

# 平成27年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 原子炉圧力容器内部調査技術の開発

## 最終報告

平成30年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

# 目次(1/3)

- 1.研究の背景・目的
- 2.目標
- 3.実施項目とその関連、他研究との関連
- 4.実施スケジュール
- 5.実施体制図
- 6.実施内容
  - (1)前提条件(前年度までの成果含む)
  - (2)考慮すべき安全性要件
  - (3)調査に必要な機能・装置:上部穴開け調査工法
- 6.1 上部から炉心にアクセスする装置の開発
  - 6.1.1 原子炉圧力容器(RPV)ヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発
    - (1)ツールボックスとガイドパイプの接合について
    - (2)RPVヘッドまでの加工装置について
    - (3)RPVヘッド予備ノズル撤去試験体系
    - (4)RPVヘッド予備ノズル撤去試験結果

# 目次(2/3)

## 6.1.2 バウンダリ機能維持装置・作業用セルの開発

- (1)被ばく評価結果、今後の調査方針
- (2)作業用セル 原子炉格納容器(PCV)内負圧環境で実施とした場合の  
汚染拡大防止計画
- (3)作業用セル内の負圧管理方法の検討
- (4)作業用セル外観
- (5)ガイドパイプシール構造の変更
- (6)ガイドパイプシール試験結果

## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

- (1)炉内穴開け装置の設計検討
- (2)炉内穴開け装置試作機の組立状況
- (3)要素試験 ①切断条件確認試験 ②遠隔施工性確認試験

## 6.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

- (1)装置コンセプト検討結果
- (2)バウンダリの構成
- (3)調査孔の掘削
- (4)バウンダリの維持(ダスト拡散防止)の考え方

# 目次(3/3)

## 6.3 炉心部までの調査方式の開発、選定

- (1)調査装置A(事前確認用) 調査仕様と装置要求仕様
- (2)調査装置B(本格調査用) 調査仕様と装置要求仕様
- (3)調査装置C(本格調査用) 調査仕様と装置要求仕様
- (4)検討結果

## 6.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

- (1)加工・調査ステップの検討(上部穴開け調査工法)
- (2)調査の全体計画(案)

## 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】

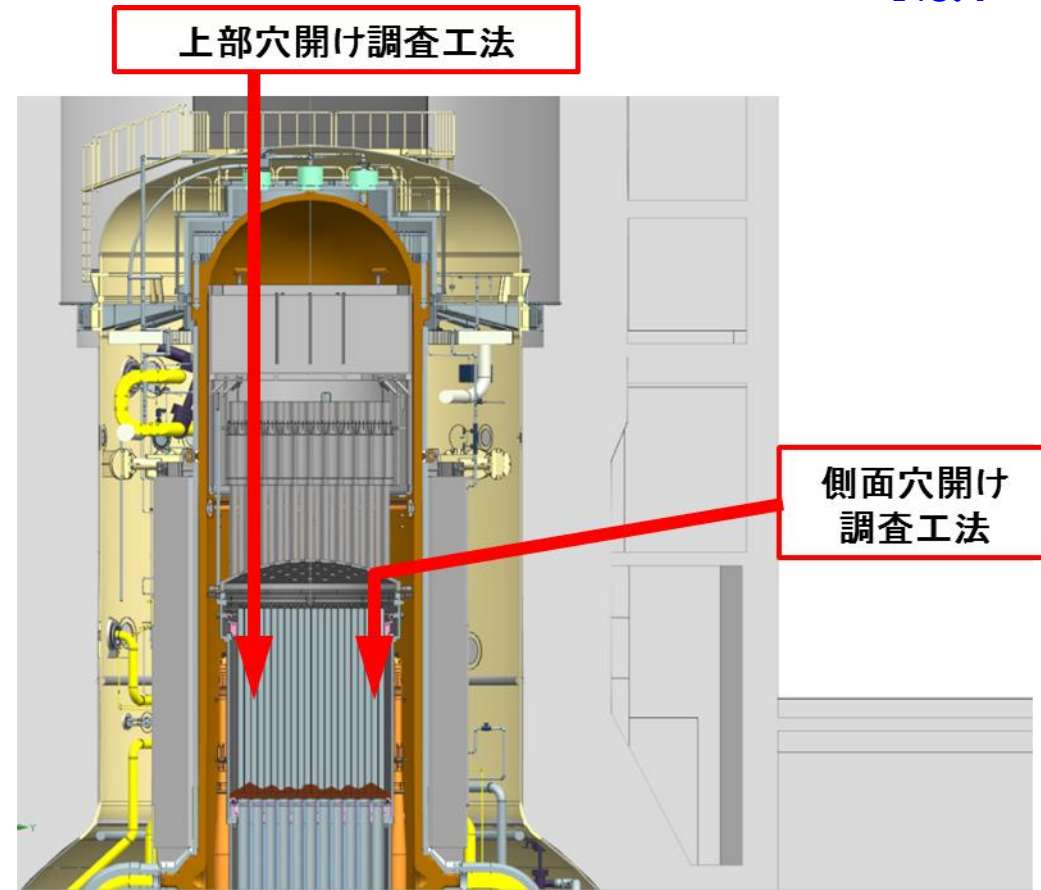
燃料デブリを取り出すためのRPV内部の基礎情報(燃料デブリの分布、線量、構造物の状態等)の取得。

## 【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。

## 【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、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)

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                                                                                                                                                               |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 調査計画・開発計画の立案・更新                | 燃料デブリ取り出し方法の確定やその後の燃料デブリ取り出しのための調査ニーズ、または、許可取得のための調査ニーズを踏まえ、RPV内部調査の各工程について複数案を検討し、検討された案に対して、比較評価を行い、最適な技術の選択を行い、調査計画・開発計画が立案されていること。(情報整理のため技術成熟度(TRL)目標設定の対象外とする) |
| 炉心にアクセスする装置の開発                 | —                                                                                                                                                                    |
| 6.1 上部からアクセスする装置の開発            | —                                                                                                                                                                    |
| 6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発   | RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置に関し、実機適用への実現性が評価されていること。(終了時目標TRL:レベル4)                                                                                                           |
| 6.1.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発 | バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置に関し、実機適用への実現性が評価されていること。(終了時目標TRL:レベル4)                                                                                                         |
| 6.1.3 炉内穴開け装置の開発               | 遠隔操作による炉内構造物への穴開け加工技術の実機適用への実現性が評価されていること。(終了時目標TRL:レベル4)                                                                                                            |
| 6.2 側面からアクセスする装置の開発            | RPV側面穴開けによる炉心部までの調査方式に関し、調査工法の適用性評価結果を踏まえ、調査工法の概念設計を行い、実機適用への実現性が評価されていること。(終了時目標TRL:レベル3～4)                                                                         |
| 6.3 炉心部までの調査方式の開発、選定           | 炉心部までの調査方式に関し、「燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業(視覚・計測技術)」の成果等を活用し、実機適用への実現性が評価されていること。(終了時目標TRL:レベル4)                                                                        |
| 6.4 調査装置全体システムの設計と工法計画         | 規制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、原子炉建屋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が策定されていること。(情報整理のため技術成熟度(TRL)目標設定の対象外とする)                                         |

# 3.1 本研究の実施項目

No.6

| #     | 項目                   | 平成27年度までの成果                                                                                                            | 平成28～平成29年度の実施内容                                                                                                                                                  | 対応方針・解決手段                                                                                                                                                                          |
|-------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| —     | 調査計画・開発計画の立案・更新      | <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>・側面穴開け調査工法の成立性検討</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>                                                                                               |
| 6.1.1 | 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～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、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> <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>➢ 遠隔操作による作業手順について、部分試作による工法・装置の検証。</li> </ul> </li> </ul>                      |
| 6.1.2 | バウンダリ機能維持装置          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本概念立案・平成27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、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>➢ 穴開け装置との整合確認。</li> </ul> </li> </ul>             |
|       | 作業用アクセス装置（作業用セル）     | <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>➢ 穴開け装置との整合確認。</li> </ul> </li> </ul>                                               |
| 6.1.3 | 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：狹隘・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> </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> |
| 6.2   | 側面からアクセスする装置の開発      | —                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・側面穴開け調査工法の成立性見極め</li> <li>・側面穴開け調査工法の概念設計</li> <li>・側面穴開け調査工法の装置設計</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ バウンダリ確保に留意した工法の確立</li> <li>➢ 装置の仕様検討</li> </ul>                                                                                           |
| 6.3   | 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>・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、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>                   |
| 6.4   | 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>・5.1～5.3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。装置の取り出し・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>                                                                  |



## 3.2 実施項目間の関係性

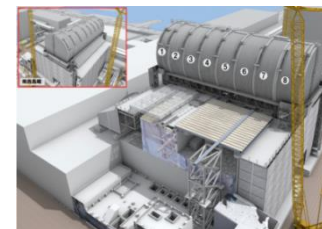
No.7

- ・ユーティリティ機能・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  
→6.1.2項

ツールボックス  
(各加工・調査装置)

燃料プール内燃料取り出し作業後の環境整備、作業エリア構築  
原子炉格納容器内負圧化作業 等  
→本事業範囲外

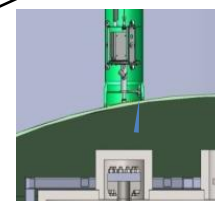


各加工装置  
～RPVヘッドまでの穴開け  
→6.1.1項

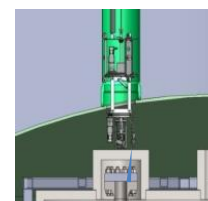
- ・各開口装置
- ・小径穿孔装置 等

バウンダリ機能維持装置  
→6.1.2項

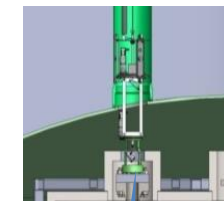
- ・ツールボックス
- ・ガイドパイプ
- ・シール機構(樹脂パッキン) 等



PCVヘッド加工装置



保温材加工装置



RPVヘッド加工装置

全体システム・工法計画  
→6.4項

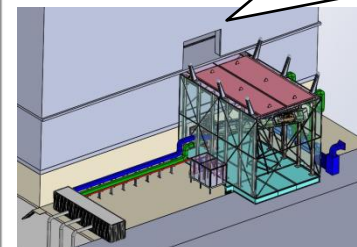
炉内構造物加工(穴開け)装置  
～炉内(上部格子板までの穴開け)  
→6.1.3項

