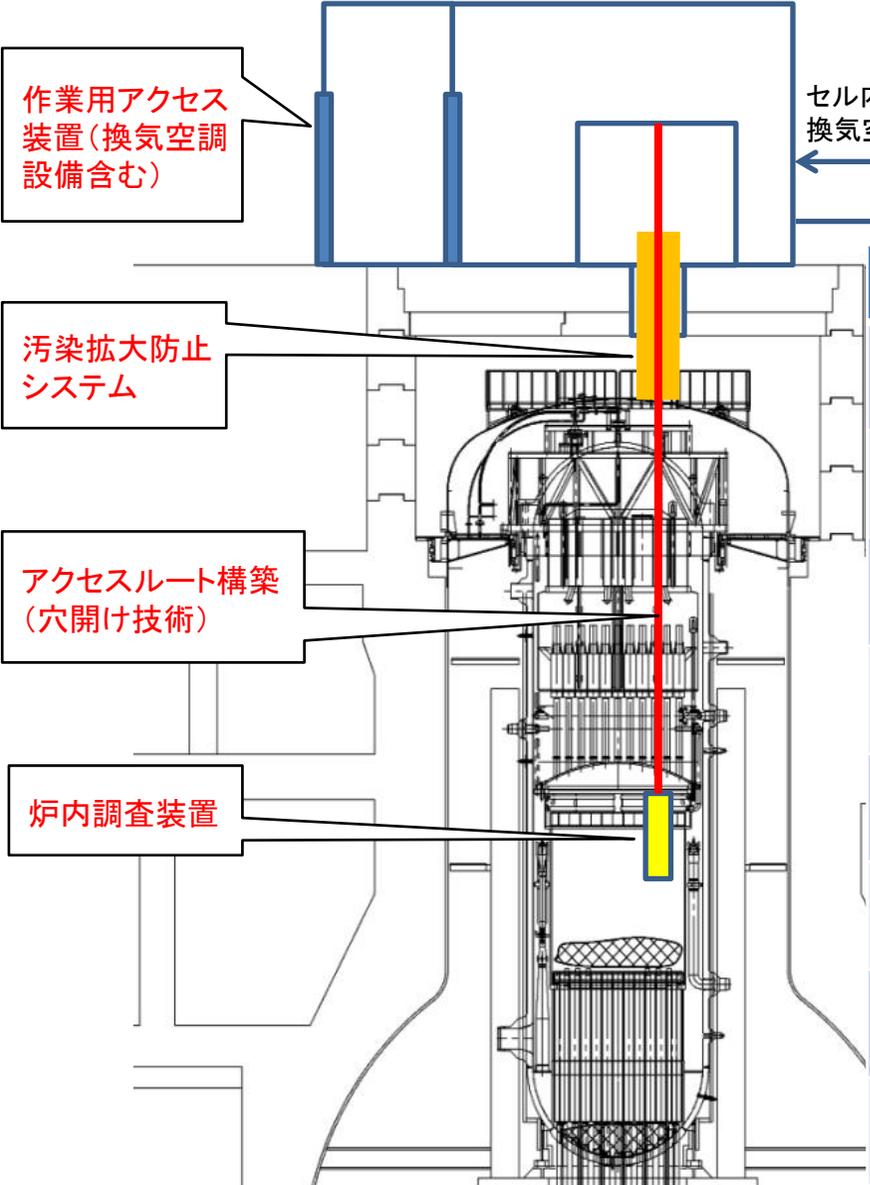


- 早期に炉心部に到達するアクセスルートを検討。
- 平成27年度までの主案であった上部(オペフロから)穴開けに加え、側面(建屋横から)穴開けについてもアクセスルート有無を検討。
- アクセスルートを構成するまでの工法ステップを立案。工事規模、工事難易度、リスクを評価。
- 工法を検討するにあたり、下記の安全機能を考慮。

安全機能	内容
放射性物質の漏えい防止	異常時を含み調査中、常に、オペフロからの放射性物質の漏えいを防止し、建屋内の気体中の放射性物質を増加させることなく、基準値以下に維持。
燃料デブリの臨界防止	本調査による現状変化(水の使用、切粉の脱落等)が生じても、 <u>臨界となる可能性を排除</u> 。異常な核分裂の発生を検出し収束措置。
火災・爆発の防止	<u>水素爆発の可能性を排除</u> 。

## 2.1 ①-2 調査工法の検討 概略工法：上部穴開け工法

- 開発項目(課題)としては以下の4件
  - ・作業用アクセス装置:ハンドリング装置、換気空調設備
  - ・汚染拡大防止システム:穴開け部からの汚染拡大防止
  - ・アクセスルート構築:干渉物の加工技術
  - ・炉内調査装置:調査対象部のアクセス・調査方法
- 干渉物の加工については、以下の対象物を考慮

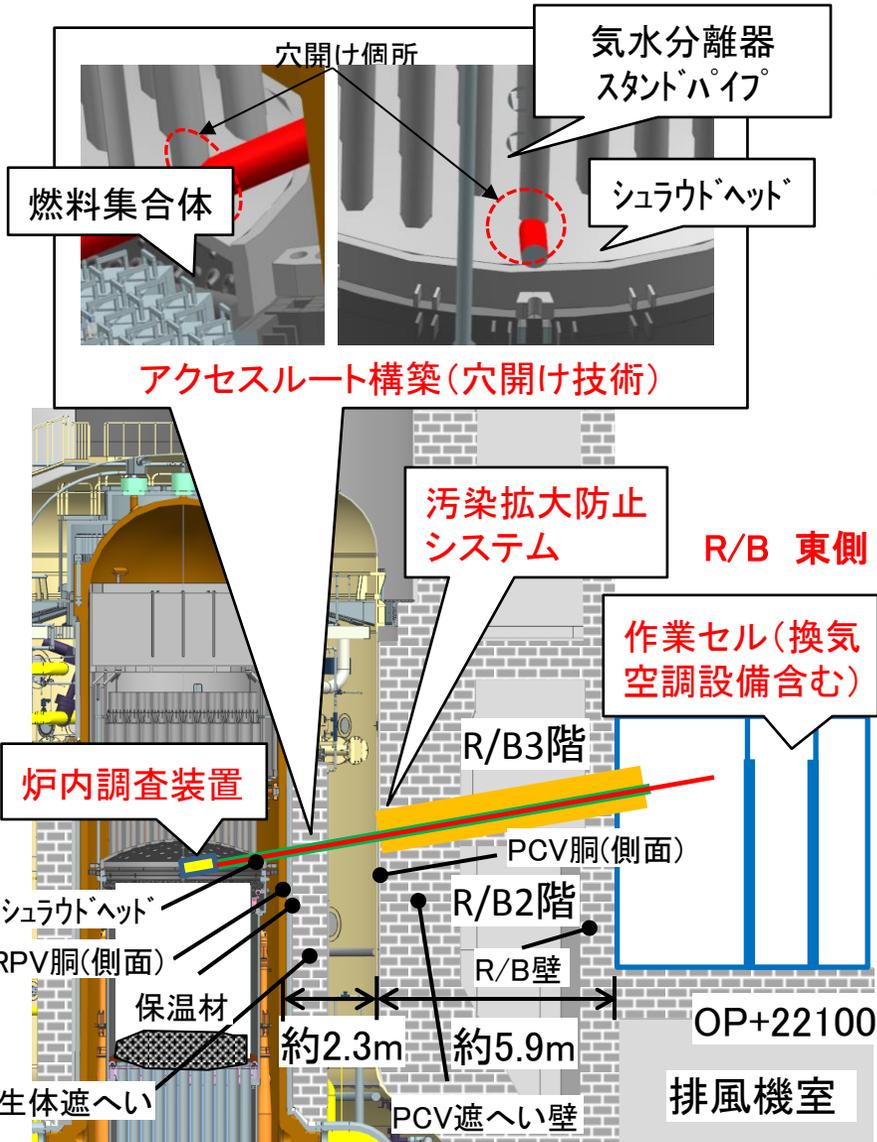


加工対象物	加工内容(案)	備考
ウェルカバー	コンクリート:約1.8m (コアボーリング)	
PCVヘッド※	鋼材:30mm (ウォータージェット等)	※残留水素を考慮した工法を検討
保温材※	鋼材:約2.2mm (ウォータージェット等)	※残留水素を考慮した工法を検討
RPVヘッド※	鋼材:75mm(最小) (ウォータージェット等)	※残留水素を考慮した工法を検討
蒸気乾燥器	鋼材:13mm (アブレイシブウォータージェット)	
気水分離器	鋼材:7mm (アブレイシブウォータージェット)	
シュラウドヘッド	鋼材:51mm (アブレイシブウォータージェット)	
上部格子板	鋼材:9mm (アブレイシブウォータージェット)	

## 2.1 ①-2 調査工法の検討 概略工法：側面穴開け工法

- RPV側面からのアクセスルートとして以下を考慮  
(原子炉建屋(R/B)内／外で候補位置を検討)。

- ・炉心部に近い。
- ・RPV胴を貫通後に燃料デブリと接触する可能性がない。
- ・炉心部の情報が取得できる箇所として、シュラウドヘッド-上部格子板間の空間にアクセスすることができる。
- ・作業用アクセス装置の設置に関し、干渉物や撤去する構造物が少ない。
- 干渉物の加工については、以下の対象物を考慮



加工対象物	加工内容(案)	備考
R/B壁	コンクリート: 約0.8m (コアボーリング)	R/B東側は炉心へ最短距離かつ建屋内に干渉機材なし
PCV遮へい壁	コンクリート: 約2m (コアボーリング)	
PCV胴(側面)	鋼材: 17mm (ウォータージェット)	
生体遮へい	コンクリート: 約0.8m (アブレイシブウォータージェット)	
保温材	鋼材: 約90mm (アブレイシブウォータージェット)	
RPV胴(側面)	鋼材: 約165mm (アブレイシブウォータージェット)	
シュラウドヘッド	鋼材: 約45mm (アブレイシブウォータージェット)	

## 2.1 ①-2 調査工法の検討:

## アクセスごとの調査の価値と、価値を得るための工事リスク比較

アクセス方法	調査の価値(ニーズ)	工事リスク
上部穴開け(RPV上蓋まで)	16% (180)	142
上部穴開け (炉心部・炉底部まで)	100% (1110)	872
側面穴開け (炉心部・炉底部まで)	84% (930)	631 (3号機のみ881)

- 上部穴開け、側面穴開けでリスクのポイントはほぼ同等。上部穴開けに限定せず、側面穴開けでも今後の検討を進める価値はあると考えられる。
- 今回、側面穴開けはステップとリスクの検討に留まる。側面穴開けを採用するためには、今後、工法・リスク評価をより詳細に検討する必要がある。
- 各工法の主要な評価・検討課題は以下。
  - 共通: 切断加工時のFP飛散状況のデータ採取・評価(試験にて実施)  
炉内構造物のFP付着データの採取・調査方法の検討(実機にて採取)
  - 側面穴開け: **空調機器室上のがれき除去(1F-3)**等の調査装置設置エリア環境改善の難易度
  - 上部穴開け: 炉内構造物加工時の**付着FPの飛散によるオペフロ空気汚染**

## 2.1 ①-2 調査工法の検討: 調査工法のポイント整理(上部穴開け調査) No.16

### ■ 側面穴開け調査工法との対比からのメリット・デメリット。

評価の 카테고리	メリット	デメリット(対策)	評価
評価ニーズへの適合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空調機器室の屋上が利用可能になるまで待つ必要がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期の調査実現の可能性がない。</li> <li>・オペフロ上作業(燃料取出し、デブリ取出し準備)と干渉する。</li> </ul>	号機別に工法の適合性を見極める必要がある
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペフロ～RPV上部、情報が得られる。</li> <li>・側面穴開け調査の実施は必須ではない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・側面穴開けでしか入手できない情報が得られない。</li> </ul>	調査範囲のデメリットについては定量的な評価済み(調査ニーズの100%をカバー)
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断物を炉内バウンダリに残置可能。</li> <li>・デブリ・燃料へ直接加工の懸念が小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全上のリスクが小さい。(水素爆発、及び・炉内への落下物のリスクが小さい。)</li> </ul>	
建屋強度への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋強度に耐震性の懸念がない。(建屋躯体を加工しない)</li> </ul>	—	工法特有のメリットとして評価できる。
技術的実現性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冠水デブリ取出し工法の適用に悪影響を与える可能性が小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断対象物が多種多様。切断しにくい。</li> <li>・オペフロからの穴仕舞いが容易でない。</li> </ul>	工法特有のメリットとして評価できる。
現地適合性	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機材の搬入や切断物の搬出が困難。</li> </ul>	

## 2.1 ①-2 調査工法の検討: 調査工法のポイント整理(側面穴開け調査) No.17

### ■ 上部穴開け調査工法との対比からのメリット・デメリット。

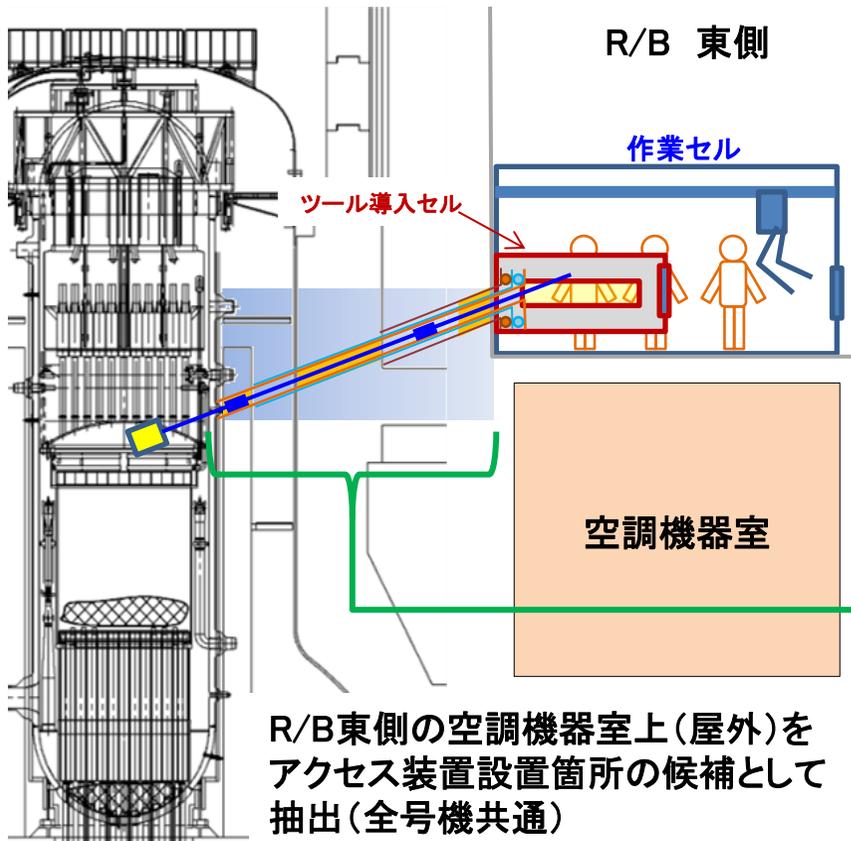
評価のカテゴリー	メリット	デメリット(対策)	評価
評価ニーズへの適合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期の調査実現の可能性はある。(オペフロ利用可能時期に影響を受けない。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空調機器室の屋上が利用可能になるまで待つ必要がある。</li> </ul>	号機別に工法の適合性を見極める必要がある
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・側面穴開けで貴重な情報が得られる。(生体遮へい壁のコアサンプル他)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペフロからRPV上部までの情報が得られない。→ 上部穴開け調査は依然として必要。</li> </ul>	調査範囲のデメリットについては定量的な評価済み(調査ニーズの84%をカバー)
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全上のリスクが比較的小さい。(水素爆発のリスクが小さい。切断対象物が少ない。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冠水デブリ取り出し工法の適用に悪影響を与える可能性がある。(耐圧性能が高いPCV穴仕舞い方法を検討する必要がある)</li> </ul>	工法特有のメリットとして評価できる。
建屋強度への影響	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋躯体への穴あけや、重量物の空調機器室の屋上への設置により、耐震性の懸念がある。</li> </ul>	
技術的実現性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外での類似工事の実績あり。</li> </ul>	—	
現地適合性	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業セルの重量によっては、大型クレーンの接近性に問題が生じる可能性あり。</li> </ul>	

## 2.1. ② 側面穴開け調査工法 適用性評価 評価項目

評価の 카테고리	評価項目
調査ニーズへの適合性	・1～3号機の工事工程を考慮して、早期調査の実現見通しはあるか？
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有意な内圧低下が生じるか？</li> <li>・ダストの飛散防止に配慮された概念となっているか？</li> <li>・作業員の被ばく低減に配慮された概念となっているか？</li> </ul>
建屋強度への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有意な強度低下が認められるか？</li> <li>・R/B躯体の耐震性の成立見通しがあるか？</li> </ul>
技術的実現性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存技術の組み合わせで切削可能か(困難な開発課題はないか)？</li> <li>・バウンダリ確保や切削物廃棄との整合はとれているか？</li> </ul>
現地適合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資機材等の搬入出や据付に配慮された概念となっているか？</li> <li>・大型クレーンの寄り付きが考慮されているか？</li> </ul>
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バウンダリ確保や監視ができる概念となっているか？</li> <li>・調査目標へ精度よく到達できる手順、チェック方法となっているか？</li> <li>・内面汚染後の搬出に配慮された概念となっているか？</li> <li>・地震時の変位を吸収できる概念となっているか？</li> </ul>

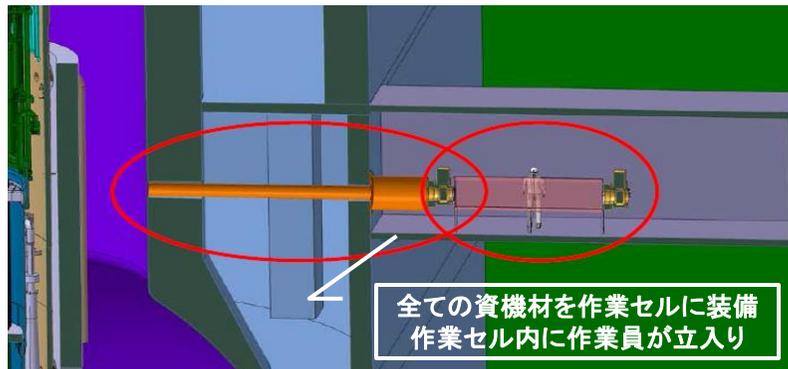
## 2.1.② 側面穴開け調査工法 前提条件

- 今年度上期に検討した側面穴開け調査工法のアクセスルート(下図)を検討対象とする。
- 炉内調査装置は上部穴開け調査工法と技術を用いるものとし、RPVのアクセス穴径はφ140mmとする。
- 海外の類似工事の経験を活用する。

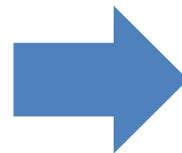


項目	前提条件	備考
対象号機	1～3号機	3号機はR/B東側の高線量ガレキの撤去を想定
空間線量率	作業セル周辺1mSv/h	
耐荷重	空調機器室天井300kg/m <sup>2</sup>	2, 3号機はR/B東側のチラー撤去を想定
PCV内圧	大気圧	ツール導入セルからPCV側へ窒素パージ
加工対象物	仕様	備考
R/B壁	コンクリート: 約0.8m	R/B東側は炉心へ最短距離かつ建屋内に干渉機材なし
PCV遮へい壁	コンクリート: 約2m	
PCV胴(側面)	鋼材: 17mm	
生体遮へい	コンクリート: 約0.8m	
保温材	鋼材: 約90mm	
RPV胴(側面)	鋼材: 約165mm	
シュラウドヘッド	鋼材: 約45mm	

作業セルに求められる 要求機能	技術課題	課題に対する対応案
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 作業員に対する安全な作業環境の確保                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 作業セル設置場所での雰囲気線量に対する遮蔽</li> <li>➢ コア、汚染廃棄物に対する遮蔽</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 遮蔽に伴う重量増。空調換気設備の設置に伴う重量増。</li> <li>➢ グローブボックス等の設置→重量増</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 遠隔制御/遠隔監視、自動化による無人化</li> <li>➢ コア、汚染廃棄物処理作業をグラウンドレベルの別装置で実施</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工具の交換、支持</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 作業セル容量の大型化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 作業セルを機能毎に分割</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● コア、廃棄物の払い出し</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 作業セル内における作業の長期化(被ばく量増加)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コア、汚染廃棄物処理作業をグラウンドレベルの別装置(メンテナンスユニット)で実施</li> </ul>



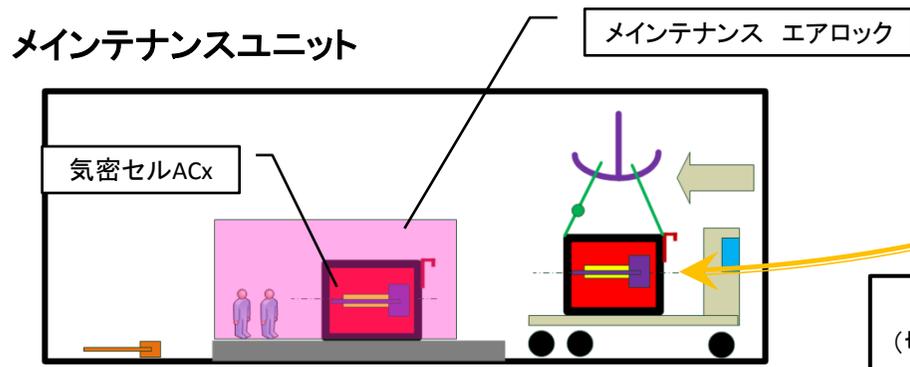
検討前のコンセプト



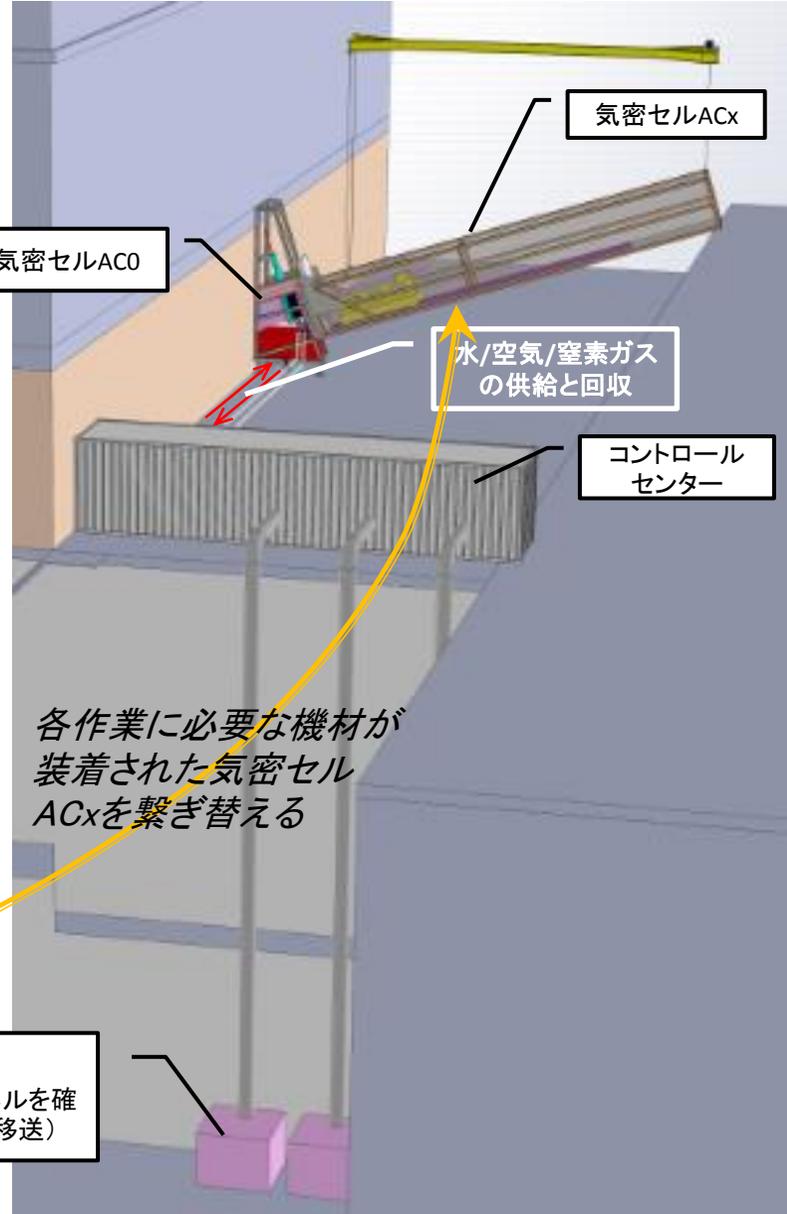
- 機能別に作業セルを分割することで軽量化
- 遠隔操作を主体にすることでセル内での作業回避

# 2.1.② 側面穴開け調査工法 作業に関連する装置の全体構成

- コントロールセンターから作業状況を遠隔で監視しつつ、気密セルへの水/空気/窒素ガスの供給と回収を制御し、気密セル内の圧力やシール部の密封性の維持をモニタリング。
- グラントレベルに設置した”メンテナンスユニット”において、気密セル”ACx”の前準備や後処置を実施。



バックエンドタンク  
(切削廃棄物は、汚染レベルを確認した後にこのタンクへ移送)



