

**令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金  
(福島第一原子力発電所廃止措置統合管理のための  
支援技術の開発  
(原子炉格納容器内の連続的な監視システムの開発))」**

**2022年度最終報告**

**2023年7月**

**技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)**

# (目次)

1. 補助事業の概要
  - 1.1 研究の背景・目的・目標
  - 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連
  - 1.3 スケジュールと実施体制図
2. 令和3年度の成果
  - 2.1 検討の前提条件
  - 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」
    - 2.2.1 作業設備モデルの検討
    - 2.2.2 安全設備モデルの検討
    - 2.2.3 デブリ取り出しモデルの作成
    - 2.2.4 リスク評価
  - 2.3 実施項目(1)②「監視要求仕様の整理」
  - 2.4 ここまでのまとめ
3. 令和4年度の成果
  - 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」
    - 3.1.1 アウトプットイメージ
    - 3.1.2 監視方策の多様化検討
      - (a)代替監視の設定対象の選定
      - (b)本事業で詳細に調査・検討すべき監視項目の抽出
    - 3.1.3 計測機器の設置方法検討
      - (a)配管内プロセス性状監視(全体計画)
      - (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)
      - (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)
    - 3.1.4 技術課題の整理
    - 3.1.5 ここまでのまとめ
  - 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」
    - 3.2.1 アウトプットイメージ
      - (a)3つの支援システムの定義
      - (b)目指す成果
    - 3.2.2 現場データの活用方策の検討
      - (a)基本的要求と要求機能の設定
      - (b)3つの支援システムの具体的な活用例
    - 3.2.3 現場データの全体処理工程の検討
      - (a)連続的・離散的現場データの分析手順
      - (b)現場データと設備能力限界の比較分析手順
      - (c)分析結果に基づく工事計画の改善検討手順
      - (d)年間タイムラインと課題
    - 3.2.4 ここまでのまとめ
4. まとめ

# 1. 補助事業の概要 1.1 研究の背景・目的・目標

## ■背景と目的

- 燃料デブリ取り出し作業を行う現場では、設備運転員の操作ミスや機器故障だけでなく1F特有の想定外事象(\*1)も発生すると考えられ、これらはスループット確保の阻害要因となる。
- 原子力安全を維持し、かつ目標とするスループットを確保するためには、PCV(\*2)内で得られた監視データに基づき現場状況に即した信頼性の高い対応を判断する意思決定プロセスが必要である。

(\*1)特に異常・事故時を想定。本事業では通常時の一次バウンダリ(PCV)を対象に監視を検討する。この監視は事故時、異常時のPCV内においても適用される(詳細: 添付資料1.1-1)。

(\*2)原子炉格納容器

設備運転員が日々の確・迅速な現場対応を行い、安全状態を維持しつつ、スループットを確保していくためには、監視データを収集するPCV内環境の連続的な監視技術が必要。

## ■目標

【参考資料】添付資料1.1-1: 本事業で検討する監視項目のリスクレベルへの寄与

- 1F廃止措置の統合管理を円滑に実施するため、日々、運転員が的確迅速に現場対応できる原子炉格納容器内の連続的な監視システム(以後、監視システムと言う。)を開発する。

令和3年度、  
4年度実施

➤ 目標1: 工法設計に活用できるPCV内監視の要求事項と課題を整理。

実施項目(1): PCV内の監視項目を調査 実施項目(2): 監視実現に向けた監視方法の検討

➤ 目標2: 監視データ運用の概念(具体的な情報処理と活用の流れ)を検討。

実施項目(3)統合管理支援技術の運用方針検討

令和4年度  
実施

令和3年度  
実施

## ■検討の前提条件

- 工法に依らない一般論で検討し、かつ「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発」の成果を踏まえる。
- 通常状態(メンテナンス除く)における一次バウンダリ内での「燃料デブリ加工～一次バウンダリ外への搬出」までを検討対象とする。

各デブリ取り出し工法が活用できる監視システムの開発要件/仕様を作ることが研究目標。

# 1. 補助事業の概要 1.1 研究の背景・目的・目標

No.3

## ■用語の定義

- 本事業の実施内容はリスクマネジメントに係るものである。ISO31000(リスクマネジメント指針)を参照し、本事業における各種専門用語を以下に定義した。
- 本資料中では紙面スペースの都合上、燃料デブリを「デブリ」と略記する場合もあるが何れも同義である。

専門用語/略語	説明
計画された燃料デブリ取り出し状態	放射性物質の拡散等、安全要求により定めるプラントが満足すべき安全が守られており、かつ計画に定めた通りに燃料デブリ取り出し・搬出作業が進捗している状態。また、本事業の燃料デブリ取り出し・搬出作業とは、燃料デブリを1日10時間で300kg搬出する年間200日の操業状態(*)とする。この作業時間および稼働日数の枠外で実施する設備のメンテナンスおよびリプレースの期間は対象外とする。
スループット	燃料デブリの取り出し(更なる規模拡大取り出しフェーズ)開始から完了までの期間における、燃料デブリの総取り出し量に係る能力。
作業遅延要因 (=スループットの 阻害要因)	計画された燃料デブリ取り出し状態を脅かし、スループットを悪化させる要因。主に以下2点が挙げられる。 要因①: 燃料デブリ取り出し・搬出機能が低下することに起因し、作業が遅延する。 要因②: 放射線リスクに対する安全機能が低下することに起因し、作業が遅延する。
リスク	リスクとは、スループットを確保する目的に対する不確かさの影響であり、ここで言う影響とは、計画された燃料デブリ取り出し状態から乖離することである。
リスク評価	リスクがPCV内の重要監視項目であるかどうかを判断するための手段。 リスク評価の意義は決定の裏付けであり、リスク評価はどこに追加の行為をとるかを決定するためのリスク分析結果とリスク基準との比較を含む。

(\*)工法によっては燃料デブリを日中仮置きし、夜間に一括搬出する方法(いわゆるバッチ処理)もある。本表では取り出しと搬出を連続的に行う場合の表現とした。

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

### ■実施項目(1):PCV内監視項目の調査

#### ①重要監視項目の調査

- 日々、運転員が的確迅速に現場対応できることを目的に、作業遅延に繋がるPCV内の重要監視項目を調査し、リスクの要因を抽出する。
- リスク要因の抽出方法として、安全機能を付加したデブリ取り出し・搬出プロセスをモデル化(以後、デブリ取り出しモデルと言う。)する。
- 抽出したリスク要因は、計画された燃料デブリ取り出し状態からの逸脱度合いの観点(評価項目:安全、運転員、スループット)で重み付けのうえ評価する。

#### ②監視要求仕様の整理

- 上記①の結果に基づき、要求される現場データの取得方法を検討する。検討にあたっては、現状および将来的に計測できる監視項目とその過不足を確認する。また、各計測で必要な計測緒元、レンジ、精度を検討する。ここで、①の整理に不足がある場合は①を見直す。
- 上記①②によって、日々、運転員が的確迅速に現場対応するために必要なPCV内の重要監視項目を整理する。なお、本調査は次に続く実施内容(2)および(3)の成果と連携し、見直しを行う。

デブリ取り出しモデルを作成し、監視項目を設定し、要求仕様を整理する。

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

### ■実施項目(2): 監視方法の検討

#### ①監視方策の多様化検討

- 監視部位の選定にあたって、**直接監視が困難な場合も想定し、解析を組み合わせた間接監視の方法も含めて検討する。**

#### ②計測機器の設置方法検討

- 上記①で検討した方法を**現地適用するための計測機器設置方法を検討する。**
- ペネトレーションや原子炉建屋構造上の制約も考慮した、監視設備のためのペネトレーション使用計画を検討する。

#### ③技術課題の整理

- 基本的な技術課題および開発要素の検討、抽出のために各計測機器設置に向けた課題を抽出し、**課題解決に向けた計画を立案する(例.燃料デブリ取り出し関連設備との干渉回避)。**
- また、計測データを収集する**システムに要求される事項を検討する。**

**監視要求仕様に基づき、具体的な監視方法検討と課題整理を行う。**

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

### ■実施項目(3):統合管理支援技術の運用方針検討

#### ①現場データの活用方策の検討

- 実施内容(1)および(2)の成果に基づき、日々、運転員が的確迅速に現場対応できる現場データの活用方策を検討する。また、この検討では運転員の視点を参考にする。

#### ②現場データの全体処理工程の検討

- 上記①の検討成果を活用し、1F現場運用を想定した現場データの処理工程を検討する。具体的には、統合管理支援技術の一部である監視システムのデータ処理工程を検討する。

※IRID本部の検討と連携

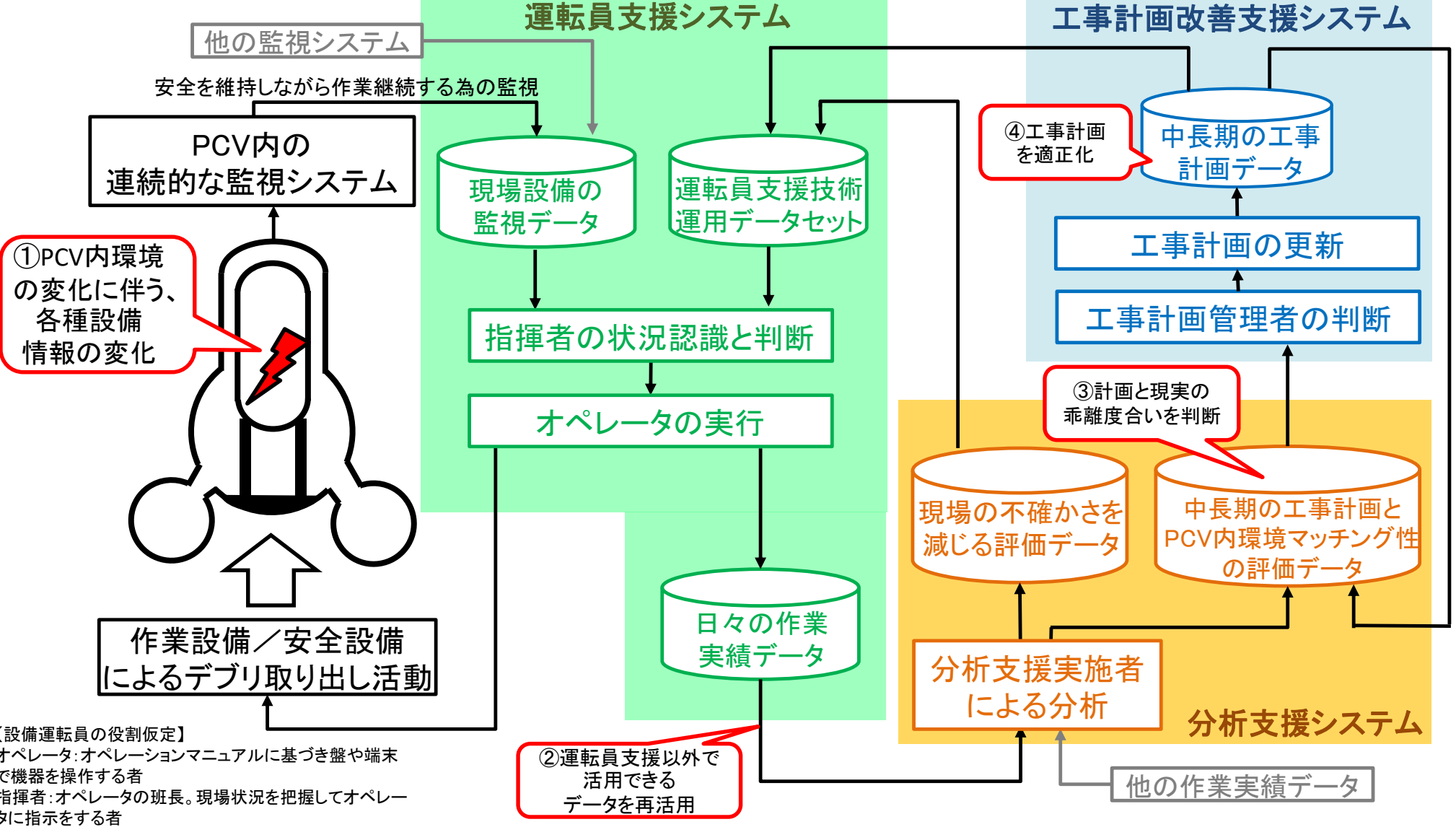
監視で得た現場データが運転員に対してどのように役立てられるかを検討する  
役立てるために必要な3つの支援システムの概念を次頁に示す。

■現場データの活用方策

現場で得られる監視データは、下図の3つの支援技術に活用できる。

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連



【設備運転員の役割仮定】  
 オペレータ:オペレーションマニュアルに基づき盤や端末で機器を操作する者  
 指揮者:オペレータの班長。現場状況を把握してオペレータに指示をする者

監視で得るデータは使い捨てず、作業実績→分析→工事計画更新(適正化)を経て、運転員への支援としてフィードバック。この詳細は3.2項で説明。



# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

令和4年度実施

No.8

### ■ 全体開発フロー

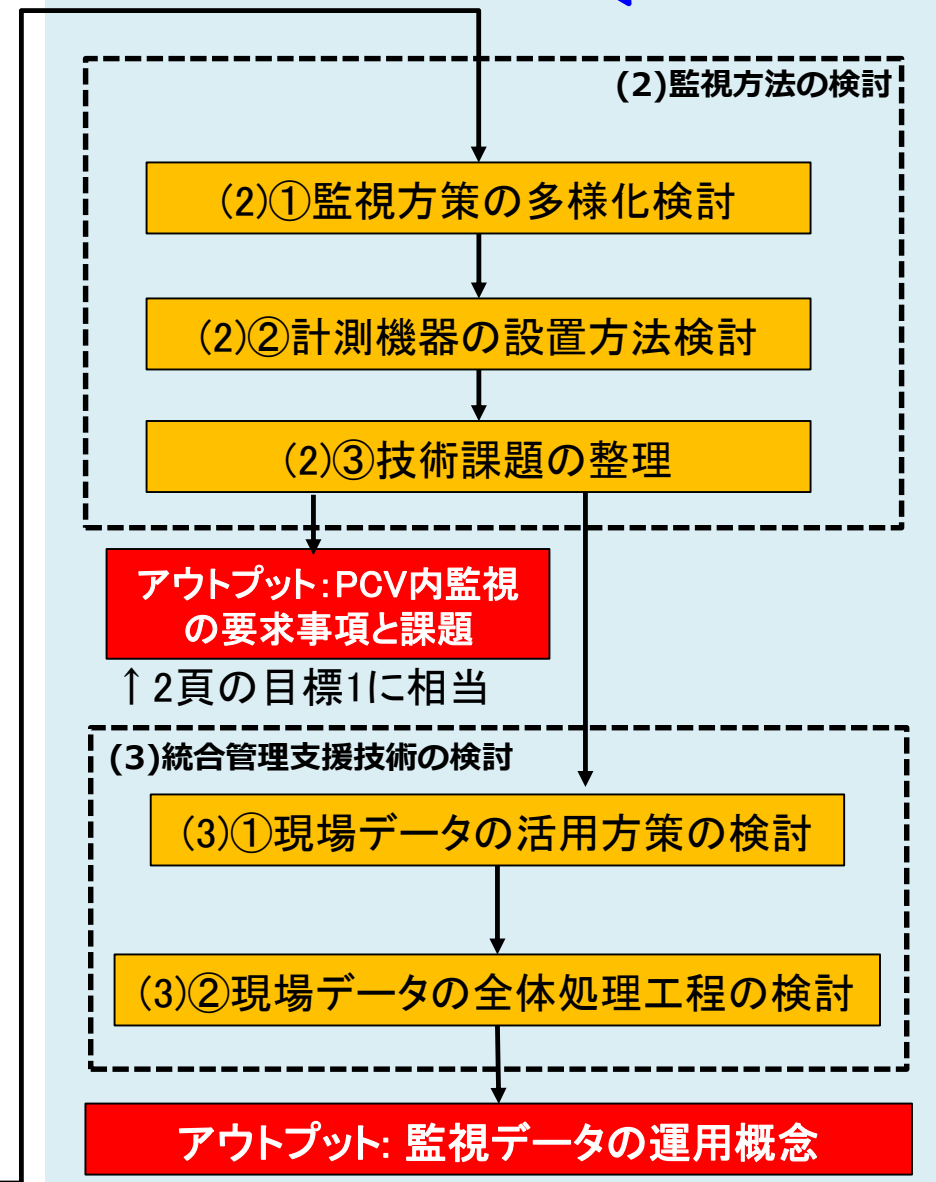
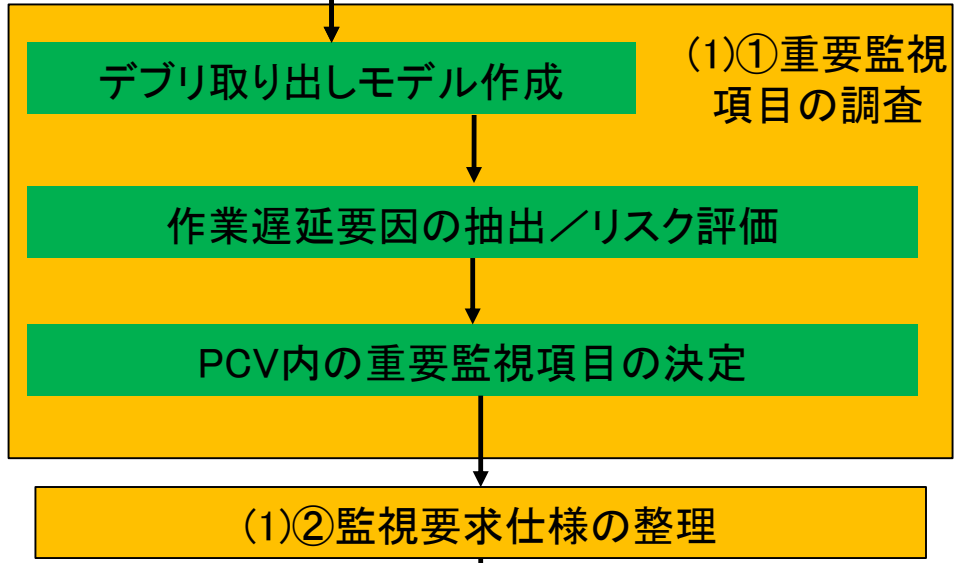
- 各実施項目を連携させた開発フローを示す。
- 成立性判定に伴うイタレーションを考慮したものは、添付資料1.2-2を参照。
- 各検討内容の具体的な関係性は添付資料2.2-1を参照。

令和3年度前の  
補助事業検討結果

補助事業以外の  
情報

【インプット例】  
・一次バウンダリ定義  
・燃料デブリ性状  
・作業工程 など

#### (1)PCV内監視項目の調査



↑ 2ページの目標2に相当

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

### ■TRL

実施内容	目指す効果	(補足)TRL定義
(1) PCV内の監視項目の調査	燃料デブリ取り出し中におけるPCVの閉じ込め機能維持、未臨界状態の監視等、安全要求を満足するためにPCV内で状態監視すべき項目を調査し、抽出・整理していること。	(技術開発課題の調査や整理は開発項目と異なるため、技術成熟度(TRL)は設定しない。)
(2) 監視方法の検討	実施内容(1)の整理結果に基づき、PCV内監視のための各計測機器設置に向けた課題を抽出し、課題解決に向けた計画を立案していること。 (終了時目標TRL:レベル2)	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。
(3) 統合管理支援技術の運用方針検討	実施内容(1)および(2)の結果に基づき1F統合管理に資する支援項目を抽出し、現地での活用方を計画していること。 (終了時目標TRL:レベル1)	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。

# 1. 補助事業の概要

## 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

### ■他PJとの主な連携

ID	要求側事業	提供側事業	内容	情報の用途
1	本事業	デブ取PJ/ 高度化PJ/ 基盤PJ/ 安全PJ/ 収納缶PJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PCV内での作業計画</li> <li>・PCV内および原子炉建屋への追加設置設備情報</li> <li>・安全システム運用計画</li> <li>・PCV雰囲気内での作業計画</li> <li>・PCV内および原子炉建屋への追加設置設備情報</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PCV内監視項目の調査のうち、重要監視項目の検討条件の設定</li> <li>・監視方法の検討のうち、監視方策の多様化検討条件の設定</li> </ul>
2	デブ取PJ 安全PJ 収納缶PJ	本事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重要監視項目と監視要件</li> <li>・統合管理支援技術(監視システム)の運用方針</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各工法における重要監視項目の設定や見直しができる。</li> <li>・各工法における必要監視技術の特定ができる。</li> </ul>

デブ取PJ : 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発

高度化PJ : 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化

基盤PJ : 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化

安全PJ : 安全システムの開発

収納缶PJ : 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

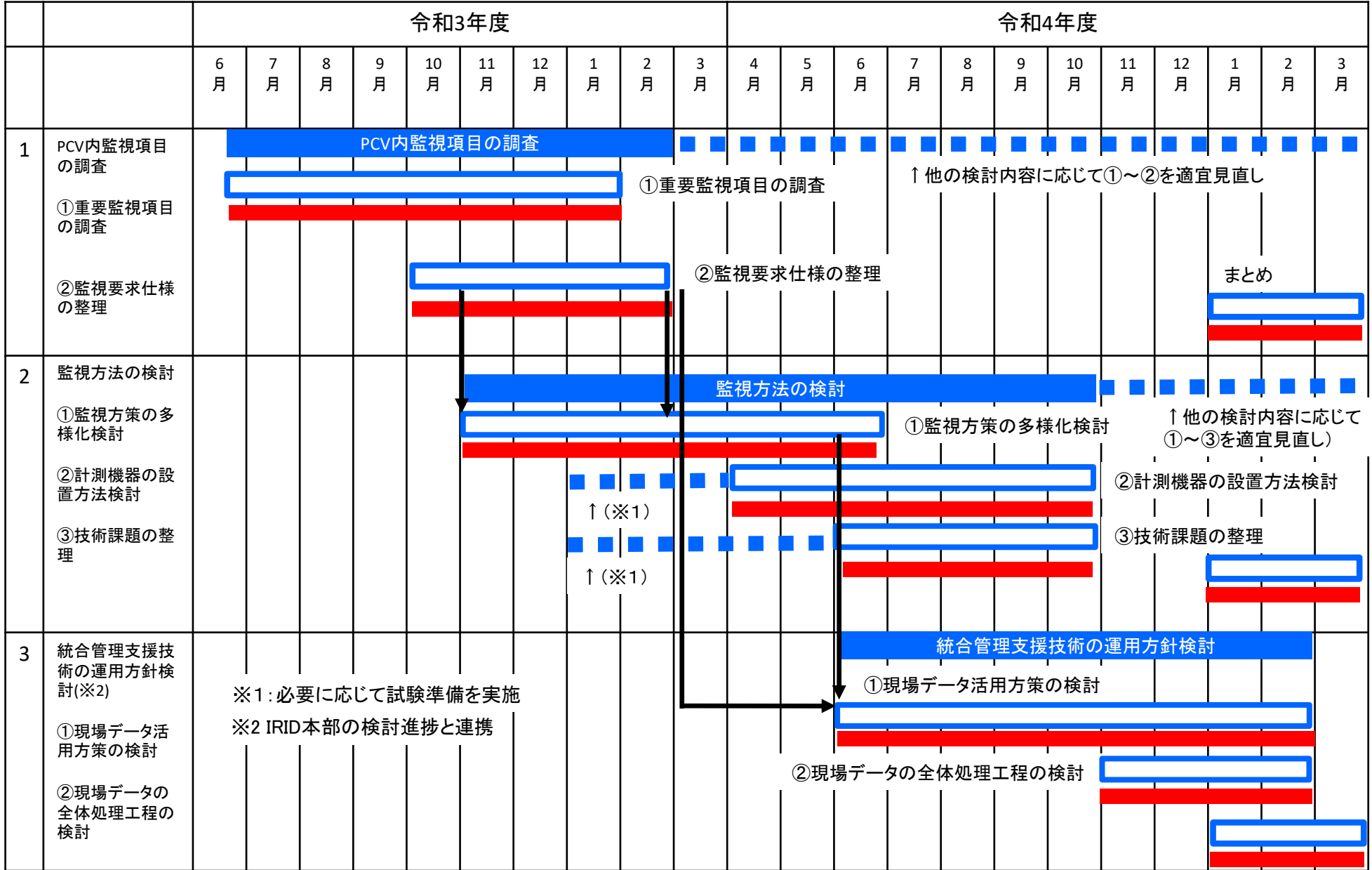
# 1. 補助事業の概要 1.3 スケジュールと実施体制図

実施項目  
計画スケジュール

実績

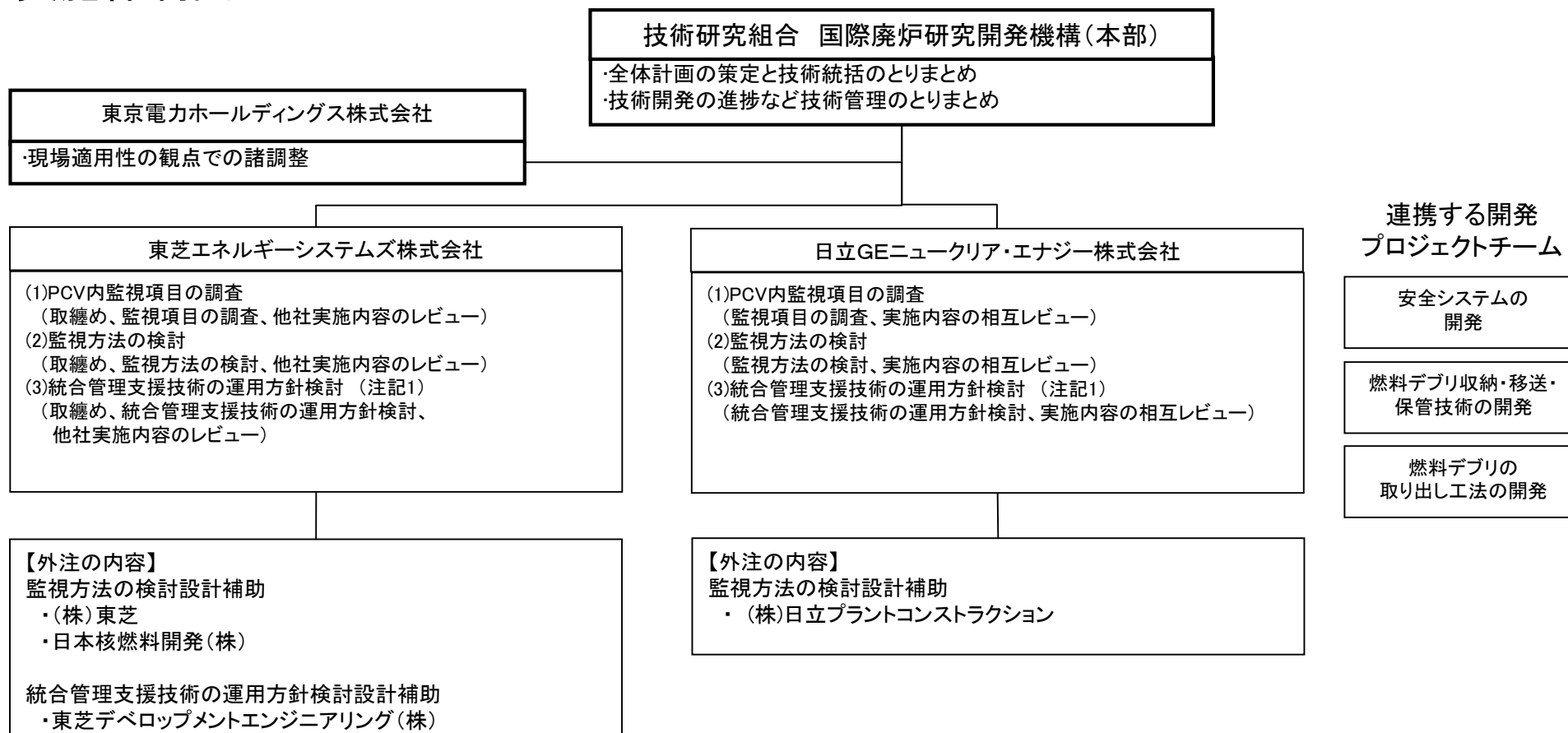
No.11

## ■スケジュール



計画通りに全実施項目を遂行・完了。

■実施体制図



注記1:(3)についてはIRID本部においても検討方針を構築

メーカーは日立GE／東芝ESSにて対応。

## 2. 令和3年度の成果

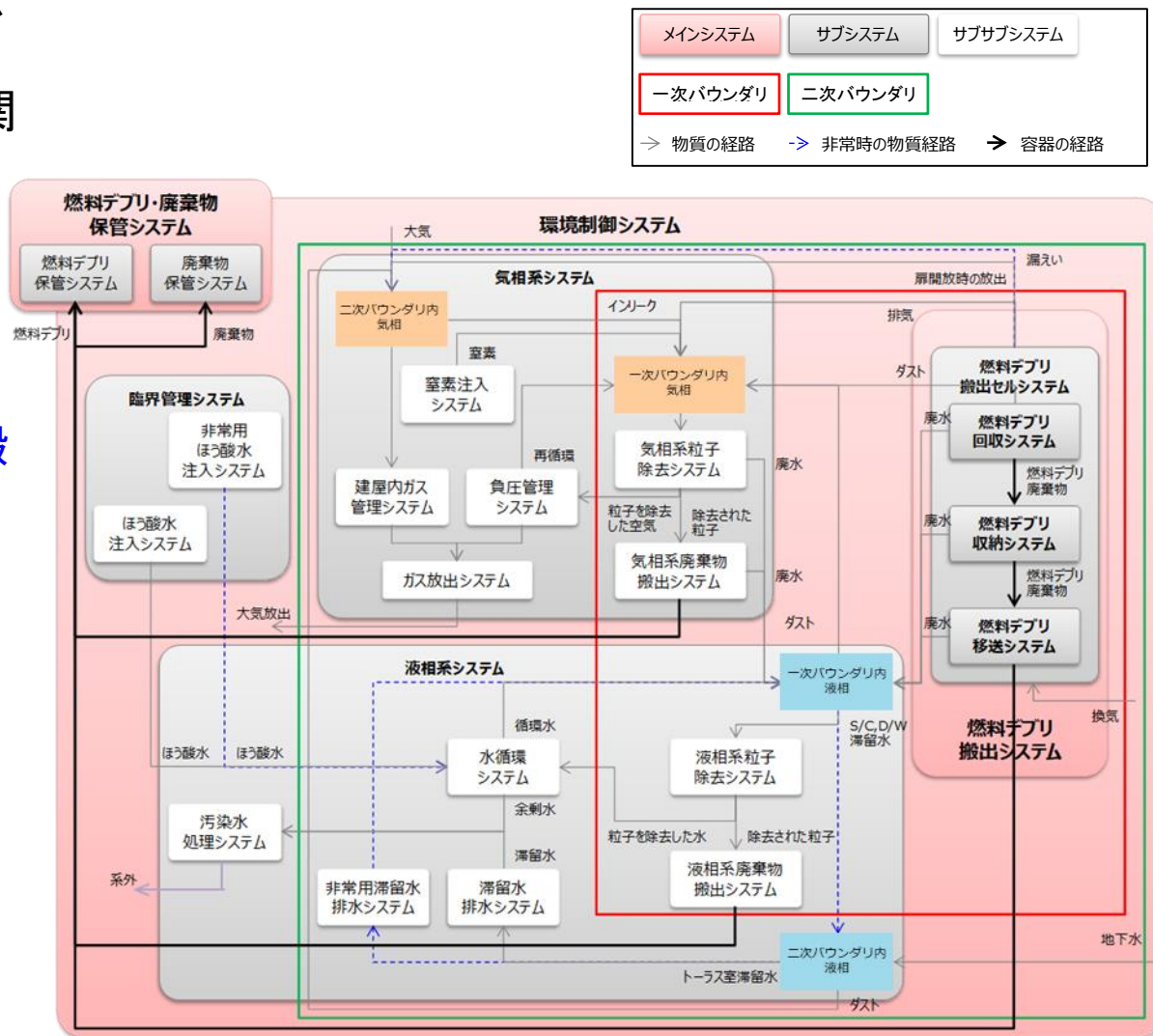
### 2.1 検討の前提条件

## ■システム上の検討範囲

- 右図は燃料デブリ取り出しシステムの全体構成について、気体、液体、燃料デブリなど、物質の流れの相関性を表現したものである(※)。

※燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化PJの設定内容に対して、汚染水処理の系外放出の考えなど物質のIN/OUTの考えを追加

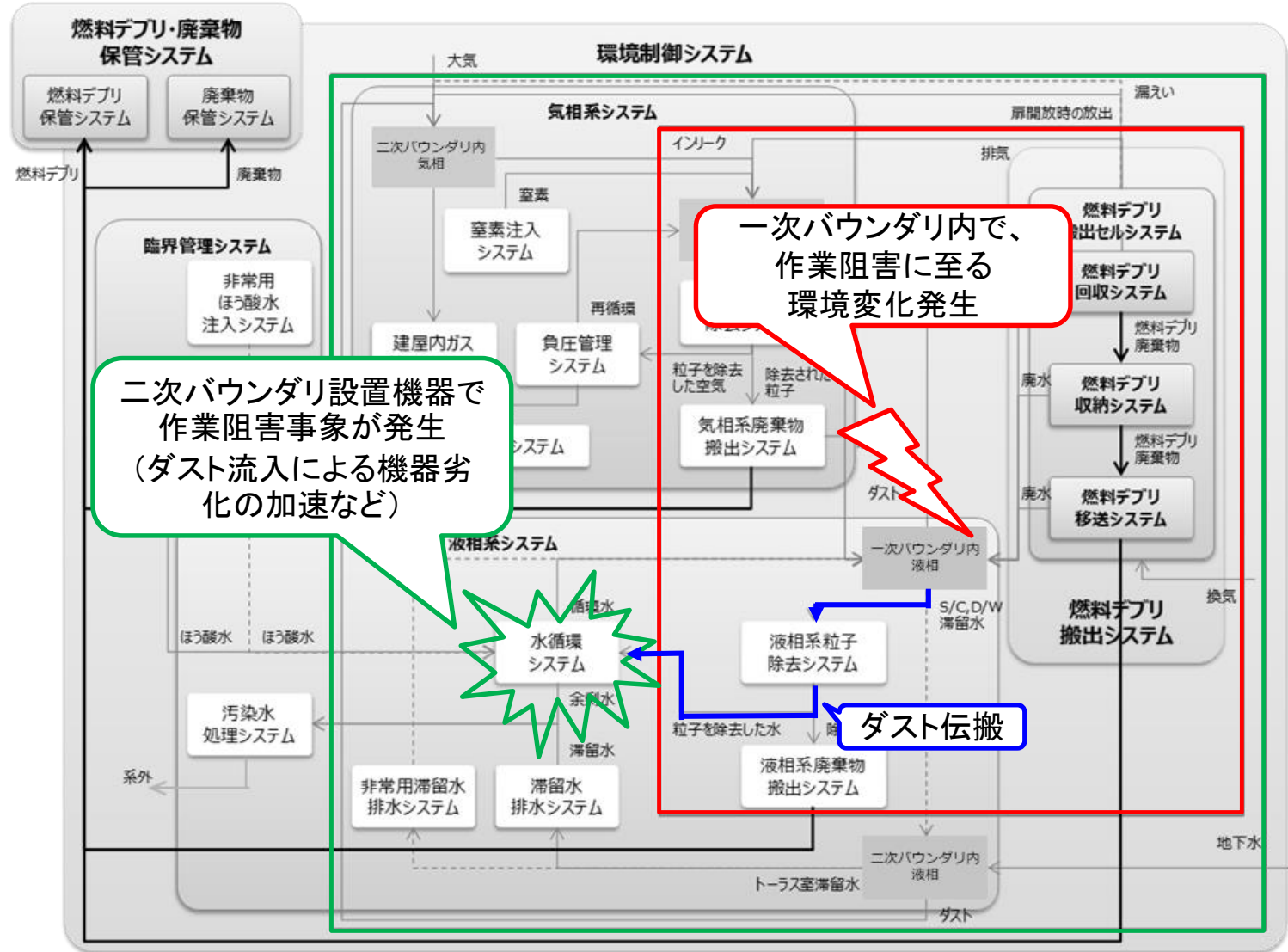
- 本事業は右図に示す個々のシステムに対して、燃料デブリ取り出し・搬出作業時の情報(データ)の流れや相関性(IN/OUT)を検討する。
- 上記に先立ち、本事業の検討範囲の考え方を次頁に示す。



# 2. 令和3年度の成果 2.1 検討の前提条件

## ■システム上の検討範囲

- 本事業の検討範囲の考え方を示す。
- デブリ取り出し・搬出作業に伴って発生するPCV内の環境変化を起点に、作業阻害事象が発生する機器を物質フロー上で追跡・特定する。
- 当該機器が二次バウンダリ下に設置される場合、その機器の監視についても検討対象にする。



【関連添付資料】  
添付資料2.1-1:  
一次バウンダリの範囲

まず、一次バウンダリ内の現象に注目。配管など、空間が連通する二次バウンダリ設置機器へ波及するものにも監視要件が無いかが検討する。そのためにはモデルが必要(18頁で説明)。



### ■各システムの前提条件

- 「安全システム」は紙面表記の都合上、安全設備と略す場合がある。  
「燃料デブリ取り出し・搬出システム」は作業設備と略す場合がある。
- 作業設備と安全設備は、何れも過去補助事業および予備エンジニアリングによって、原子力安全を担保するための深層防護レベル1～3を設定および担保しているものとする。
- 作業設備で実施する通常作業(メンテナンス除く)は**全て遠隔操作**とする。一次バウンダリ内の一部は作業員が常時立ち入り可能な環境だが、工法によって作業員の介在度合いが異なるため、汎用性のある影響評価は困難と判断した。

「計画された燃料デブリ取り出し状態」を維持していくための  
要求提示を目指す前提条件を設定した。

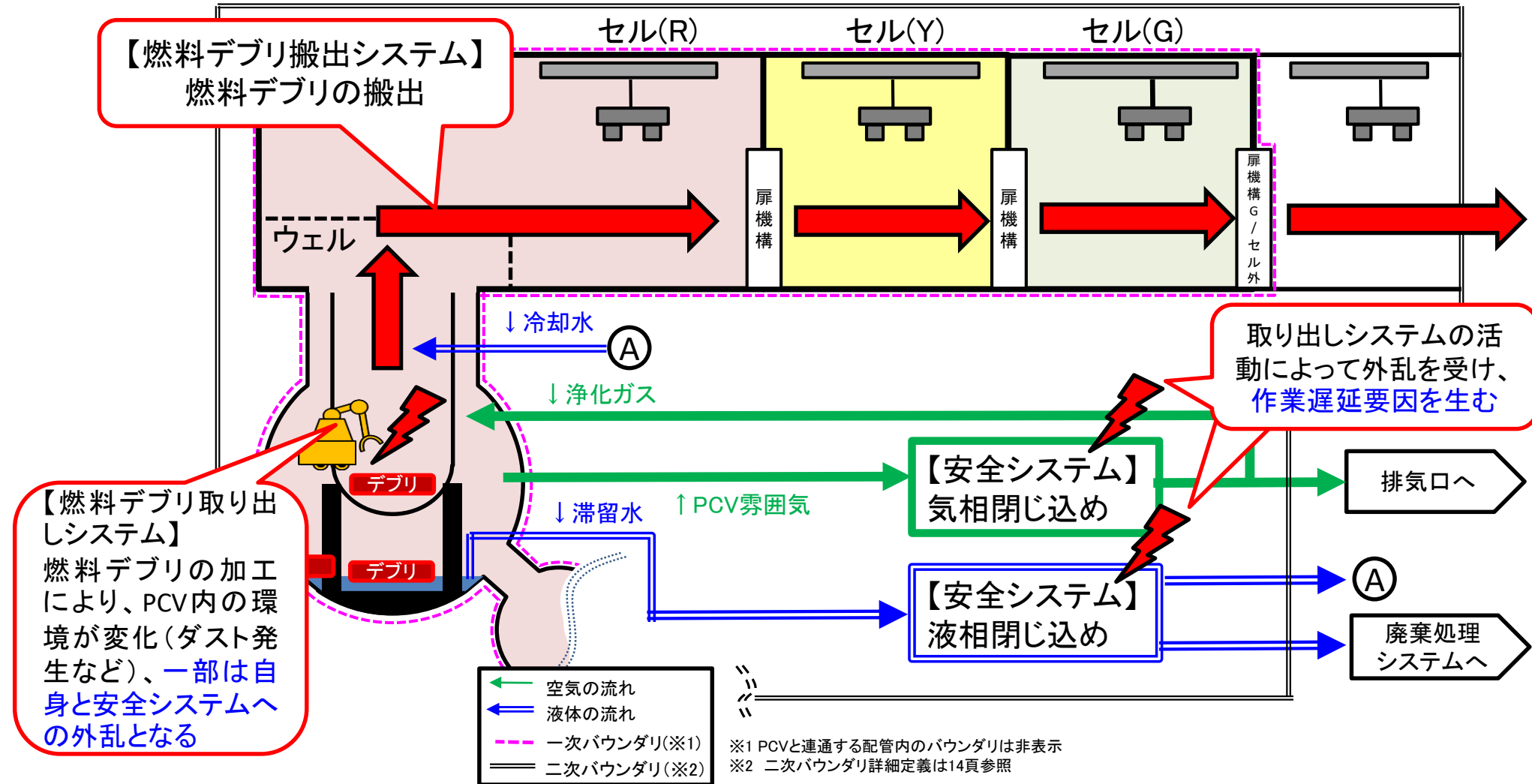
## 2. 令和3年度の成果

### 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

No.18

- 重要監視項目の調査のため、燃料デブリ取り出し・搬出システムと安全システムを具備したデブリ取り出しモデルを作成した(下図はモデルの構成概念。詳細版は29頁)。
- 本モデルに基づき、デブリ取り出し・搬出作業に発生する作業遅延要因を抽出した。
- デブリ取り出しモデルへの詳細な要求と、重要監視項目の関係性は添付資料2.2-1を参照。



一次バウンダリ内現象の拡がりを追跡できるよう系統概念図(モデル)を作成した。作成結果は29頁参照。

# 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

- 過去の1F補助事業で整備した1F版原子力安全要求に対して各システムが担うべき機能を割り振った。
- 燃料デブリ取り出し・搬出システムを構成する機器がそれぞれの安全機能を担うかは、添付資料2.2-2参照

## ■1F 原子力安全要求の分担(1/2)

原子力安全		安全原則		基本的安全要求	安全機能としての要求(維持されるべきもの)		(Who)どのシステムが対応するのか	
		(達成されるべきもの)			(When)要求はどのタイミングで発生するのか	(How)具体的な対応策を絡めた要求は何か		
人と環境を放射線リスクから防護する	公衆と環境を放射線リスクから防護する	放射性物質の過大な放出防止	放射性物質の閉じ込め	バウンダリによる放射性物質の閉じ込め	【PCV内環境制御時】 気相閉じ込め	ダスト濃度低減機能	気相系システム	
						静的バウンダリ機能	気相系システム	
						動的バウンダリ機能	気相系システム	
						放出抑制機能	気相系システム	
						【PCV内環境制御時】 液相閉じ込め	静的バウンダリ機能	気相系システム
							動的バウンダリ機能	液相系システム
						【加工時】 気相閉じ込め	PCV/セル損傷防止機能	燃料デブリ取り出しシステム
							ダスト飛散防止機能	燃料デブリ取り出しシステム
					静的バウンダリ機能		燃料デブリ搬出システム	
					【輸送時】 一次バウンダリ内(燃料デブリ収納・搬出エリア)での気相閉じ込め		静的バウンダリ機能	燃料デブリ搬出システム
							動的バウンダリ機能	気相系システム
					PCV/セル損傷防止機能		燃料デブリ搬出システム	
					【輸送時】 移送容器除染時の液相閉じ込め(水除染)	汚染水飛散防止機能	燃料デブリ搬出システム	
						【輸送時】構内移送中の気相/液相漏えい閉じ込め	移送容器の閉じ込め機能	燃料デブリ搬出システム
追加核分裂反応の防止(異常変形による再臨界)	【PCV内環境制御時】 臨界防止	臨界防止機能	液相系システム					
		【加工時】 臨界防止	デブリ形状制御機能	燃料デブリ取り出しシステム				
	【輸送時】臨界防止	デブリ形状維持機能	燃料デブリ搬出システム					
		移送容器のデブリ形状維持機能	燃料デブリ搬出システム					

過去に研究し、整備された1F版原子力安全に基づく要求機能をモデル上に登場する各システム・機器へ再配置。

## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

No.20

### ■1F 原子力安全要求の分担(2/2)

原子力安全		安全原則 (達成されるべきもの)		基本的安全 要求	安全機能としての要求(維持されるべきもの)		(Who)どのシステムが 対応するのか
					(When)要求はどのタイミン グで発生するのか	(How)具体的な対応策を絡めた要求は何か	
人と環 境を放射 線リスクから防護する	公衆と環 境を放射 線リスクから防護する	放射性物質 の過大な放 出防止	放射性物質 の閉じ込め	燃料デブリの 異常な加熱 の防止 (温度上昇に よる放射性 物質の再揮 発)	【PCV内環境制御時】 異常加熱の防止	デブリ冷却機能	液相系システム/ 再循環冷却システム
					【加工時】異常加熱の防止	デブリ過剰加熱防止機能	燃料デブリ取り出しシステム
					【輸送時】異常加熱の防止	移送容器の除熱機能	燃料デブリ取り出しシステム
					【加工時】外部被ばく防止 機能	セルの遮蔽機能	燃料デブリ取り出しシステム /燃料デブリ搬出システム
					【輸送時】 外部被ばく防止機能	移送容器の遮蔽機能	燃料デブリ搬出システム
	作業員を 放射線リス クから防護 する	作業員の過大な被ばく・ 内部被ばくの防止 ・デブリ取り出し/搬出関 連作業に伴う被ばく ・デブリ取り出し/搬出関 連以外のサイト内作業員 の被ばく	作業員の被 ばく低減のた めの設計	作業員の被 ばく低減のた めの運転管 理	【輸送時】 遮蔽、汚染・線量区分の適 切な設定と被ばくを低減す る遠隔保守および燃料デブ リ構内移送動線とする。	移送容器の除染機能	燃料デブリ搬出システム
					被ばく低減のための運転方法、保守計画および作業管理とする。		全システム
					【PCV内環境制御時】 火爆防止	酸素濃度低減機能	気相系システム
					【輸送時】 一次バウンダリ内(燃料デ ブリ収納・搬出エリア)火爆 防止	セルの火爆防止機能	気相系システム
					【輸送時】 構内移送中の火爆防止	移送容器の火爆防止機能	燃料デブリ搬出システム
1F特有リス クから人と 環境を防 護する	滞留水素による火災・爆 発の防止	水素爆発下 限を維持す るための 水素濃度あ るいは酸素 濃度の管理					

## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

No.21

### ■燃料デブリ取り出し・搬出システムに属する機器が担う作業機能(1/2)

- デブリ取り出しモデル中の各機器がそれぞれ持つ作業機能を設定する。作業機能が阻害されると作業遅延を起こすものとする。
- 下表および次頁に示すように「PCV内移動機能」、「燃料デブリ加工機能」、「燃料デブリ回収機能」、「燃料デブリ収納機能」、「燃料デブリ搬出機能」、「空容器収納機能」の6つに分類した。

表. デブリ取り出しモデル登場機器：作業機能一覧表(1/2)

ID	機能要求	構成機器	設計要求
1	PCV内移動機能	PCV内移動機構	燃料デブリ加工機能を持つ機器をRPV及びペDESTAL内外まで移動させること。
2	燃料デブリ加工機能	デブリ加工機構(切断)	・燃料デブリを内容器・移送容器へ適切に収納できるように加工をすること。 ・加工時は目視作業とする。
3		デブリ加工機構(研り)	同上
4		デブリ加工機構(破碎)	同上
5		デブリ加工機構(拾い上げ)	同上
6	燃料デブリ回収機能	内容器(*)、移送容器	デブリを収納し、一次バウンダリ外へ搬出すること。 <small>(*)内容器とは、1F補助事業で検討されるユニット缶と収納缶の総称として本事業では定義する。</small>
7		線源収納機構	内容器にデブリを収納すること。
8		セル移送機構	内容器をデブリ加工現場からセル(R)へ移動させること。
9		セル(R)	内容器をセル移送機構から受け取る作業環境を有すること。

各工法のデブリ取り出し・搬出の仕組みを調査し、共通条件を機能要求として整理。

## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

No.22

### ■燃料デブリ取り出し・搬出システムに属する機器が担う作業機能(2/2)

表. デブリ取り出しモデル登場機器: 作業機能一覧表(2/2)

ID	機能要求	構成機器	設計要求
10	燃料 デブリ 収納機能	セル(Y)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内容物をセル(R)から受け取る場所を有すること。</li> <li>・移送容器へ内容物を収納する作業環境を有すること。</li> </ul>
11		扉機構(R/Y)	セル(R)からセル(Y)へ内容物が通過できること。
12		セル内移送機構①	内容物をセル(R)からセル(Y)まで移送すること。
13		収納機構	移送容器へ内容物を収納(蓋締め)すること。
14	燃料 デブリ 搬出機能	セル(G)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蓋締め状態の移送容器をセル(Y)から受け取る作業環境を有すること。</li> <li>・二次バウンダリへの搬出に必要な検査および除染をする作業環境を有すること。</li> </ul>
15		扉機構(Y/G)	セル(Y)からセル(G)へ移送容器が通過できること。
16		セル内移送機構②	移送容器をセル(Y)からセル(G)まで移送すること。
17		セル外搬出機構	移送容器をセル(G)から二次バウンダリへ搬出すること。
18	空容器 搬入機能	空容器搬入機構	空の内容物および移送容器をセルもしくはPCV雰囲気内へ供給すること。

## 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

### 2.2.1 作業設備モデルの検討



## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

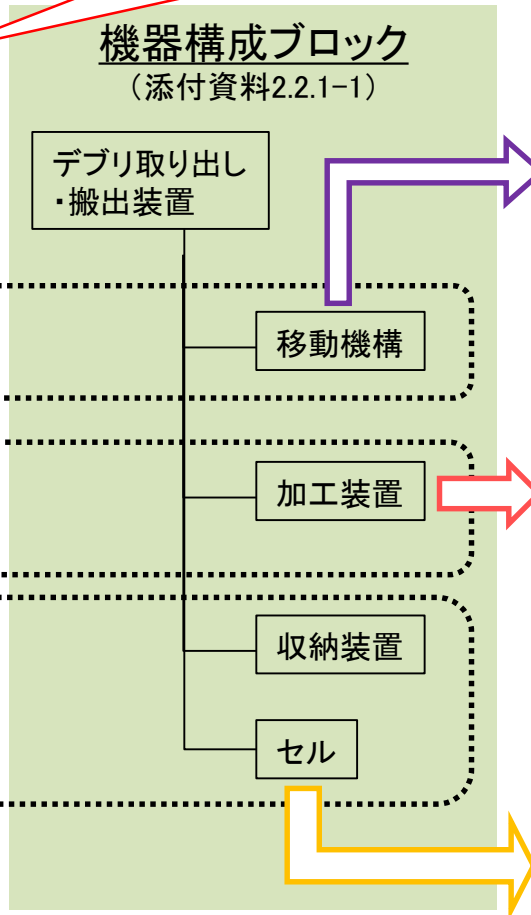
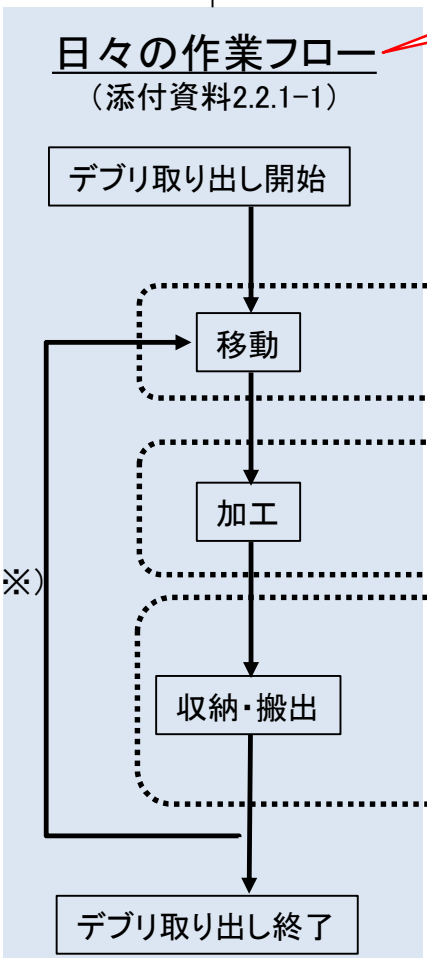
### 2.2.1 作業設備モデルの検討

#### ■アウトプットの相関性

燃料デブリ取り出し・搬出工程

(A)本作業が阻害される＝  
運転員の的確・迅速な  
現場対応が阻害される

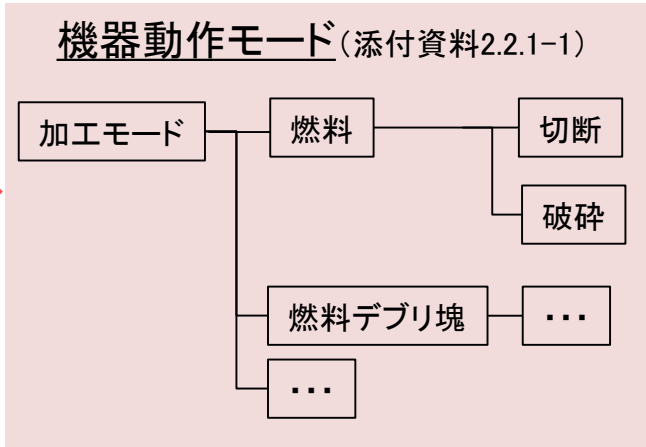
- 作業設備モデルは、「日々の作業フロー」、「機器構成ブロック」、「作業機能一覧表」、「機器動作モード」、「作業機能・安全機能一覧表」から成る。
- それぞれの要素は下図に示すように「日々の作業フロー」を頂点にそれぞれ紐付き・連携している。



**作業機能一覧表 (21～22頁)**

機能要求	構成機器	設計要求
PCV内移動機能	移動機構	...
...	...	...

(B)作業フローを実行するための必要機能であり、「本表で定義する機能」＝「運転員の的確・迅速な現場対応の阻害に關与する機能」となる。



(C) (B)と同様

**安全機能一覧表 (19～20頁)**

機能要求	構成機器	設計要求
閉じ込め機能	セル	...
...	...	...

原子力安全からの  
要求機能分担表

(※) 全てのデブリ取り出しが完了するまでの間は、このサイクルが1日の流れとなる

日々行う作業フローから、機器構成ブロックを整備、各種機能・動作モードへ展開。

## 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」 2.2.2 安全設備モデルの検討

2.2.2 安全設備モデルの検討

【注記】安全設備の系統構成については東京電力ホールディングス(株)より提供された予備エンジニアリング情報を参考にした。なお、提供情報は現時点での暫定であり、決定されたものではない。また、安全設備の系統構成は複数候補があり、本事業ではその中の1つを代表ケースとして選択した。

■システム設計

- システム設計に必要な安全機能を構成する機器、機器の設計値および設計条件※について代表例として、気相システムを示す。
- 他の液相／液相臨界／冷却についても同様に設定した。

※設計条件とは設計値を維持するための条件

機能要求	構成機器	設計値	設計条件(※)	管理パラメータ
ダスト濃度低減	HEPAフィルタ	フィルタ効率: 99.999%	HEPAフィルタ入口相対湿度: 99%以下	PCV内ダスト濃度
	排風機	風量: 3000m <sup>3</sup> /h	インリーク量: 1000m <sup>3</sup> /h 窒素封入量: 1000m <sup>3</sup> /h 再循環風量: 1000m <sup>3</sup> /h	
静的バウンダリ	PCV (一次バウンダリ)	差圧400Pa時のインリーク量 1000m <sup>3</sup> /h以下の開口面積	一次バウンダリのリーク量: 差圧400Pa時のインリーク量 1000 m <sup>3</sup> /h以下の開口	PCV内外差圧
動的バウンダリ	HEPAフィルタ	フィルタ差圧: 数百Pa程度	HEPAフィルタ入口相対湿度: 99%以下	PCV内外差圧
	排気ファン	風量: 3000m <sup>3</sup> /h	PCV負圧度: 100Pa	
放出抑制	HEPAフィルタ	フィルタ効率: 99.999%	HEPAフィルタ入口相対湿度: 99%以下	排気端ダスト濃度

安全設備は設計が進んでいることから、より詳細に各種機器の条件を整備。

## 2.2.2 安全設備モデルの検討

- 気相系システムを例に、各安全機能に対するPCV内環境物理モデルを示す。
- 詳細は添付資料2.2.2-1を参照のこと。

## 【安全機能(気相系システム)】

PCV内環境物理モデル(PCV内環境変数(物理量) = PCV内ダスト濃度)

～ダスト濃度低減機能～

管理パラメータ: PCV内ダスト濃度に対するPCV内環境モデル

$$A(\text{PCV内ダスト濃度}) \times V = \frac{S}{\lambda_d + \lambda_k + \lambda_f}$$

$S$  = ダスト発生量 (= デブリ加工量[kg/day] × ダスト飛散率[%])

$V$  = 評価体積[m<sup>3</sup>] (例. PCVやセルなど)

$\lambda_d$  = ダスト沈着率 (= ダスト終端速度[m/s] ÷ PCV高さ[m])

$\lambda_k$  = ダスト換気率 (= PCVガス管理システム排気風量[m<sup>3</sup>/h] ÷ PCV体積[m<sup>3</sup>])

$\lambda_f$  = フィルタ除去率 (= 再循環風量[m<sup>3</sup>/h] ÷ PCV体積[m<sup>3</sup>] × HEPAフィルタ効率[%])

上記のような数式での表現が困難なものは定性的な文章によるチェックリスト方式とした。

## 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

### 2.2.3 デブリ取り出しモデルの作成

# 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

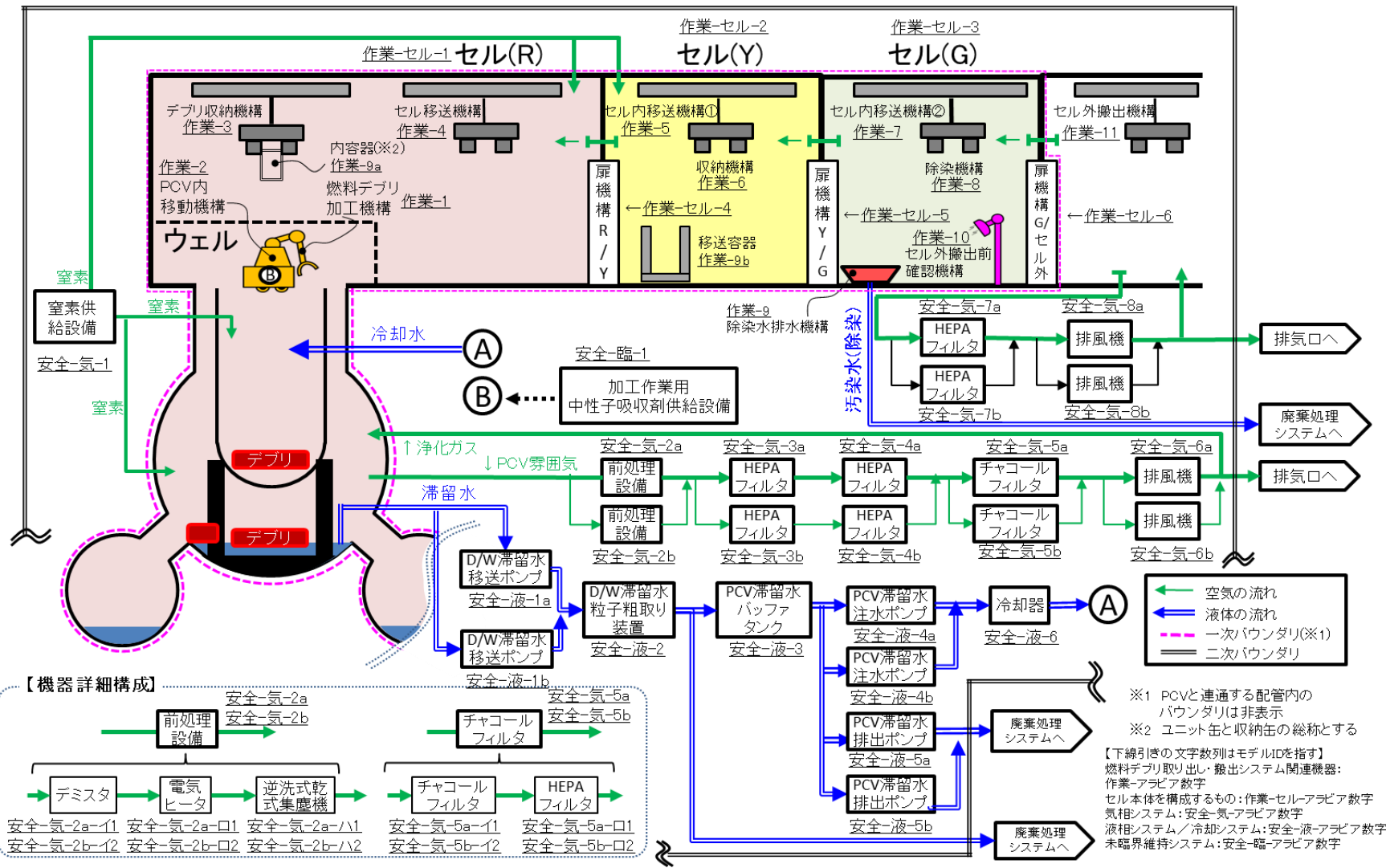
## 2.2.3 デブリ取り出しモデルの作成

モデル作成にあたっては、他の補助事業で検討するデブリ取り出し工法と、東京電力ホールディングス(株)より提供されたPCV内環境維持システム(安全システム)の設計情報(注記1)をそれぞれ活用した(注記2)。

**注記1**  
 ・提供を受けた設計情報は現時点での暫定であり、決定情報ではない。  
 ・安全システムの系統構成は複数候補があり、本事業ではその中の1つを代表ケースとして選択した。

**注記2**  
 本モデルは表現の都合上、上取り出し工法を連想する内容だが、横取り出し工法も検討対象である。実際の評価は両工法共通条件に基づき実施している。

**【関連添付資料】**  
 添付資料2.2.3-1: PCV内およびセル設備の環境条件  
 添付資料2.2.3-2: セル内に容器が進入した場合の環境変化条件  
 添付資料2.2-1: デブリ取り出しモデルと重要監視項目の関係性

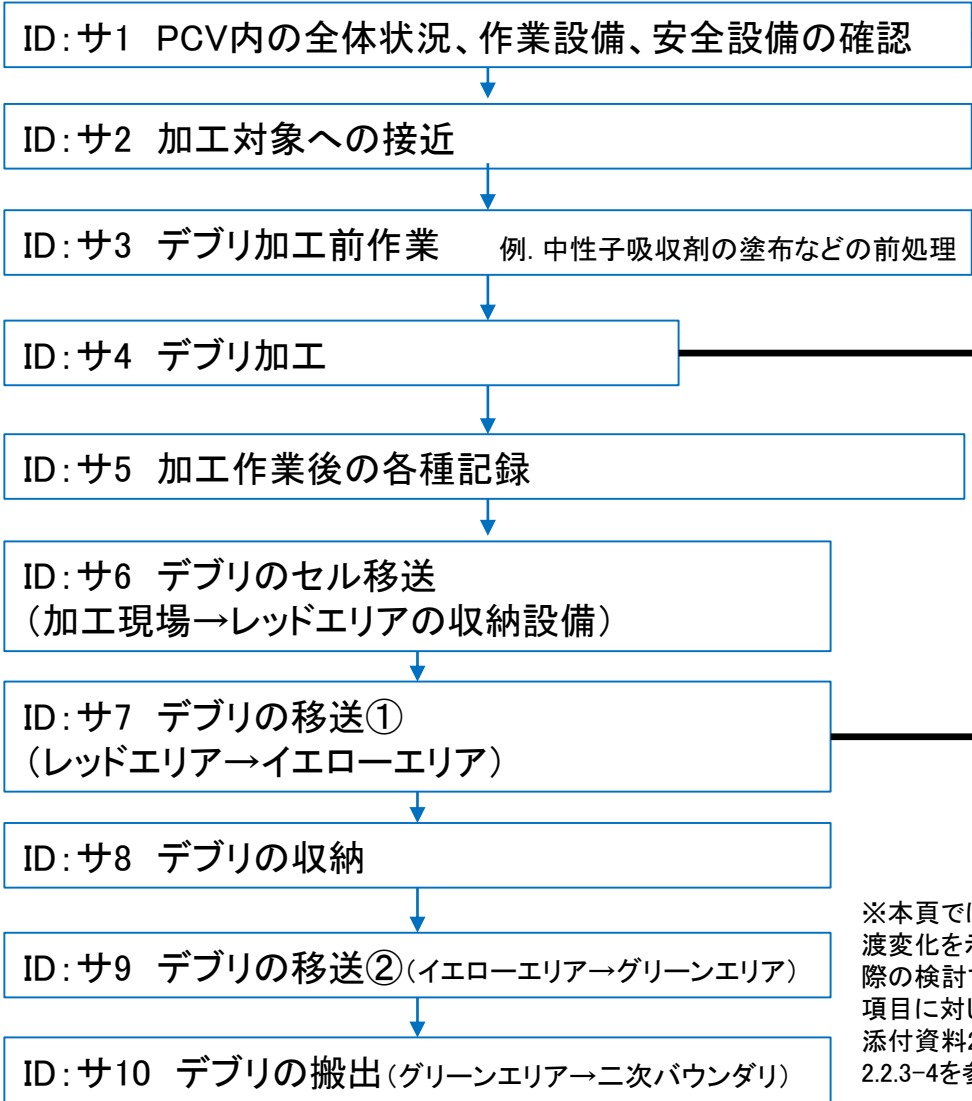


重要監視項目は、上図に示す機器の何れかで発生する作業遅延要因(=エラー)を検知するための物理量と、その検知条件で表現。

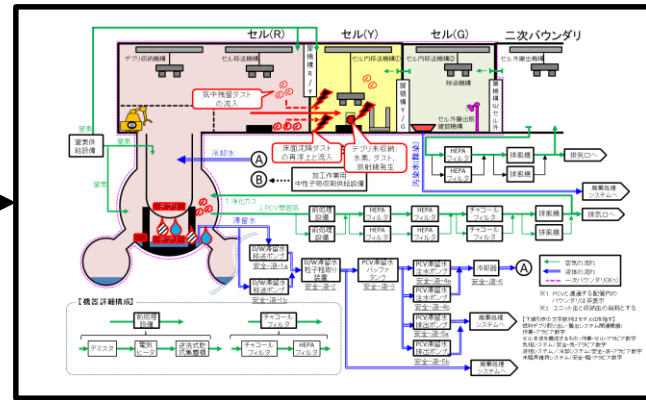
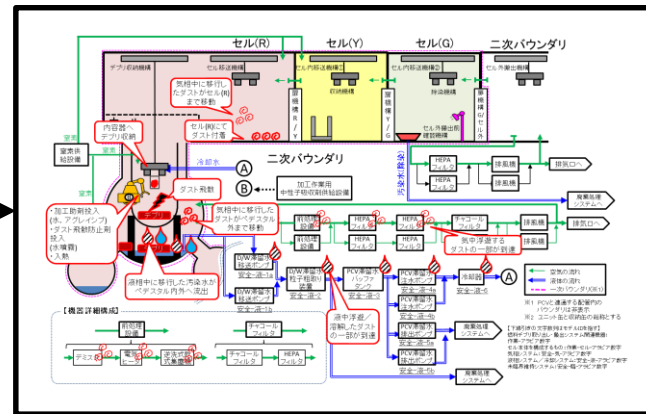
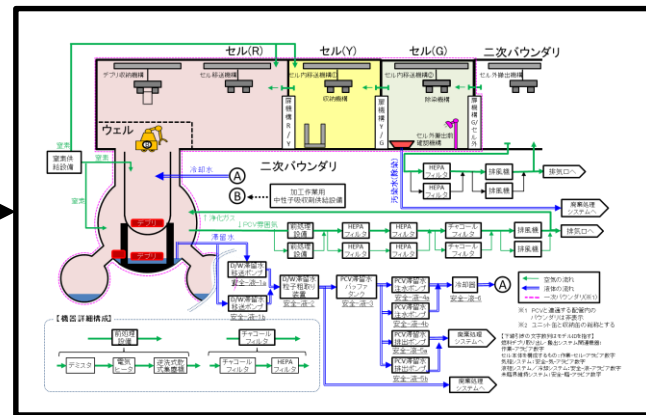
## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