- ・ツールヘッド(アブレイブウォータージェットノズル)
- ・アクセス装置(ツールボックス格納) 等



炉内構造物穴開け  
アクセス装置

側面からアクセスする装置の開発  
→6.2項、6.3項※



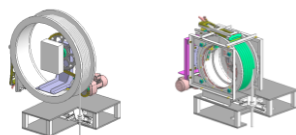
側面穴開け調査工法概要



アブレイブ  
ウォータージェット  
ツール  
ヘッド

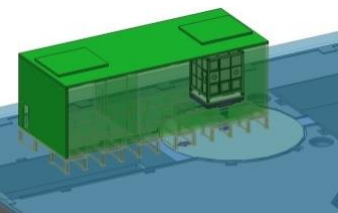
炉心部・炉底部までの調査装置  
→6.3項

- ・吊り降ろし装置
- ・カメラ
- ・線量計
- ・横展開機構 等

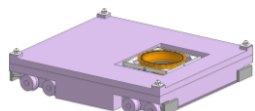


アクセス(吊り降ろし)装置

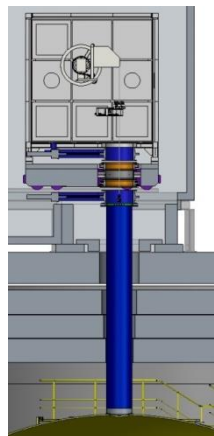
炉心部



上部穴開け調査工法概要



ツールボックス搬送台車



バウンダリ機能維持  
システム構成



ガイドパイプシール部

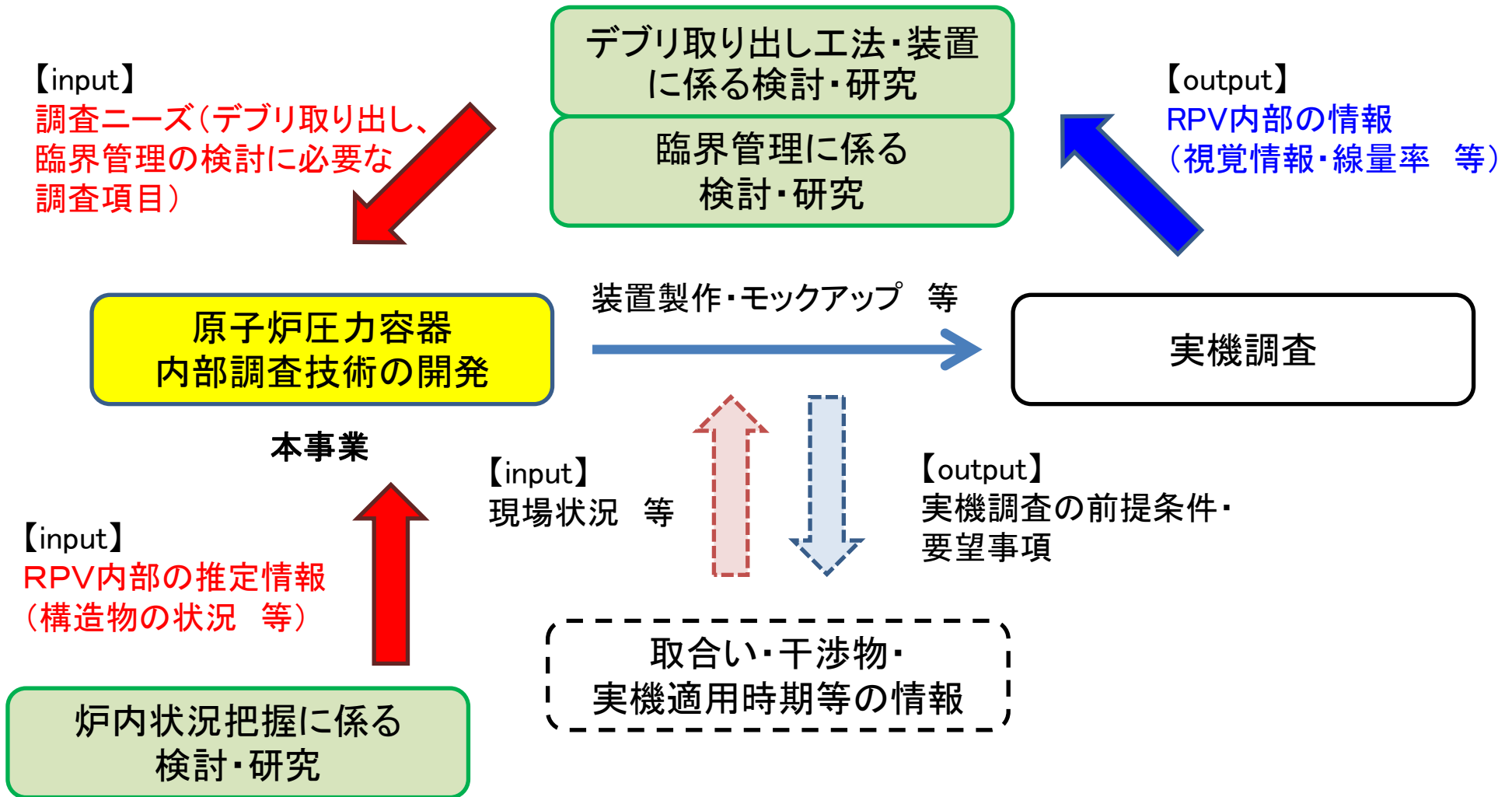


本格調査用  
調査装置



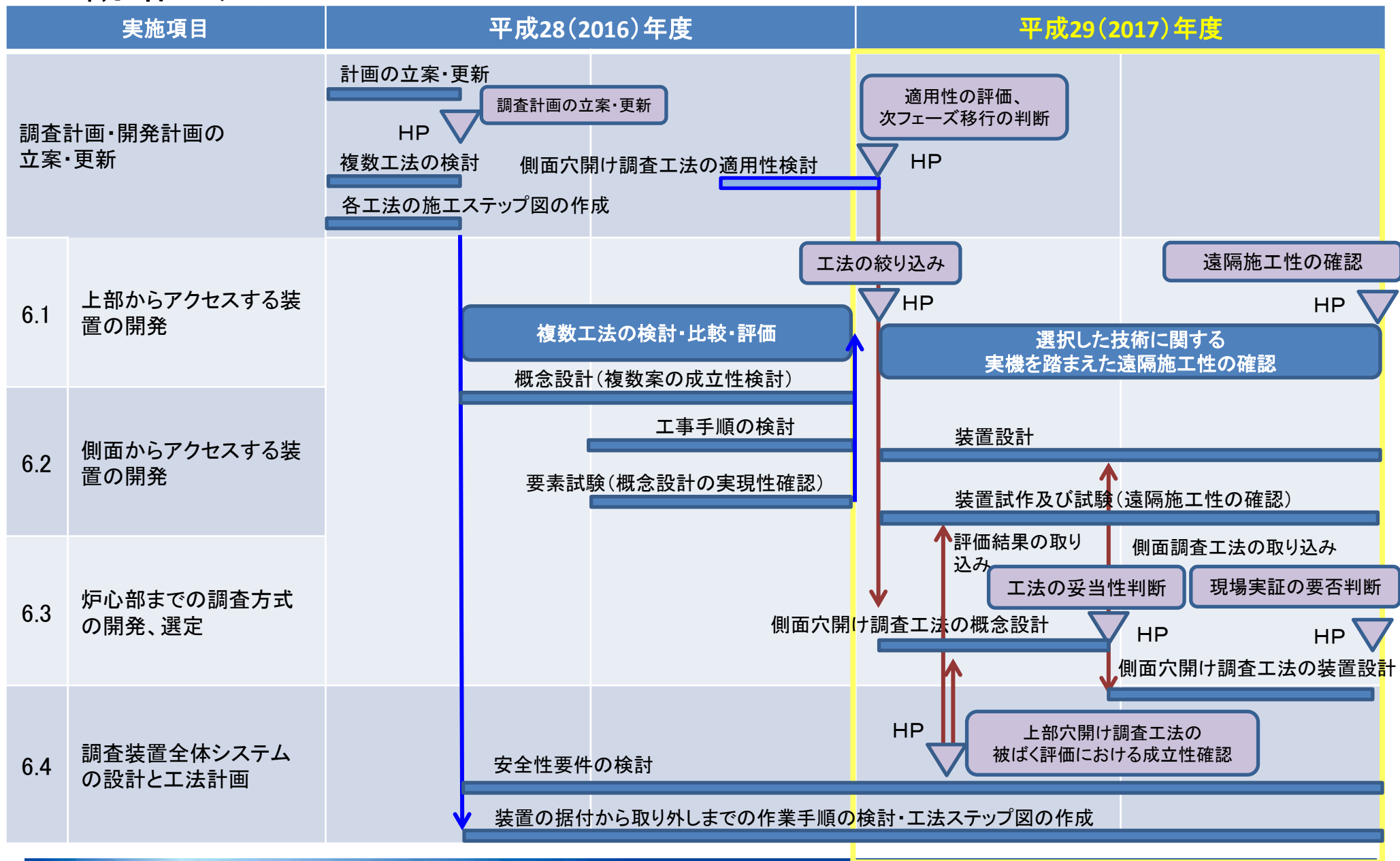
事前確認用  
調査装置





# 4. 概略スケジュール

No.9

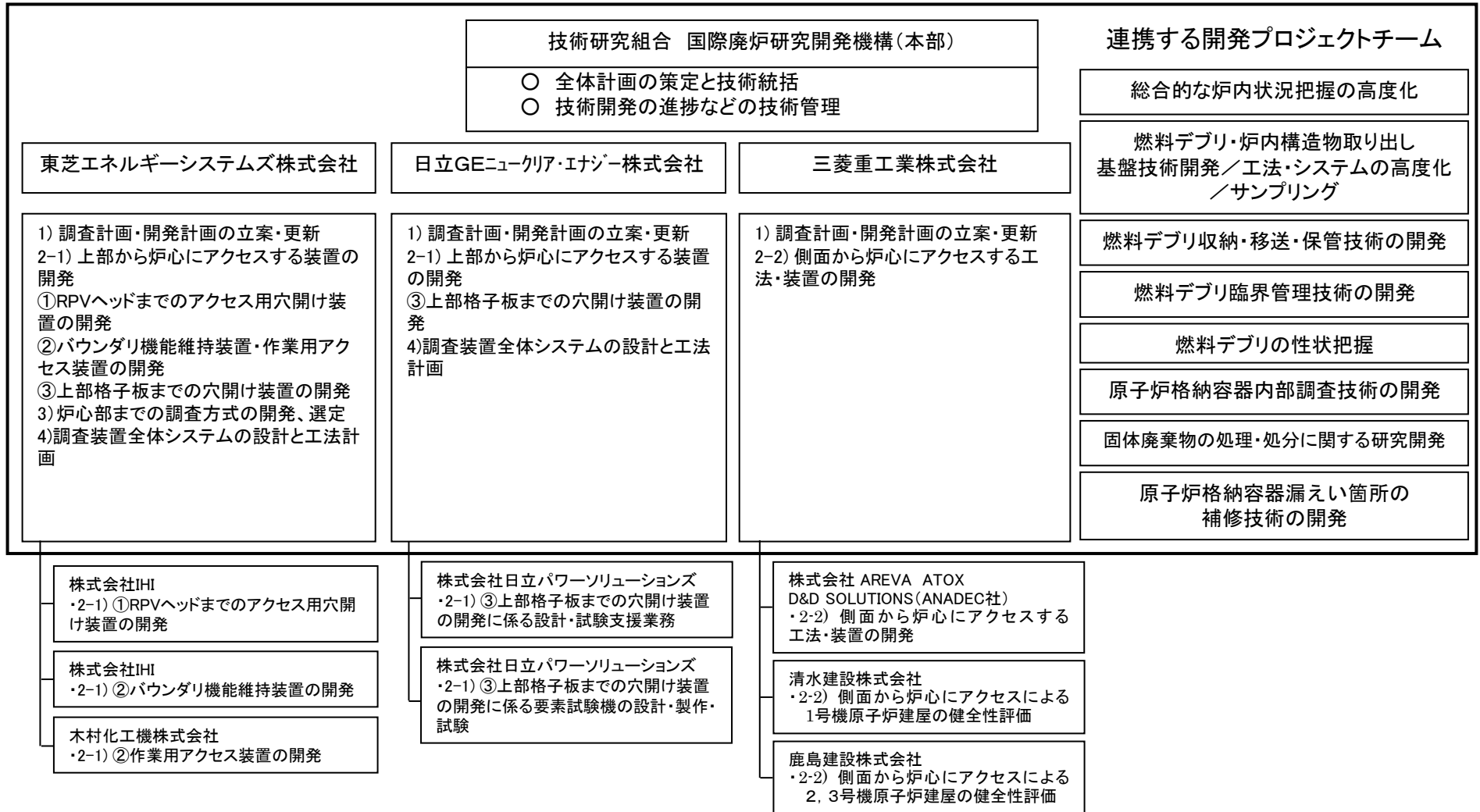


# 5. 実施体制図

No.10

実施責任者(正) : 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)  
 実施責任者(副) : (技術研究組合 国際廃炉研究開発機構: 東芝エネルギーシステムズ株式会社

東京電力ホールディングス株式会社



備考：一般競争入札等により選定

## 6. 実施内容 (1)前提条件(前年度までの成果含む)

No.11

| 項目                      | 内容                                                                                                                                             |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 調査ニーズ<br>(昨年度までの成果)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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、デブリ取り出し装置の詳細設計に反映可能。</li> <li>・取得するデータは視覚的なデータと線量率の2項目。</li> </ul>          |
| 検討対象号機<br>(昨年度までの成果)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・上部穴開け:3号機</li> <li>・側面穴開け:2号機</li> </ul>                                                               |
| アクセスルート<br>(昨年度までの成果)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・上部穴開け:RPV予備ノズル直上</li> <li>・側面穴開け:R/B東側空調機室屋上</li> </ul>                                                |
| 想定空間線量率<br>(最大)         | ドライウェル:16 Sv/h<br>炉内(蒸気乾燥器・気水分離器近傍):800 Sv/h<br>炉内(炉心近傍):5000 Sv/h                                                                             |
| 想定される各構造物<br>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。<br>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<br>(霧環境下)         | 46%(PCV内部調査結果より最も厳しい条件である1号機の値:吸収係数 0.511)                                                                                                     |
| 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。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             | 臨界管理の観点から、まずは加工片を炉心に落下させない方針で検討する。                                                                                                             |
| バウンダリについて<br>(昨年度までの成果) | バウンダリについてはPCVで構築する。オペフロ及び空調機械室屋上に設置する作業用セルについて、自らの開口部に対して放射性物質が漏えいした場合に備えてセル内に負圧環境を構築する方針とする。                                                  |

## 6. 実施内容 (2) 考慮すべき安全性要件

No.12

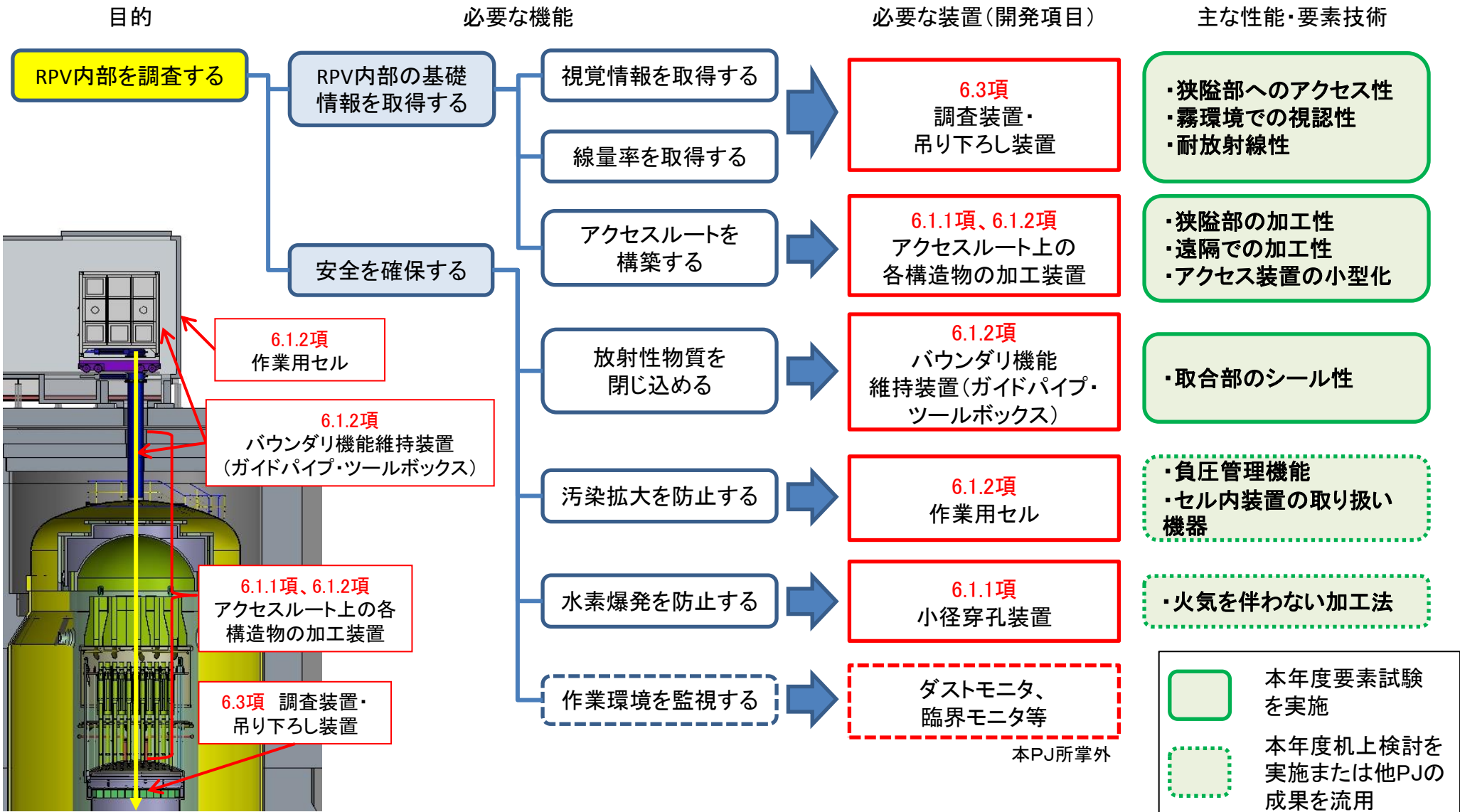
| 安全要求              | 想定する事象                   | 対応状況・対応方針                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 気相部への放射性物質の漏えいの防止 | 各作業時に気層部への放射性物質の移行       | PCVでバウンダリを構築。汚染拡大防止として、作業エリアは負圧環境を構築する。作業時にはモニタリング、建屋内の局部排気等を行う計画。<br>PCV、RPV及び炉内構造物切削に伴う放射性ダスト量に基づいて、敷地境界における公衆被ばく量と、建屋内における作業員の被ばく量を評価。上部穴開け調査工法は、加工時のR/B内の汚染を考慮し、PCV内部は負圧環境を構築後に実施する方針。側面穴開け調査工法の場合には、現状のPCV内微加圧状態であっても被ばく量の基準値を満足できることを確認。 |
| 液相部への放射性物質の漏えいの防止 | 各作業時に液相部への放射性物質の移行       | 加工時に放射性物質を含んだ水がPCV外に流入→トーラス室、PCV内に流入→ペデスタル内へ移行した際の濃度評価について水系システムの検討状況を踏まえ、継続検討。                                                                                                                                                                |
| 燃料デブリ冷却機能の維持      | 燃料デブリの冷却機能の喪失            | 現状使用している配管を回避するアクセスルートを選定。                                                                                                                                                                                                                     |
| 臨界管理、未臨界の維持       | 加工片の落下によるデブリ形状の変化に伴う臨界発生 | 加工物量が少なく、加工片を極力炉心部へ落下させないアクセスルート・工法を検討。側面穴開け調査においてシュラウドヘッドを切削する際には、できる限り切削物を細かに切削することで、切削物の炉内落下に伴う再臨界の可能性を低減するような作業管理を検討。<br>また、臨界管理プロジェクトと連携して、臨界に影響する切削物重量評価を継続検討。                                                                           |
| 火災・爆発の防止          | 加工時の水素爆発                 | 上部穴開け調査工法において、PCVヘッド、RPVヘッド小径穿孔時に水素対策を考慮した加工を実施。                                                                                                                                                                                               |
| 重量物落下の防止          | 重量物落下に伴う放射性物質の飛散・拡散      | 重量物落下を起こさない装置設計を実施(多重化・多様化等)。                                                                                                                                                                                                                  |
| 調査工事に伴う建屋崩壊の防止    | 装置設置に伴う建屋の崩壊             | 側面穴開け調査において作業用セルを設置する予定の空調機器室屋上の床スラブ強度が、作業用セル他の装置重量による荷重に耐えられるよう、支持構造物の基本設計を実施。原子炉建屋の壁に調査用掘削孔を穿孔することによる建屋耐震性について評価して、先行に伴う影響は軽微であることを確認。                                                                                                       |



# 6. 実施内容 (3)調査に必要な機能・装置:上部穴開け調査工法

No.13

安全を確保しつつ調査を実施するために必要な機能、装置を以下に整理した(評価項目は省略)。

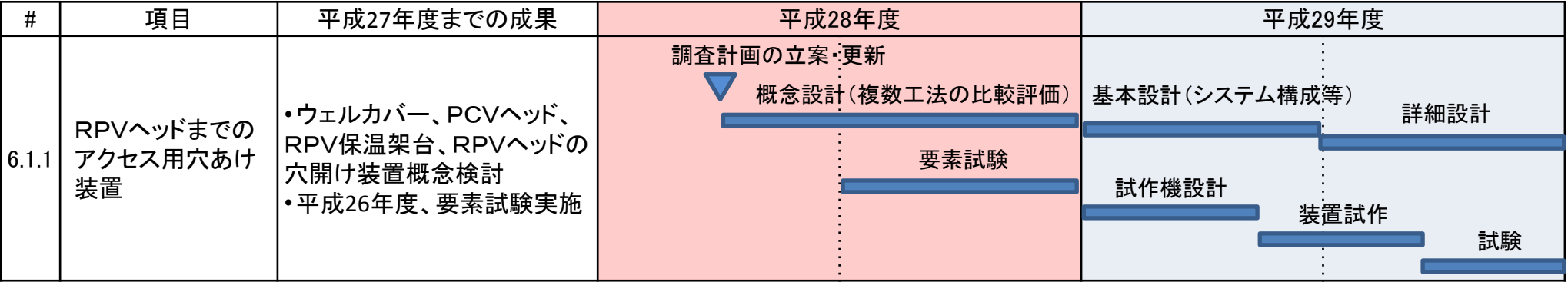


6.1 上部から炉心にアクセスする装置の開発

6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.14

○概略工程



○平成28年度までの実施内容

- アクセスルートは加工性、加工物量の観点からRPV予備ノズル部を選定
- 加工片はツールボックス内に回収し、容器には格納せずツールボックス毎撤去する方針
- 各構造物の加工方法は以下を選定

| 加工対象物          | 加工方法                                                          | 備考              |
|----------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| ウェルカバー         | コアボーリング                                                       |                 |
| PCVヘッド         | 小径開口：機械加工※<br>大径開口：アブレイシブウォータージェット(AWJ)<br>⇒「PCV補修技術PJ」の成果を流用 | ※残留水素を考慮した工法を検討 |
| 保温材            | AWJ                                                           |                 |
| RPVヘッド(予備ノズル部) | 小径開口：機械加工※<br>大径開口：AWJ<br>⇒今年度要素試験にて確認                        | ※残留水素を考慮した工法を検討 |

○平成29年度の実施内容

＜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。
- ・バウンダリ機能維持装置、作業用アクセス装置との関係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を確認。  
⇒中心から100mmほどガイドパイプ設置位置と予備ノズル位置がずれていた場合を想定した試験にて遠隔施工性を確認。

○残された課題

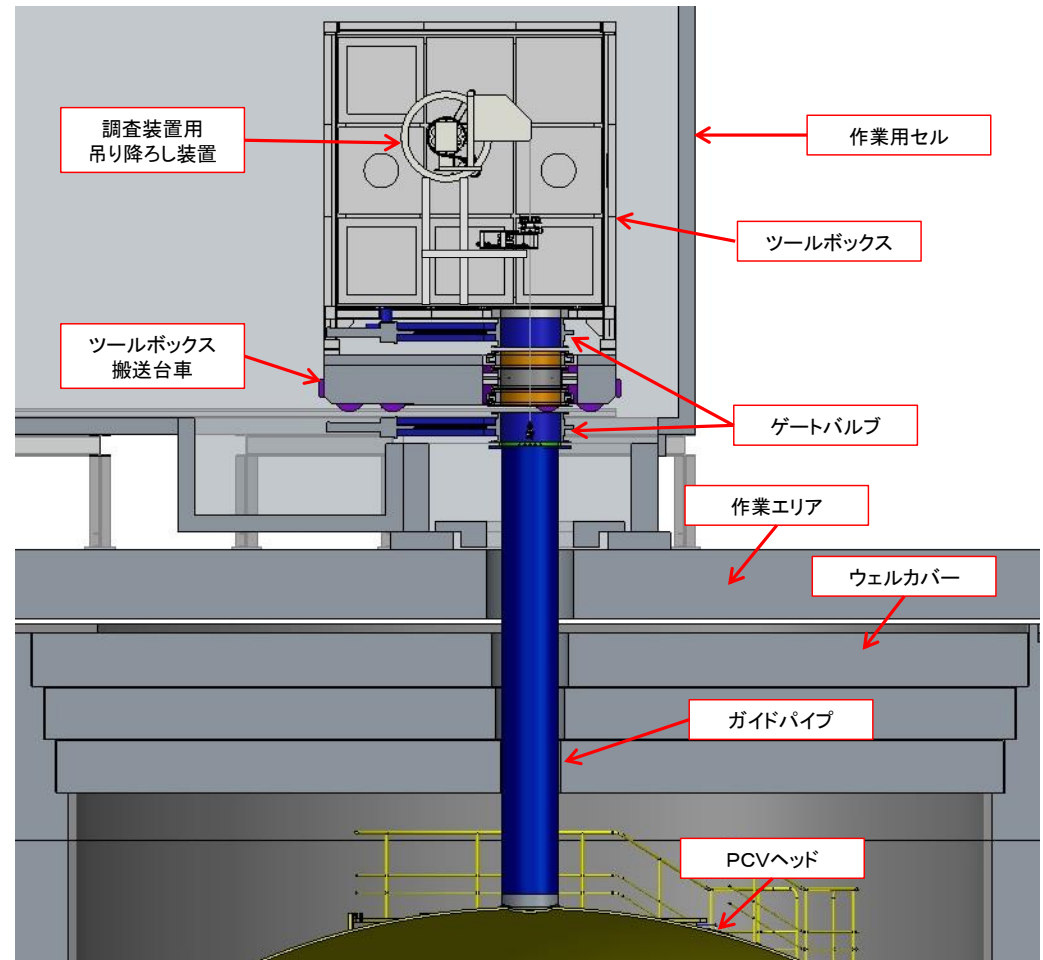
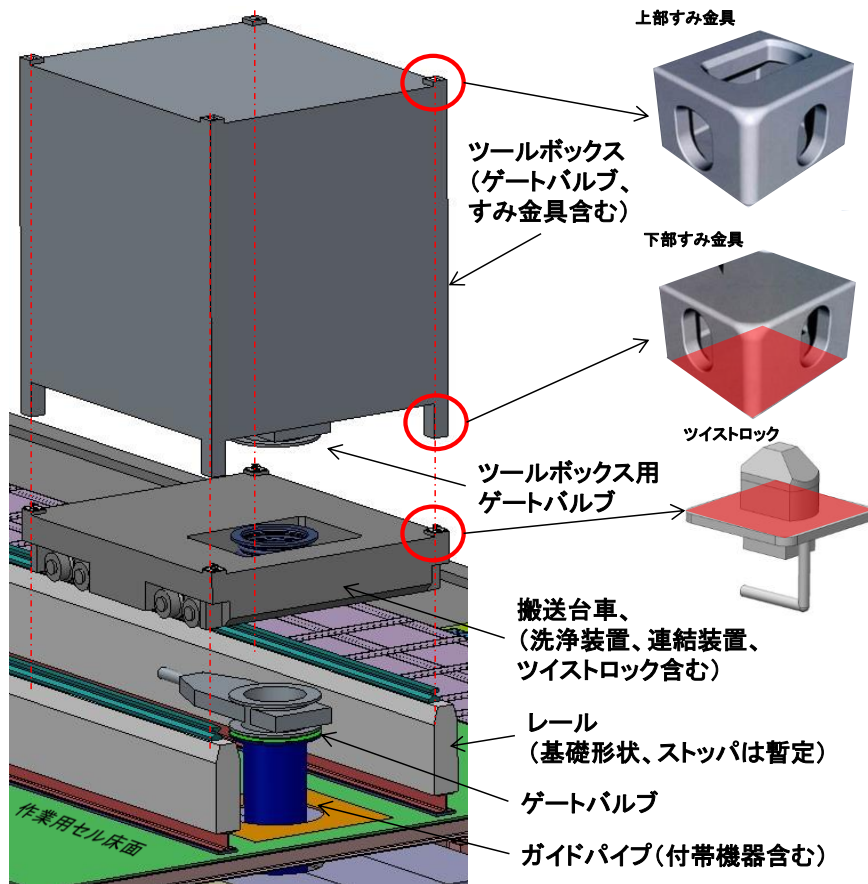
- ・作業性を考慮した構造・工法の合理化
- ・RPV予備ノズル部以外のアクセスルート(RPV保温材、RPVヘッドの加工方法)検討、要素試験による成立性確認