## 2.1.② 側面穴開け調査工法 気密セルのコンセプト

- R/B東側壁面に固定した“気密セルAC0”に、次の各作業に必要なツールを収納した気密セルACxを、各々繋ぎかえて、側面からの穴開け調査を実施する。

AC1：掘削

AC2：ガイドチューブ挿入、メカニカルシール設置

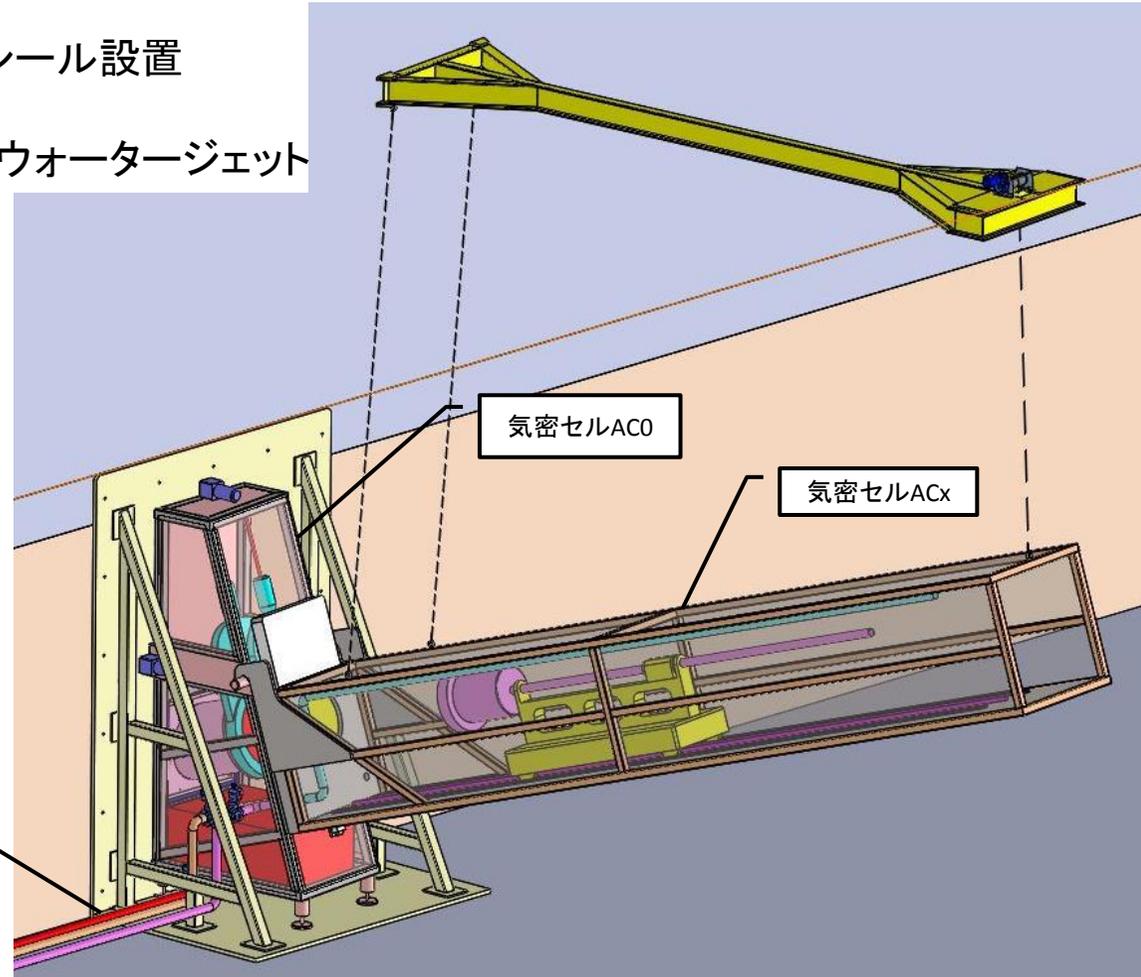
AC3：溶接

AC4：アブレイシブウォータージェット、ウォータージェット

AC5：調査

- コントロールセンターから作業状況を遠隔で監視しつつ、気密セルへの水/空気/窒素ガスの供給と回収を制御し、気密セル内の圧力やシール部の密封性の維持をモニタリングする。

窒素ガス・空気の吸排気配管 及びプロセスウォーターの給排水配管は、コントロールセンターへ接続

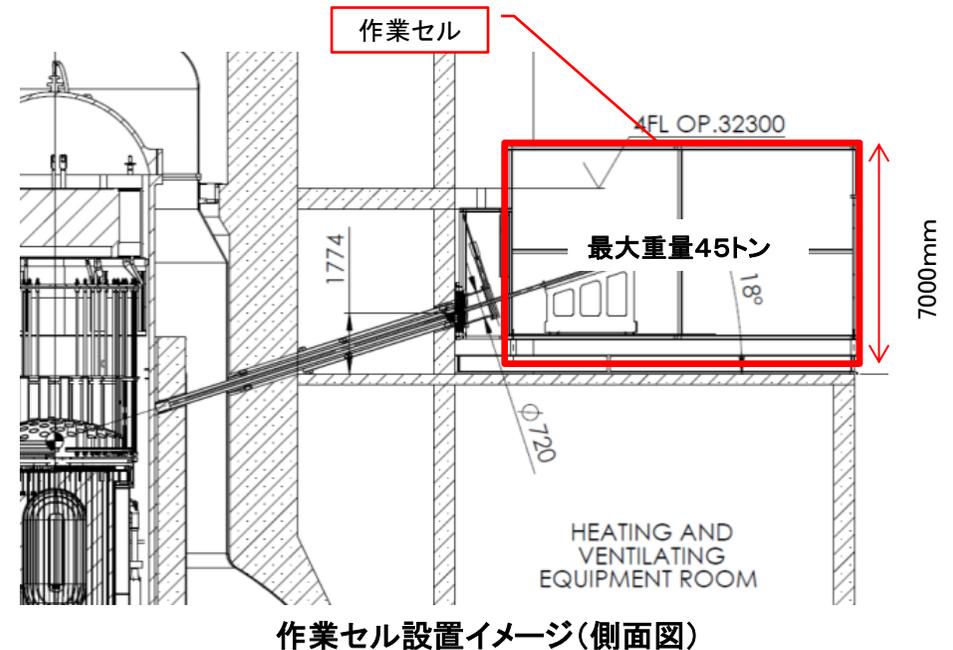
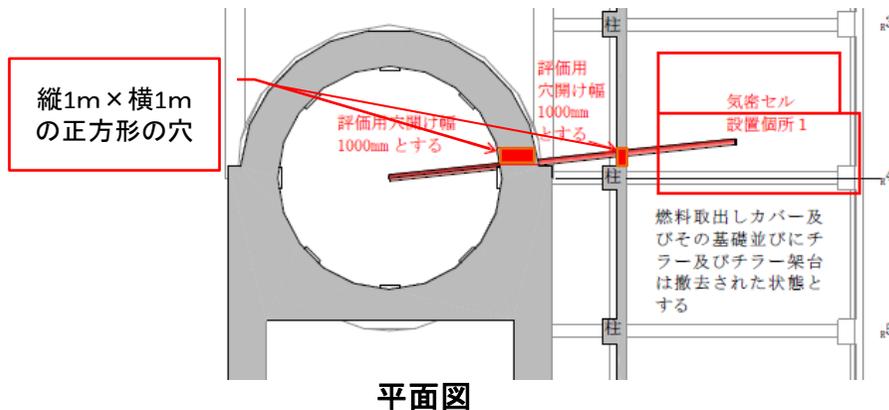


## ● 検討条件

- ・建屋強度評価の観点で安全側となるよう、重量が最大となる作業セルコンセプト(最大重量45トン)を原子炉建屋東側の空調機器室屋上に設置するものと想定。
- ・ $\phi 720\text{mm}$ の建屋壁に開ける計画であるが、安全側に縦1m×横1mの正方形の穴を原子炉建屋壁、生体遮蔽壁に開口するものと想定。
- ・「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書(その2)」(平成23年7月13日)等にて作成した基準地震動を想定。(PCV/RPV健全性評価技術の開発プロジェクトなどでの検討内容との整合を考慮)

## ● 検討項目

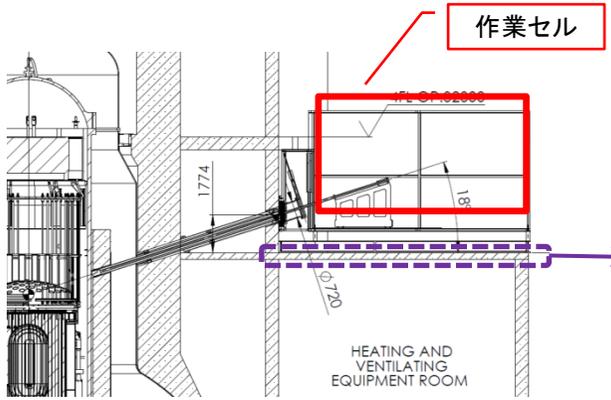
- ・空調機器室屋上床スラブ強度
- ・建屋壁開口に伴う建屋耐震性



# 2.1.② 側面穴開け調査工法 穴開けによる建屋躯体への影響(2)

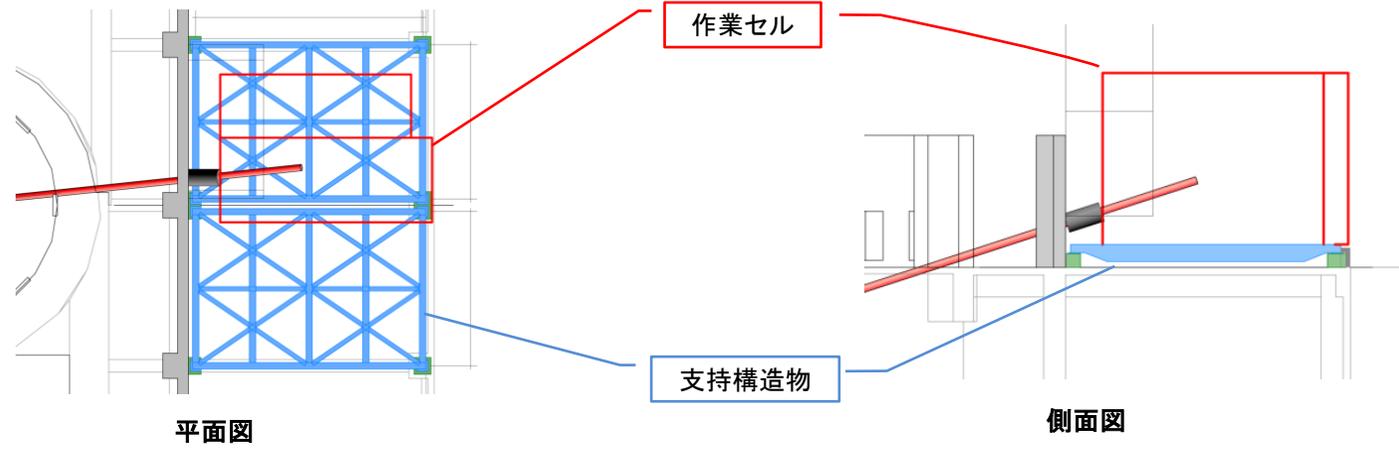
## ● 空調機器室屋上床スラブ強度

・作業セルを床スラブに直置きすると、1号機は梁でNG。2号機は床スラブ、梁共にNG、3号機は床スラブNG。



応力/許容応力	気密セルの自重による評価		基準地震動Ssによる地震力による評価	
	曲げ	せん断	曲げ	せん断
1号機床スラブ	0.09	0.12	-	-
1号機梁	0.51	1.18NG	-	-
2号機床スラブ	1.55NG	0.80	1.68NG	0.92
2号機梁	0.87	1.38NG	0.72	1.39NG
3号機床スラブ	0.98	0.75	1.07NG	0.87
3号機梁	0.94	0.53	0.64	0.56

・ただし、適切な支持構造物を設置することで、下層の壁に荷重を分担させることで、作業セルの設置は可能



## 2.1.② 側面穴開け調査工法 穴開けによる建屋躯体への影響(3)

● 建屋壁開口に伴う建屋耐震性

・全号機で地震応答解析モデルの諸元への影響は軽微であることを確認

(NS方向)

	項目	基準モデル	側面穴開きモデル
1号機 OP 25,900	質点重量(kN)	77,220	作業セル 450 架台鉄骨 130 合計 77,800
	回転慣性重量 (× 10 <sup>5</sup> kN・m <sup>2</sup> )	111.11	112.00
	せん断断面積(m <sup>2</sup> )	132.8	132.3
	断面2次モーメント(m <sup>4</sup> )	24,274	24,274
2号機 OP 26,900	質点重量(kN)	107,720	作業セル 450 架台鉄骨 280 合計 108,450
	回転慣性重量 (× 10 <sup>5</sup> kN・m <sup>2</sup> )	194.96	196.28
	せん断断面積(m <sup>2</sup> )	166.8	164.4
	断面2次モーメント(m <sup>4</sup> )	24,629	24,627
3号機 OP 26,900	質点重量(kN)	109,640	作業セル 450 架台鉄骨 280 合計 110,370
	回転慣性重量 (× 10 <sup>5</sup> kN・m <sup>2</sup> )	201.82	203.16
	せん断断面積(m <sup>2</sup> )	146.1	143.3
	断面2次モーメント(m <sup>4</sup> )	29,271	29,115

注)解析モデル(穴無し基準モデル)の出典

1号機基準モデル:「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強に関する検討に係る報告書」(平成23年5月)

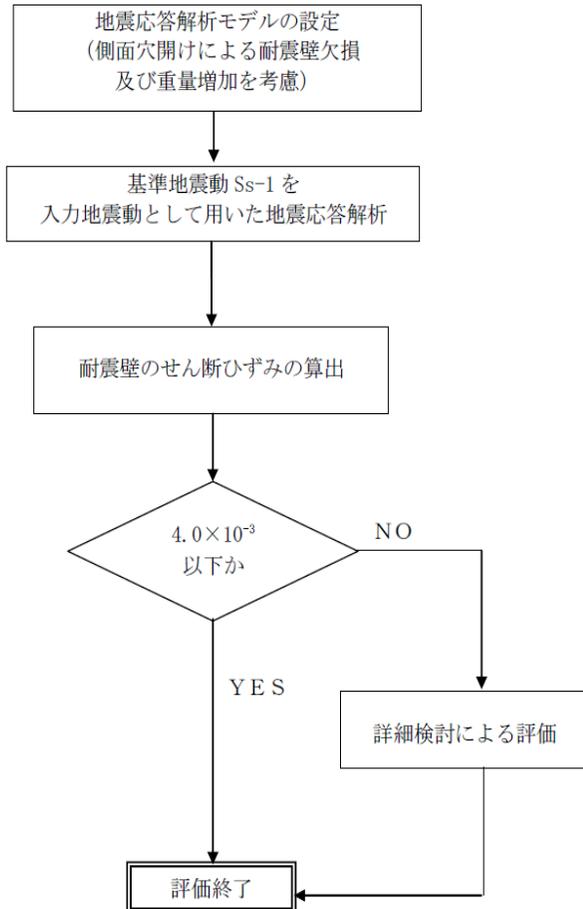
2号機基準モデル:「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書(改訂2)」(平成22年4月19日)

3号機基準モデル:「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性及び補強等に関する検討に係る報告書(その2)」(東京電力株式会社, 平成23年7月13日)」

## 2.1.② 側面穴開け調査工法 穴開けによる建屋躯体への影響(4)

### ● 建屋壁開口に伴う建屋耐震性

- ・建屋損傷の面で最も厳しい3号機を代表として、動的解析を実施した結果、側面に穴を開けたり、重量物を空調機器室屋上に設置しても、その影響は軽微であり、耐震壁のせん断ひずみが基準値以下であることを確認



耐震壁のせん断ひずみ一覧(NS方向・SS-1H)

(単位：×10<sup>-3</sup>)

階	O. P.	側面穴有り	穴無し	評価基準
4F	39.92～32.30	0.041	0.041	4.0 以下
3F	32.30～26.90	<u>0.095</u>	0.093	
2F	26.90～18.70	0.084	0.084	
1F	18.70～10.20	0.126	0.126	
B1F	10.20～-2.06	<u>0.082</u>	0.081	

耐震壁のせん断ひずみ一覧(EW方向・SS-1H)

(単位：×10<sup>-3</sup>)

階	O. P.	側面穴有り	穴無し	評価基準
4F	39.92～32.30	0.097	0.097	4.0 以下
3F	32.30～26.90	0.112	0.112	
2F	26.90～18.70	0.099	0.099	
1F	18.70～10.20	<u>0.118</u>	0.117	
B1F	10.20～-2.06	0.083	0.083	

## 2.2 上部から炉心にアクセスする装置の開発

### 2.2.1 圧力容器ヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

#### 1. 概略工程

#	項目	平成27年度までの成果	平成28年度	平成29年度
2.2.1	RPVヘッドまでのアクセス用穴あけ装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウェルカバー、PCVヘッド、RPV保温架台、RPVヘッドの穴開け装置概念検討</li> <li>2014年度、要素試験実施</li> </ul>	調査計画の立案・更新 ▼ 概念設計(複数工法の比較評価) 要素試験	基本設計(システム構成等) 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験

#### 2. 平成28年度の実施内容

- 水素爆発を防ぐ案として抽出したウォータージェット(WJ)切断工法等、複数の工法案を調査し、複数案の比較から工法案を絞り込みを行い、ドリルによる機械加工にて穿孔する工法を選定。
- 本格穴開け工法としては、アブレイシブウォータージェット(AWJ)を用いる工法を選定。
- 現場での施工に向けた装置の設計、施工計画として遠隔操作による芯出し(位置決め)、装置固定、穴開けなどの一連の作業手順を立案。
- 安全性の観点から加工片の落下防止・固定・回収方法について検討を実施し、加工片については、回収するか残置するかを検討を行い、ツールボックスへ回収する工法を選定。

- AWJ加工時のダスト挙動把握に関し、予備試験を実施し、水中環境での加工時に気中へのダストの移行は検出限界以下で確認できず、気中環境での加工では母材由来のダストが数%発生するという結果となった。尚、ダストの粒径は数 $\mu$ mであった。

#### 3. 平成29年度の計画

- <装置設計>
  - ウェルカバー、PCVヘッド、RPV保温架台、RPVヘッドの穴開け装置設計を実施。
  - 装置故障時のレスキュー方法を踏まえた詳細工法計画を検討。
  - バウンダリ機能維持装置、作業用アクセス装置との取合いを考慮した詳細設計を実施。
- <装置試作、試験>
  - RPV予備ノズル撤去工法について実規模の部分モックアップにて試験を行い施工性確認する。

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.28

### ■ 開発技術の機能要求

分類	要求項目	内容
穴開けへの要求	アクセスルート構築	ウェルカバー、PCVヘッド、RPV保温材、RPVヘッドを切断加工して炉心にアクセスする。アクセスルート構築に当たっては、作業量が最小(板厚薄、開口寸法小、加工性高を総合的に評価)になること、閉止措置が容易であること。
安全機能への要求	燃料デブリの臨界防止	本調査による現状変化(加工片の脱落等)による臨界を抑制。
	火災・爆発の防止	水素爆発を防止する

### ■ 要求仕様

#### ・穴開け対象物(1F-2の例)

ウェルカバー: (材質)鉄筋コンクリート、(板厚)上段:618mm、中段:610mm、下段:610mm

PCVヘッド: (材質)炭素鋼、(板厚)30mm、(曲率)8347mm

RPV保温材: (材質)SUS304/アルミ合金、(板厚)0.7mm/1.5mm

RPVヘッド: (材質)ASTM A533 Gr.B CL.1、(板厚)75mm

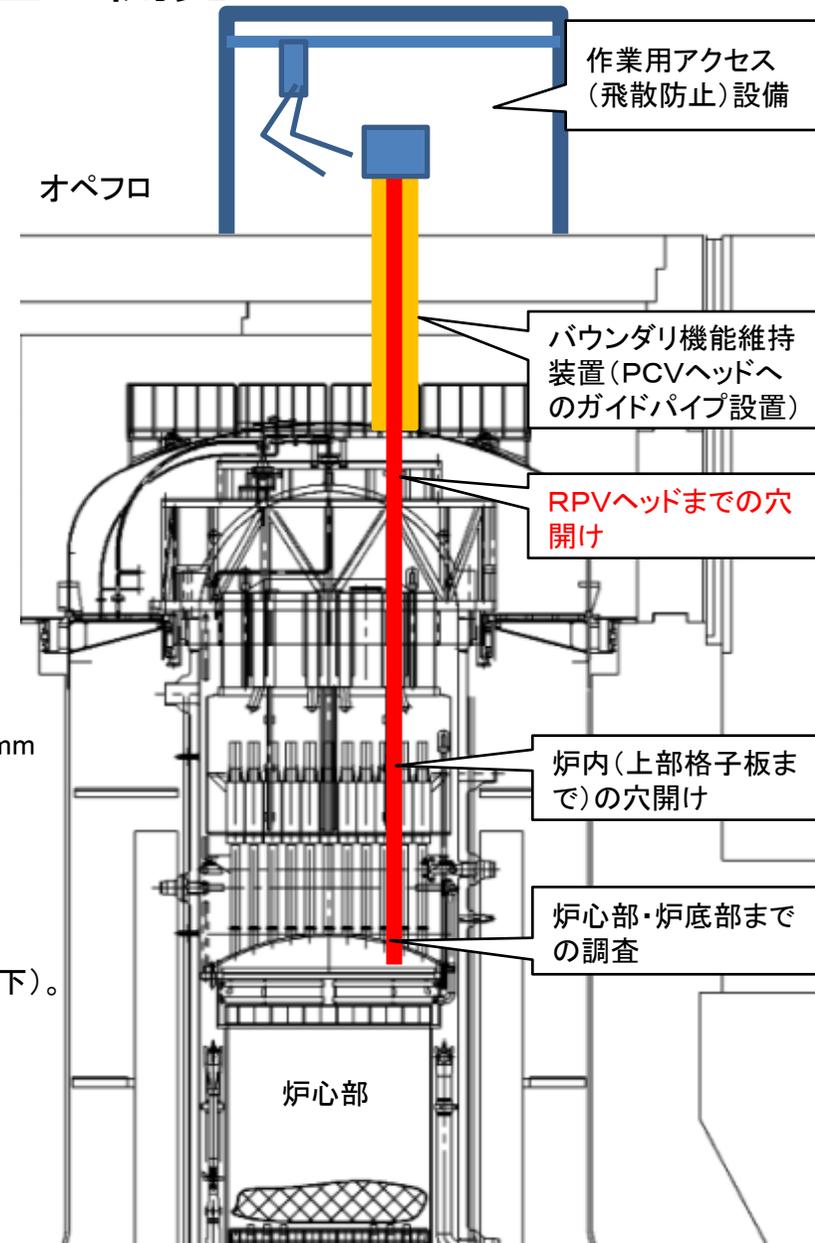
#### ・安全機能要求

臨界となる可能性を抑制するため、炉内には切断片を落下させないこと(水や切粉は落下)。

水素爆発のリスクを抑えるため、着火源となる火花や高温となることを避けること。

PCV内部の水素濃度: 最大で0.08vol%(1F-3)・・・標準空気は $5 \times 10^{-5}$ vol%程度、

1000倍程度高い。(参考:水素爆発の濃度下限4%～上限75%、 $5 \times 10^{-5}$ vol%)



## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置 ①穿孔位置決め方法の検討

### [検討の概要]

コアボーリングによるウェルカバーの穿孔位置(RPVノズル直上位置)の位置出し作業、及び穿孔位置へのマーキング作業の穿孔位置決めに関する検討。

### [検討結果・比較評価結果]

#### A 案: 測量器による位置決め

→ 一般の工事でも実績のある方法で、  
測量後は装置の誘導に従ってマーキングするのみで作業が容易である。

#### B 案: 3D レーザスキャナによる位置決め

→ 一般に位置出しの用途で使用される機器ではない。  
また、装置による目標位置への誘導機能がない。

以上より、A 案が最適であると判断する。

### [今後の予定]

本工法にて使用する各装置設計を進める。

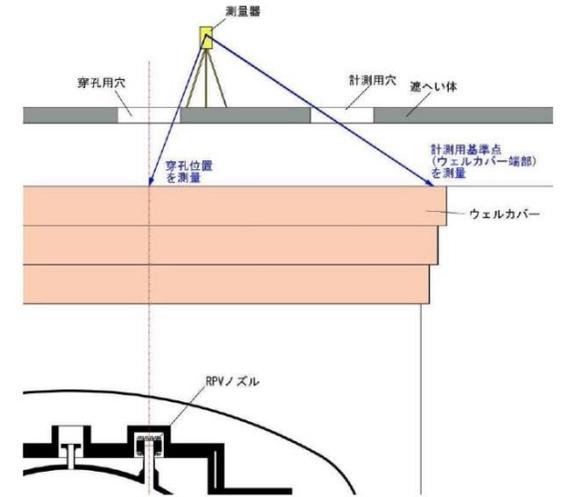


図 測量器による位置決め の工法ステップ概要 (側面図)

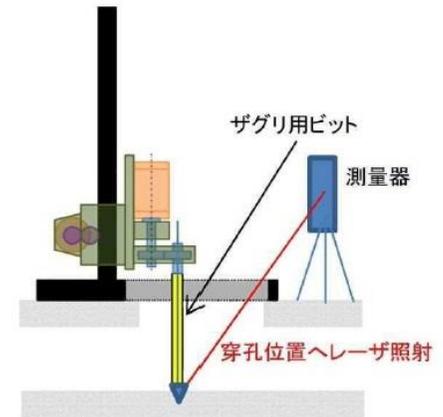


図 マーキング装置 概念図)

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

### ②PCV/RPVヘッド加工時の水素対策の検討

#### [検討の概要]

厚い板材であるPCV ヘッドやRPV ヘッドフランジ上部への穴あけ加工において、ヘッド内に溜まっていると想定される水素が、加工時に発生する火花によって水素爆発など有意な悪影響を及ぼさないよう事前に小径の先行穴をあける作業の検討。

#### [検討結果・比較評価結果]

A 案:レーザによる小径穿孔

→火気を伴う作業/ヒュームやドロスの処理が必要

B 案:AWJによる小径穿孔

→C 案よりは劣るものの、本工法を適用することは可能

C 案:ドリルによる小径穿孔

→穿孔速度の制御が可能であるためAWJ 方式より優位

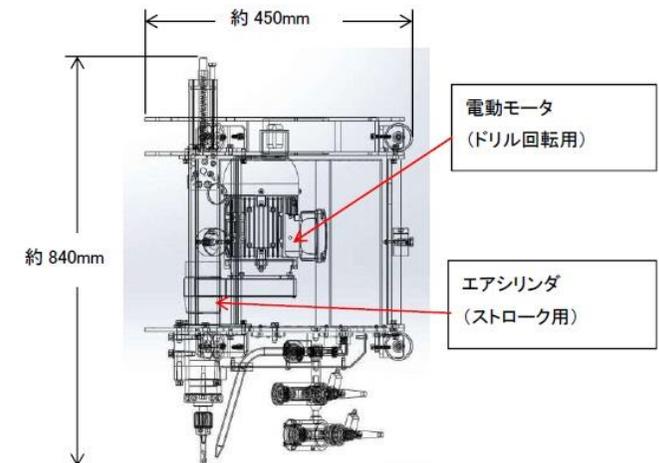
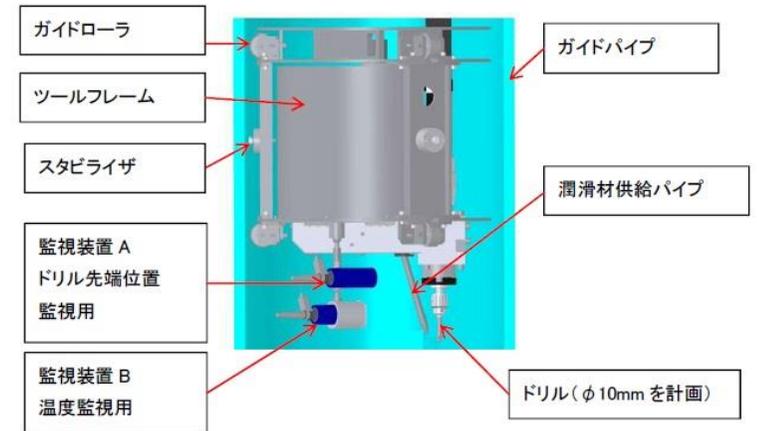
D 案:ガス切断による小径穿孔