### 2.2.3 デブリ取り出しモデルの作成

前頁に示した機器配置図に対して、「日々の作業フロー」を適用し、作業設備の活動によるPCV内環境の過渡的な変化をコマ図方式で予測。



※本頁では例として3つの過渡変化を示しているが、実際の検討では全ての作業項目に対して作図している。添付資料2.2.3-3および2.2.3-4を参照のこと。



PCV内環境の変化は安全設備への外乱になる。具体的な外乱内容を設定(次々頁)。

## 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

### 2.2.4 リスク評価



## 2. 令和3年度の成果 2.2 実施項目(1)①「重要監視項目の調査」

### 2.2.4 リスク評価

#### ■作業設備によるPCV内の環境変化設定(検討結果)

・燃料デブリの加工治具によってダストの発生の特性は変わるため  
下表のように治具毎の特性をまとめた。

【関連添付資料】添付資料2.2.4-1: 作業設備によるPCV内の環境変化設定方針

【PCV内環境変化一覧表(代表例)】

燃料デブリ種類	想定性状				想定加工方法			ダスト粒径、			
	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	圧縮強度 [MPa]	主成分	所在領域	加工モード	機器名	備考	気中加工(飛散抑制剤無し)		水中加工	
								---	[μm]	---	[μm]
燃料デブリ塊	11	クラフト・岩盤 上(上部):2000 上記以外:230	【Uリッチ】 (U、Zr)O <sub>2</sub> -C、 (Zr、U)O <sub>2</sub> -T、 【Feリッチ】 UO <sub>2</sub> 、Fe、Zry-2、 α-Zr(O)、 SUS/Fe、Fe <sub>2</sub> (Zr、U)、 ZrB <sub>2</sub> 、Fe <sub>2</sub> B、Zr(O)、 Fe <sub>2</sub> Zr	PV内部 ペDESTAL (床部/内部/ 外部) ドライウエル	切断	ディスク カッター	ブレード径: 200 mm 刃厚: 1 mm 回転数: 1000 rpm	気中浮遊	何れもピーク粒径範囲 2~3(質量濃度分布) 0.1~0.3(個数濃度分布)	気中浮遊	不明
								沈降	何れもメディアン径 0.3(個数分布) 7.9(堆積分布)	沈降	50より上
								周辺部飛散	気中浮遊/沈降の何れか	水中浮遊	50以下

ダスト総発生量		マスバランスとダスト移行量						加工助剤投入量		飛散防止剤投入量 (気中加工時のみ)			
		気中加工		水中加工		水中加工							
気中加工	水中加工	マスバランス		ダスト移行量	マスバランス		ダスト移行量	投入物	総投入量	投入物	総投入量		
[g]	[g]	---	[%]	[g]	---	[%]	[g]						
1242.1	1242	気中浮遊	4	49.7	気中浮遊	2E-05	0.0	【気中加工】 水:1L/min	198 L	ミスト: 0.05L/min	9.9 L		
		沈降	37	459.6	沈降	99.5	1235.9					↑ (※)	↑ (※)
		周辺部飛散	59	732.9	水中浮遊	0.5	6.2						

※日中10時間の作業時間のうち、正味の加工時間を3.3時間とする

本情報は安全設備への外乱候補(特に赤破線部)として、リスク評価に活用する。

■リスク評価手順

OJTの一般的な構成

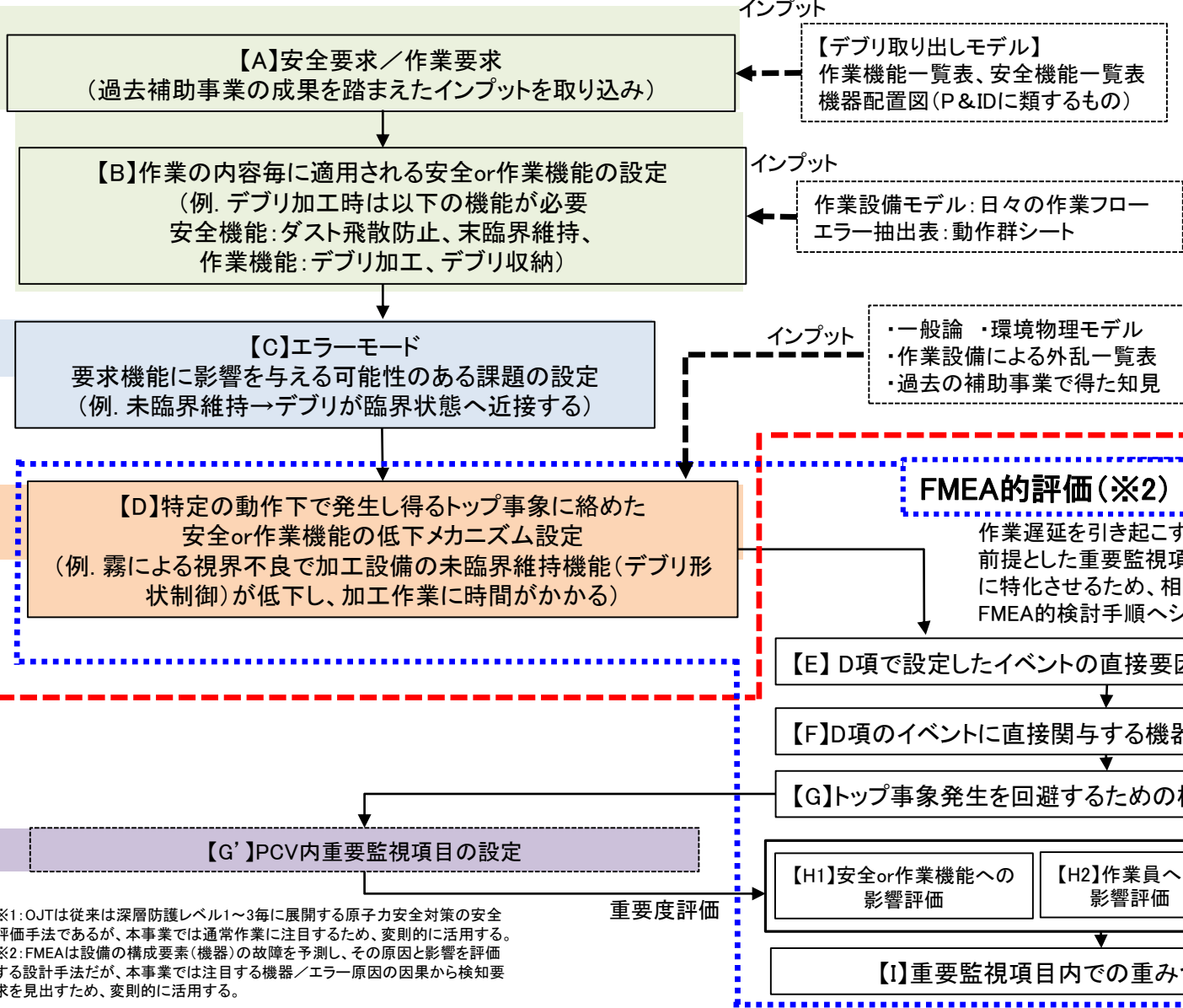
達成されるべきもの  
及び防護されるべきもの

対処されるべき課題

課題をもたらす  
メカニズム

課題をもたらすメカニズムの発生を防ぐための対応策

連続監視PJでのリスク評価手順



OJT的評価(※1)

FMEA的評価(※2)

・重要監視項目の網羅性を高めるために、2種類のリスク評価手法を組み合わせた。  
・FMEAの本来のアウトプットは、機器の故障事象に対する発生頻度、影響度、検知度だが、本事業では重要監視項目の優劣を抽出するために下図の【H】に示す内容に置き換えた。

※1: OJTは従来は深層防護レベル1~3毎に展開する原子力安全対策の安全評価手法であるが、本事業では通常作業に注目するため、変則的に活用する。  
※2: FMEAは設備の構成要素(機器)の故障を予測し、その原因と影響を評価する設計手法だが、本事業では注目する機器/エラー原因の因果から検知要求を見出すため、変則的に活用する。

■リスク評価手順

【実際の表現内容(気相システム)】

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある。

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

・ リスク評価結果は下表のようにFMEA的な整理術で表現した。

モデルID		重要監視項目									重要監視項目の重み付け評価									
工程	ユ3	※1		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	項目6-3	項目7-1	項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
作業	サ4	※1		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	検知要求の選定理由	点数	機能阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
分析番号	安-気-1	HEPAフィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度低減機能低下の加速	HEPAフィルタの有効流路面積が減少し、フィルタ性能が維持できない	①	加工地点からHEPAフィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞		加工地点からHEPAフィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞	(a)HEPAフィルタ差圧	直接 (項目4)	HEPAフィルタにおけるダストの蓄積により差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	3
													1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	継続的な監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	
分析番号	安-気-2	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からHEPAフィルタに移行するダストによるフィルタ要素の腐食による部分的破損		加工地点からHEPAフィルタに移行するダストによるフィルタ要素の腐食による部分的破損	(a)HEPAフィルタ上流/下流側ダスト濃度比	直接 (項目4)	HEPAフィルタに蓄積するダストによるフィルタ要素の腐食でフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。この傾向は、フィルタに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4
													1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	継続的な監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	

分析番号はこれら2つの文字数列の組み合わせで定義

本項目の詳細は添付資料3.1.2-1(a)参照

【分析番号のナンバリングの法則】  
 気相設備: 安-気-アラビア数字  
 液相設備: 安-液-アラビア数字  
 冷却設備: 安-冷-アラビア数字  
 液相未臨界維持設備: 安-臨-アラビア数字

(※1)レイアウトの都合上、項目2の名称を省略。正式名称: 対象機器が担う安全機能もしくは作業機能  
 (※2)レイアウトの都合上、項目7-1の名称を省略。正式名称: 安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無  
 (※3)レイアウトの都合上、項目7-3の名称を省略。正式名称: 項目7-1の対策によるスループットへの影響

添付資料2.2.4-3に早見表を示す。見直した令和4年度版のリスク評価表は添付資料3.1.2-1(a)に示す。

## 2.3 実施項目(1)②「監視要求仕様の整理」

## 2. 令和3年度の成果

### 2.3 実施項目(1)②「監視要求仕様の整理」

- 重要監視項目に対する監視要求仕様の設定例を下表に示す。
- 実施項目(2)「監視方法検討」の活動に向けて、計器選定上一般的に重要と考えられる以下項目を個別に設定した。

#### 【監視要求仕様】

検出場所、検出個所数、測定物理量、測定計器への耐腐食環境性、測定レンジ(概略)、測定環境条件(空間線量率、温度、圧力、湿度)、検出精度要求

	重要監視項目	検出場所	検出個所数	測定単位	計器要求耐腐食性	概略測定レンジ	測定環境条件	要求検出精度
デブリ取り出しシステム	(デブリ加工時の)デブリ寸法	加工中のデブリ(RPV、ペデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	以下成分による腐食を考慮すること ・海水由来の塩素 ・中性子吸収剤由来のホウ酸水 ・結露	1cm～30cm (臨界PJでは1回当たりの加工範囲を16cm×16cm×16cm立法に制限していることから上記とする)	RPV：最大5000 Gy/h 温度：最大50℃ 圧力(ゲージ圧)：-2000～500Pa 湿度：100%(結露あり)	±1cm
気相閉じ込めシステム	PCV内外差圧	PCV内外	2箇所(PCV内1箇所／PCV外1箇所)代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断	Pa	結露による腐食を考慮すること	-2000～+500Pa	【プロセス条件】 線量：高線量 温度：100℃以下 圧力：大気圧±2000Pa 湿度：100%(結露あり)  【周囲環境条件】 線量：高線量 温度：100℃以下 湿度：100%(結露あり)	±10 Pa

## 2.4 ここまでのまとめ

### 2.4 ここまでのまとめ

令和4年度の活動成果をより理解頂くため、以下事項を説明した。

- 工法共通の各システムを構成する機器を特定し、それを燃料デブリ取り出しモデルとして、系統概念図を意識した表現に落とし込んだ。
- 燃料デブリの加工と搬出によるPCV内環境の変化が、各機器のどのように伝搬するかモデル上で定性的に評価。機器の劣化加速など、安全機能もしくは作業機能が急速に低下し、3頁に示すリスク（計画された燃料デブリ取り出し状態から乖離）が起きるメカニズムをOJT的手法で網羅的に評価。さらに、当該メカニズムに関与する機器をFMEA的手法で特定。
- リスクとして判断されたメカニズムを起こさないために監視すべきものを重要監視項目とした。具体的には、検知するための物理量と、その検知条件の組み合わせで約200個を抽出した。
- 約200個の重要監視項目に対して、計器への要求仕様を整備した。

次項より、重要監視項目に基づく実施項目(2)および(3)の活動状況を説明する。

### 3. 令和4年度の成果

#### 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

##### 3.1.1 アウトプットイメージ



## 3.1.1 アウトプットイメージ

- TRL(レベル2)と本事業の目標1(2頁参照)に基づき、監視システムの開発へと繋がる「計画(=ありたい姿の実現施策)」を示す。

	運用計画		開発計画	
まとめ方	各デブリ取り出し工法が、自工法に監視システムを導入するにあたっての具体的な実現策を、その根拠と共に提示する。		実現策に開発課題が含まれる場合は、その根拠と共に優先順位を付けて提示する	
アウト プット	監視に用いる計器	3.1.3 (a)項	現場運用した際に想定される運用失敗原因	3.1.3(c)項
	計器の現場運用方策	3.1.3 (b)項、 (c)項	失敗を回避するための対策技術	3.1.3(c)項
	---	---	対策技術を適用するにあたっての課題	3.1.4項
	---	---	解決すべき課題の優先順位	3.1.2(b)項

## 3.1.2 監視方策の多様化検討

### (a)代替監視の検討対象の選定

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.2 監視方策の多様化検討 (a)代替監視の検討対象の選定

- 令和3年度に抽出した約200個の重要監視項目は、注目する事象に關与する物理量を直接的に測定するものであり、計測難易度を考慮したものではない。
- 監視システムの構築を合理化するには；
  - 使用する計器は、既存品あるいは現行開発品を採用することが望ましい
  - 監視手順は、新たな開発要素を抑えることが望ましい
- 原子力事業における「多様化」とは、目的を達成する手段を複数用意することであるが、**本事業では監視困難な項目の代替検討として置き換えた。**

監視する物理量を変更することによる  
トレードオフが許容できる場合は成立

注目する事象	R3年度の重要監視項目	R4年度に設定した代替監視項目
デブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	デブリ表面温度	【レーザガウジングの場合】 入熱量(照射時間×出力) 【ディスクカッターの場合】 連続切削時間

原子力事業本来の「多様化」とは異なるが、監視システム構築合理化を目指し、令和3年度に抽出した理想的な監視項目の実行が技術的に困難であるものについてトレードオフを考慮した代替え監視項目を検討する。

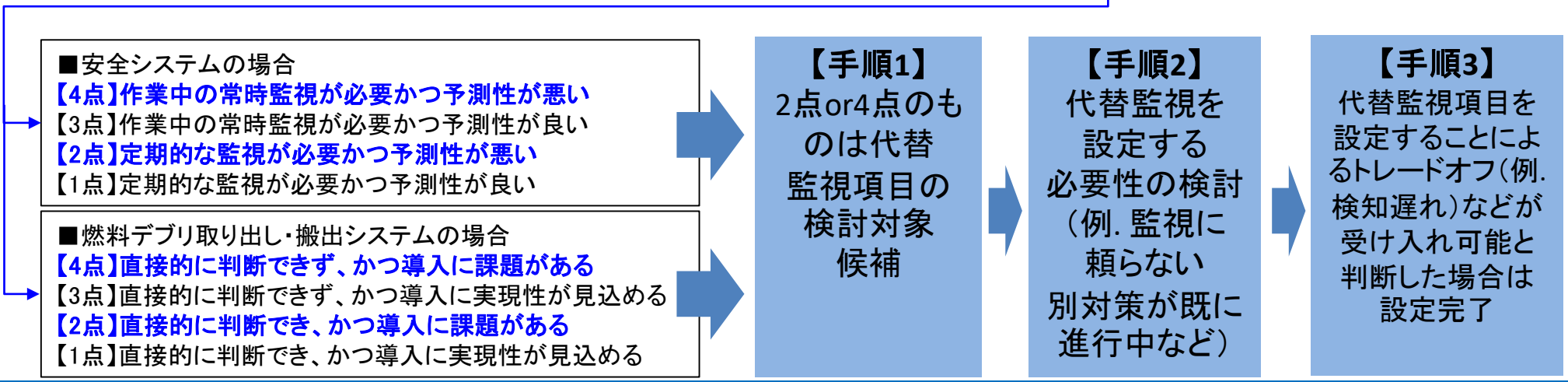
### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

#### 3.1.2 監視方策の多様化検討 (a)代替監視の検討対象の選定

##### ■代替監視項目設定までの手順

- 重要監視項目それぞれに設定された以下の項目のうち、項目7-2は当該監視の技術的課題も含めて評価したものである。
- 最初に、技術的課題の高い点数が付くものを機械的に選抜(以下の手順1)し、その後個別の事情を考慮(以下の手順2)し、トレードオフを考慮した上で代替監視項目を設定した(以下の手順3)。

項目1	項目2	項目3	項目4	項目5	項目6	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4
対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	作業員による的確な現場対応への影響	項目7-1の対策によるスループットへの影響	評価結果
HEPAフィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度低減機能低下の加速	HEPAフィルタの有効流路面積が減少し、フィルタ性能が維持できない	加工地点からHEPAフィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞	フィルタ差圧	1点～4点で採点	1点～4点で採点	1点～4点で採点	項目7-1～7-3の積



令和4年度版の重要監視項目は添付資料3.1.2-1(a)および3.1.2-1(b)を参照。

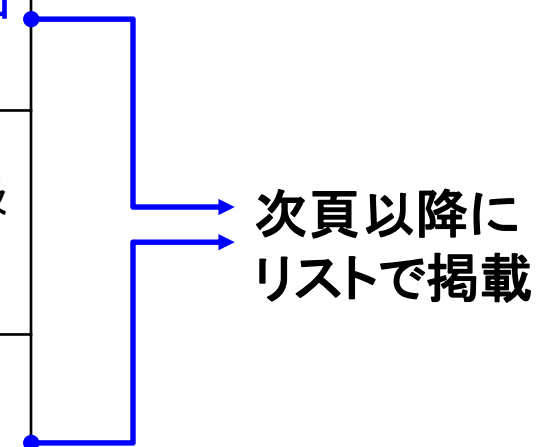
## 3.1.2 監視方策の多様化検討

(b)本事業で詳細に調査・検討すべき監視項目の抽出

■既存技術で容易に監視できるものと、技術課題があるものの仕分け

- 代替監視項目を設定しても技術課題が残るものは、本事業で詳細に注目し、監視の実行方法を検討した。
- 技術課題が残る重要監視項目は大きく以下3種類の特徴がある。

技術課題の特徴	本事業での対応
事後検知は容易だが、予兆検知性が悪いもの(連続的に監視できないものを含む)。	今後開発リソースを割いても予兆検知性を高める必要があるか、個別に調査。
本事業で設定したリスク対処に向けて既に他のプロジェクトで開発中のもの(例. 中性子検出器や3Dレーザスキャナなど)。	他PJで進行中のため、本事業では取り扱わない。
1F向けに応用・転用が期待できる計器および運用技術が乏しいもの。	一般産業を含む既存技術・開発中技術で対応するために追加で対応すべき事柄を個別に調査。



代替監視項目設定以降も技術課題が残るものは、監視に注力すべきかを精査した上で、既存技術・開発中の技術で対応できるものが無いか個別調査・検討。対象を次頁以降に示す。

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.2 監視方策の多様化検討 (b)本事業で詳細に調査・検討すべき監視項目の抽出

■本事業で詳細に調査・検討した重要監視項目一覧表(作業設備編)

日々の作業フロー	重要監視項目(※)	検出場所	単位	検討概要	添付資料
サ4: デブリ加工	★デブリの加工範囲	加工中のデブリ(RPV, ペDESTAL内外)	cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気中環境での測定は、1F-2 PCV内部詳細調査PJで開発するVTセンサおよびレーザスキャン技術の応用を見込む。</li> <li>・ 水没したデブリの加工時は、中性子吸収剤やダスト等沈降物が舞い上がるため、VTセンサは視界不良、レーザスキャンは光散乱のため活用困難。1F-1 PCV詳細調査PJで開発した超音波測定技術が応用候補となるが、同PJは中性子吸収剤による濁水環境など、デブリ加工時特有の環境変化・外乱を想定した開発はしていない。</li> </ul>	3.1.2-3(a)
	★加工済みデブリの寸法	加工後のデブリ(RPV, ペDESTAL内外)	cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上記理由から、デブリ加工時の超音波測定成立シナリオ(現地での測定手順を含む)を整備し。具体的には、フィッシュボーンによる失敗要因分析と要素試験にて開発課題を明確化した。</li> </ul>	
	●ダスト濃度(ダスト量)	デブリ加工エリア近傍(RPV, ペDESTAL内外) もしくは安全設備への流入経路上	Bq/cm <sup>3</sup> (mg/cm <sup>3</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>デブリ取り出しモデルはPCV内環境変化の時間的・空間的拡がりを定量的に考慮できていない。</b>この問題は監視要求仕様の精度低下に繋がる。</li> <li>・ <b>仕様の精度を高めるために、デブリ加工時の気流解析を実施した。</b>工法の条件によってダストの拡がりが変わり、それに応じた監視計器の運用が必要であることを確認した。</li> <li>・ <b>既存計器を導入しつつ、設置を含めた現地運用難度を下げるには、PCV底部付近(底部から高さ10m以内)に連通するペネトレーション経路でPCV外へダストを引き込んで測定するシナリオを1つの手段として提案した。</b></li> </ul>	3.1.2-3(b)
	★加工エリアを代表する燃料デブリの性状(圧縮強度)	【サンプル】 ユニット缶より 【測定場所】 1F構内ホットセル	MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ユニット缶からの抜き取りかつ1F構内のホットセルで測定できること前提にすると、計器そのものはビッカース硬さ試験(押し込み式)もしくはCERCHAR試験(引っかき式)など、既存技術で対応可能。ただし、不規則形状なデブリとの取り扱い方法については課題として抽出した。</li> <li>・ 測定対象が燃料デブリである確度を高めるため、別PJで検討する燃料デブリ仕分けシナリオを考慮する必要があることを確認。仕分けシナリオは複数存在するため、各シナリオ毎にどの作業工程上でサンプル採取することが望ましいか整備した。</li> </ul>	3.1.2-3(c)
	★加工中の燃料デブリの圧縮強度	デブリ(RPV, ペDESTAL内外)	MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業現場で局所的にその場診断することを目標とした。計器候補は上記「加工エリアを代表する燃料デブリの性状」と同様だが、何れもPCV内高線量環境に対する耐放射線性への設計課題以外に、計器小型化の観点で開発課題が残ることを確認した。</li> <li>・ 物体は強度と延性の組み合わせによって、その破面に特徴が現れる。この特徴に注目し、加工箇所破面の画像(色、形状、切断くず)および周辺環境の状況を組み合わせて圧縮強度推定できる総合分析ソフトウェア開発およびバックデータ充実化を課題として抽出した。</li> </ul>	3.1.2-3(d)
	●構造物が落下モードへ至る構造強度	デブリ加工エリア周辺の構造物(RPV, ペDESTAL内外)	N/mm <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造物落下時の対策そのものは、デブリ取り出しPJにて検討済みである。(例. 小型落下物用の受けパン、落下想定箇所への事前の中性子吸収剤散布、不安定箇所の把持・固定など)</li> <li>・ 本事業では予兆検知性を高めることを目的とした検討を行った。現場での画像および物理量(変形部寸法)を取得した上で、事故前の図面情報および事故後の腐食・水素脆化・照射脆化を考慮した数値計算による構造強度解析が必要であると結論した。</li> <li>・ 上記はオフライン監視であり、現場でのオンライン監視方法も検討。最も理想とする崩落可能性のある構造物への加速度計設置は固定困難と判断し、次点としてカメラによる監視と共振に伴う異音検知のための音響カメラの使用を推奨した。</li> </ul>	3.1.2-3(e)

(※)【記号凡例】 ★:1F原子力安全には関与しないものだが、デブリ加工作業性を高めるために必要な監視 ●1F原子力安全に関与する監視

作業設備の検討結果詳細は添付資料3.1.2-3(a)~(e)参照。

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.2 監視方策の多様化検討 (b)本事業で詳細に調査・検討すべき監視項目の抽出

■本事業で詳細に調査・検討した重要監視項目一覧表(気相システム編)

日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	単位	詳細検討方針	添付資料
サ4: デブリ加工	差圧	PCV内外or各機器間	Pa	<ul style="list-style-type: none"> <li>予備エンジニアリングでは機器の劣化を確認した場合、通常作業の一環として予備機に切り替える対策を手段の1つとして検討中である。</li> <li>上記対策を導入する場合、予測性・連続監視性を高めるための開発リソース投入の優先度は下がり、サンプリングなどの離散的監視で問題ないと判断した。</li> </ul>	3.1.2-4(a)
	差圧+圧力	差圧:PCV内外, 機器(*1) 圧力:系統内(*2)	PCV内外差圧:Pa 系統内圧力:kPa		
	差温度	電気ヒータ前後	℃		
	風量	排風機入口	m³/h		
	ミスト供給量	デブリ加工機構	L/min		
	ダスト濃度	排気フィルタ下流側	Bq/cm³	<ul style="list-style-type: none"> <li>前頁の作業設備「ダスト濃度」と同様。</li> <li>各種組成については<b>同上</b>。</li> </ul>	ダスト量・ダスト濃度: 3.1.2-3(b) 上記以外: 3.1.2-4(a)
	ダスト量+核種組成	各機器(*3)	ダスト量:g/cm³ 核種組成:定性分析		
	ダスト量+粒径分布	デミスタ上流側and 電気ヒータ~乾式逆洗フィルタ間	ダスト量:g/cm³ 粒径分布:µm		
	ダスト量+化学的性質	各機器(*3)	ダスト量:g/cm³ pH:- 塩素イオン濃度:ppm 化学組成:定性分析		
	化学的性質	D/W水面上付近の PCV壁面に飛来する ミスト成分	pH:- 化学組成:定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダスト量については前頁の作業設備「ダスト濃度」と同様。</li> <li>化学組成については、時々刻々と変化する。デブリ取り出しと機器劣化の相関性を定量的に把握し、運転員が的確に対応するには日々の変化の傾向分析ができる連続的な監視が望ましい。そこで、連続的監視(傾向分析)と定期サンプリングによる離散的監視(高精度分析)を組み合わせた監視シナリオを検討した。</li> </ul>	ダスト量: 3.1.2-3(b) 化学的性質: 3.1.3項
アブレイシブ量+粒径分布	排気フィルタ入口	アブレイシブ量:g/cm³ 粒径分布:µm			

同上

(\*1)前処理フィルタ, デミスタ (\*2)フィルタケーシング, 配管, 隔離弁 (\*3)デミスタ, 電気ヒータ, フィルタ, 排風機, 配管, 隔離弁等

何れの項目も設備多重化が対策手段の1つとして検討されており、これを導入する場合は事後検知でも安全維持・作業継続できることを確認。



注記：閉じ込め／未臨界維持／冷却それぞれで監視項目が重複しているものがある。

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.2 監視方策の多様化検討 (b)本事業で詳細に調査・検討すべき監視項目の抽出

■本事業で詳細に調査・検討した重要監視項目一覧表(液相システム編)

機能	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	単位	詳細検討方針	添付資料
閉じ込め・冷却		アブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	アブレイシブ量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子の密度:g/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>予備エンジニアリングでは機器の劣化を確認した場合、通常作業の一環として予備機に切り替える対策を手段の1つとして検討中である。</li> <li>上記対策を導入する場合、予測性・連続監視性を高めるための開発リソース投入の優先度は下がり、サンプリングなどの離散的監視でも対応可能と判断した。</li> </ul>	3.1.2-5(a)
		ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子の密度:g/m <sup>3</sup>		
未臨界維持	サ4:デブリ加工	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	pH:- 塩素イオン濃度:ppm 化学組成:定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>予備エンジニアリングでは機器の劣化を確認した場合、通常作業の一環として予備機に切り替える対策を手段の1つとして検討中である。</li> <li>上記対策を導入する場合、予測性・連続監視性を高めるための開発リソース投入の優先度は下がり、サンプリングなどの離散的監視でも対応可能と判断した。</li> <li>上記の一方、化学組成やイオン濃度などは、時々刻々と変化する。デブリ取り出しと機器劣化の相関性を定量的に把握し、<b>運転員が的確に対応するには日々の変化の傾向分析ができる連続的な監視が望ましい</b>。そこで、<b>連続的監視(傾向分析)と定期サンプリングによる離散的監視(高精度分析)を組み合わせた監視シナリオを検討した</b>。</li> </ul>	化学組成については(3.1.3項)
		アブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)	・動的機器(*1)	g/m <sup>3</sup>	<p style="text-align: center;">同上</p>	3.1.2-5(a)
		アブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	アブレイシブ量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子密度:g/m <sup>3</sup>		
		ダストの量(SS(浮遊物質)濃度)	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	g/m <sup>3</sup>		
		ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布	・バッファタンク	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm		
		ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	・動的機器(*1) ・静的機器(*2)	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子密度:g/m <sup>3</sup>		
		(デブリ加工時の)投入熱量	・動的機器(*1)	kW		

(\*1)D/W滞留水移送ポンプ, PCV滞留水排出ポンプ, PCV滞留水注水ポンプ

(\*2)D/W, 配管, 弁, PCV滞留水バッファタンク, 冷却器, D/W滞留水粒子粗取り装置, トーラス室滞留水粒子粗取り装置

プロセス中の性状(化学組成、イオン濃度)などは連続的監視として必須ではないが、  
デブリ取り出し作業と機器劣化の関係性を定量的に分析するためには導入が望ましい(気相システムも同様)。

### 3.1.3 計測器の設置方法検討

#### (a)配管内プロセス性状監視(全体計画)

連続監視を実施するメリットの事例として、  
本資料では重要監視項目から1点を選抜、主要報告する。

## ■主要報告対象の選定

### 【対象となる重要監視項目】

液相システム配管内プロセスの性状

→性状: 化学組成、イオン濃度

### 【監視理由】

ポンプが担う安全機能の低下速度を加速させる、以下事象の予兆検知。

- 化学的反応による劣化・部分的破損。様々な成分を持つ燃料デブリによって、取水したD/W滞留水の水質が変化。塩化物イオン等の濃度上昇によるインペラ等の金属部材の腐食の進行。カルシウムイオン等の濃度上限によるインペラへのスケール生成。
- 物理的反応による劣化・部分的破損。D/W滞留水に含まれるデブリ粒子やアブレイシブの破片による摩耗。

### 【主要報告対象として選んだ理由】

- 本監視は通常軽水炉でも類似ニーズはあるが、現地環境(被ばくや暗闇など人が容易に現場へアクセスし辛い環境)を考慮した1F特有の課題を保守性含めて抽出したため。
- 監視システムとしては他の監視項目より比較的構成が複雑であるため。

通常時の管理パラメータ(水位)を直接担うものではないが、軽水炉にはない1F特有の計器運用課題が存在、かつ構成が複雑なので代表例として説明する。

### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

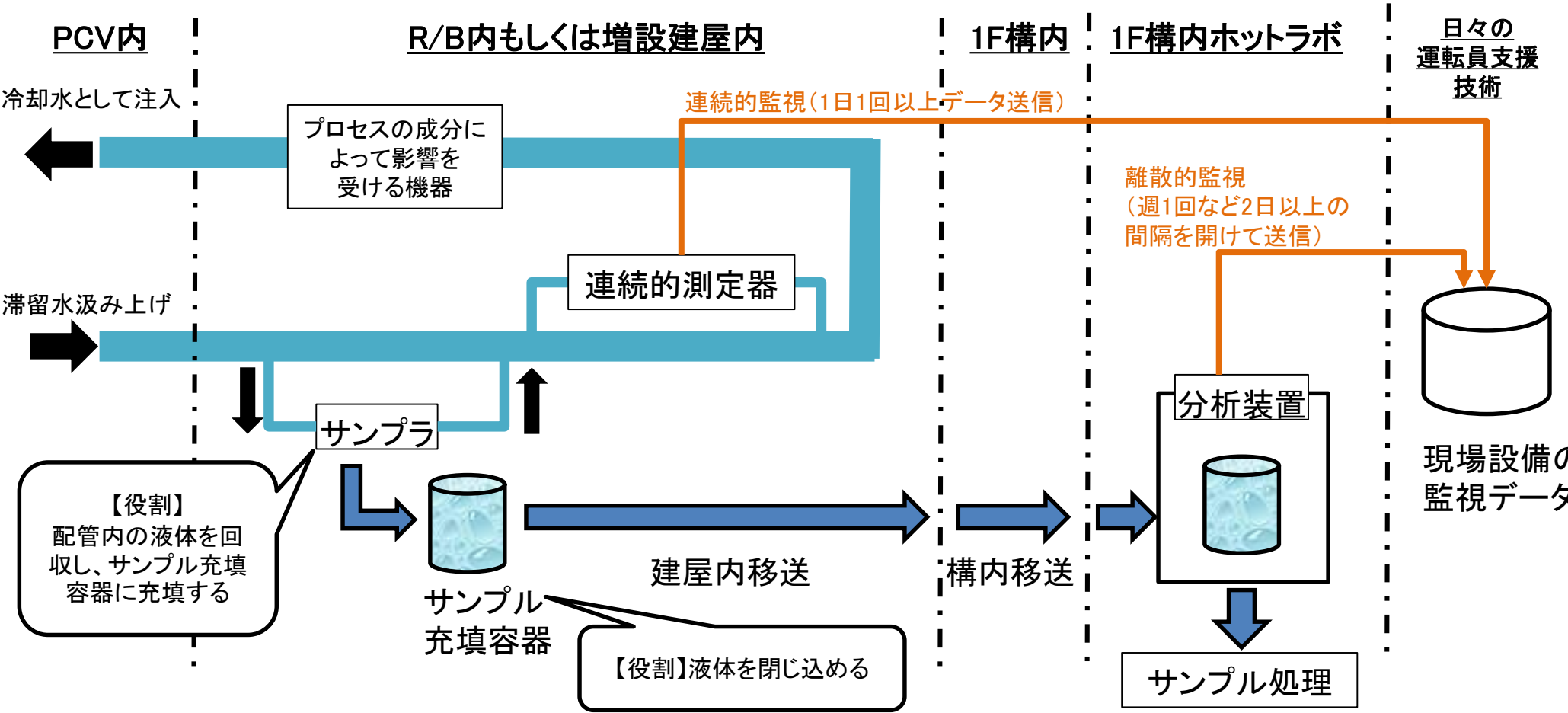
#### 3.1.3 計測器の設置方法検討 (a)配管内プロセス性状監視(全体計画)

##### ■監視シナリオ

- 計器の予備調査で連続的測定器単独では監視シナリオが成立しない。(≒監視要求仕様を満たさない)ことを確認したため、サンプリングによる離散的監視も併せて検討する。
- 【定義】連続的監視:1日1回以上のデータ送信、 離散的監視:2日以上の間隔を明けて送信。
- 監視はホットラボでの分析以外は、全て遠隔測定・監視を前提とした。

##### 【記号凡例】

- : プロセス配管内流体の動き
- : 回収したサンプルの動き
- : 現場データの動き



配管内プロセスの性状監視には、連続的監視と、監視要求仕様の不足を補う離散的監視の組み合わせが必要と想定。上記の全体計画を成立させるための条件を検討した。

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (a)配管内プロセス性状監視(全体計画)

■監視要求仕様の詳細化

- ・本監視シナリオを実現するために測定すべき物理量を下表のように整理した。
- ・重要監視項目の他、監視の精度を上げるためにPCV外で測定すべきものも抽出した。

【測定対象物質と計測器運用条件】

ポンプの劣化に関わる物理量			測定タイミング	現場データとしての測定手段	測定場所	備考
分類	物理量	単位				
劣化により変化する物理量	ポンプ流量	m <sup>3</sup> /h	連続測定	流量計	プロセス	重要監視項目として抽出済み
	ポンプ吐出圧力	kPa	連続測定	圧力計	プロセス	監視精度を上げるために追加取得が奨励されるもの
	ポンプ振動	Hz	連続測定 (ポンプ運転時)	振動計	ポンプ	同上
	ポンプ騒音	dB	連続測定 (ポンプ運転時)	騒音計	ポンプ	同上
	スケール付着量	g or cm <sup>2</sup>	ポンプ交換後	解体検査	ポンプ(インペラ)	同上
劣化要因の推定・劣化との相関評価のための物理量	流体温度	℃	連続測定	温度計	プロセス	同上
	流体のpH	—	連続測定	pH計	プロセス	重要監視項目として抽出済み
	流体中のCaイオン濃度	ppm	連続測定+離散測定	LIBSおよびクロマトグラフ	プロセス/分析設備	同上
	流体中のMgイオン濃度	ppm	連続測定+離散測定	LIBSおよびクロマトグラフ	プロセス/分析設備	同上
	流体中のSiイオン濃度	ppm	連続測定+離散測定	LIBSおよびクロマトグラフ	プロセス/分析設備	同上
	流体中のSS濃度	ppm	離散測定	分析装置	分析設備	同上
	取り出し作業箇所と取水箇所の距離	m	サンプリング時	設計図面	統合管理システム	監視精度を上げるために追加取得が奨励されるもの
	取り出し作業完了から取水開始までの時間	min	サンプリング時	サンプリング時の作業記録	統合管理システム	同上
	D/W水位	mm	連続測定	水位計	プロセス	同上
	注水流量	m <sup>3</sup> /h	連続測定	流量計	プロセス	同上

監視システムの精度向上に向け、PCV外での測定による追加監視項目を抽出。

### 3.1.3 計測器の設置方法検討

#### (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

■監視に用いる計器の選定(1/2)

- 気相／液相の成分分析手法を調査し、相対比較を行った(下表)。
- 連続的監視が可能な手法はLIBSとXRFであり、測定対象の前処理と非接触性の観点でLIBS優位と判断。
- LIBSは再処理事業や燃料デブリ性状把握への適用に向けた学術研究もなされていることから、1Fへの適用ポテンシャルも高いと判断。

計測法	LIBS	GC-MS	LC-MS	ICP-AES	ICP-MS	XRF
リアルタイム性	○	×	×	×	×	△
前処理	不要	必要	必要	必要	必要	必要
非接触性	○	×	×	×	×	△
多元素同時測定	○	○	○	○	○	○
定量性	△	○	○	○	○	△
検出感度	△	○	○	△	○	△
装置構成	簡単	複雑	複雑	簡単	複雑	簡単

LIBS:レーザー誘起ブレークダウン分光法  
 GC-MS:ガスクロマトグラフィー質量分析法  
 LC-MS:高速液体クロマトグラフィー

ICP-AES:誘導結合プラズマ発光分光分析法  
 ICP-MS:誘導結合プラズマ質量分析法  
 XRF:蛍光X線分析法

【記号凡例】  
 ○:△に比べて良好 △:○には劣る  
 ×:適用不可

LIBS(レーザー誘起ブレークダウン分光法)を候補の1つとして確認。  
 1F適用に向けた本監視方法での類似検討が乏しいため、保守を含めて詳細検討を実施。

## 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

## 3.1.3 計測器の設置方法検討 (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

## ■監視に用いる計器の選定(2/2)

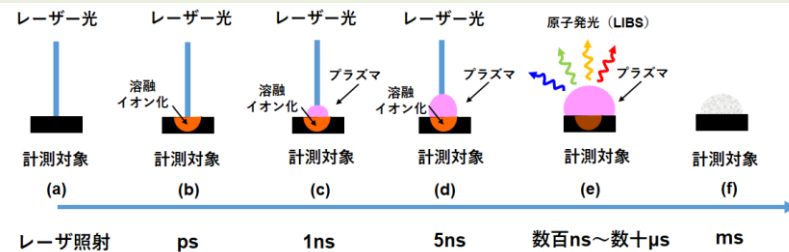
- LIBSの概要を以下に示す。

## 【①計器概要】

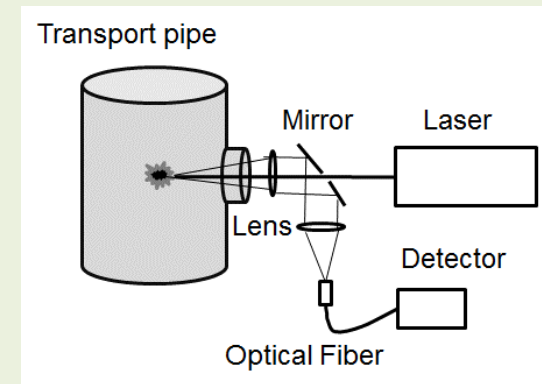
- レーザー光でプラズマ化した試料からの発光スペクトルを計測することで、気体、液体、固体中の元素組成をその場・リアルタイムに計測する。
- プラズマ生成過程は複雑な物理現象であることから、プラズマの状態変化に伴う信号強度の変化補正が難しく、定量性向上が重要課題とされている。

## 【②基本原理】

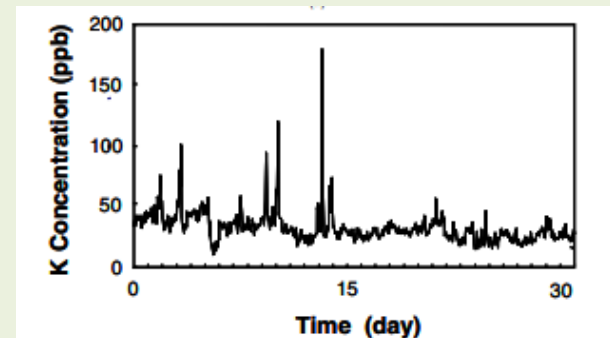
- 計測対象にレーザー光が当たり、照射部が溶融／昇化／イオン化する(下図(a)～(b))。
- プラズマが発生。プラズマは周囲のガスを取り込みながら成長。このときの発光は運動中の電子がイオンによって制動をかけられる放射が支配的(下図(c)～(d))。
- レーザー照射が終了すると、プラズマ温度が低下。励起された原子の発光が支配的になり、LIBSにとっての信号光となる(下図(e)～(f))。



## 【③装置基本構成】



## 【④データ表示例】



グラフ出典：Y. Deguchi et.al., Meas. Sci. Technol. 13 R103, 2002.

- データ表示方法：特定元素に対する「時間軸×濃度」。
- 絶対精度 (Absolute Accuracy) は測定できず、濃度変化の傾向のみが出力される。



3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

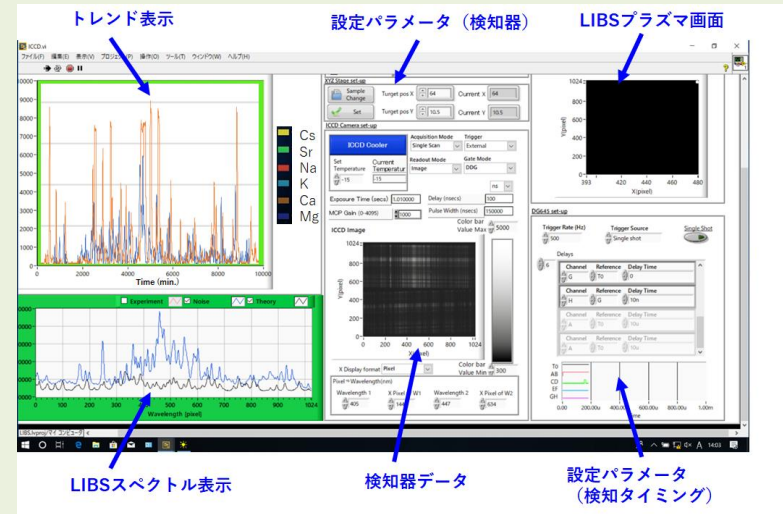
■計器の現場運用方策(検出感度)

- 文献調査結果から測定対象成分の検出感度を予測した(下表)。
- LIBSは重い元素を検出し辛い特徴があり、サンプリングなどでデータを補完する必要があることを確認した。

番号	測定対象成分	検出感度	備考
1	Cs	23 ppb	
2	Sr	10 ppb	
3	U, Zr	4 ppm	測定原理上、検出し辛い ためサンプリング等で補完する 必要あり
4	Na	0.57 ppb	
5	K	0.5 ppb	
6	Cl	300 ppm	測定原理上、検出し辛い ためサンプリング等で補完する 必要あり
7	SO 42-	計測不可 (Sの場合は300 ppm)	測定原理上、検出し辛い ためサンプリング等で補完する 必要あり
8	Ca, Si, Mg, B	数-100 ppb	

■計器の現場運用方策(運転員へのデータ表示例)

- 既存のLIBS装置画面を参考に、専門性の乏しい現場運転員が、的確・迅速に状況把握するための表示画面を検討した。



既存LIBS装置の表示画面



1F現場運転員向けに想定する監視画面例

- 文献調査にて測定対象の検出感度を推定。
- 監視室運転員への負荷が低いデータ表示方法を検討。

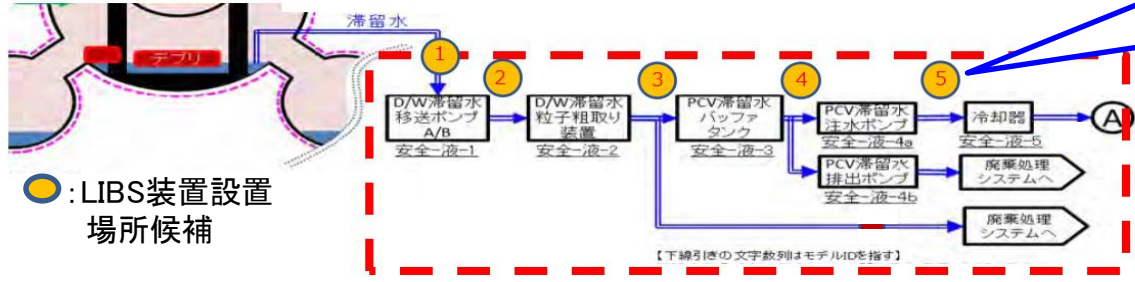
### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

#### 3.1.3 計測器の設置方法検討 (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

##### ■計器の現場運用方策(機器構成)

##### 【計器設置場所候補の調査と測定配管構成】

- LIBS装置は注目する機器の前段に設置する(下図)。
- 設置にあたっては下表に示す設計制約を満足するよう液相システム側の設計で対応する(下表)。



～測定用配管構成～

- 異常時の液漏れ対策(流量小、非測定時は停止、受けパン設置)を施す
- 測定する液体はシート状に形成(実験装置で実績のあるシート状ジェット方式)

表. R/B内特有の環境を考慮したLIBS適用に向けての設計制約

設計制約	概要
LIBSの装置サイズ・重量	建屋内に設置。安全システムの概念設計段階である2022年度時点では明確な制約設定は困難だが、他の新設設備との干渉可能性も考慮し、小型軽量が望ましい
メインプロセス配管との取り合いとLIBSへの必要供給流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>• メインプロセス配管保護のため計測用分岐配管を設ける</li> <li>• 破損時の液漏れ対策を容易にするため、なるべく少量とする</li> </ul>
LIBS装置設置空間の環境条件(湿度・線量)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 結露無し。(空調設備設置が望ましい)</li> <li>• 0.1 mSv/h未満。</li> </ul>
メインプロセスへの要求	温度:20-40 °C, 圧力:常圧

1F環境における設計制約を考慮。それに適応する装置構成を検討。

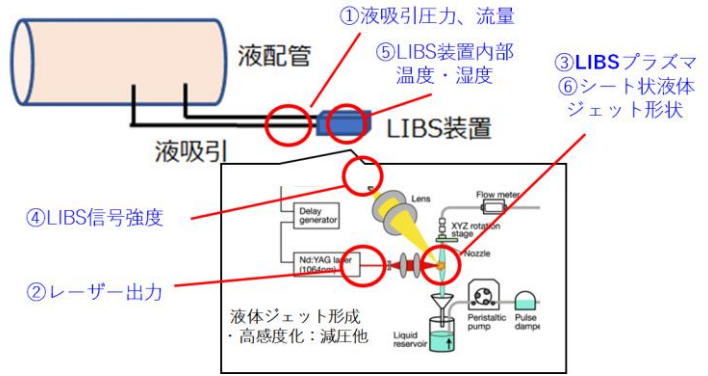
3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (b)配管内プロセス性状監視(連続的監視方法)

■計器の現場運用方策(機器構成)

【保守計画】

- LIBSは無人自動運転を前提とし、遠隔で計器の異常を検知するための条件と方法を検討。
- 部品交換や校正などで現場対応が必要な場合、パーツはユニット交換を基本とし、作業員が長時間現場に滞在しない条件を検討。



評価箇所	評価装置	異常判断・および対策
液吸引圧力, 流量	圧力計, 流量計	<ul style="list-style-type: none"> <li>しきい値を設けて圧力、流量を常時監視</li> <li>警告と装置停止の2段階評価</li> <li>液吸引を停止し、逆洗を実施後に異常が継続される場合にはメンテナンスを実施</li> </ul>
レーザー出力	フォトダイオードなどの光センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>しきい値を設けてレーザー出力を常時監視</li> <li>警告と装置停止の2段階評価</li> <li>レーザー装置再起動後に異常が継続される場合にはメンテナンスを実施</li> </ul>
LIBSプラズマ	CCDカメラなどの二次元検出器	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIBSプラズマの有無を測定時に常時監視(官能評価もしくは画像診断)</li> <li>プラズマ無の場合に警告</li> </ul>
LIBS信号強度	LIBS装置内検出器	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIBS信号強度が設定範囲内かを測定時に常時監視</li> <li>警告と装置停止の2段階評価</li> <li>レーザー装置、LIBS装置内検出器を再起動後に異常が継続される場合にはメンテナンスを実施</li> </ul>
LIBS装置内部温度・湿度	温湿度計	<ul style="list-style-type: none"> <li>しきい値を設けて温度、湿度を常時監視</li> <li>警告と装置停止の2段階評価</li> <li>LIBS装置の空調機再起動後に異常が継続される場合にはメンテナンスを実施</li> </ul>
シート状液体ジェット形状	CCDカメラなどの二次元検出器	<ul style="list-style-type: none"> <li>既定のシート状液体ジェット形状が形成されているか、常時監視(官能評価もしくは画像診断)</li> <li>液体ジェット形状に異常がある場合には警告</li> <li>液吸引を停止し、逆洗を実施後に異常が継続される場合にはメンテナンスを実施</li> </ul>

保守計画として、作業員が現場に立ち入らずに計器健全性を確認できる方法を検討。

### 3.1.3 計測器の設置方法検討

#### (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

■監視に用いる計器の選定

- ・ 離散的監視方法は、回収したサンプルを1F構内のホットラボへ持ち込む前提で検討。
- ・ 高精度な元素濃度を出力できるクロマトグラフィ系等を活用する。

計測法	GC-MS	LC-MS	ICP-AES	ICP-MS
リアルタイム性	×	×	×	×
前処理	必要	必要	必要	必要
非接触性	×	×	×	×
多元素同時測定	○	○	○	○
定量性	○	○	○	○
検出感度	○	○	△	○
装置構成	複雑	複雑	簡単	複雑



GC-MS: ガスクロマトグラフィー質量分析法  
 LC-MS: 高速液体クロマトグラフィー

ICP-AES: 誘導結合プラズマ発光分光分析法  
 ICP-MS: 誘導結合プラズマ質量分析法

【記号凡例】  
 ○: △に比べて良好 △: ○には劣る  
 ×: 適用不可

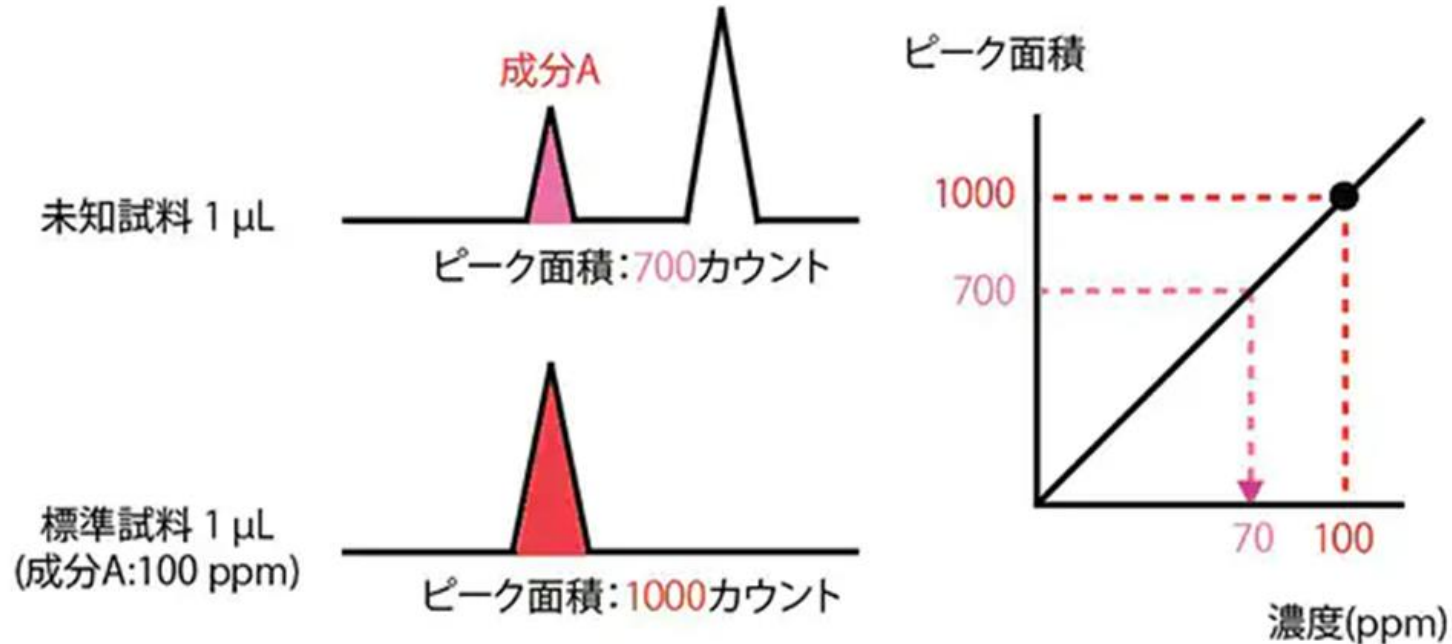
離散的監視への期待は高精度なデータ出力。  
 ホットラボにサンプルを輸送できる前提で、クロマトグラフィ系等の高性能機を活用する。

## 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

## 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

## ■計器の現場運用方策／運転員へのデータ表示方法

- クロマトグラフィにおけるデータ表示概念を下図に示す。
- サンプル(未知試料)と標準試料を比較することで、高精度な濃度を出力できる。



引用元:

(株)島津製作所 HP

[https://www.an.shimadzu.co.jp/gc/support/faq/fundamentals/analysis\\_results.htm#gc\\_2\\_3](https://www.an.shimadzu.co.jp/gc/support/faq/fundamentals/analysis_results.htm#gc_2_3)

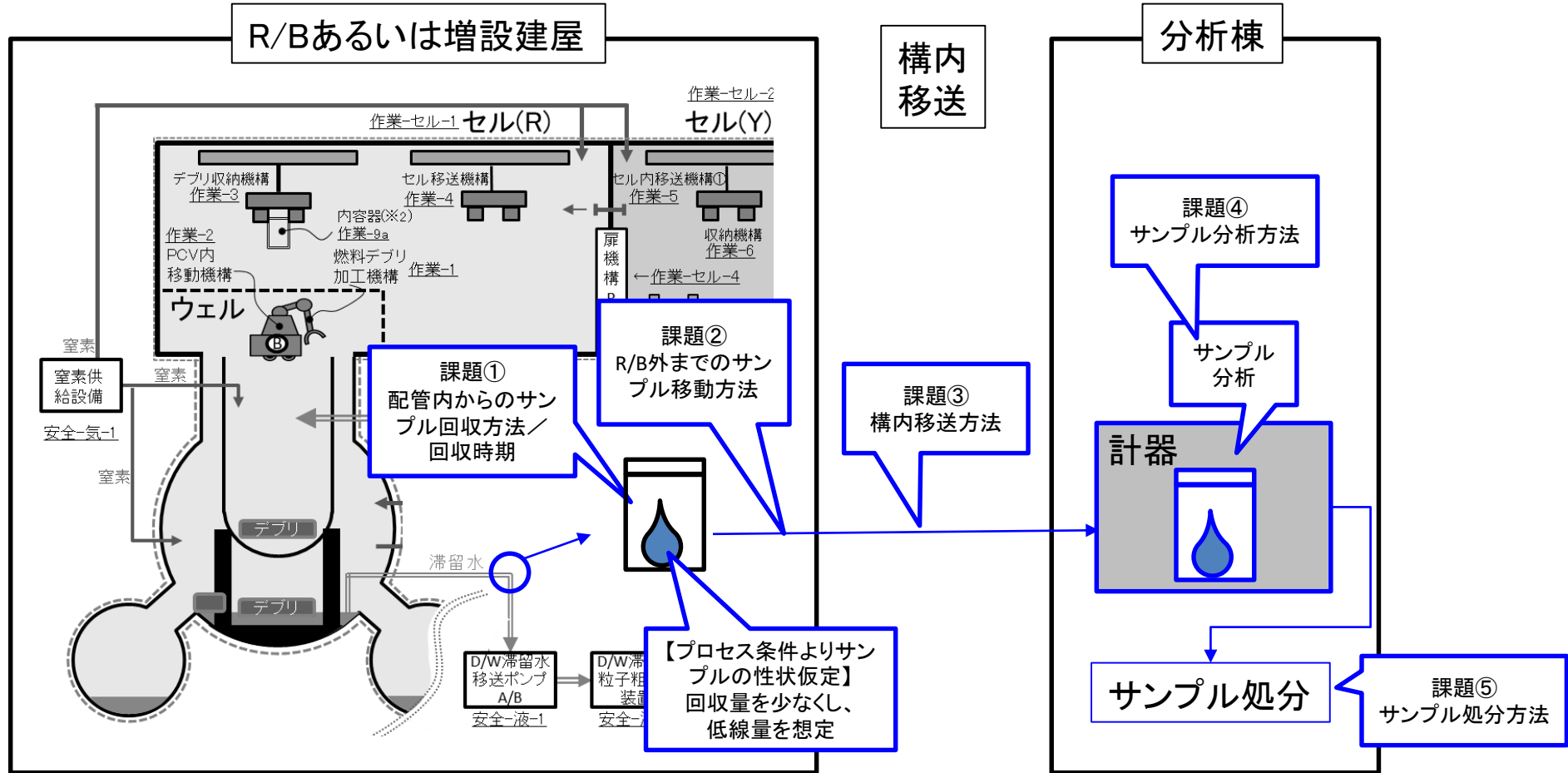
- データ表示方法: 特定元素に対する濃度 (LIBSより高精度)。
  - 抜き取り検査となるため、時間的トレンドは不明。

### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

#### 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

##### ■計器の現場運用方策／ホットラボまでの輸送上の課題(1/2)

- サンプル回収場所からホットラボへの移送および処分するまでの課題を抽出した。



計器運用の動線上で「いつ／誰が／どのように」の観点で課題を設定。

## 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

## 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

## ■計器の現場運用方策／ホットラボまでの輸送上の課題(2/2)

- 課題②以外は既存技術あるいは現在補助事業等で開発中の技術の応用で対応可能と判断した。

課題(前頁と同様)		解決策	技術開発要否
課題①	配管内からのサンプル回収方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管内の液体を密閉系でサンプリングする既存技術:あり</li> <li>原子力事業への適用例:六ヶ所再処理設備で類似設備あり</li> </ul>	【開発性低】 既存技術の転用で対応可能
課題②	R/B外までのサンプル移動方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>R/B外の低線量環境では作業員が不定期に実施した実績あり</li> <li>高線量環境では単発で有人遠隔操作ロボットで実績あり</li> <li>高線量環境かつ定期的(頻度:2日に1回～週1回)に実施した実績無し</li> <li>再処理設備で空気圧送実績あり</li> </ul>	【詳細判断必要】 従来実績である空気圧送or作業員or有人遠隔操作で成立するかどうか詳細分析が必要
課題③	構内移送方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>サンプル容器の移送そのものは、廃棄物PJで開発する固体廃棄物容器を必要に応じて活用可能</li> <li>試験的取り出しで採用する移送要領を活用</li> </ul>	【開発性低】 現在開発中の技術転用で対応可能と判断
課題④	サンプル分析方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>1Fにて建築中の研究棟(ホットセルとそれに遠隔操作設備)を活用する</li> </ul>	【開発性低】 現在開発中の技術転用で対応可能と判断
課題⑤	サンプル処分方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要に応じて化学的に処理した上で水処理設備へ差し戻す</li> <li>取り扱い量が少ないことから、運用面で解決可能と判断</li> </ul>	【開発性低】 既存運用の応用で対応可能と判断

課題②は過去実績の転用で解決するか初期判断不可。詳細に分析する。



3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

■R/B外へのサンプル移動方法の候補絞り込み

- 3つの候補に対して、「運転員／作業効率／工事」の観点で相対評価を実施。
- 点数の重み付け(2倍)は「被ばくを重視」、「設備規模／コスト重視」の2パターンで実施。
  - 下表に「被ばくを重視」の結果を示す。ロボットによる回収が有利
  - 「設備規模／コスト重視」の場合もロボットによる回収が有利と判定

(\*1) 類似技術としてモノレールやサーキットなどの物理的なガイドライン上を専用装置が走行する方式などもある。本表では原子力事業で適用実績のある空気圧送を示す  
 (\*2) 1Fはデブリ取り出しの進捗に応じて現場設備の配置が変わる可能性が高く、他工事や安全システムの改造でサンプル回収ポイントが変わる可能性を想定

【凡例】 ◎：他案より優れている(2点) ○：△より優れている(1点) △：○より劣る(0点)