## 6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.15

### (1) ツールボックスとガイドパイプの接合部について

各加工装置、調査装置はアクセス装置(吊り下ろし装置)にセットした状態で気密機能を有したツールボックス内に格納し、作業用セル内をレール移動台車に載せ、ガイドパイプ上部まで移送する。各ステップ毎に作業用セルにツールボックスを搬入し、ガイドパイプ上に設置するツールボックスの交換作業を行う。

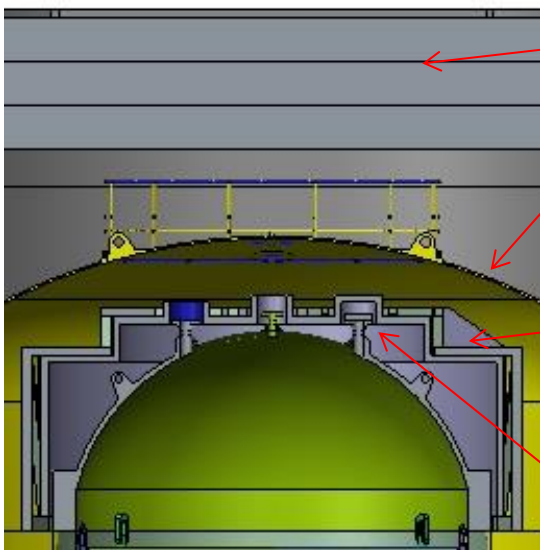


# 6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.16

## (2) RPVヘッドまでの加工装置について

### RPVヘッド予備ノズル部加工装置



ウェルカバー: 2014年度に要素試験を実施

PCVヘッド: 2014年度に要素試験を実施、PCV補修PJにおいて同様の技術を開発

RPV保温材: 2014年度に要素試験を実施

RPVヘッド(予備ノズル部): AWJでの加工可否確認は2014年度に要素試験を実施



フランジ開口装置



フランジ内側切断装置

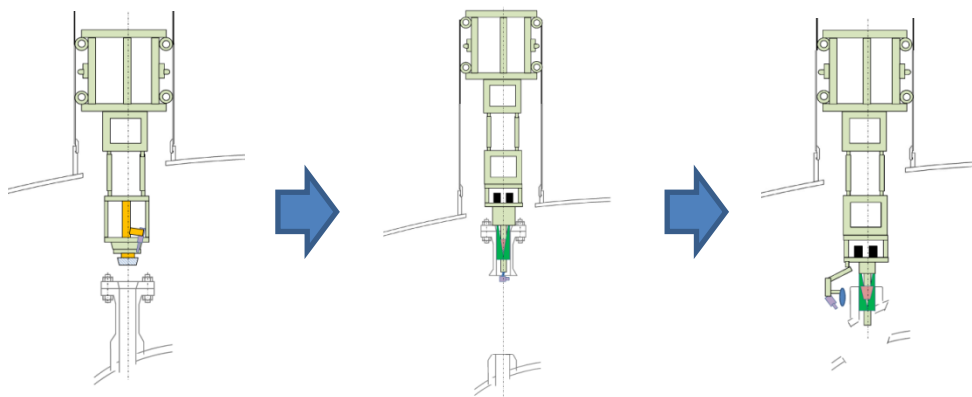


ノズル外側切断装置

フランジ開口

フランジ撤去

ノズル撤去



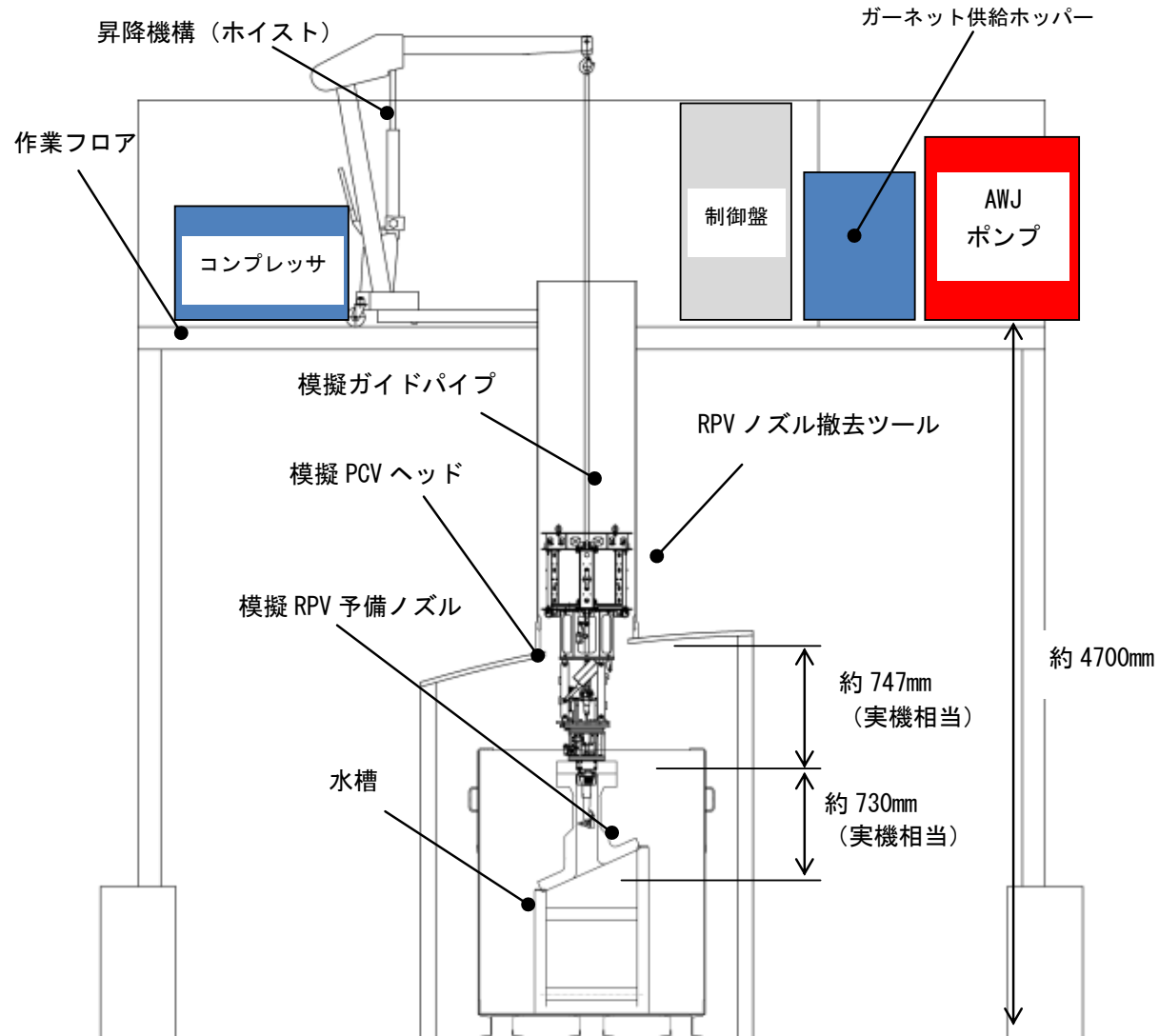
各加工工法については過年度に要素試験を実施し、実現性を確認。最も難易度の高いRPVヘッド予備ノズル撤去工法について今年度遠隔施工性を確認する試験を実施。



## 6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.17

### (3) RPVヘッド予備ノズル撤去試験体系



試験設備概要

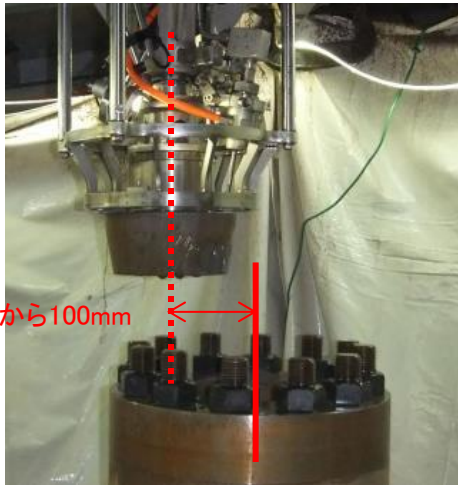


模擬加工試験体

## 6.1.1 RPVヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発

No.18

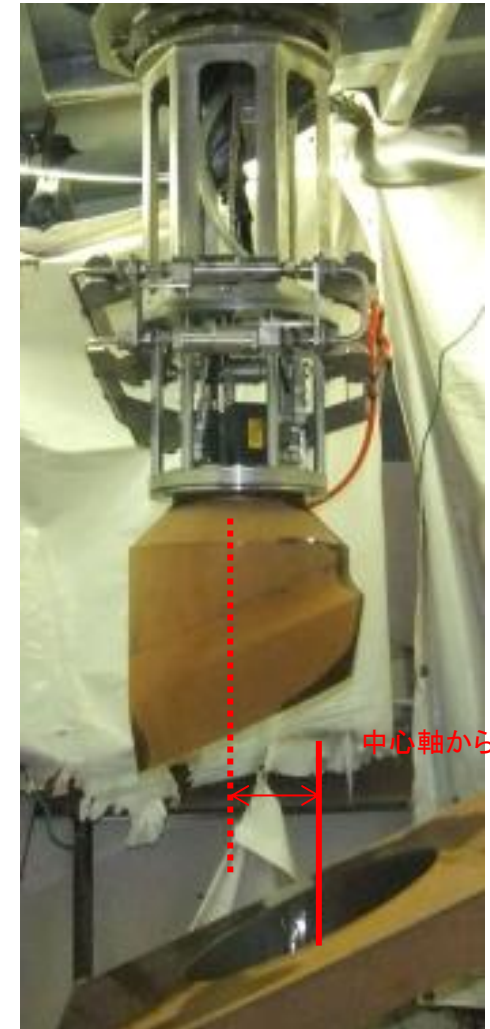
### (4) RPVヘッド予備ノズル撤去試験結果



RPVノズルフランジ撤去



RPVノズル(上部)切断片撤去



RPVノズル(根本部)切断片撤去

試作機を用いた遠隔での加工・撤去機能試験を実施し、中心軸から100mmずれていた場合でもツールをオフセットして作業できることも含め、RPV予備ノズル撤去工法の遠隔施工性を確認できた。



## 6.1.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発

No.19

### ○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                                                  |
|-------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 6.1.2 | バウンダリ機能維持装置      | <ul style="list-style-type: none"> <li>基本概念立案</li> <li>平成27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<br>▼ 概念設計(複数工法の比較評価)<br>要素試験 | 基本設計(システム構成等) 詳細設計<br>被ばく評価における成立性確認<br>▼ 試作機設計 装置試作 試験 |
|       | 作業用アクセス装置(作業用セル) | <ul style="list-style-type: none"> <li>平成27年度 概念検討を実施</li> </ul>                             | 調査計画の立案・更新<br>▼ 概念設計(複数工法の比較評価)         | 建屋との関係を考慮したバウンダリ構築方法の検討<br>基本設計(システム構成等) 詳細設計           |

### ○平成28年度の実施内容

- RPV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。
- 現状の微正圧環境下での炉内構造物加工時の被ばくについて概略評価を行った結果、R/B内作業における作業が困難となる結果であった。

### ○平成29年度の実施内容

#### <装置設計>

- 被ばく評価条件の精査を行い、PCV内微正圧環境での実施可否を判断。  
上部穴開け調査工法⇒PCV内は負圧環境にて実施  
側面穴開け調査工法⇒PCV内は微正圧環境にて実施
- 作業用セルの設置に関し、3号機に現在設置されている遮蔽体上での調査は、オペフロ上の耐荷重や遮蔽体が固定されていないため耐震設計上の問題がある。そのため、3号機で調査を実施する場合は遮蔽体の改造工事または事前に新しい作業エリアの設置が必要な見込み。

- 作業用セル負圧管理システムの検討および各種装置の搬出入方法を検討。

#### <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。
- 実規模ガイドパイプのシール性確認試験を実施した結果、負圧用シールからは微少の漏れいが見られたが、PCV内の負圧環境は維持できる見込み

### ○残された課題

- 各装置の作業性を考慮した構造・工法の合理化
- 作業用セル内および周辺配置計画の合理化、作業用セル設置方法、取合条件の明確化
- 作業用セル負圧維持システムの詳細検討
- 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、ガイドパイプシール構造の最適化(要素試験)

### (1) 被ばく評価結果、今後の調査方針

#### ➤ 側面穴開け調査工法(方針変更無し)

- ・放射能濃度、敷地境界線量ともに目標値を満足。  
⇒微正圧環境にて調査可能(R/B内の濃度も問題無し)。
- ・ダストモニタリング、R/B内のフィルタ排気設備等の対策を実施する方針。

#### ➤ 上部穴開け調査工法(方針変更有り)

- ・建屋近傍(屋外)の放射能濃度は従事者の濃度限度を満足。敷地境界線量も満足。
- ・ただし、蒸気乾燥器以下の構造物を加工した場合、R/B内が汚染され、全面マスクを着用しても立ち入ることはできない。  
⇒負圧環境での調査とする。  
(横アクセス工法によるデブリ取り出し作業のために構築する負圧環境を用いた調査を予定→調査実施可能時期の調整が必要)
- ・調査時はダストモニタリングを行いながらの作業とする方針。

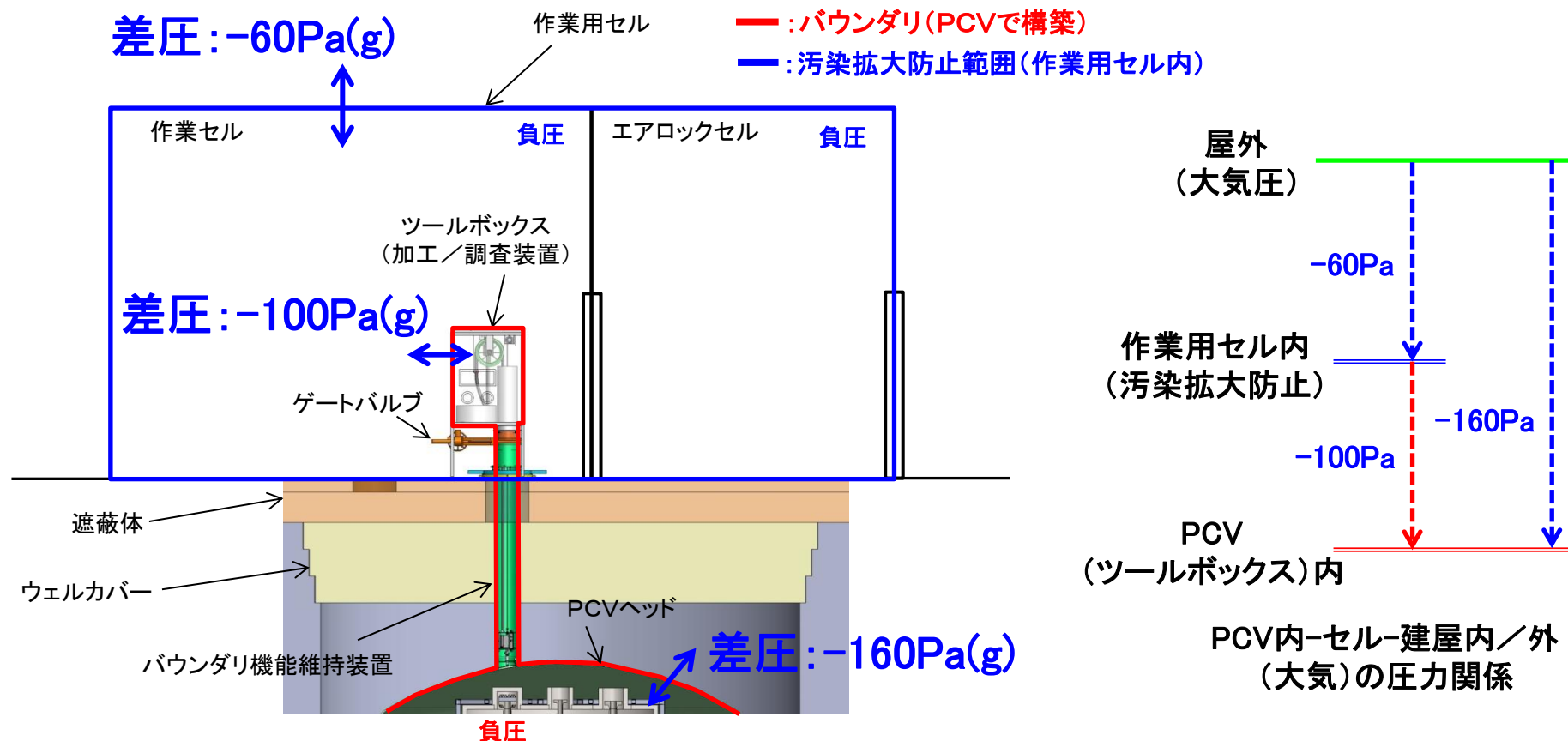
⇒負圧とした場合の変更点は以下。

- ①PCVヘッドへ設置するガイドパイプの樹脂パッキンの構造変更⇒要素試験にて確認
- ②N2パージシステムから排気システムへの変更⇒設計検討を実施

## 6.1.2 バウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発

No.21

### (2) 作業用セル PCV内負圧環境で実施とした場合の汚染拡大防止計画

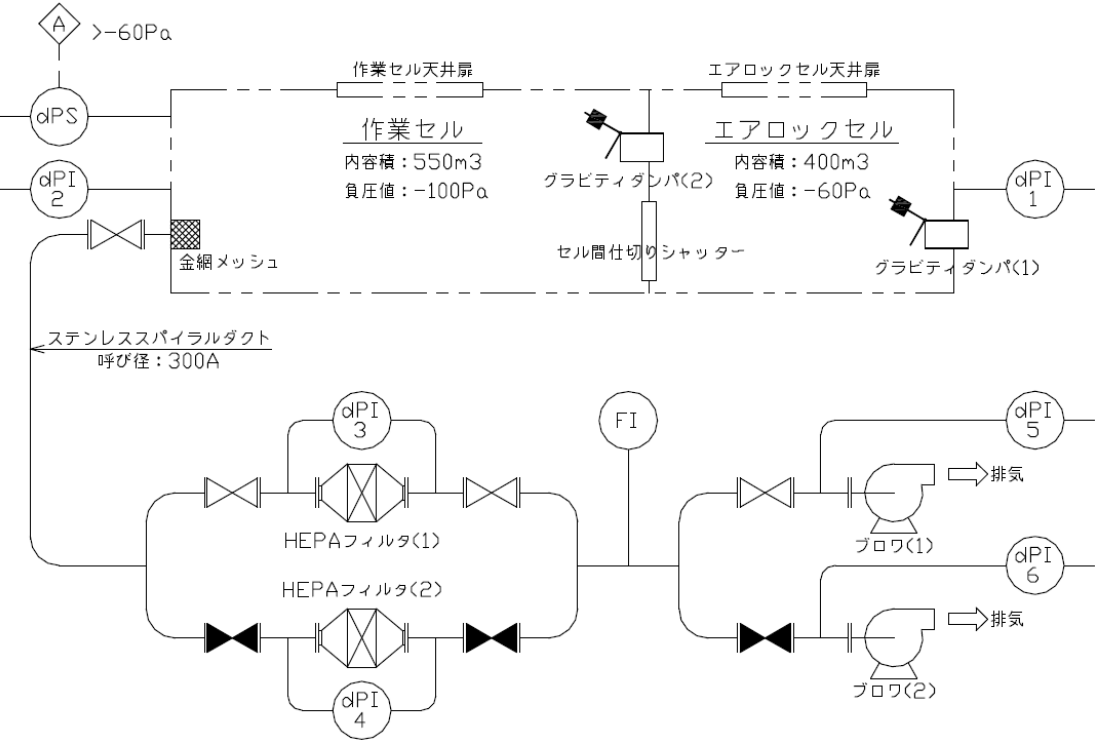


作業用セルは、放射性物質の外部へ漏えいすることを防止するために設置し、内部は負圧環境とする。(RPV内部調査では、燃料デブリを回収する作業は計画しておらず、デブリ取り出し作業において計画している二次バウンダリとは機能が異なる。本調査ではバウンダリとしては1次のみ。)