→火気を伴う作業/ヒュームの処理が必要

以上より、C案が最適であると判断する。

#### [今後の予定]

本工法は別PJであるS/C 止水工法におけるS/C 小径穿孔装置と同様の技術を採用することが可能であることから、今後同装置の技術を踏襲しつつ、ヘッド上面への小径穿孔に合わせた装置仕様の検討および基本設計・要素試験を経て、ドリル径、切削速度、送り速度や潤滑材などについて、最適化を図る。



## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

## ③本格穴開け(PCV ヘッド、RPV 保温架台およびRPV ヘッドフランジ)工法の検討

## [検討の概要]

PCVヘッド、RPV保温架台およびRPVヘッドフランジ部に穴を開ける工法の検討。

## [検討結果・比較評価結果]

A案:レーザによる加工

→火気を伴う作業

ヒュームやドロスの処理が必要

B案:AWJ による加工

→火花は発生するものの火気対策は不要

切断面が滑らかであるため、

後処理なしで開口に装置を投入可能

C案:機械加工による加工

→穿孔に時間を要する。また、設置搬入作業以外に、

ツール交換等の作業が発生する可能性

D案:ガス切断による加工

→火気を伴う作業

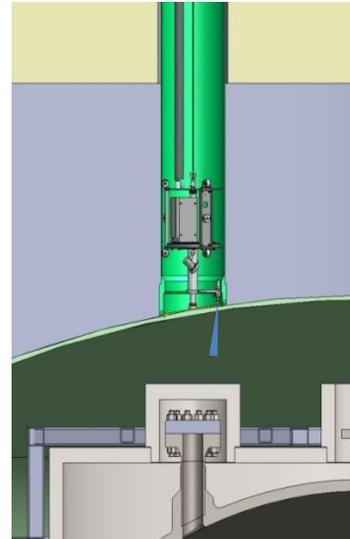
ヒュームの処理が必要

以上より、B案が最適であると判断する。

尚、電解加工については、電解液を加工対象面にシールする必要があり、開口後の電解液の回収・処理が困難であることから適用性が無いと判断。

## [今後の予定]

AWJによる加工装置の基本設計を進める。



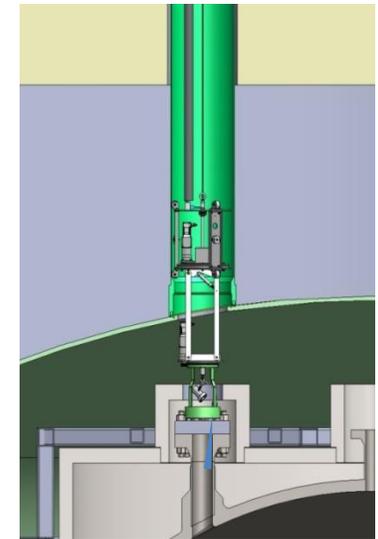
PCVヘッド開口作業

材質:炭素鋼  
加工方法:AWJ  
水圧:350MPa  
開口径:φ400



RPV保温材開口作業

材質:アルミ  
加工方法:AWJ  
水圧:350MPa  
開口径:φ400

RPVヘッド(閉止フランジ部)  
開口作業

材質:炭素鋼  
加工方法:AWJ  
水圧:350MPa  
開口径:φ140

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

### ④切断片の回収／残置に関する工法の検討(1/2)

#### [検討の概要]

PCV ヘッド等穴開け後の切断片の回収／残置に関する工法の検討。

#### [検討結果・比較評価結果]

**A案: 切断片の回収(ツールボックスへ回収)**

→切断片をツールボックスに回収し、そのまま撤去。

**B案: 切断片の回収(切断片回収装置へ回収)**

→切断片回収のための追加設備はスペースに余裕のある作業フロア上に設置されることから、今後装置構造の具体化および技術課題のつぶしこみを行っていくことにより実現可能であると考える。

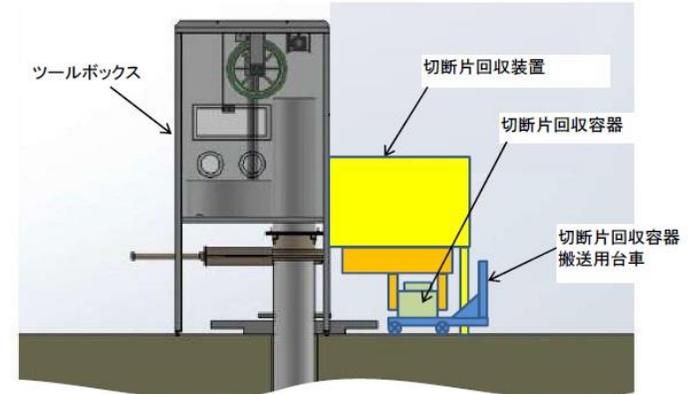


図 切断片回収装置 概念イメージ図

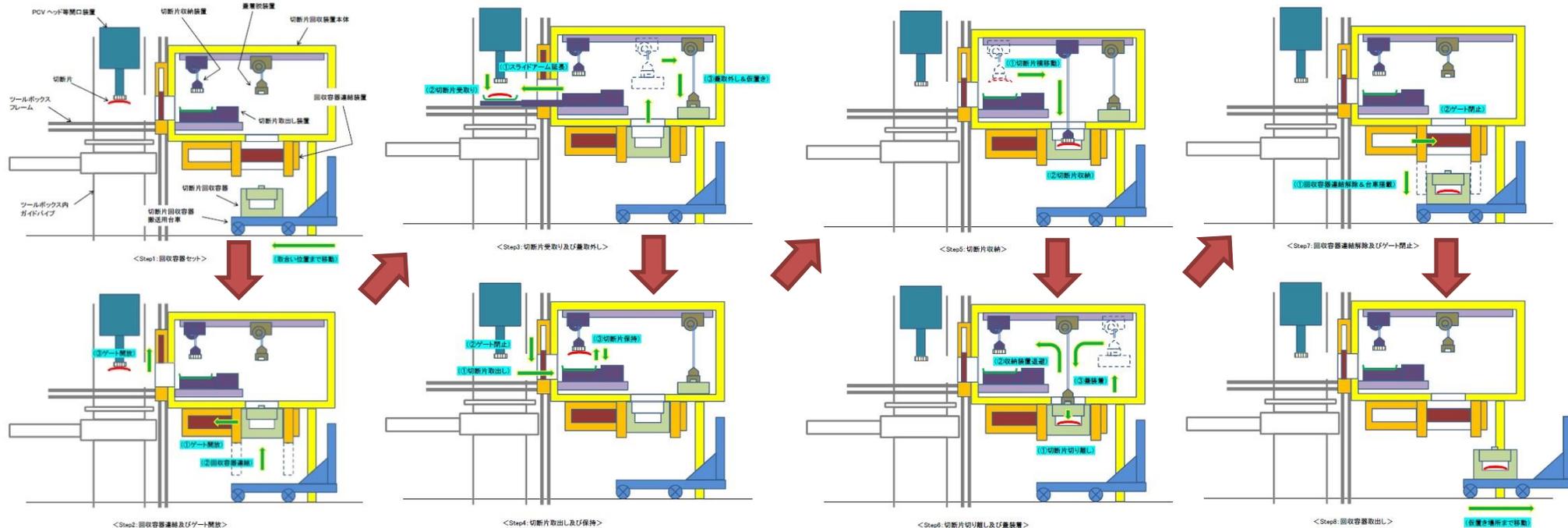


図 切断片回収装置 作業動線イメージ図

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

### ④切断片の回収／残置に関する工法の検討(2/2)

#### [検討結果・比較評価結果]

#### C案:切断片の残置

→RPV保温材上へ加工片を落とし、残置する工法。今後詳細設計を進めることにより、実現化の可能性はゼロではないと考える。しかし、本機構を反映することにより、狭隘な環境で適用する各装置の複雑化を招き、遠隔操作性の難易度を高め、潜在リスクの高い装置・工法となることが考えられる。

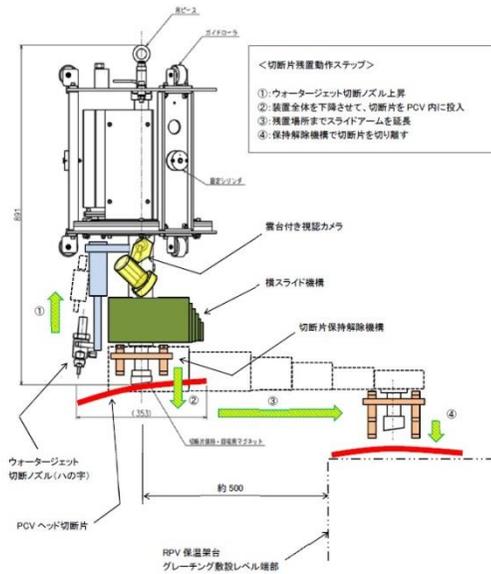


図 PCVヘッド開口装置  
横スライド機構イメージ図

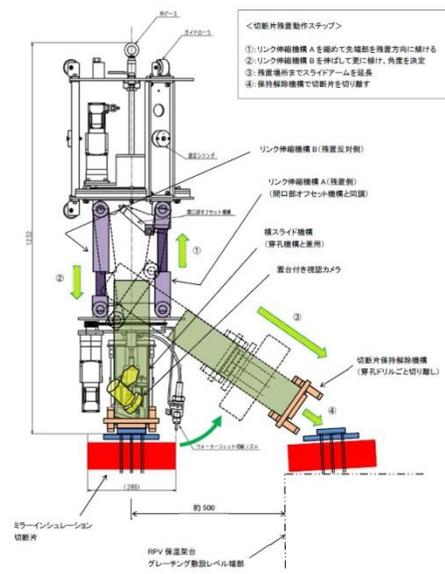


図 インシレーション開口装置  
横スライド機構イメージ図

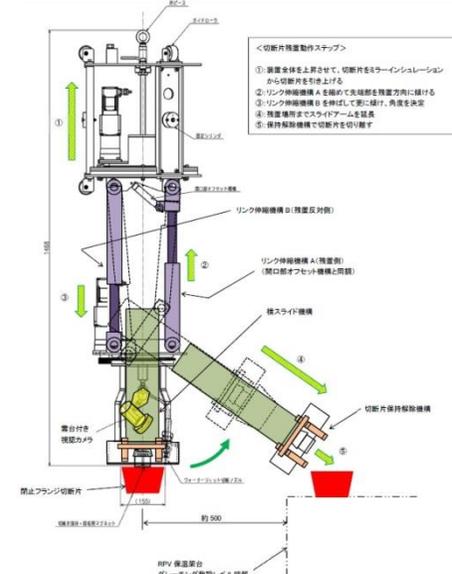


図 RPVヘッド開口装置(閉止フランジ開口用)  
横スライド機構イメージ図

以上より、A案(切断片の回収(ツールボックスへ回収))が最適であると判断する。

#### [今後の予定]

切断片は用途別の開口装置を含めたツールボックスごと回収する案(A案)にて現実的且つ合理的な最適仕様の検討・基本設計を行う。

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

### ⑤ RPV ノズル撤去の実現性評価の検討(1/2)

#### [検討の概要]

RPV ヘッドの要求開口径に関して、現計画としてはRPV ノズル内径相当のφ140mm であることから、当該ノズルの閉止フランジを開閉し、ノズルに沿って調査装置を投入する計画としている。これより大きな開口(φ300mm 程度)が必要となった場合の代替案として、当該ノズル撤去に関する工法を検討。

#### [検討結果・比較評価結果]

##### A案: 一体撤去

→回収物および設備規模が大きくなることにより、現場作業が容易でなくなるが、1回の切断でRPV ノズル全体を切断・回収できるという利点がある。

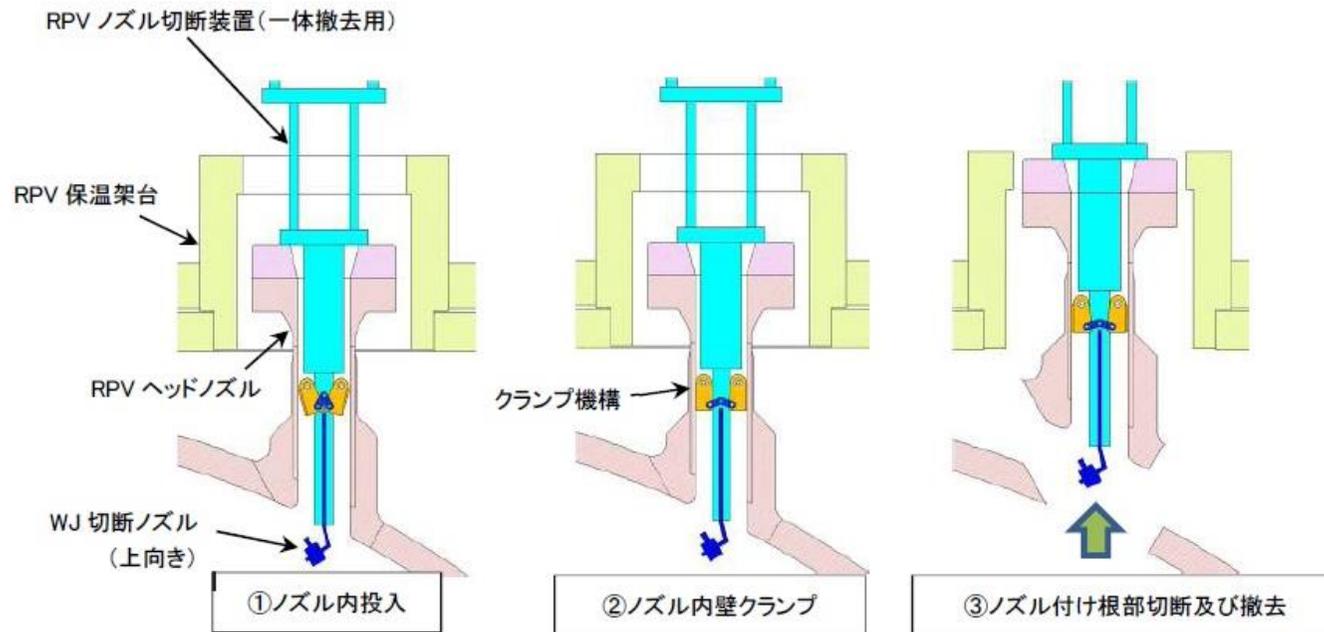


図 RPV ノズル一体撤去(A案) 概略イメージ図

## 2.2.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置

### ⑤RPV ノズル撤去の実現性評価の検討(2/2)

#### [検討結果・比較評価結果]

#### B案:分割撤去

→WJノズルの角度調整、高さ調整機構について開発が必要であるが、回収物および設備規模を小さくできる。

ただし、切断片をツールボックスへ回収する場合は、A案の場合と比べ、ツールボックス内で分割して回収するために加工片を取り扱う必要がある。

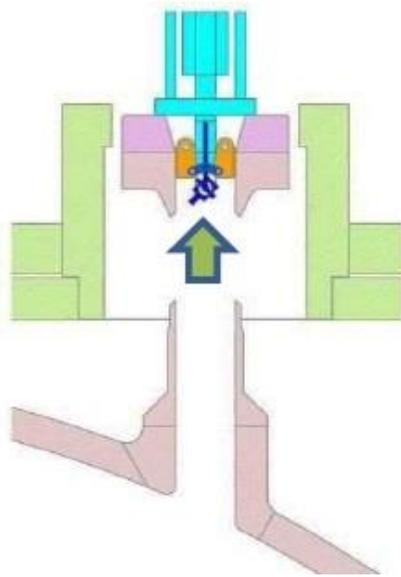


図 フランジ付け根部切断及び撤去  
WJ切断ノズル(下向き)

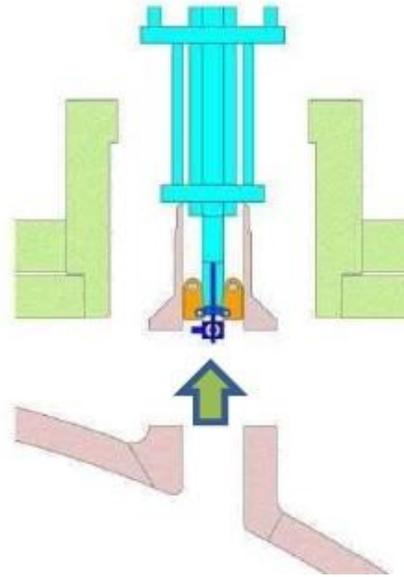


図 パイプ部切断及び撤去  
WJ切断ノズル(水平)

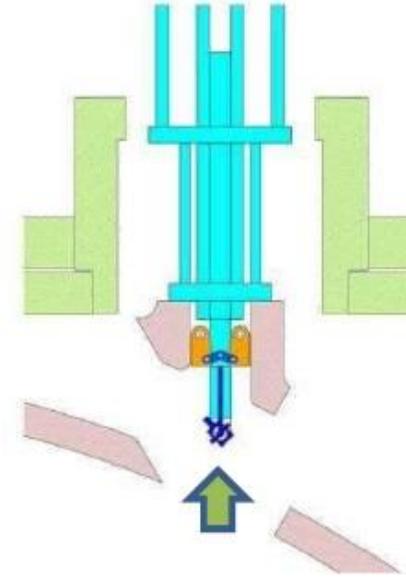


図 ノズル付け根部切断及び撤去  
WJ切断ノズル(上向き)

以上より、A案、B案のメリットデメリットを基本設計を進めながら判断することとする。

#### [今後の予定]

RPV ノズル撤去を実現するための切断・回収装置(RPV ノズル切断装置)については、今後基本設計を進めて構造の具体化を図り、比較評価し、工法を決定する。

## 2.2 上部から炉心にアクセスする装置の開発

### 2.2.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発

#### 1. 概略工程

#	項目	平成27年度までの成果	平成28年度	平成29年度
2.2.2	バウンダリ機能維持装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本概念立案・2015年度、シール機能試験を実施し、基本構造を確認。</li> </ul>	調査計画の立案・更新 ▼ 概念設計(複数工法の比較評価) 要素試験	耐震設計 基本設計(システム構成等) 詳細設計 環境条件 ▼ 試作機設計 装置試作 試験
	作業用アクセス装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>2015年度概念検討を実施</li> </ul>	調査計画の立案・更新 ▼ 概念設計(複数工法の比較評価)	建屋との取合いを考慮したバウンダリ構築方法の検討 基本設計(システム構成等) 詳細設計

#### 2. 平成28年度の実施内容

- 現状の環境下(微正圧)における炉内構造物加工時の簡易被ばく評価を行い、環境条件を確認することとなった。
- 溶接固定方法や樹脂パッキン工法に関する概略評価を行い、維持装置の概念設計案をまとめ比較評価を実施し、現状樹脂パッキン工法を第一候補として選定。
- ⇒溶接固定については「原子炉格納容器漏えい個所補修・止水技術の開発」PJにてS/Cに接続するガイドパイプの溶接工法の適用を検討。
- PCVヘッド洗浄後の荒れた表面において、バウンダリ機能維持装置を樹脂パッキン工法にてシールする工法の施工性を要素試験にて確認。

#### 3. 平成29年度の計画

- ＜装置設計＞
  - SFP燃料取出しで設置される遮蔽体上に作業用アクセス装置を設置予定であり、装置の固定方法について設計仕様をまとめ、装置設計を行う。
  - SFP燃料取出し等の構台計画から耐震設計条件を設定し、バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の設計仕様に反映した装置設計を行う。
- ＜装置試作、試験＞
  - バウンダリ機能維持装置について実規模のガイドパイプを試作して試験を実施し、据え付け角度調整の施工性を確認する。

## 2.2.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発

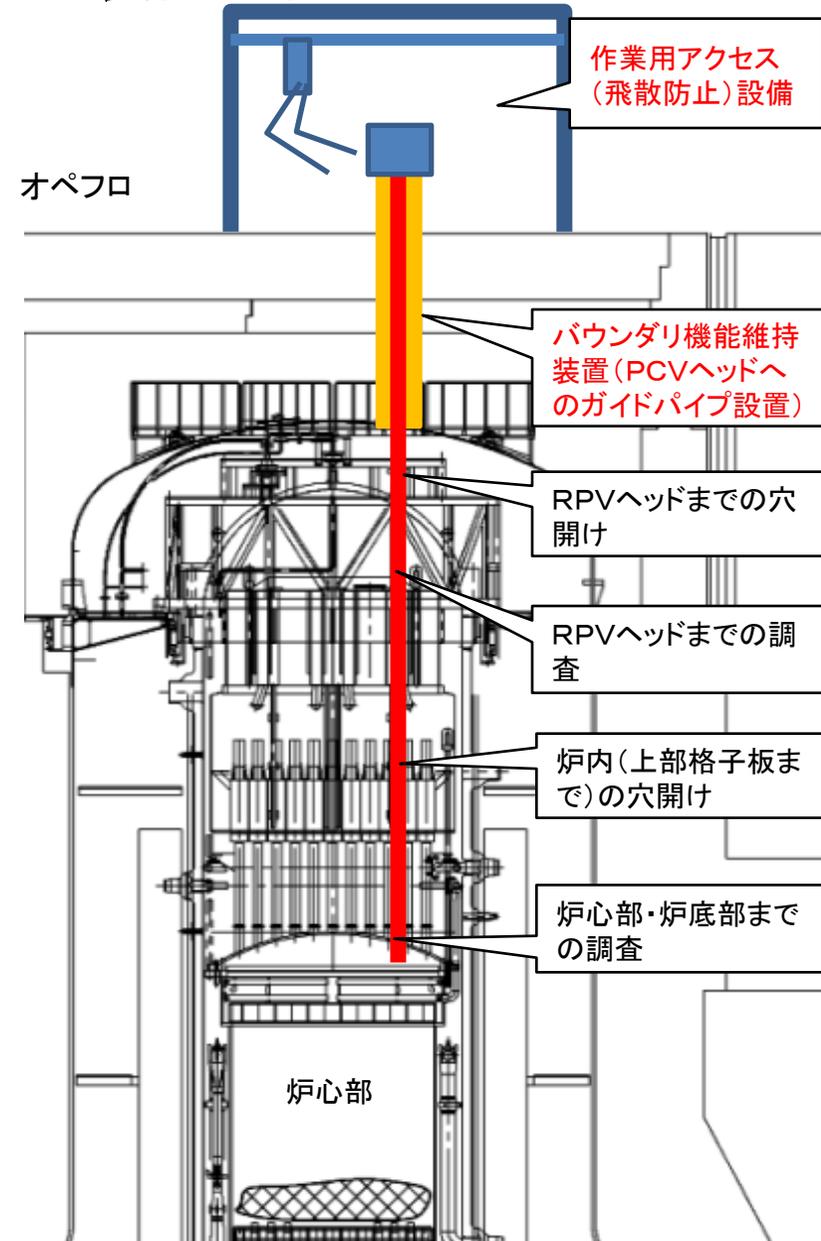
No.37

### ■ 開発技術の機能要求

分類	要求項目	内容
安全機能	放射性物質の漏えい防止	異常時を含み調査中、常に、開口部からの放射性物質の漏えいを防止、または基準値以下に抑制する。

### ■ 要求仕様

- ・PCVヘッド穴開け時等に開口部からの汚染の放出を抑えること  
原子炉ウエルの圧力：大気圧  
PCV内部の設計圧力：10kPag(現状PCV内部圧力が0～6kPagであることを考慮)
- ・バウンダリ外の雰囲気制限値を保つこと  
全面マスクでの作業環境： $2E-3 \sim 2E-02$  (Bq/cm<sup>3</sup>)  
(東京電力 福島第一原子力発電所放射線管理仕様書より)



## 2.2.2.aバウンダリ機能維持装置の開発 概念設計

### 【バウンダリ機能の目的】

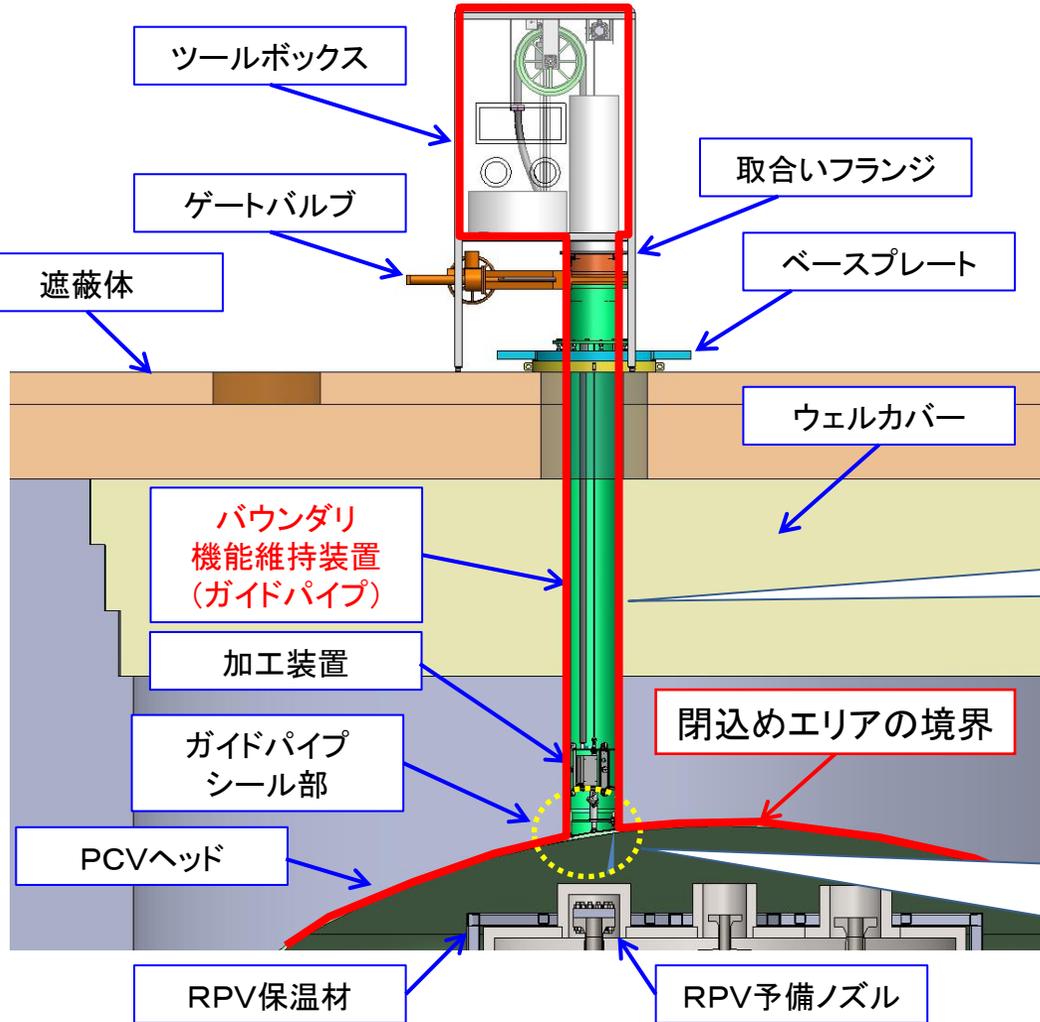
オペフロからRPVヘッド内側、炉心上部までのアクセスルート構築のための穴開け時に、RPV内部の汚染がオペフロおよび大気中に放出されることを防ぐために、穴開けによって失うPCVバウンダリを新規に構築することで、開口部からの内部汚染の放出による環境悪化をさせないことを目的とした装置とする。