評価キーワード	評価項目	専用配管によるサンプル容器の空気圧送で回収(*1)	ロボットによる回収	作業員自身による回収
適用性	類似実績の有無	【実績あり】 再処理施設向け技術として存在している	【実績あり】 1FでのX-6ベネ異物調査時に適用実績あり	【実績あり】 通常軽水炉では、サンプリング配管から配管内水の回収実績あり。ただし、低線量環境である
	インサービス後のサンプル移動ルートの変更の容易性(*2)	△ (0点) 変更時はチューブの交換・延長工事が必要になり容易ではない	○ (1点) スロープなどロボットの走行を補助する治具がある場合は置き換えが必要	○ (1点) 除染や局所遮蔽がある場合は、追加作業が必要
運転員	実行時の運転員の介入度合い	◎ (2点) 回収・移動そのものは作業員の介入なし	○ (1点) ロボット操作は全て運転員が実施	△ (0点) 作業員が現場へ直接赴く必要があるため、最も作業員の介入度合いが高い
	運転員の被ばく度合い (重み付け：点数×2)	◎ (2点×2) 遠隔操作のため被ばくなし	◎ (2点×2) 遠隔操作のため被ばくなし	△ (0点) R/B内に立ち入るため、都度被ばく発生
作業効率	サンプル回収と移動に係る時間	◎ (2点) 半自動作業かつ構造原理上サンプル移動速度は最速	△ (0点) 習熟者であっても他候補よりサンプル回収も移動も時間がかかる	○ (1点) ロボットよりも作業効率は高い
インサービスに係る工事	R/Bに追加すべき設備規模/維持コスト	△ (0点) サンプル取得場所の数だけ配管を引き回す必要があり、保守を含めて規模・コストは最大	◎ (2点) 無線中継車の帯同により、通信インフラの追加は不要(過去に1Fで実績実績あり)	○ (1点) 他工事や設備の変化で、動線や作業箇所ホットスポットが存在する場合、都度除染や局所遮蔽が必要
	工事時の作業員の被ばく度合い (重み付け：点数×2)	△ (0点) 工事規模・期間共に他候補より大きく投入人員も多くなることから総被ばく量は高い	○ (2点×2) スロープなどの補助器を設置する可能性はあるが、規模は小さく、投入人員は相対的に少ない	○ (2点×2) 除染・局所遮蔽などを設置する可能性はあるが、規模は小さく、投入人員は相対的に少ない
総合評価結果(点数)		8点	12点	7点

被ばく／コストの両面で重み付け評価を実施。いずれもロボット回収が有利と判定。

### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

#### 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

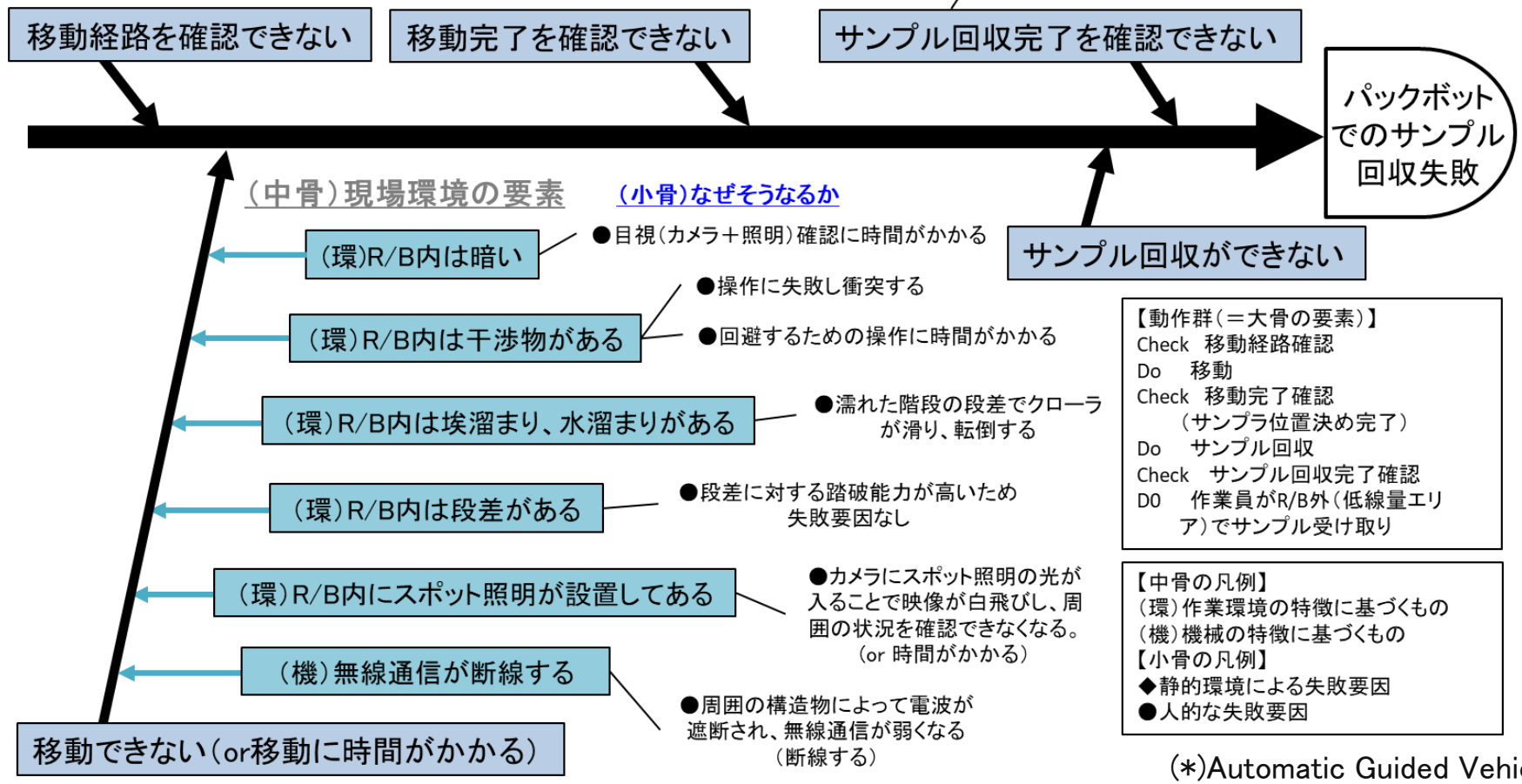
##### ■計器の現場運用方策/R/B外までのサンプル移動方法の検討

- 1Fで運用実績のあるパックボット(有人遠隔操作)を対象に、サンプル回収に失敗する(時間がかかるを含む)事象をR/B内過酷環境を考慮したフィッシュボーン形式で分析
- 54件の失敗要因を抽出。38件(全体70%)が人間系の操作(習熟度・現場状況認識不足)が原因

【画像出典】  
<https://robots.ieee.org/robots/packbot/>



(大骨)動作群の否定文  
 →～できない/～に時間がかかる



- 有人遠隔操作は作業員への依存度が大きく、日常的な作業では負荷が高いと結論。
  - 対策として、AGV(\*)に代表される自動巡回走行技術の導入可能性を検討。

### 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

#### 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

##### ■ 計器の現場運用方策／自動巡回機器の適用性検討

##### 【1F向け自動巡回走行機の開発課題抽出】

- パックボットと同様、自動巡回機での失敗条件をフィッシュボーンで抽出。センシング関連のものが最多であることを確認。
- 失敗防止対策のうち、**机上検討では有効性が不明なものについては、要素試験で明らかにする。**試験実施の判断基準と明らかにした内容を以下に示す。
- 本検討の補足は添付資料3.1.3-1(a)参照、試験詳細は3.1.3-1(b)参照。

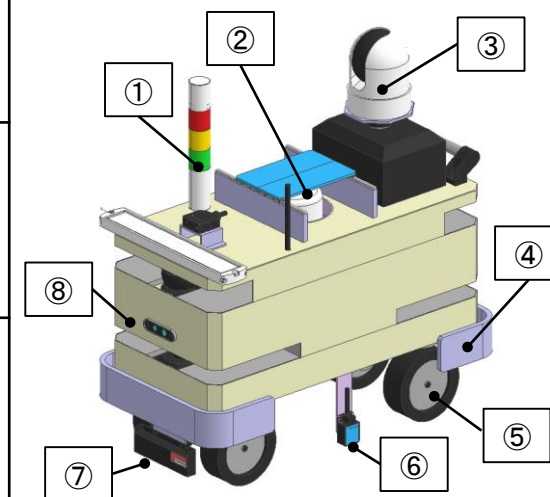


No.66

フィッシュボーン分析対象とした  
レーザファインダ・ARマーカ  
読み取り機能付き自動巡回機  
(出典: 東芝)

- ①3色灯
- ②サンプル容器収納ポケット
- ③俯瞰カメラ(サンプル回収時状況確認用)
- ④バンパー
- ⑤独立駆動車輪(ホイールインモータ)
- ⑥ポジショニングセンサ
- ⑦レーザスキャナ
- ⑧ARマーカ読み取り用カメラ

要素試験を実施する判断基準		要素試験で明らかにしたこと
I	失敗防止対策で発生するトレードオフが受け入れ可能か判断がつかないもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• スロープ走行や地這いLANケーブルなどの障害物を乗り越える構造にするトレードオフとして、スキャン生成する地図精度と自己位置推定精度にどの程度の影響を与えるか明らかにした</li> </ul>
II	失敗防止対策に向けた1F現場への要求について、具体性に欠けるもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 安定した走行をするために現場へ要請する補助治具(カメラ読み取り式の走行補助ARマーカ)や、他工事仮設置品(投光器や仮置き品など)の設置条件を明らかにした</li> </ul>
III	失敗防止対策のために新たに導入するセンサなどの要素機器の選定条件や、要素機器同士の組み合わせ条件、自動巡回機器への配置条件が明らかでないもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R/B内暗闇条件下でARマーカを安定して読み取るための自機搭載照明への配置・照度条件を明らかにした</li> <li>• 砂ホコリ・地這いLANケーブル・鉄板段差を走破する際の従来センシング技術(二次元SLAM・タイヤ回転量による自己位置推定)の影響度を明らかにした</li> </ul>



要素試験結果に基づき検討した  
1F向け自動巡回機の構造概念  
(要素技術は一般産業のものを活用)

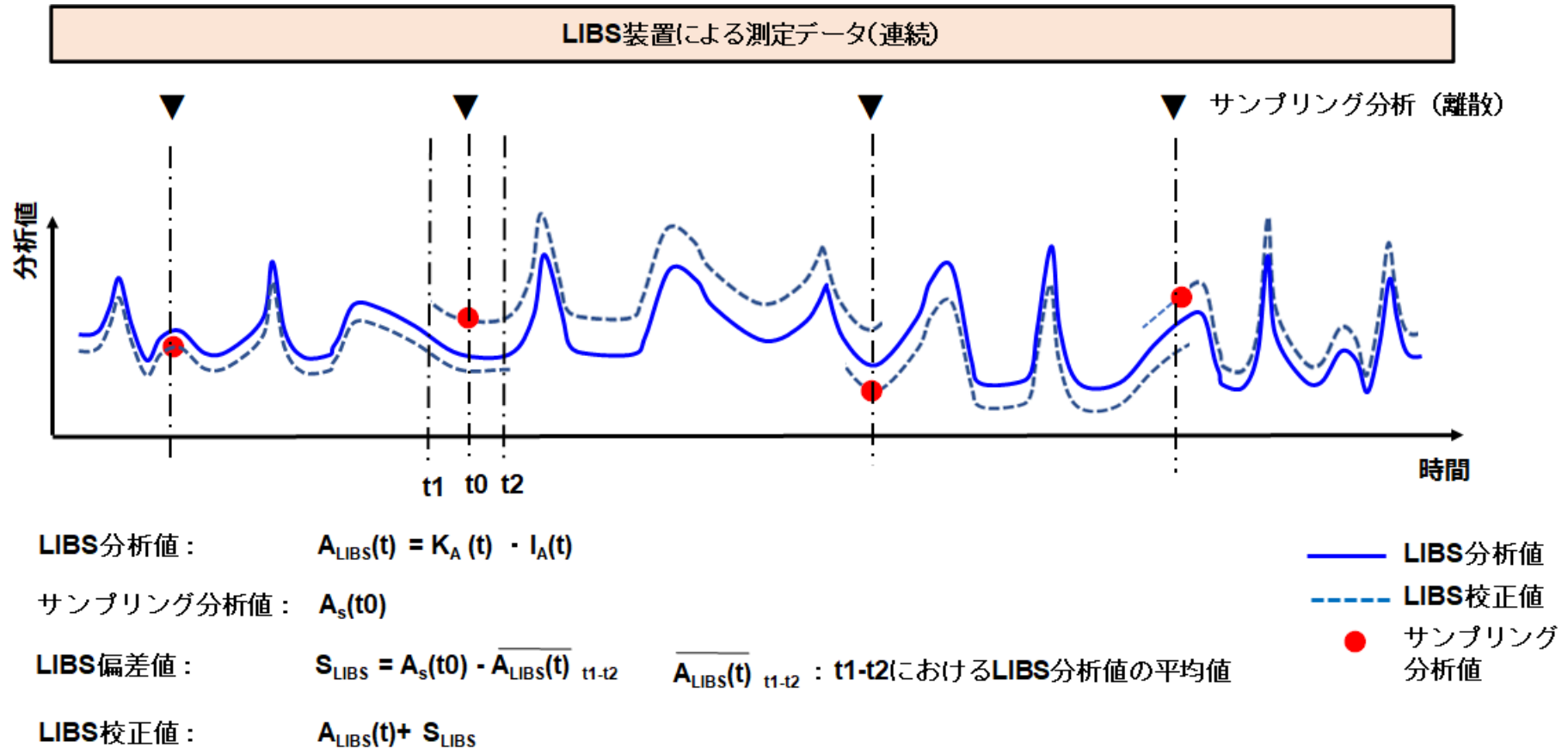
パックボットと同様にフィッシュボーンで失敗条件を抽出。対策を整備。  
机上検討では対策の有効性が不明なものについて、要素試験を実施。将来開発課題としてまとめた。

## 3. 令和4年度の成果 3.1 実施項目(2)「監視方法の検討」

## 3.1.3 計測器の設置方法検討 (c)配管内プロセス性状監視(離散的監視方法)

## ■ 離散的に得たデータの活用方策

- LIBSでは、共存成分の影響など、分析値が測定環境に依存する。そのため、サンプリング分析値を用いた補正を行うことが望ましい。
- LIBS分析値のデータ補正概念を下図に示す。サンプリングで得た分析値を基準とし、同時刻(一定の時間幅を設定)のLIBS分析値の校正を行う。



連続的に測定できるが、精度に課題があるLIBSはサンプリングによるデータ補正を現地インサービス後も継続し、出力値の不確かさを減じていく。

## 3.1.4 技術課題の整理

### 3.1.4 技術課題の整理

#### ■連続的監視方法(LIBS)の代表的な技術課題

##### 【モニタリング環境】

- ・ (課題)LIBSを高線量空間で測定する場合、LIBS信号受信部などは対放射線性が低いエリアまで光ファイバを引き伸ばすなど、特に信号伝送構成に影響がある。
- ・ (対策)設置箇所の環境条件を明確化し、仕様を確定する。

##### 【検出感度】

- ・ (課題)本事業では文献調査で各元素濃度の検出感度を推定したが、1Fを想定した実環境データではないため不確かさが大きい。
- ・ (対策)モニタリング環境を模擬した限界性能確認試験を行い、注目する元素の検出感度の見込みを確定させる必要がある。

##### 【耐久性・保守】

- ・ (課題)LIBSは一般産業では学術試験レベルで1ヶ月の連続運転実績を持つが、1F環境での実績は無い。健全性の遠隔確認を含む保守方針を整備したが、実効性の検証はできていない。
- ・ (対策)モニタリング環境を模擬した限界耐久性確認試験を行い、保守手順を含めた計画を確定させる必要がある。

#### ■離散的監視方法(巡回機によるサンプル回収)の代表的な技術課題

##### 【運行計画】

- ・ (課題)事前スキャンで作成した地図の壁面に50%を超える仮置き品を発生させると、巡回機が一部を壁と誤認し、到着目標箇所の位置決め精度が急激に低下することを確認した。
- ・ (対策)巡回機側のコストアップ防止のため、1F現場での仮置き品設置数に一定の制限を設けるなど、運行計画側での対応が望ましい。

##### 【干渉物回避走行構造】

- ・ (課題)本試験では二次元平面レーザスキャナを用いた試験を実施したが、1F現場の不整地・干渉物環境を考慮すると、三次元スキャナと併用することが望ましいことが判明した。ただし、両スキャナの走査エリア相互カバー率の把握とスキャナ同士のレーザーの干渉影響を把握し、計器配置計画を最適化する必要がある。
- ・ (対策)走行環境を模擬した構造最適化パラメータ抽出試験を行い、構造条件を確定させる必要がある。

次頁では、本主要報告以外の詳細検討アイテムも含めた全体的な傾向を示す。

### 3.1.4 技術課題の整理

#### ■ 詳細検討アイテムの全体の傾向／監視システムとしての全体課題

##### 【詳細検討アイテムが監視システムに期待する共通事項】

- ・ 現場に困りごとが起きる前の先回り対応ができる予兆検知。

##### 【想定される1F現場での問題点】

- ・ 環境の物理的変化と機器の機能低下の因果関係が定量的には分からない。  
例. 塩素濃度がどの程度上昇したら、機器の腐食が設計想定を逸脱するか分からない。

##### 【上記問題点の対応策】

- ・ 案1: 現地工事開始前の工場 or ラボ試験で基礎データ取得。
- ・ 案2: 監視システムのインサービス後に、当分の間は因果関係把握モードとして基礎データを蓄積していく。

現地インサービスに向けては、上記の案1と2の組み合わせが必要。  
保存・管理するデータは種類も量も膨大と予測。  
人間系では限界があるので統合管理支援システムでの実施が有望。

## 3.1.5 ここまでのまとめ



## 3.1.5 ここまでのまとめ

	運用計画	開発計画
まとめ方	各デブリ取り出し工法が、自工法に監視システムを導入するにあたっての具体的な実現策を、その根拠と共に提示する。	実現策に開発課題が含まれる場合は、その根拠と共に優先順位を付けて提示する。
ここまでのまとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>監視困難な重要監視項目については、トレードオフを見極めた上で代替監視項目を設定した。</li> <li>代替監視項目の設定を行っても「予兆検知性が低い」、「1F向けへの応用・転用が期待できる技術が乏しい」ものについては、監視システム構築に向けて本プロジェクトで集中的に検討する必要があるか(≒優先順位が高いか)を個別に精査。代表例として以下を確認、抽出、提言した。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 安全設備において、通常時からの二重化など機器設計で安全対策する場合は、多大な開発リソースを割いて連続監視性・予兆検知性を必ずしも高める必要が無いケースもあることを確認。</li> <li>➤ 上記の一方、配管内プロセス性状については予兆検知性を高めることで、デブリ加工作業(ダスト飛散に伴う流体性状変質)と機器劣化加速の相関性を定量的に把握しやすくなる期待があるため、運転員の現場アクセス性への制限や被ばく低減対策を中心に1F特有の課題を抽出。</li> <li>➤ 上記以外の全体的な課題として、デブリ取り出し工事を開始する前に事前に工場・研究所でのバックデータを整備すると共に、監視システムを現地へインサービスした後の当面の期間は現場のFACTデータを収集し、分析に注力しなければ監視高度化は困難であることを提言。</li> </ul> </li> </ul>	

代替監視を検討し、現場での運用・設置方法を検討し、技術課題を個別にまとめた。

## 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

### 3.2.1 アウトプットイメージ

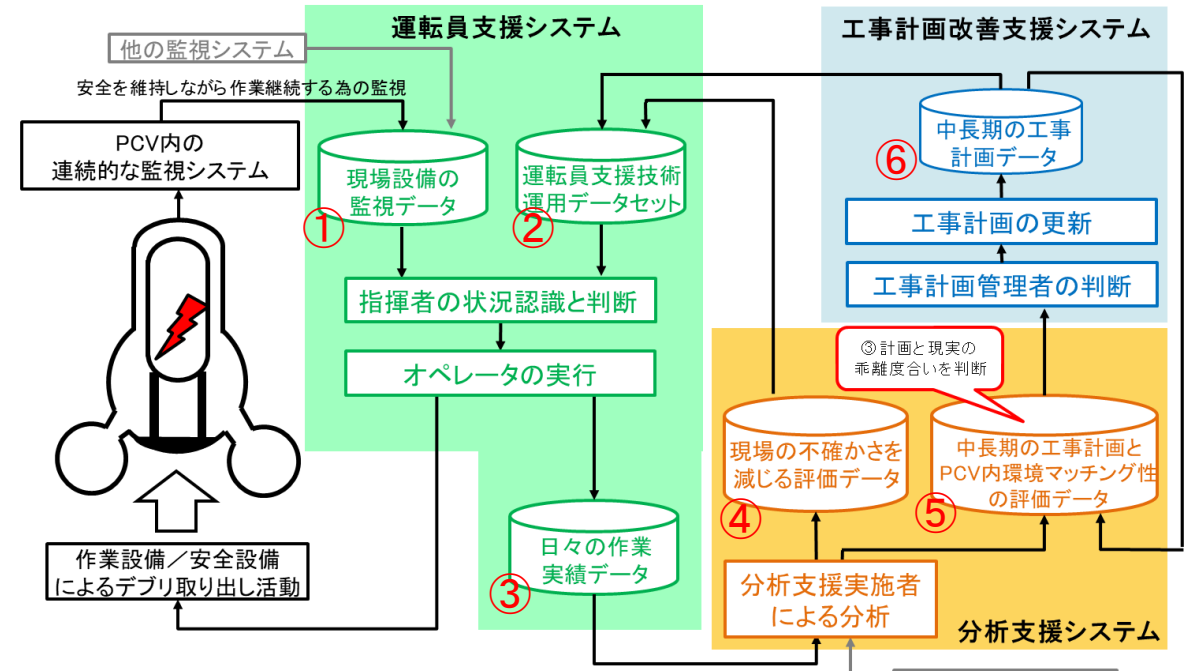
#### (a)3つの支援システムの定義

3.2.1 アウトプットイメージ 3つの支援システムの定義

※各○番号は次頁の表と連携

■3つの支援システムの必要性

- 運転員(指揮者・オペレータ)は、工事計画に基づく運転マニュアルに基き、決定論的に作業を進めていく。
- 運転マニュアルの根拠となる工事計画は、現実との乖離およびその要因について、FACTデータに基づいて明示しなければ適切に修正できない。
- FACTデータは監視で得られる物理量と、運転員の活動記録を紐づけ、不要なものを削ぎ落とし、工事計画管理者が適切に判断できるように処理・表示しなければならない。
- 1Fは不確実な現場情報の中で作業を進めるため、特にデブリ取り出し開始初期は計画と現実の乖離は頻発する可能性がある。人間系によるパッチワーク対応の限界を想定し、半自動化を含めた3つの支援システムは必要と考える。



■3つの支援システムの役割と運用頻度

～運転員支援システム～

- 日々運用するシステム。
- 約200個の重要監視項目を直接扱い、現場設備の運転員(指揮者とオペレータ)を支援する。具体的には、1日の設備運転の中で時々刻々と変わる現場状況に対してスループットが維持できるよう、運転員が的確・迅速に対応するための支援を行う。
- (例)デブリを加工していたらダスト濃度が上昇したので支援システムの提示に基き、ミストを散布した。

～分析支援システム～

- 少なくとも年に1度は運用する。分析する事象に応じて運用頻度は変わる。
- 3つの支援技術の全体運用責任者を支援する。日々の運転員支援が必要とする情報と、1年毎の工事計画改善支援が必要とする情報を提供するための支援を行う。
- (例)当初計画したミスト散布だけではダスト濃度の上昇抑制に限界がある傾向を分析により見出した。

～工事計画改善支援システム～

- 工事計画は年に1回見直しを図ることを前提に、少なくとも年に1度は運用する。
- 3つの支援技術の全体運用責任者を支援する。1年毎の分析支援から提供された情報の分析結果、工事計画の更新要否を判断した意思決定プロセス、および工事計画更新時に連動して変化する情報を一括管理するための支援を行う。
- (例)ミスト散布以外に空気浄化設備の導入を決定し、工事計画を更新した。更新に連なり、現場設備の運転マニュアルもタイムリーに更新した。

- 上記3つの支援システムを相互連携し運用する仕組みを考える。
- これら技術は、基本的要求と要求機能へそれぞれ落とし込む必要がある(80～81頁にて説明)。

## 3.2.1 アウトプットイメージ (a)3つの支援システムの定義

## ■前頁の図で示したデータ・データセットの役割

名称	定義	例
①現場設備の監視データ (現場データ)	日々の運転員支援で活用するインプット。本事業では2021年度の検討で、PCVで原子力安全を維持しつつ、スループットを維持するために監視する物理量(以後、「監視項目」と言う。)を抽出した。この物理量を保存する	デブリ加工時のダスト濃度
②運転員支援技術運用データセット	日々の運転員支援で活用するインプット。現場設備もしくは環境の状況に応じた設備の運転マニュアルが保存されている	ダスト濃度が上昇した場合、デブリ加工機のミスト散布量を増やす
③日々の作業実績データ	日々の運転員支援のアウトプットかつ、1年後の分析支援で活用するインプット。指揮者の判断と現場設備のオペレータの実行結果を保存する。この実行結果は、上記の①と②のデータとも紐づける	デブリ加工中にダスト濃度が上昇したので、ミスト散布量を増やしたら、ダスト濃度が下がった
④現場の不確かさを減じる評価データ	1年後毎の分析支援のアウトプットかつ、日々の運転員支援へのインプット。上記②は仮定に基づいて整備されているものも含まれるため、この仮定情報と、現場で得られたFACTを比較した結果を保存する。比較結果で仮定情報を更新する場合は、②へのインプットとなる	ミスト散布量とダスト濃度発生量の相関性は工場試験データで仮定していたが、現場の実績データが充実したので相関性を見直し、ミスト散布量の増やし方に係る運転マニュアルを更新した
⑤中長期の工事計画とPCV内環境のマッチング性評価データ	1年後毎の分析支援のアウトプットかつ、1年後の工事計画改善支援へのインプット。工事計画に記述されるPCV内の想定環境(≒仮定情報)と現場データ(現場の実情)を比較した結果を保存する。このとき、仮定情報と現場の実情にどの程度の乖離があるかの評価結果も付与する	ダストの発生量が当初計画より増加傾向、ミスト散布だけでは対応できなくなりつつある。この傾向が続くと、1年後にはダスト閉じ込め機能の限界を超える可能性がある
⑥中長期の工事計画データ	1年後毎の分析支援のアウトプットかつ、日々の運転員支援へのインプット。上記⑤で示す工事計画と現場実情の乖離が許容できる度合いであるかを判断し、工事計画の更新結果を保存する。工事計画が更新されると、現場設備の運転マニュアルも更新されるため、上記②へのインプットとなる	ダスト濃度上昇対策として、空気浄化設備の増強を決定した。運転マニュアルは、ミスト散布だけでは効果が低い場合は空気浄化設備の排風量を一時的に増やす行為も追加した

## 3.2.1 アウトプットイメージ (b)目指す成果

## 3.2.1 アウトプットイメージ (b)目指す成果

## ■TRL達成に向けた目標成果の整理

実施内容	目指す効果	(補足)TRL定義
(3) 統合管理支援技術の運用方針検討	実施内容(1)および(2)の結果に基づき1F統合管理に資する <b>支援項目を抽出</b> し、現地での <b>活用方策を計画</b> していること。 (終了時目標TRL:レベル1)	開発、エンジニアリングの対象について、 <b>基本的内容を明確化</b> している段階。

## ■基本的内容の明確化

- ソフトウェア開発における**要件定義**あるいはその一部に相当する。

## ■支援項目の抽出

- 連続監視システムが得た現場データに対して、3つの支援システムがどのような働きをすると、運転員が的確・迅速な判断ができるようになるかを示す。
- 上記は要件定義として絶対条件となる**基本的要求と要求機能**で示す。

## ■活用方策の計画

- デブリ取り出し工法が確定していない中で、3つの支援システムの要件定義を更に一歩推し進めるためには、具体的な物理量を用いた思考実験が必要。
- 連続監視システムで得られた物理量(例. ダスト濃度)が「運転員支援システム」へ入力された後、残りのシステムへどのようにデータが引き継がれ、**タイムライン上で処理されていくべきかの全体工程を検討し、人間系のデータ処理では対応できない課題(=支援システムへの要請)**を示す。

## 3.2.1 アウトプットイメージ (b)目指す成果

## ■TRL達成に向けた目標成果の整理

- TRL(レベル1)と本事業の目標2(2頁参照)に基づき、監視システムで得られる「現場データ活用方策」と「現場データの全体処理工程」を実現するための「**方針(=ありたい姿)**」を示す。

	現場データの活用方策の検討		現場データの全体処理工程の検討	
まとめ方 (前頁の 再掲)	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続監視システムが得た現場データに対して、3つの支援システムがどのような働きをすると、運転員が的確・迅速な判断ができるようになるかを示す</li> <li>上記は要件定義として絶対条件となる基本的要求と要求機能で示す</li> </ul>	4.2.2項	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続監視システムで得られた物理量(例.ダスト濃度)が「運転員支援システム」へ入力された後、残りのシステムへどのようにデータが引き継がれ、タイムライン上で処理されていくべきかの全体工程を検討し、人間系のデータ処理では対応できない課題(=支援システムへの要請)を示す</li> </ul>	4.2.3項
アウトプット	3つの支援システムへの基本的要求	(a)項	取得タイミングが異なる連続的現場データと離散的現場データの分析手順	(a)項
	3つの支援システムへの要求機能	(a)項	現場データと設備能力限界の比較手順	(b)項
	要求機能に基づく、3つの支援システムの具体的な活用例	(b)項	複数のデータを統合し、工事計画の改善を検討する手順と年間タイムライン	(c), (d)項
			年間タイムライン実現に向けた課題	(d)項

## 3.2.2 現場データの活用方策の検討

### (a) 基本的要求と要求機能の設定



## 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

## 3.2.2 現場データの活用方策の検討 (a)基本的要求と要求機能の設定

## ■3つの支援システムに対する要求機能の設定(1/4)

- 3つの支援システムは目的→基本的要求→機能ベースの順に整理した。
- 一般産業での製品生産量を維持するために設定する目的を参考に、1Fへの基本的要求を下表のように整理した。

目的		一般産業における基本的要求	1Fにおける基本的要求
【一般産業】 製品生産量を維持する  【1F】 スループットを維持する	計画と現実の乖離を把握する	生産管理担当者が、現場の製品生産量を正確に把握できるデータを提示する	運転員(指揮者)が、現場のスループットを正確に把握できるデータを提示する
		生産管理担当者へ、上記のデータを遅滞なく提示する	運転員(指揮者)へ、上記のデータを遅滞なく提示する
	計画からの乖離を小さくする対策の有効性を判断する	生産管理担当者が策定する対策の根拠となるデータを提示する	運転員(指揮者)が策定するスループット低下対策(先回り対応含む)の根拠となるデータを提示する
		【将来的に期待する+α】生産管理担当者へ根拠を持った対策を提示できる	【将来的に期待する+α】運転員(指揮者)へ、根拠を持ったスループット低下対策を提示できる
計画を維持する能力を向上する	現場作業員の作業能力を向上させるためのデータを提示する (例. ヒューマンエラー発生頻度低減)	運転員(オペレータ)および作業設備・安全設備運転能力(≒通常作業を維持する能力)を向上させるためのデータを提示する	

3つの支援システムへの要求機能を設定するため、先ず基本的要求を設定。

### 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

#### 3.2.2 現場データの活用方策の検討 (a)基本的要求と要求機能の設定

#### ■3つの支援システムに対する要求機能の設定(2/4)

・前頁で示した基本的要求に対して、要求機能を設定した。その機能にまつわる実行者／管理対象の設定の他、機能が必要とするインプットデータと機能からのアウトプットデータもまとめた。

表. 3つの支援システムへの要求機能(1/3)

1Fでの目的	1Fでの基本的要求	実行者(人)	管理対象	要求機能/定義		機能へのインプット	データを扱う支援システム	機能からのアウトプット
計画と現実の乖離を把握する	運転員(指揮者)が、現場のスループットを正確に把握できるデータを提示する	運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	工程管理 デブリ取出し・ 搬出設備管理	作業進捗 監視機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>日々の計画どおりに作業が進行しているか監視する</li> <li>デブリ取出し、搬出設備に異常が発生していないか監視する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1日の作業計画(予定デブリ取出し量)</li> <li>現在のデブリ取出し量</li> <li>デブリ取出し、搬出設備設計値/設計条件</li> <li>デブリ取出し、搬出設備稼働状態</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在の作業進捗率</li> <li>作業遅れフォロー(分析結果)</li> <li>デブリ取出し、搬出設備異常予兆</li> <li>デブリ取出し、搬出設備異常警報</li> </ul>
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	作業員被ばく管理	作業員 管理機能	現場作業を伴う保守業務を行う運転員の被ばくを監視する	<ul style="list-style-type: none"> <li>個人被ばく量(日々の実績)</li> <li>想定被ばく計画</li> <li>人員動員計画(初期計画)</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>被ばく実績(週間・月間・年間)</li> <li>人員動員計画(見直し版)</li> </ul>
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	プラント状態管理	プラント状態 監視機能	プラントの状態を監視する	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理パラメータ制限値</li> <li>管理パラメータ現在値</li> <li>重要監視項目制限値</li> <li>重要監視項目現在値</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理パラメータの異常予兆(分析結果)</li> <li>管理パラメータの異常警報</li> <li>重要監視項目異常予兆</li> <li>重要監視項目異常警報</li> </ul>
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	公衆被ばく管理	放出放射能 監視機能	環境への放出放射能が目安線量を下回ることを監視する	<ul style="list-style-type: none"> <li>目安線量</li> <li>放出放射能</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>基準値逸脱予兆(分析結果)</li> <li>基準値逸脱警報</li> </ul>

前頁と同じ

3つの支援システムへの要求機能を設定。インプットとアウトプットも設定。設備の保守はスループット低下対策の位置付けで設定(次頁)。

3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.2 現場データの活用方策の検討 (a)基本的要求と要求機能の設定

■3つの支援システムに対する要求機能の設定(3/4)

表. 3つの支援システムへの要求機能(2/3)

1Fでの目的	1Fでの基本的要求	実行者(人)	管理対象	要求機能/定義		機能へのインプット	データを扱う支援システム	機能からのアウトプット
計画からの乖離を小さくする対策の有効性を判断する	運転員(指揮者)が策定するスループット低下対策(先回り対応含む)の根拠となるデータを提示する	分析支援実施者	デブリ取出し・搬出設備管理 プラント状態管理 作業員被ばく管理 公衆被ばく管理	計画乖離原因分析機能	計画から乖離した原因を分析する	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画から乖離した際の管理パラメータ値</li> <li>計画から乖離した際の重要監視項目値</li> <li>計画から乖離した際の設備の稼働状態</li> <li>計画から乖離した際の放出放射エネルギー</li> <li>過去の類似事象に関するデータ</li> </ul>	分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析結果(乖離の根本となる原因、もしくはその候補)</li> </ul>
		分析支援実施者		計画乖離対策提案機能	計画からの乖離を小さくする対策を提案する	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析結果(計画乖離の原因、もしくはその候補)</li> <li>過去の類似事象発生時の対策データ</li> <li>設備設計値/設計条件(予備品情報含む)</li> </ul>	分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離対策案</li> </ul>
		分析支援実施者		計画乖離対策効果予測機能	計画乖離対策を実施した場合の効果を予測(シミュレート)する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離対策案</li> <li>現状の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射エネルギー、設備の状態等)</li> </ul>	分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離対策案実施シミュレート結果</li> </ul>
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者) 分析支援実施者 工事計画管理者	デブリ取出し・搬出設備管理 プラント状態管理 作業員被ばく管理 公衆被ばく管理	計画乖離対策有効性判定機能	計画乖離対策を実施した後に、効果があるか実際に運用して判定する	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離対策</li> <li>対策後の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射エネルギー、設備の状態等)</li> <li>計画乖離対策案実施シミュレート結果</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離対策の有効性判定結果</li> </ul>
		分析支援実施者		計画乖離要因予測機能	蓄積データから計画との乖離の要因となりうる事象を事前に予測する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射エネルギー、設備の状態等)</li> <li>過去の計画乖離事象発生時のデータ</li> <li>設備設計値/設計条件(予備品情報含む)</li> </ul>	分析支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画乖離要因予測結果</li> </ul>
		工事計画管理者		設備維持機能	設備の機能を維持するための、保守・メンテナンス計画立案機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状の保守・メンテナンス計画</li> <li>現状の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射エネルギー、設備の状態等)</li> <li>過去の保守・メンテナンス実績データ</li> <li>設備設計値/設計条件(予備品情報含む)</li> </ul>	分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	<ul style="list-style-type: none"> <li>保守・メンテナンス計画(改善案)</li> </ul>

設備の保守はスループット低下対策の位置付けで設定。

3.2.2 現場データの活用方策の検討 (a)基本的要求と要求機能の設定

■3つの支援システムに対する要求機能の設定(4/4)

表. 3つの支援システムへの要求機能(3/3)

1Fでの目的	1Fでの基本的要求	実行者(人)	管理対象	要求機能/定義		機能へのインプット	データを扱う支援システム	機能からのアウトプット
計画を維持する能力を向上する	運転員(オペレータ)および作業設備・安全設備運転能力(≒通常作業を維持する能力)を向上させるためのデータを提示する	分析支援実施者 工事計画管理者	工程管理 デブリ取出し・ 搬出設備管理 プラント状態管理	計画維持能力向上策 提案機能	蓄積データからスループット向上策案を提案する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取出し計画</li> <li>・ 取出し実績</li> <li>・ 計画乖離対策実績</li> <li>・ 設備設計値/設計条件(予備品情報含む)</li> <li>・ 新技術等追加インプット情報</li> </ul>	分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	・ 計画維持能力向上策案
		分析支援実施者		計画維持能力向上策効果予測機能	計画維持能力向上策案を実施した場合の効果を予測(シミュレート)する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画維持能力向上策案</li> <li>・ 現状の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射能量、設備の状態等)</li> </ul>	分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	・ 計画維持能力向上策案実施シミュレート結果
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者) 分析支援実施者 工事計画管理者	計画維持能力向上策有効性判定機能	計画維持能力向上策を実施した後に、効果があるか実際に運用して判定する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画維持能力向上策</li> <li>・ 対策後の各種データ(管理パラメータ、重要監視項目、放出放射能量、設備の状態等)</li> <li>・ 計画維持能力向上策案実施シミュレート結果</li> </ul>	運転員支援SYS 分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	・ 計画維持能力向上策の有効性判定結果	
		分析支援実施者 工事計画管理者	作業員被ばく管理	被ばく量低減策提案機能	蓄積データからより効果的な被ばく量低減策(人員配置含む)を提案する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 想定被ばく計画</li> <li>・ 被ばく実績(作業履歴含む)</li> <li>・ 被ばく量低減策実績</li> <li>・ 新技術等追加インプット情報</li> </ul>	分析支援SYS 工事計画改善支援SYS	・ 被ばく量低減策案

## 3.2.2 現場データの活用方策の検討

### (b)3つの支援システムの具体的な活用例

## 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

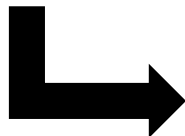
## 3.2.2 現場データの活用方策の検討 (b)3つの支援システムの具体的な活用例

## ■ 思考実験対象の選定基準

- ・ 監視システムで得た現場データが3つの支援システムを通じてどのように処理し、役立てられていくかを具体化するため、重要監視項目の中から1つを選んで思考実験する。
- ・ 思考実験結果を幅広く活用するため、重要監視項目は以下の4つの基準を満たすものを選んだ。
- ・ デブリ取り出しモデルと重要監視項目に対する本検討の紐付き・関係性は添付資料2.2-1を参照。

基準	具体的な選抜方法
【基準A:波及効果】 機器単体よりもシステム全体が恩恵を受けるものが望ましい	個々の要素機器や特定作業のみ改善されるものは除外する
【基準B:具体性】 3つの支援技術の運用に具体性を持たせられるものが望ましい	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 約200件の重要監視項目から、開発課題が高いものとして30件に絞り込んだ「詳細検討アイテム」の中から選抜する</li> <li>・ 設計情報(使用監視計器、測定物理量、現場運用手順)の具体化が困難なものは除外する</li> </ul>
【基準C:実行難易度】 現場データの処理が複雑で、開発課題が明示しやすいものが望ましい	<p>以下を理想とし、運転員の意思決定を含めて現場データの処理が単純なものは除外する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 閾値を「超えた・超えない」の二元論だけで語れず、現場データに対して人間系による分析や意思決定を必要とする複雑なものが理想</li> <li>・ 現場データの測定・分析・現場への反映過程におけるタイムラインが単純ではない可能性があるものが理想</li> </ul>
【基準D:原子力安全】 原子力安全を確保しながらスループットを維持していく行為に具体性を持たせられるものが望ましい	通常時の管理パラメータに直接関与するものを選抜する

AND条件を  
満たす重要  
監視項目



基準A～DをAND条件で満たすものとして、  
重要監視項目の中から気相システムのダスト濃度監視をキーワードとして選定

## 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

## 3.2.2 現場データの活用方策の検討 (b)3つの支援システムの具体的な活用例

## ■ 思考実験の具体的なテーマ

## 【想定する事象】

- 排気口から大気放出する放射能の総量は、年単位で制限される。(右図①)
- このため、デブリ取り出し時は気相システムへ流入するダスト濃度も1日単位で制限される可能性がある。(右図②)

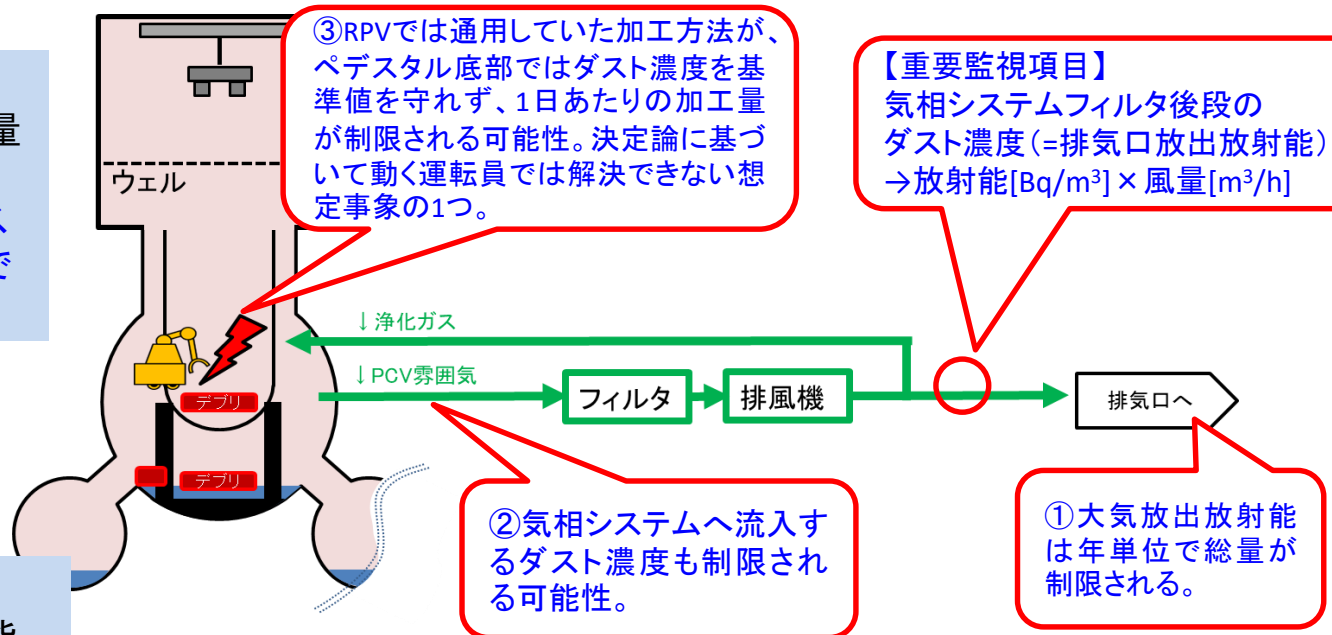


## 【気相システムの立場】

- 気相システムは、大気放出可能放射能から逆算した、ダスト濃度の閾値を設定し、超えた場合は燃料デブリ取り出し作業の中止を要請する。

## 【燃料デブリ取り出しシステムの立場】

- 1日ノルマを300kgとした場合、100kg取り出した時点で作業中止になると不足の200kgは別日に取り戻す必要がある。
- 加工効率(単位時間あたりの加工量(kg))には上限があるため、作業中止が頻発すると挽回が追いつかず、中長期的にスループットが低下する。(右上図③)



## 【リスクの時間変化に対する問題の発生】

- 1F全体のリスクレベルが「広く受容される領域」まで下がる前に、「長い将来を見て、許容できないリスクの領域」に突入する可能性が高まる。
- デブリ取り出しシステムが日々計画通りのスループットを維持することは安全面でも重要。

※「 」に示す単語はNDF,技術戦略プラン2022より抜粋(添付資料1.3-1)

## 【思考実験の具体的なテーマ】

気相システムへ流入するダスト濃度の閾値を守りつつ、日々の燃料デブリの取り出し量を安定化させるための作業計画改善を目指し、現場運転員への恩恵を含めた3つの支援システムの動作を思考する。

3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.2 現場データの活用方策の検討 (b)3つの支援システムの具体的な活用例

■ 思考実験で扱う物理量(現場データ)の選定

- 思考実験を簡素化するため、検討対象とする物理量を絞り込んだ。

・黄色ハッチング箇所が思考実験で主に注目する物理量  
 ・実現象としてはフィルタ性能も深く関わってくるが、単純化のために考慮外とする

思考実験の候補となる物理量			測定・記録タイミング	現場データとしての測定手段	測定場所	思考実験テーマに対する役割
分類	物理量(※1)	単位				
通常時の管理パラメータ(仮定)	★◆気相システム排気口前放射能	Bq/cm <sup>3</sup>	連続測定(1日2回以上)	ダスト放射線モニタ	プロセス	原子力安全(閉じ込め機能)が維持されていることを判断する指標
	★◆気相システム排気口前流量	L/min	連続測定(1日2回以上)	流量計	同上	
気相システムのフィルタ性能	★◆気相システムへ流入するダスト濃度(1日毎の積算値含む)	Bq/cm <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	連続測定(1日2回以上)	ダスト放射線モニタorプローブ系	プロセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取り出し作業に制限をかけるかどうか判断する指標</li> <li>フィルタのパフォーマンス(目詰まり度合い)を把握するサブ的指標</li> </ul>
	◆フィルタ差圧	Pa	連続測定(1日2回以上)	差圧計	プロセス	フィルタのパフォーマンス(目詰まり度合い)を把握するメイン指標
	◆プロセス流量	L/min	連続測定(1日2回以上)	流量計	プロセス	フィルタのパフォーマンス(目詰まり度合い)を把握するサブ的指標
燃料デブリの取り出し(加工)実績	◆加工したデブリ量(ユニット缶or収納缶単位)	kg/day	連続測定(1日1回)	重量計	構内移送容器へ収納する前	計画する日単位・週単位のスループットの達成状況を把握する指標
	◆加工場所	---	加工場所に応じて1日複数回記録	---	デブリ取り出し装置	デブリ取り出し計画を最適化するための情報
	●加工治具の使用履歴	---	治具の種類に応じて1日複数回記録	---	デブリ取り出し装置	同上
	◆飛散防止材(ミスト)の使用量	L/sec	使用に応じて1日複数回記録	流量計	デブリ取り出し装置	同上
取り出したデブリの性状	◆加工場所近傍のダスト濃度推定値(※2)(1日毎の積算値含む)	Bq/cm <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	連続測定(予測値)(1日2回以上)	プローブ系	(例)ペDESTAL外PCV底部近傍(※2)	気相システムへ流入するダスト濃度と燃料デブリ取り出し量の因果関係を定量的に把握する指標
			ラボデータ	---	---	
	●加工したデブリの形態と放射性核種	---	離散的測定(週に1回)	サンプリング	ユニット缶から抜き取り検査(@ホットラボ)もしくは、仕分けシステムからのデータ提供	デブリ取り出し計画の最適化

(※1)【記号凡例】★通常時の管理パラメータ(仮定)、◆連続監視PJで抽出した重要監視項目、●思考実験のために追加で設定したもの  
 (※2)加工場所近傍のダスト飛散量を直接測定することは困難であることを実施項目(2)にて確認。工法によってはペDESTAL外側のPCV底部付近のダスト濃度測定が代替監視として有効であることを確認。詳細は添付資料3.1.2-3(b) 参照



3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.2 現場データの活用方策の検討 (b)3つの支援システムの具体的な活用例

■注目する要求機能の選定

表.3.2.2(a)項で示した3つの支援システムへの要求機能の抜粋

- 思考実験を簡素化するため、3つの支援システムで注目する要求機能を絞り込んだ。

1Fでの目的	1Fでの基本的要求	実行者 (人)	管理対象	要求機能/定義		データを扱う支援システム
計画と現実の乖離を把握する	運転員(指揮者)が、現場のスループットを正確に把握できるデータを提示する	運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	工程管理 デブリ取り出し・ 搬出設備管理	作業進捗 監視機能	・日々の計画どおりに 作業が進行しているか 監視する ・デブリ取り出し、搬 出設備に異常が発生し ていないか監視する	運転員支援SYS 分析支援SYS
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	プラント状態管理	プラント状態 監視機能	プラントの状態を監視 する	運転員支援SYS 分析支援SYS
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者)	公衆被ばく管理	放出放射能 監視機能	環境への放出放射能が 目安線量を下回ること を監視する	運転員支援SYS 分析支援SYS
計画からの乖離を小さくする対策の有効性を判断する	運転員(指揮者)が策定するスループット低下対策(先回り対応含む)の根拠となるデータを提示する	分析支援実施者	デブリ取り出し・ 搬出設備管理 プラント状態管理 作業員被ばく管理 公衆被ばく管理	計画乖離原因 分析機能	計画から乖離した原因 を分析する	分析支援SYS
		分析支援実施者		計画乖離対策 提案機能	計画からの乖離を小さ くする対策を提案する	分析支援SYS
		分析支援実施者		計画乖離対策 効果予測機能	計画乖離対策を実施し た場合の効果を予測 (シミュレート)する	分析支援SYS
		運転員(オペレータ) 運転員(指揮者) 分析支援実施者 工事計画管理者	デブリ取り出し・ 搬出設備管理 プラント状態管理 作業員被ばく管理 公衆被ばく管理	計画乖離対策 有効性 判定機能	計画乖離対策を実施し た後に、効果があるか 実際に運用して判定す る	運転員支援SYS 分析支援SYS 工事計画改善支援SYS

①現場で計画通りに進められない問題を確認

②現場データを分析し、原因を究明

③見直された工事計画を運転員に提示

運転員支援システムからの問題発信→分析支援システムの出力→工事計画改善支援システムの出力→運転員支援システムへの再入力に至るまでの現場データの繋がりを考える(次頁)。

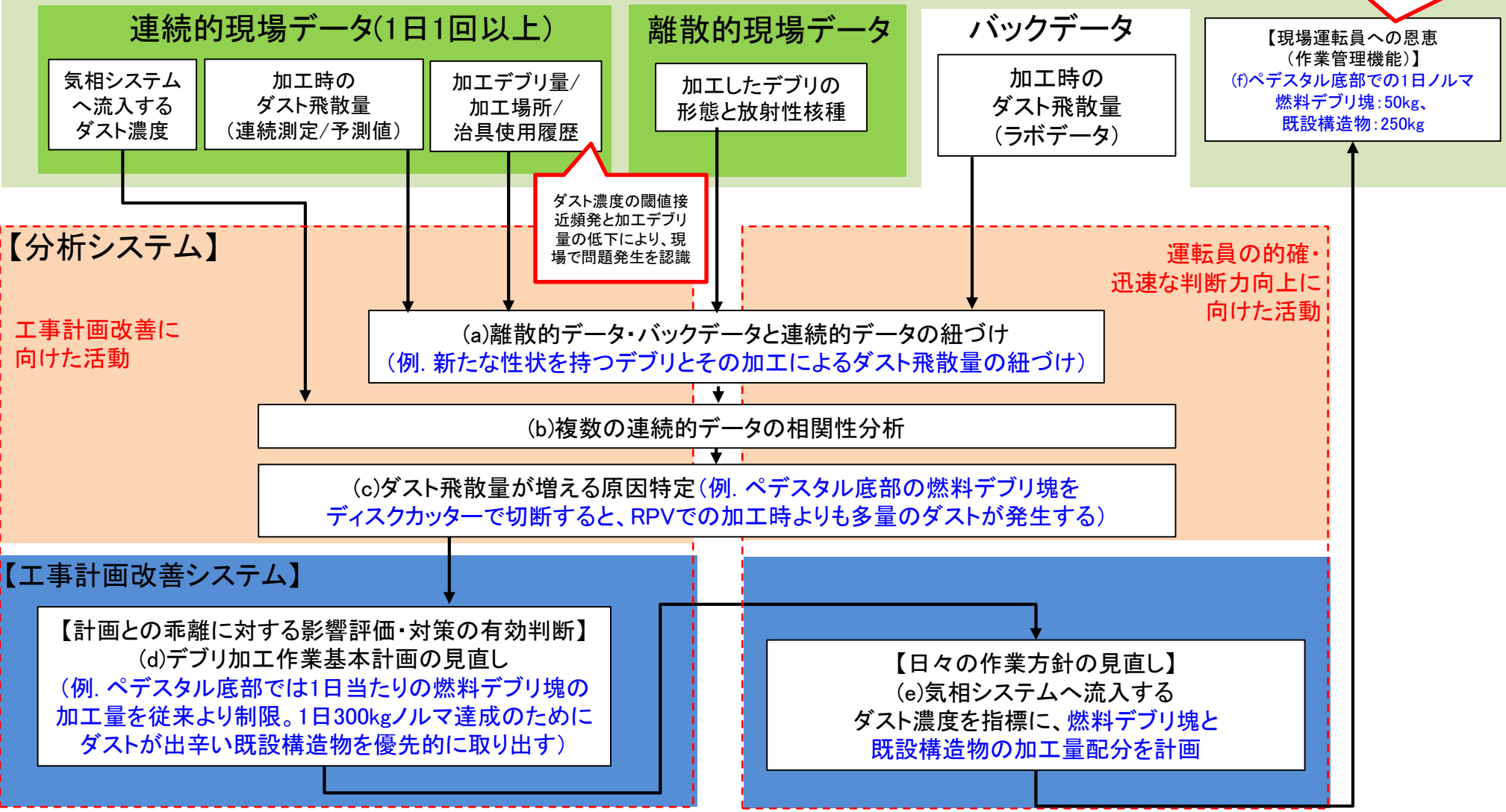
3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.2 現場データの活用方策の検討 (b)3つの支援システムの具体的な活用例

■3つの支援システムの繋がり ・87頁～88頁に思考実験の前提条件の整理結果を以下に示す。

運転員が的確・迅速に判断するためには、成功確度の高い決定論的指標・計画の提示が必要

【運転員支援システム(with PCV内連続監視システム)】



本思考実験フローをタイムライン化し、具体的な手順を検討する(次々頁)。

### 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (a)連続的・離散的現場データの分析手順

■日々のタイムライン上の活動(1/2)

表1. 年間タイムライン

	1M	2M	3M	4M	6M	7M	8M
運転員支援システム	RPV内作業(終盤)		ペDESTAL底部作業(作業停止頻発)			ペDESTAL底部作業(安定化)	
PCV内連続監視システム (ダスト濃度)	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量
分析支援システム	---	---	分析に向けた 監視強化要請	相関性分析/注 目対象絞り込み	---	---	---
計画改善支援システム	---	---	---	---	基本計画見直し 作業方針見直し	---	---

(a)RPV内での作業経験は豊富に蓄積・データ化されており、作業は安定化

- ・ 監視システムおよび3つの支援システムの年間/週間/日々のタイムラインを以下に示す。
- ・ 本頁では現場の作業が安定しているときのデータの流れと処理結果を示す。

表2. 週間タイムライン

1week	2week	3week	4week

(c)サンプル分析結果と連続的データの紐づけは行いが、メッシュは荒い

【1week目の取り出しデブリ代表性状】  
主成分: Feリッチ  
外観幾何形状: 塊状(溶解金属)

表3. 日々のタイムライン(稼働日)

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
デブリ取り出し量	310kg	290kg	250kg	350kg	310kg
①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	測定	測定	測定	測定	測定
加工したデブリ量とそのときの加工治具	レーザ ガウジング	レーザ ガウジング	ディスク カッター	ディスク カッター	ディスク カッター
加工したデブリの形態と放射性核種	(b)サンプル分析はリソースを消費するため、安定作業時は頻度を落とす		サンプル 回収	---	---

1week後  
結果出力

即日  
結果出力

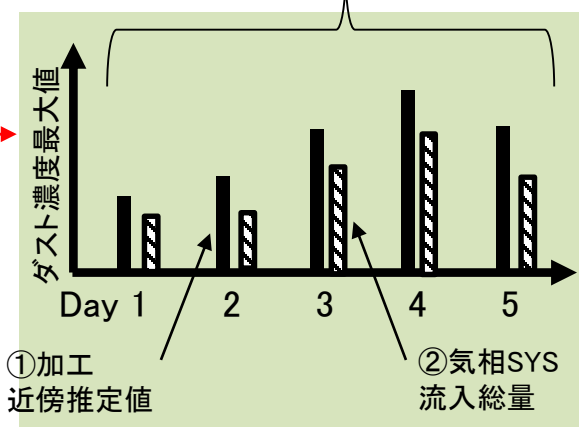


表1は、前々頁のシステムの繋がりをタイムライン化したものを表現。

表3では、毎日測定するダスト関連の現場データと、週に1度抜き取り測定する燃料デブリ詳細性状のそれぞれの出力イメージを表現。

3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (a)連続的・離散的現場データの分析手順

■日々のタイムライン上の活動(2/2)

(a)RPV内作業と同じ加工方法であるにも関わらず、ダスト濃度の閾値に接近する事象が多発

本頁では未知の領域にて、従来実績のある作業が通用しない問題を確認したさいの監視モードの切り替えと、それに伴うデータの流れと処理結果を示す。

表1. 年間タイムライン

	1M	2M	3M	4M	6M	7M	8M
運転員支援システム	RPV内作業(終盤)		ペDESTAL底部作業(作業停止頻発・取り出し量低下)			ペDESTAL底部作業(安定化)	
PCV内連続監視システム(ダスト濃度)	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量
分析支援システム	---	---	分析に向けた監視強化要請	相関性分析/注目対象絞り込み	---	---	---
計画改善支援システム	---	---	---	---	基本計画見直し 作業方針見直し	---	---

(c)未経験のデブリの可能性。ダスト発生量との因果関係があるか分析を開始する(次々頁)

表2. 週間タイムライン

1week	2week	3week	4week
監視強化	監視強化	監視強化	監視強化

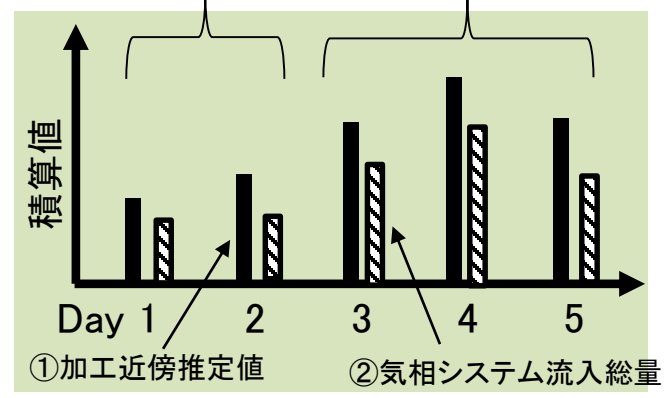
(b)分析支援システムの要請により、サンプル回収数を増やし、現場データ収集リソースを一時的に強化

表3. 日々のタイムライン(稼働日)

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
デブリ取り出し量	280kg	320kg	120kg	80kg	100kg
①加工近傍推定値 ②気相SYS流入量	測定	測定	測定	測定	測定
使用した加工治具	レーザ ガウジング	レーザ ガウジング	ディスク カッター	ディスク カッター	ディスク カッター
加工したデブリの形態と放射性核種	---	サンプル 回収	---	サンプル 回収	---

【Day1-2, 取り出しデブリ代表性状】  
主成分: Feリッチ  
外観幾何形状: 塊状(溶解金属)

【Day3-5, 取り出しデブリ代表性状】  
主成分: Uリッチ  
外観幾何形状: 塊状(ポーラス状)



運転員支援システムの出力が不調(作業停止頻発・取り出し量低下)をトリガーに、一時的に監視リソース増強。分析に備える。

### 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討

#### (b)現場データと設備能力限界の比較分析手順

### 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

#### 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (b)現場データと設備能力限界の比較分析手順

##### ■分析支援システムの働き(1/2)

表1. 年間タイムライン

- 本頁では、監視の強化によって得た現場データを用いた処理結果を示す。
- 現場データだけでなく、ラボデータなどのバックデータも組み合わせる必要がある。

	1M	2M	3M	4M	6M	7M	8M
運転員支援システム	RPV内作業(終盤)		ペDESTAL底部作業(作業停止頻発)			ペDESTAL底部作業(安定化)	
PCV内連続監視システム	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)
分析支援システム	---	---	分析に向けた監視強化要請	相関性分析/注目対象絞り込み	---	----	----
計画改善支援システム	---	---	---	---	基本計画見直し 作業方針見直し		

表2. 週間タイムライン

1week	2week	3week	4week
前月4week目で得た結果のデータ補正	1week目で得た結果のデータ補正	2week目で得た結果のデータ補正	3week目で得た結果のデータ補正

(a)3Mで収集したデータを使って相関分析を開始

(b)バックデータも合わせて各物理量を並び立てる

(c)注目する物理量が多すぎて判断が困難。統計的手法での整理が必要だが、1Fの場合は課題あり(次頁)

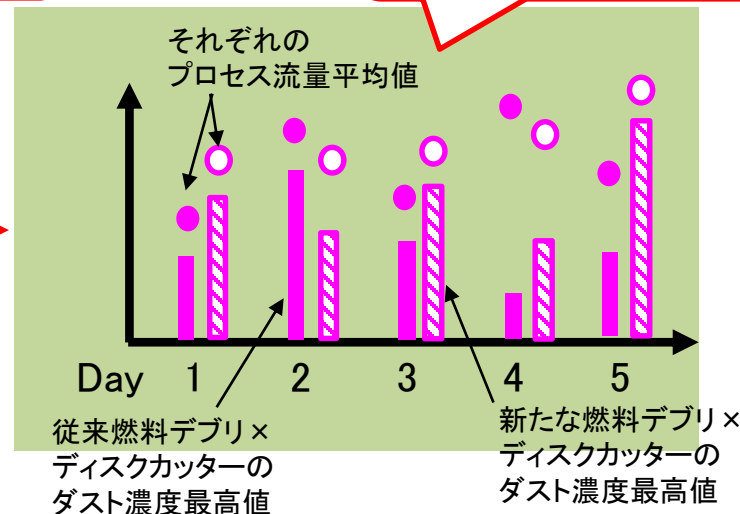
【従来燃料デブリ】  
主成分: Feリッチ  
外観幾何形状: 塊状(溶解金属)

【新たに確認した燃料デブリ】  
主成分: Uリッチ  
外観幾何形状: 塊状(ポーラス状)

##### 【バックデータ①】 ラボデータとしての加工時のダスト飛散量

燃料デブリ種別	部位	圧力降下(MPa)	主成分	所在特定領域	加工モード	機名	加工加工方法			
							ワーク	パス	ダスト	
							単位	(%)	(%)	
燃料デブリ種別	11	クラフト・部2000 上部区 外230	【Uリッチ】 (Zr,U)O <sub>2</sub> -T, 【Feリッチ】 UO <sub>2</sub> , Fe,Zr-2, α-Zr(O), SUS/Fe,Fe <sub>2</sub> Zr, α-Zr(O), Fe <sub>2</sub> Zr, (O), Fe <sub>2</sub> Zr	PV内部 ペDESTAL (床部/内部)	切削	ディスク カッター	ブレード径: 200 mm	ワーク	ダスト	
							刃厚: 1 mm	ガス	飛散量	
							空気浮遊 (集塵)	4	49.7	
							回転数: 1000 rpm	次降 (集塵)	37	459.6
							周辺部 降塵	(監視)	59	732.9

【バックデータ②】  
各燃料デブリの性状と、連続監視システムで収集した連続的データを紐づけ



問題点: データを並び立てるだけでは、問題点発見を含む各種判断に時間がかかる(右下図)。

3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (b)現場データと設備能力限界の比較分析手順

■分析支援システムの働き(2/2)

- 行列散布図を用いた複数の連続データの相関性の定性的な解析例を右図に示す。
- 本解析例は「中長期の工事計画とPCV内環境のマッチング性評価データ」に相当する。
- 連続的データが常に蓄積されるため、ビックデータ化し、右図のような小規模な分析では収まらない可能性は高い。
- 定性的・定量的な分析手法そのものの革新も一つのニーズではあるが、本分析支援システムの場合、人間的パッチワークに頼らない、半自動化への期待の方が大きい。

加工時のダスト飛散量と気相システム流入ダスト濃度は相関性があることを再確認

レーザガウジングよりディスクカッターを使用したときの方が作業停止は頻発している

念のため気相システムの運転状況を比較してみたが、相関性はなさそう



(\*)機械学習アルゴリズムが生み出す結果の根拠を人間が理解し、その結果を信頼できるようにするための一連のプロセスと手法

【分析支援システムへの期待】  
現場データの相関性を評価する統計的手法は数多くあるが、ビックデータの場合は説明可能なAI(\*)などの導入による半自動化作業が望ましい。