(3) 作業用セル内の負圧管理方法の検討

負圧管理システム概略仕様

| 記号             | 機能                       | 概略仕様                                            |
|----------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
| グラビティダンパ(1)    | エアロックセル(「L」エリア)内の負圧の自動調整 | 設定値<br>-60Pa                                    |
| グラビティダンパ(2)    | 作業セル(「M」エリア)内の負圧の自動調整    | 設定値<br>-40Pa                                    |
| HEPAフィルタ(1)(2) | 排気中の放射性粉塵の捕集(1台は交換時の予備)  | 捕集効率:0.3μm以上99.7%<br>定格風量:70m <sup>3</sup> /min |
| ブロワ(1)(2)      | セル内の空気の吸引排気(1台は故障時の予備)   | 風量:100m <sup>3</sup> /min<br>静圧:2.15kPa         |
| dPI(1)         | エアロックセル内の負圧監視            |                                                 |
| dPI(2)         | 作業セル内の負圧監視               |                                                 |
| dPI(3)(4)      | HEPAフィルタの目詰まり監視          |                                                 |
| dPI(5)(6)      | ブロワの健全性監視                |                                                 |
| dPS            | 負圧異常警報                   | 設定値:-60Pa                                       |
| FI             | 排気風量監視                   |                                                 |

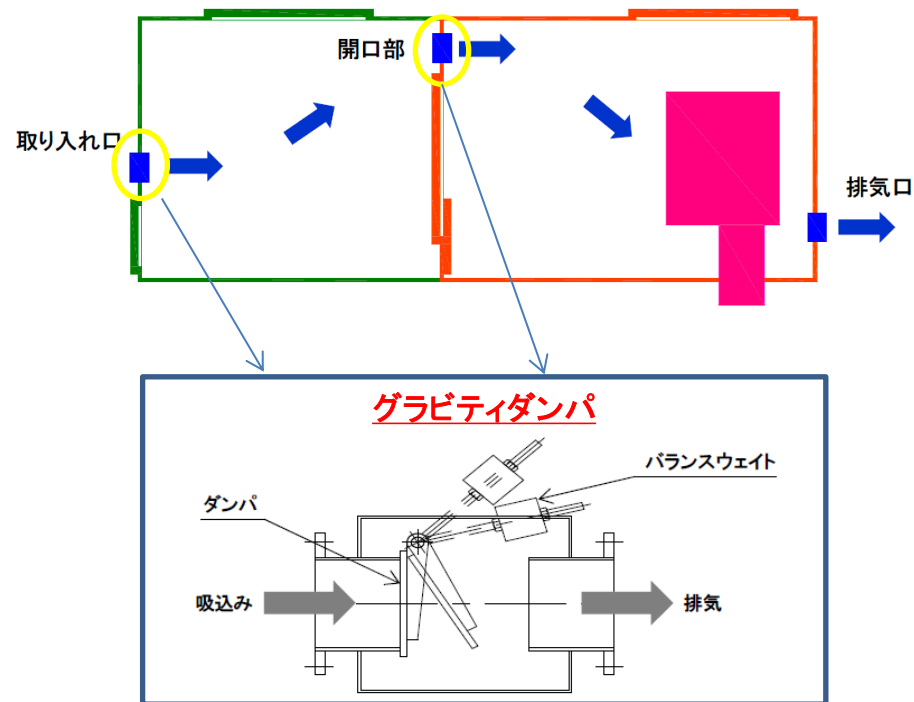
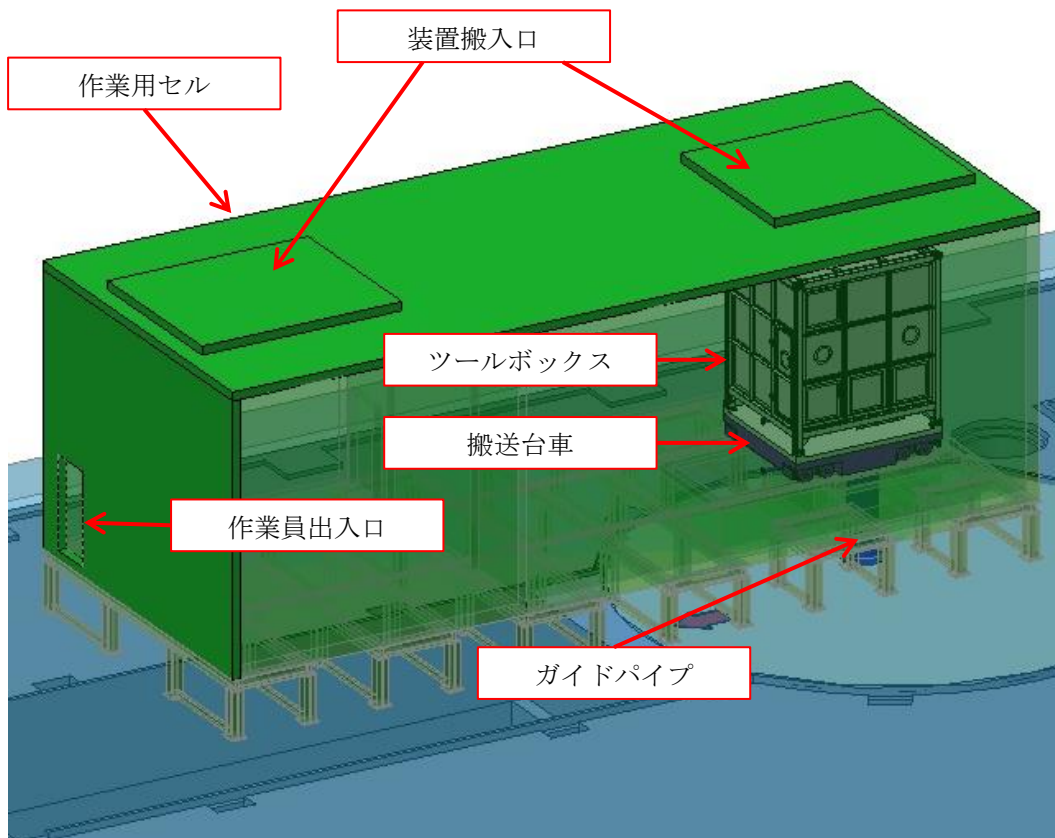


負圧管理システム概略系統図



作業用セル内の負圧環境構築に必要なシステム検討を実施。

### (4) 作業用セル外観



空気取り入れ口には「重力ダンパ」を設置し、各エリアの気体の流れを制御。

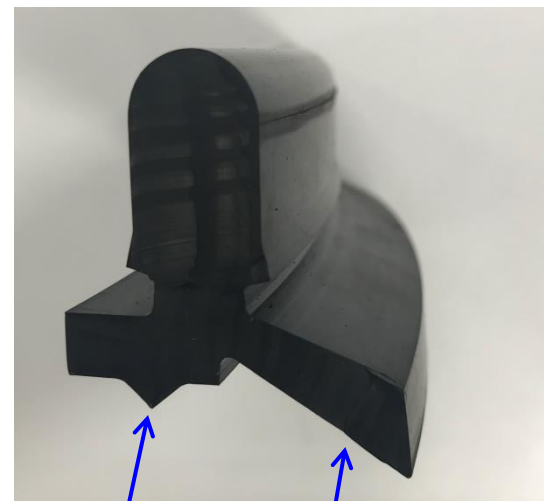
#### 残された課題

作業用セル設置エリアとの接合方法の調整、作業用セル内および周辺配置計画の最適化検討、各装置の作業性を考慮した構造の最適化検討、作業用セル負圧維持システムの詳細検討。



### (5) ガイドパイプシール構造の変更

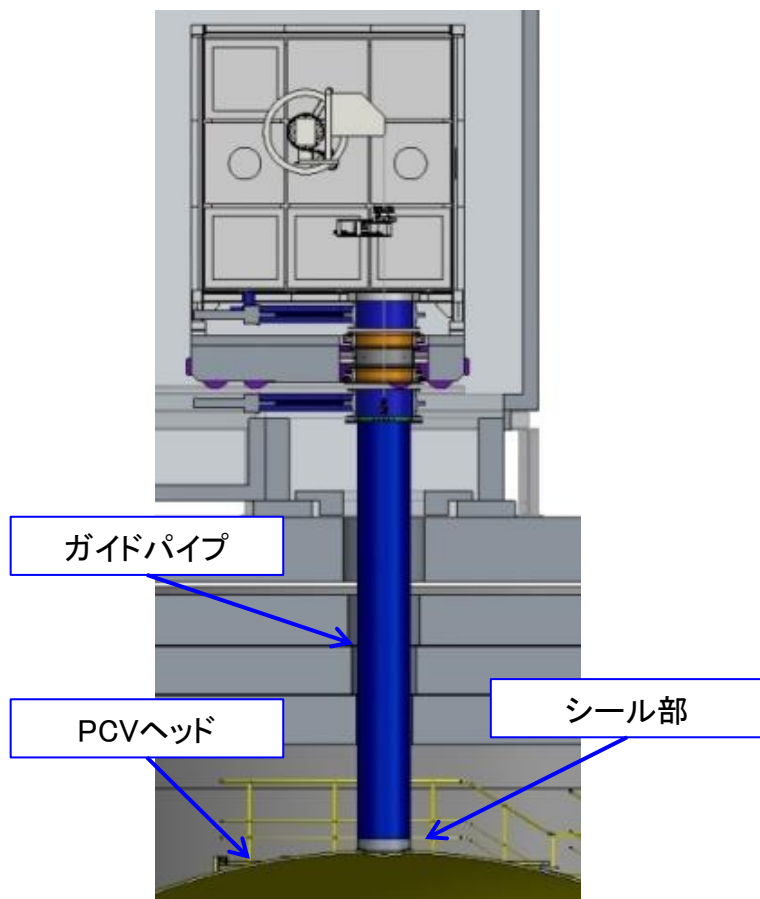
昨年度までは原子炉格納容器(PCV)ヘッド内が微正圧環境を想定したパッキン構造の検討、要素試験にてシールの実現性を確認したが、PCV内の負圧環境化に伴い、パッキン構造の変更を実施した。



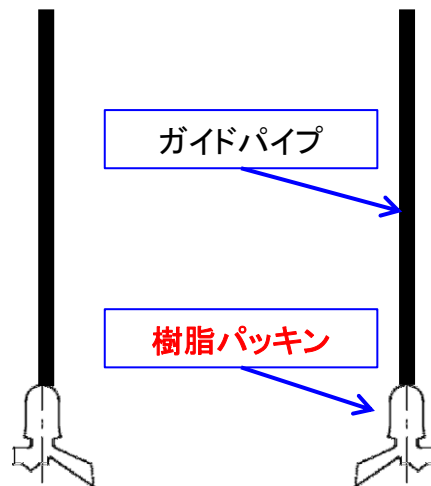
甲山部

リップ部

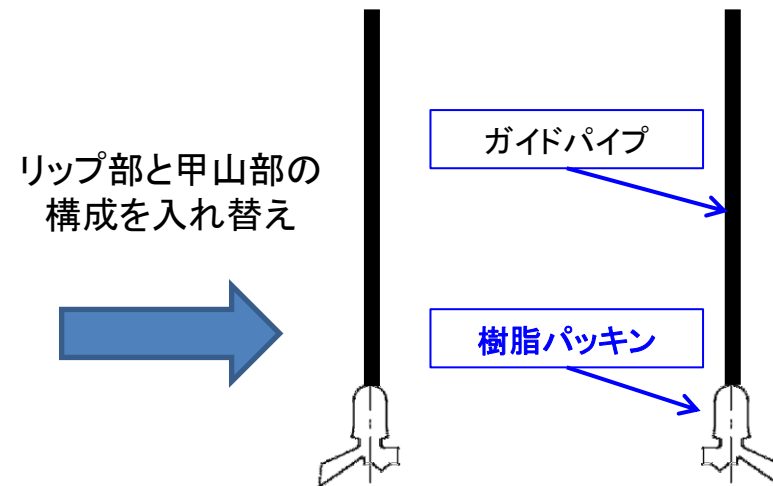
負圧用樹脂パッキンの断面



#### 正圧の場合



#### 負圧の場合

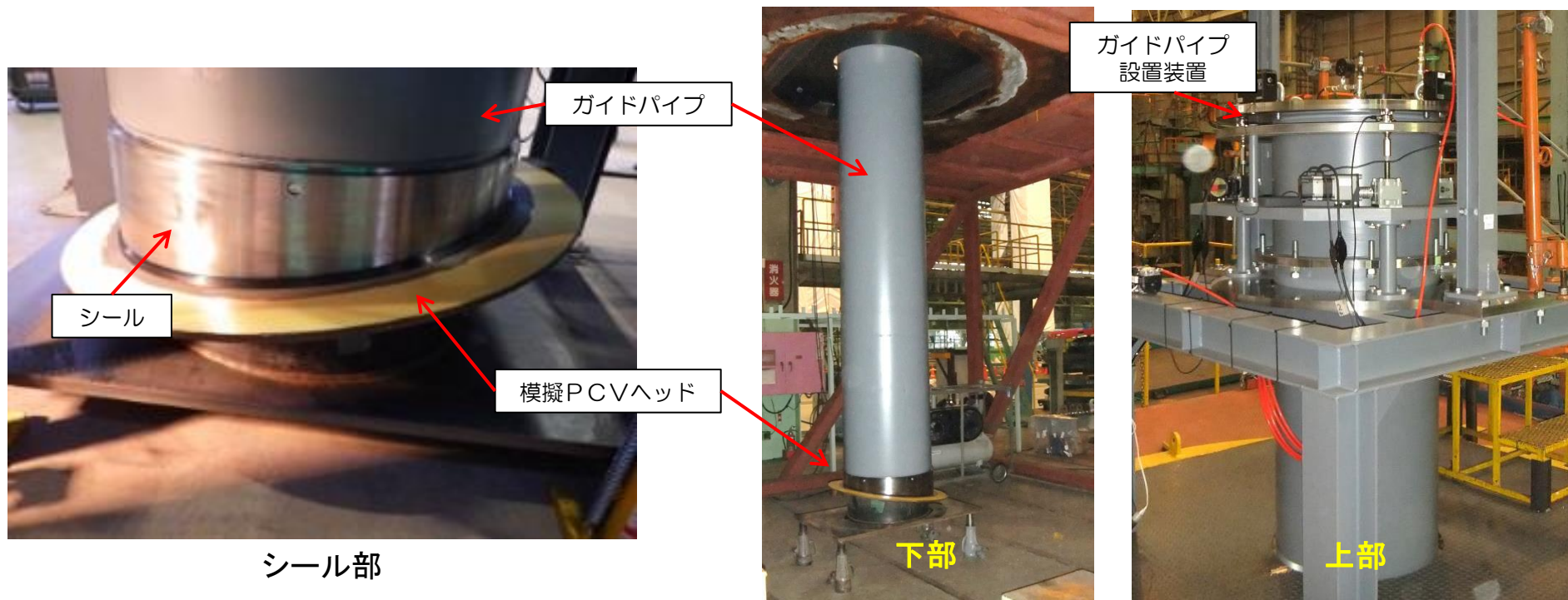


### (6) ガイドパイプシール試験結果

シール材(エチレンプロポリンジエンゴム(EPDM))を照射した( $10^6$ Gy)条件かつ実機長(約5m)のガイドパイプにてシール性を確認した。

また、位置ズレ、傾きを想定した試験を実施し、据え付けに必要な取り付け精度を把握し、ガイドパイプ設置装置仕様として反映。-200Pa(g)にて、10分間保持で圧力変化がないことを目標として試験を実施。

負圧向けシールにおいて、-200Pa(g)にて、10分間保持で最大-145Pa(g)まで圧力が変化し、少量のリークが発生するという結果となったが、PCV内部は負圧環境を構築する計画でインリークとなるため、地震等でシール機能を喪失した場合も含め、放射性物質は漏えいしない。尚、照射の有無はシール機能へ影響はなかった。



残された課題

信頼性向上の観点で負圧環境に適用するシール構造の最適化が必要

## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

### ○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                              |
|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 6.1.3 | 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> | 調査計画の立案・更新<br>概念設計<br>要素試験 | 基本設計<br>試作機設計<br>装置試作<br>試験<br>詳細設計 |

### ○前年度までの検討状況

#### 炉内穴開け装置の概念設計

- 非接触(加工反力小)、位置決め、再加工の容易なアブレイシブウォータージェット(AWJ)で炉内構造物の狭隘部開口(組合せ切断)を検討。
- 小型AWJノズルの要素試験で加工性・作業性を確認、実現性を評価。
- 臨界リスク(加工片落下)小のアクセスルート、工法計画を検討。

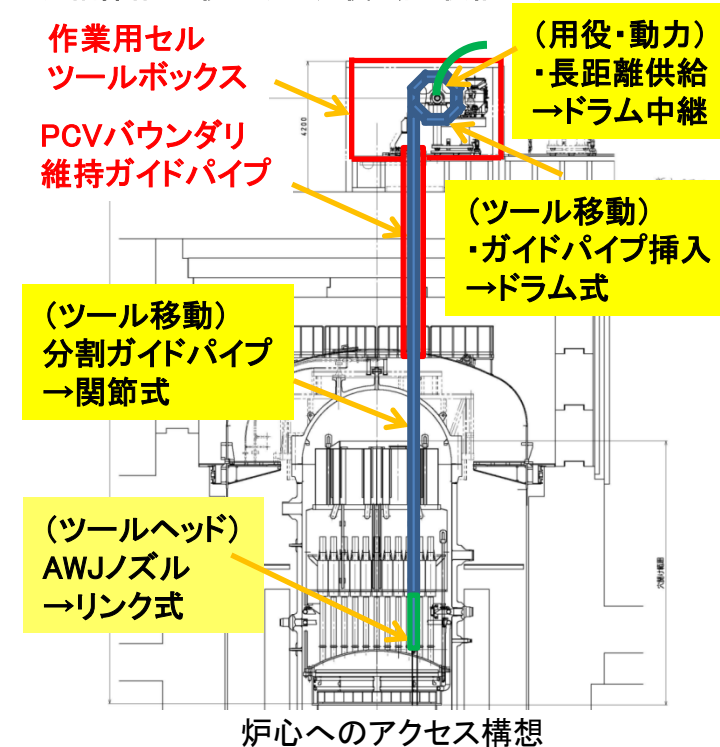
### ○平成29年度の実施内容

#### 炉内穴開け装置の基本設計・詳細設計(作業計画含む)

- ガイドパイプ分割、挿入機構のコンパクト化(関節式&ドラム式)を検討。
- ツールヘッドAWJノズル機構の位置振れ補正(リンク式)を検討。
- 用役(高圧水・アブレイシブ)供給の長距離化(ドラム中継)を検討。
- 試作機の製作、要素試験(実機配置模擬含む)で遠隔作業による切断性能を評価し、遠隔施工性を検証。