### 【全体構成の概念設計(ガイドパイプのイメージ)】

- PCVヘッドにガイドパイプを設置し、新たに閉じ込めエリアを構築
- 近傍の干渉物が無いことや曲率が小さい(取り付け部の半径が大きい)ことなどから、PCV上蓋に設置する。

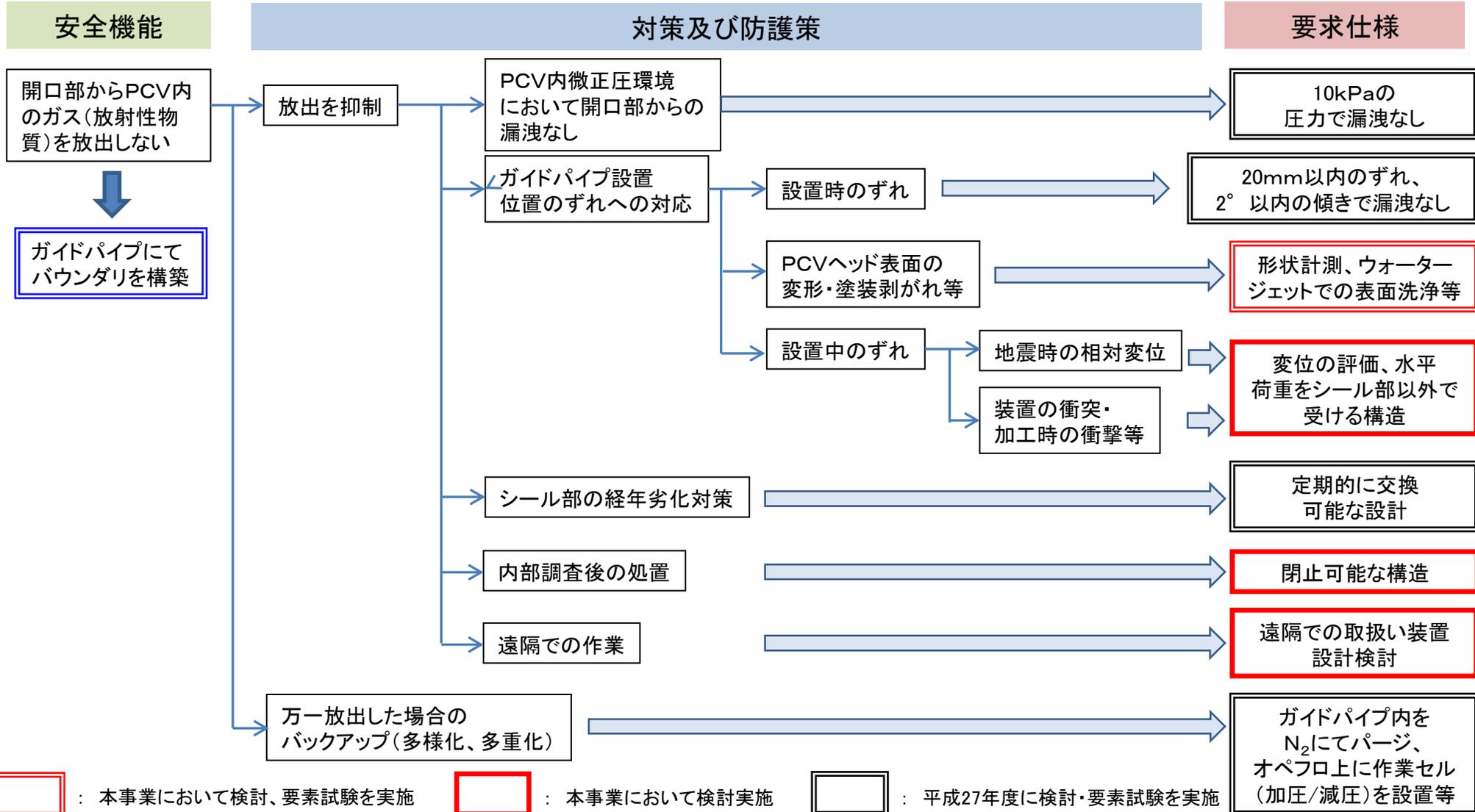
ガイドパイプの寸法は、RPV切断装置の取り合いを考え、内径約400mmとする。(RPVヘッド加工装置の外形寸法φ400mmより)

PCVとの取り合い  
既設PCVヘッドとの取り合い部から原子炉ウェルへの漏れが無いようにする。  
万が一漏れた際のバックアップとして、ガイドパイプ内の窒素パーズ(約5~10kPag)による汚染放出抑制とする。



バウンダリ機能維持装置について概念設計、要素試験を実施

バウンダリ機能へ求められる安全要求としては、「公衆被ばくの防止」、「作業員被ばくの防止」、「放射性物質の漏洩防止」が挙げられ、バウンダリ機能維持装置への要求事項としては、「開口部からPCV内のガス(放射性物質)を放出しない」として対策及び防護策について検討した。



  : 本事業において検討、要素試験を実施
   : 本事業において検討実施
   : 平成27年度に検討・要素試験を実施

## 2.2.2.a バウンダリ機能維持装置の開発 PCVヘッド表面処理方法の検討

### [検討の概要]

PCV ヘッド表面のガイドパイプシール部設置位置範囲における当該範囲の塗装剥離を行い、ガイドパイプのシール機能へ悪影響を及ぼさないように表面処理(洗浄)する作業工法の検討。

### [検討結果・比較評価結果]

A 案: ウォータージェット(WJ)による表面処理

→廃棄物(排水)の処理が容易。

WJ ツールの細かい動きの制御が必要なく、遠隔操作が容易。

また、S/C 内充填止水(PCV 下部補修)におけるS/C 表面(ガイドパイプ設置面)の塗装剥離に使用する装置の開発が現在並行して行われている。

B 案: ブラシによる表面処理

→遠隔によるブラシの動きの制御が難しい

→摩耗による交換が必要

C 案: ブラストによる表面処理

→研磨剤の処理が必要

以上より、A案が最適であると判断する。

### [今後の予定]

S/C 表面処理装置の技術を踏襲しつつ、PCV ヘッド表面処理に合わせた装置仕様の詳細検討・基本設計を行い、模擬PCV ヘッド表面の塗装剥離要素試験等を経て装置の最適化を図っていく。

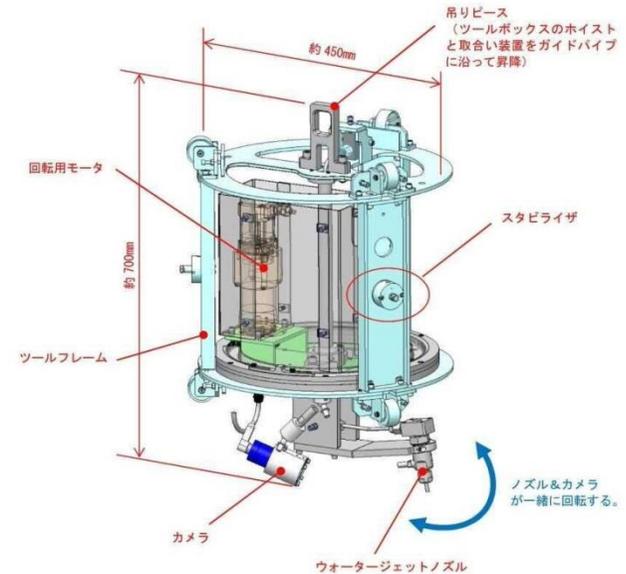


図 PCV ヘッド表面処理装置(WJ ツール)概念図

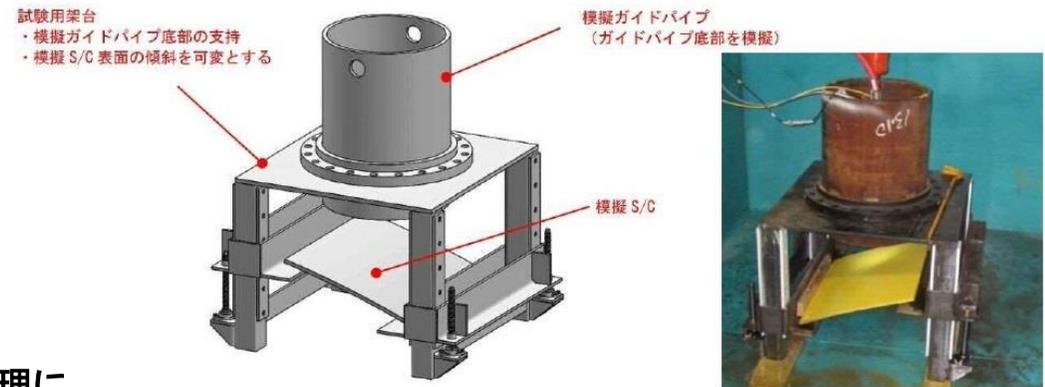


図 S/C 表面塗装剥離 要素試験設備

## 2.2.2.a バウンダリ機能維持装置の開発 ②要素試験

### <試験目的>

ガイドパイプ押し付け範囲におけるPCVヘッドの表面が荒れた状態では、シール性の確保が困難と考えられるため、PCVヘッド取合い部の洗浄・除去作業を実施する計画としている。本試験では、この作業を模擬PCVヘッドに施した後の表面にて、PCVバウンダリの維持に必要な正圧10kPaを維持可能なことを確認した。

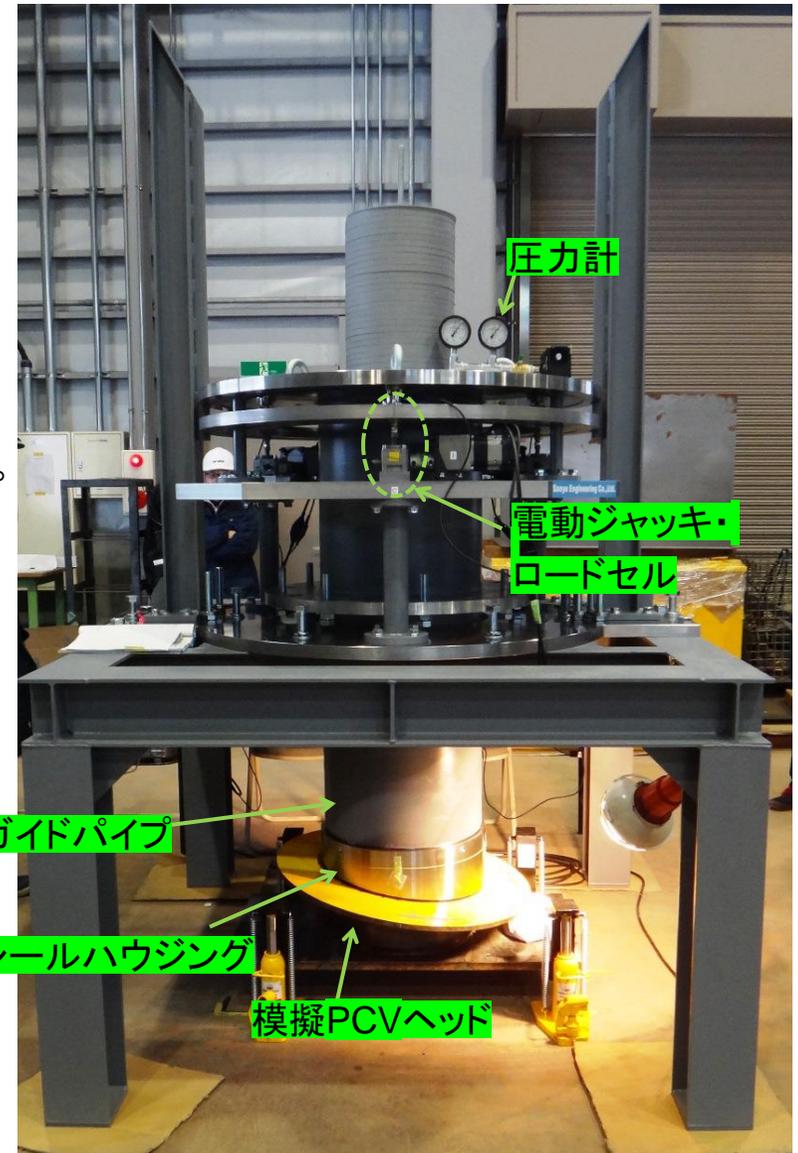
### <試験結果>

ガイドパイプシール機構を、正規設置状態にて設置したときのシール性能を確認した。模擬ガイドパイプに設置された各ロードセルの値を監視しながら、3つの電動ジャッキを徐々に下降させることにより、3kN、5kN及び7.1kNの押し付け力にて模擬PCVヘッド表面に押し付けを実施した。また、ガイドパイプ傾きの角度は、デジタル水準器の値を監視しながら $0.2^\circ$ 以内を保持した状態にて押し付けを実施した。

シール性能の確認は、要求耐圧10kPa(空気)の1.25倍の12.5kPaを10分間保持することとし、加圧中に著しい圧力降下や発泡液チェックによる漏えいが見られないことにより確認した。



PCVヘッド模擬体 WJによる塗装等剥離後の表面状態



試験体系

## 2.2.2.a バウンダリ機能維持装置の開発

## ③ガイドパイプシール部工法の検討

## [検討の概要]

作業フロア～PCV 間においてPCV ヘッド開口後のPCV バウンダリ維持(正圧5kPa 維持)のために行われる作業であるシール部工法の検討。

## [検討結果・比較評価結果]

## A案: 溶接によるシール

→火気を伴う作業のため対策が必要/溶接検査が困難  
保守時、次工事のためのガイドパイプの撤去が困難

## B案: 樹脂パッキンによるシール(設置装置による押付)

→火気を伴わない作業/保守時のガイドパイプ撤去が容易  
シール面に粉塵等が比較的付着しづらい

## C案: 樹脂パッキンによるシール(磁力による押付)

→保守時にPCV ヘッドから磁石を引き剥がす装置が必要  
磁力により磁性のある粉塵等がシール面に付着する

## D案: エポキシ樹脂によるシール

→保守時にPCV ヘッドから引き剥がす装置が必要  
初期硬化時間(約2 時間)以内に接着する必要がある

## E案: ろう付けによるシール

→遠隔操作にてシール作業を行うことが困難

火気を伴う作業のため対策が必要

保守時にPCV ヘッドから引き剥がす装置が必要

5mm 程度のギャップがあるとシール不可能である

以上より、B案が最適であると判断する。ただし、A案も溶接検査が不要であれば適用可能と考えられる。

## [今後の予定]

実規模サイズのガイドパイプを用いた要素試験を実施し、設置性等の詳細な成立性の検証を行う。

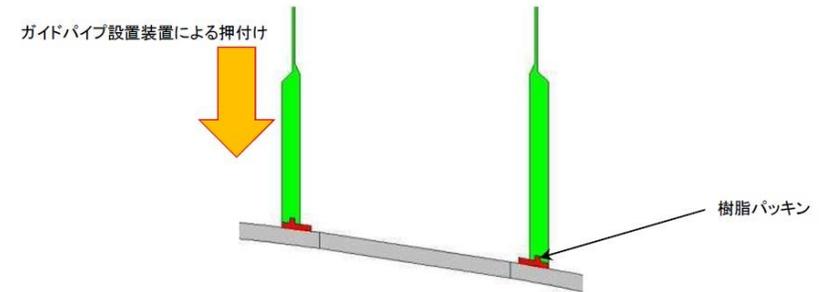


図 樹脂パッキンによるシール(設置装置による押付)の工法ステップ概要

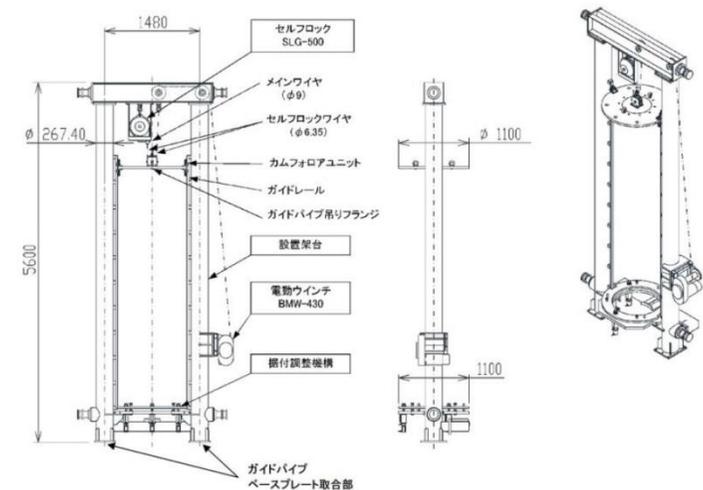


図 据付調整機構及びガイドパイプ設置装置 概念図

## 2.2.2.a バウンダリ機能維持装置の開発

### ④開口部の閉止方法および樹脂パッキンの交換方法の検討

#### [検討の概要]

ガイドパイプ先端部の樹脂パッキンの保守のためにガイドパイプの引き上げを行う際、ガイドパイプがない状態でのPCVバウンダリ機能維持のため、PCVヘッド開口部に閉止プラグを設置する作業、及びその後に行うガイドパイプ先端部の樹脂パッキンの交換作業の検討。

#### [検討結果・比較評価結果]

PCV開口部には、樹脂パッキンの付いた閉止プラグを設置(自重で固定)することでPCVバウンダリ機能は維持可能な見込みであり、また、ガイドパイプ保守時には、一度ガイドパイプを作業フロアまで引き上げた後、シールハウジングごと交換することで作業員被ばく低減および汚染拡大防止を図りながら樹脂パッキン交換を行うことは可能であると考えられる。

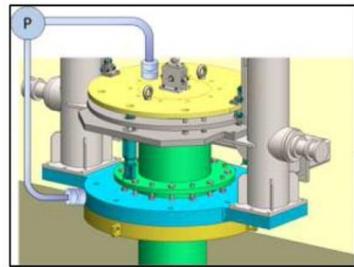


図 ガイドパイプ洗浄装置概念図

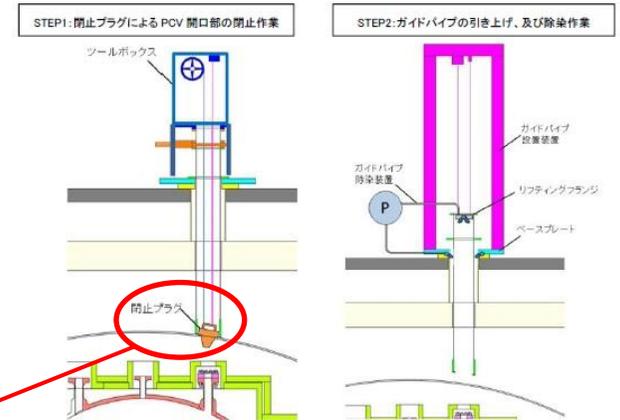
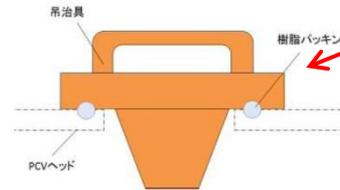
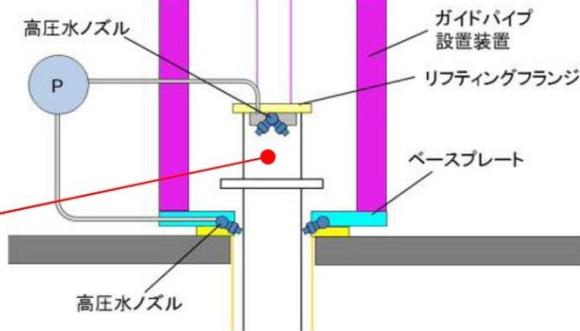


図 開口部の閉止に関する工法ステップ概要

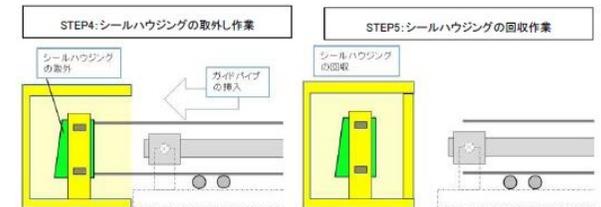
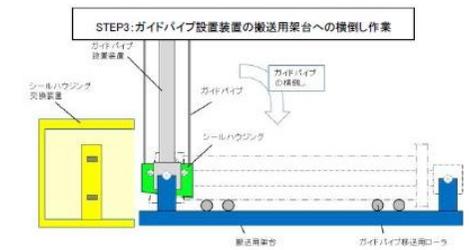


図 樹脂パッキンの交換に関する工法ステップ概要

#### [今後の予定]

これらの方法に対する今回の検討は概念設計の範囲であり、今後さらなる詳細検討・基本設計を通じて実機への適用を図る必要がある。

## 2.2.2 b 作業用アクセス装置の開発：概念設計の進捗状況(1/2)

No.44

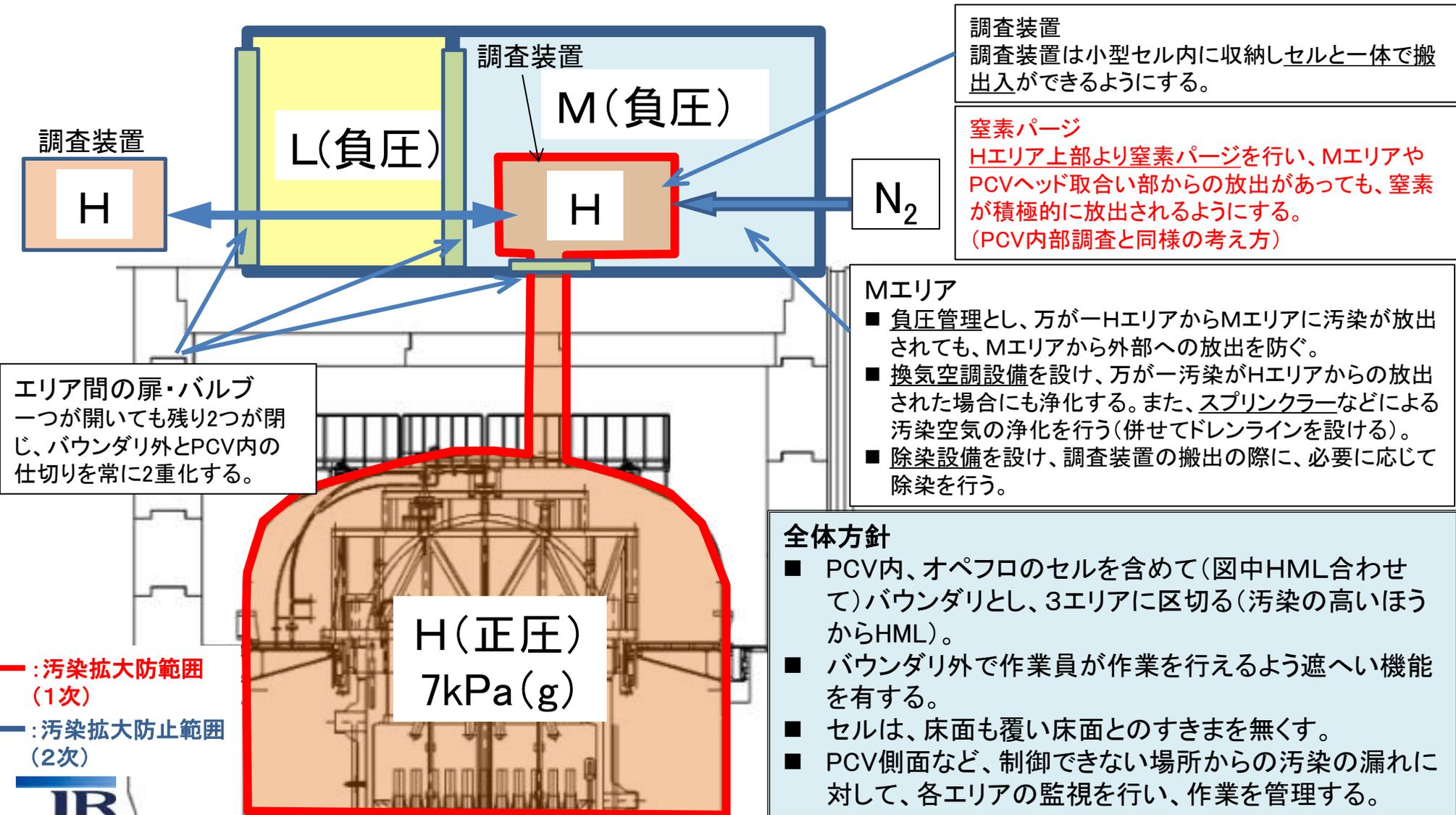
### ■システムへの機能要求、設計対応方針への展開

項目	機能要求		設計対応方針
放射性物質の漏えいを防止、または基準値以下に抑制する  異常時でも放射性物質の漏えいを防止および抑制する	閉じ込めエリア設計の考え方	PCVに設けた開口から、PCVおよびRPV内部からの放射性物質の放出を抑制・管理する機能を有する <b>閉じ込めエリアを設定</b> する。	PCVと作業用アクセス装置でバウンダリを構成する。調査装置は作業用アクセス装置内部に挿入する。 バウンダリは3エリア(H/M/L)に区切る
		オペレーティングフロアには、作業員が直接アクセスできるように、 <b>汚染の閉じ込め</b> を行う。	<u>全面マスク</u> で作業が行えるよう、汚染を閉じ込める。
		万が一、大気圧に対して正圧となるPCV内の空気がバウンダリ内に放出しても、 <b>外部への放出が無い</b> ように管理する。	Mエリアのセル内を負圧管理とし、万が一HエリアからMエリアに汚染が放出されても、Mエリアから外部への放出を防ぐ。 <u>セルに換気空調設備を設け、万が一汚染がHエリアからの放出された場合にも浄化する。また、スプリンクラーなどによる汚染空気の浄化を行う(併せてドレンラインを設ける)。</u> 除染設備を設け、調査装置の搬出の際に、必要に応じて除染を行う。
		<b>地震時</b> にも、オペレーティングフロアへの汚染放出が無いようにする。	<u>耐震クラスを設定し放出の無いようにする(加速度は今後検討)</u>
	気体の閉じ込め	<b>扉の誤動作</b> への対応を行う	一つが開いても残り2つが閉じ、バウンダリ外とPCV内の仕切りを常に2重化する。
	水の閉じ込め	対象外	
閉じ込めエリア内外の搬出入	必要に応じた <b>除染</b>	Mエリア内では遠隔装置による除染が可能なよう設計する。	