### 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討

#### (c)分析結果に基づく工事計画の改善検討手順

3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (c)分析結果に基づく工事計画の改善検討手順

本頁では、「中長期の工事計画とPCV内環境のマッチング性評価データ」に基づく、人間系意思決定とその結果が現場に反映されるまでの流れを示す。

■工事計画改善支援システムによる運転員支援システムへのフィードバック

	1M	2M	3M	4M	6M	7M	8M
運転員支援システム	RPV内作業(終盤)		ペDESTAL底部作業(作業停止頻発)			ペDESTAL底部作業(安定化)	
PCV内連続監視システム	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)	加工時のダスト飛散量監視(精度向上)
分析支援システム	---	---	分析に向けた監視強化要請	相関性分析/注目対象絞り込み	---	---	---
計画改善支援システム	---	---	---	---	基本計画見直し 作業方針見直し	---	---

【デブリ加工作業基本計画と現場の乖離に対する影響評価】

	従来(RPV内)	見直し案	意思決定根拠 ドキュメント
ディスクカッター運用	高い加工効率を持つため積極的な活用を推奨	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポラス状の燃料デブリに対する使用時間を制限する</li> <li>他の性状のデブリについては変更なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表計算結果一覧</li> <li>現場映像</li> </ul>
レーザガウジング運用	ダスト発生量は押さえられるが、加工効率は低いため、圧縮強度が高いものへの活用を推奨	変更なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>打ち合わせ議事録</li> </ul>
【安全】 気相システムへ流入するダスト濃度の基準	●●● g/min	変更なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>報告書</li> </ul>
【スループット】 年間目標取り出し量を達成するための1日平均ノルマ	300 kg (燃料デブリ性状を問わず)	300kg (ただし、ポラス状デブリの効率的な加工方法が決まるまでは既設構造物を優先する)	<ul style="list-style-type: none"> <li>メール</li> </ul>

【日々の作業方針の見直し】

**月間作業計画書**

大気放出放射能: ●●Bq

【デブリ加工時の予測放出放射能】  
～ディスクカッター～  
ポラス状デブリ: △△Bq/kg  
既設構造物加工: ■■Bq/kg

【燃料デブリ取り出し量】  
ポラス状デブリ: 50 kg  
既設構造物: 250 kg

どのようなドキュメントであっても  
アクセス性を高めることを目的とし半自動化されたラベル付けのルール・仕組みが必要

【工事計画改善支援システムへの期待】人間系による意思決定結果を示す記録や根拠の拠り所は様々なドキュメントで構成される。ドキュメントの統一は拡張性を考えると現実的に困難。ガラパゴス化するドキュメントに対して柔軟に記録・再アクセス可能な仕組みの導入が望ましい。

### 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (d)年間のタイムラインと課題

## 3. 令和4年度の成果 3.2 実施項目(3)「統合管理支援技術の運用方針検討」

## 3.2.3 現場データの全体処理行程の検討 (d)年間のタイムラインと課題

## ■ボトルネックの分析

	1M	2M	3M	4M	6M	7M	8M
運転員支援システム	RPV内作業(終盤)		ペDESTAL底部作業(作業停止頻発)			ペDESTAL底部作業(安定化)	
PCV内連続監視システム	加工時の ダスト飛散量監視	加工時の ダスト飛散量監視	加工時の ダスト飛散量監視	加工時の ダスト飛散量監視	加工時の ダスト飛散量監視 (精度向上)	加工時の ダスト飛散量監視 (精度向上)	加工時の ダスト飛散量監視 (精度向上)
分析支援システム	---	---	分析に向けた 監視強化要請	相関性分析/注 目対象絞り込み	---	---	---
計画改善支援システム	---	---	---	---	基本計画見直し 作業方針見直し		



## 【離散的データの適用条件】

- ・(課題1)運転員支援の時間遅れを低減するために、離散的データは「連続監視は不要だが、連続監視データの補正・精度向上や異常の発生原因・兆候を捉える目的で必要」なものに限定する必要がある。時間遅れの可能性があるにも関わらず、連続的監視ができないものについては監視システム対応能力の限界となるため、作業設備や安全設備などのハード側で、例えば監視に頼らない対応などが求められる。

## 【運転員支援システムと分析支援システムの課題と解決策(代表例)】

- ・(課題2)監視強化要請→相関性分析/注目対象絞り込み→工事計画改善支援システムへの入力に至るまでの期間が2ヶ月と長い。監視強化要請をいかに速く実施するかがタイムライン上では重要となる。(解決策1)監視システム・3つの支援システムの設計段階からPCV内環境変化に対する工場・研究所データを整備・導入し、早期検知できる仕様を事前に作り込むことが必要。
- ・(課題3, 95頁に示した内容の再掲)分析支援システムがいかに速く分析を完了するかが、現場への早期フィードバックの肝となる。(解決策2)ビックデータを扱うことを前提に自動収集・半自動化をする技術の積極導入が必要。

## 【工事計画改善支援システムの課題と解決策(代表例)】

- ・(課題4:97頁に示した内容の再掲)注目する事象や関与するステークホルダによって、意思決定プロセスで記録すべきフォーマットは多様になる。これら全ては事後検証可能なように記録しなくてはならない。(解決策3)アクセス性を高めるためのデータラベル付けの仕組みが必要。運用性を高めるためにデータ入力はワンストップかつ半自動化が必要。

## 【全体課題】

- ・3つの支援システムは別々のアルゴリズム(様々な企業のソフトウェア・仕様)で動作し、デブリ取り出しの進捗に応じた導入や廃止も逐次発生する可能性が高い。そういった前提の基で、遅滞なく・負荷なく、相互にデータ交換(≒現場データや各種ドキュメントの体系立てたサイバー上での紐づけ)をするための拡張性を持った、統合システム/プラットフォームを思考する必要がある。

半自動化の要請は分析支援システムから、拡張性の高いドキュメント記録アルゴリズム要請は工事計画改善支援システムにて確認。

## 3.2.4 ここまでのまとめ

3.2.4 ここまでのまとめ

	現場データの活用方策の検討		現場データの全体処理工程の検討	
まとめ方	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続監視システムが得た現場データに対して、3つの支援システムがどのような働きをすると、運転員が的確・迅速な判断ができるようになるかを示す。</li> <li>上記は要件定義として絶対条件となる基本的要求と要求機能で示す。</li> </ul>	3.2.2項	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続監視システムで得られた物理量(例.ダスト濃度)が「運転員支援システム」へ入力された後、残りのシステムへどのようにデータが引き継がれ、タイムライン上で処理されていくべきかの全体工程を検討し、人間系のデータ処理では対応できない課題(=支援システムへの要請)を示す。</li> </ul>	3.2.3項
ここまでのまとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>3つの支援システムを具体的に定義するために、それぞれに<b>基本的要求と要求機能を設定した。</b></li> <li>波及性・具体性・実行難易度の観点で最適な思考実験対象として、気相システムへ流入するダスト濃度を抑制しつつ、日々のスループットを安定化させるための分析・計画改善手順の全体工程を検討し、以下を実施した。                         <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 得られた現場データ間の因果関係を把握するためには、ビッグデータを扱うことを前提に<b>統計的解析手法の半自動化の必要性</b>を示した。</li> <li>➤ 工事計画見直しの意思決定する際に用いられる<b>様々なドキュメントを拡張性高く記録し、容易に再アクセスできる仕組みの必要性</b>を示した。</li> <li>➤ 工事計画の見直しによって、運転員の日々の的確・迅速な意思決定にどのように恩恵が与えられるか、その概念を示した。</li> <li>➤ <b>各支援システムが実時間上で連携していくに当たっての種々の課題を抽出した。</b></li> </ul> </li> </ul>			

3つの支援システムの要件定義(要求機能を設定)を行い、データ処理工程上の課題を抽出。

## 4. まとめ

## 4. まとめ

### ■令和3年度の成果(PCV内監視項目の調査)

#### ①重要監視項目の調査

- 重要監視項目を調査するために、工法共通条件から燃料デブリ取り出しモデル(系統概念図を意識)を作成。
- OJT的手法・FMEA的手法を活用して本事業で定義するリスク(計画された燃料デブリ取り出し状態から乖離する影響)を評価。
- リスク要因を把握するための物理量を重要監視項目として設定、安全・運転員・スループットの観点で個別に点数を評価。

#### ②監視要求仕様の整理

- 重要監視項目に対して、「検出場所、検出個所数、測定物理量、測定計器への耐腐食環境性、測定レンジ(概略)、測定環境条件(空間線量率、温度、圧力、湿度)、検出精度要求」を要求仕様として個別に設定・整理。



## 4. まとめ

### ■令和4年度の成果(監視方法の検討)

(\*)ペネトレーション活用計画については、燃料デブリ加工に伴って飛散したダストと、気相システムへの流入量を定量的に把握するための監視方策として検討した。詳細は添付資料3.1.2-3(b)参照

#### ①監視方策の多様化検討

- 令和3年度の重要監視項目に対して、技術的課題から直接的・連続的に監視が困難なものはトレードオフを見極めた上で、代替監視項目を設定した。

#### ②計測機器の設置方法検討(\*)

- 代替監視項目を設定しても技術的課題が高いものに注目し、取り組みの優先順位を付けた上で検討を実施した。
- 検討にあたっては、被ばく・アクセス性の悪さ・原子炉建屋内の構造制約・保守性など、1F特有の環境や条件を考慮した。

#### ③技術課題の整理

- 一般産業や開発中の計器の応用・転用を基本とし、その実現のために追加で実施すべき事柄を課題として整理した。
- 計測データを収集するシステムへの要求事項を整理した。例えば、監視システムを現地へインサービスする前の基礎データ取得が必要な他、膨大かつ多様なデータを管理するためには人間系では限界があり、統合管理が必要であることを言及した。

# 4. まとめ

## ■令和4年度の成果(統合管理支援技術の運用方針検討)

### ①現場データの活用方策の検討

- 日々、運転員が的確迅速に現場対応できる現場データの活用方策として、運転員支援システム、分析支援システム、工事計画改善支援システムを提唱した。
- 上記3つの支援システムの要件定義の一部として、基本的要求と要求機能をそれぞれ設定した。

### ②現場データの全体処理工程の検討

- デブリ加工に伴うダスト飛散を事例に、監視システムで得た現場データ(ダスト濃度)が3つの支援システムを通じてどのように処理・表示・計画改善され、運転員が日々のデブリ取り出し量を安定化させるための的確・迅速な判断へ貢献するかを検討した。
- 運転員支援の時間遅れを低減するために、離散的データは「連続監視は不要だが、連続監視データの補正・精度向上や異常の発生原因・兆候を捉える目的で必要」なものに限定する必要があることを示した。
- 分析支援システムが迅速に稼働するには、監視システムと運転員支援システムが連携し、日々の計画がうまく実行できない原因を究明するための監視強化要請を速く実施する仕組みが、監視システム・運転員支援システムに必要であることを示した。
- 種々の現場データの相関性を評価する統計的手法は既に多く存在するが、ビッグデータを扱うことを前提に半自動化する仕組みが、分析支援システムに必要であることを示した。
- 工事計画の改善について意思決定する過程では、議事録・報告書・画像など様々なドキュメントが発生する。それらを拡張性高く記録し、容易に再アクセスする仕組みが工事計画改善支援システムに必要であることを示した。
- 3つの支援システムは別々のアルゴリズム(様々な企業のソフトウェア・仕様)で動作し、デブリ取り出しの進捗に応じた導入や廃止も逐次発生する可能性が高い。そういった前提の基で、遅滞なく・負荷なく、相互にデータ交換するための拡張性を持った、統合システムを思考する必要があることを示した。

## 4. まとめ

### ■成果の反映先への寄与

- 成果物である本最終報告書は10頁に示すインプット先へ寄与する。

### ■目標に照らした達成度

- 以下TRL(9頁再掲)に基き、実施項目(1)から(3)における目標達成を確認。

実施内容	目指す効果	(補足)TRL定義
(1)PCV内の監視項目の調査	燃料デブリ取り出し中におけるPCVの閉じ込め機能維持、未臨界状態の監視等、安全要求を満足するためにPCV内で状態監視すべき項目を調査し、抽出・整理していること。	(技術開発課題の調査や整理は開発項目と異なるため、技術成熟度(TRL)は設定しない。)
(2)監視方法の検討	実施内容(1)の整理結果に基づき、PCV内監視のための各計測機器設置に向けた課題を抽出し、課題解決に向けた計画を立案していること。 (終了時目標TRL:レベル2)	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。
(3)統合管理支援技術の運用方針検討	実施内容(1)および(2)の結果に基づき1F統合管理に資する支援項目を抽出し、現地で活用方策を計画していること。 (終了時目標TRL:レベル1)	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。

### ■今後の予定

- 本最終報告書を予定インプット先へ共有する。

# ～添付資料集～

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

# 目次

## 令和3年度成果の再掲

添付資料1.1-1 「本事業で検討する監視項目のリスクレベルへの寄与」	・・・	No.3
添付資料1.2-1 「監視データ運用概念(3つの支援システムの役割)」	・・・	No.4
添付資料1.2-2 「研究の開発フローと将来的なデブリ取り出しモデルに見直し方針」	・・・	No.5
添付資料2.1-1 「一次バウンダリの範囲」	・・・	No.12
添付資料2.2-1 「本事業におけるデブリ取り出しモデル／重要監視項目／監視方法検討／3つの支援システムの検討の繋がり」	・・・	No.13
添付資料2.2-2 「燃料デブリ取り出し・搬出システムに属する機器が担う安全機能」	・・・	No.16
添付資料2.2.1-1 「作業設備モデルの構成」	・・・	No.18
添付資料2.2.2-1 「安全設備モデル／PCV内環境物理モデルの構成」	・・・	No.23
添付資料2.2.3-1 「デブリ取り出しモデル(PCV内の環境条件)」	・・・	No.33
添付資料2.2.3-2 「セル内に容器が進入した場合の環境変化条件」	・・・	No.34
添付資料2.2.3-3 「PCV内環境の過渡変化の例」	・・・	No.35
添付資料2.2.3-4 「デブリ取り出しモデル(PCV内の環境変化コマ図)」	・・・	No.37
添付資料2.2.4-1 「作業設備によるPCV内の環境変化設定方針」	・・・	No.47
添付資料2.2.4-2 「重要監視項目を抽出するリスク評価手順の詳細」	・・・	No.48

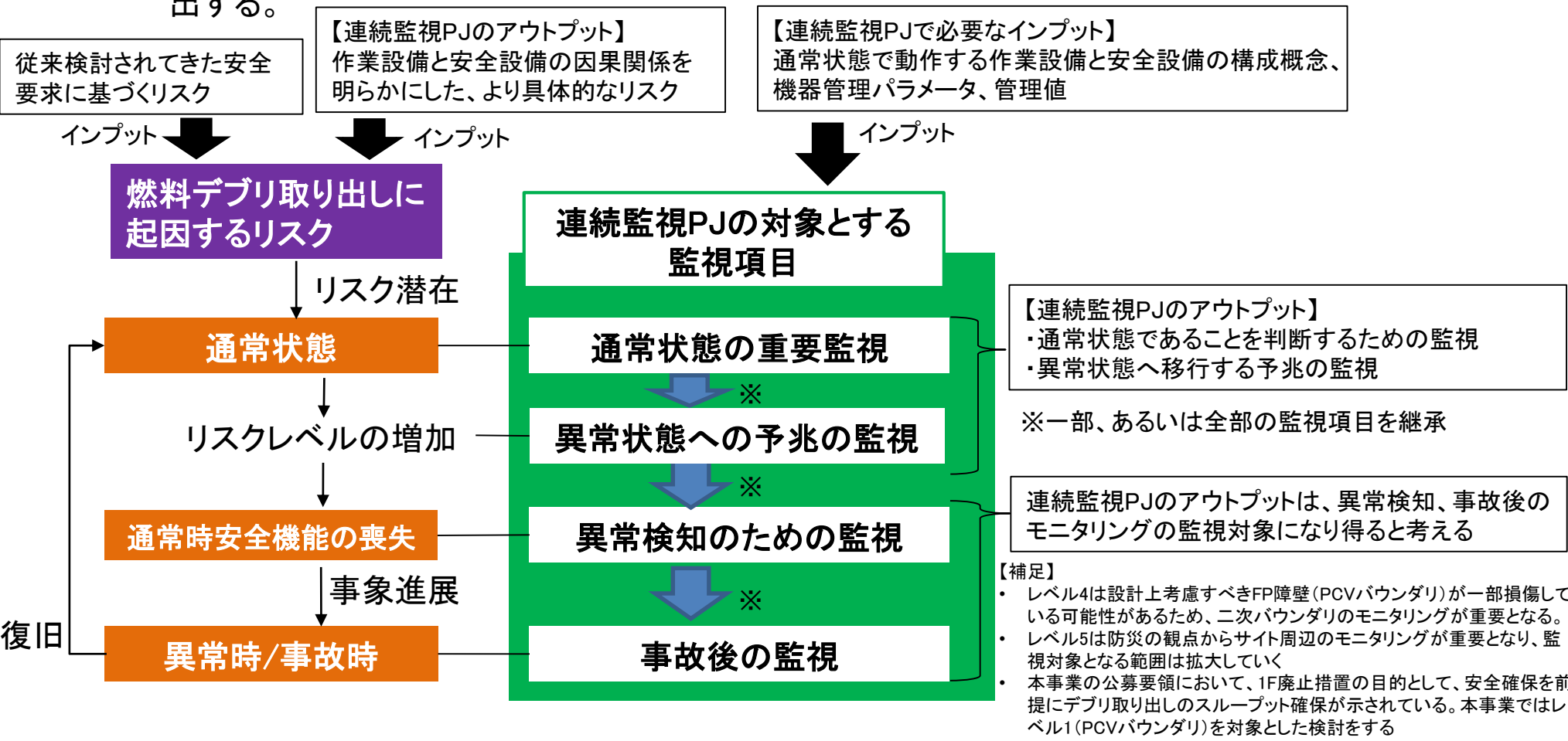
注記: 令和3年度報告資料から一部修正をしたものも含む。

# 目次

## 令和4年度成果

添付資料2.2.4-3 「重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)」	・・・	No.55
添付資料3.1.2-1(a) 「令和4年度版 安全システムのリスク評価表」	・・・	No.81
添付資料3.1.2-1(b) 「令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表」	・・・	No.130
添付資料3.1.2-3(a) 「デブリ加工範囲および加工済みデブリ寸法の検討成果」	・・・	No.165
添付資料3.1.2-3(b) 「ダスト濃度の検討成果」	・・・	No.181
添付資料3.1.2-3(c) 「加工エリアを代表する燃料デブリ性状(圧縮強度)の検討成果」	・・・	No.210
添付資料3.1.2-3(d) 「加工中の燃料デブリの圧縮強度の検討成果」	・・・	No.220
添付資料3.1.2-3(e) 「構造物が落下モードへ至る構造強度の検討成果」	・・・	No.221
添付資料3.1.2-4(a) 「【気相系】本事業で詳細に調査・検討した重要監視項目」	・・・	No.233
添付資料3.1.2-5(a) 「【液相系】本事業で詳細に調査・検討した重要監視項目」	・・・	No.236
添付資料3.1.3-1(a) 「サンプリングのための自動巡回機検討の補足」	・・・	No.238
添付資料3.1.3-1(b) 「自動巡回機の開発課題抽出試験結果」	・・・	No.241
添付資料3.2.1-1 「1Fにおける統合管理支援の必要性」	・・・	No.248

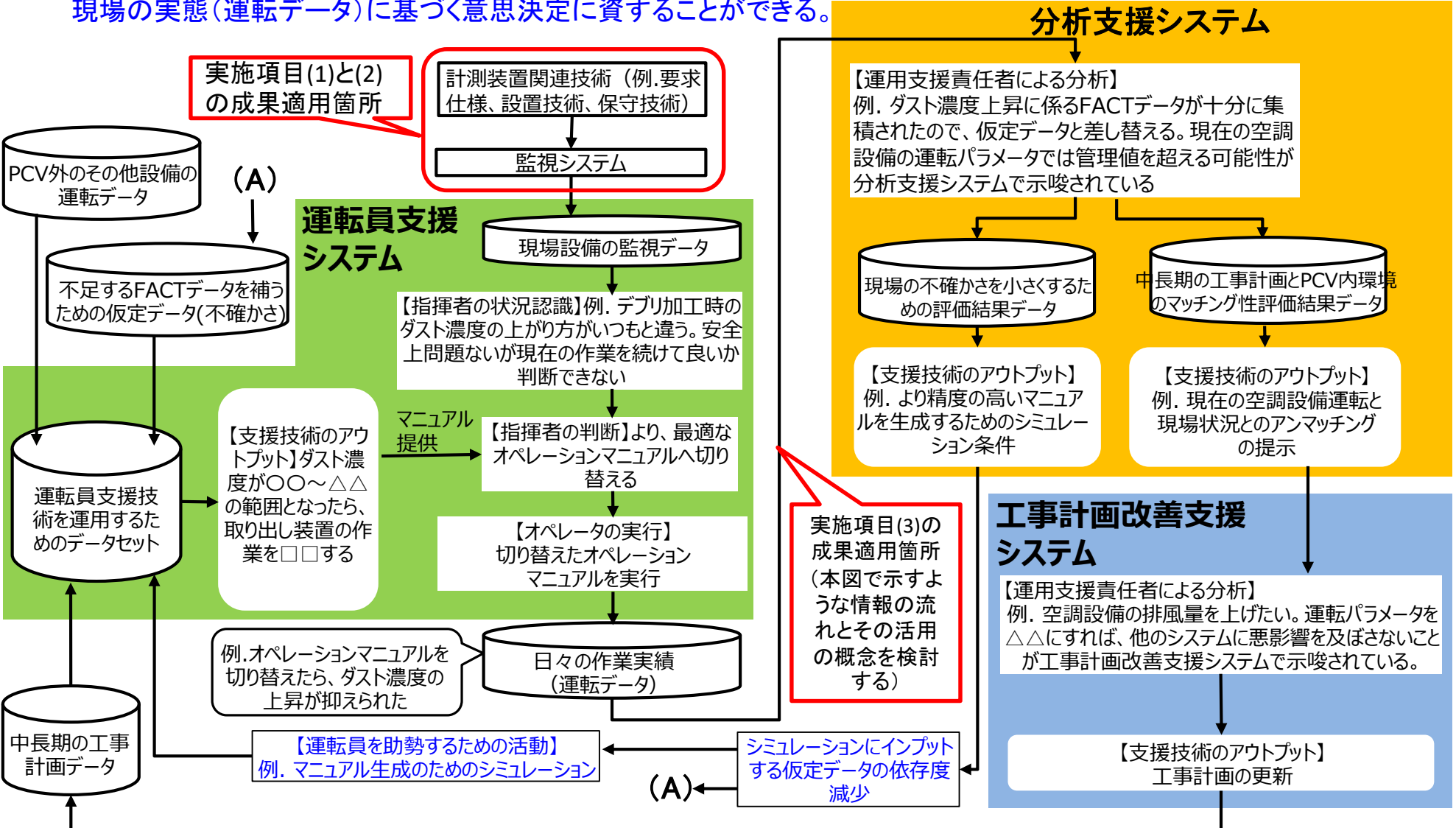
- 本事業では通常状態維持のために必要な監視項目を検討していくが、抽出する項目はリスクレベル全般にわたって寄与すると考えられる。具体的には以下のA)、B)が挙げられる。
  - A) 燃料デブリ取り出しに起因する安全上のリスクについて、より具体的にする。
  - B) 通常時の安全上のリスクが現実化し、異常状態(深層防護レベル2及び3)へ移行したことを確認するための監視だけでなく、異常状態へ移行する予兆を捉え、先回り処理するための監視項目を抽出する。



監視システムは安全対策の異常と予兆を監視し、スルーット確保を支援する

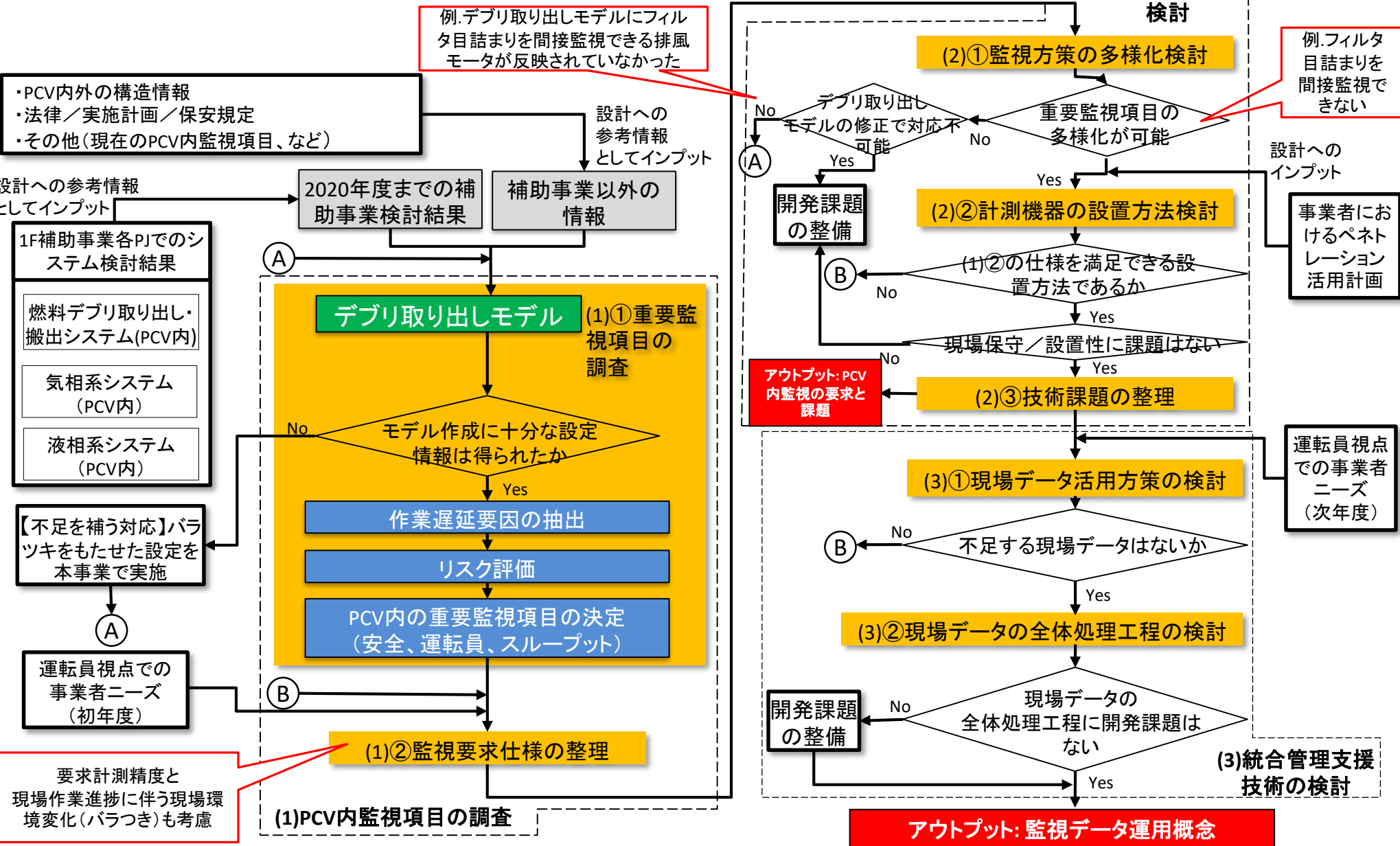
# 添付資料1.2-1: 監視データ運用概念(3つの支援システムの役割)

- 監視システムに基づく情報運用概念の一例を示す。監視システムから得た運転データ(FACTデータ)は運転員支援、分析支援、工事計画改善支援にそれぞれ活用し、**運転データを蓄積することによって不確かさを減じる分析を行い、各種支援技術の信頼性を向上していく。**
- 支援技術の向上は、スループット確保のために日々の作業手順あるいは中長期の工事計画の改善について、現場の実態(運転データ)に基づく意思決定に資することができる。



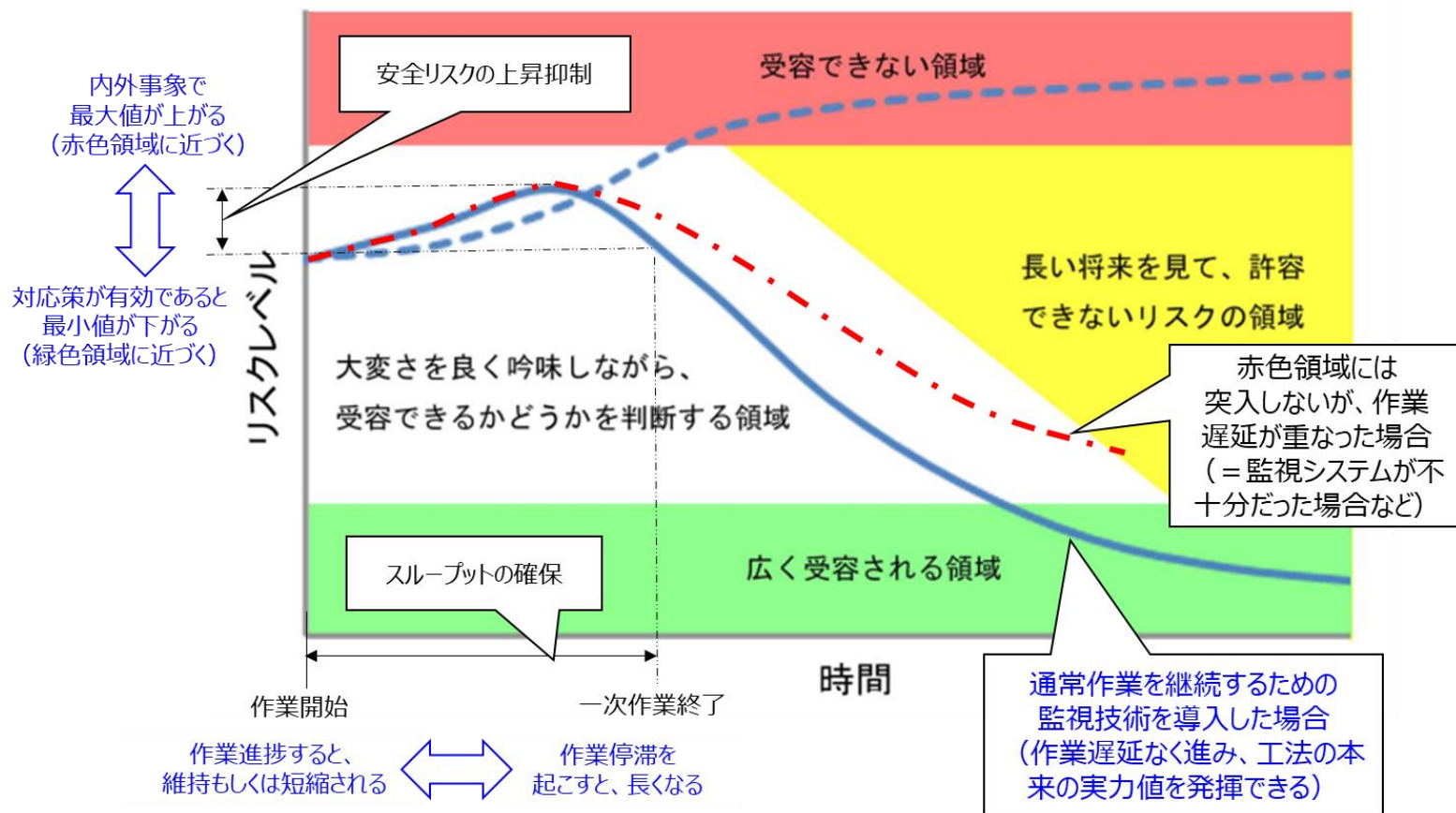


# 添付資料1.2-2: 研究の開発フローと将来的なデブリ取り出しモデルの見直し方針



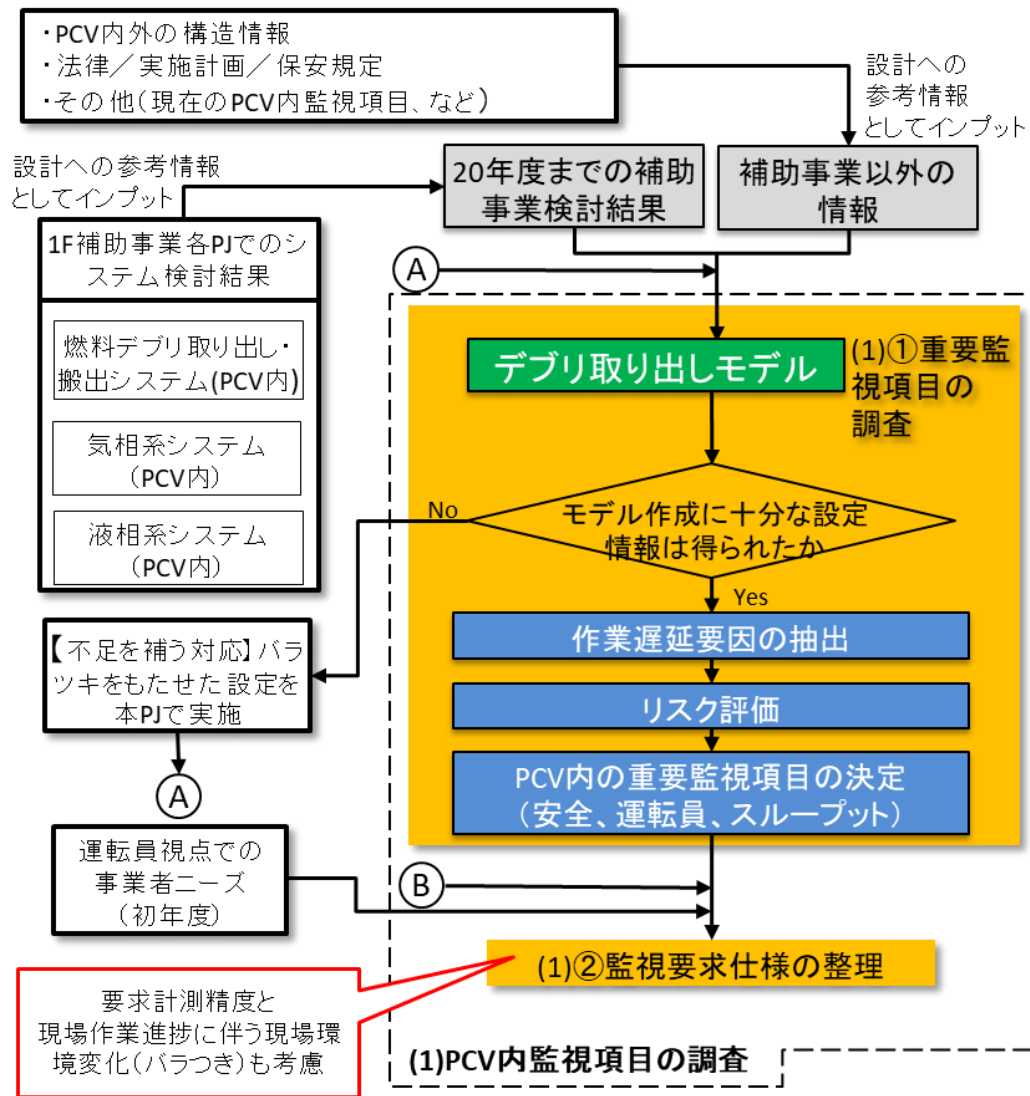
## ■デブリ取り出しモデルに基づくリスク評価における課題(1/2)

- リスク評価に基づく重要監視項目は、スループットを確保するため、安全機能へ与える悪影響を監視するために抽出したものである。
  - ✓ 本事業におけるリスク評価は、デブリ取り出しに際する作業手順や安全機能を構成する機器からなるデブリ取り出しモデルを参照して実施されている。
- リスク評価に基づく重要監視項目は、下図の横軸(スループット)が維持されていることを適切に監視するものであるが、縦軸(プラントのリスクレベル:プラント状態)を監視することも重要である。



## ■ デブリ取り出しモデルに基づくリスク評価における課題(2/2)

- 本事業におけるリスク評価は、デブリ取り出しモデルに基づき、PCVの環境条件やシステムの信頼性を低下させるという観点でスループットを遅延させる要因の抽出を、右図に示すワンスルーの手順によって実施した。
- デブリ取り出しの進捗によってバウンダリの変化および経年劣化による状態変化等によって新たなリスクが発現する可能性がある事から、それらを想定したプラントのリスクレベル(プラント状態)の監視が必要である。
  - ✓ 日々のプラント状態の監視を通じ、新たなリスクが発現した場合には、そのリスクに対応する安全対策を講じる必要がある。
  - ✓ 安全対策がデブリ取り出しモデルに存在しない場合には、デブリ取り出しモデルにフィードバックする必要があるが、右図は、本事業内の進め方であり、監視に基づくフィードバックのパスは設定されていない。

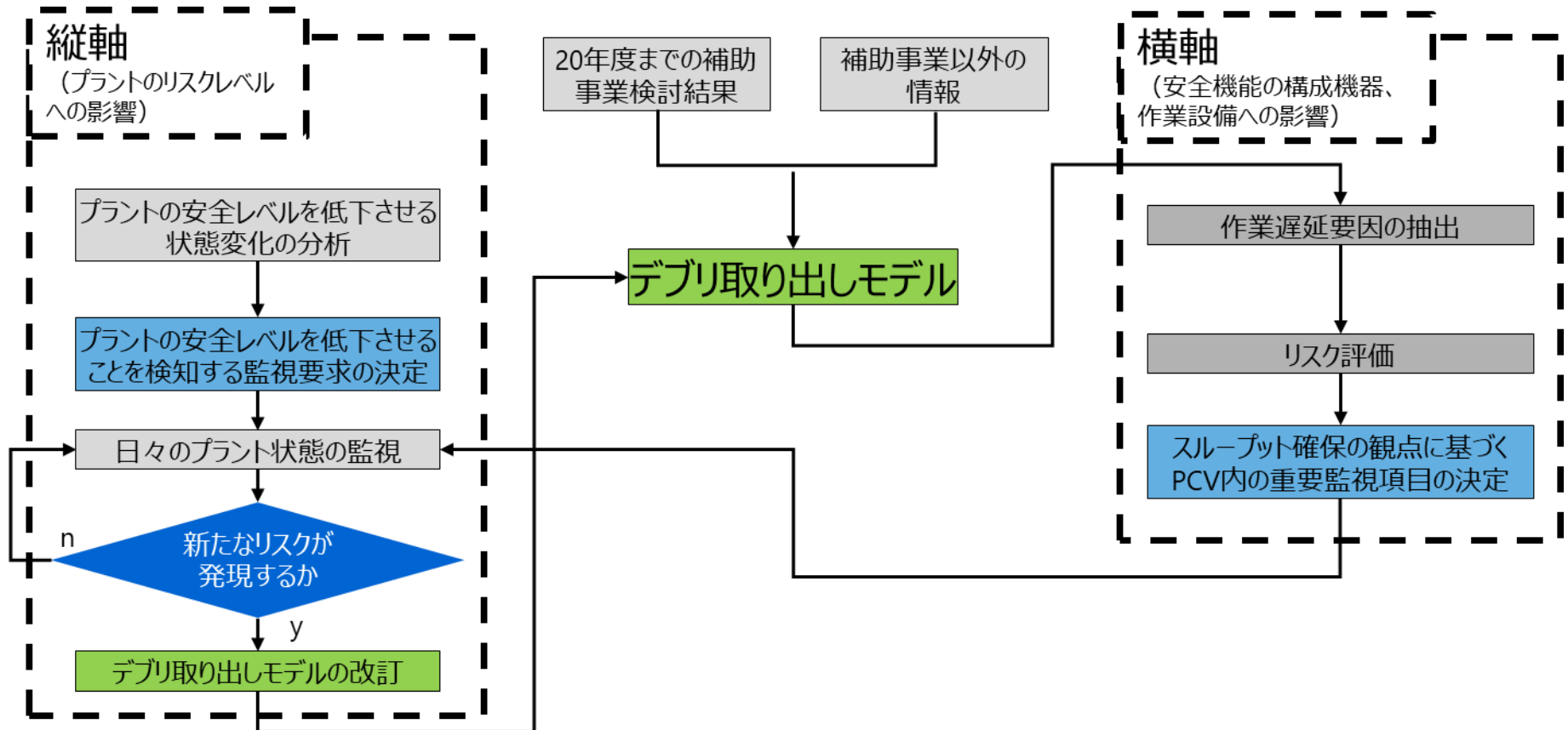


プラントのリスクレベルの監視と、その結果発現する可能性があるリスクに対応したデブリ取り出しモデルの改訂方針を検討する必要がある

■デブリ取り出しモデルの改訂方針

- デブリ取り出しにおけるリスクレベルの時間変化について、以下のそれぞれに対する影響に着目し、日々のプラント状態の監視の中で新たなリスクが発現した場合には、そのリスクに対する対応策をデブリ取り出しモデルに反映する。

- ✓ 縦軸(プラントのリスクレベル) : 監視項目は次頁以降参照)
- ✓ 横軸(安全機能および作業設備) : 監視項目は21年度成果の重要監視項目)



## ■ プラント状態の安全レベル低下リスクに対する監視要求の抽出(1/3)

- 原子力安全の観点からは、1Fデブリ取り出しにおけるプラント状態のリスクレベルを把握することが重要であり、事前に対策を講じることでスループットを確保することが重要である。
- 将来新たに発生するリスクを抽出する事を目的に、事象発生の可能性を上昇させるメカニズムに着目し、現状のプラント状態を把握するために必要な監視要求について整理する。
- 安全要求に対するプラント状態の変化の監視要求を抽出するにあたり、以下の観点で各安全機能に対して検討する。
  - ✓ 気体及び液体漏えい防止
    - 漏えいを防止するために、FP障壁となる設備・構造物等に着目し、FPの移行経路における漏えい量の状態監視を抽出する。
  - ✓ 冷却管理・臨界管理・火爆防止
    - 冷却・臨界管理 : 追加的に放射性物質を発生させる物理現象に着目して状態監視を抽出する。
    - 火爆防止 : 主たる原因である水素を発生させる物理現象に着目して状態監視を抽出する。

## ■プラント状態の安全レベル低下リスクに対する監視要求の抽出(2/3)

### 【気体及び液体漏えい防止】

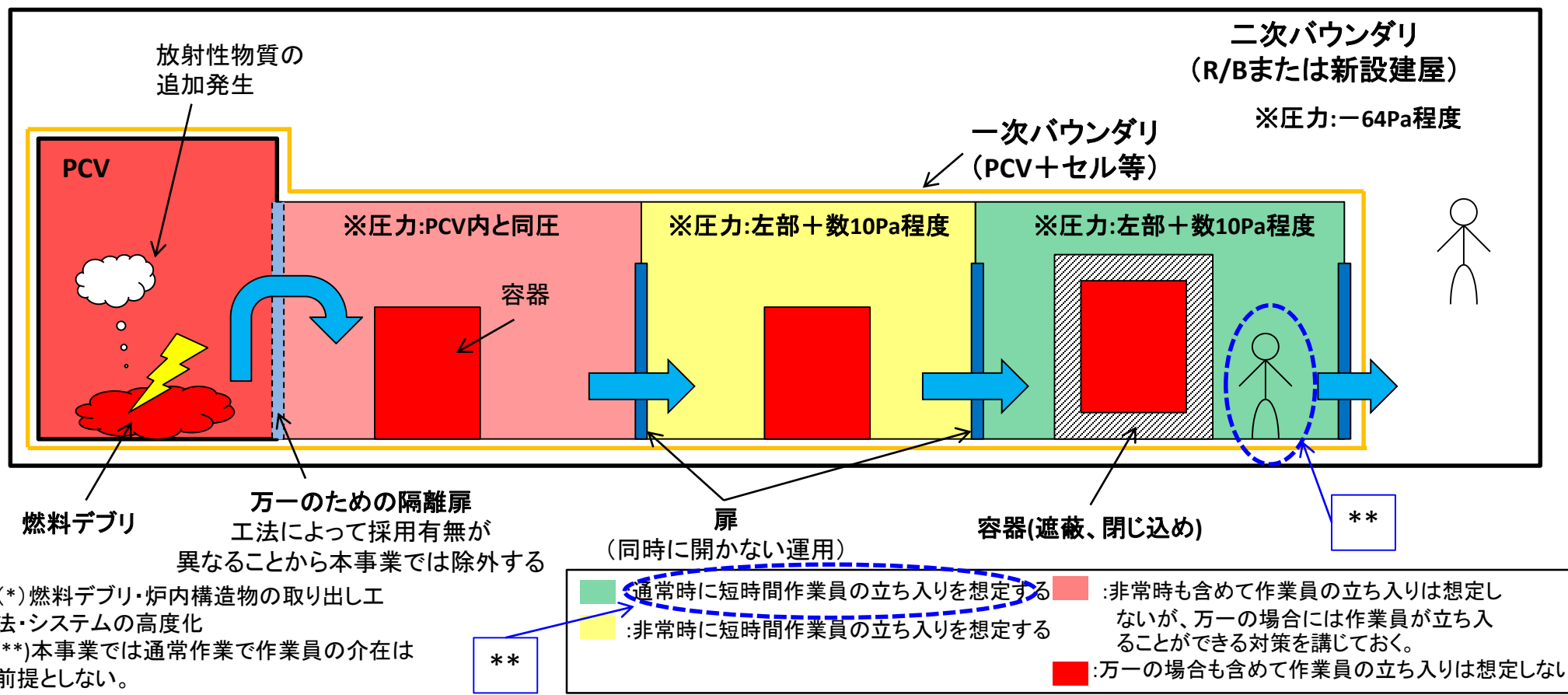
安全要求	安全機能	管理パラメータ	安全レベルを低下させる状態変化	監視要求	補足
気相閉じ込め	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度	主たるFP障壁となるHEPAフィルタの劣化により、PCV内ダスト濃度が上昇する	HEPAフィルタの性能	HEPAフィルタの性能については、安全機能維持のための監視にて対応
	静的バウンダリ	PCV内外差圧	バウンダリの気密性が劣化することにより漏えいが発生する	FPの移行経路における漏洩量	バウンダリについては、安全機能維持のための監視にて対応
	動的バウンダリ	PCV内外差圧	バウンダリの気密性が劣化することで負圧が喪失し、漏えいが発生する	FPの移行経路における漏洩量	バウンダリについては、安全機能維持のための監視にて対応
	放出抑制	排気端ダスト濃度	主たるFP障壁となるHEPAフィルタの性能劣化により、排気端ダスト濃度が上昇する	HEPAフィルタの性能	HEPAフィルタの性能については、安全機能維持のための監視にて対応
液相閉じ込め	静的バウンダリ	系統内流量	バウンダリの気密性が劣化することにより漏えいが発生する	FPの移行経路における漏洩量	バウンダリについては、安全機能維持のための監視にて対応
	動的バウンダリ	D/W水位	バウンダリの気密性が劣化することにより漏えいが発生する	FPの移行経路における漏洩量	バウンダリについては、安全機能維持のための監視にて対応

## ■プラント状態の安全レベル低下リスクに対する監視要求の抽出(3/3)

### 【冷却管理・臨界管理・火爆防止】

安全要求	安全機能	管理パラメータ	安全レベルを低下させる状態変化	監視要求	補足
冷却管理	デブリ冷却	PCV内温度	冷却材の流路がデブリ切削によって変更され、デブリが冷却されず、温度が上昇することでデブリが再揮発する	【全体傾向】 気相/液相温度 【局所傾向】 RPV底部温度/ペデスタル底部温度	全体傾向としては、PCV内の熱源となるデブリに対して、気相および液相温度の上昇傾向を把握する。 局所的には、デブリが多く存在していると考えられる所を監視し、温度の上昇傾向を把握する
臨界管理	未臨界維持	希ガス濃度	デブリ切削粉の蓄積による臨界発生	デブリ切削粉の堆積が想定される箇所でのデブリ堆積高さ	デブリ切削粉の堆積が想定される箇所の推定は困難であることから、D/Wでは堆積物高さが40ミリにならないように水位管理すること、およびD/Wから切削粉が流出しないような設計とする
火爆防止	水素濃度低減	PCV内水素濃度	デブリ切削に伴うデブリ形状の変更(α粒子の微細化)により水素発生量が上昇し、D/W内の水素濃度が上昇する	D/W内水素濃度	D/W内の水素濃度については現状の実施計画と同等の監視を要求

- リスク源(デブリ)に対して直接的に静的な閉じ込め機能を有する一次バウンダリの範囲については以下図に示す**過去PJの成果を活用**する。
- 基盤技術高度化PJ(\*)にて1F特有の環境とデブリ取り出し工法を考慮して設定した**バウンダリ定義を活用**する。本定義では線量エリアと汚染エリアを**作業員の立ち入り可否の観点**で個別に設定した後、その組み合わせ結果として4種類のエリア(レッド(2種)、イエロー、グリーン)を定義している。



(\*) 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化  
(\*\*) 本事業では通常作業で作業員の介在は前提としない。



## ■デブリ取り出しモデルへの要求

- 工法の種類に依らない汎用性を持たせた上で以下2点を実施できること
- PCV内における**作業遅延要因**(計画された燃料デブリ取り出し状態を脅かし、スループットを悪化させる要因)が抽出できること。
- 上記抽出に伴い、作業遅延要因に関与する機器を特定できること。

## ■デブリ取り出しモデルの表現方針

- 通常状態におけるデブリとPCV内環境を制御する最低限の作業設備と安全設備のみを示す。
- 上記各設備はデブリやPCV内環境に対してどのような物理的作用を示すかが分かる最低限の情報のみを扱い、単純化する。**すなわち機器の仕様(出力、型番、詳細構成など)は設定しない。**

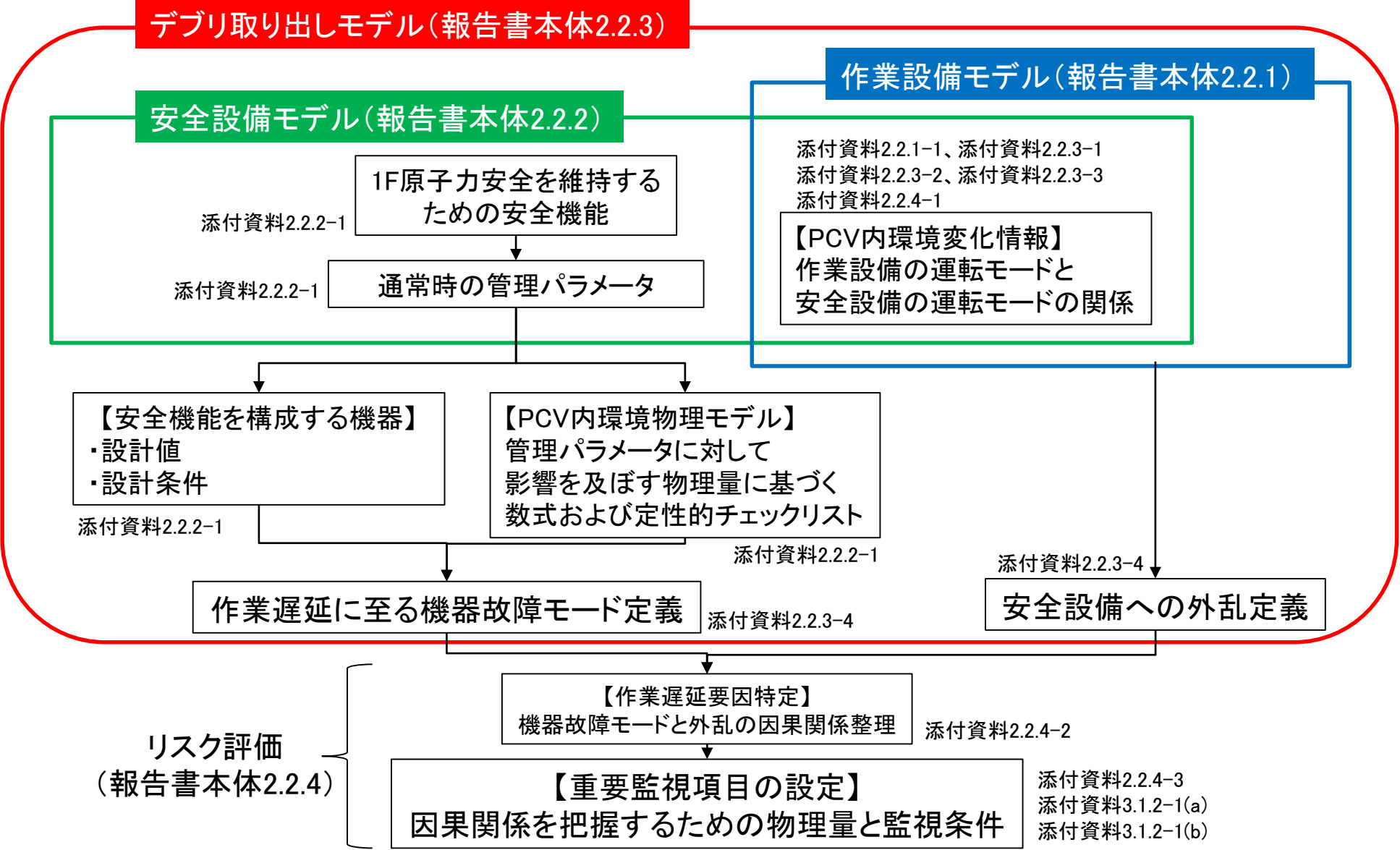
## ■デブリ取り出しモデルの構成方針

- 作業設備モデルと安全設備モデルにて構成する。

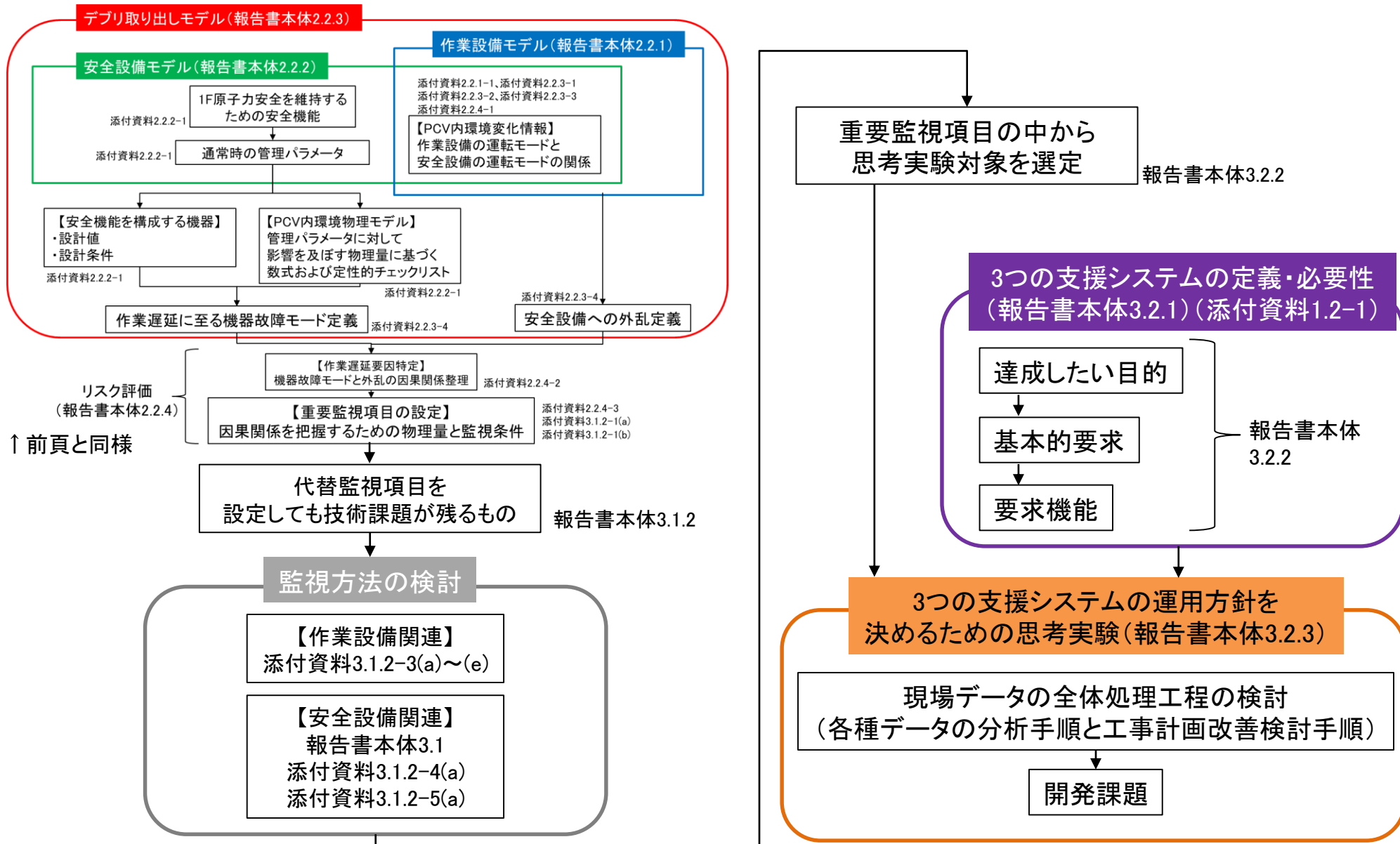
デブリ取り出しモデルは作業設備の活動が安全設備に与える影響を評価し、  
両設備の相関性を定義する

# 添付資料2.2-1: 本事業におけるデブリ取り出しモデル／重要監視項目／監視方法検討／3つの支援システムの検討の繋がり

## ■ 通常時の管理パラメータと重要監視項目の関係性



■本事業の検討の全体的な繋がり



- 作業設備に対する安全機能の設定結果を次頁に示す。安全機能が阻害されると運転員の的確、迅速な現場対応が阻害されるものとする。

### 【次ページに示す表の解説】

- 各種要求は分かりやすさのために加工時と輸送時とで分けた。
- 同じ気相閉じ込めであってもデブリ加工を行うPCV内と、容器を取り扱うセルとでは要求機能が全て同じではないことから区分けした(例.次ページ 表中のID 1～3とID 4など)。
- デブリ加工時のダスト飛散、未臨界状態の維持についてはデブリ加工機構および内容器が担う(例.次ページ 表中のID 2、5)。
- 燃料デブリやPCV雰囲気に対する遮蔽と閉じ込めはセル、扉機構、移送容器が担う(例.次ページ 表中のID 1、4、6)。
- デブリ移送時の安全要求の多くは内容器および移送容器が担う(例. 次ページ表中のID 10～13、15)。
- 移送容器の除染は水除染を前提とし、使用済み除染水は汚染されており、それが二次バウンダリ外へ飛散する可能性があるものとして汚染水飛散防止機能(次ページ表中のID 9)を設定した。

# 添付資料2.2-2: 燃料デブリ取り出し・搬出システムに属する機器が担う安全機能

No.17

注記: 内容器はユニット缶および収納缶を指す

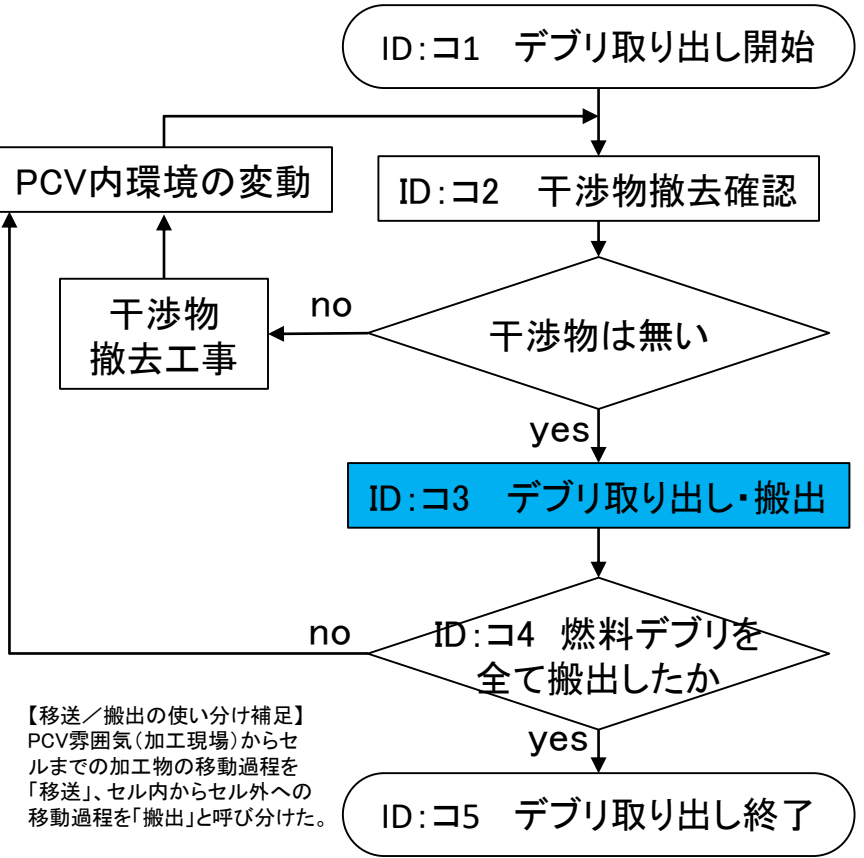
ID	安全要求	機能要求	構成機器	設計要求
(A) 加工時の要求				
1	気相閉じ込め (PCV内)	PCV/セル損傷防止機能	デブリ加工機構 線源収納機構	バウンダリを維持する設備が変形する外力(衝突や落下など)を与えないこと
2		ダスト飛散防止機能	デブリ加工機構	管理パラメータを超えるPCVダスト濃度を発生させないこと
3		デブリ過剰加熱防止機能	デブリ加工機構	デブリの異常な温度上昇により放射性物質を再揮発させないこと
4	気相閉じ込め (セル等の燃料デブリ収納・搬出エリア内)	静的バウンダリ機能	セル(R)、セル(Y)、セル(G)、 扉機構(R/Y)、 扉機構(Y/G)、 扉機構(Y/G)	デブリあるいは移送容器の取り扱い時に二次バウンダリへ放射性物質が過剰に飛散しないようにすること
5	臨界防止	デブリ形状制御機能	デブリ加工機構、内容器	デブリの加工は再臨界が発生しないような形状を維持すること
6	外部被ばく防止	セルの遮蔽機能	セル(R)、セル(Y)、 セル(G)、 扉機構(R/Y)、 扉機構(Y/G)、 扉機構(Y/G)	二次バウンダリへ過剰な放射線を漏えいさせないこと
(B) 輸送時の要求				
7	気相閉じ込め (セル等の燃料デブリ収納・搬出エリア内)	静的バウンダリ機能	セル(R)、セル(Y)、セル(G)、 扉機構(R/Y)、 扉機構(Y/G)、 扉機構(Y/G)	デブリあるいは移送容器の取り扱い時に二次バウンダリへ放射性物質が過剰に飛散しないようにすること
8		PCV/セル損傷防止機能	セル移送機構 セル内移送機構① セル内移送機構②	バウンダリを維持する設備が変形する外力(衝突や落下など)を与えないこと
9	輸送容器除染時の液相閉じ込め(水除染)	汚染水飛散防止機能	除染水排水機構	輸送容器の除染時(水除染)の排水が二次バウンダリ外へ飛散しないようにすること
10	構内移送中の気相/液相漏えい閉じ込め	輸送容器の閉じ込め機能	移送容器	一次バウンダリからの搬出以降、容器内のデブリから放射性物質が過剰に漏えいしないようにすること
11	臨界防止	輸送容器のデブリ形状維持機能	内容器、移送容器	移送中にデブリが再臨界しない形状を維持すること
12	デブリ異常加熱防止	輸送容器の除熱機能	内容器、移送容器	移送中にデブリが異常に温度上昇し、放射性物質を再揮発させないこと
13	外部被ばく防止	輸送容器の遮蔽機能	移送容器	一次バウンダリからの搬出以降、放射線により作業員に過剰な被ばくを与えないこと
14	内部被ばく防止	輸送容器の除染機能	除染機構	一次バウンダリからの搬出以降、輸送容器表面から飛散する汚染物質により作業員に過剰な内部被ばくを与えないこと
15	構内移送中の火爆防止	輸送容器の火爆防止機能	移送容器	容器内のデブリから発生する水素によって、水素燃焼を起こし、容器が破損するなど他の機能を阻害しないようにすること