#### 装置の構成要素

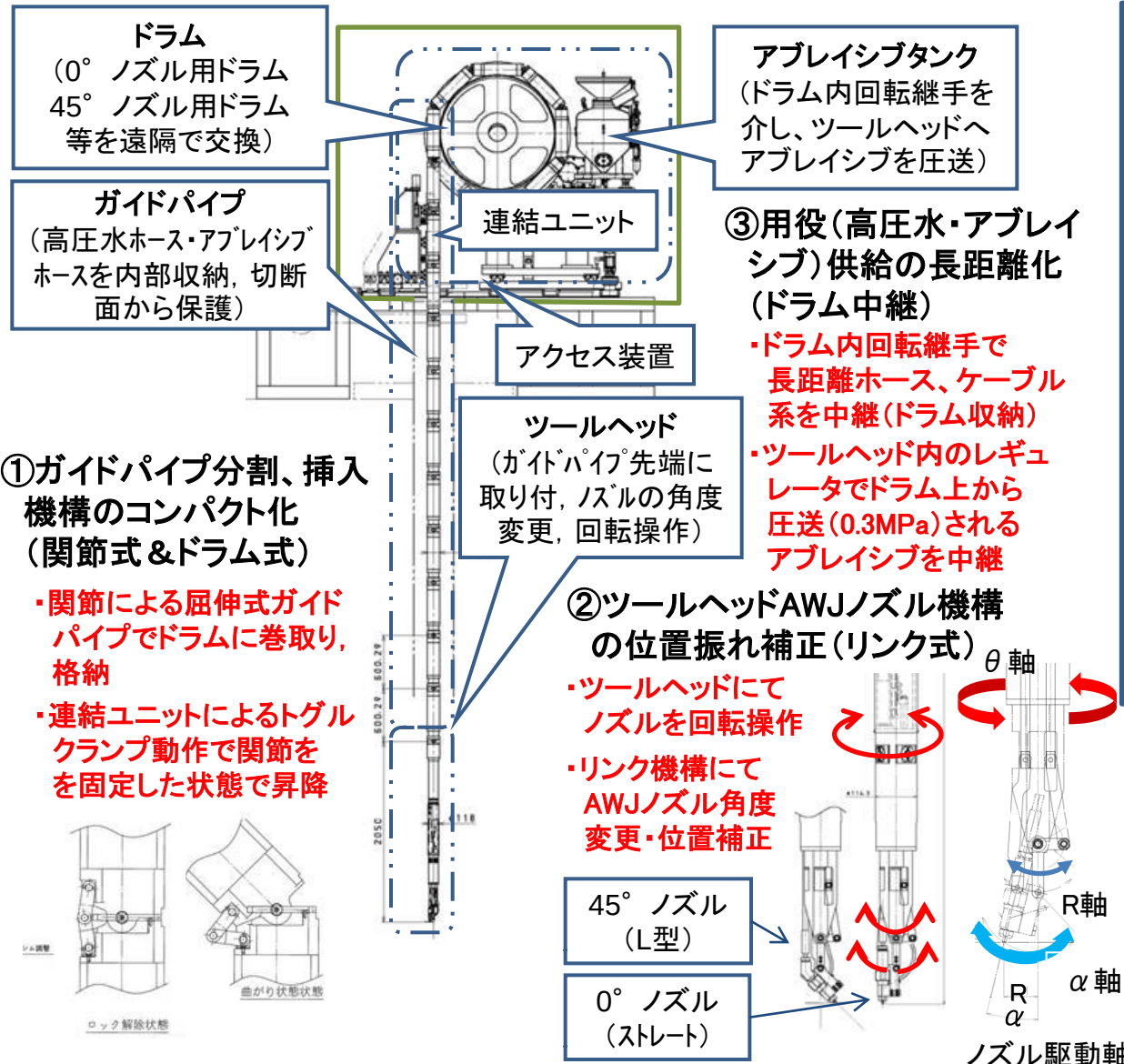
- ツールヘッド・・・構造物を上方から切断、加工片除去で開口
- ツール移動システム・・・RPV予備バル下方にガイドパイプ挿入
- 遠隔操作・監視システム、用役・動力供給システム





# 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

## (1) 炉内穴開け装置の設計検討



### 主な装置仕様

(アクセス装置)

- ・ドラム部 高さ制限 4m以下(ツールボックス内格納)
- ・ガイドパイプ

-挿入長18m、速度3.5m/min(暫定)

-構造 32分割(600mm×8節×4巻で高さ4m)

-外径φ140mm

(ツールヘッド)

・AWJノズル(0°、45° ノズル)

-高圧水 流量:3.7[l/min]、圧力:342[MPa]

-アブレイシブ ガーネットサンド

・駆動機構 駆動軸 α(角度)、R(位置)、θ(回転)

・レギュレータ

-アブレイシブ容量1[kg]

-圧送(受入) 0.3[MPa](標準)

-アブレイシブ供給量 最大500[g/min]

(その他装置)

・高圧水ポンプ 流量:3.7[l/min]、圧力:342[MPa]

・空圧 0.2~0.3MPa(標準)

・ガイドパイプをドラム巻取りで小型化。

・オペフロ上の機器(ツールボックス)との  
関係検討で、ツールヘッドの小型化要。

**【残された課題】**

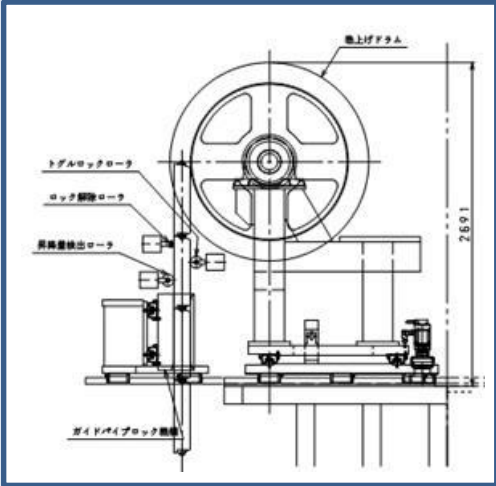
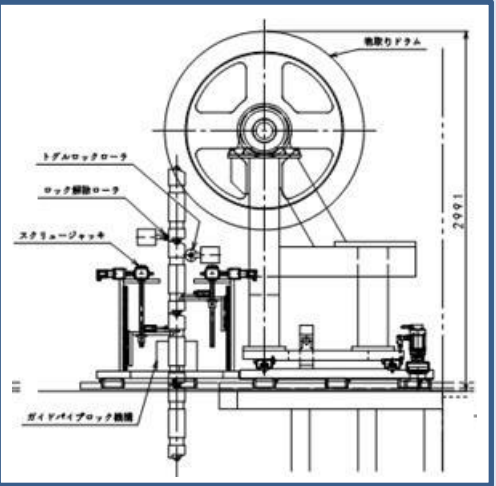
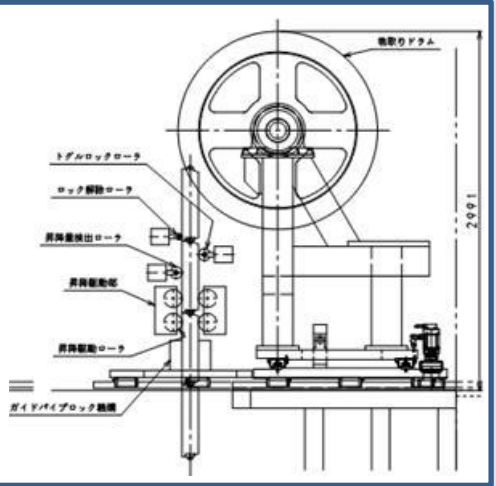
ツールボックス内へ格納(高さ4m以下、  
暫定)のため、ツールヘッドの分割による  
小型化が必要(600mm長さに関節で分割)

# 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

## (1)炉内穴開け装置の設計検討

### ①ガイドパイプ分割、挿入機構のコンパクト化 1)ドラム構造

- ・加工位置へツールヘッドを昇降、位置保持： 挿入長18m、速度3.5m/min
- ・作業用セル内の高さ制限でガイドパイプを関節で分割、格納： 高さ4m  
 （ガイドパイプ昇降に合わせ、余長分をドラムに格納： 600mm×8節×4巻＝19.2m）
- ・複数ノズル角度の組合せ切断のため、ガイドパイプ芯出し、芯合せ： 偏差5mm以内目標

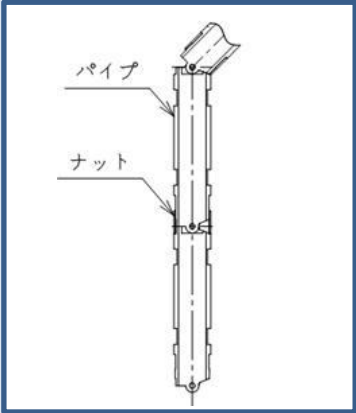
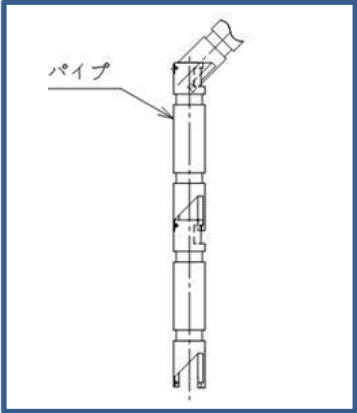
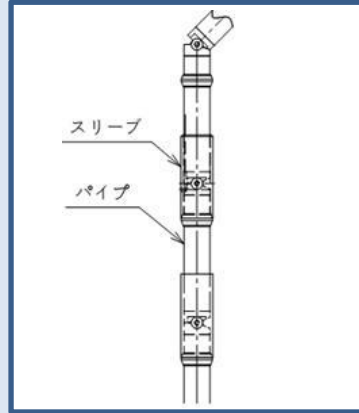
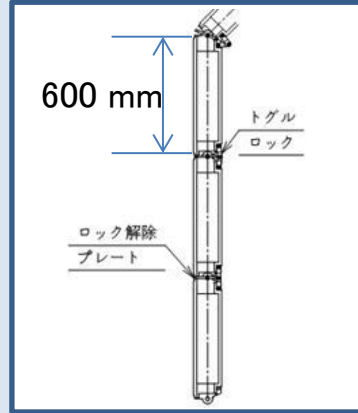
| 評価項目 | ドラム巻上                                                                                             | ドラム巻上+ジャッキ昇降                                                                                              | ドラム巻上+ローラ昇降                                                                                               |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 連結構造 | ガイドパイプをドラムで巻取る  | ガイドパイプをジャッキで昇降、ドラムで収納  | ガイドパイプをローラで昇降、ドラムで収納  |
|      | 固定性能                                                                                              | ×                                                                                                         | ○                                                                                                         |
|      | 位置決め                                                                                              | ×                                                                                                         | ○                                                                                                         |
|      | 作業性                                                                                               | ○                                                                                                         | ○                                                                                                         |



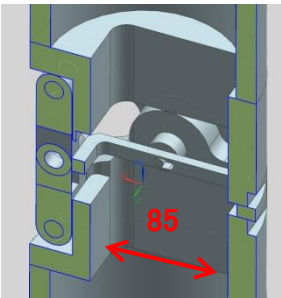
# 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

## (1) 炉内穴開け装置の設計検討

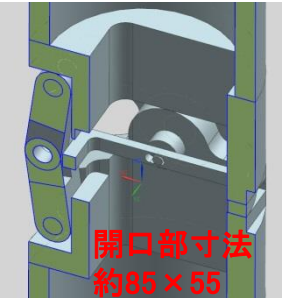
### ①ガイドパイプ分割、挿入機構のコンパクト化 2)ガイドパイプ構造

| 評価項目 | ナット固定                                                                                            | 自重保持                                                                                          | スリーブ固定                                                                                           | トグル固定                                                                                               |                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 連結構造 | ロックナットで伸展固定<br> | 自重で伸展保持<br> | スリーブで伸展固定<br> | トグルクランプで伸展固定<br> |                        |
|      | 固定性能                                                                                             | ○ 緩みにくい(ねじ)                                                                                   | × 外力に弱い                                                                                          | △ 緩みあり(テーパ)                                                                                         | ○ 緩みにくい(トグル)           |
|      | 位置決め                                                                                             | ○ ねじ締付部にガタ無                                                                                   | △ 固定なし(加工精度要)                                                                                    | △ 接触面(加工精度要)                                                                                        | △ 接触面(加工精度要)           |
|      | 作業性                                                                                              | △ ナット回転動作<br>△ 所要時間大(ねじ)                                                                      | ○ 固定作業不要                                                                                         | △ スリーブ上下動作<br>○ 所要時間小                                                                               | ○ ロック機構開閉容易<br>○ 所要時間小 |
|      |                                                                                                  |                                                                                               |                                                                                                  |                                                                                                     |                        |

- ・ トグルクランプによる固定
- ・ ガイドパイプのドラム巻取りで、スキュー角(捻り)に合わせるため、関節を約1.5° 捻る
- ・ ガイドパイプの鉛直挿入のため、ドラムを約2° 傾斜



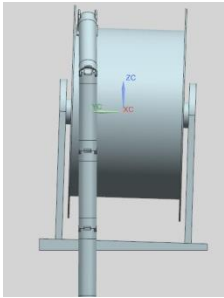
ロック状態



アンロック状態



関節の捻り



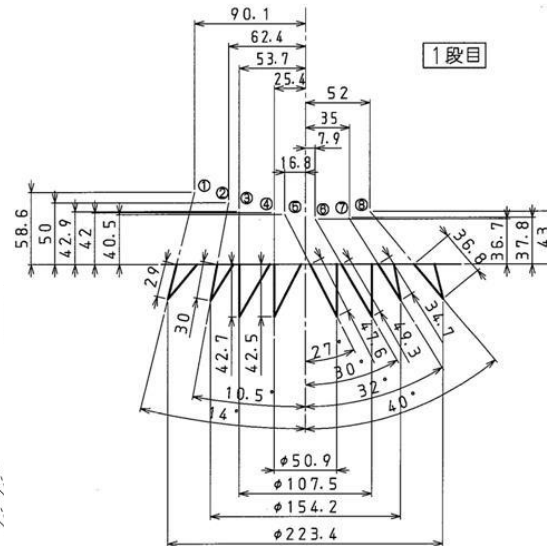
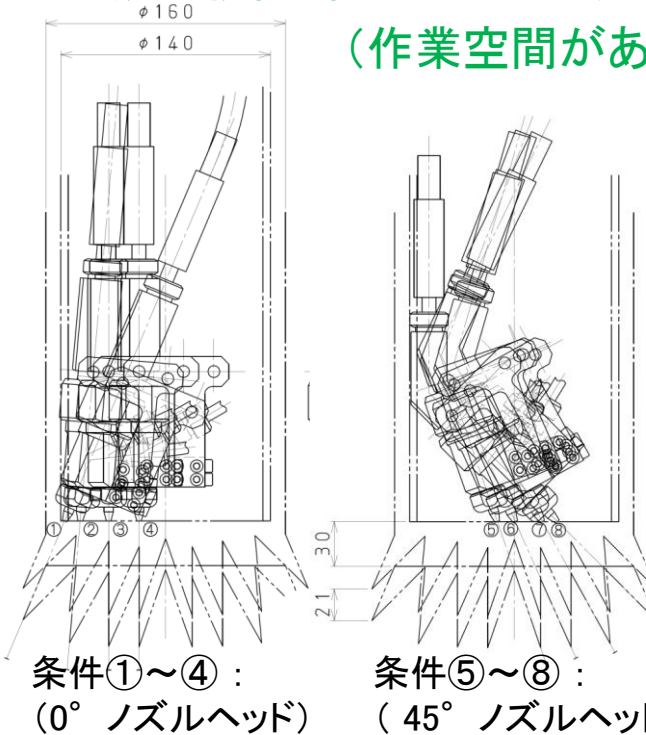
ドラムの傾斜

## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

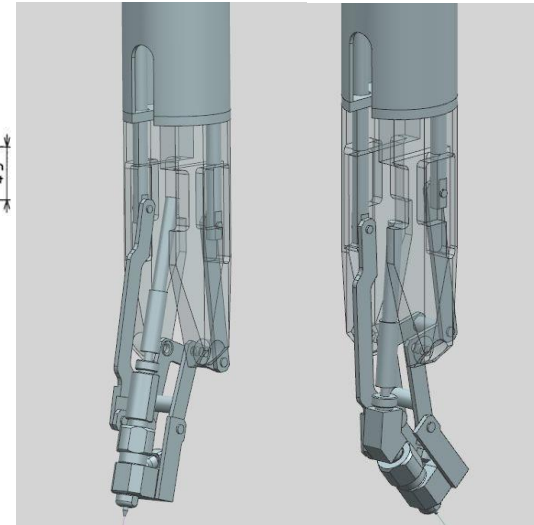
### (1) 炉内穴開け装置の設計検討

#### ② ツールヘッドAWJノズル機構の位置振れ補正 1) ノズル構造

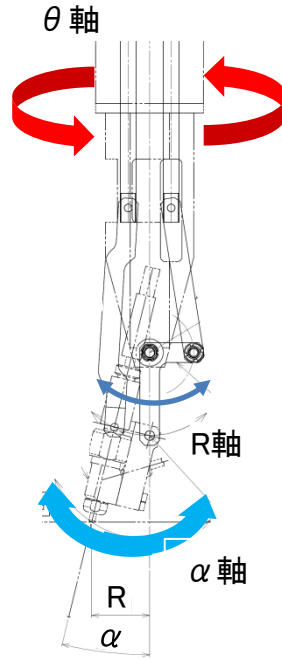
- ・ガイドパイプ通過のため、炉内構造物に開口加工可能:  $\phi 140\text{mm}$
- ・炉内狭隘部加工のため、ガイドパイプ径に収納可能: 複数ノズル角度の組合せ切断  
(作業空間があれば、単純切断・ノズル角度調整で加工片落下を対策)



組合せ切断計画

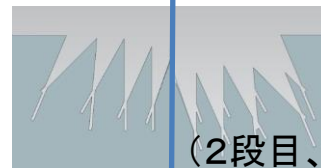
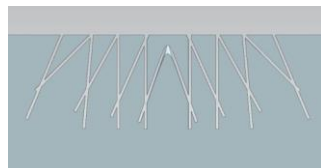
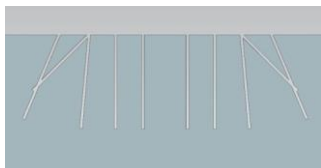


ツールヘッドのリンク構造



ノズル駆動軸

(1) 角度①~④の切断 (2) 角度⑤~⑧の切断 (3) 1段目切断完



(2段目、以降繰返し)

- ・  $\alpha$  軸駆動でノズル角度変更
- ・ ノズル位置振れにはR軸駆動で径方向の位置補正

## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

### (2) 炉内穴開け装置試作機の組立状況

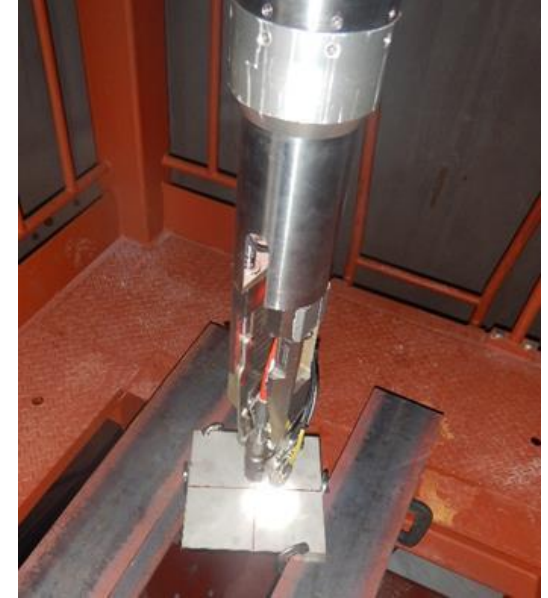
No.31



(a) ドラム・ガイドパイプ



(b) ドラム・アブレイシブタンク



(c) ツールヘッド



(d) ガイドパイプ スキューガイド



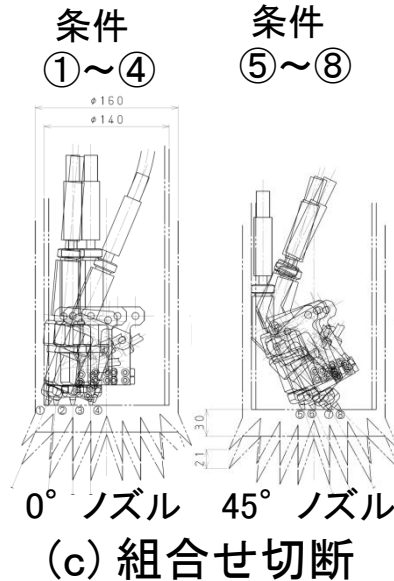
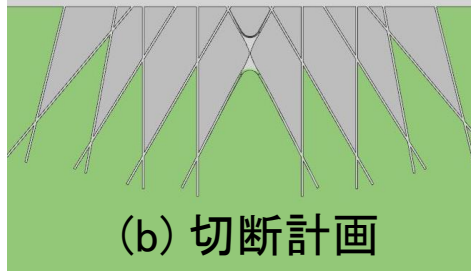
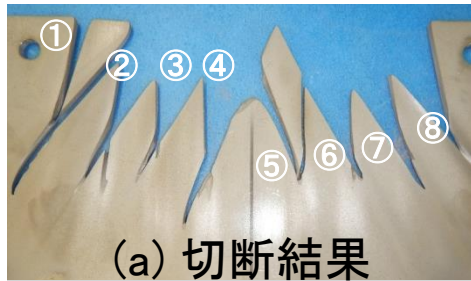
(e) ガイドパイプ トグルロック