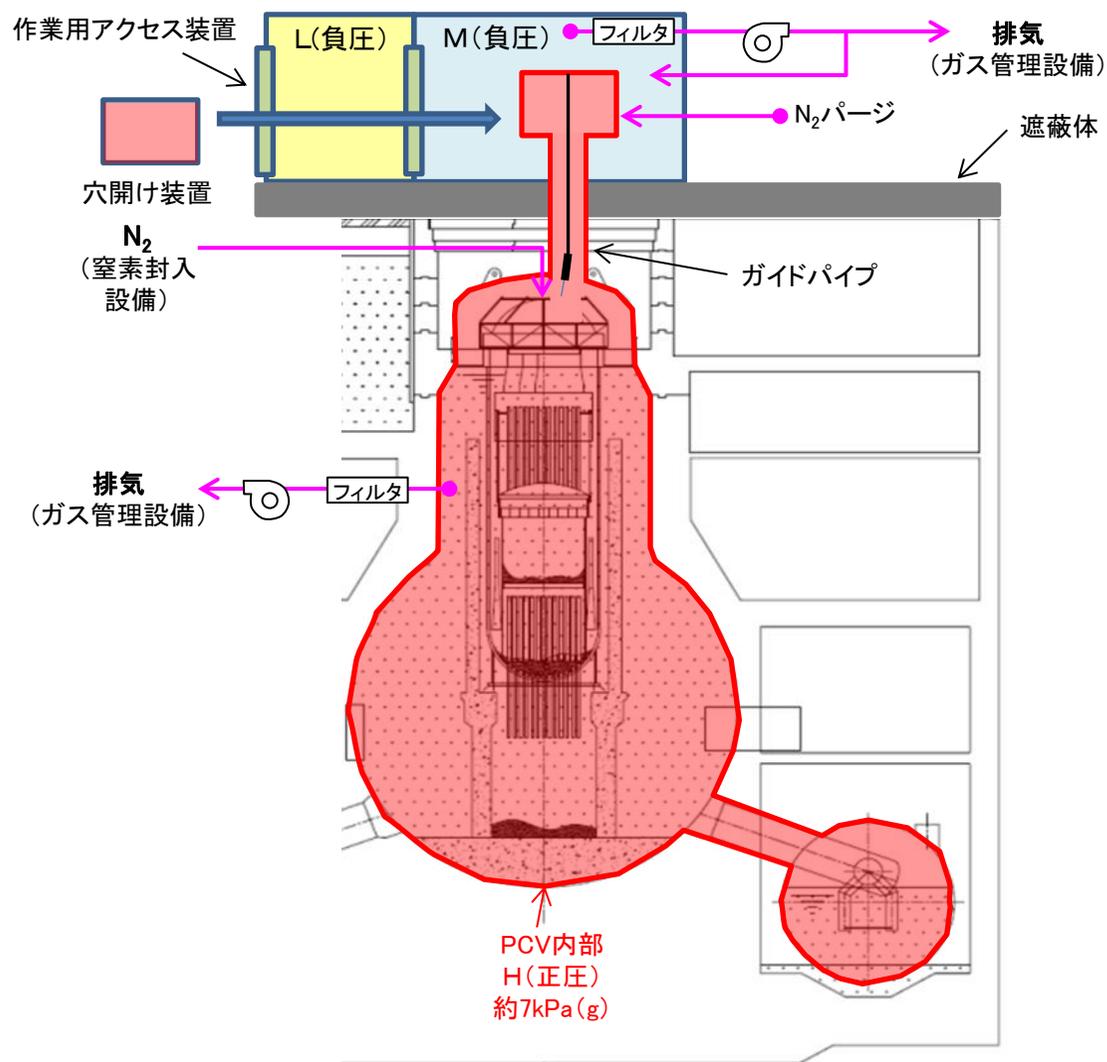
## 2.2.2 b 作業用アクセス装置の開発：概念設計の進捗状況(2/2)

No.45

現状、PCVからの大気放出ルートが存在し、バウンダリは成立していない。また、PCV内は水素爆発対策として正圧に保たれている。従って、調査時も水素爆発防止の観点で正圧を維持し、既存の窒素供給設備、ガス管理設備を制御することで圧力管理を行う。



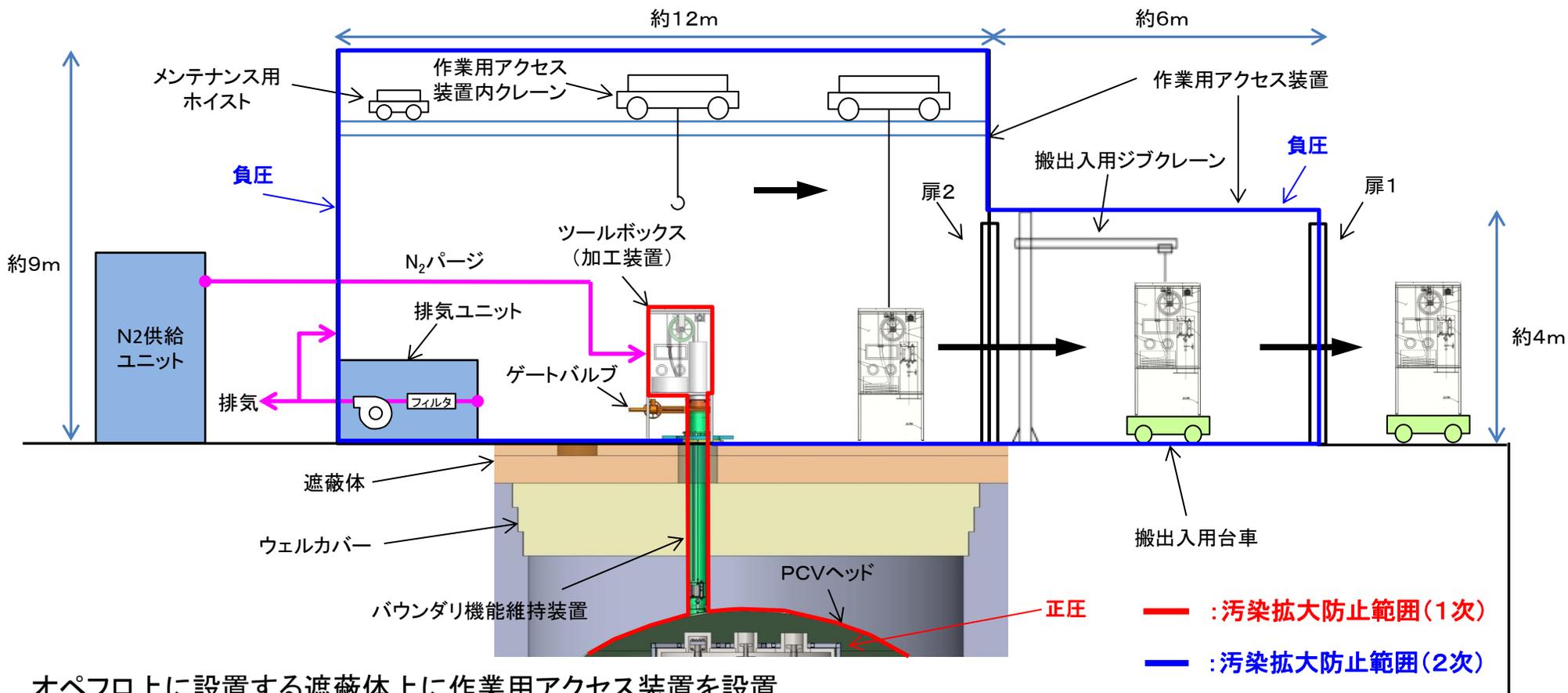
- 現状の微正圧環境を維持した状態で調査を実施
- PCVヘッドにガイドパイプを設置し、新たに閉じ込めエリアを構築



No	状況	PCV内	ガイドパイプ	作業用アクセス装置
1	現状	正圧	—	—
2	作業用アクセス装置設置	正圧	—	—
3	ウェルカバー穴あけ	正圧	—	負圧→大気圧
4	ガイドパイプ設置	正圧	大気圧→正圧	大気圧→負圧
5	PCVヘッド穴あけ	正圧 < 正圧	正圧	負圧
6	RPV保温材穴あけ	正圧 < 正圧	正圧	負圧
7	RPVヘッド穴あけ	正圧 < 正圧	正圧	負圧
8	炉内構造物加工用ガイドパイプ設置	正圧 < 正圧	正圧	負圧
9	炉内構造物加工	正圧 < 正圧	正圧	負圧
10	調査装置投入・調査	正圧 < 正圧	正圧	負圧
11	開口部閉止・装置撤去	正圧	—	—

## 2.2.2 b 作業用アクセス装置の開発：概念設計

No.47



オペフロ上に設置する遮蔽体上に作業用アクセス装置を設置

N<sub>2</sub>パーージ流量：10Nm<sup>3</sup>/h

排気流量：MAX 500Nm<sup>3</sup>/h

内部圧：外部(大気)との差圧-100Pa(g)

作業用アクセス装置について概念設計を実施

⇒被ばく評価による成立性確認結果を反映した上で装置設計に着手

⇒現場状況に合わせ、小型化・簡易化も含めた設計を実施する

## 1. 概略工程

項目	平成27年度までの成果	平成28年度	平成29年度
2.3 炉心部までの調査方式の開発・選定	—	調査計画の立案・更新 ▼ 概念設計(複数工法の比較評価) 要素試験	▼ 炉内既存の空間を利用した調査装置の概念設計 基本設計(システム構成等) 詳細設計 試作機設計 装置試作 試験

### 2. 平成28年度の実施内容

- 情報を取得する調査方式の立案と技術的実現性の検討を行う。視覚情報を得るためのカメラシステムについては、想定される環境条件(線量や雰囲気湿度など)と、炉心部・炉底部を観察するためのカメラの要求精度・機能(解像度など)をまとめた。
- 要求機能に対して、適用可能と考えられる複数の調査システムの構成案を立案し、概念設計を行うとともに、技術的実現性の確認のための要素試験を行う。この結果をもとに、複数の構成案に対して比較評価結果からカメラを用いた調査工法を選定。
- 炉心部・炉底部までのアクセス装置について複数の装置構成案を立案し、概念設計と要素試験を実施する。平成27年度の本事業では、テレスコピックマスト方式やパイプ継ぎ足し方式などが立案されており、これらの結果を基に検討。概念設計結果をもとに、ケーブルにより吊り下ろす工法案を選定。

### 3. 平成29年度の計画

#### <装置設計>

- 炉内の既存の空間を利用し加工物量を減らす場合の調査装置の概念設計を行う。
- 今年度絞り込みを実施した調査技術に対し、アクセス装置との取合いを考慮した装置設計を実施。
- 調査装置・アクセス装置故障時のレスキュー方法について装置設計を実施。

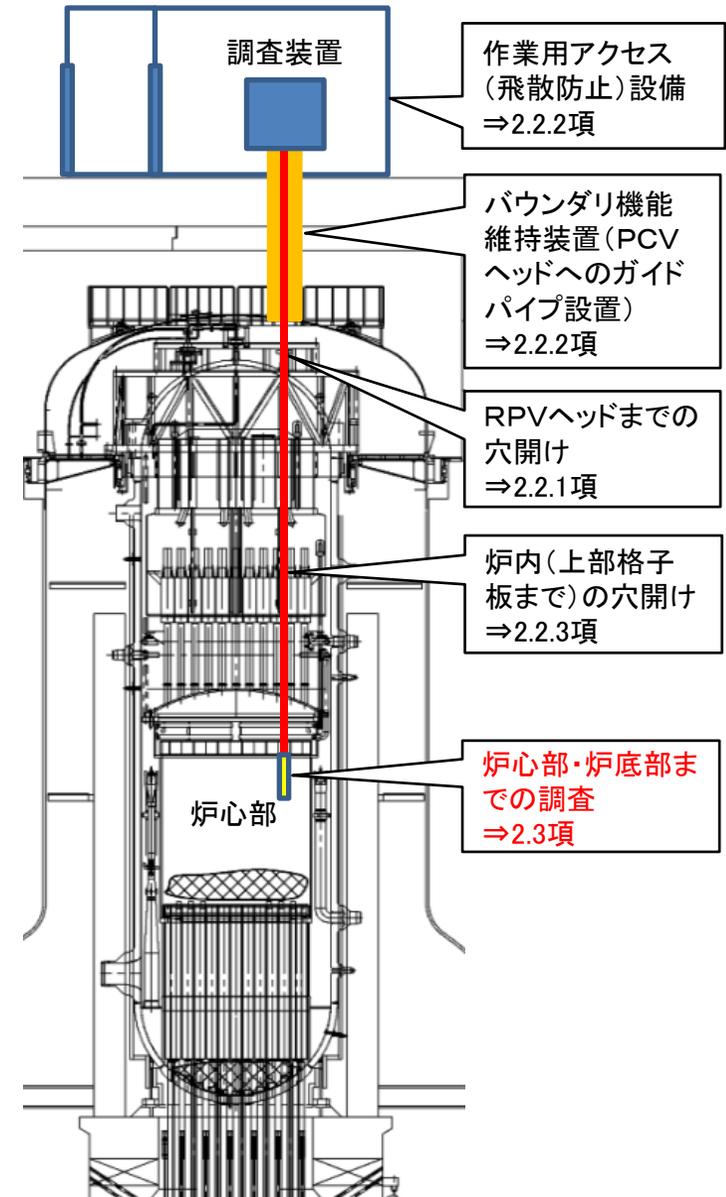
#### <装置試作、試験>

- 調査装置に関し、カメラと照明を離れた装置設計を実施し、装置試作を行い、視認性等の確認を行う。
- 炉内で横展開する機構について絞り込みを行った技術に対して装置試作、試験を実施。

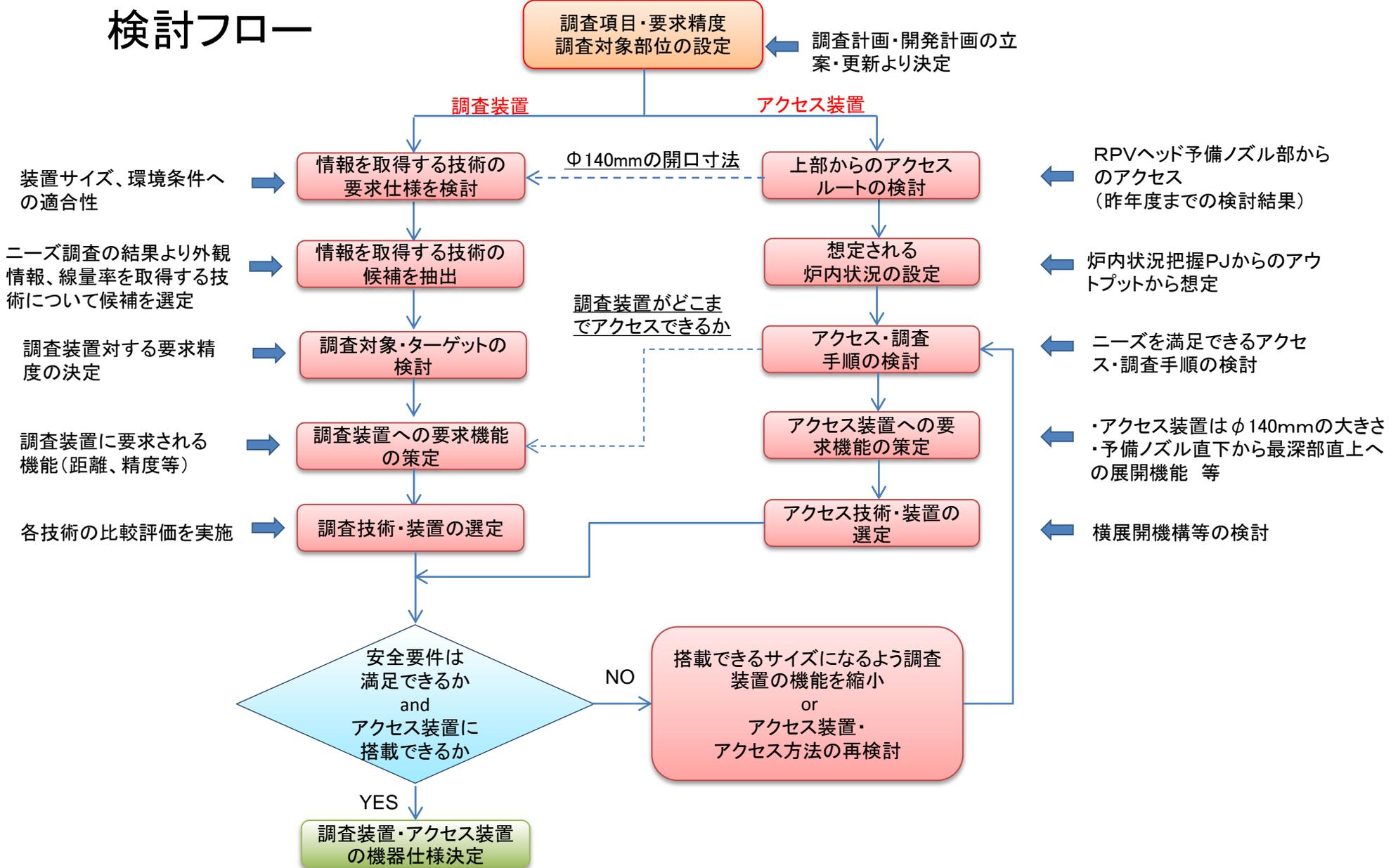
## 2.3 炉心部までの調査方式の開発・選定

### ■ 要求機能

分類	要求項目	内容
安全機能への要求	燃料デブリの臨界防止	本調査による現状変化(加工片の脱落等)による臨界を抑制。
調査機能への要求	調査方法	調査対象部位に接近(アクセス)し、そのアクセスルート上において、直接画像、線量率などのデータ取得を行う。

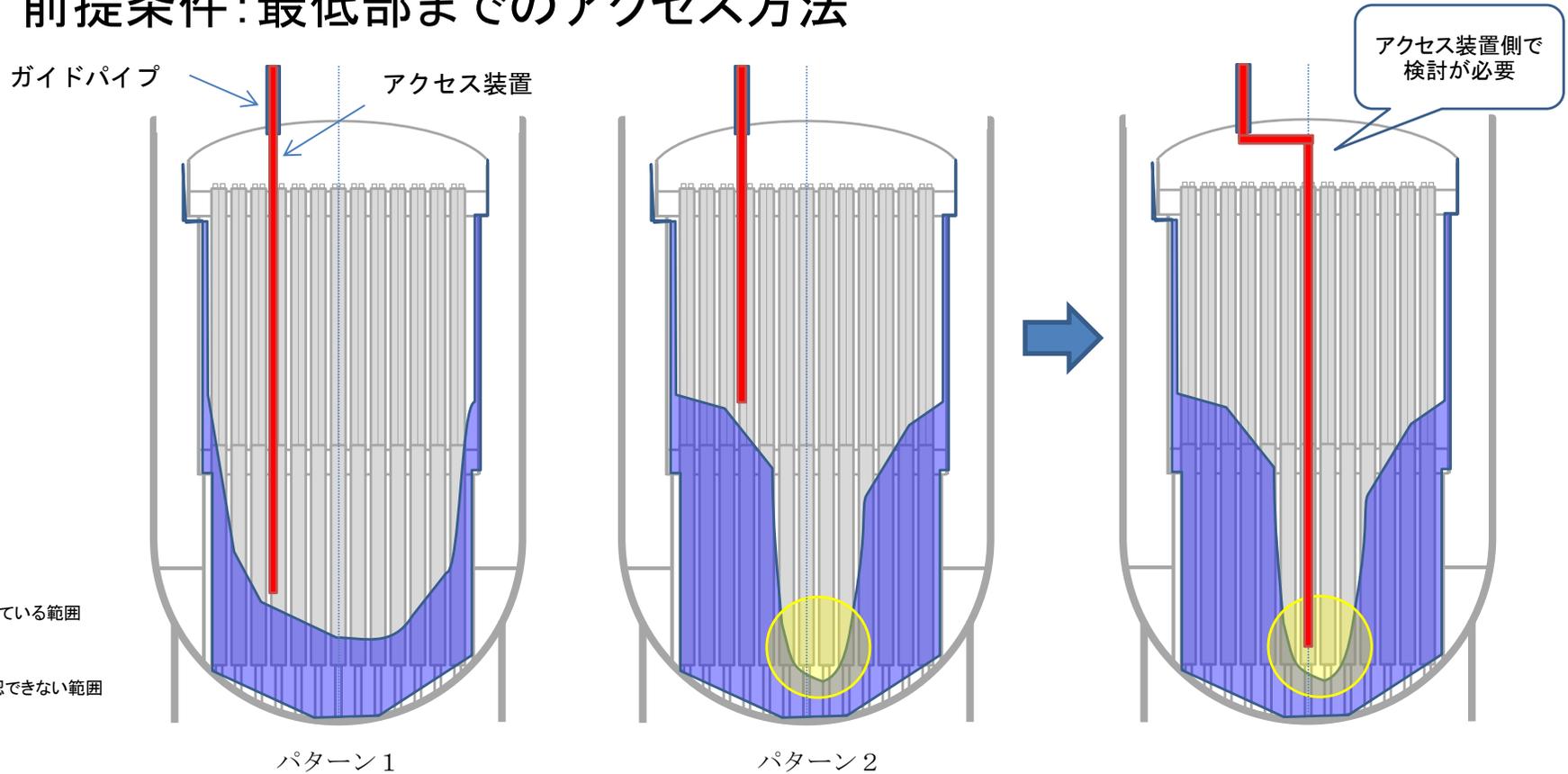


# 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 検討フロー



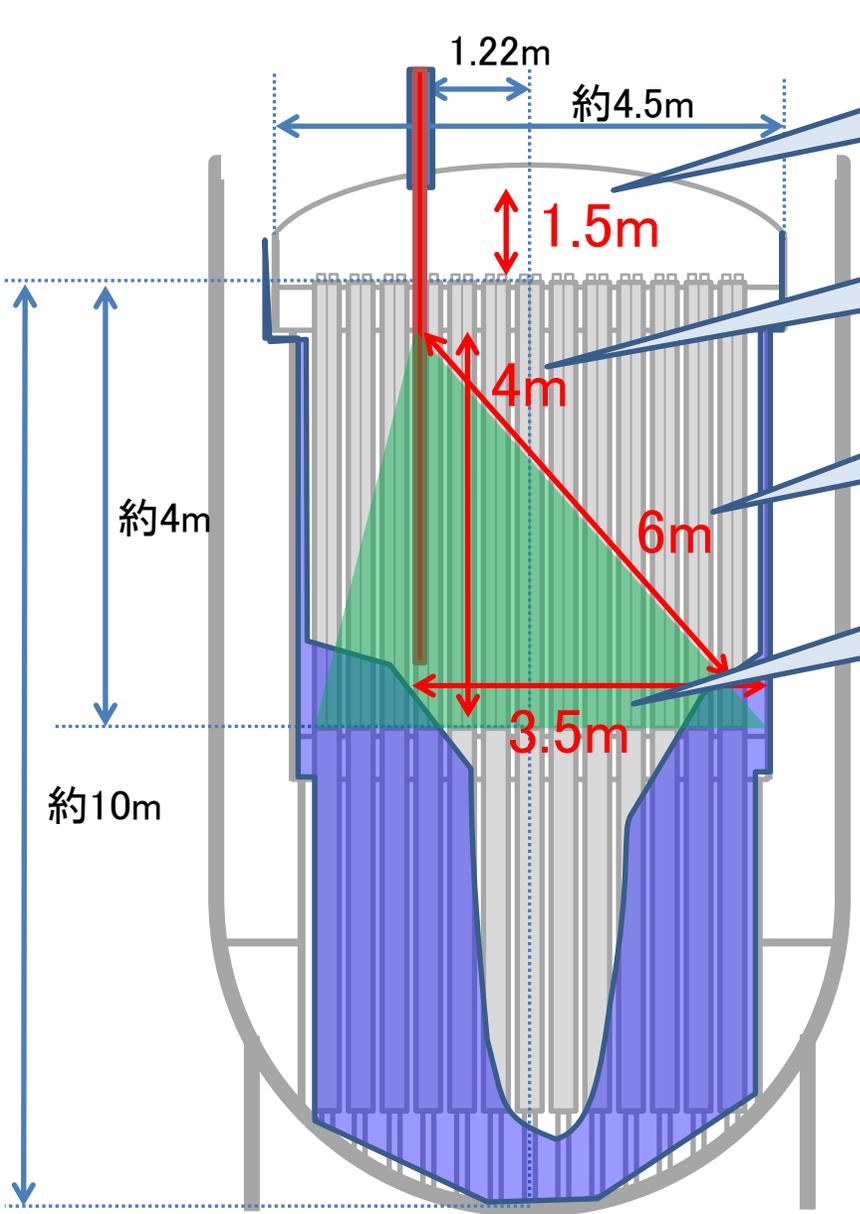
## 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定

### 前提条件：最低部までのアクセス方法



⇒炉内状況把握PJと炉心部の状態について議論を実施し、炉心部の燃料・構造物等は中心部から溶融していることが想定され、最低部までアクセスするには、装置を中心に移動させ、そこから下降することで最低部を調査可能できるとし、アクセス装置への要求機能とした。