# 添付資料2.2.1-1: 作業設備モデルの構成

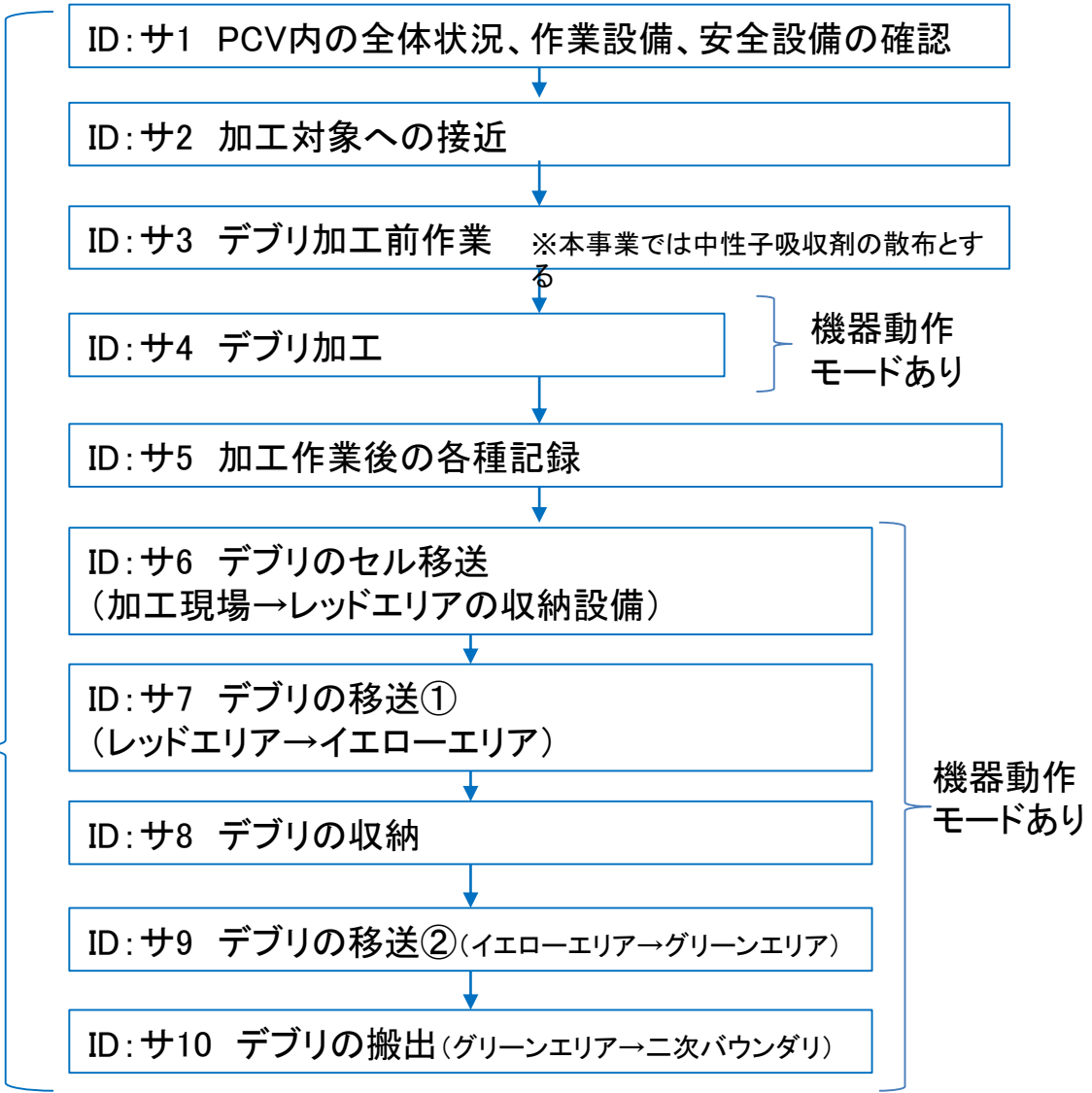
## ■日々の作業フロー

- 以下に示すデブリ取り出し・搬出工程のうち、デブリ取り出し・搬出作業を連続監視PJの検討範囲とした。
- 本事業ではID:サ1～サ10でPCV内重要項目を抽出する。

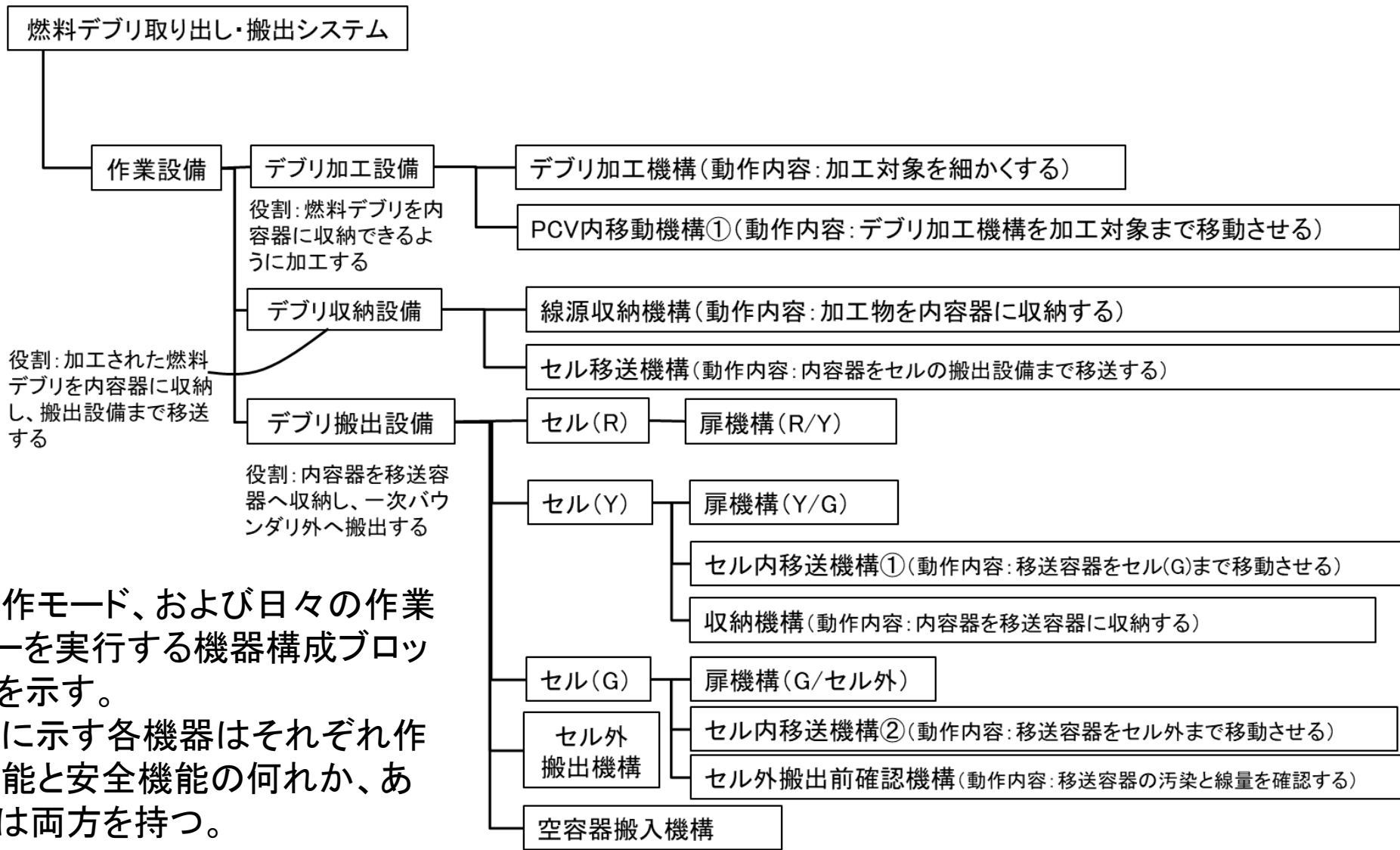
### 燃料デブリ取り出し・搬出工程



### 日々の作業フロー(連続監視PJの検討対象)



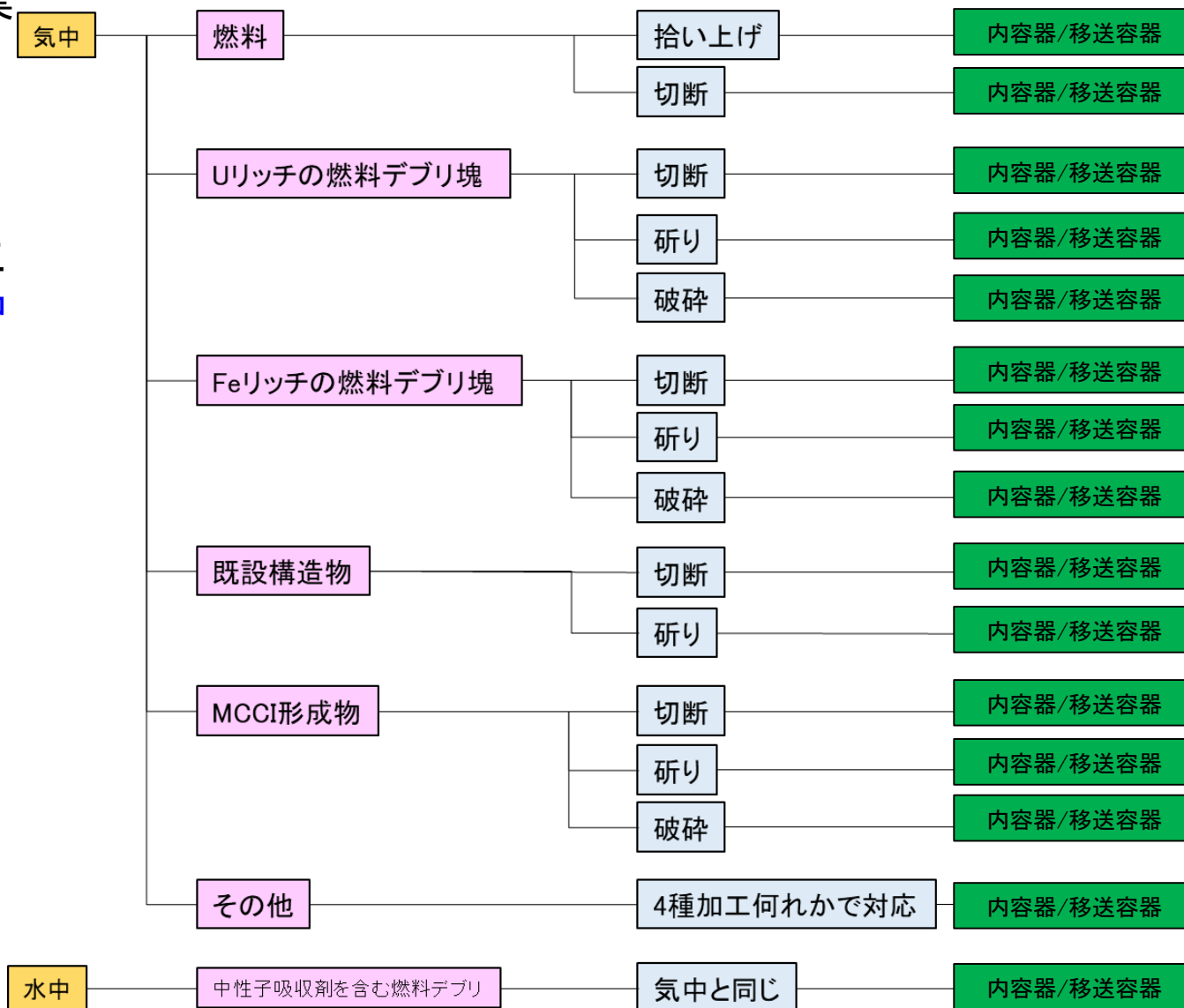
■機器構成ブロック



- 各動作モード、および日々の作業フローを実行する機器構成ブロック図を示す。
- 本図に示す各機器はそれぞれ作業機能と安全機能の何れか、あるいは両方を持つ。

## ■ 機器動作モード(デブリ加工時)

- デブリ加工時における作業モードの一覧を示す。
- 水中での加工作業は中性子吸収剤の塗布を前提に加工する可能性がある。これに伴い、燃料デブリは中性子吸収剤を含むと性状が変わるものとして、加工モード上では右図のように考慮することとした。





### ■ 機器動作モード(デブリ収納・搬出モード)

#### 【検討方針】

- デブリの収納と搬出は、他の1F補助事業で様々な方法が検討されている。これを参考に動作モードを設定する。
- 具体的には、一次バウンダリからの搬出手順を実現する為の機器運用を設定する。

#### ～設定の前提条件～

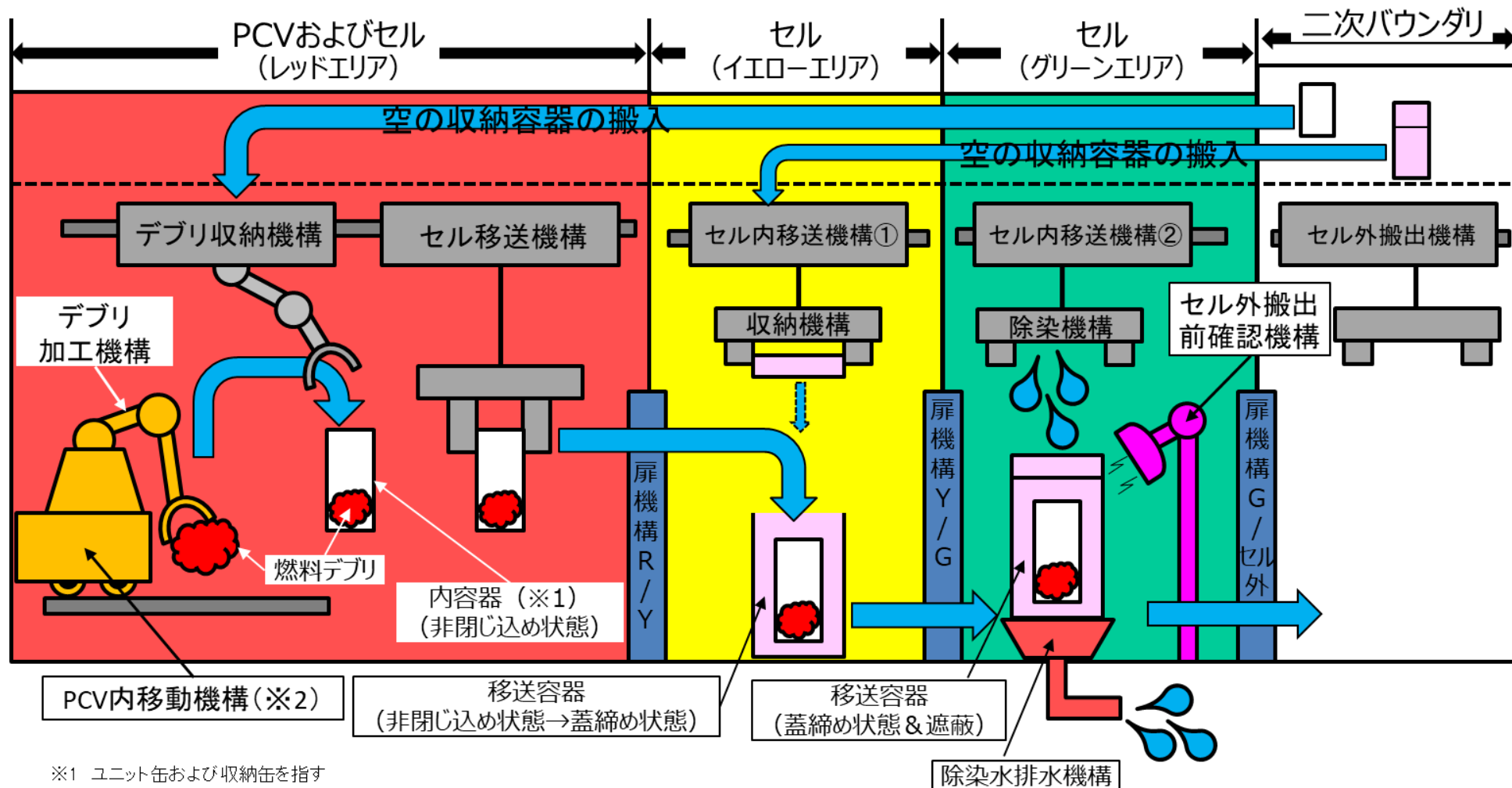
- PCVおよびセル内の負圧化維持設備は安全設備モデルにて反映する。
- 移送容器を一次バウンダリ外へ搬出する際は、1F構内移送基準(表面汚染／表面線量率)を満たしているかどうかの確認を行い、基準を満たさない場合は除染やセル(Y)への容器差し戻しを行う。なお、法律上要請される1F構内搬送基準の確認検査は二次バウンダリで行うものとする。
- 移送容器の除染箇所はセル(G)と仮定する(※)。

※ 除染箇所は、セル内での移送容器の運用の次第ではセル(Y)などで行う方が合理的な場合もある。

過去の1F補助事業の成果情報を収集し、機器動作モードを設定する

## ■ 機器動作モード(デブリ収納・搬出モード)

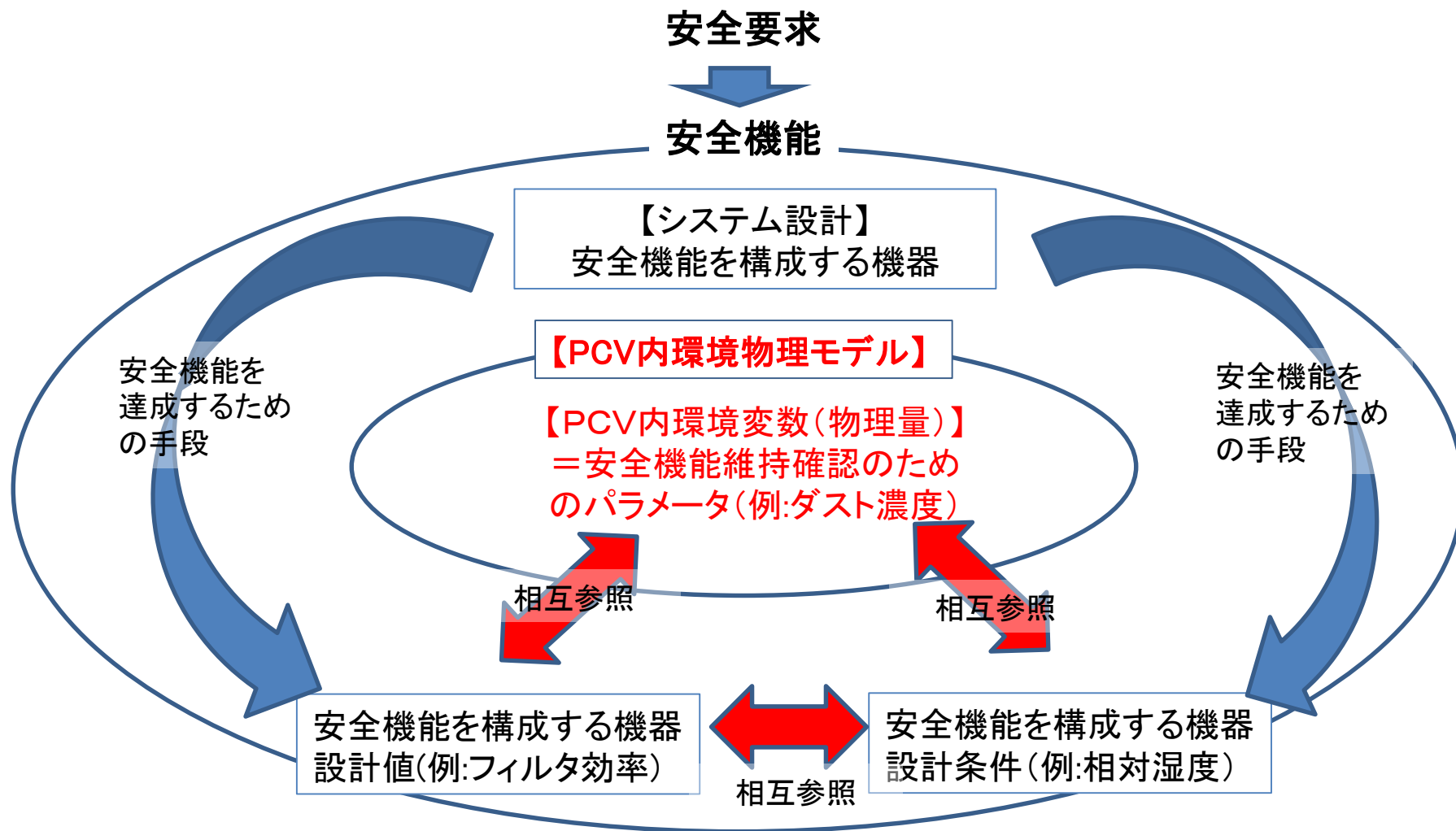
- 燃料デブリを一次バウンダリ外へ搬出する機器構成要素を下図のように整理した。
- デブリを直接収納する内容容器(ユニット缶+収納缶)はPCVおよびセル(R)にて使用し、セル(Y)にて移送容器へ収納して閉じ込める。



※1 ユニット缶および収納缶を指す

※2 燃料デブリ以外に關与する機器については「移動」という表記とした

■安全設備モデル概念図



PCV内環境物理モデルは、  
PCV内環境変数と設計条件の相互関係により定義する

## ■PCV内環境物理モデル

PCV内環境物理モデルとして、下記2つのパターンに大別する。

### (パターンA)

PCV内環境モデルは、安全機能を構成する機器の設計値、設計条件およびPCV内環境変数(物理量)(=管理パラメータ)の相関関係を数式により表現し、デブリ取り出し作業の外乱のうち、その相関関係に影響を与える操作をリスクとして抽出する。

### (パターンB)

パターンA基本とするが、数式により表現が難しい場合、PCV内環境変数(物理量)(=管理パラメータ)に対して悪影響を及ぼす要因を整理し、デブリ取り出し作業の外乱のうち、その要因を進展させる操作をリスクとして抽出する。

PCV内環境モデルは数式で表現し、それが難しい場合は管理パラメータに悪影響を及ぼす要因を定性的表現でリスト化

## ■気相システムの環境物理モデル(1/4)

PCV内環境物理モデル(PCV内環境変数(物理量)=PCV内ダスト濃度)

【ダスト濃度低減機能】

管理パラメータ:PCV内ダスト濃度に対するPCV内環境モデル (パターンA)

$$A(\text{PCV内ダスト濃度}) \times V = \frac{S}{\lambda_d + \lambda_k + \lambda_f}$$

 $S$  =ダスト発生量(=デブリ加工量[kg/day] × ダスト飛散率[%]) $V$  =評価体積[m<sup>3</sup>] (例. PCVやセルなど) $\lambda_d$  =ダスト沈着率(=ダスト終端速度[m/s] ÷ PCV高さ[m]) $\lambda_k$  =ダスト換気率(=PCVガス管理システム排気風量[m<sup>3</sup>/h] ÷ PCV体積[m<sup>3</sup>]) $\lambda_f$  =フィルタ除去率(=再循環風量[m<sup>3</sup>/h] ÷ PCV体積[m<sup>3</sup>] × HEPAフィルタ効率[%])

## ■気相システムの環境物理モデル(2/4)

PCV内環境物理モデル(PCV内環境変数(物理量 = PCV漏えい量))

【静的バウンダリ機能】

管理パラメータ:PCV漏えい量に対するPCV内環境物理モデル (パターンB)

本検討では、PCV漏えい量は、PCV開口面積に依存するものとし、PCV開口面積が増大する要因について整理した。

### PCV開口面積が増加する要因

- ・ 腐食による開口面積増加
- ・ 新設構造物(セル扉、既設開口部の閉止箇所、溶接部など)の劣化による開口面積増加
- ・ その他

## ■気相システムの環境物理モデル(3/4)

PCV内環境物理モデル(PCV内環境変数(物理量)＝PCV内負圧度)

## 【動的バウンダリ機能】

管理パラメータ:PCV内負圧度に対するPCV内環境物理モデル (パターンA)

- 定常状態(負圧状態)

$$F_{\text{PSA}} + f(\text{PCV内負圧度}) \times A + F_{\text{cell}} = F_{\text{ex}}$$

PCV内負圧度＝大気圧－PCV圧力

$F_{\text{PSA}}$  : PSAによる窒素封入風量[m<sup>3</sup>/h]

$F_{\text{ex}}$  : PCVガス管理システム排気風量[m<sup>3</sup>/h]

$F_{\text{cell}}$  : 隣接セルからの流入風量[m<sup>3</sup>/h]

$f(\text{PCV内負圧度})$  : PCV開口部内外差圧による流速[m/s]

$A$  : PCV開口面積[m<sup>2</sup>]

## ■気相システムの環境物理モデル(4/4)

PCV内環境物理モデル(PCV内環境変数(物理量) = 排気端ダスト濃度)

## 【放出抑制機能】

管理パラメータ: 排気端ダスト濃度に対するPCV内環境物理モデル (パターンA)

- 排気端ダスト濃度  $C$  (kg/m<sup>3</sup>)

$$C(\text{排気端ダスト濃度}) = A(\text{ダスト濃度}) \times f$$

A: ダスト濃度 (ダスト濃度低減機能でモデル化[kg/m<sup>3</sup>])

f: フィルター効率 [-]



■液相システムのシステム設計と環境物理モデル(1/3)

【閉じ込め機能のシステム構成】

機能要求	構成機器	設計値	設計条件	管理パラメータ
動的 バウンダリ	D/W滞留水 移送ポンプ	流量 (10 m <sup>3</sup> /h) 揚程	<b>【前提条件】</b> 流量: 10 m <sup>3</sup> /h <b>【機器動作のための環境条件】</b> 許容粒径: 未定 運転水位: 未定 水質条件: 未定 水温条件: 未定 圧力条件: 未定	D/W水位
	PCV滞留水 排出ポンプ			PCV滞留水バッ ファタンク水位

【閉じ込め機能の環境物理モデル】

$$D_{out} \geq D_{in}$$

T<sub>out</sub> : D/W取水量

G<sub>in</sub> : D/W注水量

注記: 閉じ込めシステムの静的バウンダリはPCV滞留水の環境放出を防止する障壁としてD/W, 並びに配管、弁、PCV滞留水バッファタンクが挙げられる。ここで、通常時はD/Wから滞留水が流出することを防止する方針であるとし、D/Wを静的バウンダリとして位置付ける。ただし、既存設備であるD/Wに関しては本事業の評価対象外とした。

■液相システムのシステム設計と環境物理モデル(2/3)

【冷却機能のシステム構成】

機能要求	構成機器	設計値	設計条件	管理パラメータ
冷却	D/W滞留水移送ポンプ	流量 (10 m <sup>3</sup> /h) 揚程	【前提条件】 流量:10 m <sup>3</sup> /h 【機器動作のための環境条件】 許容粒径:未定 液深条件:未定 水質条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	PCV内温度
	冷却器	未定	【前提条件】 設計上の要求値未定 (燃料デブリ崩壊熱及び加工による入熱に相当する除熱量を確保すること) 【機器動作のための環境条件】 流量条件:未定 水質条件:未定	
	PCV滞留水注水ポンプ	流量 (3 m <sup>3</sup> /h以上) 揚程	【前提条件】 流量:3 m <sup>3</sup> /h 水質条件:Cl-濃度100 ppm以下 【機器動作のための環境条件】 許容粒径:未定 液深条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	
	PCV滞留水バッファタンク	容量 (22 m <sup>3</sup> )	水質条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	PCV滞留水バッファタンク水位
	配管	—	水質条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	系統内流量
	弁	—	水質条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	系統内流量

【冷却機能の環境物理モデル】

$$Q_c = Q_{ch} + Q_p$$

$Q_c$  : 冷却器除熱量

$Q_{ch}$  : 燃料デブリ崩壊熱

$Q_p$  : 加工による入熱量

## ■液相システムのシステム設計と環境物理モデル(3/3)

### 【臨界防止機能のシステム構成】

機能要求	構成機器	設計値	設計条件	管理パラメータ
臨界防止	系統配管	内径 220 mm以下	—	— (形状管理)
	D/W 滞留水 粒子粗取り 装置	粒径	【前提条件】 粒径:(未定) 【機器動作のための環境条件】 水質条件:未定 水温条件:未定 圧力条件:未定	PCV滞留水バッファ タンク粒子蓄積量

### 【臨界防止機能の環境物理モデル】

臨界防止:系統内配管内径220 mm以下

- 静的機器の形状管理によって原理的に臨界を防止する機能であるため、腐食、摩耗等により配管内壁が減肉し、配管内径が設計値を超過する場合には臨界発生の可能性がある。
- 配管外径を220 mm以下とする等、内径が220 mmを超過することがない設計である場合には、系統配管内における臨界は防止できる。

## ■火爆防止システム設計と環境物理モデル

### 【酸素濃度低減機能のシステム構成】

機能要求	構成機器	設計値	設計条件	管理パラメータ
酸素濃度 低減機能	窒素ガス分離 装置(PSA)	流量: 1000m <sup>3</sup> /h	酸素濃度:加工 箇所近傍のみ 2%以下	酸素濃度
		窒素純度: 99.9%以上		

### 【酸素濃度低減機能の環境物理モデル】

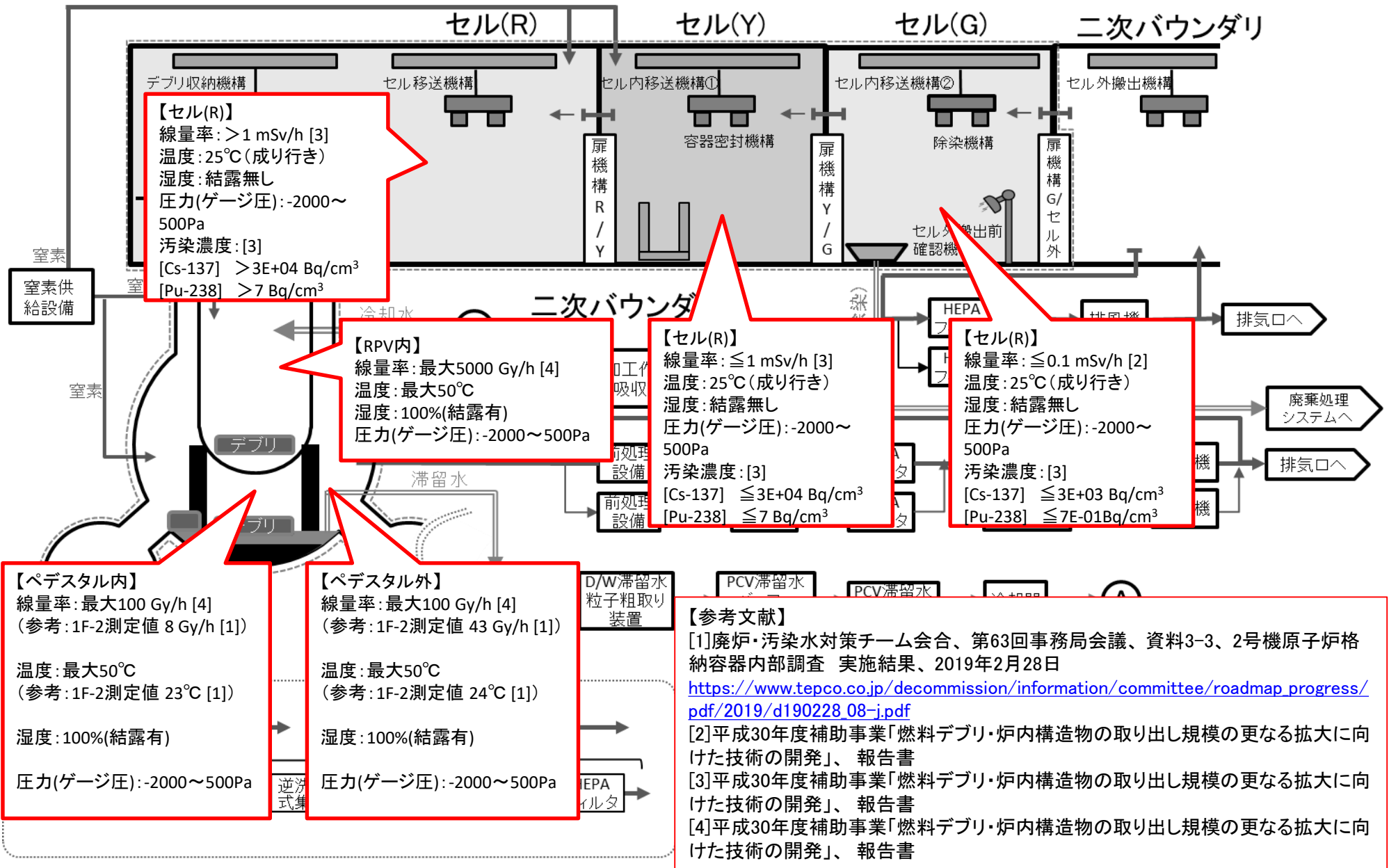
$$C_{(\text{PCV内酸素濃度})} = \frac{f_{(\text{PCV内負圧度})} \times A \times 0.2}{f_{(\text{PCV内負圧度})} \times A + F_{PSA}}$$

$C_{(\text{PCV内酸素濃度})}$  : PCV内酸素濃度[vol%]

$f_{(\text{PCV内負圧度})}$  : PCV開口部内外差圧による流速[m/s]

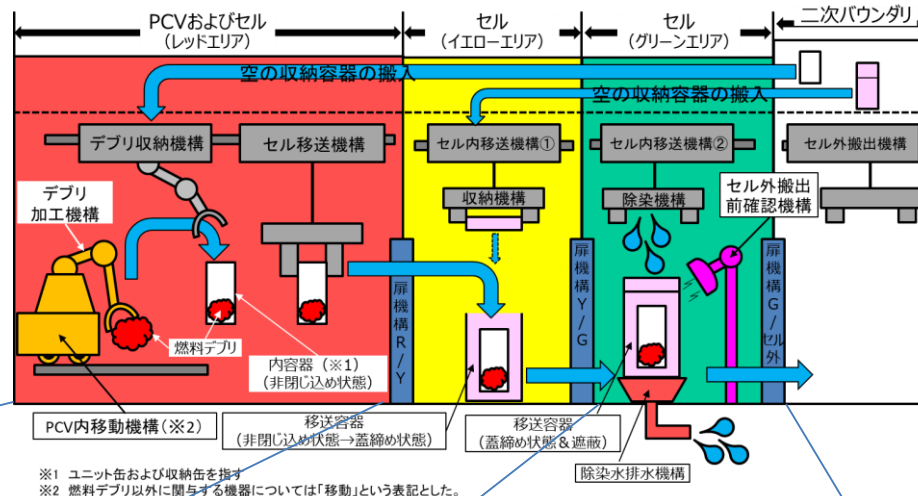
A : PCV開口面積[m<sup>2</sup>]

$F_{PSA}$  : PSA風量[m<sup>3</sup>/s]



# 添付資料2.2.3-2: セル内に容器が進入した場合の環境変化条件

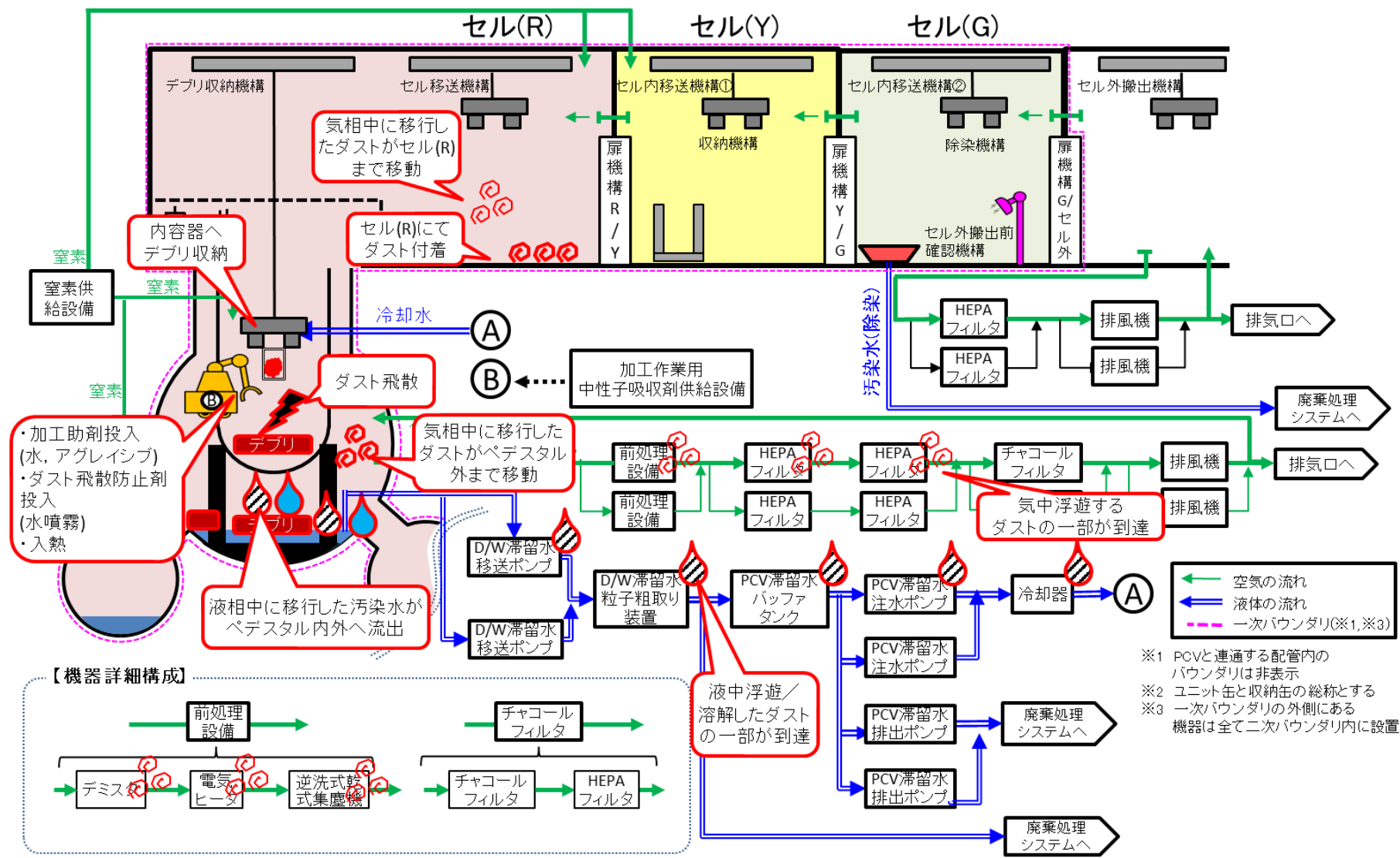
- [1] デブリ取り出しPJ(2020年度最終報告書)
- [2] デブリ取り出しPJ(2020年度最終報告書)
- [3][9] デブリ取り出しPJ(2020年度最終報告書),
- [4] デブリ取り出しPJ(2020年度最終報告書),
- [5] METI, 除染技術カタログ, 高圧水ジェット除去法  
[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120626/120626\\_01j.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120626/120626_01j.pdf)
- [6] デブリ取り出しPJ(2020年度最終報告書)  
 → 容器表面はPCV内通過によりウェルやRPV内面と同程度汚染すると仮定
- [8]  $(\text{容器外表面積} \times \text{容器表面汚染濃度}) \times \text{ダスト飛散率} \times 24\text{時間} \div \text{セル空間体積}$
- [9] セル内が流速10cm/sの上昇流がある場合



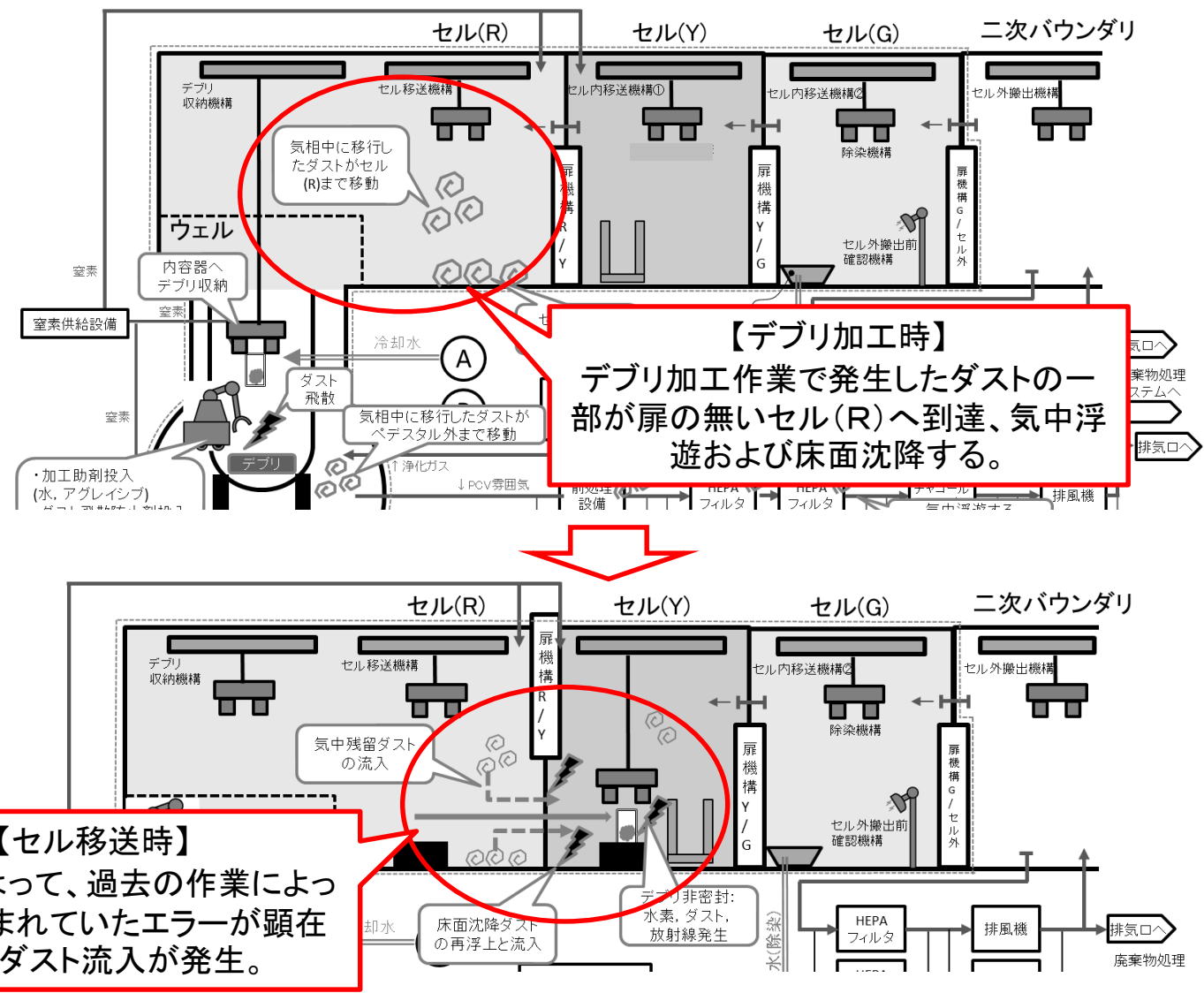
※1 ユニット缶および収納缶を指す  
 ※2 燃料デブリ以外に関する機器については「移動」という表記とした。

パラメータ	セル(R)	セル(Y)	セル(G)	二次バウンダリ
容器表面線量率	ガンマ線: 約1.0E+05 mSv/h [1] 中性子線: 約10 mSv/h [1]	同左 (内容器収納前)	【ガンマ線】 表面: 2 mSv/h [4] 表面から1m離れた箇所: 0.1 mSv/h [4]	同左
容器表面汚染濃度	1.0E+08 Bq/cm <sup>2</sup> [6]	同左 (内容器収納前)	0.4 Bq/cm <sup>2</sup> 以下 [4]	同左
各セル寸法(本事業で仮定)	セル(R): 高さ11m、幅11m、奥行き14m	同左	同左	---
容器表面からのダスト飛散によるセル内汚染濃度上昇量	飛散率: 1.0E-10 (1/s) [2] 空気汚染濃度(24時間): 1.7 E-03 [Bq/cm <sup>3</sup> ] [8] ダスト粒径[9]: 15μm以下[UO <sub>2</sub> ], 20μm以下[Fe], 40μm以下[コンクリート]。	同左 (内容器収納前)	飛散率: 1.0E-10 (1/s) [2] 空気汚染濃度(24時間): 6.8 E-12 [Bq/cm <sup>3</sup> ] [8] ダスト粒径: 同左	同左
容器からの水素発生量	単位時間当たりの発生量: 0.4 [L/h] [3] 総発生量(24時間): 9.6 L	同左 (内容器収納前)	0 [L/h]	同左
容器の発熱量	68 W/個 [9]	同左	同左	同左
除染による汚染水	無し	無し	【高圧水ジェットの場合[5]】 洗浄圧力: 29.4 MPa, 洗浄流量: 170L/min -> 1700 L(1分洗浄 × 10回)	なし

・ID: サ4「デブリ加工」における過渡変化の例を次頁に示す。



- デブリ加工時に発生するPCV内環境変化が後段の作業に悪影響を及ぼす事例を示す。
- 右上図ではPCV内のデブリ加工によって、セル(R)までダストの一部が到達する可能性を描いたものである。この環境変化履歴は次のコマ図以降も保存する。
- 右下図は、セル(Y)の扉を開いた際にセル(R)に残留していたダストが流入するエラー事象を描いたものである。
- 環境変化コマ図は上記のような、PCV内環境過渡変化によるリスク抽出に有効な手法であることを確認した。

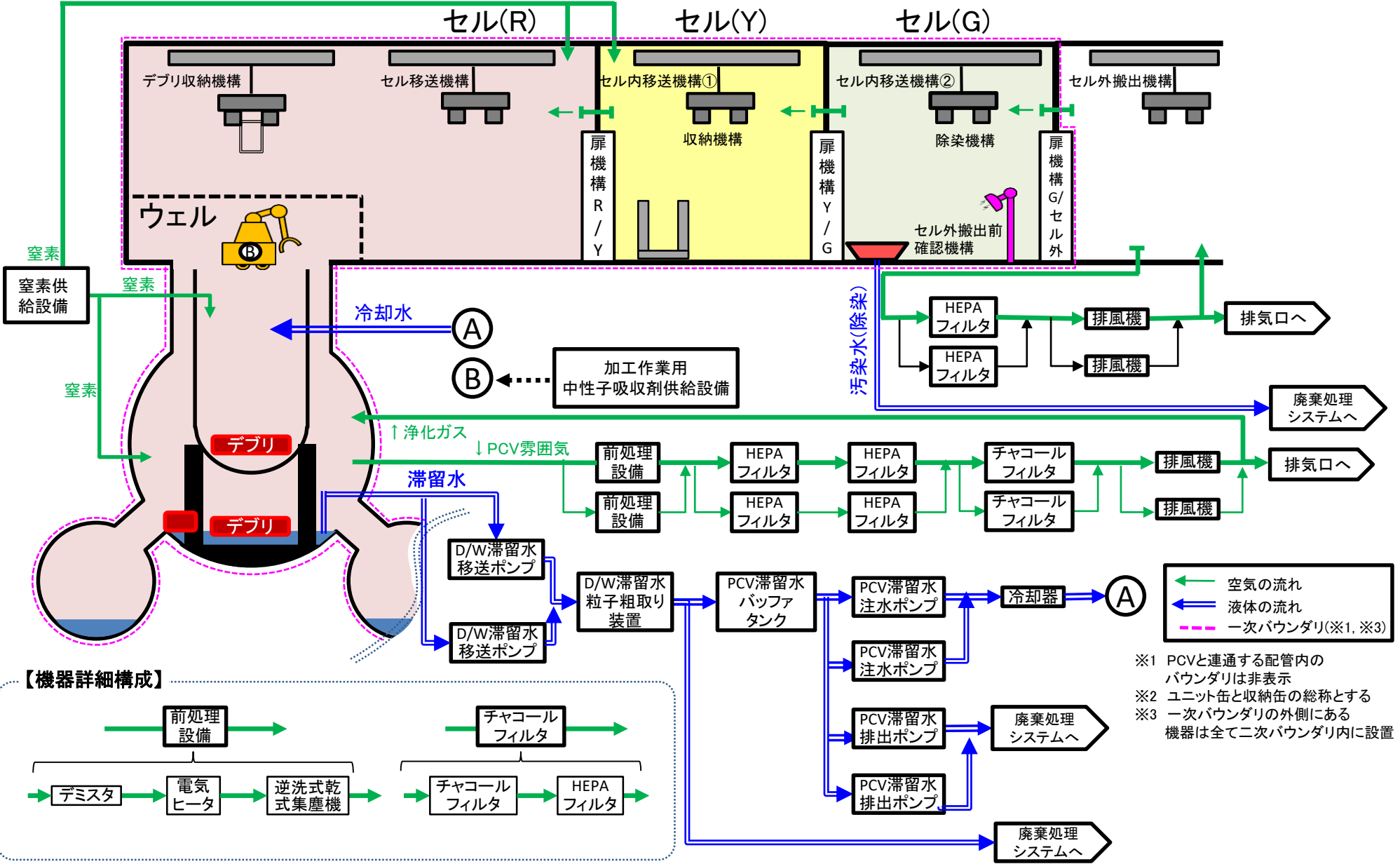


PCV内環境変化コマ図は過渡変化によるリスク抽出に有効



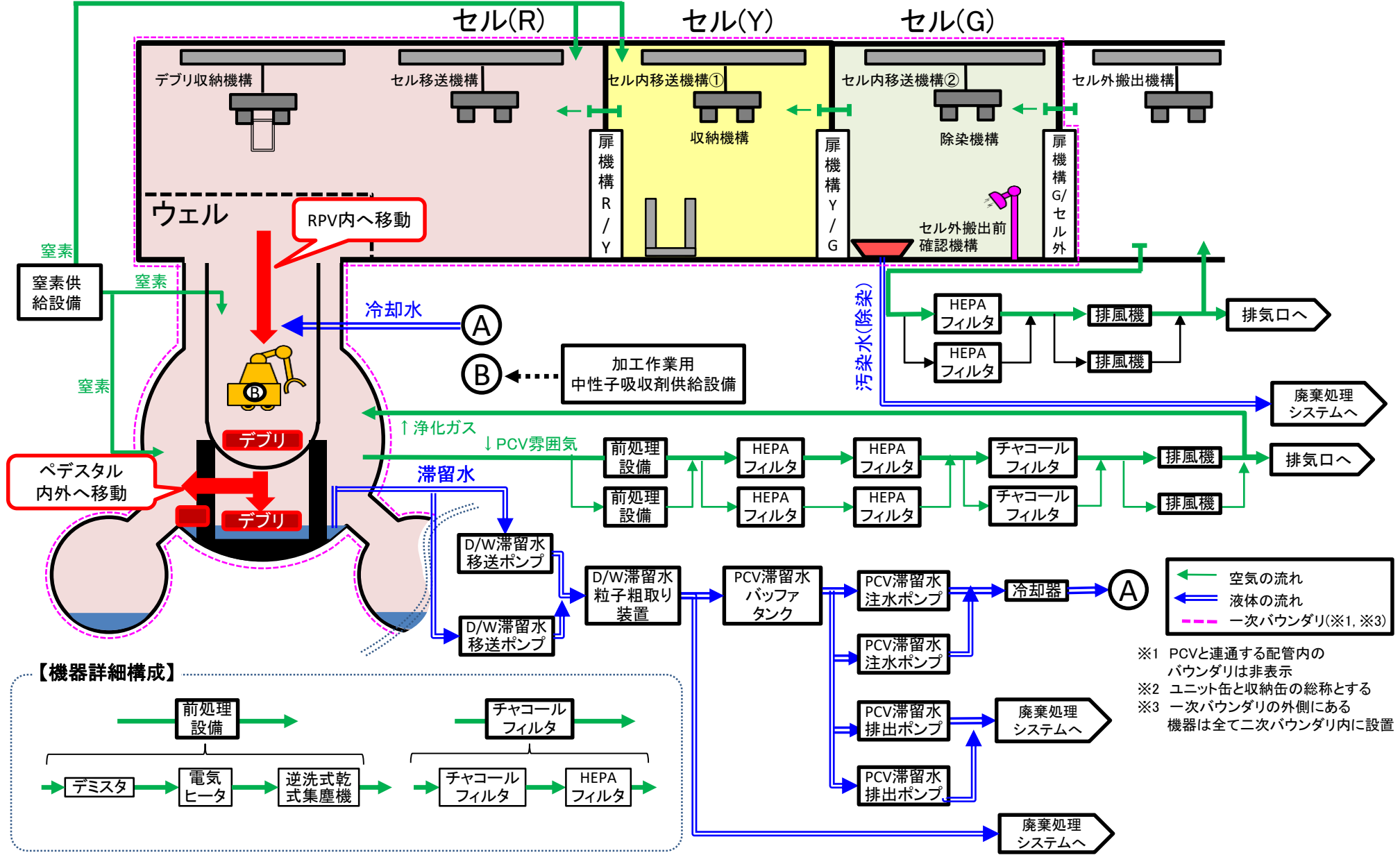
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(1/10)

ID: サ1「PCV内の全体状況および作業/安全設備の確認」



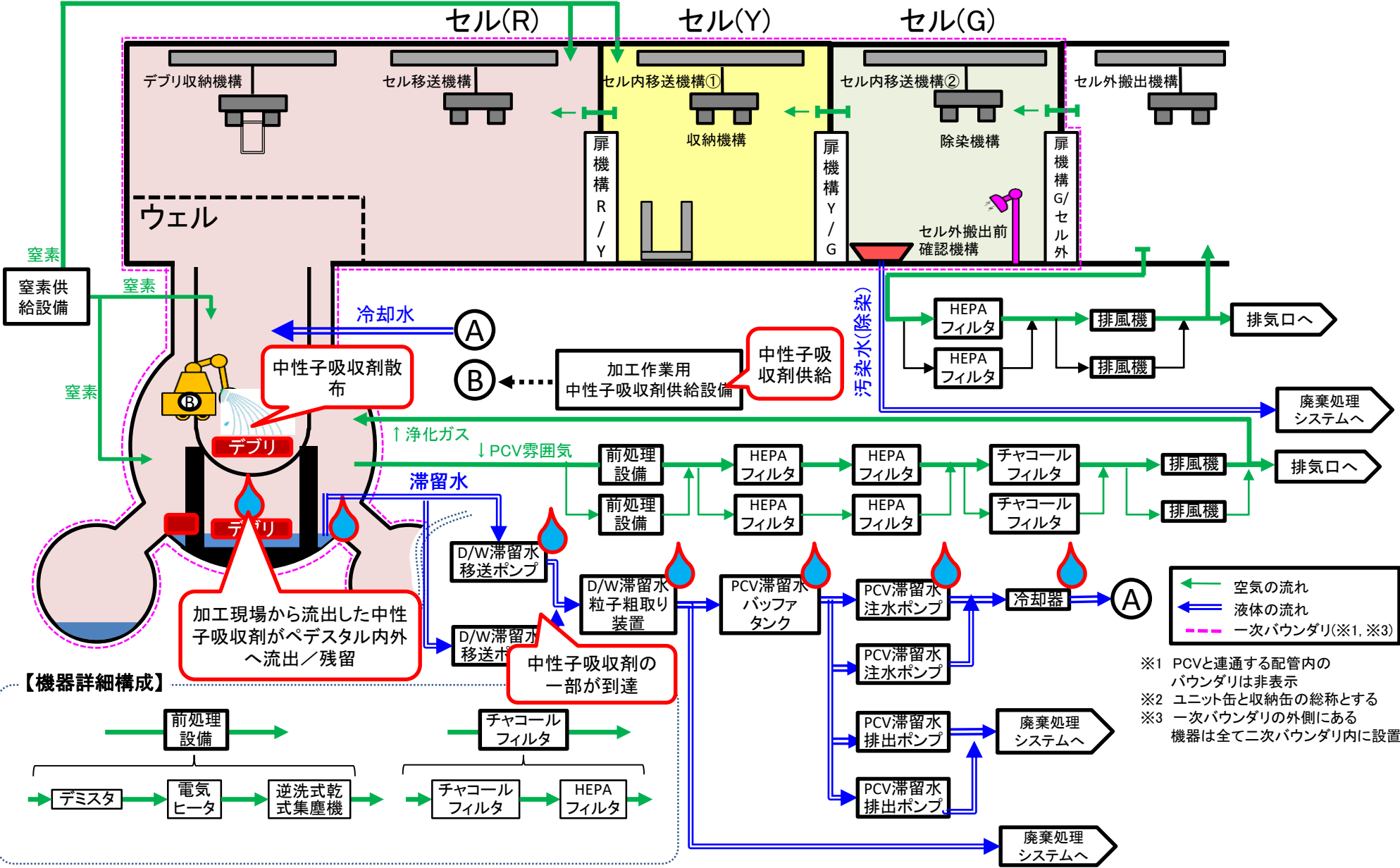
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(2/10)

ID: サ2「加工対象への接近」



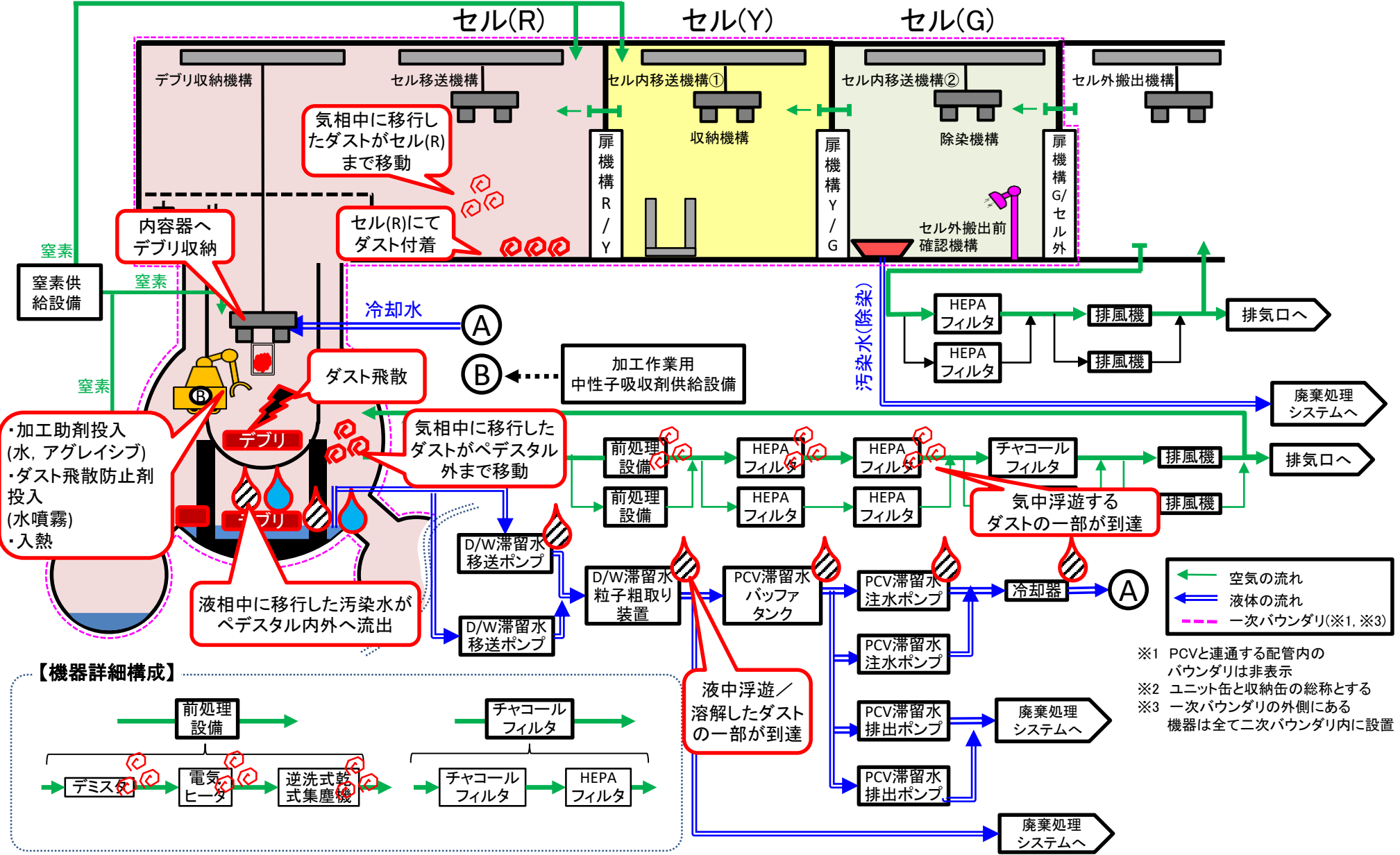
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(3/10)

ID: サ3「デブリ加工前作業」 ※本図ではRPV内での作業を代表例として示す



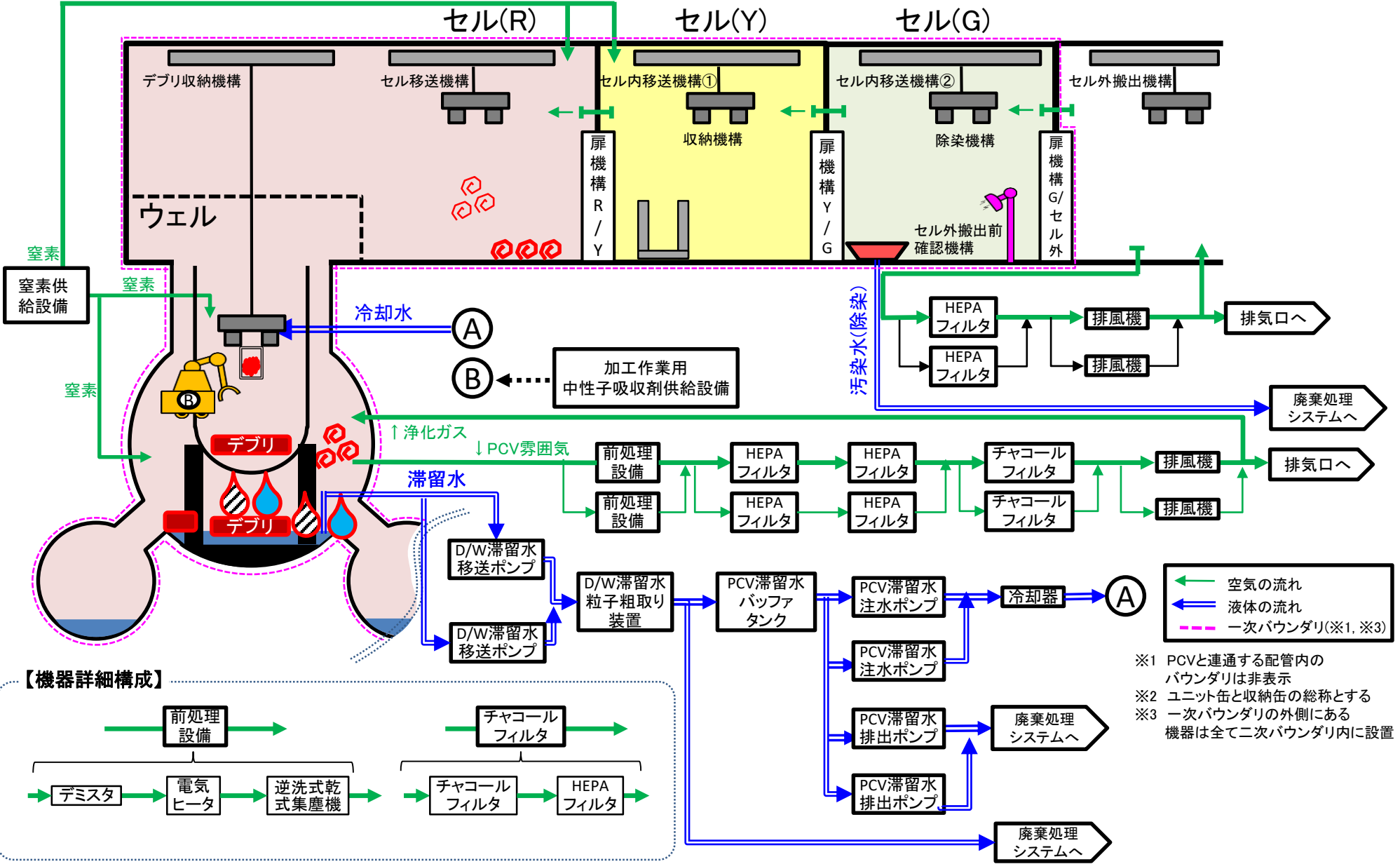
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(4/10)

ID: サ4「デブリ加工」 ※本図ではRPV内での作業を代表例として示す

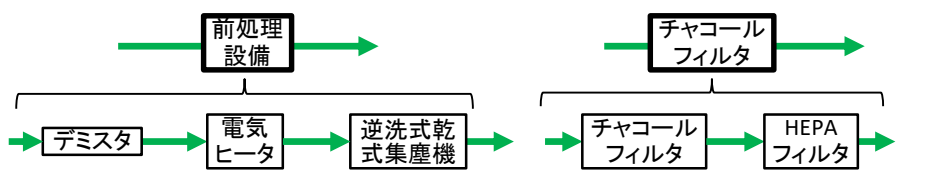


# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(5/10)