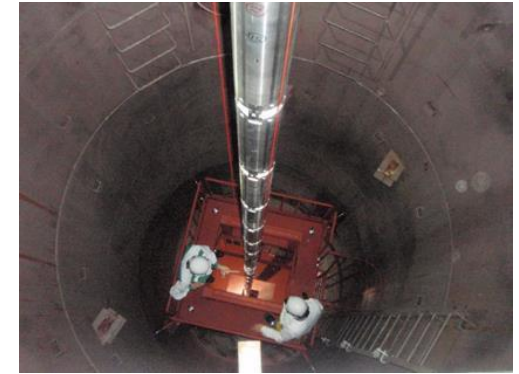
## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

### (3) 要素試験

#### ①切断条件確認試験（蒸気乾燥器立板模擬(6t) 組合せ切断）



炉内穴開け装置試作機



模擬試験体用架台  
(試験タンク内)

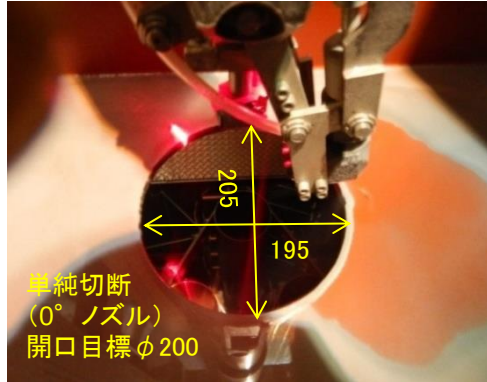
| 条件               | ① | ②   | ③ | ④   | ⑤  | ⑥ | ⑦ | ⑧ | 備考                                      |
|------------------|---|-----|---|-----|----|---|---|---|-----------------------------------------|
| 切断速度<br>(mm/min) | 3 | 1.8 | 2 | 1.8 | 10 | 7 | 5 | 3 | 高圧水供給量3.7[l/min]<br>アブレイシブ消費量200[g/min] |

- AWJによる組合せ切断の遠隔施工可能を確認。一部切残り発生有りで、再加工要。（ノズル位置ズレ：水平4mm、鉛直1mmを考慮。アブレイシブ消費量200g/min）
  - ツールヘッド位置補正可能を確認。（ガイドパイプ関節の固定、調整構造の見直しで、精度向上検討）
- 【残された課題】 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(アブレイシブ最大500g/min)

## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

### (3) 要素試験

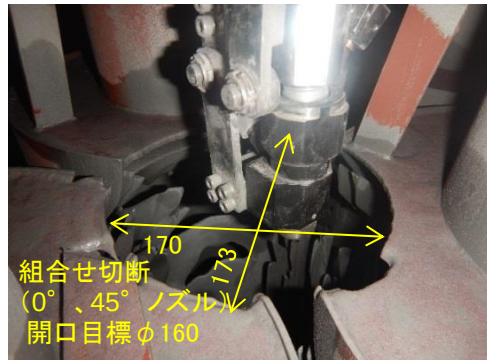
#### ②遠隔施工性確認試験（模擬試験体）



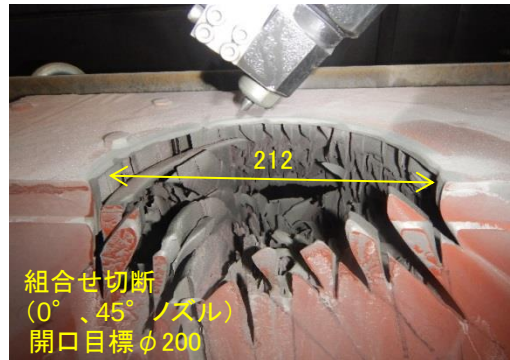
(a) 蒸気乾燥器(底板)



(b) 気水分離器(連結棒)



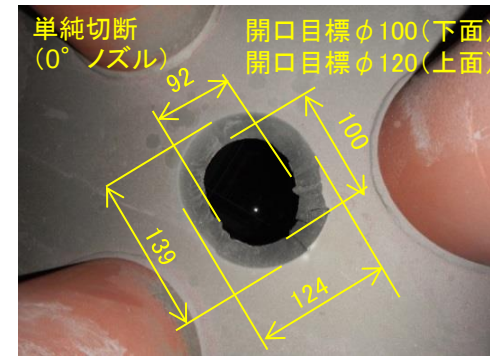
(c) 気水分離器(3筒中心)



(d) 蒸気乾燥器(波板)



i. 切断加工面



ii. 開口状況



iii. 加工片(上面)



iv. 加工片(下面)

(e) シュラウドヘッド

- ・ 実機模擬配置で遠隔作業による切断、開口可能を確認。開口径変動有りで、再加工要。  
→ 切断、アクセスの精度、施工性の向上(ノズル位置の調整、アブレイシブ安定化)
- ・ シュラウドヘッド加工片は回収、除去可能を確認。(他切断片はシュラウド上、一部スタンドパイプ内に落下)



## 6.1.3 炉内穴開け装置の開発

No.34

### [残された課題]

- ◆ 平成29年度(2017年度)の検討結果から、実機向け装置の設計を進めるに当たっては、次の技術課題について、装置の構造設計を進めるとともに、要素試作・試験により現場への適用性を確認する。
- ◆ 装置・システム設計の具体化、合理化を図り、機器仕様書や組立図・系統図等の図面類を整備する。

#### 【課題】

- ・ オペフロ上の機器(ツールボックス)間の関係検討で、ツールヘッドの小型化要。
- ・ AWJによる組合せ切断の遠隔施工で一部切残り発生有りで、再加工要。
- ・ 実機模擬配置の遠隔施工で開口径変動有りで、再加工要。  
→切断、アクセスの精度、施工性の向上
- ・ シュラウドヘッド加工片以外で一部スタンドパイプ内に落下有りで、落下制限緩和要。

アブレイシブタンク  
アブレイシブをツールヘ  
ッドへ安定供給

ドラム  
ツールボックス  
内へ格納

| 項目        | 実施内容                 | 課題・方針案                                                                                         |
|-----------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 【装置の構造設計】 | ツールヘッド 装置小型化の検討      | ・ツールボックス内へ格納(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)                                        |
|           | ガイドパイプ 振れ低減の検討       | ・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                                                      |
|           | 切断、アクセスの精度、施工性向上の検討  | ・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<br>・用役供給の安定化(アブレイシブ消費量:200→最大500g/min) |
| 【要素試作・試験】 | 炉内での干渉回避、開口位置決め方法の検討 | ・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                                                          |
|           | 炉内状況を想定した装置の検討       | ・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                                  |
|           | 装置、システムの現場施工性確認      | ・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                                          |



## 6.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

No.35

### ○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 | 側面からアクセスする装置の開発 | —           | 適用性検討  | 適用性の評価<br>概念設計<br>工法の判断<br>装置設計 |

### ○実施内容

(平成28年度下期)

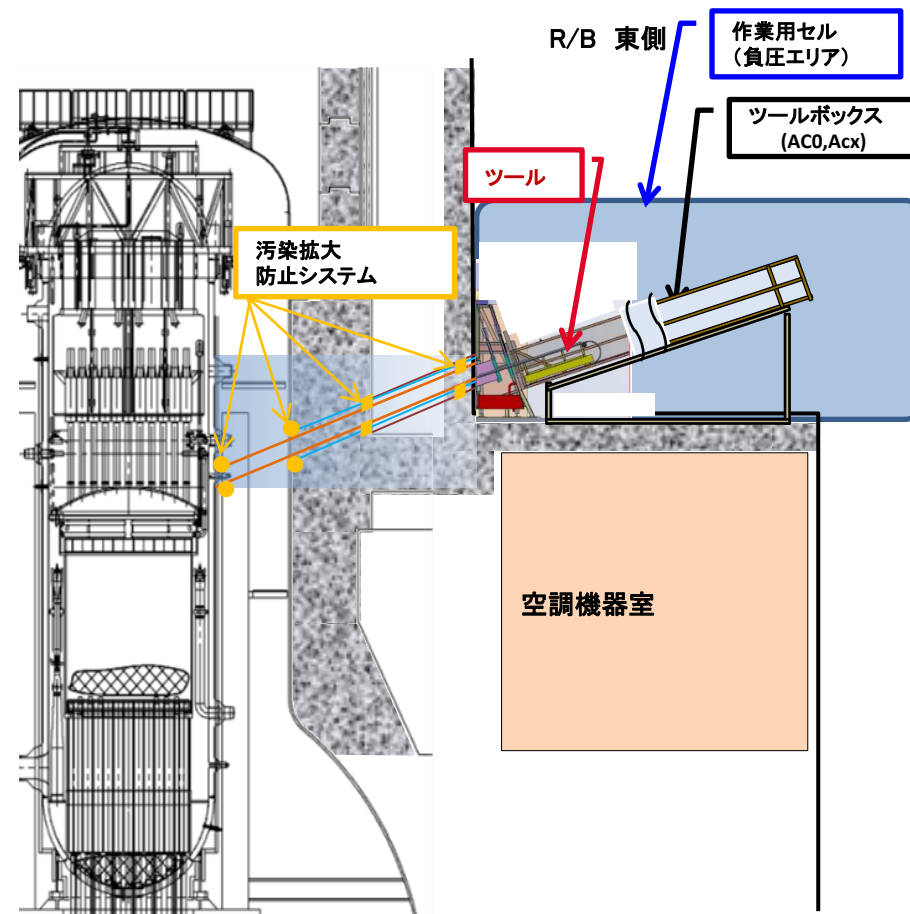
- 側面穴開け調査工法を追加で検討することとし、開発計画を策定、検討に着手した。

(平成29年度上期)

- 平成29年度初期に工法の適用性を見極め。
- 号機適用性を検討して、2号機を優先させることが妥当であることを整理。
- 平成29年度上期は概念設計に着手し、主にバウンダリの確保に留意しつつ、調査工法の概念を具体化。
- 調査工事中の被ばく評価を実施し、現在のPCVの状況(窒素による置換)下で、放射性ダストの飛散に伴う被ばく量増加を考慮しても適用可能であることを確認。

(平成29年度下期)

- 概念設計を踏まえ、装置仕様を纏めた。



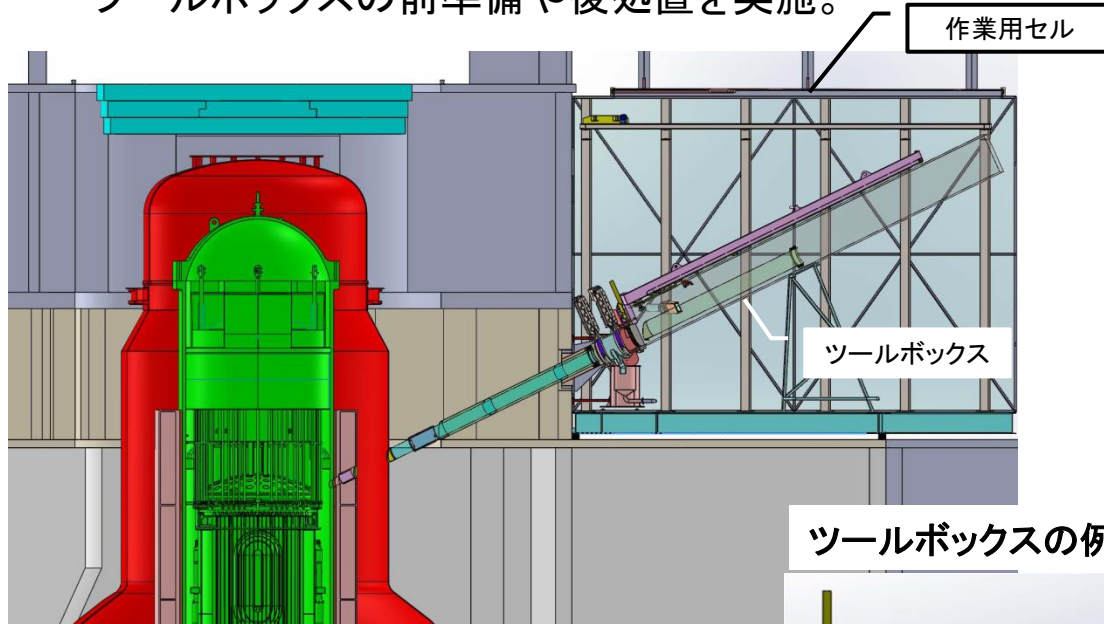
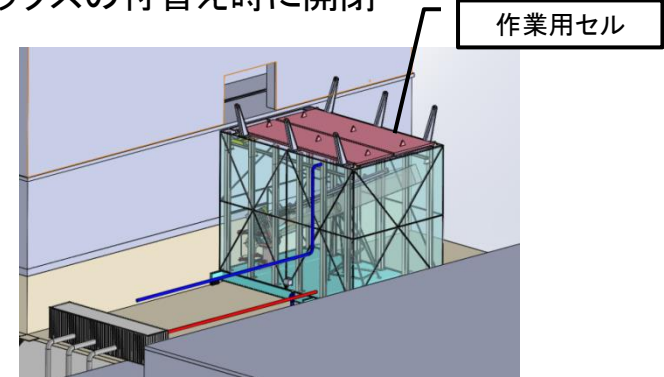
## 6.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

No.36

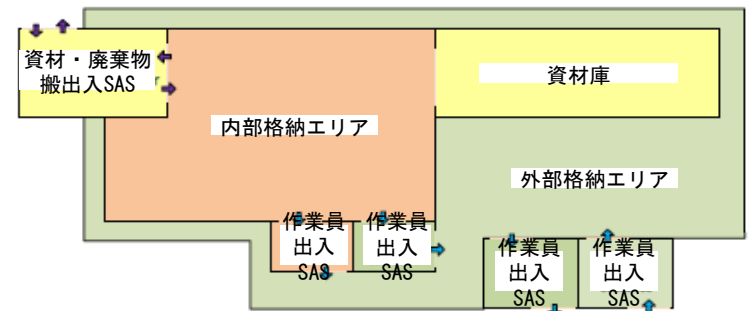
### (1)装置コンセプト検討結果

- 原子炉建屋東側壁面に固定したツールボックス(AC0)スペースに、必要なツール(掘削、ガイドチューブ挿入、シール設置)を収納したツールボックス(ACx)を、各々繋ぎかえて、側面からの穴開け調査を実施する。
- ツールボックスを覆う作業用セル(負圧エリア)を設置して、万一、ツールボックスからのダスト漏えいにも配慮した構成とする。
- グランドレベルに設置した”メンテナンスユニット”において、ツールボックスの前準備や後処置を実施。

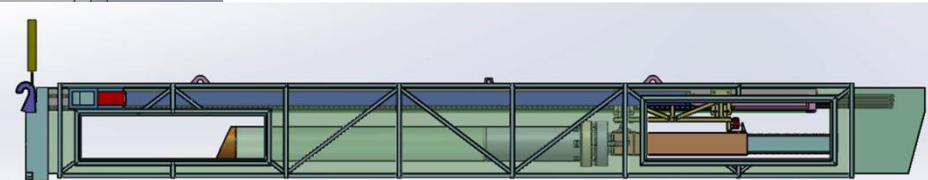
作業用セルの天井部分は開閉式とし、ツールボックスの付替え時に開閉



メンテナンスユニット(平面図)



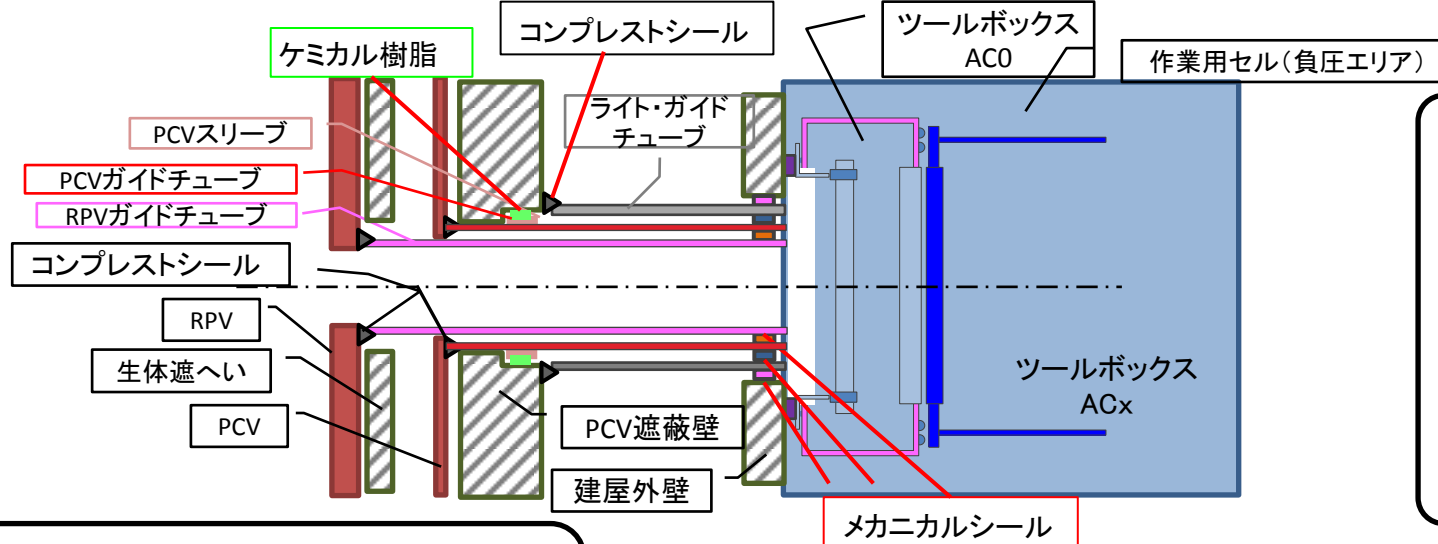
ツールボックスの例(側面図)



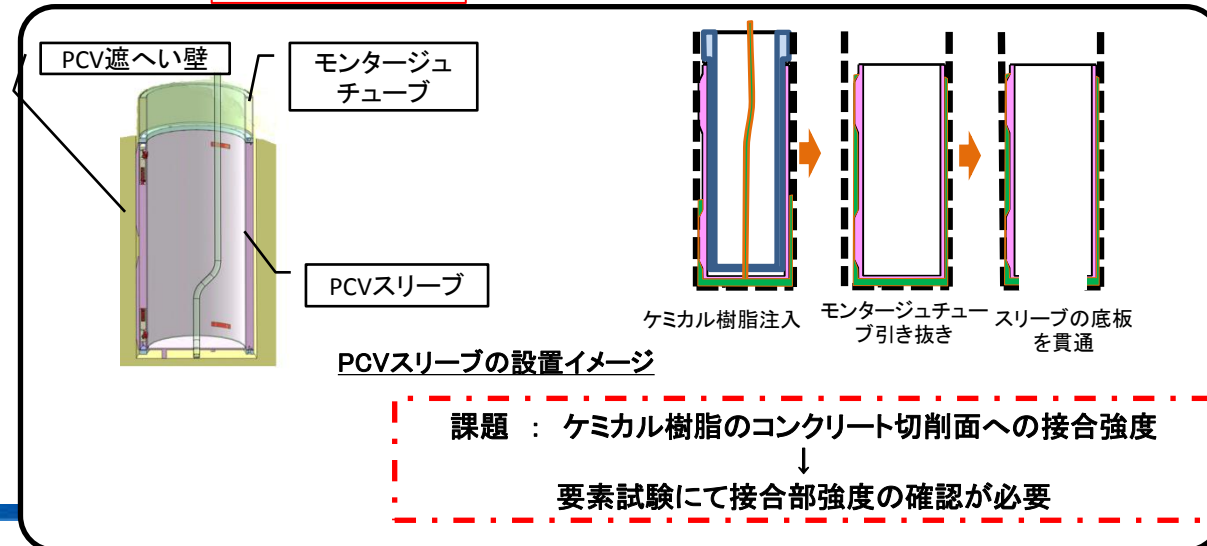
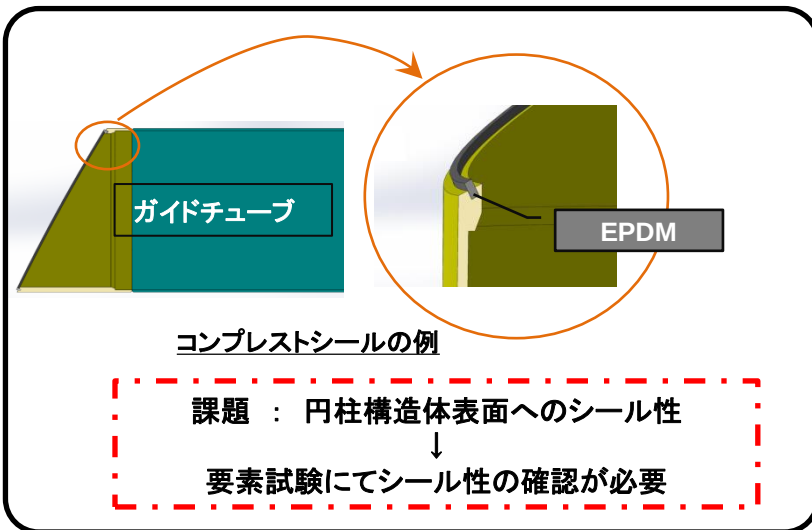
## 6.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