# 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 前提条件：調査対象物と要求精度 No.52



①調査装置(φ100)が投入できる開口有無の判断  
⇒1.5m先の上部格子板(□300mm)の状態確認

②調査装置(φ100)が投入できる開口有無判断  
⇒最大4m先での開口の有無、開口部(φ150mm以上か否か)の形状確認

③最外周に燃料集合体が存在するか  
⇒最大6m先で燃料集合体(□150mm)が存在するかの確認

④調査装置を接近させた場合、最外周に切り株燃料が存在するか  
⇒最大3.5m先で燃料棒(φ10mm)が存在するかの確認

No.	目的	距離	対象物	寸法
①	アクセスルートの確認	1.5m	上部格子板	□300mm
②		4m	開口有無	φ150mm
③	切株燃料の有無	6m	燃料集合体	□150mm
④		3.5m	燃料棒	φ10mm

⇒上記を調査時の対象物と要求される精度として、調査装置への要求仕様とする。

## 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 要求仕様

前提条件を踏まえ、外観情報及び線量率を取得する調査装置に要求される仕様を下記とした。

### 1. 外観情報を取得する調査装置への要求仕様

- ・装置サイズ：φ100mm以下（穴径140mmに炉心部への穴開け用ガイドパイプを考慮）
- ・放射線環境：5000Gy/h（作業時間：10h）
- ・炉内環境：霧（透過率：46%@1.5m）、湿度100%、暗闇
- ・測定精度：

No.	目的	距離	対象物	寸法
①	アクセスルートの確認	1.5m	上部格子板	□300mm
②		4m	開口有無	φ150mm
③	切株燃料の有無	6m	燃料集合体	□150mm
④		1.2m	燃料棒	φ10mm
⑤		3.5m	燃料棒	φ10mm

### 2. 線量率を取得する調査装置への要求仕様

- ・装置サイズ：φ100mm以下（穴径140mmに炉心部への穴開け用ガイドパイプを考慮）
- ・測定レンジ：1～5000Gy/h
- ・測定精度：オーダがわかるレベル
- ・湿度：100%

⇒上記要求仕様を満足する各技術・装置の抽出を実施

## 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 調査技術の候補

### 【外観情報】

- ①カメラ（撮像管） ⇒ 概念検討、要素試験を実施
- ②カメラ（CID） ⇒ 概念検討、要素試験を実施
- ③レーザー（TOF） ⇒ 概念検討、要素試験を実施
- ④レーダー（電波） ⇒ 概念検討、要素試験を実施
- ⑤超音波 ⇒ 概念検討、要素試験を実施
- ⑥潜望鏡 ⇒ 概念検討を実施

### 【線量率】

- ①電離箱 ⇒ 概念検討、要素試験を実施
  - ②導体式 ⇒ P C V 内部調査 P J での検討内容を参考とする
  - ③シンチレータ + 光ファイバ式 ⇒ P C V 内部調査 P J での検討内容を参考とする
  - ④シンチレータ + 光検出器 ⇒ 概念検討を実施
- 線量計については環境条件（5000Gy/h）より、半導体等の無機材料を用いてない電離箱を候補として抽出。

## 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 調査技術の適用性評価結果(1/2)

No.55

項目		①カメラ (撮像管:白黒)	②カメラ (CID:カラー)	③レーザー (TOF)	④レーダー (電波)	⑤超音波 (気中)	⑥潜望鏡
装置サイズ	φ100mm以下 (穴径140mmに炉心部への穴開け用ガイドパイプを考慮)	○ (φ40mm)	△ (照明含まず70mm。ただし、ヘッドの耐湿・耐水化が必要)	× (240mmx200mmx100mm)	○	○ センサ自体はφ16mm、長さ12mm 走査機構別途必要	×
放射線環境	5000Gy/h	○ (10000Gy/h)	△ (1000Gy/h)	×	○ (5000Gy/h)	○	○
耐放射線性 (積算線量)	50kGy (10h)	○ 2000kGy	△ 30kGy	× 4kGy (推定)	× 装置に遮蔽が必要	○ 20kGy以上	—
炉内環境	霧、湿度100%	○	△ (ヘッド及びコネクタの耐湿、耐水化要)	△ (ミラーに水滴が付着)	○	△ センサ面に結露した場合、計測不可	○
光の透過率	46%@1.5m (PCV内部調査と同等)	△ (照明と組み合わせが必要)	△ (照明と組み合わせが必要)	△ (50%以下なら適可能)	○	○	×
オペフロ～調査装置までの距離 (遠隔性)	30m以上	○	△ (ケーブルコネクタの耐湿、耐水化要)	○	△	○ (50mまでは実績あり)	×
要求精度	要求される精度を満足できるか	○ (環境及びアクセス装置の位置決め精度による)	○ (環境及びアクセス装置の位置決め精度による)	△ (環境及びアクセス装置の位置決め精度による)	× (継続した技術開発が必要)	× 単体での画像化は不可。	× (光の透過率がほぼ0)

## 2.3炉心部までの調査方式の開発・選定 調査技術の適用性評価結果(2/2)

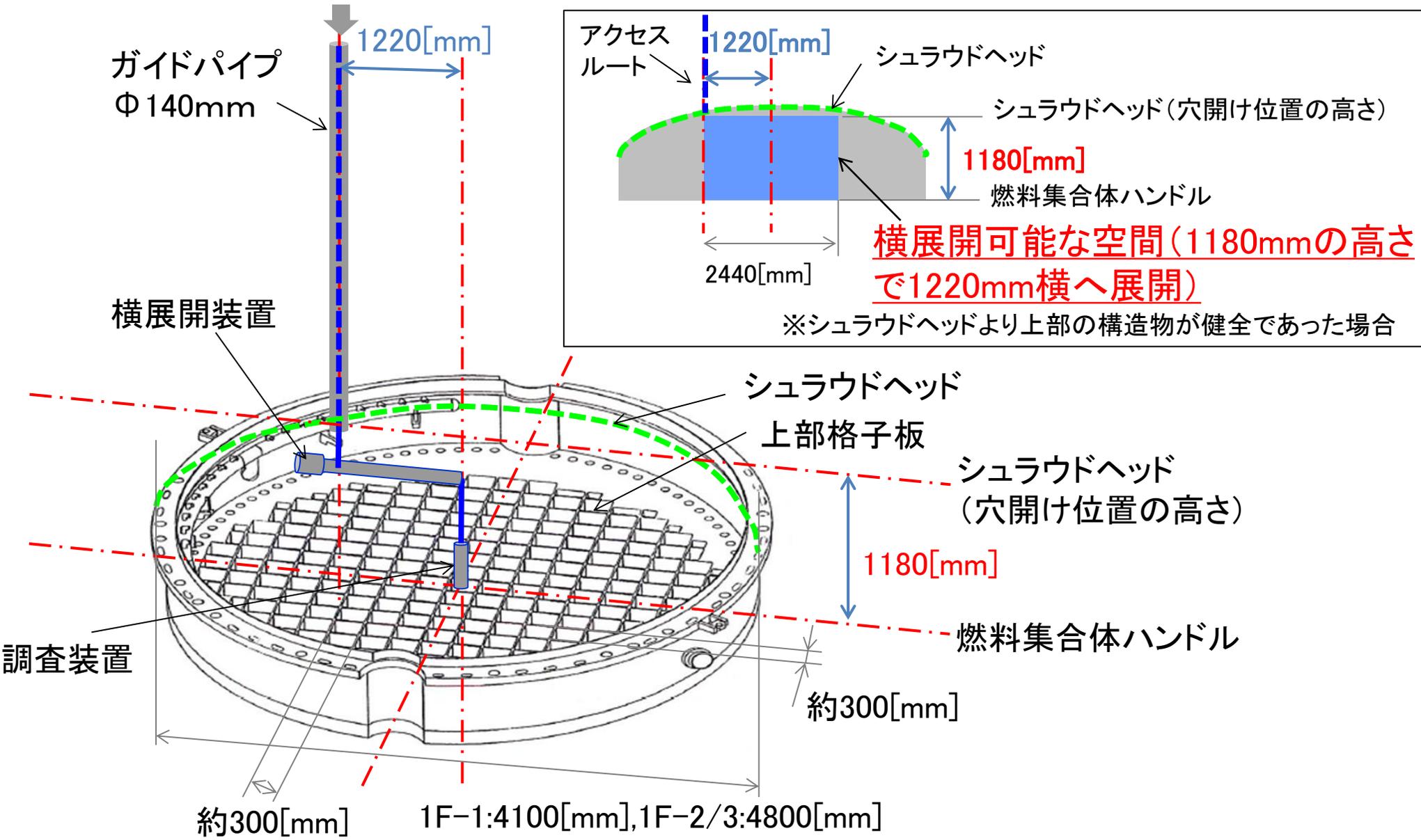
No.56

項目		①カメラ (撮像管:白黒)	②カメラ (CID:カラー)	③レーザー (TOF)	④レーダー (電波)	⑤超音波 (気中)	⑥潜望鏡
アクセス装置への要求	重量 (およそ)	1kg	2kg	6kg	100kg	1kg	数ton (鏡筒を継ぎ足して炉心部までアクセスする工法)
	揺れに対する要求	△ (視認性低下)	△ (視認性低下)	× (揺れないことが必要)	× (揺れないことが必要)	△	
	その他	—	—	—	下降速度 5mm/s	—	
要素技術としての評価		○ →照明と組み合わせた設計が必要	○ →照明と組み合わせた設計が必要	△ →オペフロから距離計測を目的とした適用を検討	△ →平成29年度以降も技術開発が必要	× →近接センサとしての適用を検討	×

- 平成28年度の検討は最も線量率が高いと想定される炉心部(5000Gy/h)※において、炉内構造物にφ140mmの開口が設けられる前提での概念設計、要素試験を実施した。  
⇒概念設計・要素試験結果から、平成29年度は外観情報を取得する技術についてはカメラを主案として調査装置の検討を進める。

ステップ	線量率	主案	代替案
炉心部の調査	5000 [Gy/h]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファイバースコープ+線量計(事前確認)</li> <li>事前確認の結果を踏まえて</li> <li>・カメラ(パンチル機構)+線量計+温度計 ⇒炉心部・炉底部の状況を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(最深部までいけない場合)</li> <li>カメラ+線量計+超音波(近接センサ)+横展開機構+吊りおろし機構 ⇒炉心部・炉底部の状況を確認する。</li> <li>(霧が濃い場合)超音波近接センサで障害物の有無を確認しつつ、調査対象物まで近づきカメラで調査 ⇒この場合俯瞰した調査は不可</li> </ul>

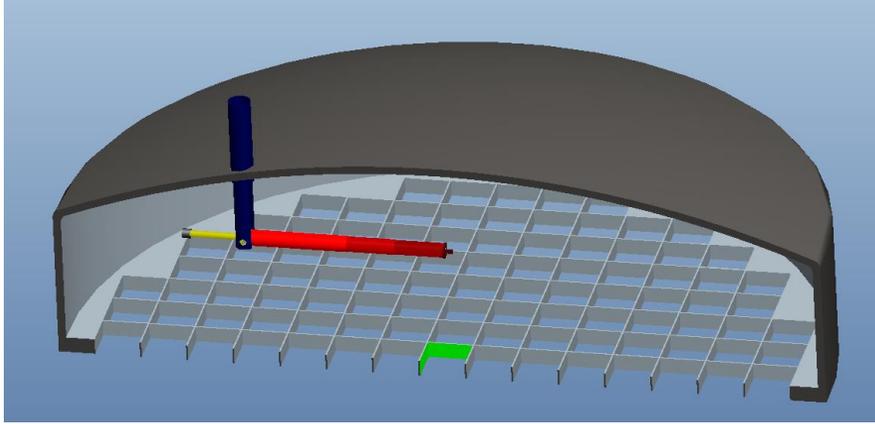
### 2.3 アクセス装置の検討:横展開可能な空間について



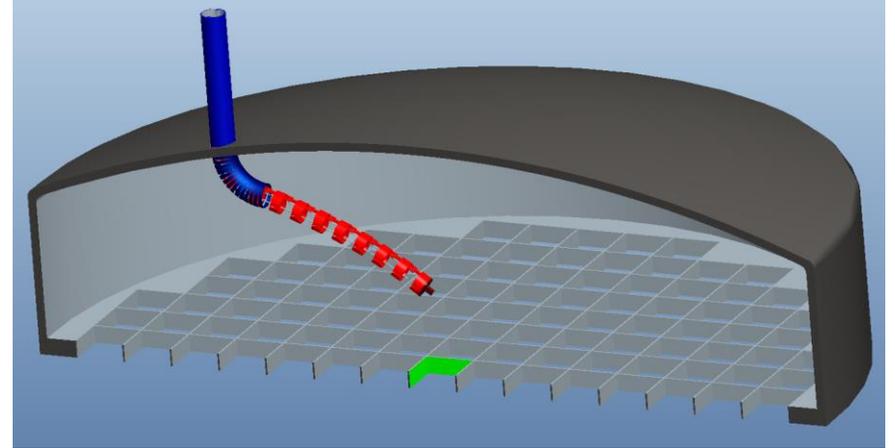
## 2.3 アクセス装置の検討:横展開機構の候補

	天秤+伸縮アーム式	接続ブロック式	パンタ(平行リンク)式	パンタ(交差リンク)式
構造説明	伸縮機構(テレスコピック状)を持ったアームをカウンターウェイトでバランスし、横展開	接続ブロック(ケーブルガイドを天地逆転設置したような構造)により伸縮アームを構成	パンタ構造(並行リンク)により横展開	パンタ構造(交差リンク)により横展開
可搬重量	△:伸縮段数が増えると低下	△:リンク部の耐荷重による	○	△:リンク部の耐荷重による
展開スペース	△:縦方向の展開スペースによりアーム長に制限	○:接続ブロックの折れ曲率分のスペースでよい	×:展開距離と同じ距離が縦方向に必要	○:リンクの直動距離のみでよい
利点	ガイドパイプに荷重がかからない	伸縮距離調整可能 ガイドパイプ径制限いっぱい アーム構造を収納可 ケーブル内臓可	機構が単純	伸縮距離調整可能
課題	展開スペース、伸縮段数、カウンターウェイトのバランスが設計難。 伸縮距離調整難。	折れ部の支持機構・耐荷重。 ガイドパイプへの負荷大きい。	展開距離固定。 展開スペース大きく必要。 ガイドパイプへの負荷大きい。	ガイドパイプ径制限内にリンク機構収納難。展開のための摺動機構が必要。 ガイドパイプへの負荷大きい。

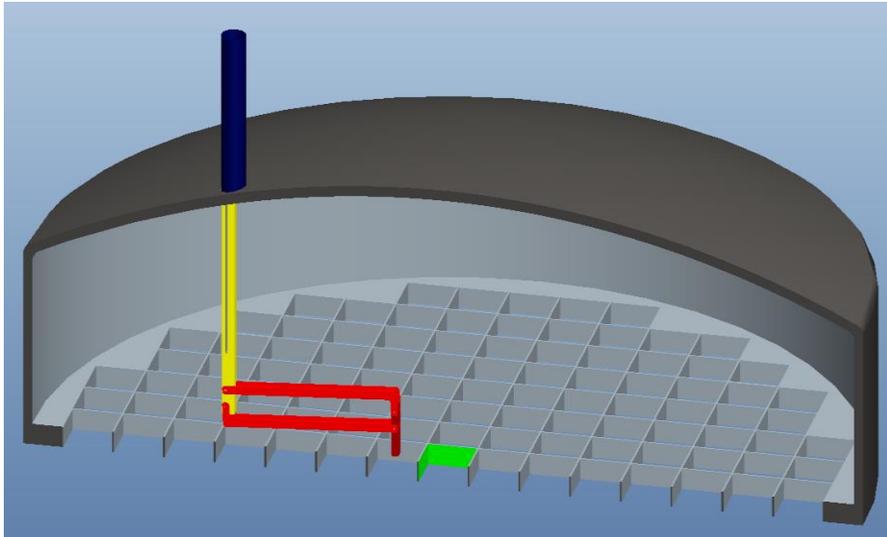
## 2.3 アクセス装置の検討:横展開機構の候補



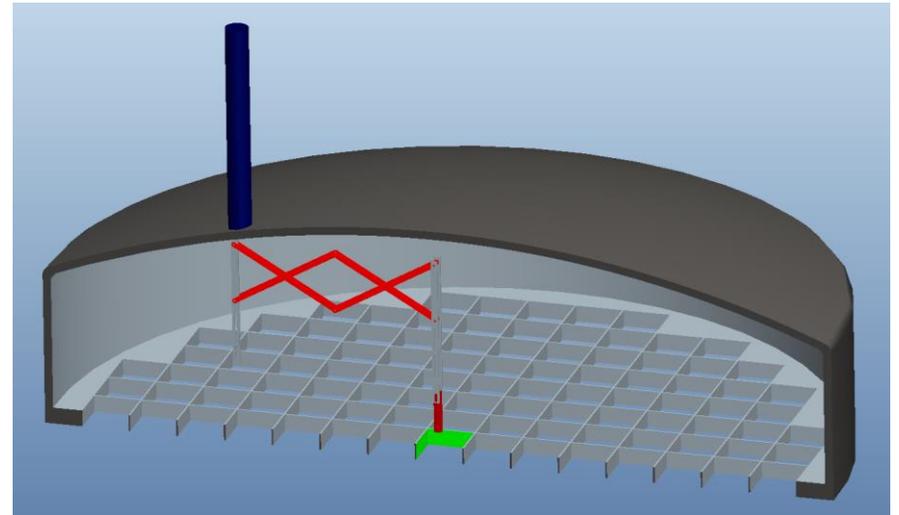
天秤+伸縮アーム式



接続ブロック式



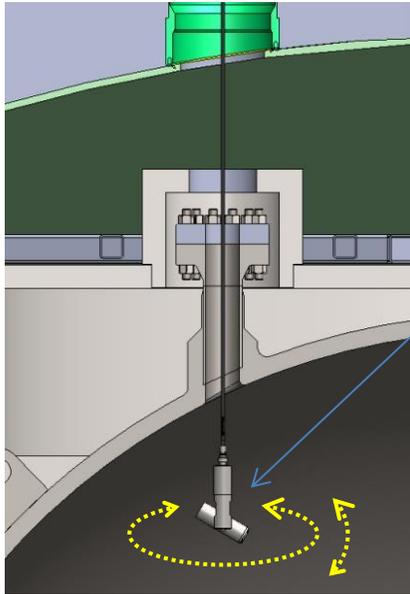
パンタ(平行リンク)式



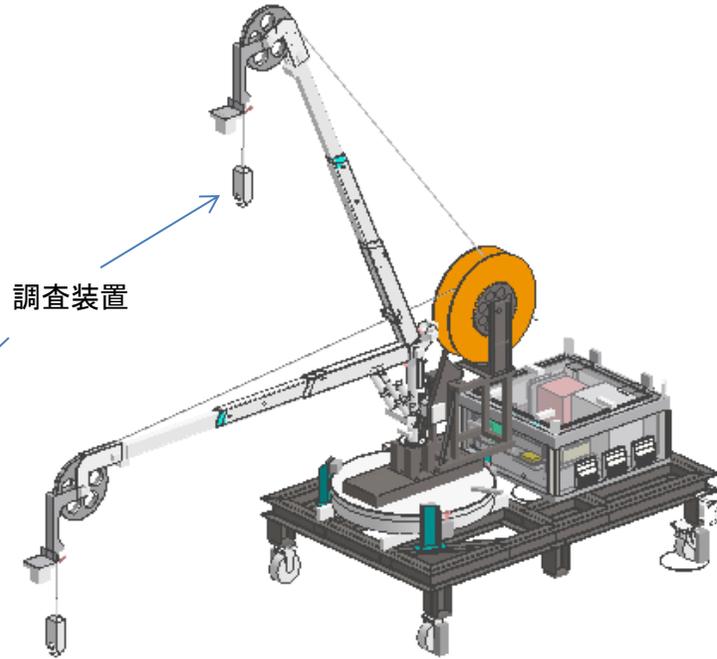
パンタ(交差リンク)式

⇒横展開可能空間内で装置が成立するか概念設計を実施。パンタ(平行リンク/交差リンク)式については、寸法制約や構造上成立は困難な見込。天秤+伸縮アーム式、接続ブロック式について来年度試作評価を実施予定。

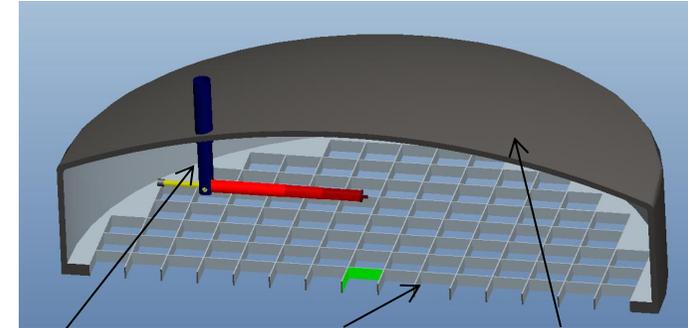
## 2.3 炉心部までの調査方式の開発、選定



RPVヘッド内の調査概念  
(開口径φ140)



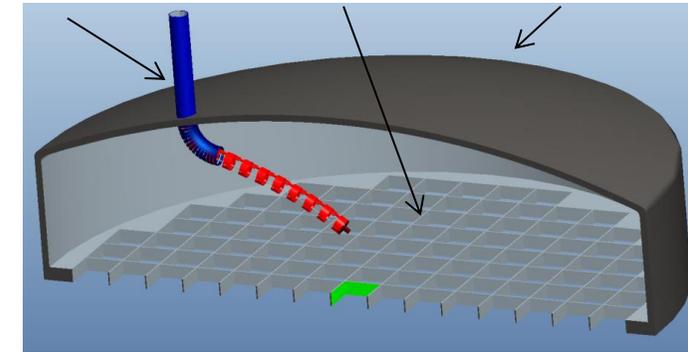
アクセス装置(吊り下ろし装置)



横展開機構

上部格子板

シュラウドヘッド



炉内横展開機構の検討(開口径φ140mm)

上:天秤・伸縮アーム方式

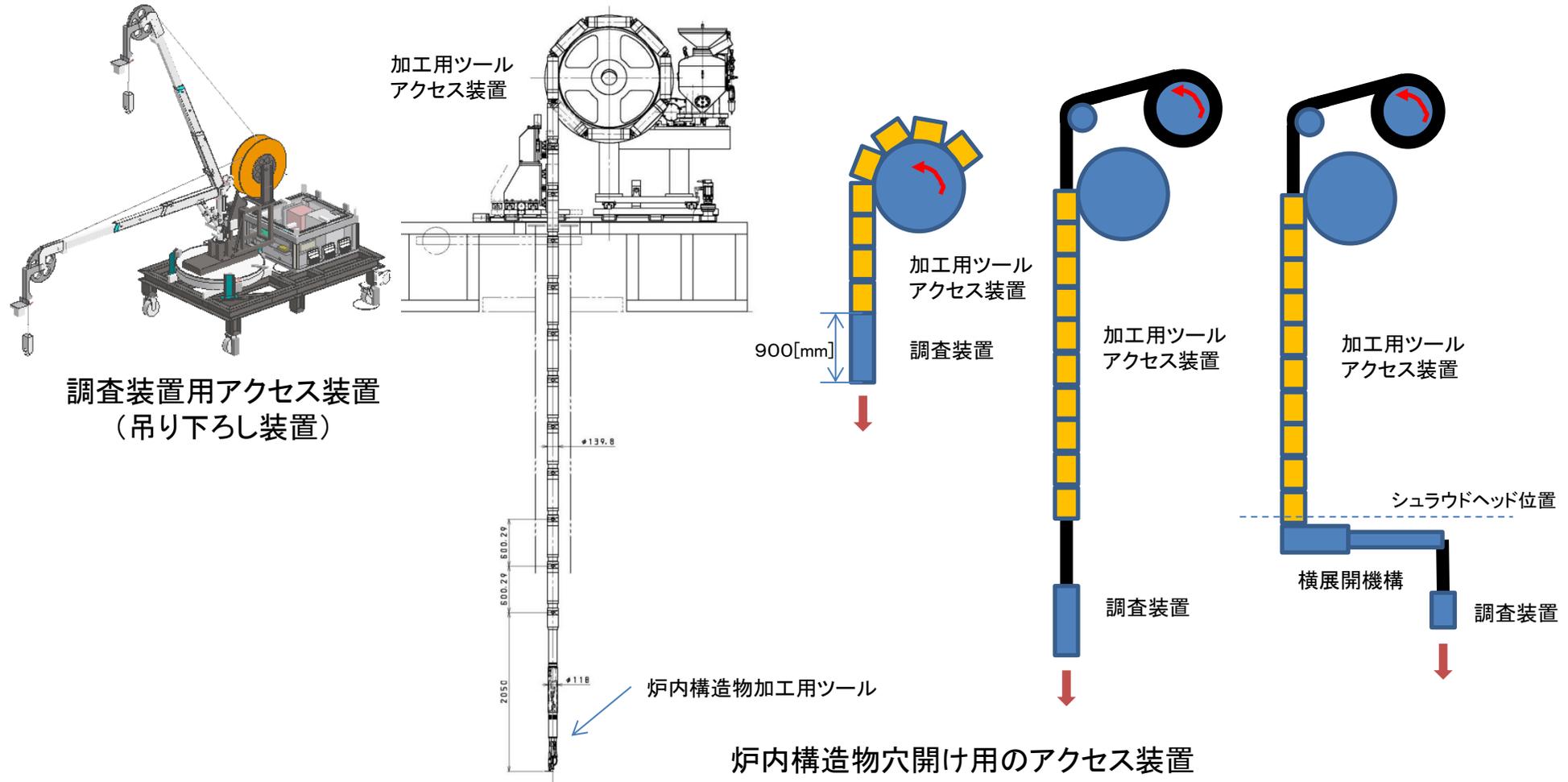
下:接続アーム方式

今年度の概念設計では、炉心部の調査装置・アクセス装置については、現状炉内構造物にφ140mmの穴が炉心部まで空いた場合の検討を実施した。

ただし、既存の開口を用いた場合の調査装置の検討は今後概念設計を実施。

状況に応じて装置設計、装置試作及び試験・設計の検証を実施する。

# 2.3 アクセス装置の検討: 炉内構造物穴開け用のアクセス装置の適用 No.61



平成28年度は炉心部まで調査装置を吊り下ろす方式としてケーブルにて吊り下ろす方式を検討したが、炉内構造物の穴あけ時に設置するガイドパイプと同様の構造(加工ツールとガイドパイプを一体にする方式)で吊り下ろす方法についても検討を行う。

⇒平成29年度はアクセス装置の小型化および調査装置、作業用アクセス装置との取合いに関する基本設計を実施。

## 1. 概略工程

項目		平成27年度までの成果	平成28年度	平成29年度
2.4	調査装置全体システムの設計と工法計画	—	調査計画の立案・更新 ▼ 安全性要件の検討 工法手順、作業ステップの検討	安全性要件の検討 ▼ 環境条件確認 工法手順、作業ステップの検討 作業ステップ図の作成