ID: サ5「加工作業後の各種記録」



【機器詳細構成】

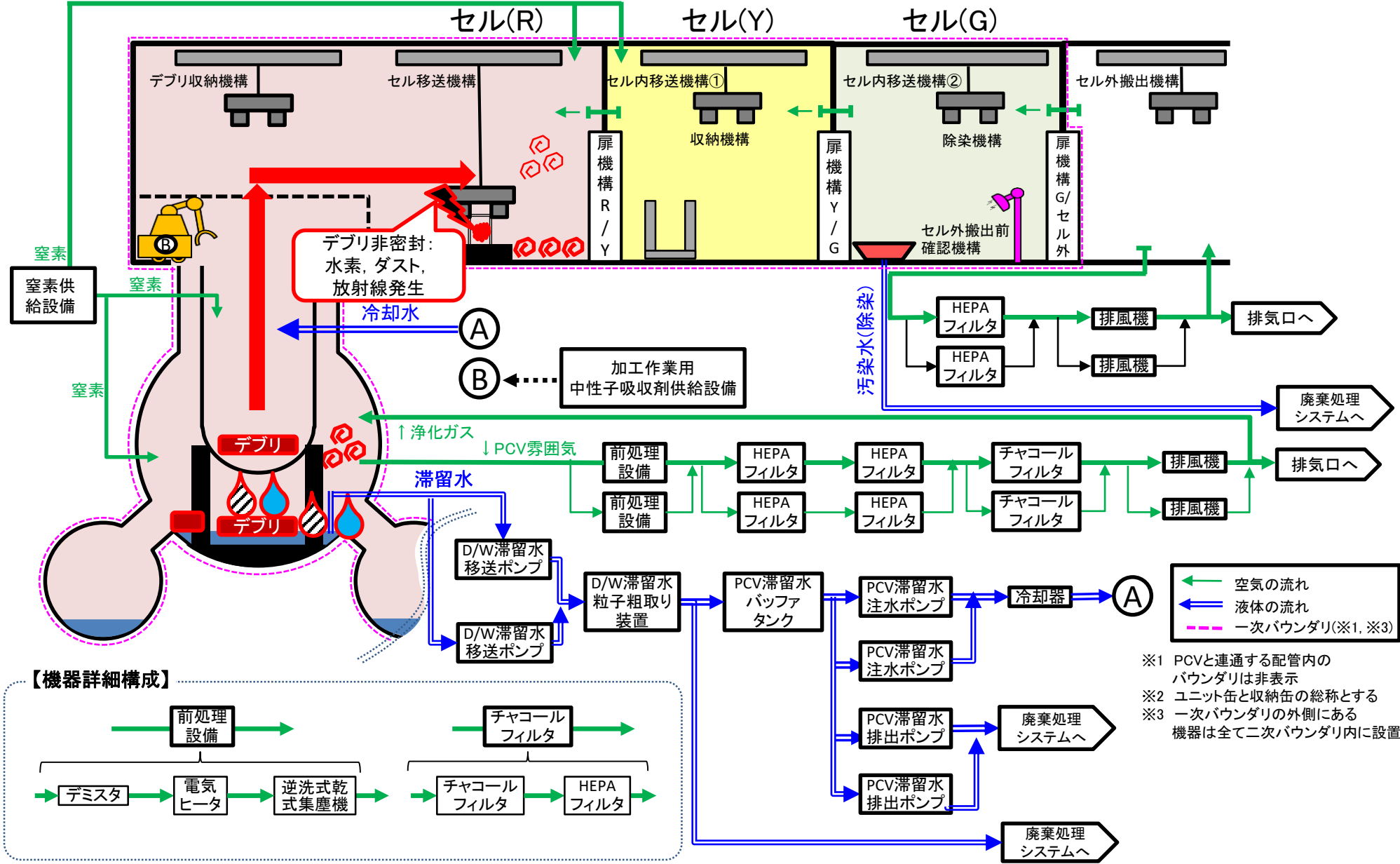


← 空気の流れ  
← 液体の流れ  
--- 一次バウンダリ(※1, ※3)

- ※1 PCVと連通する配管内のバウンダリは非表示
- ※2 ユニット缶と収納缶の総称とする
- ※3 一次バウンダリの外側にある機器は全て二次バウンダリ内に設置

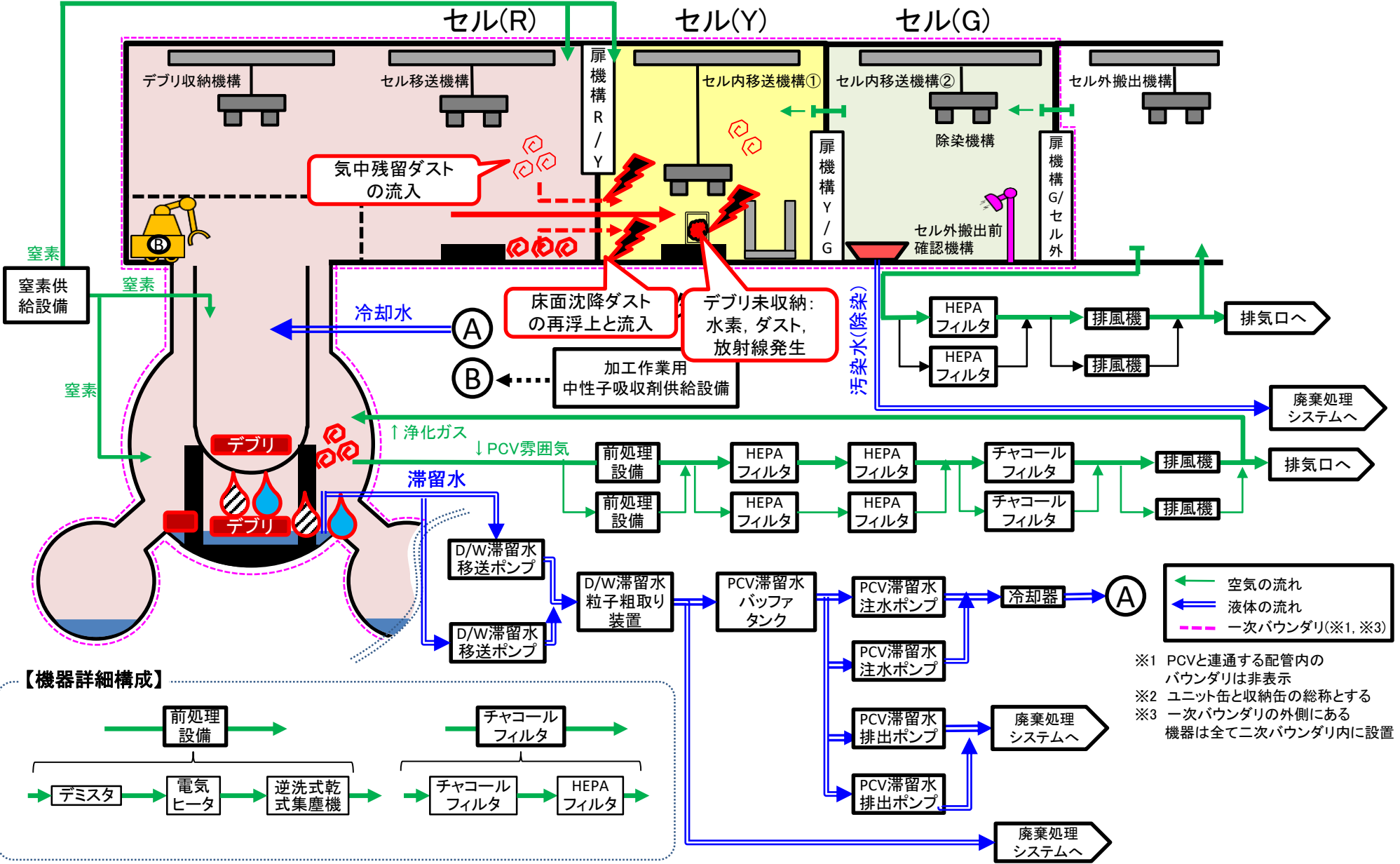
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(6/10)

ID: サ6「デブリのセル移送①」



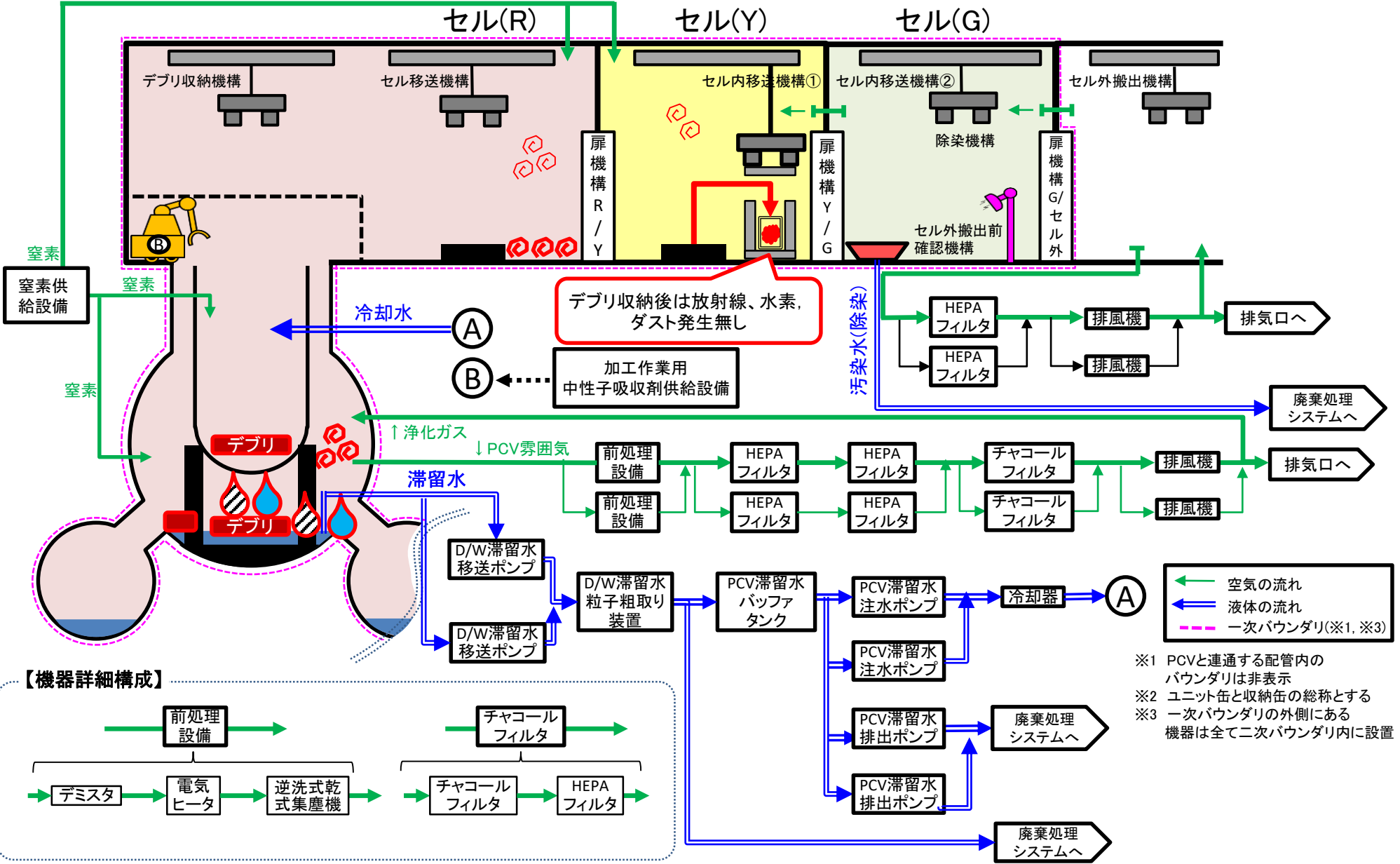
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(7/10)

ID: サ7「デブリの移送①」



# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(8/10)

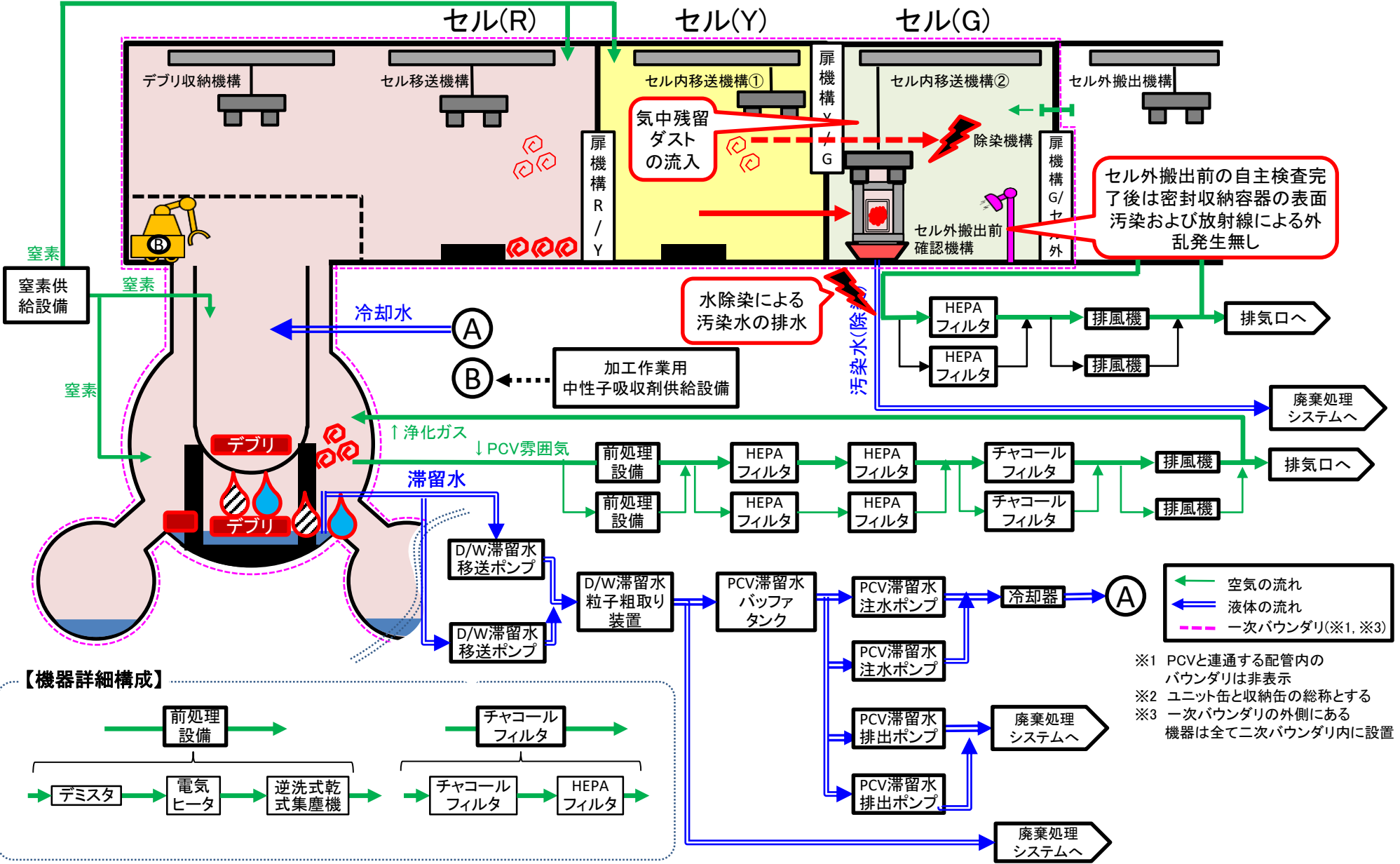
ID: サ8「デブリの収納」





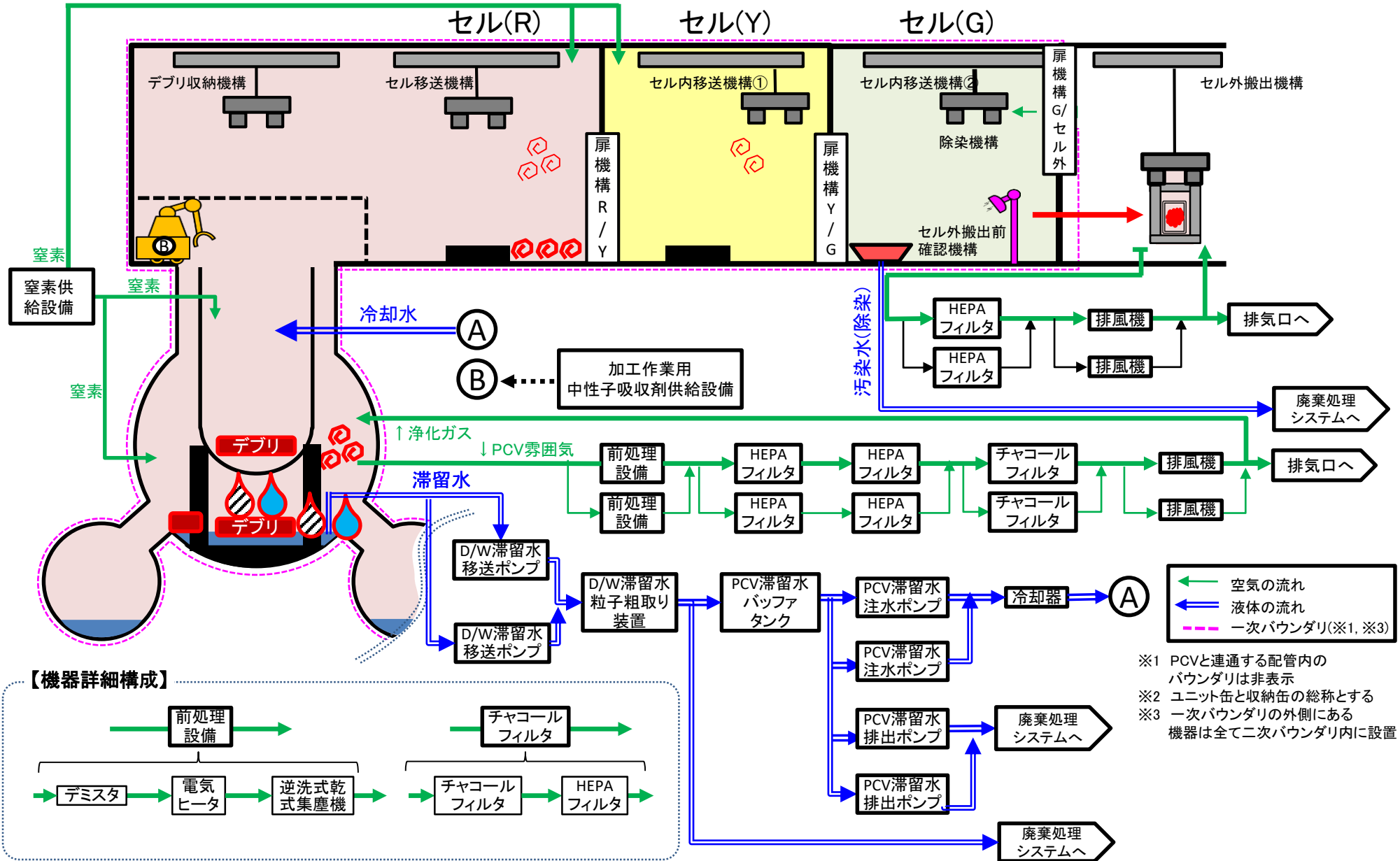
# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(9/10)

ID: サ9「デブリの移送②」



# 添付資料2.2.3-4: デブリ取り出しモデル(PCV内環境変化コマ図)(10/10)

ID: サ10「デブリの搬出」



## 【安全設備への外乱となる物理量の候補】

- 調査項目① : 加工時のダスト性状(粒径、マスバランス)
- 調査項目② : 加工時に投入する加工助剤、飛散防止剤、熱エネルギーの量
- 調査項目③ : 加工時に投入する中性子吸収剤の投入量と加工時の異物性状(粒径)
- 調査項目④ : 加工時の治具の運用パラメータ(例.カッター回転量、刃厚など)
- 調査項目⑤ : 移送時のダスト性状(粒径、マスバランス)
- 調査項目⑥ : 移送時の燃料デブリからの水素発生量
- 調査項目⑦ : 除染時の使用水量

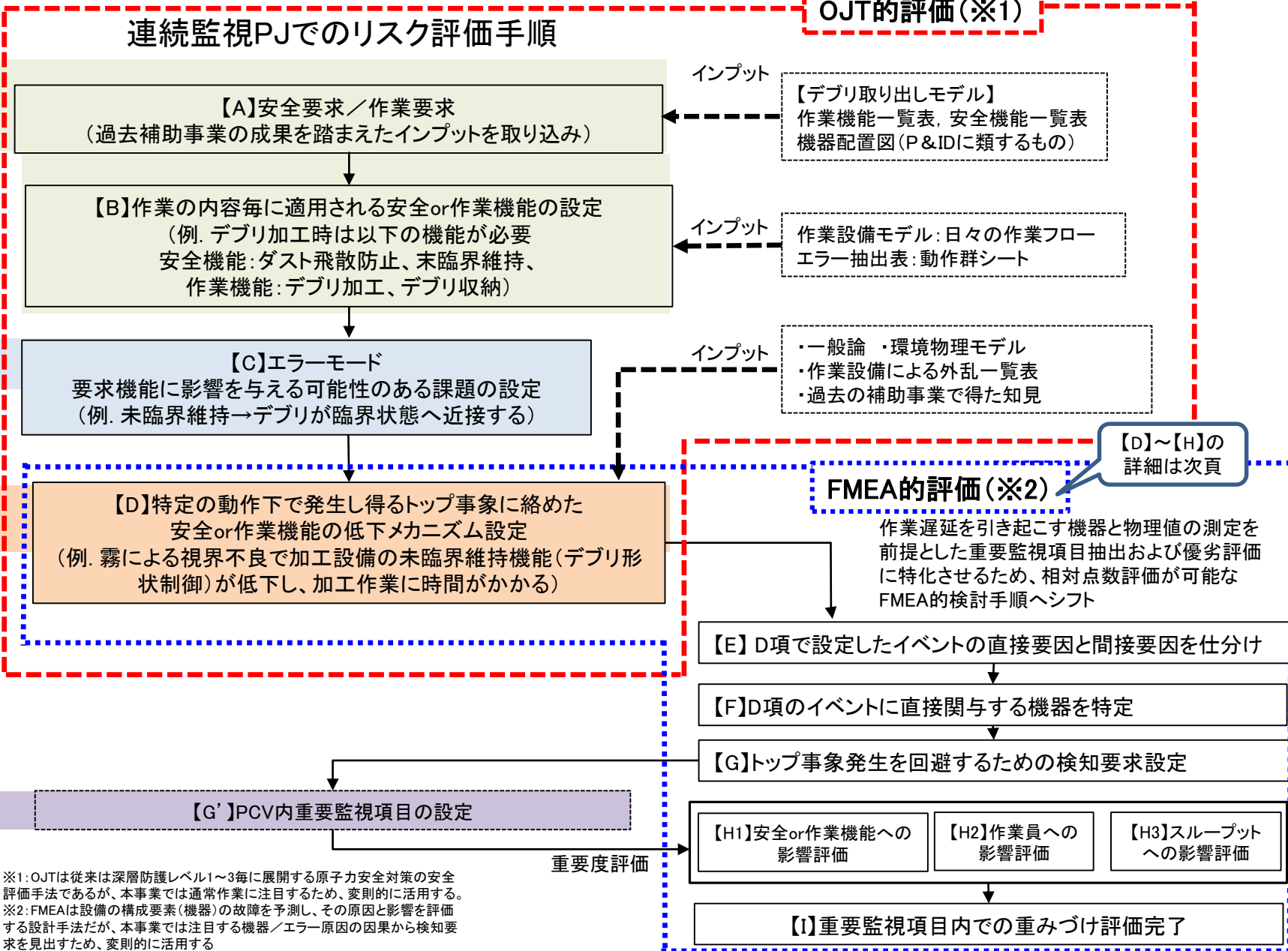
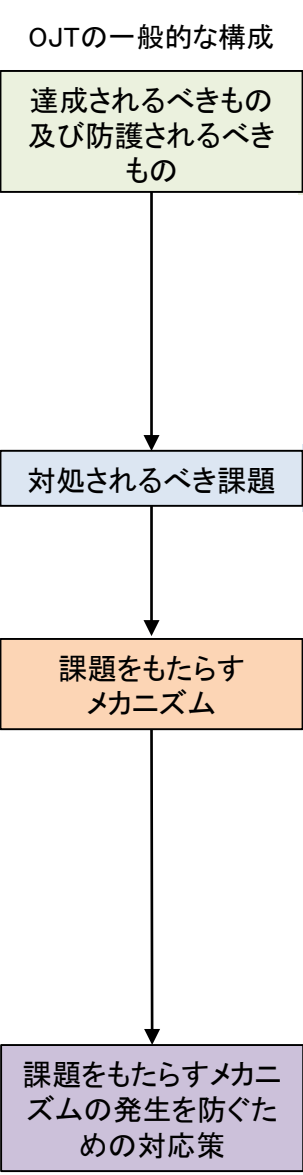
## 【調査対象(IRID プロジェクト)】

- 平成30年度補助事業「燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発」
- 平成26年度、平成27年度、および平成29年度補助事業「原子炉圧力容器内部調査技術の開発」
- 平成26年度補助事業「燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業」
- 平成28年度補助事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化」
- 平成30年度補助事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」

## 【調査対象(IRID プロジェクトでのデータ不足の補完)】

- 平成18年度経済産業省委託調査「発電用原子炉廃止措置工事影響評価技術調査(環境影響評価パラメータ調査研究)」添付資料: 廃止措置工事環境影響評価ハンドブック(第三次版)(財)電力中央研究所、H19年3月
- METI、除染技術カタログ  
[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120626/120626\\_01j.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120626/120626_01j.pdf) (URL有効確認日: 2022.2.23)

安全設備への外乱になる可能性のある物理量を調査

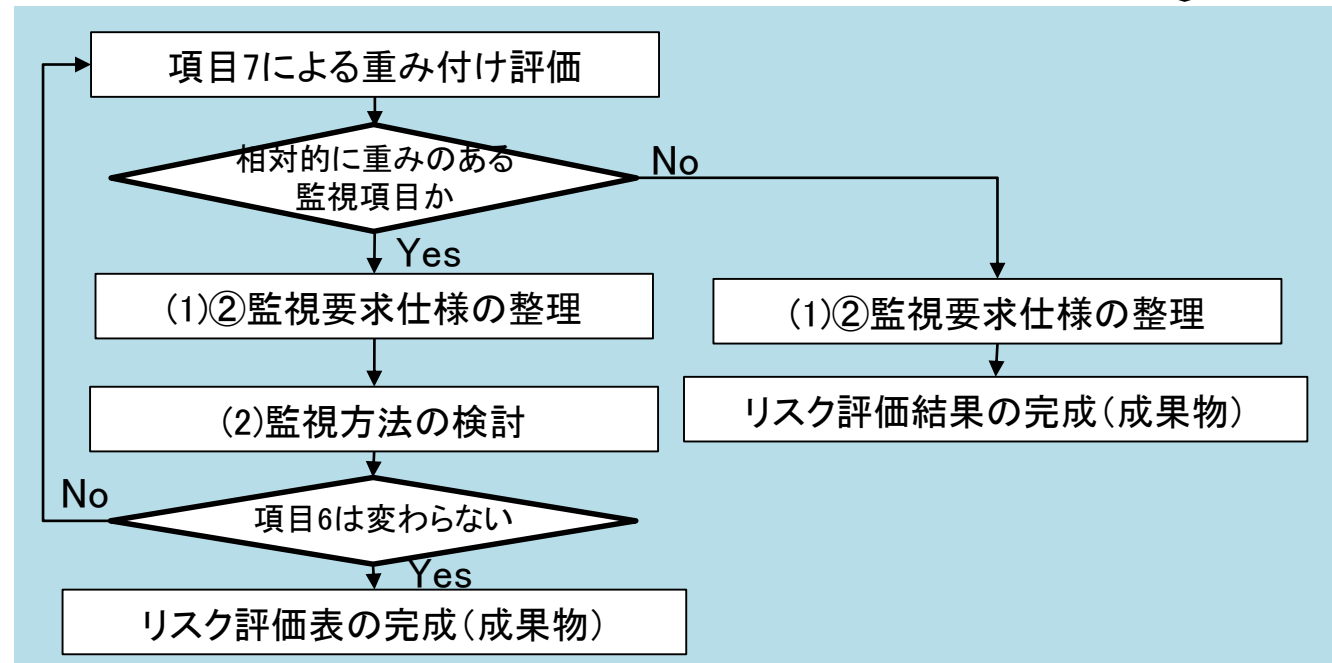


※1: OJTは従来は深層防護レベル1~3毎に展開する原子力安全対策の安全評価手法であるが、本事業では通常作業に注目するため、変則的に活用する。  
 ※2: FMEAは設備の構成要素(機器)の故障を予測し、その原因と影響を評価する設計手法だが、本事業では注目する機器/エラー原因の因果から検知要求を見出すため、変則的に活用する

■FMEA的評価の具体的内容: リスク評価表への入力手順(1/4)

- 前頁に示すFMEA的評価は右表に示すリスク評価表として表現する。
- 前頁の【H】項(重み付け評価)は表中の項目7に入力する。詳細は次頁で示す。
- 重み付けは、右下図のフローのように妥当性を確認した上で決定する。

項目1	項目2	項目3	項目4	項目5	項目6	項目7
対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	連続監視PJでの評価観点
HEPAフィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度低減機能低下の加速	HEPAフィルタの有効流路面積が減少し、フィルタ性能が維持できない	加工地点からHEPAフィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞	フィルタ差圧	評価内容は次頁にて解説



重み付け評価の妥当性確認は、実施項目(1)②および(2)にて行う

■FMEA的評価の具体的内容: リスク評価表への入力手順(2/4)

下表の項目6に示される検知要求(=重要監視項目)に対して、項目7シリーズに示すように安全/作業員/スループットの観点で重み付けする。

項目1	項目2	項目3	項目4	項目5	項目6	前々頁の【H1】項 項目7-1	前々頁の【H2】項 項目7-2	前々頁の【H3】項 項目7-3	項目7-4
対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	作業員による的確な迅速な現場対応への影響	項目7-1の対策によるスループットへの影響	評価結果
HEPAフィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度低減機能低下の加速	HEPAフィルタの有効流路面積が減少し、フィルタ性能が維持できない	加工地点からHEPAフィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞	フィルタ差圧	1点~4点で採点(下表参照)	1点~4点で採点(下表参照)	1点~4点で採点(下表参照)	項目7-1~7-3の積

※項目1~6の記入内容は前頁と同じ



■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表(安全システムの場合)  
 【4点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-2の得点表(燃料デブリ取り出し・搬出システムの場合)  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

・項目7-2は燃料デブリ取り出し・搬出システムと安全システムとで内容が異なる。その理由は次頁参照  
 ・評価結果(項目7-4)に出力される点数の意味と取り扱い方については次々頁にて説明

## ■FMEA的評価の具体的内容: リスク評価表への入力手順(3/4)

### ～重みづけの考え方①(点数が低くなる条件)～

- (項目7-1)・・・既に対策が検討されている、あるいは対策の為に技術開発されているものは点数を低くする。
- (項目7-2)・・・現場から得られるデータ(主にデジタル値)が、作業員が習熟しなくとも容易に判断できるものは点数を低くする。
- (項目7-3)・・・スループットへの影響が無いものは点数を低くする。

### ～重みづけの考え方②(項目7-2が作業設備と安全設備で分かれる理由)～

- 燃料デブリ取り出し・搬出システム(作業システム)は不明瞭なPCV内環境で作業継続する必要がある。よって、PCV内環境変化を克服するための**監視対策の実現性(=導入に課題があるか)**に注目した。
- 安全システムは作業システムが引き起こすPCV内の過渡的な環境変化に対して、安全機能へ与える影響への対策が求められる。よって、**安全機能の劣化原因が特定しやすいか(=予測性が良いか)**に注目した。
- 一方、作業設備で導入した点数の定義文「導入に課題がある／実現性が見込める」については評価者によって、解釈が乖離しないよう評価事例を以下のように定義した。

#### 導入に実現性が見込める:

検知要求に対して適用する計器を仮定し、計器の出力(デジタル値など)から直接的に判断ができる。また計器活用にあたって開発課題などもない。(例. 検知要求がPCV内雰囲気温度である場合: シース型熱電対を使うと仮定すると、熱電対から出力されるデジタル値は、閾値を設定すれば運転員が習熟していなくとも作業阻害事象が発生しているかどうか直接的に判断できる。また、シース型熱電対は既に1Fに適用実績があり、開発課題はない。)

#### 導入に課題がある:

検知要求に対して適用する計器を仮定し、計器の出力(デジタル値など)から直接的に判断ができない。また計器活用にあたって開発課題などがある。

(例. 検知要求がRPV内デブリの寸法である場合: カメラ映像を使うと仮定すると、カメラから出力される映像そのものからは、運転員は寸法を直接的に判断できない。画像処理による機械的処理の支援が必要になる。また、カメラは一般的に耐放射線性が低く、高線量環境で使用するには開発課題がある。)

### ■FMEA的評価の具体的内容: リスク評価表への入力手順(4/4)

※ 本事業はスループット確保の観点での指標を示すが、将来的には作業阻害要因の発生頻度についても考慮していく必要がある。

#### ～項目7-4に出力される点数の性質～

(設計指標としての性質)

- 点数が低いものは、監視不要というわけではない。点数の高低は限られたリソースの中で各重要監視項目への注力度合いを意思決定する一つの指標である(※)。

(監視システム開発としての性質)

- 点数が相対的に低いものは「作業阻害要因への対策が開発中のもの」、「既に概念設計で対策検討が開始されているもの」、「過去に1Fで適用実績がある。あるいは応用が見込めるもの」である。
- 即ち、点数が相対的に高いものは、現時点の1F補助事業等で十分に検討されていないものである可能性が高く、監視技術の開発が要請される可能性が高い。

#### ～項目7-4の得点が高いものに対する取り扱い～

(本事業での扱い)

- 令和4年度の研究で注目すべき重要監視項目候補として最初に注目すべきもの。
- 点数が高いものは各工法へのヒアリング(作業阻害要因への対策有無)によって下がる可能性があるため、点数修正を含めて令和4年度に注目採否を決定する。

(各工法での扱い)

- 各工法が監視システムの導入を検討するための最初に注目すべきインプットとなる。
- なお、本事業は特定の工法に依らない汎用的なリスク評価方法を提唱している。このため各工法は自工法の特徴を考慮してデブリ取り出しモデルを見直した上で、項目7-4を再評価する必要がある。

点数が低い監視項目: 監視は必要だが、本事業実施時点で各種対策が検討されている  
点数が高い監視項目: 本事業実施時点で監視を含めた対策が不十分である可能性がある



■重要監視項目やデブリ取り出しモデルなど、固有IDを管理する課題と対応に向けた要求(1/2)

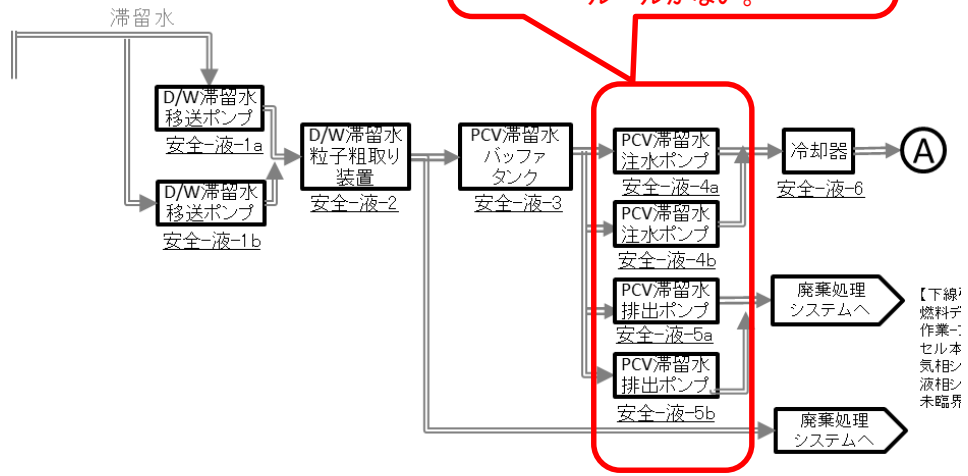
- 本事業では重要監視項目やデブリ取り出しモデル上に機器、作業フローに固有IDを設けて管理した。
- 本IDの表現および採番規則は、検討成果の管理のため、一定の**意味性(\*1)**と**弁別性(\*2)**を持たせているが、見直しに伴う追加・削除といった行為に対する**更新性(あるいは拡張性)**がないため、ひとたび見直すと**意味性・弁別性の多くが失われる問題点がある**。
- 監視システムは新事実の発見やデブリ取り出しの進捗に応じて今後変化していくため、取り扱うIDの**更新性を持たせた上で、意味性と弁別性を損なわないよう管理することが必須**となる。

モデルID		項目			
工程 ｺ3 : デブリ取り出し		項目1	項目2	項目3	項目4
作業 ｻ4 : デブリ加工		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因
代	監視	分析			
結	①	項目番号			
(3)					
		排気フィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	排気フィルタが変化し、排気フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。
		安-気-1			
		同上	同上	同上	同上
		安-気-2			
		同上	同上	同上	同上

(\*1)デブリ取り出しモデルの場合、アラビア数字が大きいほどプロセス上は下流の装置になる。発行するIDは重複させず、各種資料での引用や、ID同士を紐づけしやすくしている。  
 (\*2)例えば、そのIDを見ただけでリスク評価表由来やデブリ取り出しモデル由来のものなど、どの資料に属するものかが分かるようにしている。

【問題例1】  
 安-気-1と安-気-2の間に差し込むべき監視項目が出てきたときのナンバリングルールがない。

【問題例2】  
 設備の改善で各種機器の構成が大きく変化した場合のナンバリングルールがない。



## ■重要監視項目やデブリ取り出しモデルなど、固有IDを管理する課題と対応に向けた要求(2/2)

- 意味性、弁別性、更新性はトレードオフも発生するため、監視システムの運用実態に沿ってIDは発行していく必要がある。参考として、意味性・弁別性・更新性の観点で、IDへの要求を検討した。さらに、現場での運用性を高めるための要求についても追加検討した。
- なお、IDの自動採番およびID同士の紐づけシステムは、既に多くの商用ソフトウェアが存在するため、それらの導入が望まれる。

要求(□:必達、●達成が望ましい)		事例
意味性	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ IDは唯一性をもたせ、二重利用してはならない。これは、廃止したIDを再利用しないことも含む(欠番扱いにする)。</li> <li>□ IDの発行は各システム毎に一意に定める法則で自由に発行できるが、システム間のID同士は任意に紐づけできるようにする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• マイナンバーと保険証。</li> <li>• クレジットカードと個人信用情報 など。</li> </ul>
弁別性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 現場や管理画面上で一目ただけで、そのIDの発行元システムや設備管理元が把握できる表現が望ましい。</li> <li>● ID表現方法としては、英数列に対して、ハイフン、アンダーバー、スペースを適切に挿入し、視認性を高めることが望ましい。</li> </ul>	<p>【名称】 日本産業規格(JIS)                      【表現例】 JIS B 0001-1:2000                      【解説】                      JIS表記以降、部門記号、各部門毎の都合に合わせて一意に定める数列、枝番号、改正履歴が示される。意味性、弁別性が比較的高い他、図書改正を前提とした運用をしているため、更新性も高い。</p>
更新性	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ IDを追加・廃止・変更をしても、他のIDの意味性と弁別性が損なわれない体系にしなければならない。</li> <li>□ IDはその目的に応じて改定番号や改定年度を付与するなど、更新履歴も表現できるようにしなければならない。</li> <li>● 将来的に各種システムの全体が更新され、採番体系の見直しがあっても旧採番体系との紐付きは残すことが望ましい。</li> </ul>	
運用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ IDに紐づくデータベースへのアクセスは、IDの種類を問わない一括検索システムによるワンストップ性にしなければならない。IDの種類毎に検索システムがあると、そのIDの発行元の調査から始まることになり、運用性が著しく損なわれる。</li> </ul>	<p>【名称】 電子学術論文のナンバリングコード(DOI)                      【表現例】 12.3456/ja7890x                      【解説】                      1つの論文毎に個別に設定される。本IDをインターネット上で「https://doi.org/」の後に入力すると目的の論文へアクセスできる。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● IDは英数列だけでなく、バーコードや二次元コードでも発行できることが望ましい。例えば、現場に設置する機器にコードを貼付け、バーコードで読み取ることで、情報へのアクセス速度を高め、利便性が高まる(サイト内は広大であり、現場でIDのメモを取ってオフィスに戻ってその内容を調べることに苦勞が伴う)。</li> </ul>	<p>【名称】医療機器の個体管理・個体識別UDI                      【表現例】(01)04512345678901などの数列およびバーコードor二次元コード                      【解説】                      医療機器の大量流通／発行／管理を想定した米国産の国際的法規制で利用。機器への印字を前提とするため、数列の他、バーコードあるいは二次元コード表記が義務付けられている。トレーサビリティを含めて現実に存在する機器をサイバー上で管理し、現場で容易に情報へアクセスする手段として利便性が高い。</p>

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

- ・早見表は「全体一覧表」と「部分的詳細表」の2種類を作成した。
- ・各表はリスク評価表に示す重要監視項目の一部を統合しているため、合計数は201個とはならない。

## ■全体一覧表

番号	日々の作業フロー	重要監視項目
1	(#1)PCV内の全体状況および作業/安全設備の確認	---(PCV内環境変化無し)
2	(#2)加工対象への接近	移動経路上の水流の流速
3		機器への影響度を予測するための積算被ばく量
4		移動経路上のホットスポット位置
5		目的地までの到達時間
6		干渉物の存在

より詳細を確認する場合は、添付資料3.1.2-1(a)および添付資料3.1.2-1(b)を参照

## ■詳細早見表

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	差圧	PCV外(R/B内)	差圧: PCV内外	2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断		-2000~+500Pa程度	安-気-14,15		
2			電気ヒータ下流側の排気フィルタ前後	2箇所(フィルタ前/フィルタ後)/フィルタ1枚		0~1kPa程度	安-気-1,4,6,8,31,33,48,51,53,55		
3			差圧: デミスタ前後 差圧: PCV内外	2箇所(デミスタ前/デミスタ後)/デミスタ1枚  2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断			安-気-38,39,40,41		

## ■全体一覧表(燃料デブリ取り出し・搬出システム(1/2))

番号	日々の作業フロー	重要監視項目
1	(#1)PCV内の全体状況および作業/安全設備の確認	---(PCV内環境変化無し)
2	(#2)加工対象への接近	移動経路上の水流の流速
3		機器への影響度を予測するための積算被ばく量
4		移動経路上のホットスポット位置
5		目的地までの到達時間
6		干渉物の存在
7		移動経路上の座標
8		(#3)デブリ加工前作業
9	デブリの水没有無検知	
10	中性子吸収剤の散布状況検知	
11	中性子吸収剤の散布時間	
12	(#4)デブリ加工	レーザガウジング入熱量(照射時間×出力)
13		ディスクカッター連続切削時間
14		デブリの加工範囲
15		加工現場の構造物三次元形状(寸法)
16		加工済みデブリの寸法
17		燃料デブリの取り出し量との差
18		ダスト濃度
18		ホットスポットに対する機器への影響度(耐放射線性)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目
19	(#4)デブリ加工	加工現場のホットスポットの線源位置
20		ミスト供給量
21		加工エリアを代表する燃料デブリ性状(圧縮強度)
22		加工中の燃料デブリの圧縮強度
23		加工治具の損耗度
24		構造物が落下モードへ至る構造強度
25		日々のデブリ搬出量
26		内容器へのブリ充填量
27		加工箇所への到達時間
28		加工箇所の水流の存在の把握(目視による官能的判断)
29		中性子束
30		デブリと内容器の相対位置
31		(#5)加工作業後の各種記録

## ■全体一覧表(燃料デブリ取り出し・搬出システム(2/2))

番号	日々の作業フロー	重要監視項目
32	(※6)デブリのセル移送 (PCV→R)	移動経路上の水流の流速
33		機器への影響度を予測するための積算被ばく量
34		内容物の放射線量
35		目的地までの到達時間(距離)
36		干渉物の存在
37		移動経路上の座標
38		(※7)デブリの移送 ① (R→Y)
39	水素濃度/もしくは酸素濃度	
40	空間線量率	
41	内容物の表面線量率	
42	内容物の移動経路検知	
43	内容物の現在地検知	
44	内容物の動線干渉検知	
45	動線干渉検知	
46	ダスト量	
47	ダスト濃度	

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	
48	(※8)デブリの収納	内容物の表面線量率	
49		内容物の内容物飛び出し有無確認時間	
50		内容物の損傷有無確認時間	
51		密封収納容器への異物(デブリ粉)噛み込み除去時間	
52		内容物の収納完了時間	
53		密封収納容器への異物(デブリ粉)付着量	
54		内容物からの内容物飛び出し有無	
55		内容物の損傷有無	
56		(※9)デブリの移送 ② (Y→G)	表面線量率、密封度、表面汚染濃度
57			配管に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度
58	密封収納容器の除染完了時間		
59	(※9)デブリの移送 ② (Y→G)	ダスト濃度	
60		系統内流量	
61	(Y→G)	系統内流量+漏洩量	
62	(※10)デブリの搬出	---(PCV内環境変化無し)	

## ■全体一覧表(気相システム)

番号	重要監視項目	検出場所
1	差圧	PCV内外
2		電気ヒータ下流側の排気フィルタ前後
3		デミスタ前後
4		電気ヒータ下流側の乾式逆洗フィルタ前後
5		電気ヒータ下流側の排気フィルタ前後
6		排気フィルタ前後
7	圧力	PCV内外+数カ所(複数箇所測定は基本設計段階で判断)
8	温度	電気ヒータ前後
9	大気放出放射能 (既設ダスト放射線モニタ相当)	排気フィルタ下流側
10	風量	排風機入口
11	ミスト供給流量	デブリ加工機構

**【補足】**

本事業で定義する重要監視項目の他、将来的な実施計画において以下の管理パラメータの監視も必要(重要監視項目とも一部重複)

- ・ダスト濃度低減機能→PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]   ・静的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa]
- ・動的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa], 水位[m]   ・放出抑制機能→放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]
- ・酸素濃度低減機能→酸素濃度[ppm]

番号	重要監視項目	検出場所
12	ダスト量・核種組成	デミスタ上流側
13		電気ヒータ上流側
14		前処理設備～HEPAフィルタ間
15		HEPAフィルタ～排風機間
16		電気ヒータ～乾式逆洗フィルタ間
17		排気ライン入口近傍(可能な範囲で)
18	ダスト量・粒径分布	デミスタ上流側
19		電気ヒータ～乾式逆洗フィルタ間
20		前処理設備～HEPAフィルタ間
21	ダスト量・化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	前処理設備上流側
22		排気ライン入口近傍(可能な範囲で)
23		HEPAフィルタ～排風機間
24		前処理設備～HEPAフィルタ間
25		電気ヒータ～乾式逆洗フィルタ間
26	デミスタ上流側	
27	化学的性質(pH、塩化物イオン濃度)	デブリ加工機構
28	アブレイシブ量・粒径分布	前処理設備～HEPAフィルタ間
29	(デブリ加工時の)投入熱量	デブリ加工機構

## ■全体一覧表(液相システム(1/2))

### 液相閉じ込めシステム

番号	重要監視項目	検出場所
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	D/W滞留水移送ポンプ上流
2		PCV滞留水排出ポンプ上流
3		D/W
4	アプレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
5		PCV滞留水排出ポンプ上流
6	水位	D/W
7	水位・漏洩量	PCV滞留水バッファタンク
8	水温	PCV内(D/W)
9	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
10		PCV滞留水排出ポンプ上流
11	(デブリ加工時の)投入熱量	加工地点(PCV内)
13	流量・圧力(装置前後の差圧)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 差圧: D/W滞留水粒子粗取り装置の上流及び下流
14	流量	D/W滞留水移送ポンプ下流
15		D/W滞留水移送ポンプ上流または下流
16		PCV滞留水排出ポンプ下流
17	流量・漏洩量	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流
18		漏洩量: 漏洩検知器設置位置
19		漏洩量: 弁・フランジ
20		漏洩量: D/W滞留水粒子粗取り装置近傍

### 未臨界維持システム

番号	重要監視項目	検出場所
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	D/W滞留水移送ポンプ上流
2		PCV滞留水排出ポンプ上流
3	アプレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)	D/W滞留水移送ポンプ上流
4	アプレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
5		PCV滞留水排出ポンプ上流
6	水温	PCV内(D/W)
7	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)	D/W滞留水移送ポンプ上流
8	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布	D/W滞留水粒子粗取り装置下流
9	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
10		PCV滞留水排出ポンプ上流
11	(デブリ加工時の)投入熱量	加工地点(PCV内)
12	流量	PCV滞留水排出ポンプ下流
13		PCV滞留水排出ポンプ上流または下流
14	流量・漏洩量	系統内流量: PCV滞留水排出ポンプ上流または下流

**【補足】**

本事業で定義する重要監視項目の他、将来的な実施計画において以下の管理パラメータの監視も必要(重要監視項目とも一部重複)

- ・ダスト濃度低減機能→PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]   ・静的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa]
- ・動的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa]、水位[m]   ・放出抑制機能→放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]
- ・酸素濃度低減機能→酸素濃度[ppm]

## ■全体一覧表(液相システム(2/2))

### 冷却システム(1/2)

番号	重要監視項目	検出場所
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	D/W滞留水移送ポンプ上流
2	アブレイシブの量	D/W滞留水移送ポンプ上流
3		冷却器上流
4		PCV滞留水注水ポンプ上流
5	アブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
6		PCV滞留水注水ポンプ上流
7	水位・漏洩量	PCV滞留水バッファタンク
8	水温	PCV内(D/W)
9		冷却器下流及び上流
10	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	D/W滞留水移送ポンプ上流
11		冷却器上流
12		PCV滞留水注水ポンプ上流

### 冷却システム(1/2)

番号	重要監視項目	検出場所
13	(デブリ加工時の)投入熱量	加工地点(PCV内)
14		
15	流量・圧力(装置前後の差圧)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 差圧: D/W滞留水粒子粗取り装置の上流及び下流
16	流量	D/W滞留水移送ポンプ下流
17		PCV滞留水注水ポンプ下流
18		D/W滞留水移送ポンプ上流または下流
19	流量・漏洩量	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 漏洩検知器設置位置
20		系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 弁・フランジ
21		系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: D/W滞留水粒子粗取り装置近傍

#### 【補足】

本事業で定義する重要監視項目の他、将来的な実施計画において以下の管理パラメータの監視も必要(重要監視項目とも一部重複)

- ・ダスト濃度低減機能→PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>] ・静的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa]
- ・動的バウンダリ機能→PCV内外差圧[Pa]、水位[m] ・放出抑制機能→放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]
- ・酸素濃度低減機能→酸素濃度[ppm]



# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 気相閉じ込めシステム(1/5)

以下のリスク評価表の番号と紐付き  
添付資料3.1.2-1(a), 添付資料3.1.2-1(b)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	差圧	PCV外(R/B内)	差圧: PCV内外	2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断	Pa	-2000~+500Pa程度	安-気-14,15	差圧計	オンライン
2			電気ヒータ下流側の排気フィルタ前後	2箇所(フィルタ前/フィルタ後)/フィルタ1枚		0~1kPa程度	安-気-1,4,6,8,31,33,48,51,53,55		
3			差圧: デミスタ前後 差圧: PCV内外	2箇所(デミスタ前/デミスタ後)/デミスタ1枚 2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断			安-気-38,39,40,41		
4							安-気-42		
5			差圧: 電気ヒータ下流側の乾式逆洗フィルタ前後 差圧: PCV内外	2箇所(フィルタ前/フィルタ後)/フィルタ1枚 2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断		0~1kPa程度	安-気-43,46,47		
6						-2000~+500Pa程度	安-気-44,45		
7			差圧: 電気ヒータ下流側の排気フィルタ前後 差圧: PCV内外	2箇所(フィルタ前/フィルタ後)/フィルタ1枚 2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断			安-気-28		
8			差圧: 排気フィルタ前後 差圧: PCV内外	2箇所(フィルタ前/フィルタ後)/フィルタ1枚 2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断			安-気-27		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]    動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]    ドライウェル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]    酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

## ■ 詳細早見表: 気相閉じ込めシステム(2/5)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
9	圧力	PCV外(R/B内)	差圧: PCV内外 圧力: 今後の設計段階で検討	2箇所(PCV内1箇所/PCV外1箇所) 代表点のみでなく複数箇所計測の要否は今後の設計段階で判断	PCV内外差圧: Pa 系統内圧力: kPa	工法の種類(気相システムの詳細構成)に大きく依存するため、基本設定段階で確定させる	安-気- 16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,	差圧計 圧力計	オンライン
10	温度	PCV外(R/B内)	電気ヒータ前後	2箇所(ヒータ前/ヒータ後)/ヒータ1枚	℃	0~100℃程度	安-気- 5,7,9,10,11,12,13,32,34,52,54,56,57,58,59,60	熱電対	オンライン
11	既設ダスト放射線モニタ同様	PCV外(R/B内)	排気フィルタ下流側	A/B合計2箇所	Bq/cm <sup>3</sup>	10-6~10-5: Bq/cm <sup>3</sup>	安-気- 2,3,29,30,49,50	ダスト放射線モニタ	オンライン
12	風量	PCV外(R/B内)	排風機入口	1箇所/排風機1台	m <sup>3</sup> /h	0~5000m <sup>3</sup> /h程度	安-気-35,36	流量計	オンライン
13							安-気-37		
14	ミスト供給量流量	PCV内	デブリ加工機構	間接監視項目となるため、1箇所を想定	m <sup>3</sup> /h	デブリ加工機構の設計条件に大きく依存するため、基本設計段階で確定させる	安-気- 4,5,6,7,11,12,14,15,18,19,22,23,26,27,31,32,33,34,41,42,46,47,51,52,53,54,58,59	流量計	オンライン

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウェル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 気相閉じ込めシステム(3/5)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
15	ダスト量・核種組成	ダスト量: PCV内(R/B内) 核種組成: PCV外、R/B内(サンプリング) R/B外(分析)	デミスタ上流側	間接監視項目となるため、1箇所を想定	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 核種組成: 定性分析	工法の種類(気相システムの詳細構成)に大きく依存するため、基本設定段階で確定させる	安-気-40	ダスト量: ダスト濃度計 核種組成: サンプリングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 核種組成
16			電気ヒータ上流側	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-57		
17			前処理設備~HEPAフィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-3,10,17,30,50		
18			HEPAフィルタ~排風機間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-36		
19			電気ヒータ~乾式逆洗フィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-45		
20			排気ライン入口近傍(可能な範囲で)	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-21,25		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 気相閉じ込めシステム(4/5)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
21	ダスト量・粒径分布	ダスト量: PCV外(R/B内) 粒径分布: PCV外(R/B内): サンプル R/B外: 分析	デミスタ上流側	間接監視項目となるため、1箇所を想定。	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm	工法の種類(気相システムの詳細構成)に大きく依存するため、基本設定段階で確定させる	安-気-38	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布: サンプルによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布
22			電気ヒータ~乾式逆洗フィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-43		
23			前処理設備~HEPAフィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			0~1kPa程度		
24	ダスト量・化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	ダスト量、pH: PCV外(R/B内) 塩化物イオン濃度: PCV外(R/B内) 化学組成: PCV外(R/B内): サンプル R/B外: 分析	前処理設備上流側	間接監視項目となるため、1箇所を想定	ダスト量: g/m <sup>3</sup> pH: - 塩素イオン濃度: ppm 化学組成: 定性分析	工法の種類(気相システムの詳細構成)に大きく依存するため、基本設定段階で確定させる	安-気-20	ダスト量: ダスト濃度計 PH: PH計 塩化物イオン濃度: 塩素濃度計 化学組成: 化学組成: サンプルによる分析	オンライン(ダスト量、PH、塩化物イオン濃度) オフライン(化学組成)
25			排気ライン入口近傍(可能な範囲で)	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-24		
26			HEPAフィルタ~排風機間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-35		
27			前処理設備~HEPAフィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-2,16,29,49		
28			電気ヒータ~乾式逆洗フィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定			安-気-44		
29	デミスタ上流側	間接監視項目となるため、1箇所を想定。	安-気-39						

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 気相閉じ込めシステム (5/5)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所 (詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ (概略)	リスク評価表の 分析番号	検出器候補	データ採取方法
30	化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度)	PCV内	デブリ加工機構	間接監視項目となるため、1箇所を想定	pH: - 塩素イオン濃度: ppm	デブリ加工機構の設計条件による	安-気-14,15	PH: PH計 塩化物イオン濃度: 塩素濃度計 化学組成: 化学組成: サンプリングによる分析	オンライン (PH、塩化物イオン濃度) オフライン (化学組成)
31	アブレイシブ量・粒径分布	アブレイシブ量: PCV内(R/B内) 粒径分布: PCV外、R/B内 (サンプリング) R/B外 (分析)	前処理設備~HEPAフィルタ間	間接監視項目となるため、1箇所を想定	アブレイシブ量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm	ダスト粒径: 0.01~10μm(仮) 粒径分布: 同上 流量: 0~5000m <sup>3</sup> /h(仮)	安-気-8,55	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布: サンプリングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布
32	機器出力	PCV内	デブリ加工機構	間接監視項目となるため、1箇所を想定	KW	デブリ加工機構の設計条件による	安-気-9,13	電力量計	オンライン
33							安-気-37,56,60		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 液相系閉じ込めシステム(1/3)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	pH: PCV外 (R/B内) 塩化物イオン濃度: PCV外 (R/B内) 化学組成: PCV外 (R/B内): サンプル R/B外: 分析	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	pH: - 塩素イオン濃度: ppm 化学組成: 定性分析	pH: 5~12 塩化物イオン濃度: 0~200ppm 化学組成: 化学種が特定できること	安-液-3,25	PH: PH計 塩化物イオン濃度: 塩素濃度計 化学組成: 化学組成: サンプリングによる分析	オンライン (PH、塩化物イオン濃度) オフライン (化学組成)
2						pH: 1~14 塩化物イオン濃度: 想定される範囲が測定できること 化学組成: 化学種が特定できること	安-液-18		
3			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管		pH: 5~12 塩化物イオン濃度: 0~200ppm 化学組成: 化学種が特定できること	安-液-10		
4			D/W	取水点近傍に数カ所		安-液-15			
5	アブレイシブの量 (SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	アブレイシブ量: PCV内(R/B内) 粒径分布、粒子密度: PCV外、R/B内 (サンプリング) R/B外 (分析)	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	アブレイシブ量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子の密度: g/m <sup>3</sup>	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-液-4,7,21,26	アブレイシブ量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子の密度: サンプリングによる分析	オンライン: アブレイシブ量 オフライン: 粒径分布、粒子の密度
6						アブレイシブの量: 発生・液相移行しうるアブレイシブの量を包絡すること 粒径分布: ~0.45 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-液-5,12,19		
7			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管		ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-液-11,14		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 液相系閉じ込めシステム(2/3)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
8	水位	PCV外 (R/B内)	D/W	取水点近傍に数カ所	mm	0~300 mm	安-液-15	水位計、ITV (画像解析)	オンライン
9	水位・漏洩量	PCV外 (R/B内)	PCV滞留水バフアタンク	タンク液位: 2箇所(冗長性考慮) 漏えい量: 1カ所	水位: mm 漏洩量: mm または $m^3/h$	水位: 0~4200 mm 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	安-液-22	水位: 水位計 漏洩量: 漏洩検出器、流量計	オンライン
10	水温	PCV内 (R/B内)	PCV内(D/W)	取水点近傍に数カ所	℃	0~100℃	安-液-6	熱電対	オンライン
11							安-液-13		
12	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	PCV内(R/B内) R/B外 (分析)	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	ダスト量: $g/m^3$ 粒径分布: $\mu m$ 粒子の密度: $g/m^3$	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 $\mu m$ ~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-液-1,2,16,17,20,22,23,24	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布・粒子の密度: サンプルングによる分析	オンライン (ダスト量) オフライン (粒径分布・粒子の密度)
13			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管			安-液-8,9		
14	(デブリ加工時の)投入熱量	PCV内	加工地点(PCV内)	加工地点近傍で数カ所	kW	20 kW	安-液-6	電力量計	オンライン
15							安-液-13		
16	流量・圧力(装置前後の差圧)	PCV外 (R/B内)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 差圧: D/W滞留水粒子粗取り装置の上流及び下流	系統内流量: 1カ所 差圧: 装置前後で1カ所ずつ	流量: $m^3/h$ 差圧: Pa	閉塞を検知可能であること	安-液-23,26	流量: 流量計 差圧: 差圧計	オンライン

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度 $[Bq/cm^3]$   
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧 $[Pa]$       動的バウンダリ機能: PCV内外差圧 $[Pa]$       ドライウエル水位 $[m]$   
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度 $[Bq/cm^3]$       酸素濃度低減機能: 酸素濃度 $[ppm]$

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 液相系閉じ込めシステム (3/3)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所 (詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ (概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
17	流量	PCV外 (R/B内)	D/W滞留水移送ポンプ下流	1カ所 ポンプの下流配管	m <sup>3</sup> /h	~10 m <sup>3</sup> /h	安-液-1,2,3,4,5,7	流量計	オンライン
18			D/W滞留水移送ポンプ上流または下流	1カ所 ポンプの下流配管			安-液-16		
19			系統内流量: 1カ所	安-液-19					
20			PCV滞留水排出ポンプ下流	1カ所 ポンプの下流配管			安-液-8,10,11,14		
21							安-液-9,12		
22	流量・漏洩量	PCV外 (R/B内)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 漏洩検知器設置位置	系統内流量: 1カ所 ポンプの下流配管 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定	流量: m <sup>3</sup> /h 漏洩: mmまたはm <sup>3</sup> /h	流量: ~10 m <sup>3</sup> /h 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	安-液-17	流量: 流量計 漏洩量: 漏洩検出器、流量計	オンライン
23				系統内流量: 1カ所 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定			安-液-18		
24			系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 弁・フランジ	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定			安-液-20,21		
25			系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: D/W滞留水粒子粗取り装置近傍	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 1カ所(粗取り装置近傍)			安-液-24,25		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]



# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 液相系未臨界維持システム(1/2)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	pH: PCV外 (R/B内) 塩化物イオン濃度: PCV外 (R/B内) 化学組成: PCV外 (R/B内): サンプルング R/B外: 分析	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	pH: - 塩素イオン濃度: ppm 化学組成: 定性分析	pH: 5~12 塩化物イオン濃度: 0~200ppm 化学組成: 化学種が特定できること	安-臨-3	PH: PH計 塩化物イオン濃度: 塩素濃度計 化学組成: 化学組成: サンプルングによる分析	オンライン (PH、塩化物イオン濃度) オフライン (化学組成)
2			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管			安-臨-10,16		
3	アブレイシブの量 (SS(浮遊物質)濃度)	PCV外 (R/B内)	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	g/m <sup>3</sup>	発生・液相移行しうるアブレイシブの量を包絡すること	安-臨-5	ダスト濃度計	オンライン
4	アブレイシブの量 (SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	アブレイシブ量: PCV外 (R/B内) 粒径分布、粒子密度: PCV外 (R/B内): サンプルング R/B外: 分析	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	アブレイシブ量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子密度: g/m <sup>3</sup>	アブレイシブの量: 発生・液相移行しうるアブレイシブの量を包絡すること 粒径分布: 数十 μm~数百 mm (粒子粗取り装置に捕捉されるべき粒子を検出可能なこと) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-臨-6,7	アブレイシブ量、ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子密度: サンプルングによる分析	オンライン: アブレイシブ量、ダスト量 オフライン: 粒径分布、粒子密度
5						アブレイシブの量: 発生・液相移行しうるアブレイシブの量を包絡すること 粒径分布: ~0.45 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-臨-12		
6			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管		ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-臨-11,14		
7						アブレイシブの量: 発生・液相移行しうるアブレイシブの量を包絡すること 粒径分布: ~0.45 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-臨-17		
8	水温	PCV内	PCV内(D/W)	取水点近傍に数カ所	℃	0~100℃	安-臨-13	熱電対	オンライン
9	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)	PCV外 (R/B内)	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所	g/m <sup>3</sup>	発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること	安-臨-1	ダスト濃度計	オンライン
10	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布	ダスト量: PCV外 (R/B内) 粒径分布: PCV外 (R/B内): サンプルング 分析: R/B外	D/W滞留水粒子粗取り装置下流	1カ所	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 数十 μm~数百 mm (粒子粗取り装置に捕捉されるべき粒子を検出可能なこと)	安-臨-1,2,3,4,5,6,7	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布: サンプルングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 液相系未臨界維持システム(2/2)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
11	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	PCV外 (R/B内)	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子密度: g/m <sup>3</sup>	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 数十 μm~数百 mm (粒子粗取り装置に捕捉されるべき粒子を検出可能なこと) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-臨-2,4	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子密度: サンプリングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布、粒子密度
			PCV滞留水排出ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管		ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること			
12		PCV内	加工地点(PCV内)	加工地点近傍で数カ所	kW	20 kW	安-臨-13	電力量計	オンライン
14	流量	PCV外 (R/B内)	PCV滞留水排出ポンプ下流	1カ所 ポンプの下流配管	m <sup>3</sup> /h	~10 m <sup>3</sup> /h	安-臨-14	流量計	オンライン
15			PCV滞留水排出ポンプ上流または下流	系統内流量: 1カ所					
16	流量・漏洩量	PCV外 (R/B内)	系統内流量: PCV滞留水排出ポンプ上流または下流 漏洩量: 漏洩検知器設置位置	系統内流量: 1カ所 ポンプの下流配管 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定	流量: m <sup>3</sup> /h 漏洩: mmまたはm <sup>3</sup> /h	流量: ~10 m <sup>3</sup> /h 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	安-臨-15,16	流量: 流量計 漏洩量: 漏洩検出器、流量計	オンライン