### (2) バウンダリの構成

- メカニカルシールとコンプレストシールを組み合わせたシール機構でバウンダリを構成。
- ツールボックス(AC0及びACx)を覆う作業用セル(負圧エリア)を設置して、万一の場合にも配慮。



メカニカルシールの例



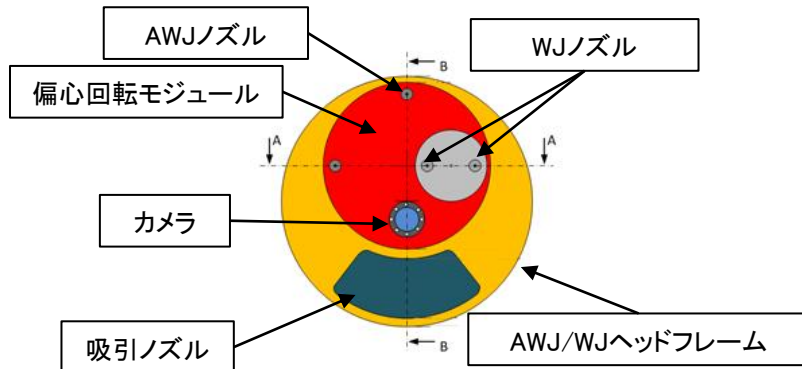
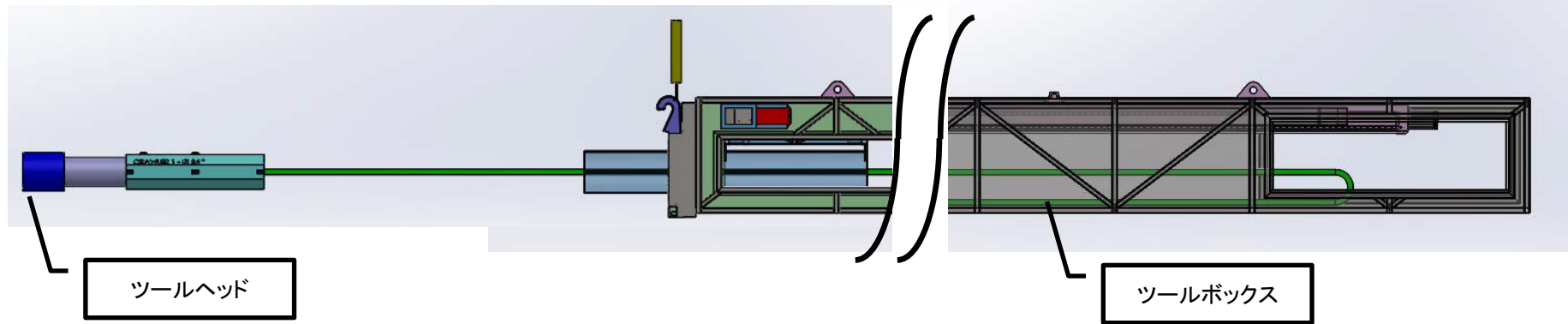


## 6.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

No.38

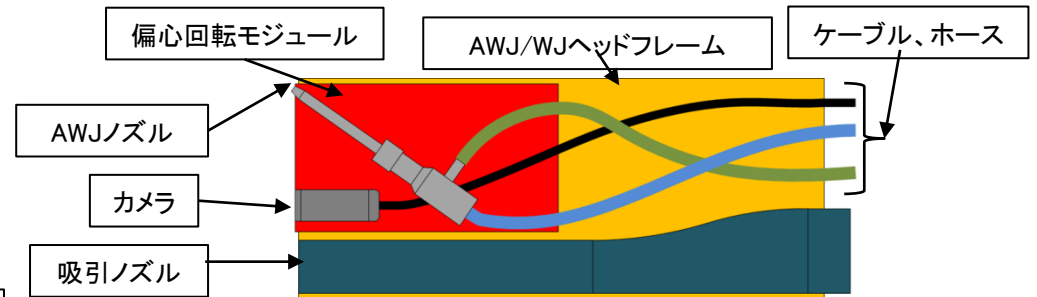
### (3) 調査孔の掘削

- コンクリートを切削するウォータージェット(WJ)と、鉄筋及び鋼板を掘削するアブレイシブウォータージェット(AWJ)を組み合わせたハイブリッドヘッドで調査孔を掘削。



ツールヘッドの平面図

課題： 福島の鉄筋コンクリート性状に対する切削性  
↓  
要素試験にて切削性(表面粗さ)の確認が必要

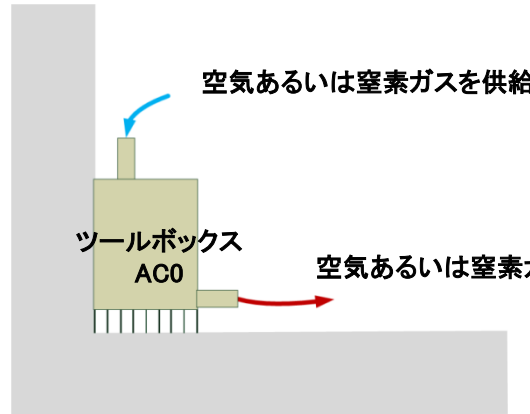


ツールヘッドの側面図

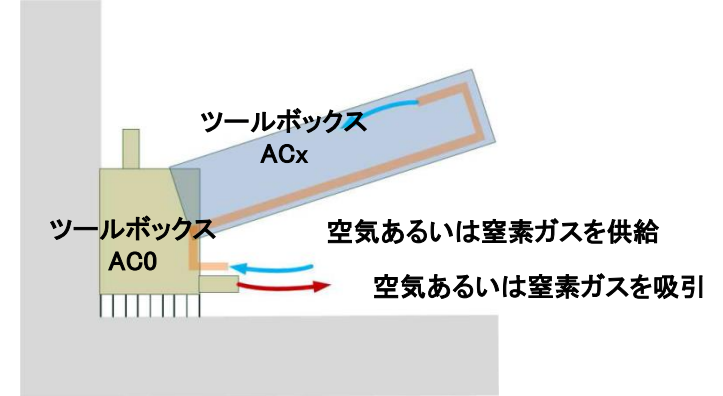
課題： 処理水(切削片)の回収・排水  
↓  
要素試験にて廃棄物処理性能(切削片の回収分離)の確認が必要

### (4) バウンダリの維持(ダスト拡散防止)の考え方

- ツールボックス(AC0, ACx)に空気あるいは窒素ガスを供給し、ツールボックス(AC0, ACx)の圧力をPCVの圧力よりも高めに制御することで、PCV開口後の汚染ダストの拡散を防止

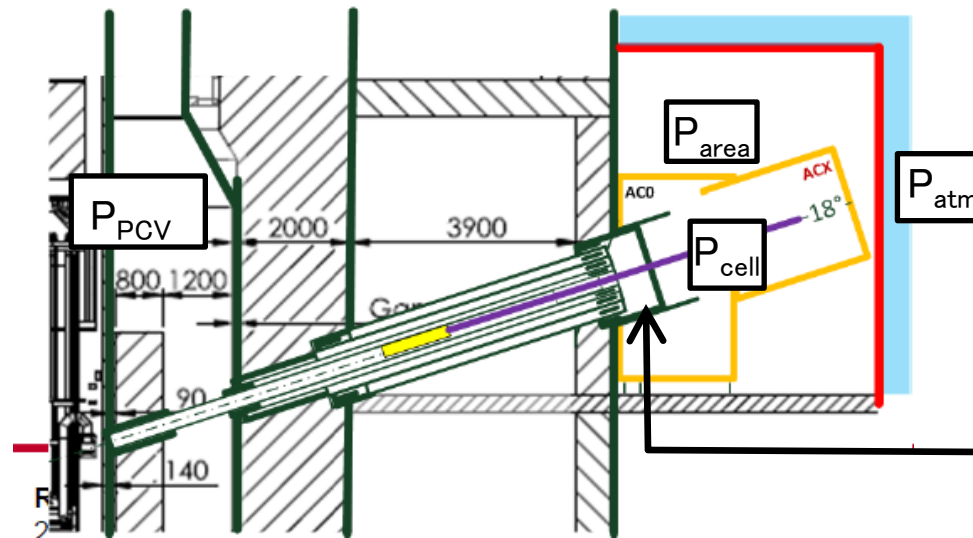


ツールボックスAC0単独の状態



ツールボックスAC0にACxをドッキングした状態

- 微正圧に制御したツールボックス(AC0, ACx)の外側に負圧管理したエリアを構成して、万一の場合の汚染拡大に備える。



$$P_{PCV} < P_{cell} > P_{area} < P_{atm}$$

窒素ガスあるいは空気にて微正圧

# 6.3 炉心部までの調査方式の開発・選定

## ○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                                                                                                                                                          |
|-----|------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.3 | 炉心部までの調査方式の開発・選定 | —           | <div>調査計画の立案・更新</div> <div>▼</div> <div>概念設計(複数工法の比較評価)</div> <div>要素試験</div> | <div>被ばく評価における成立性確認</div> <div>▼</div> <div>炉内既存の空間を利用した調査装置の概念設計</div> <div>基本設計(システム構成等)</div> <div>試作機設計</div> <div>装置試作</div> <div>試験</div> <div>詳細設計</div> |

### ○平成28年度の実施内容

・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。

### ○平成29年度の実施内容

#### <装置設計>

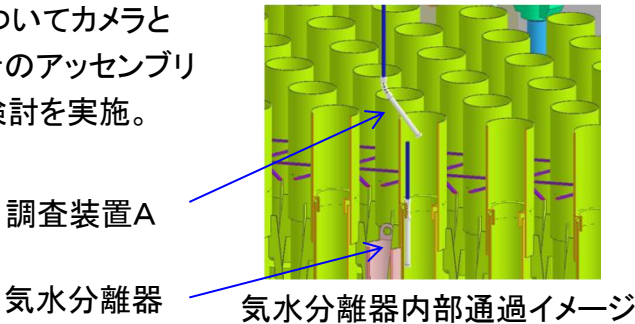
・昨年度検討の調査装置概略構成より、調査装置の種類を以下とした。

A: 小径開口に投入する事前確認用の装置

B: 大径開口に投入する本格調査用の装置

C: シュラウドヘッド内でRPVの中心部へ横展開し、最深部を目標に調査を行うことを目的とした装置

・各種の調査装置についてカメラと照明、線量計、温度計のアッセンブリ化、ケーブル構成の検討を実施。



#### <装置試作、試験>

・要素試験として以下を実施

✓ 調査装置のアクセス性確認試験

⇒ 模擬体を用いたアクセス性確認試験を行い、各種装置の遠隔での施工性を確認

✓ ファイバースコープ、工業用内視鏡の視認性確認試験

⇒ 事前確認用調査装置A向けの視認性として問題ないことを確認

✓ 横展開機構の試作による成立性確認

⇒ 想定環境下での成立性を確認

✓ 温度計の耐放性試験

⇒ 想定環境下での適用に問題ないことを確認

#### ○残された課題

・調査装置の操作性、視認性向上施策(画像処理)の実施

・各検討、要素試験結果から挙げられた課題に対する要素試験、設計検討の実施

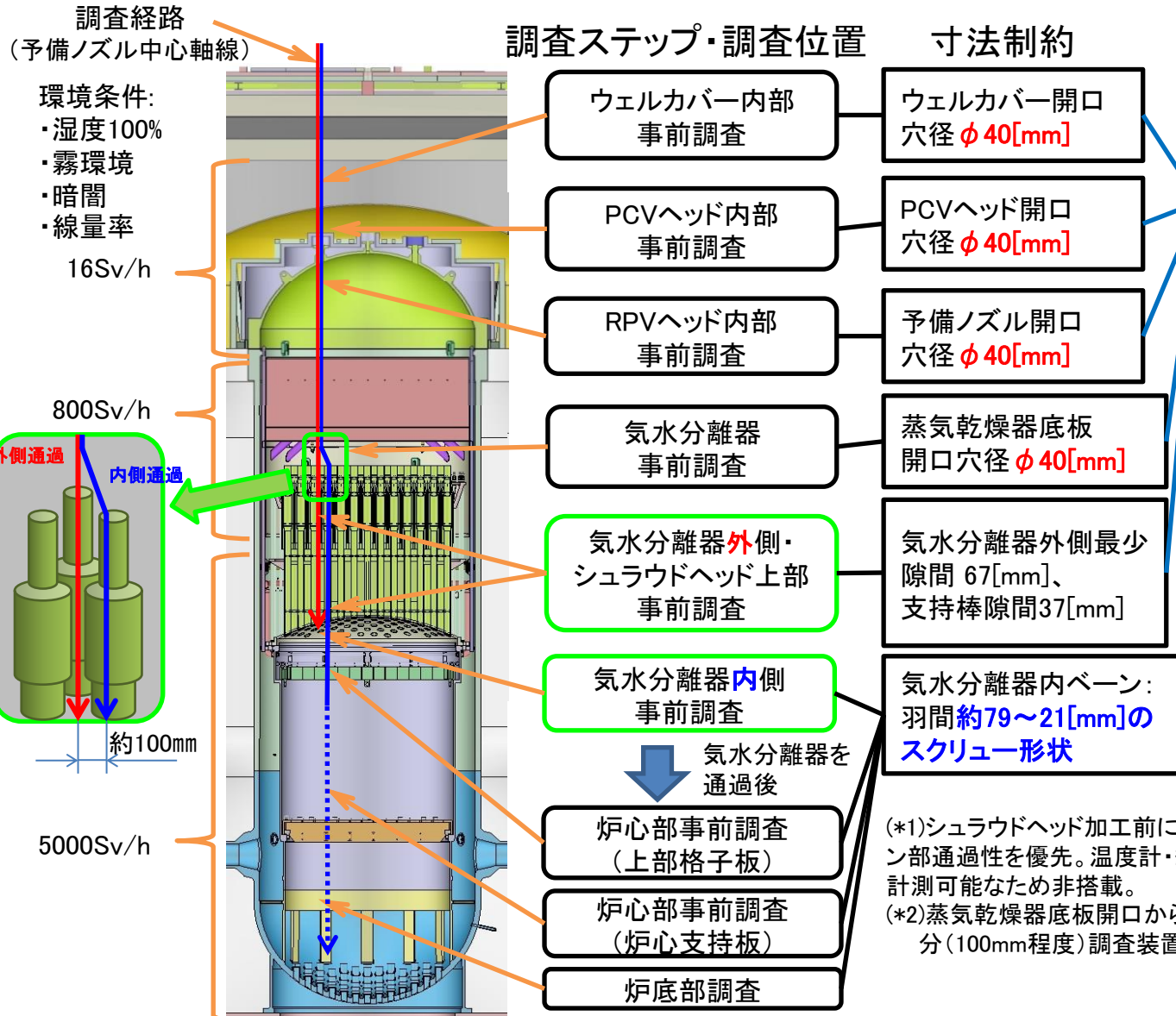
・各実機調査結果等から炉内状況を推定し、装置検討へ反映。

・炉内調査機器の設計進捗を側面穴開け調査におけるアクセス装置設計へ反映

## 6.3 炉心部までの調査方式の開発・選定

### (1) 事前確認用調査装置A 調査仕様と装置要求仕様

#### 調査装置A要求仕様



#### 調査装置(AS)

外径:  $\phi 30[\text{mm}]$ 以下

線量:  $\sim 5000[\text{Sv/h}]$

調査項目:

・視覚情報:  $\phi 50\text{mm}$ 以上の異物確認

・線量: オータが分かる精度

・温度: 精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

調査経路: 予備ノズル中心軸上(シュラウド  
ヘッド上部まで)

最大下降距離: 16.2[m]

その他: 防滴、落下防止、  
故障時回収性確保

#### 調査装置(AB)

外径:  $\phi 20[\text{mm}]$ 以下、長さ100mm以下

線量:  $\sim 5000[\text{Sv/h}]$

調査項目:

・視覚情報(\*1):  $\phi 50\text{mm}$ 以上の異物確認

調査経路: 予備ノズル中心軸上(蒸気乾燥  
器まで)から気水分離器内側(炉底部ま  
で)(\*2)

最大下降距離: 26.9[m]

その他: 防滴、落下防止、  
故障時回収性確保

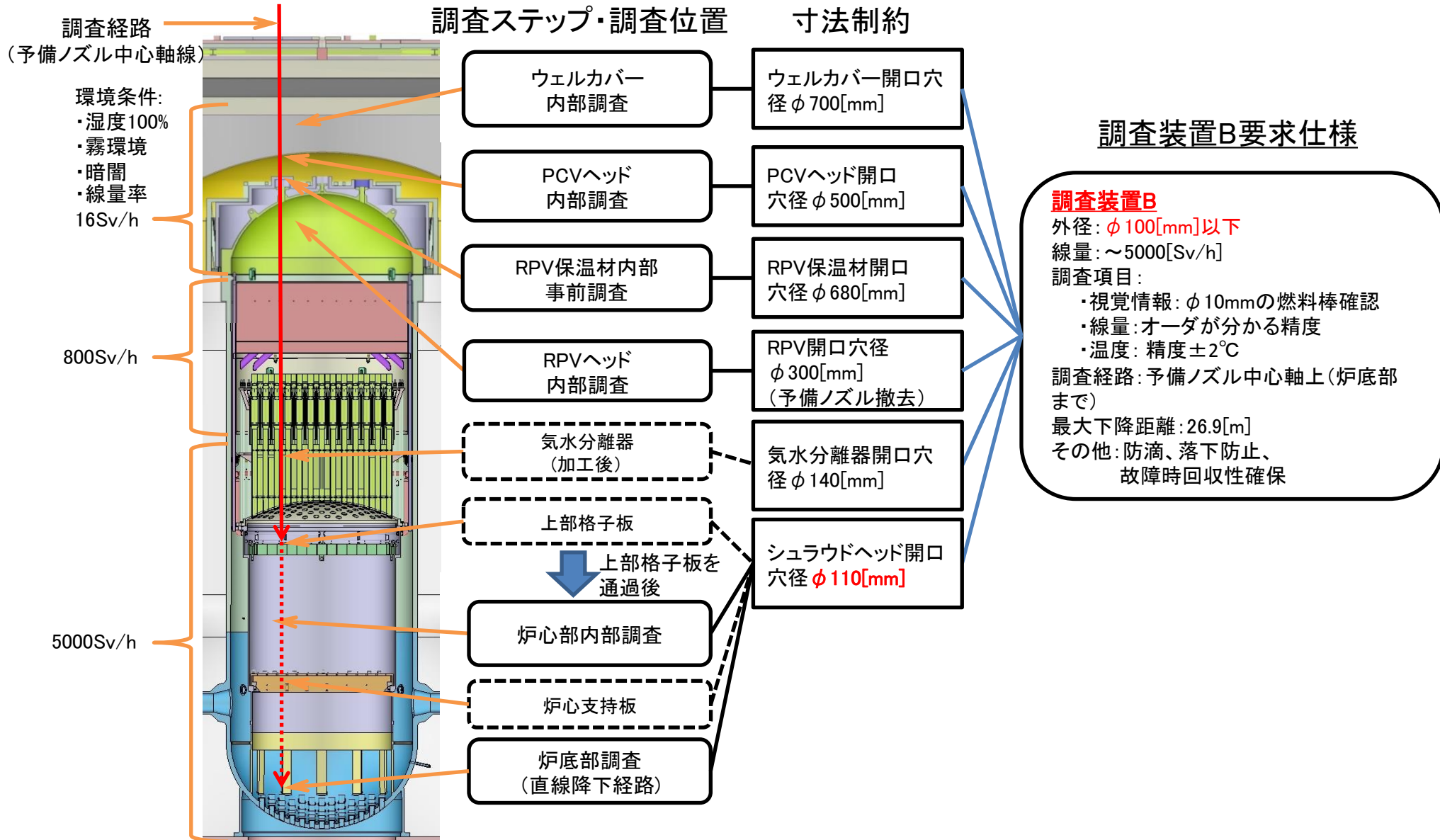
(\*1)シュラウドヘッド加工前に炉心部の情報収集のため、狭隘な気水分離器ベン  
ン部通過性を優先。温度計・線量計は調査装置ASまたは加工後に調査装置Bで  
計測可能なため非搭載。