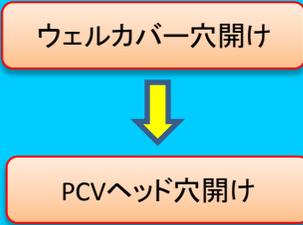
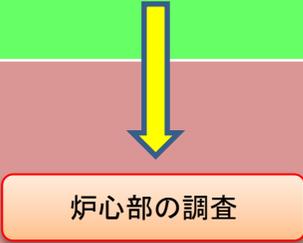
### 1. 平成28年度の実施内容

- ・原子炉建屋のオペレーティングフロアへの装置設置から、現場調査、調査後の処置まで、一連の作業ステップを策定。
- ・現状の環境下(微正圧)における炉内構造物加工時の簡易被ばく評価を行い、環境条件を確認することとなった。

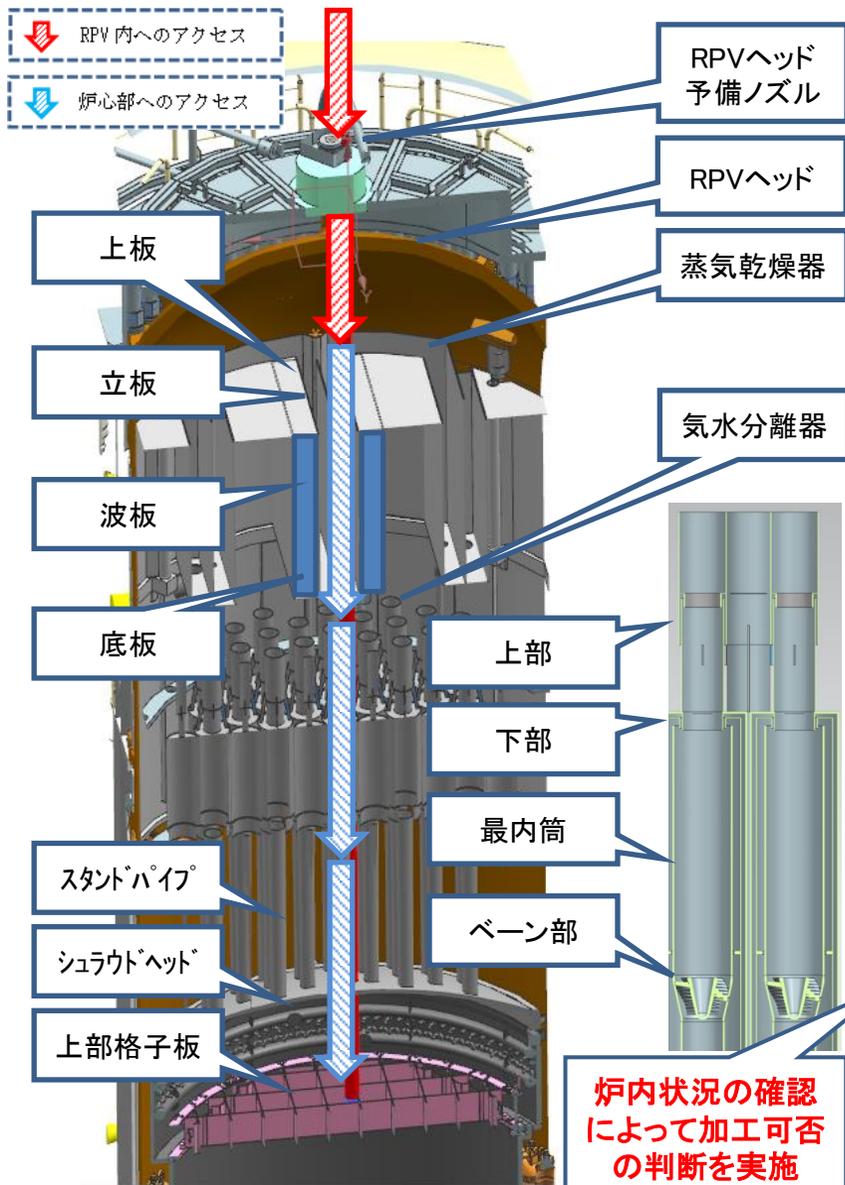
### 2. 平成29年度の計画

- ・工法手順、作業ステップの検討を行い、各作業ごとに想定される状況をまとめ、次のステップへ進むために必要な条件を整理する。
- ・規制当局と議論が必要となると考えられる安全性要件とその対応について整理し、各装置に求められる要求仕様をまとめ、調査に関する工法のステップ図やレイアウトを作成する。

## 2.4 調査装置全体システムの設計と工法計画 炉心部までの調査計画

ステップ	線量率	主案	代替案
	16 [Gy/h]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ(パンチル機構) + 線量計 + 温度計 ⇒俯瞰した画像取得により、ウェル内の損傷状況を確認する。</li> <li>・TOF(ガイドパイプ設置面の確認も含む) ⇒原子炉ウェル内壁とPCVヘッド上手すりの位置関係からPCVヘッドのずれの有無を確認する。</li> </ul>	現在想定される環境条件(霧なし)から不要
	800 [Gy/h]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファイバースコープ + 線量計(事前確認)</li> <li>・カメラ(パンチル機構) + 線量計 + 温度計 ⇒俯瞰した画像取得により、PCVヘッド内の損傷状況を確認する。</li> <li>・ファイバースコープ + 線量計(事前確認)</li> <li>・カメラ(パンチル機構) + 線量計 + 温度計 ⇒予備ノズルの損傷状況を確認する。</li> <li>・ファイバースコープ + 線量計(事前確認)</li> <li>・カメラ(パンチル機構) + 線量計 + 温度計 ⇒俯瞰した画像取得により、RPVヘッド内の損傷状況を確認する。</li> </ul> <p>(炉内構造物の穴開け状況に応じて) ファイバースコープ + 線量計 ⇒この場合俯瞰した調査は不可。</p>	<p>(霧が濃い場合)超音波近接センサで障害物の有無を確認しつつ、加工対象面まで近づきカメラで調査 ⇒この場合俯瞰した調査は不可</p> <p>(霧が濃い場合)超音波近接センサで障害物の有無を確認しつつ、加工対象面まで近づきカメラで調査 (俯瞰した調査は不要)</p> <p>(霧が濃い場合)超音波近接センサで障害物の有無を確認しつつ、加工対象面まで近づきカメラで調査 ⇒この場合俯瞰した調査は不可</p>
	5000 [Gy/h]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファイバースコープ + 線量計(事前確認)</li> </ul> <p>事前確認の結果を踏まえて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ(パンチル機構) + 線量計 + 温度計 ⇒炉心部・炉底部の状況を確認する。</li> </ul>	<p>(最深部までいけない場合) カメラ + 線量計 + 超音波(近接センサ) + 横展開機構 + 吊りおろし機構 ⇒炉心部・炉底部の状況を確認する。</p> <p>(霧が濃い場合)超音波近接センサで障害物の有無を確認しつつ、調査対象物まで近づきカメラで調査 ⇒この場合俯瞰した調査は不可</p>

## 2.4 上部穴開け工法 炉内構造物穴開け要否・アクセスルート検討 No.64

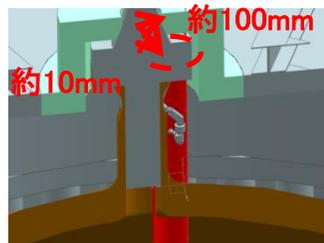
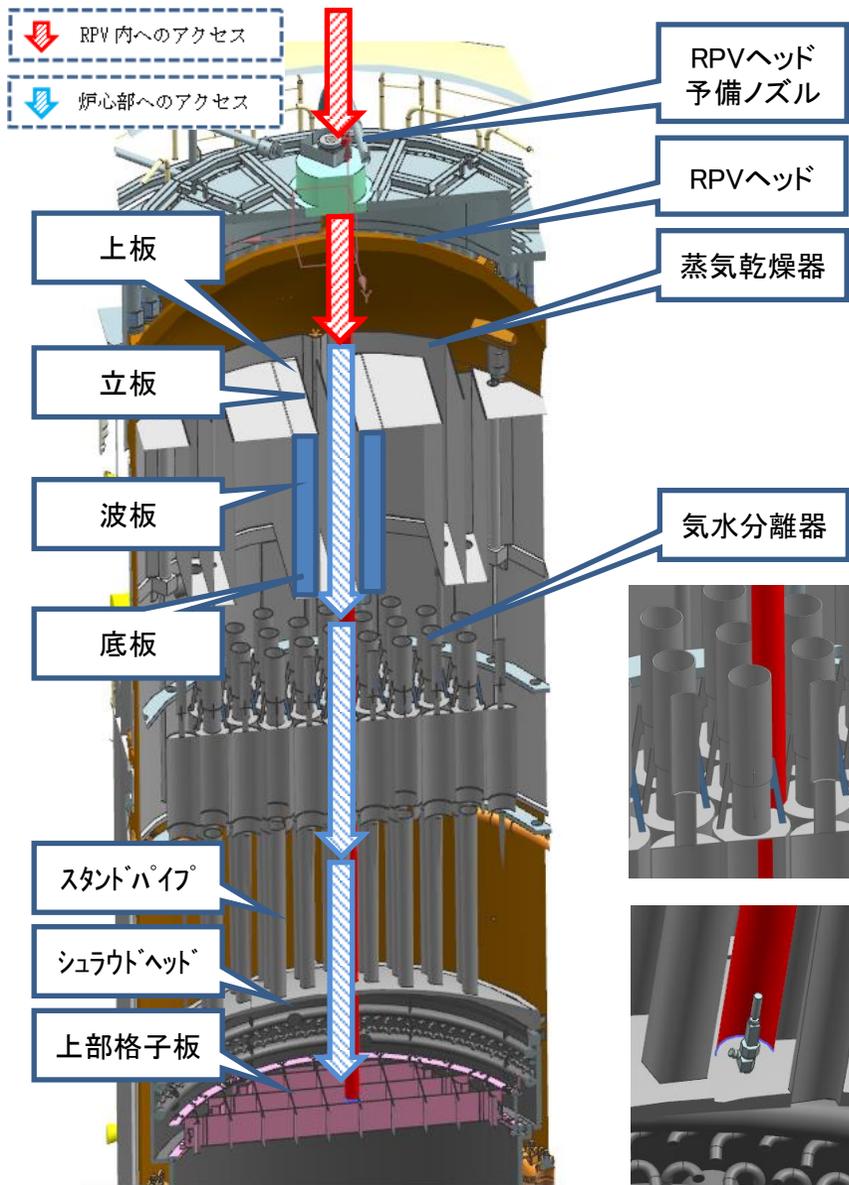


アクセスルート		ヘッドノズルから気水分離器			気水分離器3筒中心	ヘッドノズル中心	
		#1	#2	#3		1F-1	1F-2/3
蒸気乾燥器	上板	開口有	開口無・穴開要 (ヘッドノズル直下)		開口無・穴開要		
	波板/立板	外側通過			外側通過	(立板) 干渉有 切断要	(波板) 干渉有 切断要
	底板	開口有		開口無 穴開要	開口無・穴開要		
気水分離器	上部	内部通過 (底板開口部から進入要)			外部通過 φ140	干渉有・切断要 →加工片落下(炉内)	
	下部	内部通過			干渉有・切断要		
	最内筒	(ベーン部)内部通過φ30			外部通過 φ140	干渉有・切断要 →加工片落下(炉内)	
スタンドパイプ		内部通過				外側通過	
シュラウドヘッド		開口有			開口無・穴開要(φ100) (厚板加工片の落下防止)		
備考 (臨界リスク)		加工片発生無	加工片発生: 1箇所	加工片発生: 2箇所	加工片落下小	加工片落下大	加工片落下大
評価	加工時間	-	-	0.5	102 139	169	383
	表面剥離 (m <sup>2</sup> )	上段:1F-1 下段:1F-2/3			6.04 5.09	16.32	34.72

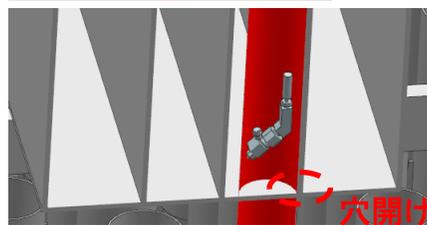
## 2.4 調査装置全体システムの設計と工法計画 (3) 炉内穴開け

No.65

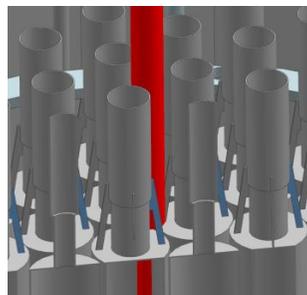
### 加工片落下最小のアクセスルート詳細(1F-1ベース)



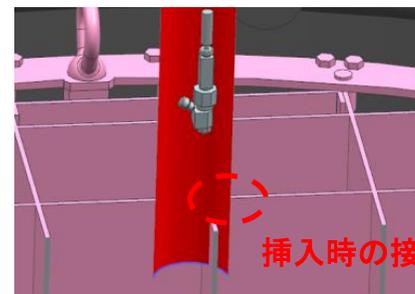
①予備ノズル  
気水分離器3筒中心は予備ノズル中心位置からずれる(0-180°方向で約100mm、90-270°方向で約10mm)



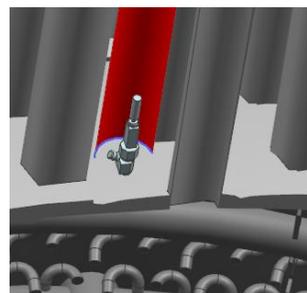
②蒸気乾燥器(底板)  
立板波板は回避可能。φ140mm穴開け時に立板と干渉の可能性有(3~4mm)  
(蒸気乾燥器板間:約170mm)



③気水分離器  
気水分離器3筒中心ならば加工片を炉心へ落下させずに切断可能性有。(気水分離器の間隔は約350mm)



⑥上部格子板  
気水分離器3筒中心は上部格子板と干渉の可能性有。(φ140mmの調査装置で約22mm干渉)



④スタンドパイプ  
スタンドパイプ外側を通過

⑤シュラウドヘッド  
厚板の加工片を炉心へ落下させずに穴開け可能性有(切断面を内側に傾斜させコルク栓状に加工する。この際、穴径は小さくなる(φ100mm程度))

## 2.4 炉内構造物のAWJ穴開け検討

### 作業時間・用役試算結果

加工対象	切断方法	RPVヘッド予備ノズル位置								気水分離器3筒中心位置				
		1F-1				1F-2, 3				1F-1/1F-2, 3				
		加工時間	高圧水 (kℓ)	ガーネット (t)	表面剥離 (m <sup>2</sup> )	加工時間	高圧水 (kℓ)	ガーネット (t)	表面剥離 (m <sup>2</sup> )	加工時間	高圧水 (kℓ)	ガーネット (t)	表面剥離 (m <sup>2</sup> )	
蒸気乾燥器	立板	組合せ	67	14.9	2.01	13.8	—	—	—	—	—	—	—	—
	波板	組合せ	—	—	—	—	244	54.2	7.32	32.2	—	—	—	—
	底板	単純	0.5	0.13	0.02	2.52	0.5	0.13	0.02	2.52	0.5	0.13	0.02	2.52
気水分離器	組合せ	101	22.4	3.03	—	138	30.6	4.14	—	101 / 138	22.4 / 30.6	3.03 / 4.14	3.32 / 2.37	
シュラウドヘッド	単純	0.5	0.12	0.02	—	0.5	0.12	0.02	—	0.5	0.12	0.02	0.2	
合計			169	37.55	5.08	16.32	383	85.05	11.5	34.72	102 / 139	22.65 / 30.85	3.07 / 4.18	6.04 / 5.09

加工時間はノズルの動作時間のみ。ツールの移動や交換，メンテ等の時間は含まない。

高圧水流量：3.7ℓ/min ガーネット供給量：500g/min

(1)炉心上部から圧力容器ヘッドまでのアクセス、(2)バウンダリ機能維持工法ステップの検討を実施。

ステップ	概略工法
①ウェルカバー開口位置決め	測量器による開口位置決めを実施。
②ウェルカバー穴開け	先行して小径の穴開けにて原子炉ウェル内部を確認後にコアボーリングにて本格穴開けを実施。
③PCVヘッド形状計測	レーザスキャンにてPCVヘッドのガイドパイプ取合部の形状を計測。
④ガイドパイプ設置	樹脂パッキン工法にてPCVヘッドとガイドパイプを固定。
⑤PCVヘッド穴開け	先行して小径の穴開けをドリルを用いて実施し、残留水素リスクを排除し、内部を確認後にAWJにて本格穴開けを実施。
⑥インシュレーション穴開け	先行して小径の穴開けをドリルを用いて実施し、残留水素リスクを排除し、内部を確認後にAWJにて本格穴開けを実施。
⑦RPVヘッド穴開け	先行して小径の穴開けをドリルを用いて実施し、残留水素リスクを排除し、内部を確認後にAWJにて本格穴開けを実施。
ガイドパイプ保守	ガイドパイプを取り外し、ガイドパイプ先端のシールハウジングのみを交換する。

# 2.4(1)(2) ①ウェルカバー開口位置決め/②ウェルカバー穴開け

①-1 ウェルカバーの穿孔目標位置出し



①-2 穴開け位置へのマーキング



②-1 コアボーリング装置の設置



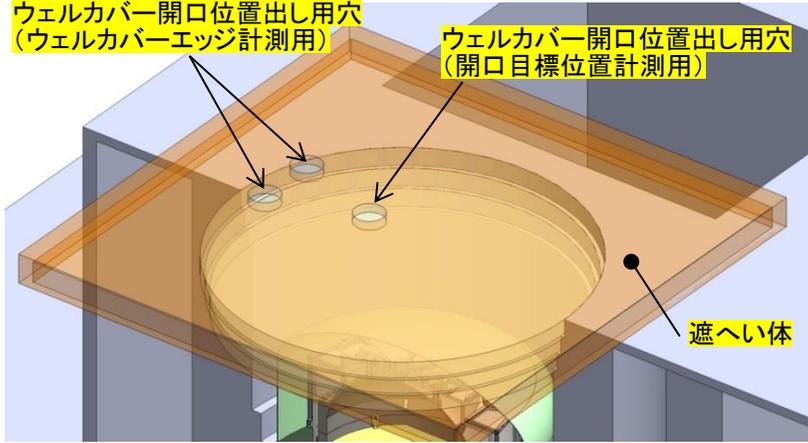
②-2 ウェルカバーの穿孔 (1,2層目)



②-3 ウェルカバー3層目の落下防止措置



②-4 ウェルカバーの穿孔 (3層目の本格穴開け)



①-1.2 ウェルカバーの穿孔位置出し

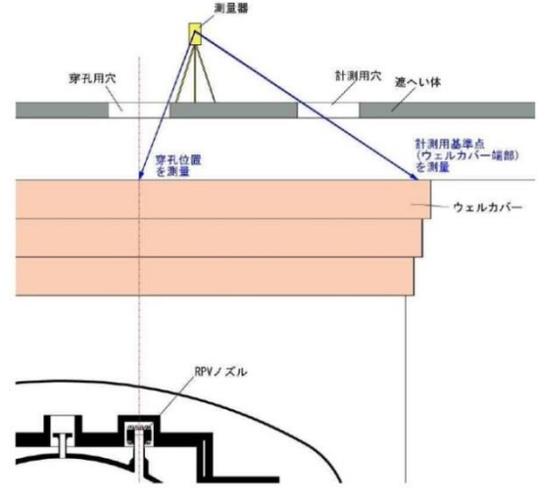
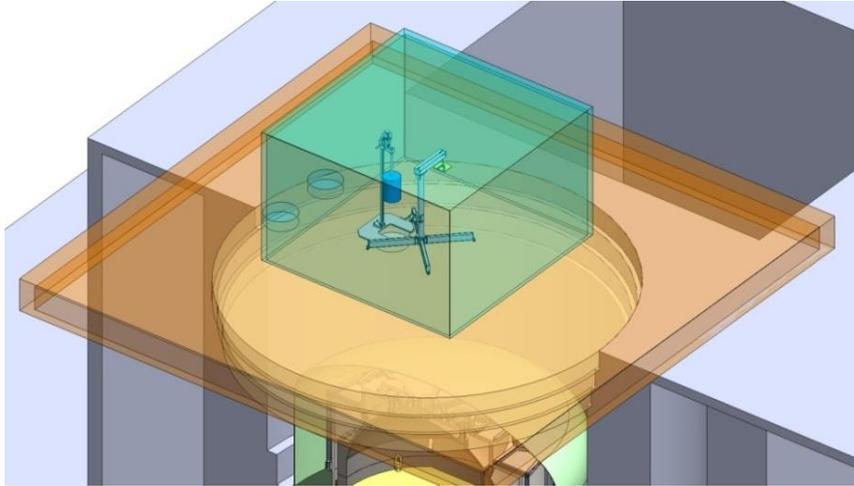


図 測量器による位置決めの工法ステップ概要(側面図)

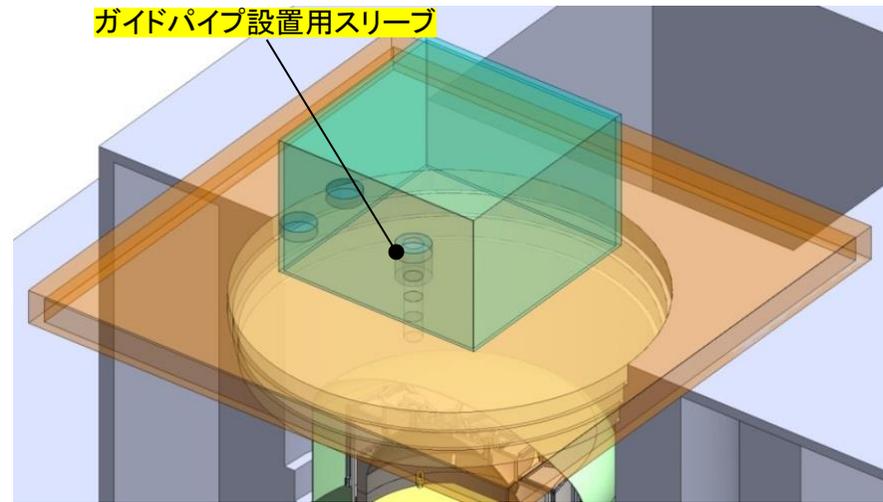
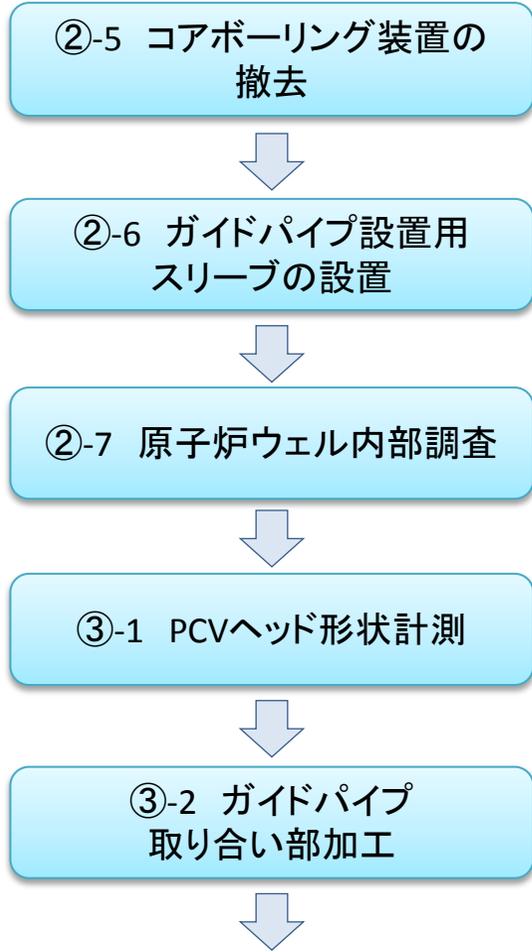


②-1~4 コアボーリング装置の設置、ウェルカバーの穴開け



図 落下防止用具

## 2.4(1)(2) ②ウェルカバー穴開け/③PCVヘッド形状計測



②-5.6 コアボーリング装置の撤去、スリーブの設置

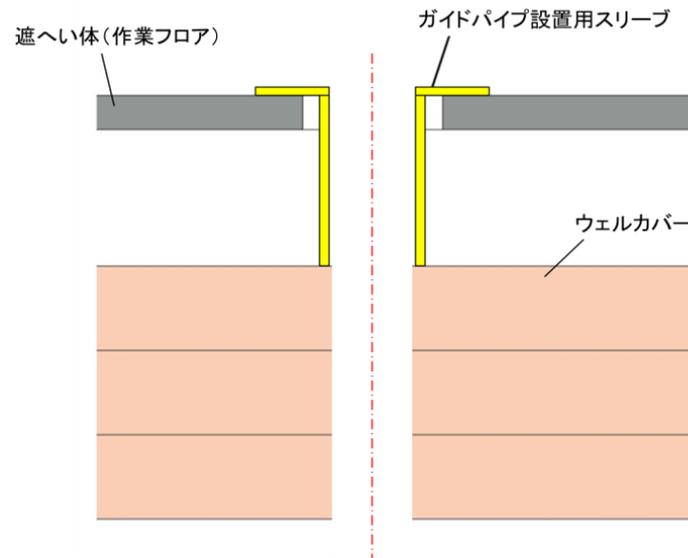
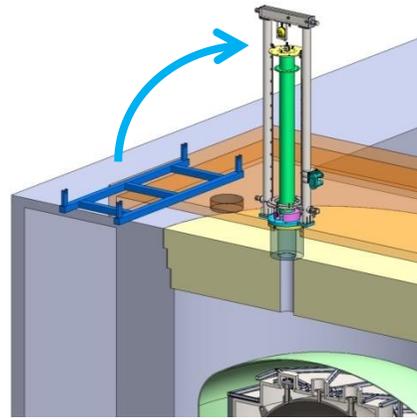
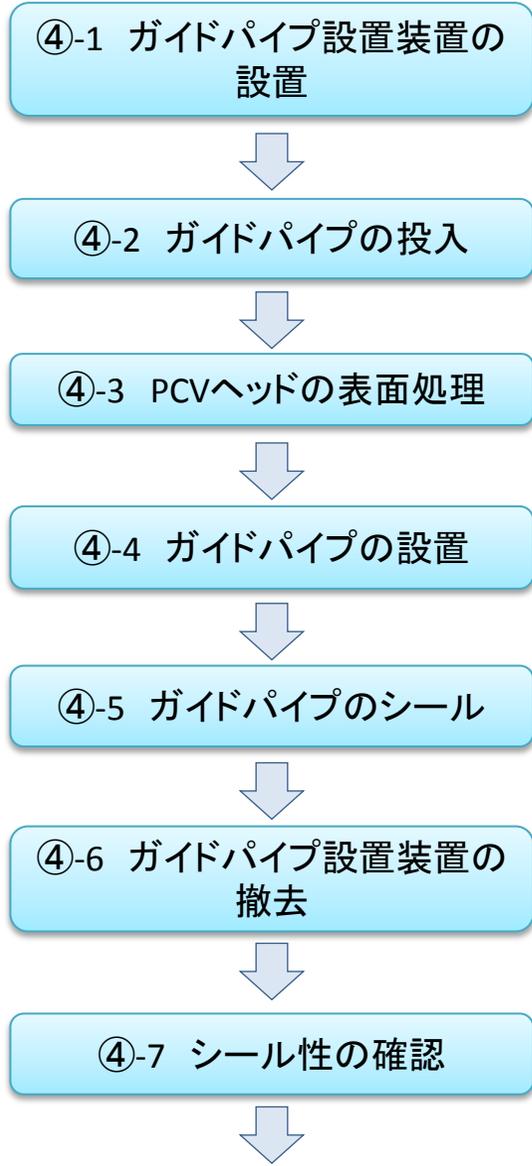
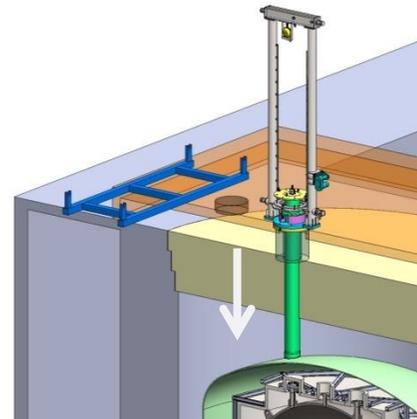