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

## ■ 詳細早見表: 液相系冷却システム(1/2)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	pH、塩化物イオン濃度、化学組成	pH: PCV外 (R/B内) 塩化物イオン濃度: PCV外 (R/B内) 化学組成: PCV外 (R/B内): サンプル R/B外: 分析	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	pH: - 塩素イオン濃度: ppm 化学組成: 定性分析	pH: 5~12 塩化物イオン濃度: 0~200ppm 化学組成: 化学種が特定できること	安-冷-16,22	PH: PH計 塩化物イオン濃度: 塩素濃度計 化学組成: 化学組成: サンプリングによる分析	オンライン (PH、塩化物イオン濃度) オフライン (化学組成)
2			D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所			安-冷-3		
3	アブレイシブの量	PCV外 (R/B内)	冷却器上流	1カ所	g/m <sup>3</sup>	発生・液相移行しうるアブレイシブ量を包絡すること	安-冷-7	ダスト濃度計	オンライン
4			PCV滞留水注水ポンプ上流	1カ所			安-冷-12		
5	アブレイシブの量 (SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	アブレイシブ量: PCV外 (R/B内) 粒径分布・粒子密度: PCV外 (R/B内): サンプル R/B外: 分析	D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管	アブレイシブ量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子の密度: g/m <sup>3</sup>	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-冷-4,17,19,23	アブレイシブ量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子の密度: サンプリングによる分析	オンライン: アブレイシブ量 オフライン: 粒径分布、粒子の密度
6			PCV滞留水注水ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管			安-冷-10		
7	水位・漏洩量	PCV外 (R/B内)	PCV滞留水バフアタンク	タンク水位: 2箇所(冗長性考慮) 漏えい量: 1カ所	水位: m <sup>3</sup> /h 漏洩: mmまたはm <sup>3</sup> /h	水位: 0~4200 mm 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	安-冷-13	液位: 液位計 漏洩量: 漏洩検出器、流量計	オンライン
8	水温	PCV内	PCV内(D/W)	取水点近傍に数カ所			安-冷-5,11	熱電対	オンライン
9		PCV外 (R/B内)	冷却器下流及び上流	装置前後で1カ所ずつ		0~100℃	安-冷-6,7		
10			D/W滞留水移送ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管			安-冷-1,2,13,14,15,18,20,21		
11	ダスト量(SS(浮遊物質)濃度)・粒径分布・粒子の密度	ダスト量: PCV外 (R/B内) 粒径分布、粒子密度: PCV外 (R/B内): サンプル R/B外: 分析	冷却器上流	1カ所 ポンプの上流配管	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子密度: g/m <sup>3</sup>	ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	安-冷-6	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子の密度: サンプリングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布、粒子の密度
12			PCV滞留水注水ポンプ上流	1カ所 ポンプの上流配管			安-冷-8,9		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

## ■ 詳細早見表: 液相系冷却システム(2/2)

番号	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
13	(デブリ加工時の)投入熱量	PCV内	加工地点(PCV内)	加工地点近傍で数カ所	kW	20 kW	安-冷-11	電力量計	オンライン
14							安-冷-5		
15	流量・圧力(装置前後の差圧)	PCV外 (R/B内)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 差圧: D/W滞留水粒子粗取り装置の上流及び下流	系統内流量: 1カ所 差圧: 装置前後で1カ所ずつ	流量: m <sup>3</sup> /h 差圧: Pa	閉塞を検知可能であること	安-冷-20,23	流量: 流量計 差圧: 差圧計	オンライン
16	流量	PCV外 (R/B内)	D/W滞留水移送ポンプ下流	1カ所 ポンプの下流配管	m <sup>3</sup> /h	~10 m <sup>3</sup> /h	安-冷-1,2,3,4	流量計	オンライン
17			PCV滞留水注水ポンプ下流	1カ所 ポンプの下流配管		~3 m <sup>3</sup> /h	安-冷-8,9,10,12		
18			D/W滞留水移送ポンプ上流または下流	系統内流量: 1カ所		~10 m <sup>3</sup> /h	安-冷-14,17		
19	流量・漏洩量	PCV外 (R/B内)	系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 漏洩検知器設置位置	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定	流量: m <sup>3</sup> /h 漏洩量: mmまたはdm <sup>3</sup> /h	流量: ~10 m <sup>3</sup> /h 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	安-冷-15,16	流量: 流量計 漏洩量: 漏洩検出器、流量計	オンライン
20			系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: 弁・フランジ	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 漏えいポテンシャルの数・配置に応じて設定			安-冷-18,19		
21			系統内流量: D/W滞留水移送ポンプ上流または下流 漏洩量: D/W滞留水粒子粗取り装置近傍	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 1カ所(粗取り装置近傍)			安-冷-21,22		

【注記】通常時の管理パラメータとして、本表以外にも以下を監視する必要がある(一部重要監視項目と重複あり)  
 ダスト濃度低減機能: PCVダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]  
 静的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      動的バウンダリ機能: PCV内外差圧[Pa]      ドライウエル水位[m]  
 放出抑制機能: 放出ダスト濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]      酸素濃度低減機能: 酸素濃度[ppm]

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(1/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
1	(H2)加工対象への接近	移動経路上の水流の流速	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm/sec	PCV内移動機構の外力(水流による圧力)への対抗力に基づき, 決定すること。	作B-1	流量計, ITV	オンライン
2		機器への影響度を予測するための積算被ばく量	PCV内	PCV内移動機構の要素機器	デブリ取り出し装置に付帯	Gy	デブリ取り出しPJでは100~最大5000 Gy/h環境で使う装置に1日10時間×20日を想定。月1回の機器交換を考慮しているため, 機器被ばく線量の最大値の2倍とする。 100Gy~2E+06Gy	作B-2	線量率計	オンライン
3		移動経路上のホットスポット位置	PCV内	PCV内移動機構の移動経路上(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯あるいは専用の監視機構に付帯	Gy/h	【座標】 1~6m(ベDESTAL内プラットフォームの直径を参考に設定)  【線量率】 デブリ取り出しPJでは100~最大5000 Gy/h環境での装置運用を想定している。バックグラウンドを超える線量をホットスポットと想定し, 以下とする。 [RPV内部] 1000~10000 Gy/h [RPV以外] 100~1000Gy/h	作B-2	・1F-1 PCV詳細調査での開発機器を活用(水中環境のデブリ(ホットスポット源)の発見のためγ線と中性子線を用いた計測システム) ・1F-2 PCV詳細調査での開発機器を活用(γ線・中性子線の計測およびレーザーによる構造物形状データを組み合わせたホットスポット位置推定システム)	オンライン
4		目的地までの到達時間	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	min	PCV内移動機構の速度によるが, 1日10時間作業であることを考慮すると最大でも1時間以内に現場到着が必要と仮定し, 以下とする。 ・10~120分	作B-1	時計	オンライン
5		干渉物の存在	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm	1~100cm	作A-1,2,3,4	・1F-1 PCV詳細調査での開発技術(水中環境での超音波測定による水中の構造物位置情報を把握する技術) ・1F-2 PCV詳細調査での開発技術(気中環境でのレーザーによる干渉物の維持情報を把握する技術)	オンライン
6		移動経路上の座標	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm	工法の種類(デブリ取り出し・搬出システム)に大きく依存するため, 基本設定段階で確定させる	作B-3,4,5,6,7	・1F-1 PCV詳細調査での開発技術(単眼カメラによる構造物特徴点と画像対応手法を用いた自己位置推定技術) ・ITV+レーザーキャン	オンライン

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(2/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
7	(93)デブリ加工前作業	中性子吸収剤散布箇所の水流速	PCV内	デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm/sec	中性子吸収剤が分散する閾値に基づき決定すること	作A-5	流量計、ITV	オンライン
8		デブリの水没有無検知	PCV内	水中のデブリ(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	臨界防止PJよりデブリの1回当たりの加工範囲は16cm立法と要求されていることを考慮し、以下とする。 1cm~20cm	作A-1,2,3,4	・1F-1 PCV詳細調査での開発技術(水面の検出手法としてS偏光とP偏光を組み合わせた水面反射特性を利用した技術) ・ITV	オンライン
9		中性子吸収剤の散布状況検知	PCV内	・デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	mm	非溶解性吸収材(Gd2O3粒子タイプまたは水ガラスタイプ)の散布範囲(16cm×16cm程度)に1mm以上の厚さで散布されていることを確認できるレンジとする。	作A-6,7,8,9	臨界PJでの開発技術(中性子計測器)	オンライン
10		中性子吸収剤の散布時間	PCV内	・デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	min	中性子吸収剤の通常の散布完了時間を30分と仮定し、以下とする。 10~60分	作A-5	時計	オンライン

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(3/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
11	(94)デブリ加工	レーザガウジング入熱量(照射時間×出力) ディスクカッター連続切削時間	PCV内	デブリ加工工具	デブリ取り出し装置が備えるデブリ加工工具ごと	w	放射性物質の沸点への接近および超過を予測できるレンジとすること	作A-1,2,3,4,5	時計(入熱量=装置定格出力×時間)	オンライン
12		デブリの加工範囲	PCV内	加工中のデブリ(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	臨界PJでは1回当たりの加工範囲を16cm×16cm×16cm立法に制限していることから以下とする。 ・1cm~30cm	作A-6,7,8,9,10	ITV、レーザースキャン、フェイズドアレイ	オンライン
13		加工現場の構造物三次元形状(寸法)	PCV内	PCV内(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	ロボットアームで加工箇所へ加工工具をアクセスさせると想定し、以下とする。 ・1cm~100cm	作B-2	デブリ取り出しPJ(多関節MNPの遠隔操作支援手法)での開発技術(事前に構造物配置情報を取得し、機械処理することで加工箇所へのアクセス性向上を支援・評価する技術)	オンライン
14		加工済みデブリの寸法	PCV内	加工後のデブリ(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	臨界PJでは1回当たりの加工範囲を16cm×16cm×16cm立法に制限していることから以下とする。 ・1cm~30cm	作B-6,7,8	ITV、レーザースキャン、フェイズドアレイ	オンライン
15										
16		燃料デブリの取り出し量との差	PCV内	デブリ加工エリア近傍(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯 あるいは 専用の監視機構に付帯	cm/sec	デブリ加工機構の外力(水流による圧力)への対抗力に基づき、決定すること。	作B-5	重量計	オンライン
17										
18		ダスト濃度	PCV内	デブリ加工エリア近傍(RPV, ベDESTAL内外)もしくは安全設備へのダスト流入経路上	デブリ取り出し装置に付帯 もしくは D/Wなどダスト流入経路上1点(気相/液相)	g/cm <sup>3</sup>	1E-06~1 g/cm <sup>3</sup>	作A-1,2,3,4,5	ダスト濃度計	オンライン
19										
20		ホットスポットに対する機器への影響度(耐放射線性)	PCV内	燃料デブリ加工機構の要素機器	デブリ取り出し装置に付帯	Gy	デブリ取り出しPJでは100~最大5000 Gy/h環境で使う装置に1日10時間×20日を想定。月1回の機器交換を考慮しているため、機器被ばく線量の最大値の2倍とする。  100Gy~2E+06Gy	作B-4	線量率計	オンライン

# 添付資料2.2.4-3: 重要監視項目早見表(代替監視項目設定版)

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(4/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
21	(94)デブリ加工	加工現場のホットスポットの線源位置	PCV内	・デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯 あるいは 専用の監視機構に付帯	Gy/h	【座標】 1~6m (ベデスタル内プラットフォームの直径を参考に設定)  【線量率】 デブリ取り出しP3では100~最大5000 Gy/h環境での装置運用を想定している。バックグラウンドを超える線源をホットスポットと想定し、以下とする。 【RPV内部】 1000~10000 Gy/h 【RPV以外】 100~1000Gy/h	作B-4	・1F-1 PCV詳細調査での開発機器を活用(水中環境のデブリ(ホットスポット源)の発見のためγ線と中性子線を用いた計測システム) ・1F-2 PCV詳細調査での開発機器を活用(γ線・中性子線の計測およびレーザーキャンによる構造物形状データを組み合わせたホットスポット位置推定システム)	オンライン
22		ミスト供給量	PCV内	・デブリ加工箇所(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	L/min	ミスト噴霧量は0.05L/minであることを想定し以下とする。 0.01~0.1L/cm <sup>2</sup> /min	作A-12	流量計	オンライン
23		加工エリアを代表する燃料デブリ性状(圧縮強度)	PCV外(R/B内)	【測定場所とする】 1F構内ホットセル	ホットセル内に1台設置	Mpa	200~2000MPa	作B-1	分析装置	オフライン
24		加工中の燃料デブリの圧縮強度	PCV内	デブリ(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	MPa	200~2000MPa	作B-3	ピッカーズ試験(押し込み式)もしくは CERCHAR試験(引っかき式)	オフライン
25		加工治具の損耗度	PCV内	燃料デブリ加工機構の加工治具(ディスクカッター, チゼル, AWJ, レーザガウジン等)	デブリ取り出し装置に付帯	mm	加工治具の損耗が確認できる測定レンジであること	作B-3	ITV, レーザースキャン, 装置診断装置	オンライン
26		構造物が落下モードへ至る構造強度	PCV内	デブリ加工エリア周辺の構造物(RPV, ベデスタル内外)	・デブリ取り出し装置に付帯 あるいは ・専用の移動機構に付帯	N/mm <sup>2</sup>	測定対象素材の許容応力による。軟鋼の場合, 許容応力は100N/mm <sup>2</sup> なので, 以下。 ・100~1000 N/mm <sup>2</sup>	作A-11	分析装置	オフライン
27		日々のデブリ搬出量	PCV内	・デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	kg	内容物の最大充填可能量もしくは内法寸法に基づき決定する	作B-5,10,11,12,13,14,15	重量計	オンライン
28		内容物へのデブリ充填量	PCV内	・デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	mm	内容物の最大充填可能量もしくは内法寸法に基づき決定する	作B-16,17,18,19,20	ITV, レーザースキャン	オンライン
29		加工箇所への到達時間	PCV内	PCV内(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	min	10秒~60分	作B-2	時計	オンライン
30		加工箇所の水の流れの存在の把握(目視による官能的判断)	PCV内	-	-	-	-	作B-5,10	ITV+トレース用塗料など	オンライン
31		中性子束	PCV内	加工中のデブリ(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	1/s	中性子計数率 1E0~1E4[1/s]	作A-6,7,8,9,10	中性子検出器	オンライン
32				落下箇所(ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯 あるいは 専用の移動機構に付帯	1/cm <sup>2</sup> ・s	中性子束 1E0~1E4[1/cm <sup>2</sup> /sec]	作A-11		
33		デブリと内容物の相対位置	PCV内	デブリ加工エリア近傍(RPV, ベデスタル内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	内容物の大きさによって決定されるが, φ200mmユニット缶と想定し, 以下とする 0cm~30cm	作B-11,12,13	ITV, レーザースキャン	オンライン, 画像解析(ITV)
34								作B-14,15		



## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(5/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
35	(56)デブリのセル移送(PCV→R)	移動経路上の水流の流速	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm/sec	PCV内移動機構の外力(水流による圧力)への対抗力に基づき, 決定すること。	作B-1	ITV/流量計	オンライン
36		機器への影響度を予測するための積算被ばく量	PCV内	PCV内移動機構の要素機器	デブリ取り出し装置に付帯	Gy	デブリ取り出しPJでは100~最大5000 Gy/h環境で使う装置に1日10時間×20日を想定。月1回の機器交換を考慮しているため, 機器被ばく線量の最大値の2倍とする。  100Gy~2E+06Gy	作B-2	線量率計	オンライン
37		内容物の放射線量	PCV内	PCV内移動機構の移動経路上(RPV, ベDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯あるいは専用の監視機構に付帯	Gy/h	デブリ取り出しPJでは100~最大5000 Gy/h環境での装置運用を想定している。バックグラウンドを超える線源をホットスポットと想定し, 以下とする。 [RPV内部] 1000~10000 Gy/h [RPV以外] 100~1000Gy/h	作B-2	・1F-2 PCV詳細調査での開発機器を活用(y線・中性子線の計測およびレーザーキャンによる構造物形状データを組み合わせたホットスポット位置推定システム)	オンライン
38		目的地までの到達時間	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	min	PCV内移動機構の速度によるが, 1日10時間作業であることを考慮すると最大でも1時間以内に現場到着が必要と仮定し, 以下とする。 ・10~120分	作B-1	ITV/レーザーキャン	オンライン
39		干渉物の存在	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm	1~100cm	作A-1,2,3,4	ITV/レーザーキャン	オンライン
40	移動経路上の座標	PCV内	RPV, ベDESTAL内外	デブリ取り出し装置に付帯, もしくは専用の監視機構に付帯	cm	PCV内移動機構を誘導できるレンジとする。	作B-3,4,5,6	ITV/レーザーキャン	オンライン	

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(6/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
41	(#7)デブリの移送①(R→Y)	内容器の水素発生量	PCV内	セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	Vol%	水素燃焼下限限界値を考慮し、以下とする。 0~5Vol%	作A-2	水素濃度計	オンライン
42		水素濃度/もしくは酸素濃度	PCV内	セル(Y)	セル(Y)の代表箇所に1点以上	Vol%	水素燃焼下限限界値を考慮し、以下とする。 0~5Vol%	作A-2	水素濃度計 または 酸素濃度計	オンライン
43		空間線量率	PCV内	セル(Y)	セル(Y)の代表箇所に1点以上	mSv/h	セルの環境条件(線量率)を考慮し、以下とする。 0.1~10 mSv/h	作B-3	線量率計	オンライン
44		内容器の表面線量率	PCV内	セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	mSv/h	セルの環境条件(線量率)を考慮し、以下とする。 1~100 mSv/h	作B-3	線量率計	オンライン
45		内容器の移動経路検知	PCV内	セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	mm	セル内移送機構①を誘導できるレンジとする。	作B-4	ITV,レーザースキャン	オンライン
46		内容器の現在地検知	PCV内	セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	mm	セル内移送機構①を誘導できるレンジとする。	作B-5	ITV,レーザースキャン	オンライン
47		内容器の動線干渉検知	PCV内	セル(R),(Y)	セル(R)と(Y)の代表箇所に1点以上	mm	他作業との動線干渉が把握できる測定レンジにすること。	作B-1	ITV,レーザースキャン	オンライン
48		動線干渉検知	PCV内	セル(R),(Y)	セル(R)と(Y)の代表箇所に1点以上	mm	他作業との動線干渉が把握できる測定レンジにすること。	作B-2	ITV,レーザースキャン	オンライン
49		ダスト量	PCV内	セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	g/cm <sup>3</sup>	1E-06~1 g/cm <sup>3</sup>	作A-3	線量率計	オンライン
50		ダスト濃度	PCV内	セル(Y)	セル(Y)の代表箇所に1点以上	g/cm <sup>3</sup>	1E-06~1 g/cm <sup>3</sup>	作A-1	線量率計	オンライン
51	PCV内		セル(R)	セル(R)の代表箇所に1点以上	作A-1					

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(7/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
52	(78)デブリの 収納	内容器の表面線量率	PCV内	内容器	収納機構に付帯する	Gy/h	内容器の放射線に影響を受ける機器に依存するが、以下と仮定する。 1 Gy/h以上	作B-4	線量率計	オンライン
53		内容器の内容物飛び出し有無確認時間	PCV内	セル(Y)	収納機構に付帯	min	確認作業時間によるが30分で完了するものとし、以下とする。 ・10～60分	作B-1	時計	オンライン
54		内容器の損傷有無確認時間	PCV内	セル(Y)	収納機構に付帯	min	確認作業時間によるが30分で完了するものとし、以下とする。 ・10～60分	作B-2	時計	オンライン
55		移送容器への異物(デブリ粉) 噛み込み除去時間	PCV内	移送容器	収納機構に付帯する	min	付着物除去時間によるが通常1時間以内に完了するものとし、以下を設定する。 1～120分	作B-3	時計	オンライン
56		内容器の収納完了時間	PCV内	移送容器	収納機構に付帯する	min	付着物除去時間によるが通常1時間以内に完了するものとし、以下を設定する。 1～120分	作B-4	時計	オンライン
57		移送容器への異物(デブリ粉) 付着量	PCV内	移送容器	収納機構に付帯する	異物の付着モードにより変わるが、目視検出と仮定し以下とする。 ・個	1個以上	作B-3	時計	オンライン
58		内容器からの内容物飛び出し有無	PCV内	セル(Y)	収納機構に付帯	内容器からの物体飛び出し量として以下を設定する。 ・mm	移送容器の許容クリアランスに依存するが、以下と仮定する。 10 ～ 400 mm	作B-1	ITV、レーザーสキャン	オンライン
59		内容器の損傷有無	PCV内	セル(Y)	収納機構に付帯	内容器の亀裂および凹み有無を確認するものとして以下を設定する。 ・mm	内容器の健全性の定義に依存するが、以下と仮定する。 1～10mm	作B-2	ITV、レーザーสキャン	オンライン

## ■ 詳細早見表: 燃料デブリ取り出し・搬出システム(8/8)

番号	日々の作業フロー	重要監視項目	検出場所	検出場所(詳細)	検出箇所数	単位	測定レンジ(概略)	リスク評価表の分析番号	検出器候補	データ採取方法
60		表面線量率、密封度、表面汚染濃度	PCV外(R/B内)	移送容器の表面	セル外搬出機構に付帯	Bq/cm <sup>2</sup>	1F構内移送基準に依存するが、基準を0.4Bq/cm <sup>2</sup> と仮定し以下とする。 ・0.01~1 Bq/cm <sup>2</sup>	作B-1	放射線測定器	オンライン
61	(#9)デブリの移送②(Y→G)	配管に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	PCV外(R/B内)	配管内	1カ所 配管内	ダスト量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布: μm 粒子の密度: g/cm <sup>3</sup>	※配管は未臨界維持のために内径が制限されるものとし、PCV内の液相設備と同様の仕様として以下とする。 ダスト量: 発生・液相移行しうるダスト量を包絡すること 粒径分布: 0.096 μm~10 mm (発生・液相移行しうる粒径を包絡すること) 粒子の密度: 発生・液相移行しうる粒子の密度を包絡すること	作A-2,3	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布、粒子の密度: サンプリングによる分析	オンライン: ダスト量 オフライン: 粒径分布、粒子の密度
62		移送容器の除染完了時間	PCV内	移送容器の表面	セル外搬出機構に付帯	min	除染時間によるが通常1時間以内に完了するものとし、以下を設定する。 1~120分	作B-1	時計	オンライン
63		ダスト濃度	PCV内	セル(G)	セル(G)の代表箇所に1点以上	g/cm <sup>3</sup>	セル(G)は作業員がアクセスする可能性もあることから以下とする '1E-06~1 g/cm <sup>3</sup> もしくは 0~100 mSv/h	作A-1	ダスト濃度計	オンライン
64	PCV内		セル(Y)	セル(Y)の代表箇所に1点以上	作A-1					
65	(#9)デブリの移送②(Y→G)	系統内流量	PCV内	排水配管内	1カ所 配管	m <sup>3</sup> /h	※配管は未臨界維持のために内径が制限されるものとし、PCV内の液相設備と同様の仕様として以下とする。 ~10 m <sup>3</sup> /h	作A-2	流量計	オンライン
66		系統内流量+漏洩量	PCV内	系統内流量: 配管内 漏洩量: 配管外	系統内流量: 1カ所 漏えい量: 1カ所	系統内流量: m <sup>3</sup> /h 漏えい量: mmまたはm <sup>3</sup> /h	※配管は未臨界維持のために内径が制限されるものとし、PCV内の液相設備と同様の仕様として以下とする。 流量: ~10 m <sup>3</sup> /h 漏洩量: 有意な漏洩を検知できること	作A-3	系統内流量: 流量計 漏洩量: 漏洩検知器	オンライン

## ■評価結果提示前の補足情報: 安全機能へ影響を与える間接要因の分類(1/2)

リスク評価を実施するにあたり、デブリ取り出し作業に伴い発生する外乱(ダスト/ミストの発生、デブリ性状など)により安全機能を構成する機器の劣化を想定するが、外乱の特徴を考慮し、機器に与える影響として次の4項目に類型化し、間接監視の重要監視項目として抽出した。

## (A) 外乱が直接的に安全機能に影響を与える要因

- 加工地点において発生するダストおよびミストが直接機器に蓄積・付着等することにより悪影響を与える。
  - ✓ ダストの蓄積により、機器に悪影響を与える(間接監視項目例: 機器に流入するダスト量および粒径分布)
  - ✓ ミストの蓄積により、機器に悪影響を与える(間接監視項目例: 機器に流入するミストの量)

## (B) 外乱が間接的に安全機能に影響を与える要因

- 加工地点において発生するダスト等が機器に流入することにより、化学的および放射化等により機器の部材を変化させ、悪影響を与える。
  - ✓ 化学的性質の変化に伴い、機器に悪影響を与える(間接監視項目例: 機器に流入するダスト量および化学組成)
  - ✓ 照射による劣化に伴い、機器に悪影響を与える(間接監視項目例: 機器に流入するダスト量および核種組成)

## ■評価結果提示前の補足情報: 安全機能へ影響を与える間接要因の分類(2/2)

## (C) 外乱が安全機器を構成する機器の設計条件に影響を与える要因

- 加工地点において発生する外乱が、安全機能を構成する機器の設計条件に影響を与えることにより機器に悪影響を与える。
  - ✓ 設計条件の悪化に伴い、機器に悪影響を与える(間接監視項目例: 機器設計条件(PCV内圧力、温度、相対湿度、ガス組成))

## (D) その他

- 上記の分類に当てはまらないが、デブリ取り出し作業に伴い、機器特有の故障モードにより、機器に悪影響を与える。

外乱の特徴(ダスト/ミストの発生、デブリ性状)を考慮し、  
機器の劣化モードとして4つの因子を考慮する

# 添付資料3.1.2-1(a): 令和4年度版 安全システムのリスク評価表

## ■リスク評価表への外乱情報入力手順(1/2)

作業設備の活動によるPCV内の環境変化表(以下は一例)に対して、リスク評価表の項目5に入力する外乱を下表のように外乱①～③に分類した。

燃料デブリ種類	想定性状				想定加工方法			ダスト粒径、			
	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	圧縮強度 [MPa]	主成分	所在領域	加工モード	機器名	備考	気中加工(飛散抑制剤無し)		水中加工	
								---	[μm]	---	[μm]
燃料デブリ塊	11	クラフト・岩盤上(上部):2000 上記以外:230	【Uリッチ】 (U, Zr)O <sub>2</sub> -C、 (Zr, U)O <sub>2</sub> -T、 【Feリッチ】 UO <sub>2</sub> 、 Fe、 Zry-2、 α-Zr(O)、 SUS/Fe、 Fe <sub>2</sub> (Zr, U)、 ZrB <sub>2</sub> 、 Fe <sub>2</sub> B、 Zr(O)、 Fe <sub>2</sub> Zr	PV内部 ペDESTAL (床部/内部/外部) ドライウエル	切断	ディスク カッター	ブレード径: 200 mm  刃厚: 1 mm  回転数: 1000 rpm	気中浮遊	何れもピーク粒径範囲 2~3(質量濃度分布) 0.1~0.3(個数濃度分布)	気中浮遊	不明
								沈降	何れもメディアン径 0.3(個数分布) 7.9(堆積分布)	沈降	50より上
								周辺部飛散	気中浮遊/沈降の何れか	水中浮遊	50以下

ダスト総発生量		マスバランスとダスト移行量						加工助剤投入量		飛散防止剤投入量 (気中加工時のみ)			
		気中加工		ダスト移行量		水中加工							
気中加工	水中加工	マスバランス		ダスト移行量	マスバランス		ダスト移行量	投入物	総投入量	投入物	総投入量		
[g]	[g]	---	[%]	[g]	---	[%]	[g]						
1242.1	1242	気中浮遊	4	49.7	気中浮遊	2E-05	0.0	【気中加工】 水:1L/min	198 L	ミスト: 0.05L/min	9.9 L		
		沈降	37	459.6	沈降	99.5	1235.9					↑ (※)	↑ (※)
		周辺部飛散	59	732.9	水中浮遊	0.5	6.2						

外乱①

外乱②

外乱③

## ■リスク評価表への外乱情報入力手順(2/2)

前頁の①～③

No.	外乱
①	加工時に発生するダストの粒径および飛散量
②	加工治具に噴射される加工助剤の使用
③	ダスト飛散防止助剤の使用
④	その他 ・加工時の入熱 ・加工時のアブレイシブ投入

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	安-気-1	排気フィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	排気フィルタが劣化し、排気フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	加工地点から排気フィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の閉塞による物理的な破損	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	-	排気フィルタにおけるダストの蓄積により差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	同上	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1	

分析番号はこれら2つの文字列の組み合わせで定義

(a)直接/(b)間接監視を抽出することにより、デブリ取り出し作業に伴う安全機能の低下を予知

エラーの直接原因に対して、デブリ取り出し作業の外乱との因果関係を整理

エラーの直接原因に対して、デブリ取り出し作業の外乱との因果関係を整理

【分析番号のナンバリングの法則】  
 気相設備: 安-気-アラビア数字  
 液相設備: 安-液-アラビア数字  
 冷却設備: 安-冷-アラビア数字  
 液相未臨界維持設備: 安-臨-アラビア数字

(※1)レイアウトの都合上項目2の名称を省略している。項目2の正式名称は「対象機器が担う安全機能もしくは作業機能」である。  
 (※2)レイアウトの都合上、項目2の名称を省略。正式名称: 対象機器が担う安全機能もしくは作業機能  
 (※3)レイアウトの都合上、項目7-1の名称を省略。正式名称: 安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無  
 (※4)レイアウトの都合上、項目7-3の名称を省略。正式名称: 項目7-1の対策によるスループットへの影響

スループットの低下の要因として安全機能の低下と定義(項目3)し、デブリ取り出し作業に伴う外乱が安全機能を構成する機器に影響を与える要因を分析し、作業遅延を回避するための検知要求を整理



## ■ 気相閉じ込めシステム (1/21)

モデルID				【(※) 記号凡例】										■ 項目7-1の得点表				■ 項目7-2の得点表				■ 項目7-3の得点表			
工程 03 : デブリ取り出し				★: 代替監視を詳細に評価する対象 ●: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある				【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い				【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中よりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき			
作業 04 : デブリ加工				重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価											
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②		項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)						
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要		検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	エラー(間接原因)対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点						
-	安-気-1	排気 フィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度 上昇	排気フィルタが劣化し、排気フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	①	加工地点から排気フィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の閉塞による物理的な破損	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタにおけるダストの蓄積により差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1						
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1							
★	安-気-2	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストによるフィルタ要素の腐食による部分的破損	(c)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比 (a)排気フィルタ下流側ダスト濃度	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回することを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	1	排気フィルタに蓄積するダストによるフィルタ要素の腐食でフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。この傾向は、フィルタに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4					
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) フィルタ下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4							
★	安-気-3	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストの照射によるフィルタ要素の部分的破損	(c)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比 (a)排気フィルタ下流側ダスト濃度	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回することを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	1	排気フィルタに蓄積するダストの照射によるフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。またこの傾向は流入するダストの量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4					
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2							

見え消し部は代替監視項目を設定した箇所

## ■ 気相閉じ込めシステム (2/21)

モデルID	
工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 ▲: 代替監視が、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1での適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1での適用実績がある	■項目7-2の得点表 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業中の前週によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき
--	--	--	--

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の審み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対策によるスループットへの影響	個別	代表点
-		排気フィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	排気フィルタが劣化し、排気フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	
★	安-気-4	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着によるフィルタ要素の部分的閉塞	(a)排気フィルタ大口ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	排気フィルタに蓄積するミストによる部分的閉塞により差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	
★		同上	同上	同上	同上			(a)フィルタ入口相対湿度 (a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様の相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時は使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタに流入するガスの相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における加工助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	
★	安-気-5	同上	同上	同上	同上	同上	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上になり、排気フィルタの性能劣化	(b)排気フィルタ大口ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	
-		同上	同上	同上	同上			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	
★	安-気-6	同上	同上	同上	同上	③	加工地点から排気フィルタに移行する飛散防止助剤の付着による部分的閉塞	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は飛散防止助剤に起因してフィルタ要素に流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	

## ■ 気相閉じ込めシステム (3/21)

モデルID		【(8) 記号凡例】										■項目7-1の得点表		■項目7-2の得点表		■項目7-3の得点表			
工程	コ3 : デブリ取り出し	★: 代替監視を設定 - : 検討対象 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 □: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										[4点] 対応策が決定されていない [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある		[4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い		[4点] 対応策がなく、スループット影響が不明 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1/1点のとき			
作業	サ4 : デブリ加工	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果① (※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検討要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
★	安-気-7	排気フィルタ	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	排気フィルタが劣化し、排気フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	③	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上に上がり、排気フィルタの性能劣化	(a)排気フィルタ入口相対湿度 (a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタに流入するガスの相対湿度が排気フィルタの設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における飛散防止助剤 (ミスト) 散布量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)排気フィルタ入口ダスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。フィルタ前にはデミスタがありミストは除去されるため、計測不要とする。		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
-		同上	同上	同上	同上			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタに流入するアプレイシブの蓄積により排気フィルタが部分的に閉塞し、排気フィルタ差圧が上昇する。この傾向は、加工に起因して排気フィルタに流入するアプレイシブ量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1
△	安-気-8	同上	同上	同上	同上	④	加工地点からフィルタに移行するアプレイシブの蓄積によるフィルタ要素の部分的閉塞	(b)排気フィルタ入口におけるアプレイシブ量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。		1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1
★	安-気-9	同上	同上	同上	同上	同上	加工の入熱によるD/W滞留水の蒸発に伴い、排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上に上がり、排気フィルタの性能劣化	(c)フィルタ入口相対湿度 (a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタ入口における相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み) →2系列化しかない	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)加工地点における入熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み) →2系列化しかない	3	常時監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3

## ■ 気相閉じ込めシステム (4/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの発生原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
-	安-気-10	電気ヒータ (前処理設備)	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	電気ヒータが劣化し、フィルタの設計値が担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	①	加工地点から電気ヒータに移行するダストの照射による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は流入するダスト量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
△		同上	同上	同上	同上			(b)排気フィルタ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4
-	安-気-11	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から電気ヒータに移行する加工助剤の付着による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は加工助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)電気ヒータ六日ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 電気ヒータ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一電気ヒータにミストが付着し電気ヒータ性能が低下した際には、電気ヒータ前後差温度の設計値逸脱を確認し、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と電気ヒータが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
-	安-気-12	同上	同上	同上	同上	③	加工地点から電気ヒータに移行する飛散防止助剤の付着による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は飛散防止助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)電気ヒータ六日ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 電気ヒータ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一電気ヒータにミストが付着し電気ヒータ性能が低下した際には、電気ヒータ前後差温度の設計値逸脱を確認し、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と電気ヒータが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■ 気相閉じ込めシステム (5/21)

モデルID		【(8) 記号凡例】										■項目7-1の得点表			■項目7-2の得点表			■項目7-3の得点表		
工程	コ3 : デブリ取り出し	★: 代替監視を設定 - : 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 □: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										[4点] 対応策が決定されていない [3点] 対応策は存在するが、開発上のものである [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある			[4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い			[4点] 対応策がなく、スループット影響が不明 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる [1点] スループットへの影響はない、もしくは1-1点のとき		
作業	サ4 : デブリ加工	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	点数	エラー(間接原因)対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
-	安-気 -13	電気ヒータ (前処理設備)	ダスト濃度低減	PCV内ダスト濃度上昇	電気ヒータが劣化し、フィルタの設計値が担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	①	加工時の入熱によるPCV温度上昇による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は流入するガスの温度を上昇させる加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	PCV設計温度を超過しないよう加工作業を進めることを前提とする	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★		同上	同上	同上	同上			(b)加工地点における大熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。		1	PCV設計温度を超過しないよう加工作業を進めることを前提とする	3	常時監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	4	
■		PCV (一次パウダリ)	静的パウダリ	PCV内外差圧低下	PCVが劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。	②	加工助剤(ミスト)の蓄積によるPCV壁面の腐食による部分的破損	(a)PCV内外差圧	直接 (項目4)	(詳細検討要) PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、PCV壁面のインリーク箇所を調査し、補修等の対応が必要と考える。	PCV壁面の腐食による開口面積拡大によりPCV内外差圧が低下し、またこの傾向はPCV壁面における液相の化学的性質に影響を受けることから選定。	4	安全機能への影響が大きい。(ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上での補修には課題がある)	4	PCV内外差圧の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	3	安全機能への影響が大きい。PCV補修が完了するまで作業停止となる。	48		
■	安-気 -14	同上	同上	同上	同上			(b-1)D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスト量 (b-1)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(詳細検討要) D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、PCV壁面のインリーク箇所を調査し、補修等の対応が必要と考える。		4	安全機能への影響が大きい。(ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上での補修には課題がある)	4	常時監視が必要であり、予測性は悪い。	3	安全機能への影響が大きい。PCV補修が完了するまで作業停止となる。	48	48	
■		同上	同上	同上	同上			(b-2)D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミストの化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度)	間接 (項目5)	D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスト量の計測は困難であり、代替監視パラメータの設定も困難である。 PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、PCV壁面のインリーク箇所を調査し、補修等の対応が必要と考える。		4	安全機能への影響が大きい。(ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上での補修には課題がある)	4	常時監視が必要であり、予測性は悪い。	3	安全機能への影響が大きい。PCV補修が完了するまで作業停止となる。	48		

## ■ 気相閉じ込めシステム (6/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価						
分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
											点数	安全機能への影響	点数	作業員による応へる迅速な現場対応への影響	点数	エラー (原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
代 替 監 視 結 果 ① (※)	工 程 コ 3 : デ プ リ 取 り 出 し	作 業 サ 4 : デ プ リ 加 工																
■		静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	PCVが劣化し、開口面積が増大することでインシレークが発生し、PCV内外差圧が低下する。	エラーの直接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	4	安全機能への影響が大きい。 (ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上ででの補修には課題がある)	4	作業員による応へる迅速な現場対応への影響	3	安全機能への影響が大きい。PCV内外差圧の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	48	
■	安-気-15	同上	同上	同上	③	飛散防止助剤 (ミスト) によるPCV壁面の腐食による部分的破損	(a)PCV内外差圧	間接 (項目5)	(詳細検討要) D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、PCV壁面のインシレーク箇所を調査し、補修等の対応が必要となることが想定されるため、今後対応検討が必要と考える。	PCV壁面の腐食による開口面積拡大によりPCV内外差圧が低下し、またこの傾向はPCV壁面における液相の化学的性質に影響を受けることから選定。	4	安全機能への影響が大きい。 (ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上ででの補修には課題がある)	4	常時監視が必要であり、予測性は悪い。	3	安全機能への影響が大きい。PCV補修が完了するまで作業停止となる。	48	48
■		同上	同上	同上			(b-2)D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスの化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度)	間接 (項目5)	(詳細検討要) D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミスト量の計測は困難であり、代替監視パラメータの設定も困難である。 PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、PCV壁面のインシレーク箇所を調査し、補修等の対応が必要となることが想定されるため、今後対応検討が必要と考える。		4	安全機能への影響が大きい。 (ファン風量増の場合は過剰スベックになる可能性・開口位置を特定した上ででの補修には課題がある)	4	常時監視が必要であり、予測性は悪い。	3	安全機能への影響が大きい。PCV補修が完了するまで作業停止となる。	48	
-		静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	フィルタケーシングが劣化し、開口面積が増大することでインシレークが発生し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点からフィルタケーシングに移行するダストの腐食による部分的破損	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはフィルタケーシングの状態を確認し、異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	フィルタケーシングの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向はフィルタケーシングに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	
△	安-気-16	同上	同上	同上			(b)フィルタケーシング入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とフィルタケーシングの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 系統内圧力に異常値が確認された際にはフィルタケーシングの状態を確認し、フィルタケーシングに異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4
-		同上	同上	同上			(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはフィルタケーシングの状態を確認し、異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	フィルタケーシングの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向はフィルタケーシングに流入するダストの量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	
△	安-気-17	同上	同上	同上			(b)フィルタケーシング入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、系統内圧力を確認し、フィルタケーシングに異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4

## ■ 気相閉じ込めシステム (7/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
		工程 コ3 : デブリ取り出し																	
		作業 サ4 : デブリ加工																	
—		フィルタ ケー シング	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	フィルタケーシングが劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。			(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはフィルタケーシングの状態を確認し、異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	フィルタケーシングの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向はフィルタケーシングに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	
★	安-気-18	同上	同上	同上	同上	②	加工地点からフィルタケーシングに移行する加工助剤の付着による部分的破損	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場とフィルタケーシングが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	
—		ダクト	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	ダクトが劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。			(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはフィルタケーシングの状態を確認し、異常があれば使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	フィルタケーシングの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向はフィルタケーシングに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	
★	安-気-19	同上	同上	同上	同上	③	加工地点からフィルタケーシングに移行する飛散防止助剤の付着による部分的破損	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場とフィルタケーシングが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	
—		ダクト	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	ダクトが劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。			(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはダクトの状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	ダクトの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向は排気ラインに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	
△	安-気-20	同上	同上	同上	同上	①	加工地点からダクトに移行するダストの腐食による部分的破損	(b)排気ライン入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とダクトの因果関係を見出すことはできないため、定期的な監視でも問題ない。 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはダクトの状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で発生頻度が問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	

【(※) 記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - -: 検討対象外  
■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■ 気相閉じ込めシステム (8/21)

モデルID  
 工程 コ3 : デブリ取り出し  
 作業 サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1/4点のとき

代替監視 結果① (※)	分析 番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	エラー(間接原因)対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
ー		ダクト	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	ダクトが劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。		(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはダクトの状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	ダクトの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向は排気ラインに流入するダストの量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4		
△	安-気-21	同上	同上	同上	同上	①	(b)排気ライン入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とダクトの因果関係を見出すことはできず、定期的な監視でも問題ない。他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定され、PCV内外差圧が設計値を逸脱した際には、系統内圧力を確認し、ダクトに異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4	
ー		同上	同上	同上	同上	②	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはダクトの状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	ダクトの破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向は排気ラインに流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★	安-気-22	同上	同上	同上	同上		(b)排気ライン入口のダスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気ライン入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 発生頻度が低いことが想定され、万が一ダクトに異常があれば、非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	常時監視が必要であり、加工現場とダクト部が物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
ー		同上	同上	同上	同上	③	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際にはダクトの状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	ダクトの部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向は排気ラインに流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破換箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★	安-気-23	同上	同上	同上	同上		(b)排気ライン入口のダスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気ライン入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 発生頻度が低いことが想定され、万が一ダクトに異常があれば、非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	常時監視が必要であり、加工現場とダクト部が物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	



## ■ 気相閉じ込めシステム (9/21)

モデルID		【(8) 記号凡例】										■ 項目7-1の得点表		■ 項目7-2の得点表		■ 項目7-3の得点表			
工程	コ3 : デブリ取り出し	★: 代替監視を設定 - -: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 ○: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開廃途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある		【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い		【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 作業中によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき			
作業	サ4 : デブリ加工	重要監視項目								重要監視項目の重み付け評価									
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対 応への影響	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
一	安-気 -24	隔離 弁 (系 統内 に存 在す る弁 を総 合)	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	隔離弁が劣化し、開口 面積が増大することで インレークが発生し、 PCV内外差圧が低下す る。	①	加工地点から隔離弁に移行する ダストの腐食による部分的破壊	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いこと が想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された 際には隔離弁の状態を確認し、異常があれば非常用 系に切り替えることにより機能を担保するため、多 様化の検討は不要とする。	隔離弁の部分的破壊により一次バ ウンダリの開口が増大することで PCV内外の差圧が低下し、またこ の傾向は排気ラインに流入するダ ストの量・化学的性質 (pH、塩 化物イオン濃度、化学組成) に影 響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後 検知が可能だが、予測性が悪い。 破損箇所の特定が困難となる場合 が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気ライン入口のダスト量・ 化学的性質 (pH、塩化物イオン 濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデ ブリ取り出し作業と隔離弁の因果関係を見出すこ とはできず、定期的な監視でも問題ない。 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いこと が想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された 際には隔離弁の状態を確認し、異常があれば非常用 系に切り替えることにより機能を担保するため、多 様化の検討は不要とする。	同上	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係 を見出すためには定期的な監視で 問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4
一	安-気 -25	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から隔離弁に移行する ダストの照射による部分的破壊	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いこと が想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された 際には隔離弁の状態を確認し、異常があれば非常用 系に切り替えることにより機能を担保するため、多 様化の検討は不要とする。	隔離弁の部分的破壊により一次バ ウンダリの開口が増大することで PCV内外の差圧が低下し、またこ の傾向は排気ラインに流入するダ ストの量・核種組成に影響を受け ることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後 検知が可能だが、予測性が悪い。 破損箇所の特定が困難となる場合 が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気ライン入口のダスト量・ 核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデ ブリ取り出し作業と隔離弁の因果関係を見出すこ とはできず、定期的な監視でも問題ない。 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いこと が想定され、PCV内外差圧が設計値を逸脱した際 には、系統内圧力を確認し、ダクトに異常があれば非 常用系に切り替えることにより機能を担保するた め、多様化の検討は不要とする。	同上	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	2	デブリ取り出し作業との因果関係 を見出すためには定期的な監視で 問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4
一	安-気 -26	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から隔離弁に移行する 加工助剤の付着による部分的破壊	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いこと が想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された 際には隔離弁の状態を確認し、異常があれば非常用 系に切り替えることにより機能を担保するため、多 様化の検討は不要とする。	隔離弁の部分的破壊により一次バ ウンダリの開口が増大することで PCV内外の差圧が低下し、またこ の傾向は排気ラインに流入するミ ストの量に影響を受けることから 選定。	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	4	系統内圧力の常時監視により事後 検知が可能だが、予測性が悪い。 破損箇所の特定が困難となる場合 が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気ライン入口のダスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給 量	間接 (項目5)	(可能) 排気ライン入口におけるミスト量の計測は困難であ るため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視 パラメータとする。 発生頻度が低いことが想定され、万が一ダクトに異 常があれば、非常用系に切り替えることにより機能 を担保するため、多様化検討は不要とする。	同上	1	安全機能への影響はあるが、他の バウンダリ部分と比較して発生頻 度が低いことが想定される。	4	常時監視が必要であり、加工現場 と隔離弁が物理的に距離があるた め、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4

## ■ 気相閉じ込めシステム (10/21)

モデルID  
 工程 03 : デブリ取り出し  
 作業 04 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 -: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1/1点のとき

代替監視 検討結果① (※)	分析 番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点
-	安-気-27	隔離弁 (系統内に存在する弁を総合)	静的バウンダリ	PCV内外差圧低下	隔離弁が劣化し、開口面積が増大することでインリークが発生し、PCV内外差圧が低下する。	③	加工地点から隔離弁に移行する飛散防止助剤の付着による部分的破損	(a)系統内圧力	直接 (項目4)	(設定不要) 他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定されるが、系統内圧力に異常値が確認された際には隔離弁の状態を確認し、異常があれば非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	隔離弁の部分的破損により一次バウンダリの開口が増大することでPCV内外の差圧が低下し、またこの傾向は排気ラインに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	系統内圧力の常時監視により事後検知が可能だが、予測性が悪い。破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★		同上	同上	同上	同上			(b)排気ライン入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気ライン入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 発生頻度が低いことが想定され、万が一ダクトに異常があれば、非常用系に切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	1	安全機能への影響はあるが、他のバウンダリ部分と比較して発生頻度が低いことが想定される。	4	常時監視が必要であり、加工現場と隔離弁が物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
-	安-気-28	排気フィルタ	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	フィルタ要素が劣化し、排風機の設計値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から排気フィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の閉塞による物理的な破損	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目録または日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1	
△		同上	同上	同上	同上			(b)排気フィルタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	1	ダストの蓄積により差圧が上昇し、またこの傾向は排気フィルタに流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1	
★	安-気-29	同上	同上	同上	同上			(c)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比 (a)排気フィルタ下流側ダスト濃度	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回ることを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	1	排気フィルタに蓄積するダストによるフィルタ要素の腐食でフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。この傾向は、フィルタに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4	
△		同上	同上	同上	同上			(b)排気フィルタ入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2	

## ■ 気相閉じ込めシステム (11/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの発生原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か? 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
★	排気フィルタ	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	フィルタ要素が劣化し、排風機的设计値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から排気フィルタに移行するダストの照射によるフィルタ要素の部分的破損	(a)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回ることを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	排気フィルタに蓄積するダストの照射によるフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度が低下する。またこの傾向は流入するダストの量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4
△	同上	同上	同上	同上			②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(b)排気フィルタ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(可能) 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して排気フィルタに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1
-	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して排気フィルタに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1
★	同上	同上	同上	同上			②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	排気フィルタに流入するミストの相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における加工助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1
★	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞			(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタに流入するガスの相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における加工助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1
★	同上	同上	同上	同上			②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。フィルタにはデミスタがありミストは除去されるため、計測不要とする。	排気フィルタに流入するガスの相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における加工助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - -: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは2-1が1点のとき

## ■ 気相閉じ込めシステム (12/21)

モデルID		【(※) 記号凡例】										■項目7-1の得点表		■項目7-2の得点表		■項目7-3の得点表			
工程	コ3 : デブリ取り出し	★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績がない 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある		【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い		【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき			
作業	サ4 : デブリ加工	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による応へる・迅速な現場対 応への影響	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
-	安-気 -33	排気 フィルタ	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	フィルタ要素が劣化し、排風機的设计値が担保されないことで排気流量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	③	加工地点から排気フィルタに移行する飛散防止助剤の飛散による部分的閉塞	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して排気フィルタに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	4
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行する飛散防止助剤の飛散による部分的閉塞	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★	安-気 -34	同上	同上	同上	同上	同上	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上となり、排気フィルタの性能劣化	(a)フィルタ入口相対湿度 (b)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様様の相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上となり、排気フィルタの性能劣化	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
-	安-気 -35	排風 機	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	排風機が劣化し、排風機的设计値が担保されないことで排気流量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から排風機に移行するダストによる腐食による排風機の部分的破損	(a)排風機風量	直接 (項目4)	(設定不要) 排風機風量が設計値を逸脱した際には、使用排風機を切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	排風機に蓄積するダストによるフィルタ要素の腐食で排風機が部分的に破損し、排風機風量が低下する。この傾向は、排風機に流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	排風機2系列化による使用排風機切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	排風機風量の常時監視により事後検知が可能だが予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排風機に移行するダストによる腐食による排風機の部分的破損	(b)排風機入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排風機の因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 排風機風量が設計値を逸脱した際には、使用排風機を切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	4	

## ■ 気相閉じ込めシステム (13/21)

モデルID  
 工程 03 : デブリ取り出し  
 作業 04 : デブリ加工

【(8) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 -: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある	■項目7-2の得点表 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1/3点のとき
--	--	--	---

代替監視 検討 結果① (※)	分析 番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	点数	エラー(間接原因)対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点
-	安-気-36	排風機	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	排風機が劣化し、排風機の設計値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から排風機に移行するダストの照射による排風機の部分的破損	(a)排風機風量	直接 (項目4)	(設定不要) 排風機風量が設計値を逸脱した際には、使用排風機を切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	排風機2系列化による使用排風機切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	排風機風量の常時監視により事後検知が可能だが予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
△		同上	同上	同上	同上			(b)排風機入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排風機の因果関係を見出すことはできないため、定期的な監視でも問題ない。排風機風量が設計値を逸脱した際には、使用排風機を切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2	
-	安-気-37	同上	同上	同上	同上	④	加工時の入熱によるPCV温度上昇による排風機の性能劣化	(a)排風機風量	直接 (項目4)	-	1	PCV設計温度を超過しないように加工作業を進めることを前提とする	3	排風機風量の常時監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3	
★		同上	同上	同上	同上			(b)加工地点における大熱量 (c)加工設備の機器出力	間接 (項目4)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	1	PCV設計温度を超過しないように加工作業を進めることを前提とする	3	排気ファン上流側温度の常時監視を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3	
-	安-気-38	デミスタ(前処理設備)	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	デミスタが劣化し、排風機の設計値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点からデミスタに移行するダストの蓄積による部分的閉塞	(a)デミスタ差圧	直接 (項目4)	-	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	デミスタ差圧の常時監視により事後検知が可能であり、PCV内外差圧の兆候より事前予測可能。	1	項目7-1が1点のため	3	3	
△		同上	同上	同上	同上			(b)デミスタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とデミスタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1	

## ■ 気相閉じ込めシステム (14/21)

モデルID  
 工程 03 : デブリ取り出し  
 作業 04 : デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

代替監視 検討結果① (※)	分析 番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による 応へる様・迅速な現場対 応への影響	点数	作業員による エラー (間接原因) 対応 によるスループットへの 影響	個別	代表点
-	安-気-39	デミスタ (前処理設備)	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	デミスタが変化し、排風機的设计値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点からデミスタに移行するダストによる腐食による部分的破損	(a)デミスタ差圧	直接 (項目4)	-	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	デミスタ差圧の常時監視により事後検知が可能であり、PCV内外差圧の急落より事前予測可能。	1	項目7-1が1点のため	3		3
△		同上	同上	同上	同上			(b)デミスタ入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とデミスタの因果関係を見出すことはできないため、定期的な監視でも問題ない。デミスタ差圧が設計値を逸脱した際には、使用デミスタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2		2
-	安-気-40	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からデミスタに移行するダストの照射による部分的破損	(a)デミスタ差圧	直接 (項目4)	-	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	デミスタ差圧の常時監視により事後検知が可能であり、PCV内外差圧の急落より事前予測可能。	1	項目7-1が1点のため	3		3
△		同上	同上	同上	同上			(b)デミスタ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業とデミスタの因果関係を見出すことはできないため、定期的な監視でも問題ない。PCV内外差圧が設計値を逸脱し、デミスタ差圧も設計値を逸脱した際には、使用デミスタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2		2
-	安-気-41	同上	同上	同上	同上	②	加工地点からデミスタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(a)デミスタ差圧	直接 (項目4)	-	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	デミスタ差圧の常時監視により事後検知が可能であり、PCV内外差圧の急落より事前予測可能。	1	項目7-1が1点のため	3		3
★		同上	同上	同上	同上			(b)デミスタ入口のダスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) デミスタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一デミスタにミストが蓄積しても、使用デミスタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場とデミスタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4		4

## ■ 気相閉じ込めシステム (15/21)

モデルID		【(※) 記号凡例】										■項目7-1の得点表			■項目7-2の得点表			■項目7-3の得点表		
工程	コ3 : デブリ取り出し	★: 代替監視を設定 - -: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要										【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある			【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い			【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは1.1が1点のとき		
作業	サ4 : デブリ加工	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
代替監視検討結果① (※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの発生原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
-	安-気-42	デミスタ (前処理設備)	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	デミスタが変化し、排風機的设计値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	③	加工地点からデミスタに移行する飛散防止助剤の付着による部分的閉塞	(a)デミスタ差圧	直接 (項目4)	-	デミスタの部分的閉塞によりデミスタ前後の差圧が上昇し、またこの傾向はデミスタに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	デミスタ差圧の常時監視により事後検知が可能であり、PCV内外差圧の兆候より事前予測可能。	1	項目7-1が1点のため	3	4	
★		同上	同上	同上	同上			(b)デミスタ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) デミスタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一デミスタにミストが蓄積しても、使用デミスタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	1	デミスタ2系列化による使用デミスタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場とデミスタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4		
-	安-気-43	乾式逆洗フィルタ (前処理設備)	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	乾式逆洗フィルタの劣化により、排風機的设计値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から乾式逆洗フィルタに移行するダストの蓄積による部分的閉塞	(a)乾式逆洗フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	乾式逆洗フィルタの部分的閉塞により乾式逆洗フィルタ前後の差圧が上昇する。この傾向は乾式逆洗フィルタに流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1	
△		同上	同上	同上	同上			(b)乾式逆洗フィルタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と乾式逆洗フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1		
-	安-気-44	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から乾式逆洗フィルタに移行するダストによる腐食による部分的破損	(a)乾式逆洗フィルタ差圧	直接 (項目4)	(設定不要) 乾式逆洗フィルタ差圧が設計値を逸脱した際には、使用乾式逆洗フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	乾式逆洗フィルタ差圧の常時監視により事後検知が可能だが予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4		
△		同上	同上	同上	同上			(b)乾式逆洗フィルタ入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と乾式逆洗フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 乾式逆洗フィルタ差圧が設計値を逸脱した際には、使用乾式逆洗フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2		

## ■ 気相閉じ込めシステム (16/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視 結果① (※)	分析 番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による稀・迅速な現場対 応への影響	エラー(間接原因)対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点	
-	安-気-45	乾式 逆洗 フィル タ (前 処理 設 備)	動的バウンダリ	PCV内外差圧低下	乾式逆洗フィルタの劣化により、排風機の設計値が担保されないことで排気風量が低下し、PCV内外差圧が低下する。	①	加工地点から乾式逆洗フィルタに移行するダストの照射による部分的破損	(a)乾式逆洗フィルタ差圧	直接 (項目4)	(設定不要) 乾式逆洗フィルタ差圧が設計値を逸脱した際には、使用乾式逆洗フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	乾式逆洗フィルタに蓄積するダストによる照射でフィルタ要素が部分的に破損し、乾式逆洗フィルタ前後の差圧が低下する。この傾向は、乾式逆洗フィルタに流入するダストの量・核種組成に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	乾式逆洗フィルタ差圧の常時監視により事後検知が可能だが予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
△		同上	同上	同上	同上			(b)乾式逆洗フィルタ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と乾式逆洗フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 PCV内外差圧が設計値を逸脱し、乾式逆洗フィルタ差圧も設計値を逸脱した際には、使用乾式逆洗フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。		フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2	
-	安-気-46	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から乾式逆洗フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(a)乾式逆洗フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	乾式逆洗フィルタの部分的閉塞により乾式逆洗フィルタ前後の差圧が上昇し、またこの傾向は乾式逆洗フィルタに流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)乾式逆洗フィルタ大目ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 乾式逆洗フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	乾式逆洗フィルタに流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と乾式逆洗フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
-	安-気-47	同上	同上	同上	同上	③	加工地点から乾式逆洗フィルタに移行する飛散防止助剤の付着による閉塞	(a)乾式逆洗フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	乾式逆洗フィルタの部分的閉塞により乾式逆洗フィルタ前後の差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	4
★		同上	同上	同上	同上			(b)乾式逆洗フィルタ大目ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 乾式逆洗フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	乾式逆洗フィルタに流入するダストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と乾式逆洗フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4

【(※) 記号凡例】

- ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外
- : 代替監視のために詳細な検討が必要
- △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表

- [4点] 対応策が決定されていない
- [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである
- [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない
- [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表

- [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い
- [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い
- [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い
- [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表

- [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明
- [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる
- [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる
- [1点] スループットへの影響はない、もしくは2-1点のとき



## ■ 気相閉じ込めシステム (17/21)

モデルID  
 工程 03 : デブリ取り出し  
 作業 04 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 ☆: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開業上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業量によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1/1点のとき

代替監視 検討 結果① (※)	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価						
	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
分析番号	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	作業量による的確・迅速な現場対応への影響	エラー (間接原因) 対称によるスループットへの影響	個別	代表点	
-	排気フィルタ	放出抑制	排気フィルタ下流側ダスト濃度上昇	排気フィルタが劣化し、フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	①	加工地点から排気フィルタに移行するダストの蓄積によるフィルタ要素の閉塞による物理的破損	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタにおけるダストの蓄積による部分的閉塞によりフィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1
△	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストによるフィルタ要素の閉塞による部分的破損	(b)排気フィルタ入口のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であるが、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	排気フィルタにおけるダストの蓄積による部分的閉塞によりフィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1
★	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストによる部分的破損	(c)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比 (a)排気フィルタ下流側ダスト濃度	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回ることを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	排気フィルタに蓄積するダストによるフィルタ要素の腐食でフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。この傾向は、フィルタに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4
△	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストによる部分的破損	(b)排気フィルタ入口のダスト量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、間定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	フィルタに流入するダストの量・化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2
★	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストの照射によるフィルタ要素の部分的破損	(c)排気フィルタ上流/下流側ダスト濃度比 (a)排気フィルタ下流側ダスト濃度	直接 (項目4)	(可能) フィルタ上流/下流側ダスト濃度比ではなく下流側ダスト濃度が設計値を下回ることを確認できれば問題ないため、下流側ダスト濃度を代替監視パラメータとする。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	排気フィルタに蓄積するダストの照射によるフィルタ要素が部分的に破損し、上流と下流側のダスト濃度比が低下する。またこの傾向は流入するダストの量・種類組成に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	フィルタ下流側ダスト濃度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4
△	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から排気フィルタに移行するダストによる部分的破損	(b)排気フィルタ入口のダスト量・種類組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。 加工付近によるダスト濃度が設計値を逸脱せず、下流側ダスト濃度が設計値を逸脱した際には、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化の検討は不要とする。	フィルタに流入するダストの量・種類組成に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2

## ■ 気相閉じ込めシステム (18/21)

モデルID  
 工程 コ3 : デブリ取り出し  
 作業 サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、間接的なものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が高い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が高い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは2-1が1点のとき

代替監視 検討 結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価										
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)				
		対象機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対結による スループットへの影響	項目7-1が1点のため	項目7-2が1点のため	項目7-3が1点のため	個別	代表点
-		同上	同上	同上	同上			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-		1	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1	4
★	安-気-51	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から排気フィルタに移行する加工助剤の付着による部分的閉塞	(a)排気フィルタ入口ミスト流量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、方がフィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能担保するため、多様化検討は不要とする。	1	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	1	項目7-2が1点のため	1	4
★		同上	同上	同上	同上			(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 電子炉仕様の相対温度計は現状ラインナップがないため、施設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	1	排気フィルタに流入するガス相対温度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における加工助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	4	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	1	項目7-2が1点のため	1	4
★	安-気-52	同上	同上	同上	同上	同上	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上になり、排気フィルタの性能劣化	(a)排気フィルタ入口ミスト流量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、方がフィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能担保するため、多様化検討は不要とする。	1	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は加工助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	1	項目7-2が1点のため	1	4
-		同上	同上	同上	同上			(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-		1	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は飛散防止助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い	1	項目7-1が1点のため	1	1	4
★	安-気-53	同上	同上	同上	同上	③	加工地点から排気フィルタに移行する飛散防止助剤の付着による部分的閉塞	(a)排気フィルタ入口ミスト流量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、方がフィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能担保するため、多様化検討は不要とする。	1	排気フィルタにおけるミストの蓄積による部分的閉塞により排気フィルタ差圧が上昇し、またこの傾向は飛散防止助剤に起因して流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	1	項目7-2が1点のため	1	4

## ■ 気相閉じ込めシステム (19/21)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果① (※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
★	安-気-54	排気フィルタ	放出抑制	排気フィルタ下流側ダスト濃度上昇	排気フィルタが劣化し、フィルタ効率が設計値を担保されないことでPCV内ダスト濃度が上昇する。	③	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上に上がり、排気フィルタの性能劣化	(a)排気フィルタ入口相対湿度 (a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様様の相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタに流入するガスの相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における飛散防止助剤 (ミスト) の散布量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口ミスト量 (b)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 排気フィルタ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 デミスタ及び電気ヒータをフィルタ前段に設置することにより機能担保が可能であり、万が一フィルタにミストが蓄積しても、使用フィルタを切り替えることにより機能を担保するため、多様化検討は不要とする。	同上	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と排気フィルタが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
-	安-気-55	同上	同上	同上	同上	④	加工地点から排気フィルタに移行するアブレイシブの蓄積による排気フィルタ要素の部分的閉塞	(a)排気フィルタ差圧	直接 (項目4)	-	排気フィルタに流入するアブレイシブの蓄積により排気フィルタが部分的に閉塞し、排気フィルタ差圧が上昇する。この傾向は、加工に起因して排気フィルタに流入するアブレイシブ量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	フィルタ目詰まりは日々の積算によるものであり、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)排気フィルタ入口におけるアブレイシブ量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と乾式逆流フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。予測性は良い。	同上	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	1	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題なく、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	1	1
★	安-気-56	同上	同上	同上	同上	同上	加工の加熱によるD/W滞留水の蒸発に伴い、排気フィルタ入口相対湿度が設計想定以上に上がり、排気フィルタの性能劣化	(a)フィルタ入口相対湿度 (a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(可能) 原子力仕様様の相対湿度計は現状ラインナップがないため、既設プラントと同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。 電気ヒータ前後差温度は予測性が悪いが、異常発生時には使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、さらなる多様化検討は不要とする。	排気フィルタ入口における相対湿度が設計条件を逸脱している事を確認し、またこの傾向は加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	(b)加工地点における入熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	同上	1	フィルタ2系列化による使用フィルタ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	常時監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	4

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - 検討対象  
 △: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 -: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは2-1が1点のとき

## ■ 気相閉じ込めシステム (20/21)

モデルID  
 工程 03 : デブリ取り出し  
 作業 04 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を決定 ー: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 ☆: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは2/3/4点のとき

代替監視 結果① (※)	分析 番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象 機器	対象が 担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知 要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対 応への影響	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	エラー (間接原因) 対処 によるスループットへの 影響	個別	代表点
-	安-57	電気ヒータ (前処理設備)	放出抑制	フィルタ下流側ダスト濃度上昇	電気ヒータが故障し、相対湿度が低下しない事でフィルタの設計条件 (相対湿度99%以下) を担保できずフィルタが劣化・破損し、フィルタ下流側ダスト濃度が上昇する。	①	加工地点から電気ヒータに移行するダストの照射による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータ2系列化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は電気ヒータに流入するダスト量・核種組成に影響を受けることから選定。	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
△		同上	同上	同上	同上			(b)電気ヒータ入口のダスト量・核種組成	間接 (項目5)	(設定不要) 常時監視は困難であり、定期的な監視であってもデブリ取り出し作業と排気フィルタの因果関係を見出すことはできるため、定期的な監視でも問題ない。電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	2	デブリ取り出し作業との因果関係を見出すためには定期的な監視で問題ないが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2	
-	安-58	同上	同上	同上	同上	②	加工地点から電気ヒータに移行する加工助剤の付着による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は加工助剤に起因して電気ヒータに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★		同上	同上	同上	同上			(b)電気ヒータ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 電気ヒータ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一電気ヒータにミストが蓄積しても、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と電気ヒータが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
-	安-59	同上	同上	同上	同上	③	加工地点から電気ヒータに移行する飛散防止助剤の付着による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は飛散防止助剤に起因して電気ヒータに流入するミストの量に影響を受けることから選定。	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	
★		同上	同上	同上	同上			(b)電気ヒータ入口ミスト量 (c)デブリ加工機構のミスト供給量	間接 (項目5)	(可能) 電気ヒータ入口におけるミスト量の計測は困難であるため、デブリ加工機構のミスト供給量を代替監視パラメータとする。 万が一電気ヒータにミストが蓄積しても、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	常時監視が必要であり、加工現場と電気ヒータが物理的に距離があるため、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4	