(\*2)蒸気乾燥器底板開口から気水分離器の内側へ進入するため、オフセット  
分(100mm程度)調査装置を屈曲させる。屈曲量は遠隔操作にて調整する。



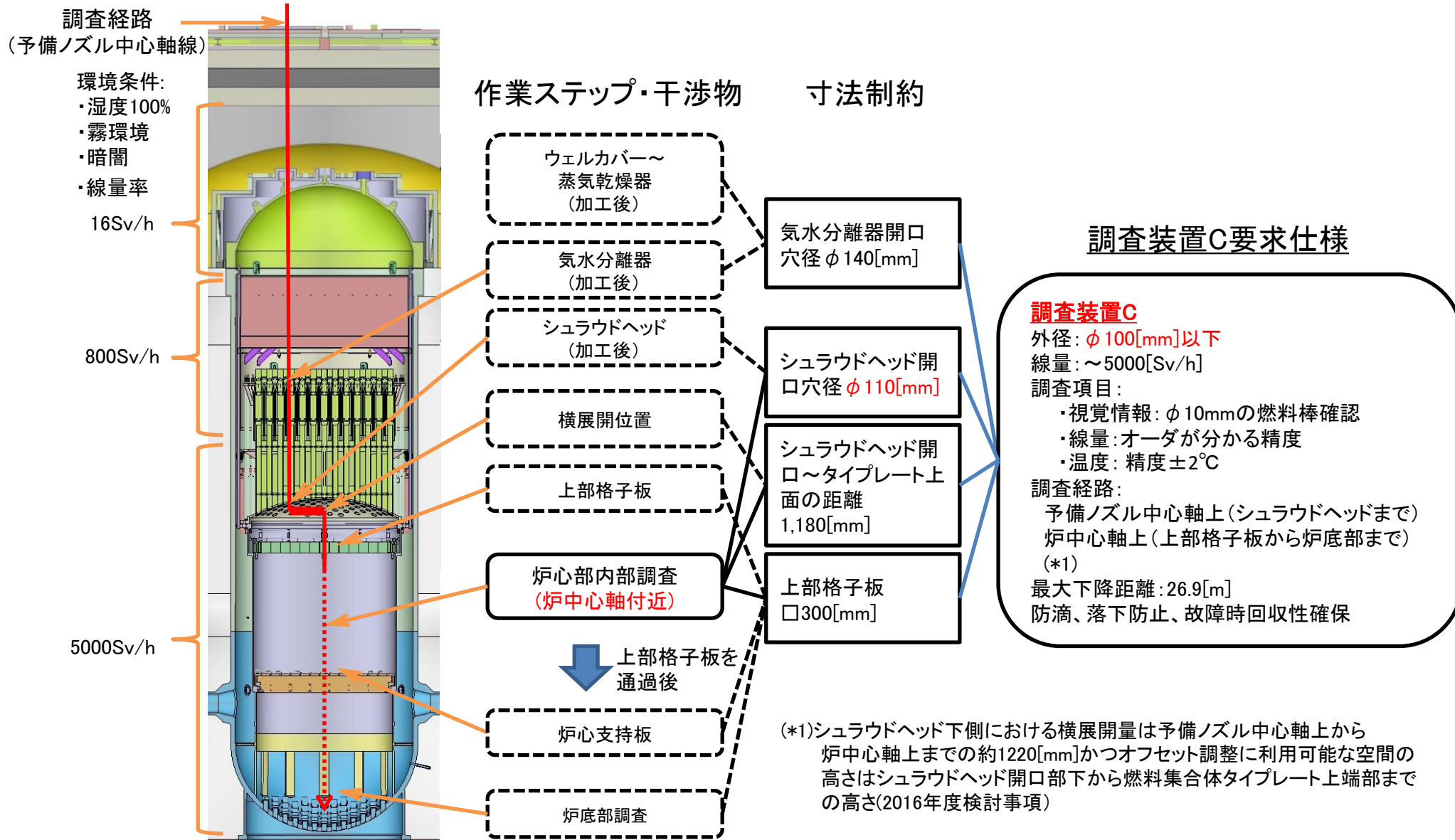
## 6.3 炉心部までの調査方式の開発・選定

### (2) 調査装置B(本格調査用) 調査仕様と装置要求仕様



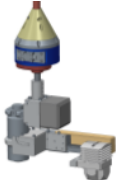
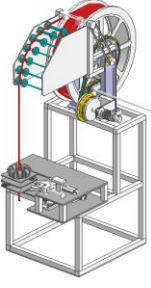
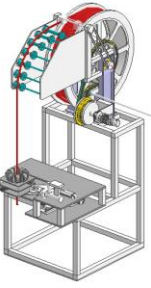
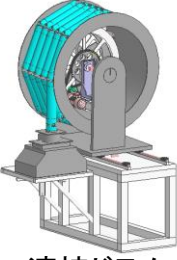
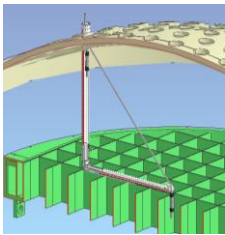
## 6.3 炉心部までの調査方式の開発・選定

### (3) 調査装置C(横展開) 調査仕様と装置要求仕様



6.3 炉心部までの調査方式の開発・選定 (4) 検討結果

| 種類 | アクセス装置                       | 調査装置(視覚情報)                   |                          | 概要                                                                        | 装置直径                                    |
|----|------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| A  | 吊り降ろし+X-Y位置調整機構<br>(+中間屈曲機構) | 低線量域<br>( $\sim 10^2$ Gy)    | 工業用内視鏡                   | 小径開口に投入する事前確認用の装置。線量計、温度計を搭載。気水分離器内の調査装置には、狹隘部へのアクセスを可能とするため中間屈曲機構を搭載。    | $\phi 30\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ |
|    | 吊り降ろし+X-Y位置調整機構<br>(+中間屈曲機構) | 高線量域<br>( $10^3$ Gy $\sim$ ) | ファイバースコープ<br>+先端可動機構     |                                                                           |                                         |
| B  | 吊り降ろし+X-Y位置調整機構              | 低線量域<br>( $\sim 10^2$ Gy)    | カメラ(CCD)<br>+パンチルト機構     | 大径開口に投入する本格調査用の装置。線量計、温度計を搭載。直線降下のみだが、カメラ部にパンチルト機構または駆動式のミラーを搭載し、調査範囲を確保。 | $\phi 100\text{mm}$                     |
|    |                              | 高線量域<br>( $10^3$ Gy $\sim$ ) | カメラ(CID,撮像管)<br>+パンチルト機構 |                                                                           |                                         |
| C  | 接続ドラム+横展開機構                  | 高線量域<br>( $10^3$ Gy $\sim$ ) | カメラ(CID,撮像管)<br>+パンチルト機構 | 大径開口に投入する本格調査用の装置。線量計、温度計を搭載。中央部へ到達するために横展開機構を有する。                        | $\phi 100\text{mm}$                     |

|        |                                                                                                |                                                                                                             |                                                                                                                   |                                                                                                 |                                                                                                                |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 調査装置   | 調査装置A                                                                                          |                                                                                                             | 調査装置B                                                                                                             |                                                                                                 | 調査装置C                                                                                                          |
|        | <br>ファイバースコープ | <br>工業用内視鏡<br>(PCV内部調査で使用) | <br>CCD<br>(PCV内部(A2')<br>調査で使用) | <br>CID(カラー) | <br>撮像管(モノクロ)               |
| アクセス装置 | <br>吊り下ろし   |                                                                                                             | <br>吊り下ろし                     |                                                                                                 | <br>接続ドラム                 |
|        | 調査装置Aのアクセス方法                                                                                   |                                                                                                             | 調査装置Bのアクセス方法                                                                                                      |                                                                                                 | <br>横展開機構<br>調査装置Cのアクセス方法 |

## 6.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

No.45

### ○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                                                     |
|-----|--------------------|-------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 6.4 | 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<br>安全性要件の検討<br>工法手順、作業ステップの検討 | 安全性要件の検討<br>被ばく評価における成立性確認<br>工法手順、作業ステップの検討<br>作業ステップ図の作成 |

### ○平成28年度の実施内容

・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の状況、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。

### ○平成29年度の実施内容

・工法手順、作業ステップの検討を実施。  
・規制当局と議論が必要となると考えられる安全性要件を整理。  
・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。

### ○残された課題

・作業・調査ステップの合理化、構造物加工時の加工片の影響評価及び被ばく評価の実施。  
・他PJの調査結果から想定される炉内状況や環境条件を策定。  
・安全要求と機能要求との関係を整理し、装置設計へ反映。  
・ガス管理、窒素供給、負圧管理、ダストモニタリング、臨界管理システム等、調査実施に必要な付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確化し、別PJで検討されているシステムを含めた適用性を検討。  
・リアルタイムでのダストモニタリングシステムの実施要領検討。  
・各ツールへのユーティリティ供給システムの構築。

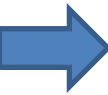
### ＜考慮すべき安全性要件＞

| 安全要求              | 想定する事象                   |
|-------------------|--------------------------|
| 気相部への放射性物質の漏えいの防止 | 各作業時に気層部への放射性物質の移行       |
| 液相部への放射性物質の漏えいの防止 | 各作業時に液相部への放射性物質の移行       |
| 燃料デブリ冷却機能の維持      | 燃料デブリの冷却機能の喪失            |
| 臨界管理、未臨界の維持       | 加工片の落下によるデブリ形状の変化に伴う臨界発生 |
| 火災・爆発の防止          | 加工時の水素爆発                 |
| 重量物落下の防止          | 重量物落下に伴う放射性物質の飛散・拡散      |
| 調査工事に伴う建屋崩壊の防止    | 装置設置に伴う建屋の崩壊             |



# 6.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

## (1)加工・調査ステップの検討(上部穴開け調査工法)

 加工・調査ステップを策定。加工対象物へ大径穴開けを行う前に、小径穴開け・事前確認を行い次ステップへの移行可否判断を行いながら調査を進める計画。

| No. | ステップ            | 加工内容／適用調査装置   | 備考                                          |
|-----|-----------------|---------------|---------------------------------------------|
| 1   | ウェルカバー加工        | 小径(φ40mm)穴開け  | コアボーリングにて加工。加工片は落下。                         |
| 2   | ウェルカバー内部事前調査    | 調査装置A         | PCVヘッドの事前状況確認。真下のみの確認。ガイドパイプ設置・加工可否の確認。     |
| 3   | ウェルカバー加工        | 大径(φ700mm)穴開け | コアボーリングにて加工。加工片は回収。                         |
| 4   | ウェルカバー内部調査      | 調査装置B         | 原子炉ウェル内部の調査。構造物の状態確認。                       |
| 5   | PCVヘッド加工        | 小径(φ40mm)穴開け  | 水素爆発対策として機械加工にて開口。加工片は落下。                   |
| 6   | PCVヘッド内部事前調査    | 調査装置A         | RPV保温材上部の調査。真下のみの確認。加工可否を判断する。              |
| 7   | PCVヘッド加工        | 大径(φ500mm)穴開け | AWJにて加工。加工片は回収。                             |
| 8   | PCVヘッド内部調査      | 調査装置B         | PCV～RPV保温材空間の調査。構造物の状態確認。                   |
| 9   | RPV保温材加工        | 大径(φ680mm)穴開け | AWJにて加工。加工片は落下。                             |
| 10  | RPV保温材内部事前調査    | 調査装置B         | RPVヘッド予備ノズルの事前調査。加工可否を判断する。                 |
| 11  | RPVヘッド(予備ノズル)加工 | 小径(φ40mm)穴開け  | 水素爆発対策として機械加工にて予備ノズル閉止フランジの中心を開口。加工片は落下。    |
| 12  | RPVヘッド内部事前調査    | 調査装置A         | ドライヤの事前状況確認。真下のみの確認。加工可否を判断する。              |
| 13  | RPVヘッド(予備ノズル)加工 | 大径穴開け(φ300mm) | AWJにて加工。予備ノズル撤去。加工片は回収。                     |
| 14  | RPVヘッド内部調査      | 調査装置B         | RPVヘッド内の調査。構造物の状態、空間の状態。                    |
| 15  | 蒸気乾燥器底板加工       | 小径(φ40mm)穴開け  | AWJにて加工。波板等は回避した位置での加工。加工片は落下。              |
| 16  | 気水分離器事前調査       | 調査装置A         | 気水分離器上部の事前状況調査。真下のみの確認。加工可否を判断する。           |
| 17  | 蒸気乾燥器底板加工       | 大径(φ140mm)穴開け | AWJにて加工。加工片は落下。                             |
| 18  | 気水分離器外側事前調査     | 調査装置A         | 気水分離器外部を通過しシュラウドヘッド上部までの事前状況確認。加工可否を判断する。   |
| 19  | 気水分離器内側事前調査     | 調査装置A         | 気水分離器内部を通過し、ペーン部を通過可能であれば炉心部まで調査。加工可否を判断する。 |
| 20  | 気水分離器加工         | 大径(φ140mm)穴開け | AWJにて加工。加工片は落下。                             |
| 21  | シュラウドヘッド加工      | 大径(φ110mm)穴開け | AWJにて加工。加工片は回収。                             |
| 22  | 炉心部内部調査         | 調査装置B         | 直線降下し、上部格子板～炉心部～炉底部(行けるとところまで)の調査。          |
| 23  | 炉心部内部調査(横展開)    | 調査装置C         | シュラウドヘッド内で横展開にて中心へ装置を投入し、最深部(行けるとところまで)の調査。 |

# 6.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

## (2) 調査の全体計画(案)

<前提条件>・側面穴開け調査は、上部よりも先行して実施可能な場合のみ実施。  
・各主要ステップの時期は重ならないよう設定。  
・上部穴開け調査は、SFP燃料取り出し、負圧環境構築後に設定。

| 作業場所 |              | 想定されるステップ(各項目にかかる時間は未考慮)                     |                          |                                   |             | 検討・課題事項                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|--------------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1号機  | オペフロ         | SFP燃料取り出し準備<br>(建屋上部解体・ウェルカバー撤去・<br>遮へい体設置等) |                          | SFP燃料<br>取り出し開始<br>(2023年度<br>目途) | 上部<br>穴開け調査 | RPV内デブリ<br>取り出し<br>(上アクセス) | ○号機共通<br>・事前現場調査の実施<br>・各作業の優先順位<br>・各項目の実施期間<br>・負圧環境構築時期<br><br>○1号機<br>・SFP燃料取り出し計画及び調査後のデブリ取り出しに<br>向けたオペフロ上の作業調整<br>→ウェルカバー撤去後の作業エリアの構築方法<br>→SFP燃料取り出し設備へ、作業エリアに関する調査側<br>の要求事項の反映<br><br>○2号機<br>・空調機室屋上の干渉物撤去可能時期<br>・SFP燃料取り出し計画及び調査後のデブリ取り出しに<br>向けたオペフロ上の作業調整<br>→SFP燃料取り出し設備へ、作業エリアに関する調査側<br>の要求事項の反映<br><br>○3号機<br>・SFP燃料取り出し計画及び調査後のデブリ取り出しに<br>向けたオペフロ上の作業調整<br>→ウェルカバー損傷状況の把握、加工可否確認<br>→デブリ取り出しに向けた遮へい体の改造に対し、作業<br>エリアに関する調査側の要求事項の反映 |
|      | 空調機室<br>屋上   |                                              |                          |                                   | 側面<br>穴開け調査 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | PCV内<br>負圧環境 | PCV内負圧<br>環境構築                               |                          |                                   |             |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2号機  | オペフロ         | 建屋上部<br>解体                                   | SFP燃料取り出し準備<br>(遮へい体設置等) | SFP燃料<br>取り出し開始<br>(2023年度<br>目途) | 上部<br>穴開け調査 | RPV内デブリ<br>取り出し<br>(上アクセス) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | 空調機室<br>屋上   |                                              | 干渉物撤去、<br>作業架台の<br>構築    |                                   | 側面<br>穴開け調査 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | PCV内<br>負圧環境 | PCV内負圧<br>環境構築                               |                          |                                   |             |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3号機  | オペフロ         | SFP燃料<br>取り出し開始<br>(2018年度<br>中頃)            | カバー建屋、<br>構台撤去           | 遮へい体の改造、<br>作業エリアの構築              | 上部<br>穴開け調査 | RPV内デブリ<br>取り出し<br>(上アクセス) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | 空調機室<br>屋上   |                                              |                          | 干渉物撤去、<br>作業架台の構築                 | 側面<br>穴開け調査 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | PCV内<br>負圧環境 | PCV内負圧<br>環境構築                               |                          |                                   |             |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

⇒上部穴開け調査工法の実施は遅くなる見込み。また、オペフロでの接合の詳細設計には、号機毎に調査前後の計画等、デブリ取り出しまでを考慮した設計の全体を通した合理化検討が必要。

## 7.まとめ

### 7.1 上部から炉心にアクセスする装置の開発

- 被ばく評価を実施し、本工法の適用には負圧環境構築後に実施する方針とした
- PCV内負圧環境を想定したバウンダリ機能維持装置のシール性確認試験を実施
- RPV予備ノズル撤去工法について試作、要素試験を実施
- 炉内構造物の狭隘部開口((気水分離器の組合せ切断等))について、試作、要素試験を実施

⇒RPV上部から穴を開けてアクセスルートを構築する工法について装置・システムに関する計画・仕様検討、試作・要素試験、詳細設計を実施し、遠隔での施工性を確認

### 7.2 側面から炉心にアクセスする装置の開発

- 号機適合性を検討して、2号機への優先適用の妥当性を整理
- 被ばく評価を実施し、放射性ダストの飛散を考慮しても本工法の適用に問題ないことを確認
- 概念設計を行い、バウンダリを確保する工法を確立

⇒バウンダリを維持しつつ、PCV遮へい壁やPCV、RPVを切削していく工法を確立、工程ステップを明確化し、各装置の仕様をまとめ、実機適用への実現性を確認

### 7.3 炉心部までの調査方式の開発、選定

- 調査ステップ別に小径開口後のアクセスルート事前確認用と大径開口後の本格調査用の2種類の装置仕様を検討
- 横展開機構を備えた調査装置仕様を検討
- アクセス性確認試験により遠隔施工性を確認

⇒装置の試作を行い、各開口を模擬したモックアップ体を用いたアクセス性確認試験にて遠隔での施工性を確認

### 7.4 調査装置全体システムの設計と工法計画

- 加工／調査ステップを検討し、調査全体の流れを整理
- 号機毎に調査前後の状態・計画に応じた対応方針を検討

⇒原子炉建屋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

⇒現地適合性を高めるため事前現地調査の必要性について検討

- ・上部穴開け調査工法:原子炉ウェル内調査
- ・側面穴開け調査工法:2号機R/B3階の調査