図 ガイドパイプ設置用スリーブの設置方法概要

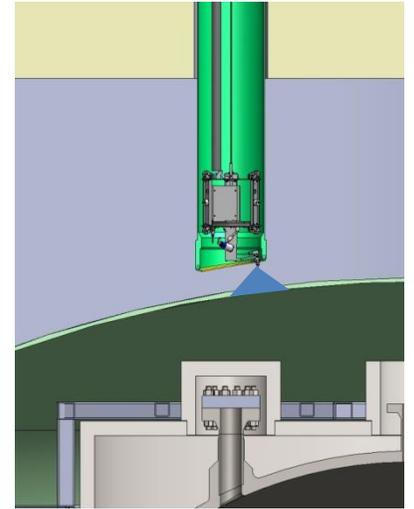
# 2.4(1)(2) ④ガイドパイプ設置



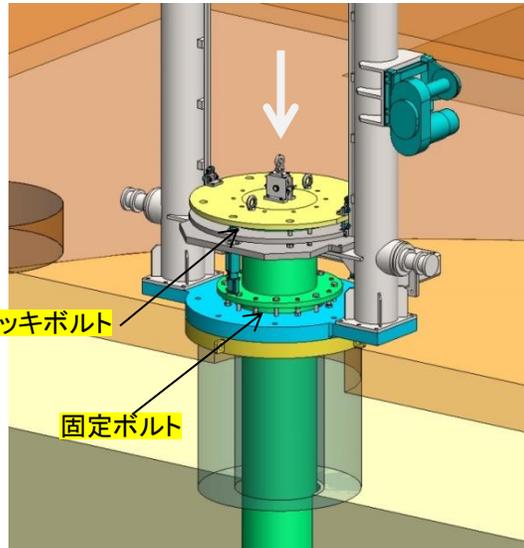
④-1 ガイドパイプ設置装置の設置



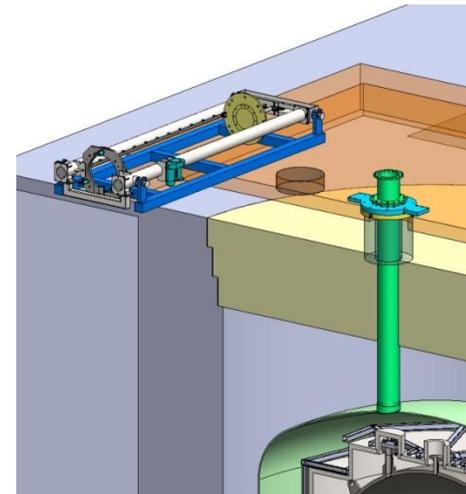
④-2 ガイドパイプの投入



④-3 PCVヘッドの表面処理



④-4、5 ガイドパイプ固定およびシール



④-6 設置装置の撤去

# 2.4(1)(2) ⑤PCVヘッド穴開け

⑤-1 小径の先行穴開け (ドリル)



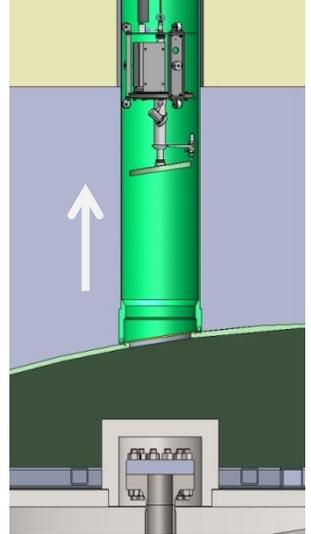
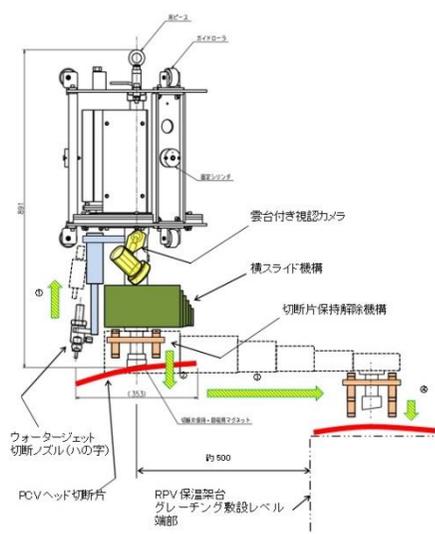
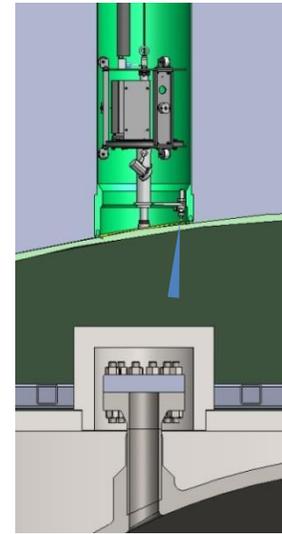
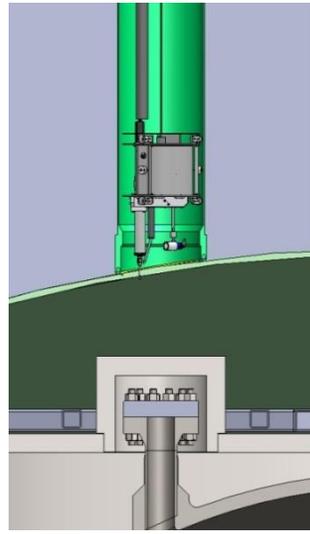
⑤-2 本格穴開け (AWJ)



⑤-3 切断片の回収or残置



⑤-4 PCVヘッド内部調査



⑤-1 小径の先行穴開け

⑤-2 本格穴開け

⑤-3 加工片を残置する場合

⑤-3 切断片を回収する場合

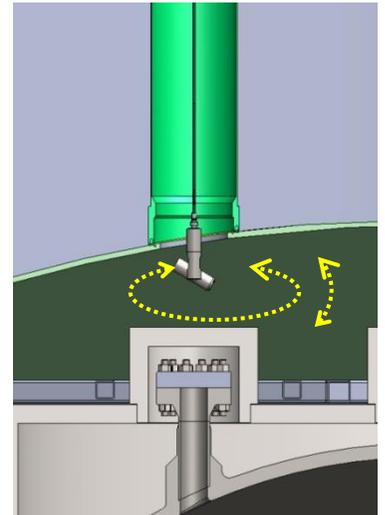
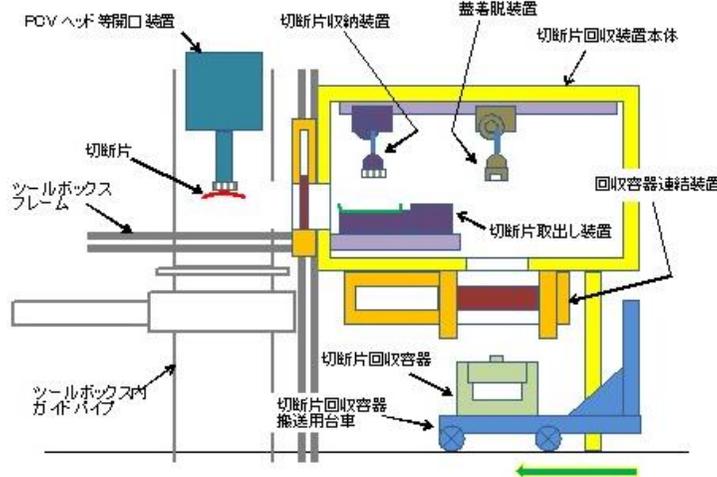


図 切断片回収装置概念図

PCVヘッド/インシュレーション/RPVヘッドフランジ穴開け 共通

⑤-4 PCVヘッド内部調査

# 2.4(1)(2) ⑥インシュレーション穴開け

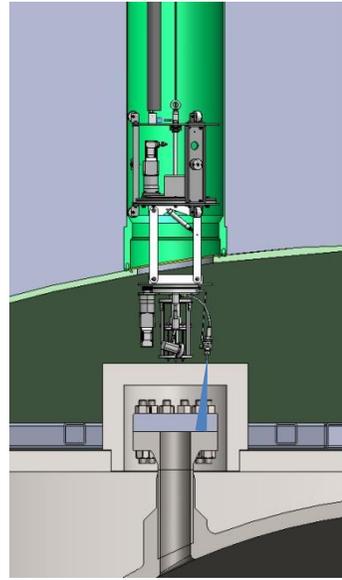
⑥-1 本格穴開け (AWJ)



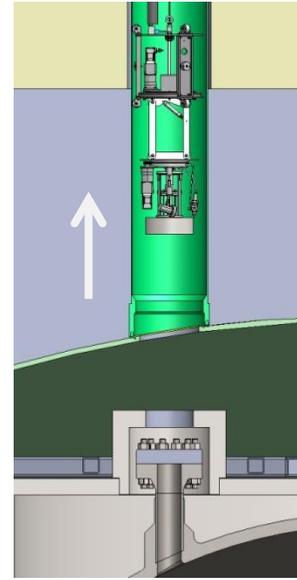
⑥-2 切断片の回収or残置



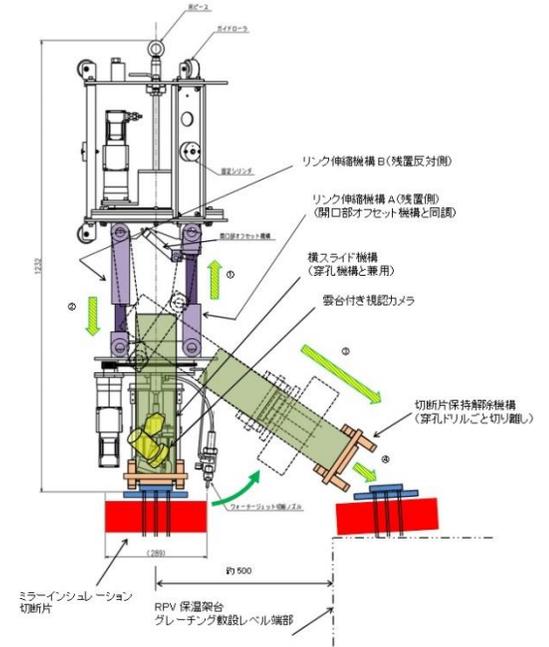
⑥-3 インシュレーション内部調査



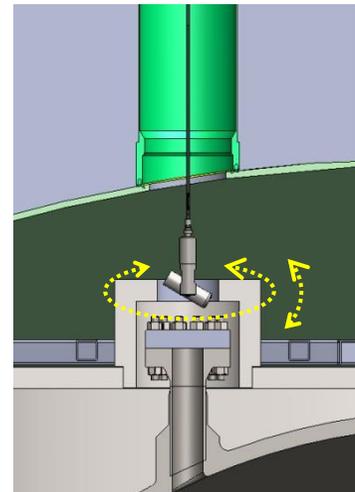
⑥-1 本格穴開け



⑥-2 切断片を回収する場合



⑥-2 切断片を残置する場合



⑥-3 インシュレーション内部調査

# 2.4(1)(2) ⑦RPVヘッド穴開け(フランジ部開口の場合)

⑦-1 小径の先行穴開け  
(ドリル)



⑦-2 本格穴開け  
(AWJ)



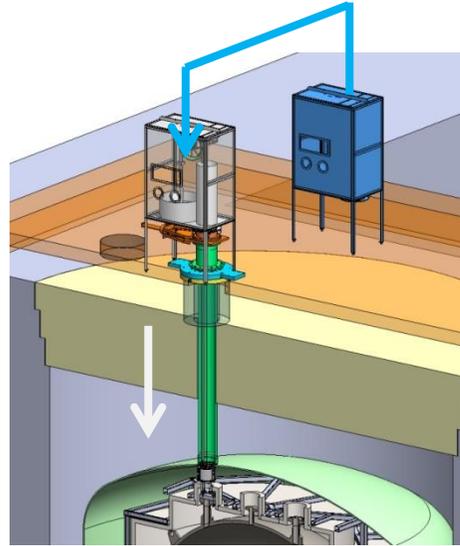
⑦-3 切断片の回収or残置



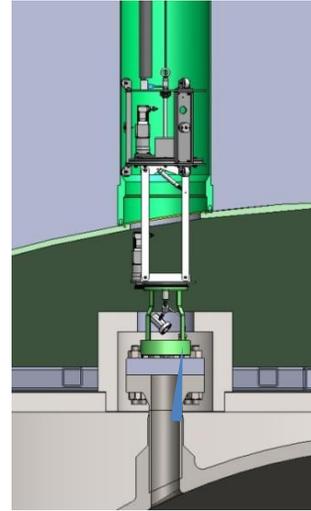
⑦-4 RPVヘッド内部調査



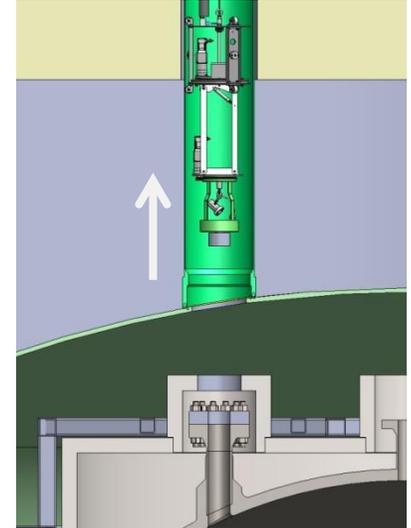
炉内構造物加工へ



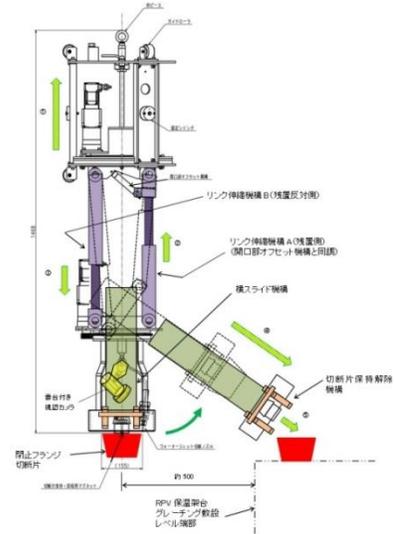
⑦-1 小径の先行穴開け



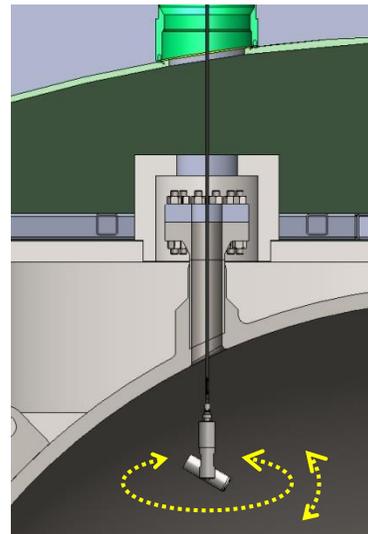
⑦-2 本格穴開け



⑦-3 切断片を回収する場合



⑦-3 加工片を残置する場合



⑦-4 RPVヘッド内部調査

# 2.4(1)(2) ⑦RPVヘッド穴開け(予備ノズル撤去の場合)

⑦-1 小径の先行穴開け  
(ドリル)



⑦-2 本格穴開け  
(AWJ)



⑦-3 予備ノズル撤去



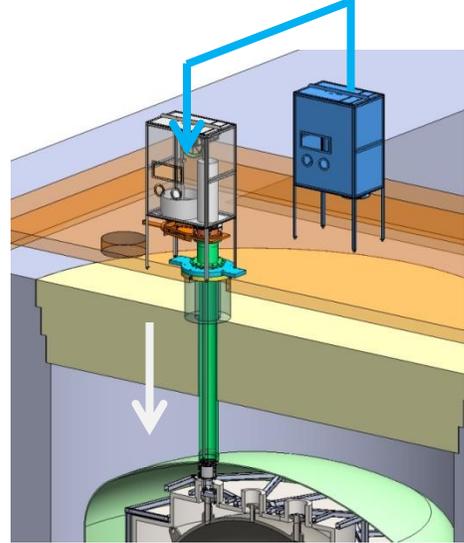
⑦-4 切断片の回収/残置



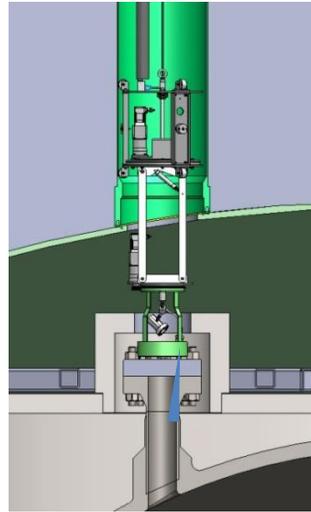
⑦-5 RPVヘッド内部調査



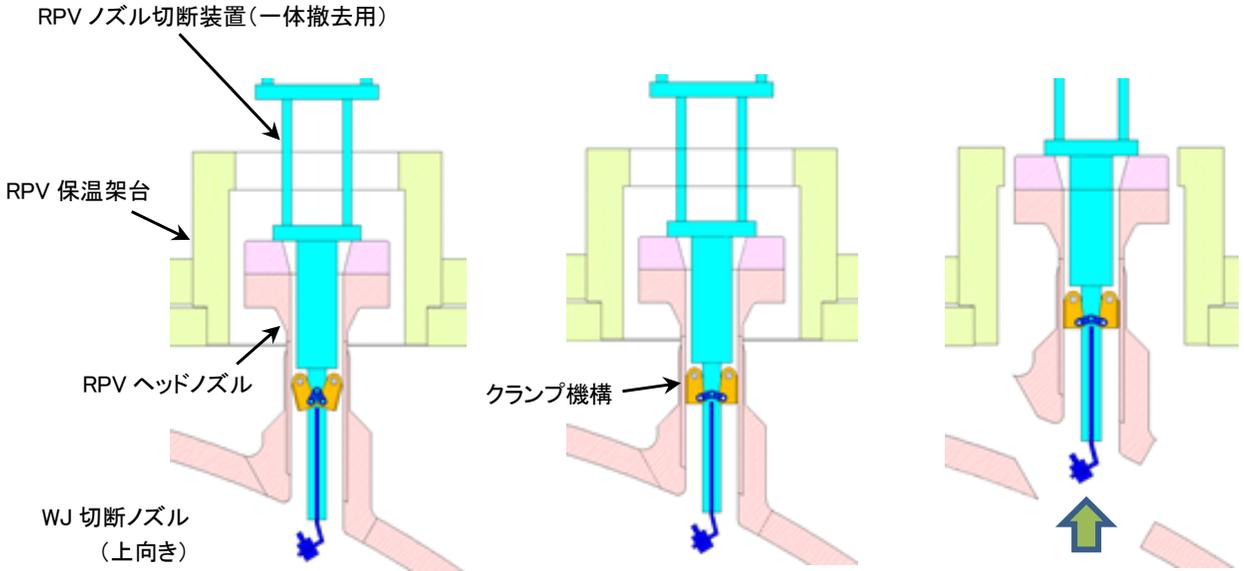
炉内構造物加工へ



⑦-1 小径の先行穴開け



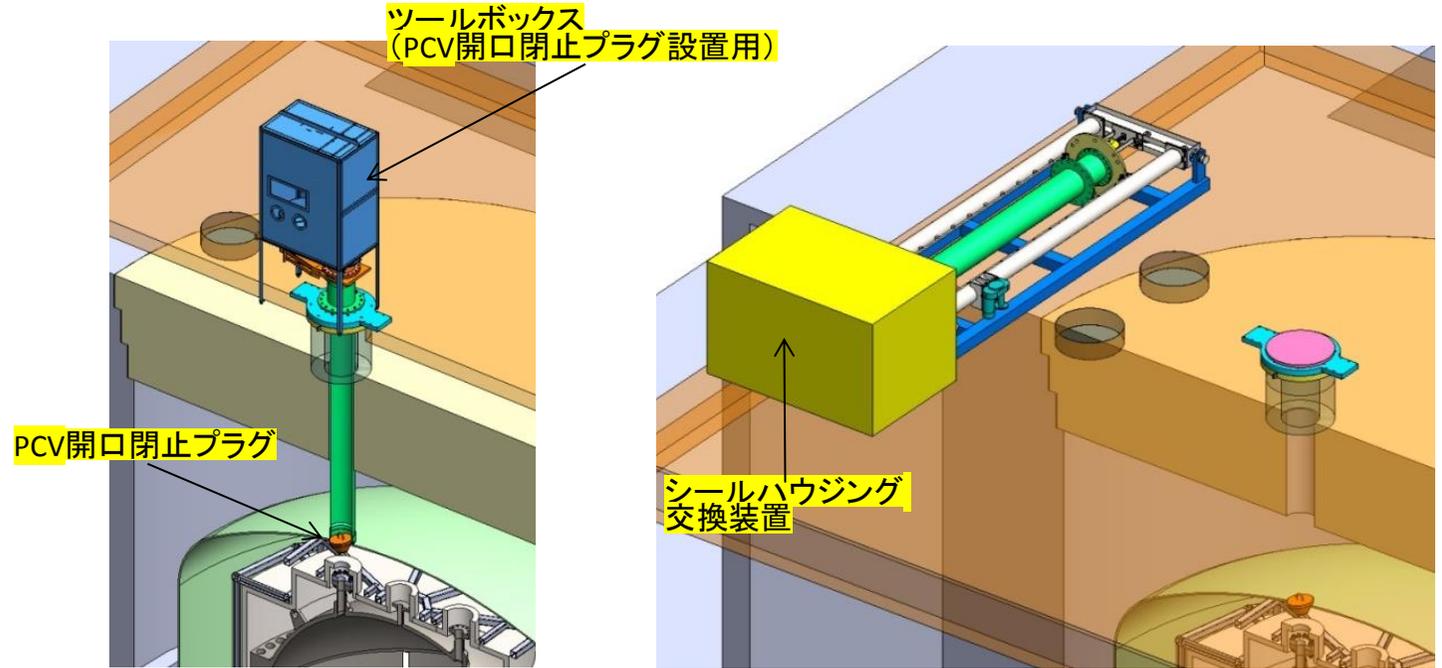
⑦-2 本格穴開け



⑦-3 予備ノズル撤去(一体撤去の場合)

# 2.4(1)(2) ガイドパイプ保守

- 1 PCV開口閉止プラグの取り付け
- ↓
- 2 ガイドパイプ設置装置の設置
- ↓
- 3 ガイドパイプの引き上げ
- ↓
- 4 シールハウジングの取り外し
- ↓
- 5 シールハウジングの取り付け
- ↓
- 6 ガイドパイプの下降および再設置
- ↓
- 7 PCV開口閉止プラグの取り外し



1 閉止プラグの取り付け

3 ガイドパイプの引き上げ

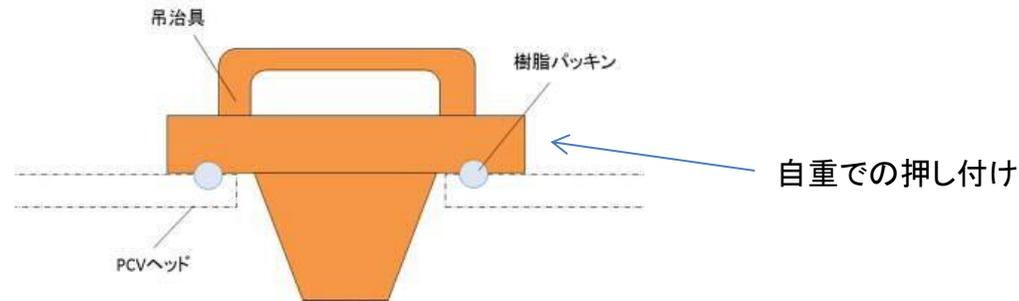


図 PCV開口閉止プラグ概念図

- 調査計画・開発項目の立案・更新
  - ニーズの再調査・整理し、調査の価値の評価を行った結果、更新・追加となった開発項目として以下を抽出した。
    - ・ 側面穴開け工法の成立性概念検討⇒追加
    - ・ 炉心部・炉底部の調査方法・装置の開発⇒更新
- 上部から炉心にアクセスする装置の開発
  - 圧力容器ヘッドまでのアクセス用穴開け装置・バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置について概念設計を実施。また要素試験にてPCVヘッド表面洗浄後のバウンダリ機能維持装置のシール性を確認。
  - 遠隔で狭隘部の炉内構造物に開口を設けるAWJ小型ツールヘッドを試作し、要素試験で穴開け加工性・作業性を確認。炉内穴開け装置について概念設計を実施。
- 炉心部までの調査方式の開発、選定
  - 調査装置・アクセス装置について概念設計を実施。調査装置としては要素試験の結果、撮像管カメラもしくはCIDカメラを候補として選定。
- 調査装置全体システムの設計と工法計画
  - 原子炉ウェル内部や各構造物、炉心部までのアクセスルート状況、線量率等が不明なため、安全・確実な工法とするために、アクセスルートの設定、構築に際して作業ステップを細分し、実施計画について検討を実施。