■ 気相閉じ込めシステム (21/21)

モデルID  
 工程 コ3 : デブリ取り出し  
 作業 サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業遅延を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	安-気-60	電気ヒータ (前処理設備)	放出抑制	フィルタ下流側ダスト濃度上昇	電気ヒータが故障し、相対湿度が低下しない事でフィルタの設計条件 (相対湿度99%以下) を担保できずフィルタが劣化・破損し、フィルタ下流側ダスト濃度が上昇する。	④	加工時の入熱によるPCV温度上昇による電気ヒータの性能劣化	(a)電気ヒータ前後差温度	直接 (項目4)	(設定不要) 電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した際には、使用電気ヒータを切り替えることにより機能を担保するため、多様化の検討は不要とする。	電気ヒータの性能劣化により前後の温度差が低下し、またこの傾向は流入するガスの温度を上昇させる加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	4	電気ヒータ前後差温度の常時監視により事後検知が可能だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	4	4
★	同上	同上	同上	同上			(b)加工地点における入熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	1	電気ヒータ2系列化による使用ヒータ切り替えにより機能担保 (検討済み)	3	常時監視が必要であるが、予測性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3		

## ■液相閉じ込めシステム(1/8)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②		項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要		検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)発生によるスループットへの影響	個別	代表
-	安-液-1	D/W 滞留水移送ポンプ	動的バウンダリ	D/W水位の上昇	D/W滞留水移送ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでD/W水位が上昇する	① 加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行するダストの混入によるポンプの部分的閉塞	(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	---	---		D/W滞留水移送ポンプにおけるダストの混入による部分的閉塞によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3
△		同上	同上	同上	同上		(連統的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)		(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	3
-	安-液-2	同上	同上	同上	同上	同上	(連統的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)		(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	3
-	安-液-3	同上	同上	同上	同上	同上	(連統的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)		(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3	3
△		同上	同上	同上	同上		(連統的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)		(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	3

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相閉じ込めシステム (2/8)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
代替監視検討結果① (※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②		項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
-		D/W滞留水移送ポンプ	動的バウンダリ	D/W水位の上昇	D/W滞留水移送ポンプが多化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでD/W水位が上昇する	④ 加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行するアブレイシブの混入によるポンプの部分的閉塞		(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	---	D/W滞留水移送ポンプにおけるアブレイシブの混入による部分的閉塞によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3		
△	安-液-4	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2				
-		同上	同上	同上	同上	同上 加工地点からD/W滞留水移送ポンプの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損		(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	---	D/W滞留水移送ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲隔離により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3		
△	安-液-5	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化・犠牲隔離により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2				
-		同上	同上	同上	同上	同上 デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である移送液中の温度が設計想定以上になり、ポンプの性能劣化		(a)PCV内水温	直接 (項目4)	---	D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液の温度が設計条件を逸脱していることを確認し、またこの傾向は加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3		
★	安-液-6	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)加工地点における入熱量 (c)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2				
-		同上	同上	同上	同上	同上 加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行するアブレイシブがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損		(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	---	D/W滞留水移送ポンプにおけるアブレイシブの混入による部分的破損によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3		
△	安-液-7	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2				

【(※) 記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - 検討対象外  
●: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■液相閉じ込めシステム(3/8)

モデルID				重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
工程	コ3	サ4	サ4	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4			
作業	コ3	サ4	サ4	対象	対象が担う機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表	
代替監視検討結果①(※)	分析番号																		
	安-液-8	△		PCV滞留水排出ポンプ	動的バウンダリ	PCV滞留水パフファタンの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVパフファタン内水位が上昇する	①	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するダストの混入によるポンプの部分的閉塞	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接(項目4)	---	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1
				同上	同上	同上	同上			(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	パフファタン内の水を定期的に排水することで循環冷却を立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2
				同上	同上	同上	同上			(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接(項目4)	---	1	多重化・犠牲隔離により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3
	安-液-9	△		同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行する移送液の蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。	1	多重化・犠牲隔離により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2
				同上	同上	同上	同上			(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接(項目4)	---	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1
	安-液-10	△		同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行する移送液の化学的性質によるインペラ等金属部材の腐食による部分的破損	(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接(項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	パフファタン内の水を定期的に排水することで循環冷却を立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2
				PCV滞留水排出ポンプ	動的バウンダリ	PCV滞留水パフファタンの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVパフファタン内水位が上昇する	④	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブの混入によるポンプの部分的閉塞	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接(項目4)	---	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1
	安-液-11	△		同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2

【(※)記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績がない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき



## ■液相閉じ込めシステム(4/8)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②		項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
代替監視検討結果① (※)	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検査、設定不要		検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)発生によるスループットへの影響	個別	代表点
-	PCV 滞留水排出ポンプ	動的バウンダリ	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVバッファタンク内水位が上昇する	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---		PCV滞留水排出ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲信頼により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化・犠牲信頼により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	
-	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(a)PCV内水温	直接 (項目4)	---		PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液の温度が設計条件を逸脱していることを確認し、またこの傾向は加工地点における入熱量に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)加工地点における大熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。		1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能変化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	
-	PCV 滞留水排出ポンプ	動的バウンダリ	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVバッファタンク内水位が上昇する	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---		PCV滞留水排出ポンプにおけるアプレイシブの混入による部分的破損によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。		1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	バッファタンク内の水を定期的に排水することで循環冷却を成立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相閉じ込めシステム (5/8)

モデルID				重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
工程	コ3	サ4	サ4	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4			
作業	コ3	サ4	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	エラー (間接原因) 対 処によるスループットへの影響	個別	代表点	
代替監視検討結果① (※)	分析番号																		
-	安-液-15	★	★	D/W	静的バウンダリ	D/W水位低下	D/Wが劣化し、開口面積が増大することでトラス室への漏洩が増大し、D/W水位が低下する。	① 加工地点からD/Wに移行する滞留水の水质変化に伴う腐食による部分的破損		(a)D/W水位	間接 (項目4)	---	4	安全機能への影響は大きい。(D/Wから制御不能な漏洩が発生する。また開口面積が増大した場合の対応策は決定していない。)	3	D/W水位の常時監視により事後検知が可能であり、検知性は良い。ただし、破損箇所の特定が困難となる場合が考えられる。	4	項目7-1が4点であるため	48
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W壁面液相の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	4	安全機能への影響は大きい。(D/Wから制御不能な漏洩が発生する。また開口面積が増大した場合の対応策は決定していない。)	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	4	項目7-1が4点であるため	32
-	安-液-16	★	★	配管	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	配管が劣化し、系統内移送液流量が設計値を担保できないことで接続しているバウンダリあるいはタンクの水位が上昇または低下する。	① 加工地点から配管に移行するダストの蓄積による部分的閉塞		(a)系統内流量	直接 (項目4)	---	1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	3	系統内流量の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)配管に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2
-	安-液-17	★	★	配管	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	配管が劣化し、バウンダリの開口面積が増大することで移送液流量が低下する。	① 加工地点から配管に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損		(a)系統内流量+漏洩量	直接 (項目4)	---	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体システムに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業中の期間によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■液相閉じ込めシステム(6/8)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	コ3 : デブリ取り出し	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4				
作業	サ4 : デブリ加工	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	エラー(間接原因)対応によるスループットへの影響				
代替監視検討結果①(※)	分析番号											項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4(評価結果)				
												点数	発生頻度	検知性	個別	代表			
-	安-液-18	配管	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	配管が劣化し、バウンダリの開口面積が増大することで移送液量が低下する。	同上	加工地点から配管に移行する滞留水の水质変化に伴う腐食による部分的破損	(a)系統内流量+漏洩検知	直接(項目4)	---	配管の破損により漏洩が発生することで系統内の移送液流量が低下し、またこの傾向は配管に流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★		同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する移送液の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-	安-液-19	配管	静的バウンダリ	同上	配管が劣化し、系統内移送液流量が設計値を担保できないことで接続しているバウンダリあるいはタンクの水位が上昇または低下する。	④	加工地点から配管に移行するアプレイシブの蓄積による部分的閉塞	(a)系統内流量	直接(項目4)	---	配管の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向は配管に流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	3	系統内流量の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★		同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)配管に流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-	安-液-20	弁(系統内に存在する弁を総称)	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	弁が劣化し、バウンダリの開口面積が増大することで移送液量が低下する。	①	加工地点から弁に移行するダストが付着し、腐食による部分的破損	(a)系統内流量+漏洩検知	直接(項目4)	---	弁の破損により漏洩が発生することで系統内の移送液流量が低下し、またこの傾向は液相系システムに流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★		同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する移送液の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3

【(※)記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業前の閉鎖によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■液相閉じ込めシステム(7/8)

モデルID				重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
工程	コ3	サ4	サ4	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4			
作業	コ3	サ4	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	検知要求の選定理由	点検	安全機能への影響	点検	エラー(間接原因)対応によるスループットへの影響	個別	代表	
代替監視検討結果①(※)	分析番号																		
	安-液-21	★	★	弁(系統内に存在する弁を総合)	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	弁が劣化し、移送流量が管理値を逸脱する。	④	加工地点から弁に移行するアプレインシプの蓄積による弁の固着	(a)系統内流量+漏洩検知	直接(項目4)	---	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
				同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体システムに流入する移送液中のアプレインシプの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	間接	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2
	安-液-22	★	★	PCV滞留水パフファタンク	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	PCV滞留水パフファタンクが破損し、冷却材流量が低減することで敷地境界線量/作業員被ばく量が管理値を逸脱する。	①	加工地点からPCV滞留水パフファタンクに移行するダストが蓄積、付着し、腐食による部分的破損	(a)PCV滞留水パフファタンク水位+漏洩検知	直接(項目4)	---	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
				同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体システムに流入する移送液の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接(項目5)	間接	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2
	安-液-23	★	★	D/W滞留水粒子粗取り装置	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、系統内移送液流量が設計値を担保できないことでD/W水位が上昇する	①	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積による部分的閉塞	(a)系統内流量+D/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧	直接(項目4)	---	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	系統内流量及びD/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
				同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	間接	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2

【(※)記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

液相閉じ込めシステム (8/8)

モデルID				重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②		項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
代替監視検討結果① (※)	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要		検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
-	D/W 滞留水粒子粗取り装置	静的バウンダリ	系統内移送液流量低下	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、漏洩が発生することで敷地境界線量/作業員被ばく量が管理値を逸脱する。	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)系統内流量+漏洩量	直接 (項目4)	---	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により漏洩が発生し、またこの傾向は液体系システムに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	---	---	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行する滞留水の水质変化に伴う腐食による部分的破損	(a)系統内流量+漏洩量	直接 (項目4)	---	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により漏洩が発生し、またこの傾向は液体系システムに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	---	---	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-	同上	同上	同上	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、系統内移送液流量が設計値を担保できないことでD/W水位が上昇する	④	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するアプレシブの蓄積による部分的閉塞	(a)系統内流量+D/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧	直接 (項目4)	---	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向は液体系システムに流入する移送液の中のダスト量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	系統内流量及びD/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する移送液中のアプレシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	---	---	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の削減によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■液相系未臨界維持システム(1/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対応によるスループットへの影響	個別	代表点
△	安-臨-1	D/W 滞留水粒子粗取り装置	臨界防止	臨界近接	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、除去粒子径が設計値を担保できずにPCV滞留水バッファタンクにおける粒子の蓄積が増大することで臨界に近接する。	①	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの接触による装置内フィルタ部メッシュの部分的破損 (オートストレーナの場合)	(連続的監視→離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による装置内フィルタ部メッシュの部分的破損 (オートストレーナの場合)	(連続的監視→離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△	安-臨-2	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による装置内フィルタ部メッシュの部分的破損 (オートストレーナの場合)	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相系未臨界維持システム(2/7)

モデルID			重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	コ3	サ4	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4 (評価結果)				
作業	サ4	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対 処によるスループット への影響	個別	代表点
△	安-臨-3		D/W 滞留水粒子粗取り装置	臨界防止	臨界近接	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、除去粒子径が設計値を担保できずにPCV滞留水バッファタンクにおける粒子の蓄積が増大することで臨界に近接する。	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行する滞留水の水质変化に伴う腐食による装置内フィルタ部メッシュの部分的破損 (オートストレーナの場合)	①	(連続的監視→離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△			同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。		1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△	安-臨-4		同上	同上	同上	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストにより移送液の密度が増大し、装置内流量が不足することによる遠心分離除去効率の低減	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△			同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。		1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2

【(脚)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、JFでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、JFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■液相系未臨界維持システム(3/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
代替監視検討結果④(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対応によるスループットへの影響	個別	代表点	
		工程 ③3 : デブリ取り出し 作業 サ4 : デブリ加工																		
	安-臨-5	D/W 滞留水粒子粗取り装置	臨界防止	臨界近接	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、除去粒子径が設計値を担保できずにPCV滞留水バッファタンクにおける粒子の蓄積が増大することで臨界に近接する。			(a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のアプレシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	サイクロンの場合は夾雑物の蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	システム内流量及びD/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1			3	
△		同上	同上	同上	同上	④		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のアプレシブの量	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	1	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	2		1	項目7-1が1点のため		2		
△	安-臨-6	同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2		1	項目7-1が1点のため		2		
△		同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視→離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のアプレシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	1	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	2		1	項目7-1が1点のため		2		

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき



## ■液相系未臨界維持システム(4/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果④(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	安-臨-7	D/W 滞留水粒子粗取り装置	臨界防止	臨界近接	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、除去粒子径が設計値を担保できずにPCV滞留水パフファタンクにおける粒子の蓄積が増大することで臨界に近接する。	④	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するアプレイシブにより移送液の密度が増大し、装置内流量が不足することによる遠心分離除去効率の低下	(連続的監視-離散的監視に変更) (a)D/W滞留水粒子粗取り装置下流のダスト量・粒径分布	直接 (項目4)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により大粒径の粒子が装置を通過し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視-離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化は発生頻度が低いことが想定され、また本機器の機能劣化が臨界事象を即時に誘発するものではないため検知後の対応(一時的な注水停止、S/Cへの取水への切り替え)が可能であるため、多様化検討は不要とする。	同上	1	同上	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	同上	2	
-	安-臨-8	PCV 滞留水排出ポンプ	臨界防止	PCV滞留水パフファタンクの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことPCVパフファタンク内のダスト量が増加する。	①	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するダストがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプにおけるダストの混入による部分的閉塞によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	同上	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	パフファタンク内の水を定期的に排水することで循環冷却を成立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	
-	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	
△	安-臨-9	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(連続的監視-離散的監視に変更) (b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。	同上	1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、難散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 [4点] 対応策が決定されていない  
 [3点] 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 [2点] 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 [1点] 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 [4点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 [3点] 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 [2点] 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 [1点] 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 [4点] 対応策がなく、スループット影響が不明  
 [3点] 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 [2点] 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 [1点] スループットへの影響はない、もしくは7-1の1点のとき

## 液相系未臨界維持システム(5/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	安-臨-10	PCV 滞留水排出ポンプ	臨界防止	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVバッファタンク内のダスト量が増加する。	①	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行する移送液の化学的性質によるインペラ等金属部材の腐食による部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブのゲインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	バッファタンク内の水を定期的に排水することで循環冷却を成立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	
-	安-臨-11	同上	同上	同上	同上	④	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブのゲインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプにおけるアプレイシブの混入による部分的閉塞によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2		
-	安-臨-12	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化・犧牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	常時監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3
△	同上	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化・犧牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2		
-	安-臨-13	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からPCV滞留水排出ポンプに移行するアプレイシブの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)PCV内水温	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプの部分的破損によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	2
★	同上	同上	同上	同上	同上	同上	デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である移送液中の温度が設計想定以上になり、ポンプの性能劣化	(連続的監視→離散的監視に変更) (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	

【(※) 記号凡例】

- ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外
- : 代替監視のために詳細な検討が必要
- △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表

- 【4点】 対応策が存在しない
- 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである
- 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない
- 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表

- 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い
- 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い
- 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い
- 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表

- 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明
- 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる
- 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる
- 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■ 液相系未臨界維持システム (6/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果④(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因) 対 処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	安-臨-14	PCV 滞留水排出ポンプ	臨界防止	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	PCV滞留水排出ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できないことでPCVバッファタンク内のダスト量が増加する。	④		(a)PCV滞留水排出ポンプ流量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水排出ポンプにおけるアプレイシブの混入による部分的破損によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はトラス室滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	1	動作時の監視が必要であるが、検知性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	1	1
△		同上	同上	同上	同上			(b)PCV滞留水排出ポンプに流入する移送液中のアプレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	バッファタンク内の水を定期的に排水することで循環冷却を成立させるための機器であり、動作時の監視が必要だが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2	
-	安-臨-15	配管	同上	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	配管の劣化に伴う漏洩により移送液流量が低減することでPCV滞留水バッファタンクの排水量が所定値を逸脱する。	①		(a)系統内流量+漏洩量	直接 (項目4)	---	配管の破損により漏洩が発生することで系統内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は配管に流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★		同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1		2	2	
-	安-臨-16	同上	同上	同上	同上	同上		(a)系統内流量+漏洩量	直接 (項目4)	---	配管の破損により漏洩が発生することで系統内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は配管に流入するダストの化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★		同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1		2	2	

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■液相系未臨界維持システム(7/7)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果④(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-		配管	静的バウンダリ	PCV滞留水バッファタンクの排水異常	配管の劣化に伴う漏洩により移送液流量が低減することでPCV滞留水バッファタンクの排水量が所定値を逸脱する。	④		(a)系統内流量	直接 (項目4)	---	配管の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向は配管に流入する移送液中のアプレインシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定	1		3	1			3	
★	安-臨-17	同上	同上	同上	同上		加工地点から配管に移行するアプレインシブがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)配管に流入する移送液中のアプレインシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため		2

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相系冷却システム(1/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価						
工程	コ3	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
作業	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	
△	安-冷-1	D/W 滞留水移送ポンプ	デブリ冷却	PCV液相温度の上昇	D/W滞留水移送ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できなくなることでPCV内液相温度が上昇する。	①	加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行する冷却材中に含まれるダストの蓄積により、ケーシング等金属部材が腐食LD/W滞留水移送ポンプの部分的破損	(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプにおけるダストによる腐食に伴う部分的破損によりポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲降極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4
△	同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプ入口に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲降極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	
△	同上	同上	同上	同上	同上		加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行する冷却材中に含まれるダストがインベラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプ入口に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2
△	同上	同上	同上	同上	同上		加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行する冷却材中に含まれる、AWJ加工時に放出されるアブレインシブがインベラに接触し、同部が摩耗することによるD/W滞留水移送ポンプの部分的破損	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプ入口に流入する移送液中のアブレインシブ量	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレインシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2
△	安-冷-2	同上	同上	同上	同上	④	加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行する冷却材中に含まれる、AWJ加工時に放出されるアブレインシブがインベラに接触し、同部が摩耗することによるD/W滞留水移送ポンプの部分的破損	(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレインシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4
△	同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプ入口に流入する移送液中のアブレインシブ量	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプに流入する移送液中のアブレインシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■液相系冷却システム(2/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	コ3	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4	
作業	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業を回避するた めの検知要求	直接監視/間接監 視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	点数	エラー(間接原因)対 処による スループットへの影響	個別	代表点
△	安-冷-4	D/W 滞留水移送ポンプ	デブリ冷却	PCV液相温度の上昇	D/W滞留水移送ポンプが劣化し、ポンプ流量が設計値を担保できなくなることによってPCV内液相温度が上昇する。	④	加工地点からD/W滞留水移送ポンプに移行する冷却材中に含まれるアプレキシブの蓄積により、ケーシング等金属部材が腐食しD/W滞留水移送ポンプの部分的破損	(a)D/W滞留水移送ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向は液体系システムに流入する冷却材温度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4	4
△	同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水移送ポンプに流入する冷却材中のアプレキシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	同上	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	4	
-	同上	同上	同上	同上	同上		同上	(a)PCV内水温	直接 (項目4)	---	同上	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	継続監視が必要であり、水温計の指示値とポンプの設計値を参照することにより機器への影響の有無を判断可能なため予測性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3
★	安-冷-5	同上	同上	同上	同上		同上	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	同上	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	3

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相系冷却システム (3/9)

モデルID

工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【※】記号凡例  
 \* : 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■ : 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △ : 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの间接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (間接原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	安-冷-6	冷却器	デブリ冷却	冷却器の除熱量低減による冷却機能の劣化	冷却器部品の性状変化による除熱量の減衰	①	加工地点から冷却器に移行する冷却材中に含まれるダストによる金属部材の性状変化に伴う冷却器の性能劣化	(a)冷却器入口/出口温度	直接 (項目4)	---	冷却器の機能低下は冷却器前後の温度差によって検知することが可能であり、またこの傾向は冷却器に流入する移送液中のダスト量に影響を受けることから選定。	1	循環冷却系の機能停止時にはRO処理水を水源とする外部注水系が起動すること(多重化)により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	炉注水冷却のための機器であることから取り出し作業中の動作が要求されるが、有意な機能低下については検知性が良い	1	項目7-1が1点であるため	3	3
△	同上	同上	同上	同上	(連続的監視-離散的監視に変更) (b)冷却器入口に流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度		間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	循環冷却系の機能停止時にはRO処理水を水源とする外部注水系が起動すること(多重化)により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2			
-	安-冷-7	同上	同上	同上	同上	④	加工地点から冷却器に移行する冷却材中に含まれる、AWJ加工時に放出されるアブレイシブが冷却器内配管に接触し、同部が摩擦することによる冷却器の部分的破損	(a)冷却器入口/出口温度	直接 (項目4)	---	冷却器の機能低下は冷却器前後の温度差によって検知することが可能であり、またこの傾向は冷却器に流入する移送液中のアブレイシブ量に影響を受けることから選定。	1	循環冷却系の機能停止時にはRO処理水を水源とする外部注水系が起動すること(多重化)により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	炉注水冷却のための機器であることから取り出し作業中の動作が要求されるが、有意な機能低下については検知性が良い	1	項目7-1が1点であるため	3	3
-	同上	同上	同上	同上	(b)冷却器入口に流入するアブレイシブ量		間接 (項目5)	---	1	3	継続監視が必要であり、予測性は良い。	1	項目7-1が1点であるため	3	3				
△	安-冷-8	PCV 滞留水注水ポンプ	同上	冷却材の過量低減による冷却機能の劣化	ポンプの機能低下	①	加工地点からPCV滞留水注水ポンプに移行する冷却材中に含まれるダストによるインペラ等金属部材の腐食・変形に伴うPCV滞留水注水ポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水注水ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	1	PCV滞留水注水ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水注水ポンプに流入する移送液の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1	多重化・犠牲隔極により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4
△	同上	同上	同上	同上	(連続的監視-離散的監視に変更) (b)PCV滞留水注水ポンプ入口に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度		間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	1	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2				

## ■液相系冷却システム(4/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	CO3	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4		
作業	サ4	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの 間接原因	選定理由	作業を回避する ための検知要求	直接監視/間接 監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対 応への影響	点数	エラー(間接原因)対 処による スループットへの影響	個別	代表点
△	安-冷-9	PCV 滞留 水注 水ポン プ	デブリ冷却	冷却材の過量低減による冷却機能の劣化	ポンプの機能低下	①	加工地点からPCV滞留水注水ポンプに移行する冷却材中に含まれるダストがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水注水ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	PCV滞留水注水ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水注水ポンプに流入する移送液中のダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4	4
△	同上	同上	同上	同上	同上		(連続的監視一離散的監視に変更) (b)PCV滞留水注水ポンプ入口に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(設定不要) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。	同上	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2		
△	同上	同上	同上	同上	同上		加工地点からPCV滞留水注水ポンプに移行する冷却材中に含まれるアプレキシブの蓄積により、ケーシング等金属部材が腐食しD/W滞留水移送ポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水注水ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	PCV滞留水注水ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水注水ポンプに流入する移送液中のアプレキシブの量に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4	4
-	安-冷-10	同上	同上	同上	同上	④	同上	(b)PCV滞留水注水ポンプ入口に流入する移送液中のアプレキシブ量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	---	同上	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	PCV冷却水注入のための機器であることから取り出し作業中の動作が要求されるが、有意な機能低下については検知性が良い	1	項目7-1が1点であるため	3	3
△	同上	同上	同上	同上	同上		デブリ取り出し作業に伴い、設計条件である冷却材温度が設計想定以上になり、ポンプの性能劣化	(a)PCV内水温	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	D/W滞留水移送ポンプ入口の機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水移送ポンプ入口に流入する移送液の温度に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4	4
★	安-冷-11	同上	同上	同上	同上	同上	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)加工地点における大熱量 (b)加工設備の機器出力	間接 (項目5)	(可能) 加工地点における入熱量を直接計測することは困難であるため、加工設備の機器出力を代替監視パラメータとする。	同上	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	2	2		



## 液相系冷却システム (5/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	コ3 : デブリ取り出し	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1	項目7-2	項目7-3	項目7-4				
作業	サ4 : デブリ加工	対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	安-冷-12	PCV 滞留水注水ポンプ	デブリ冷却	冷却材の過量低減による冷却機能の劣化	ポンプの機能低下	④	加工地点からPCV滞留水注水ポンプに移行する冷却材中に含まれる、AWJ加工時に放出されるアプレイシブがインペラに接触し、同部が摩耗することによるポンプの部分的破損	(a)PCV滞留水注水ポンプ流量	直接 (項目4)	(設定不要) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることで機能を維持するため多様化検討は不要。	PCV滞留水注水ポンプの機能低下によってポンプ流量が低下し、またこの傾向はPCV滞留水注水ポンプに流入する移送液中のアプレイシブ量に影響を受けることから選定。	1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	4	継続監視が必要であるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点であるため	4	4
-		同上	同上	同上	同上			(b)PCV滞留水注水ポンプに流入する移送液中のアプレイシブ量	間接 (項目5)	---		1	多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微	3	PCV冷却水注入のための機器であることから取り出し作業中の動作が要求されるが、有意な機能低下については検知性が良い	1	項目7-1が1点であるため	3	
-		PCV 滞留水パフファタンク	同上	同上	PCV滞留水パフファタンクが破損し、冷却材過量が低減することでPCV内温度が管理値を逸脱する。	①	加工地点からPCV滞留水パフファタンク移行する冷却水中に含まれるダストによる腐食による劣化	(a)PCV滞留水パフファタンク水量+漏洩量	直接 (項目4)	---	PCV滞留水パフファタンクの破損により漏洩が発生することで冷却系の水源が確保できなくなり系統内の冷却材濃度が低下し、またこの傾向はPCV滞留水パフファタンクに流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	安-冷-13	同上	同上	同上	同上			(連続的監視一離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1		2	3
-		配管	同上	系統内冷却材流量低下	配管が劣化し、系統内冷却材流量が設計値を担保できないことでPCV内温度が管理値を逸脱する。	①	加工地点から配管に移行するダストの蓄積による部分的閉塞	(a)系統内流量	直接 (項目4)	---	配管の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向は配管に流入する冷却材中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1		3	系統内流量の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1		3	
★	安-冷-14	同上	同上	同上	同上			(連続的監視一離散的監視に変更) (b)配管に流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■液相系冷却システム(6/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4(評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-		配管	同上	システム内冷却材流量低下	配管の劣化に伴う漏洩により冷却材流量が低減することでPCV内温度が管理値を逸脱する。	①	加工地点から配管に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)システム内流量+漏洩量	直接(項目4)	---	配管の破損により漏洩が発生することでシステム内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は配管に流入するダストの量・粒径分布に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	システム内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	安-冷-15	同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1		2		2			
-		同上	同上	同上	同上	同上	加工地点から配管に移行する冷却材の水質変化に伴う腐食による部分的破損	(a)システム内流量+漏洩量	直接(項目4)	---	配管の破損により漏洩が発生することでシステム内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は配管に流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	3	システム内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3	3
★	安-冷-16	同上	同上	同上	同上			(連続的監視→離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材の化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1		2		2			

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## ■液相系冷却システム(7/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-		配管	静的バウンダリ	系統内冷却材流量低下	配管が劣化し、系統内冷却材流量が設計値を担保できないことでPCV内温度が管理値を逸脱する。			(a)系統内流量	直接(項目4)	---	配管の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向は配管に流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布に影響を受けることから選定	1		3	系統内流量の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1		3	
★	安-冷-17	同上	同上	同上	同上	④	加工地点から配管に移行するアブレイシブの蓄積による部分的閉塞	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)配管に流入する移送液中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-		ガ(系統内に存在する弁を総称)	同上	系統内冷却材流量低下	弁の劣化に伴う漏洩により冷却材流量が低減することでPCV内温度が管理値を逸脱する。			(a)系統内流量+漏洩量	直接(項目4)	---	弁の破損により漏洩が発生することで系統内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は液相系システムに流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1		3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1		3	
★	安-冷-18	同上	同上	同上	同上	①	加工地点から弁に移行するダストが付着し、腐食による部分的破損	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3
-		同上	同上	同上	弁の劣化に伴う固着により冷却材流量が低減することでPCV内温度が管理値を逸脱する。			(a)系統内流量+漏洩量	直接(項目4)	---	弁の固着により閉塞が発生することで系統内の冷却材流量が低下し、またこの傾向は液相系システムに流入するダストの化学的性質(pH、塩化物イオン濃度、化学組成)に影響を受けることから選定。	1		3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1		3	
★	安-冷-19	同上	同上	同上	同上	④	加工地点から弁に移行するアブレイシブの蓄積による弁の固着	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のアブレイシブの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

## 液相系冷却システム (8/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価						
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別
-	安-冷-20	D/W滞留水粒子粗取り装置	静的バウンダリ	系統内冷却材流量低下	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、系統内冷却材流量が設計値を担保できないことでPCV内温度が管理値を逸脱する。	①	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積による部分的閉塞	(a)系統内流量 + D/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧	直接 (項目4)	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の閉塞により系統内流量が低下し、またこの傾向はD/W滞留水粒子粗取り装置に流入する冷却材中のダスト量・粒径分布に影響を受けることから選定	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	系統内流量及びD/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
★	同上	同上	同上	同上	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する冷却材中のダスト量・粒径分布・粒子の密度			間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	2				
-	安-冷-21	同上	同上	同上	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、漏洩が発生することでPCV内温度が管理値を逸脱する。	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するダストの蓄積によって生じる電位差に起因する腐食による部分的破損	(a)系統内流量 + 漏洩量	直接 (項目4)	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により漏洩が発生し、またこの傾向は液体系システムに流入する冷却材の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定	1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
★	同上	同上	同上	同上	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する冷却材の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)			間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	2				
-	安-冷-22	同上	同上	同上	同上	同上	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行する滞留水の水質変化に伴う腐食による部分的破損	(a)系統内流量 + 漏洩量	直接 (項目4)	---	D/W滞留水粒子粗取り装置の破損により漏洩が発生し、またこの傾向は液体系システムに流入する冷却材の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成) に影響を受けることから選定	1	安全機能への影響は小さく、また発生頻度が低いことが想定される。	3	系統内流量の常時監視及び漏洩検知により事後検知が可能であり、検知性は良い。	1	項目7-1が1点のため	3
★	同上	同上	同上	同上	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)D/W滞留水粒子粗取り装置に流入する冷却材の化学的性質 (pH、塩化物イオン濃度、化学組成)			間接 (項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえでは離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。	1	2	機器の機能劣化要因推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	2				

【(※) 記号凡例】  
★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
【4点】 対応策が決定されていない  
【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■液相系冷却システム(9/9)

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5-1	項目5-2	項目6-1	項目6-2	代替監視検討結果②	項目6-3	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4(評価結果)		
		対象機器	対象が担う機能	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	選定理由	作業を回避するための検知要求	直接監視/間接監視	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要	検知要求の選定理由	点数	安全機能への影響	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-		D/W滞留水粒子粗取り装置	静的バウンダリ	系統内冷却材流量低下	D/W滞留水粒子粗取り装置が劣化し、系統内冷却材流量が設計値を担保できないことでPCV内温度が管理値を逸脱する。			(a)系統内流量 + D/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧	直接(項目4)	---			1	サイクロンの場合はダストの蓄積しにくい構造になっているため発生頻度が小さく、またオートストレーナの場合は閉塞検知後自動的に夾雑物が排出されるため、安全機能への影響は小さいと考えられる。	3	系統内流量及びD/W滞留水粒子粗取り装置の前後差圧の常時監視により傾向把握及び事後検知が可能であり、検知性は良い。	1		3
★	安-冷-23	同上	同上	同上	同上	④	加工地点からD/W滞留水粒子粗取り装置に移行するアプレインプの蓄積による部分的閉塞	(連続的監視一離散的監視に変更) (b)液体系システムに流入する冷却材中のアプレインプの量・粒径分布・粒子の密度	間接(項目5)	(可能) デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するうえで離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられる。 当該パラメータが機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、予測性は悪く多様化検討の対象である。		1		2	機器の機能劣化要員推定のための監視項目であり、離散的な定期監視による傾向把握で十分と考えられるが、予測性は悪い。	1	項目7-1が1点のため	2	3

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

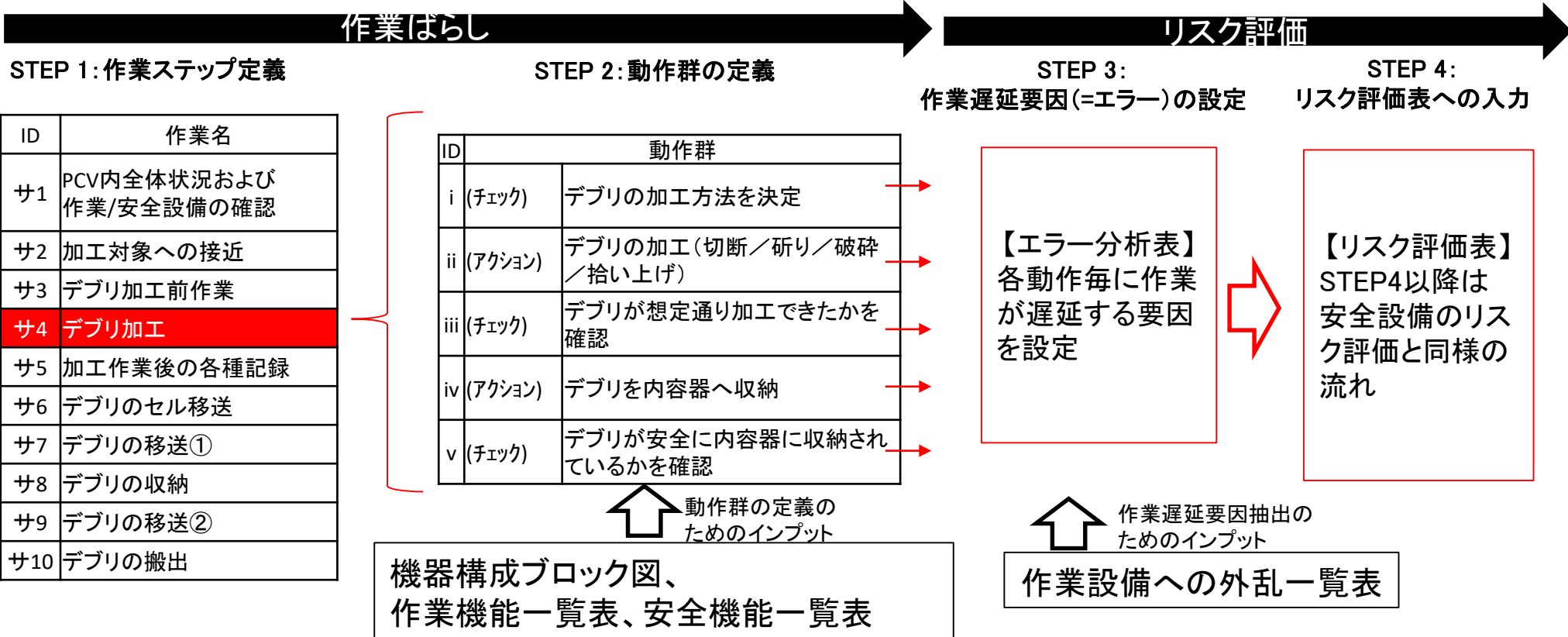
■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が悪い  
 【3点】 作業中の常時監視が必要かつ予測性が良い  
 【2点】 定期的な監視が必要かつ予測性が悪い  
 【1点】 定期的な監視が必要かつ予測性が良い

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは7-1が1点のとき

■ 評価結果提示前の補足情報: リスク評価に先立つ作業設備特有の追加手順

- 作業設備は安全設備と異なり、複数の動作を組み合わせてPCV内で作業を行う。例えば、「デブリを加工する」という作業は以下STEP2に示すようなチェックとアクションの動作の繰り返し(動作群)から成る。
- チェックは次に控えるアクションの性質(例. デブリ加工のうち、ディスクカッターとAWJどちらを使うかなど)もしくは実行／不実行(例. ディスクカッターで加工するか否か など)を決めるものとして定義する。
- 作業設備のリスク評価は動作群に対して個別に実施する。そのため、リスク評価を行う前段階として、作業毎に動作群を定義する必要がある(いわゆる、作業ばらし)。
- 作業ばらしとリスク評価の実行手順を以下に示す。具体的な作業方法は次頁以降を参照のこと。



■ 作業設備特有のリスク評価手順

- 前頁に示したSTEP 1～2の実行手順を示す。

○STEP1の作業ステップ

ID	作業名
サ1	PCV内全体状況および作業/安全設備の確認
サ2	加工対象への接近
サ3	デブリ加工前作業
サ4	デブリ加工
サ5	加工作業後の各種記録
サ6	デブリのセル移送
サ7	デブリの移送①
サ8	デブリの収納
サ9	デブリの移送②
サ10	デブリの搬出

①作業ステップから分析する作業1つを選定。

○STEP2の動作群の属性を決定する作業詳細シート

ID	属性	内容
a	目的	デブリを細かくして内容器へ収納する
b	環境	PCV内部
c	安全	【気相】ダスト飛散防止機能、PCV損傷防止機能、デブリ過剰加熱防止機能、【臨界】デブリ形状制御機能
d	機器	【デブリ加工設備】デブリ加工機構、【デブリ密封収納/移送設備】線源収納機構
e	対象	デブリ（燃料、燃料デブリ塊（Uリッチ、Feリッチ）、既設構造物、MCCI形成物）
f	先行作業	ID: サ3
g	作業開始条件	条件1：先行作業の正常終了
h	動作群	動作群シート参照
i	作業終了条件	内容器へのデブリ収納の完了
j	次作業引継ぎ	デブリ入り内容器の引き渡し（※k項参照）
k	その他	内容器に収納されたデブリは未臨界状態を維持する

②デブリ取り出しモデルの情報に基づき、ID a項～k項を入力。

③ID aとiに記載した内容を達成するための動作群を設定

○STEP2の動作群シート

ID	動作	備考
i	(チェック) <対象>の加工方法を決定	
ii	(アクション) <機器：デブリ加工機構>による<対象>の加工（切断/研り/破砕/拾い上げ）	
iii	(チェック) <対象>の加工結果を確認	加工結果確認：内容器に入る寸法までデブリを細分化できているかの確認を指す
iv	(アクション) <機器：線源収納機構>で、<対象>を<機器：内容器>へ収納	
v	(チェック) 内容器に収納された<対象：デブリ>の安全確認	安全確認：内容器からデブリが零れ落ちず、未臨界状態を維持している状態の確認を指す

■ 作業設備特有のリスク評価手順

- STEP 2～3の実行手順を示す。
- 本資料中に示す単語「エラー」は作業遅延要因と同義である。

○STEP2の動作群(前ページの再掲)

ID	動作	備考
i	(チェック) <対象>の加工方法を決定	
ii	(アクション) <機器: デブリ加工機構>による<対象>の加工(切断/ 研り/ 破砕/ 拾い上げ)	
iii	(チェック) <対象>の加工結果を確認	加工終了後
iv	(アクション) <機器: 線源収納機構>で、<対象>を<機器: 内容器>へ収納	
v	(チェック) 内容器に収納された<対象: デブリ>の安全確認	安全確認完了後

○STEP3の作業設備への外乱一覧表

分析ID	分類	場所	外乱候補
外乱-1	静的要素	PCV	PCV内は暗闇状態
外乱-2	静的要素	PCV	PCV内は霧が発生している
外乱-3	静的要素	PCV	PCV内はデブリの発熱で気流が発生している
外乱-4	静的要素	PCV	PCV内は既存開口部のインリークで気流が発生している
外乱-5	静的要素	PCV	PCV内は窒素注入で気流が発生している
外乱-6	静的要素	PCV	PCV内は冷却水の注入により雨滴が発生している

①定義した動作ごとにエラー分析シートへ展開

②定義した動作が阻害され、作業遅延するトップ事象を入力

③注目する動作に関与する機能を入力。入力候補は作業詳細シートのID c(安全機能関連)もしくはd(作業機能関連)に係るものいずれか

○STEP3のエラー分析表

ID	動作群シートID	作業停滞するエラーモード	注目機能	注目外乱	注目外乱	エラー発生メカニズム	補足
1	i	デブリの加工方法の決定に時間がかかる	作業	外乱-22		デブリの性状と選択する加工方法の相性が悪く、加工方法決定に時間がかかる。	
2	ii	デブリの加工に時間がかかる	気相	外乱-1	外乱-20	暗闇(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
3	ii	同上	気相	外乱-2	外乱-20	霧(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
4	ii	同上	気相	外乱-6	外乱-20	雨滴(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
5	ii	同上	気相	外乱-24	外乱-20	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
6	ii	同上	気相	外乱-19	外乱-20	ダスト飛散(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
7	ii	同上	臨界	外乱-1	外乱-21	暗闇(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	
8	ii	同上	臨界	外乱-2	外乱-21	霧(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	
9	i	同上	臨界	外乱-6	外乱-21	雨滴(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	
10	i	同上	臨界	外乱-18	外乱-21	ダスト飛散(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	

④オブジェクティブツリーの要領で注目機能に関連するエラー発生メカニズムを抽出。抽出にあたっては「作業設備への外乱一覧表」を活用。



■ 作業設備特有のリスク評価手順

- STEP 4の実行手順を示す。

OSTEP3のエラー分析表(前ページの再掲)

ID	動作群シートID	作業停滞するエラーモード	注目機能	注目外乱	注目外乱	エラー発生メカニズム	補足
1	i	デブリの加工方法の決定に時間がかかる	作業	外乱-22		デブリの性状と選択する加工方法の相性が悪く、加工方法決定に時間がかかる。	
2	ii	デブリの加工に時間がかかる	気相	外乱-1	外乱-20	暗闇(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	
3	ii	同上	気相	外乱-2	外乱-20	霧(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	

13	ii	同上	気相	外乱-23		加工により飛散するダストでPCV内ダスト濃度許容値に接近する	
14	ii	同上	作業	外乱-13		外力を加えたい箇所へ加工治具をアクセスさせるのに時間がかかる	
15	ii	同上	作業	外乱-16		加工治具の損耗が早く、頻繁な交換によって加工に時間がかかる	
16	ii	同上	作業	外乱-15		ホットスポットが出現し、機器への影響評価に時間がかかる	
17	ii	同上	作業	外乱-7		水流に阻害されて機械的/熱的外力がデブリへ伝達しない	

OSTEP4のリスク評価表

重要監視項目						重要監視項目の重み付け評価									
項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6	項目7-1		項目7-2		項目7-3 (間接原因)		項目7-4 (評価結果)		
対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因(=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への障害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間接原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	15	加工治具の損耗が早く、頻繁な交換によって加工に時間がかかる	加工治具の過剰な損耗	燃料デブリ	【項目4】 (a)加工治具の損耗度	3	作業	ツールチェンジャなど、加工治具をその場で遠隔交換する技術は燃料デブリ取り出しPJにて開発中である。	3	・加工治具の損耗の直接的判断は困難。目視確認の場合は運転員の官能検査訓練が必要。目視以外の場合、治具の振動やモータ出力など、複数データを取得し、判断する必要がある。 ・上記いずれも一般産業技術を活用可能。	2	項目7-1の対応により、作業が一時的に制限されるものとする。	18	18
			加工治具の損耗が早く、頻繁な交換によって加工に時間がかかる	加工治具の過剰な損耗	燃料デブリ	【項目5】 (b)加工する燃料デブリの圧縮強度	3	作業	同上	2	サンプリングではデータ取得タイミングに遅れは出ることの他、その場測定ではなくなるものの性状そのものは直接的に判断が可能。	2	同上	12	18

①エラー分析表(作業詳細シート)に入力した機器と注目機能を入力

②エラー分析表で設定したエラー発生メカニズムを入力

③項目3のメカニズムを端的な物量現象に分解

④エラー分析表から引き継いだ情報を基に、リスク評価を実施

1/31

日々の作業フロー

<p>【※】記号凡例</p> <p>★: 代替監視を設定 - : 検討対象外</p> <p>■: 代替監視のために詳細な検討が必要</p> <p>△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要</p>	<p>■項目7-1の得点表</p> <p>【4点】対応策が決定されていない</p> <p>【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである</p> <p>【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない</p> <p>【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある</p>	<p>■項目7-2の得点表</p> <p>【4点】直感的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める</p> <p>【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある</p> <p>【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める</p>	<p>■項目7-3の得点表</p> <p>【4点】対応策がなく、スループット影響が不明</p> <p>【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる</p> <p>【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる</p> <p>【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点</p>
---	---	---	--

モデルID		コ3	: デブリ取り出し																				
作業		サ1	: PCV内全体状況および作業/安全設備の確認																				
代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目														重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②						項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
		対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点				
PCV内環境変化なし																							

※1

※4

※2

※3

作業阻害要因無し

- (※1)レイアウトの都合上、項目2の名称を省略。正式名称:対象機器が担う安全機能もしくは作業機能
- (※2)レイアウトの都合上、項目7-1の名称を省略。正式名称:安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無
- (※3)レイアウトの都合上、項目7-3の名称を省略。正式名称:項目7-1の対策によるスループットへの影響
- (※4)レイアウトの都合上、分析IDは項目3の作業遅延要因毎に個別発行したもので、分析番号とは異なるものとして管理

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

2/31

<p>【(※)記号凡例】</p> <p>★:代替監視を設定 - :検討対象外</p> <p>■:代替監視のために詳細な検討が必要</p> <p>△:検討対象だが、代替監視の設定は不要</p>	<p>■項目7-1の得点表</p> <p>【4点】対応策が決定されていない</p> <p>【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである</p> <p>【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない</p> <p>【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある</p>	<p>■項目7-2の得点表</p> <p>【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める</p> <p>【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある</p> <p>【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める</p>	<p>■項目7-3の得点表</p> <p>【4点】対応策がなく、スループット影響が不明</p> <p>【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる</p> <p>【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる</p> <p>【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点</p>
---	---	---	--

モデルID			コ3 : デブリ取り出し		サ2 : 加工対象への接近		重要監視項目						重要監視項目の重み付け評価						
代替監視検討結果①(※)	分析番号	項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)	項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②				項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
								対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無
△	作A-1	PCV内移動機構	【気相】PCV損傷防止機能	1	暗闇で干渉物の存在有無を把握できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	暗闇	【項目4/5】(a)暗闇に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】(設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	安全	1F-2 PCV内部調査では専用装置で作業ルート上の干渉物有無を事前確認する手法の有効性を示しており、類似した方法の適用が想定される。	2	・3Dスキャンなどの寸法取得を行えば直接的な判断は可能 ・1F-2 PCV詳細調査では気中環境にてレーザスキャンによる干渉物の維持情報を把握する技術を開発中。 ・1F-1 PCV詳細調査では水中環境にて超音波測定による水中の構造物位置情報を把握する技術を開発中。	1	項目7-1が1点のため	2	2
△	作A-2	PCV内移動機構	【気相】PCV損傷防止機能	2	霧で干渉物の存在有無を把握できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	霧	【項目4/5】(a)霧に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	同上	1	安全	同上	2	同上	1	同上	2	2
△	作A-3	PCV内移動機構	【気相】PCV損傷防止機能	3	雨滴で干渉物の存在有無を把握できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	雨滴	【項目4/5】(a)雨滴に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	同上	1	安全	同上	2	同上	1	同上	2	2
△	作A-4	PCV内移動機構	【気相】PCV損傷防止機能	4	高いバックグラウンドで干渉物の存在有無を確認できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	ノイズ	【項目4/5】(a)ノイズに影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	同上	1	安全	同上	2	同上	1	同上	2	2

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

3/31

<p>【(※)記号凡例】</p> <p>★: 代替監視を設定 - : 検討対象外</p> <p>■: 代替監視のために詳細な検討が必要</p> <p>△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要</p>	<p>■項目7-1の得点表</p> <p>【4点】 対応策が決定されていない</p> <p>【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである</p> <p>【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない</p> <p>【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある</p>	<p>■項目7-2の得点表</p> <p>【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める</p> <p>【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある</p> <p>【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める</p>	<p>■項目7-3の得点表</p> <p>【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明</p> <p>【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる</p> <p>【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる</p> <p>【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点</p>
---	---	---	--

モデルID

工程	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ2	: 加工対象への接近

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)	項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・ 連続的監視or離散的監視 ・ 直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	作B-1	PCV内移動機構	PCV内移動機能	5	水流で移動に時間がかかる	低い移送速度	水流	【項目4】 (a)目的地までの到達時間	連続的監視 直接的測定	---	1	作業	・ 1F-3 PCV内部調査にて水中ROVの投入実績があり、水流を考慮した設計対応がなされているので類似対応が必要となる。 ・ 水中仕様の重機は一般産業に存在し、水流に抵抗した対応策の策定は可能とした。	1	・ 実移動時間を取得することで直接的に判断可能 ・ 操作で実行可能であり、導入に課題は無い	1	項目7-1が1点のため	1	2
△	作B-1	PCV内移動機構	PCV内移動機能	5	水流で移動に時間がかかる	低い移送速度	水流	【項目5】 (b)移動経路上の水流の流速	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 監視のための開発課題は耐放射線性に係るものであり、遮蔽設計など対応策は明確であることから多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	作業	同上	2	ブライス流速計を使用する場合、直接的に流速の判断が可能であるが、流量計の高線量環境での耐放射線性の影響評価が必要なため課題がある	1	同上	2	2
-	作B-2	PCV内移動機構	PCV内移動機能	6	ホットスポット出現による機器への影響評価で移動に時間がかかる	放射線に対する影響の把握遅延	ホットスポット	【項目4】 (a)機器への影響度を予測するための積算被ばく量	連続的監視 予測値	---	1	作業	ホットスポットを確認した場合、その場から一時退避する作業要領は1F-2 PCV内部調査で取り入れられているので、類似対応するものとした。	3	・ 線量計を用いる場合、作業設備の積算被ばく量に基づく閾値を設定すれば直接的に判断することができ ・ 線量計はPCV内部調査PJの現地実証試験で導入実績がありホットスポットを検知した場合は退避する運用がなされた。PCV内部詳細調査でもより精度を高めたものを開発中である。 ・ ただし、積算線量は機器の破損等の影響を直接判断できるものとし、3点とする。	3	項目7-1の対応による一時退避期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	9	9
△	作B-2	PCV内移動機構	PCV内移動機能	6	ホットスポット出現による機器への影響評価で移動に時間がかかる	放射線に対する影響の把握遅延	ホットスポット	【項目5】 (b)移動経路上のホットスポット位置	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	作業	同上	2	・ 1F-1 PCV詳細調査では、水中環境のデブリ(ホットスポット源)の発見のためγ線と中性子線を用いた計測システムを開発中 ・ 1F-2 PCV詳細調査では、γ線・中性子線の計測およびレーザーキャンによる構造形状データを組み合わせたホットスポット位置推定システムを開発中。	3	同上	6	9

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

4/31

【(※)記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

モデルID			工程		作業		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価				
分析番号			項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)			
代替監視検討結果① (※)	分析番号	作	対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(開節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
																					項目7-1
△	作B-	3	PCV内移動機構	PCV内移動機能	7	(水中環境)中性吸収剤や堆積物の舞上がりで移動経路を検知できず、移動に時間がかかる	移動経路の把握遅延	堆積物の舞上がり	【項目4/5】 (a)中性吸収剤や堆積物の舞上がりに影響されない移動経路検知	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)監視のための開発課題は過去のPCV内部調査で示されている、あるいは開発中であることから、多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・1F-1 PCV内部詳細調査では単眼カメラによる構造特徴点と画像対応手法を用いた自己位置推定技術を設計している。 ・1F-2 PCV内部調査では機器の移動量と図面情報に基づき、自己位置を推定した。 ・1F-3 水中ROV調査では周辺構造物と図面情報に基づき、自己位置を推定した。 ・デブリ取り出しでは干渉物の撤去などで周辺構造物配置は変化していくので、追加対策が必要である。	2	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	項目7-1に示す技術の導入によりスループットへの影響はない	6	6		
△	作B-	4	PCV内移動機構	PCV内移動機能	8	暗闇で現在地の確認に時間がかかる	PCV内移動機構の現在地把握遅延	暗闇	【項目4/5】 (a)暗闇に影響されない現在地検知	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)監視のための開発課題は過去のPCV内部調査で示されている、あるいは開発中であることから、多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6	
△	作B-	5	PCV内移動機構	PCV内移動機能	9	霧で現在地の確認に時間がかかる	PCV内移動機構の現在地把握遅延	霧	【項目4/5】 (a)霧に影響されない現在地検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6	
△	作B-	6	PCV内移動機構	PCV内移動機能	10	雨滴で現在地の確認に時間がかかる	PCV内移動機構の現在地把握遅延	雨滴	【項目4/5】 (a)雨滴に影響されない現在地検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6	
△	作B-	7	PCV内移動機構	PCV内移動機能	11	高いバックグラウンドで現在地の確認に時間がかかる	PCV内移動機構の現在地把握遅延	ノイズ	【項目4/5】 (a)ノイズに影響されない現在地検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6	

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

5/31

モデルID

工程	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ3	: 加工前作業

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目							重要監視項目の重み付け評価										
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)	項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)				
		対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作A-1	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	1	暗闇でデブリの水没有無確認に時間がかかる	デブリの水没有無の把握遅延	暗闇	【項目4/5】(a)暗闇の影響を受けないデブリの水没有無検知	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】(設定不要) 項目7-2にて監視のための開発課題は過去に検討されていることから、多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	水没しているにも関わらず、中性子吸収剤を塗布しない誤った判断がなされるリスク対策が必要である。1F補助事業で開発中の中性子計測器を活用し、臨界に近接した場合は直ちに中性子材を散布するなどの対応方針が必要である。	2	1F-1 PCV詳細調査では、水面の検出手法としてS偏光とP偏光を組み合わせた水面反射特性を利用したものを検討している。調査装置への実装上の技術課題があり、採用は見送っている。	2	項目7-1の対応により、作業量が制限される。	12	12
△	作A-2	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	2	霧でデブリの水没有無確認に時間がかかる	デブリの水没有無の把握遅延	霧	【項目4/5】(a)霧の影響を受けないデブリの水没有無検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12
△	作A-3	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	3	雨滴でデブリの水没有無確認に時間がかかる	デブリの水没有無の把握遅延	雨滴	【項目4/5】(a)雨滴の影響を受けないデブリの水没有無検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12
△	作A-4	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	4	高いバックグラウンドでデブリの水没有無確認に時間がかかる	デブリの水没有無の把握遅延	ノイズ	【項目4/5】(a)ノイズの影響を受けないデブリの水没有無検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12
-	作A-5	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	5	冷却水の水流によって中性子吸収剤が分散し、散布に時間がかかる	中性子吸収剤の散布が不十分	水流	【項目4】(a)中性子吸収剤の散布時間	連続的監視 直接的測定	---	3	安全	・デブリ取り出しPJで開発する中性子吸収剤の密度は高く、マランゴニ対流などの自然対流に打ち勝って沈降すると考えられる。	1	・実作業時間を取得することで直接的に判断可能 ・操作室で実行可能であり、導入に課題はない	2	・項目7-1の評価により、スループットへの影響は限定的と考えられる。	6	12
△	作A-5	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	5	冷却水の水流によって中性子吸収剤が分散し、散布に時間がかかる	中性子吸収剤の散布が不十分	水流	【項目5】(b)中性子吸収剤散布箇所的水流速度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】(設定不要) 監視のための開発課題は耐放射線性に係るものであり、遮蔽設計など対応策は明確であることから多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	ブライス流速計を使用する場合、直接的に流速の判断が可能であるが、流量計の高線量環境での耐放射線性の影響評価が必要なため課題がある	2	同上	12	12

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

6/31

モデルID

工程	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ3	: 加工前作業

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目							重要監視項目の重み付け評価										
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)	項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②	項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)					
		対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因		作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作A-6	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	6	暗間で中性子吸収剤の散布結果確認に時間がかかる	中性子吸収剤の散布状況の把握遅延	暗間	【項目4/5】 (a)暗間の影響を受けない中性子吸収剤の散布状況検知	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 項目7-1および7-2に示す中性子計測器は開発であることから多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	中性子吸収剤の散布が不十分にも関わらず、加工作業を開始する誤った判断がなされるリスク対策が必要である。IF補助事業で開発中の中性子計測器を活用し、散布後の効果確認を行う作業要領を同補助事業では提唱している。	2	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	2	項目7-1の対応により、作業量が制限される。	12	12
△	作A-7	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	7	霧で中性子吸収剤の散布結果確認に時間がかかる	中性子吸収剤の散布状況の把握遅延	霧	【項目4/5】 (a)霧の影響を受けない中性子吸収剤の散布状況検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12
△	作A-8	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	8	雨滴で中性子吸収剤の散布結果確認に時間がかかる	中性子吸収剤の散布状況の把握遅延	雨滴	【項目4/5】 (a)雨滴の影響を受けない中性子吸収剤の散布状況検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12
△	作A-9	デブリ加工機構	【臨界】中性子吸収剤散布機能	9	散布場所の死角が多く、中性子吸収剤の散布結果確認に時間がかかる	中性子吸収剤の散布状況の把握遅延	周辺構造物	【項目4/5】 (a)周辺構造物による死角の影響を受けない中性子吸収剤の散布状況検知	連続的監視 直接的測定	同上	3	安全	同上	2	同上	2	同上	12	12

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

7/31

モデルID

工程	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ4	: デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か ・可能: 詳細検討、設定不要 ・トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 ・トレードオフの影響: 自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	エラー(閑節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
★	作B-1	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	1	デブリの性状と選択する加工方法の相性が悪く、加工方法決定に時間がかかる。	最適な加工方法の判断遅延	様々な性状を持つ燃料デブリ	【項目4/5】 (a)加工エリアの燃料デブリ性状(圧縮強度)	離散的監視(サンプリング)直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (可能) サンプリングを行い、ホットラポで圧縮強度の測定を実施する。 【トレードオフ】 離散的監視になる 【トレードオフの影響】 デブリ取り出し作業エリアで加工方法決定するのではなく、日々の作業段階で加工方法を計画することが求められる。	3	作業	デブリ取り出しPJでは、デブリの性状(主に圧縮強度)に応じたデブリ加工方法を検討している。	3	サンプリングではデータ取得タイミングに遅れは出ることの他、その場測定ではなくもの性状そのものは直接的に判断が可能。	2	項目7-1の加工方法の順次試行をする間は、作業量が制限される。	18	18
■	作A-1	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	2	暗闇(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	暗闇(視界不良)による過剰加熱	【項目4】 (a)暗闇に影響されない加工現場のダスト濃度	連続的監視直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要) 放射性物質の揮発・拡散が出ずと発生源となるため、気流解析結果に基づき設定する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	下記の一般的な対応方法で安全機能を維持するが、効果は未評価。 ・作業の一時停止 ・冷却水の注入	2	・ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。 ・暗闇かつ高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	18	27
★	作A-1	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	2	暗闇(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	暗闇(視界不良)による過剰加熱	【項目5】 (b)暗闇に影響されないデブリ表面温度 (b1)【レーザガウジング】 入熱量(照射時間×出力) (b2)【ディスクカッター】 連続切削時間	連続的監視予測値	【代替監視を設定可能か】 (可能)。デブリの温度上昇原因となる加工治具の運転パラメータを収集し、工場試験データと組み合わせることでデブリが高温にならない作業要領とする(例、レーザによる入熱量は60秒以上は連続させない、など) 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値となる 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	安全	同上	3	デブリ表面温度の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	27	27



# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

8/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工
作業		

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機能が回う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か; 可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響: 自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (関断原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
■	作A-2	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	3	霧 (視界不良) でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が弾発する	過剰加熱による放射性物質の弾発	霧 (視界不良) による過剰加熱	【項目4】 (a)霧に影響されない加工現場のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要) 放射性物質の弾発・拡散が出すと発生源となるため、気流解析結果に基づき検討する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	下記の一般的な対応方法で安全機能を維持するが、効果は未評価。 ・作業の一時停止 ・冷却水の注入	2	・ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。 ・霧かつ高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	18	27
★	作A-2	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	3	霧 (視界不良) でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が弾発する	過剰加熱による放射性物質の弾発	霧 (視界不良) による過剰加熱	【項目5】 (b)霧に影響されないデブリ温度 (b1)【レーザガウジング】 入熱量 (照射時間×出力) (b2)【ディスクカッター】 連続切削時間	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (可能)。デブリの温度上昇原因となる加工治具の運転パラメータを収集し、工場試験データと組み合わせることでデブリが高温にならない作業要領とする (例、レーザによる入熱は60秒以上は連続させない、など) 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値となる 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	安全	同上	3	デブリ表面温度の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	27	27
■	作A-3	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	4	雨滴 (視界不良) でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が弾発する	過剰加熱による放射性物質の弾発	雨滴 (視界不良) による過剰加熱	【項目4】 (a)雨滴に影響されない加工現場のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要) 放射性物質の弾発・拡散が出ると発生源となるため、気流解析結果に基づき検討する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	下記の一般的な対応方法で安全機能を維持するが、実現性は未評価。 ・作業の一時停止 ・冷却水の注入	2	・ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。 ・雨滴かつ高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	18	27
★	作A-3	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	4	雨滴 (視界不良) でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が弾発する	過剰加熱による放射性物質の弾発	雨滴 (視界不良) による過剰加熱	【項目5】 (b)雨滴に影響されないデブリ温度 (b1)【レーザガウジング】 入熱量 (照射時間×出力) (b2)【ディスクカッター】 連続切削時間	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (可能)。デブリの温度上昇原因となる加工治具の運転パラメータを収集し、工場試験データと組み合わせることでデブリが高温にならない作業要領とする (例、レーザによる入熱は60秒以上は連続させない、など) 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値となる 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	安全	同上	3	デブリ表面温度の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	27	27

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

9/31

モデルID

工程	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ4	: デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目						重要監視項目の重み付け評価											
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が回う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か;可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	エラー(調節原因)対 処によるスループット への影響	個別	代表点	
■	作A-4	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	5	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	高いバックグラウンド(ノイズ)による過剰加熱	【項目4】 (a)ノイズに影響されない加工現場のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要)放射性物質の揮発・拡散が出すと発生源となるため、気流解析結果に基づき検討する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	下記一般的な対応方法で安全機能を維持するが、実現性は未評価。 ・作業の一時停止 ・冷却水の注入	2	・ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。 ・放射性によるノイズが発生し、かつ高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	18	27
★	作A-4	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	5	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	高いバックグラウンド(ノイズ)による過剰加熱	【項目5】 (b)ノイズに影響されないデブリ温度 (b1)【レーザガウジンク】入熱量(照射時間×出力) (b2)【ディスクカッター】連続切削時間	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (可能)。デブリの温度上昇原因となる加工治具の運転パラメータを収集し、工場試験データと組み合わせることでデブリが高温にならない作業要領とする(例、レーザによる入熱は60秒以上は連続させない、など) 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値となる 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	安全	同上	3	デブリ表面温度の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	27	27
■	作A-5	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	6	ダスト飛散(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	ダスト飛散(視界不良)による過剰加熱	【項目4】 (a)飛散ダスト飛散に影響されない加工現場のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要)放射性物質の揮発・拡散が出すと発生源となるため、気流解析結果に基づき検討する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	下記一般的な対応方法で安全機能を維持するが、実現性は未評価。 ・作業の一時停止 ・冷却水の注入	2	・ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。 ・高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	18	27
★	作A-5	デブリ加工機構	【気相】 デブリ過剰加熱防止機能	6	ダスト飛散(視界不良)でデブリを過剰に加熱し、放射性物質が揮発する	過剰加熱による放射性物質の揮発	ダスト飛散(視界不良)による過剰加熱	【項目5】 (b)ダスト飛散に影響されないデブリ温度 (b1)【レーザガウジンク】入熱量(照射時間×出力) (b2)【ディスクカッター】連続切削時間	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (可能)。デブリの温度上昇原因となる加工治具の運転パラメータを収集し、工場試験データと組み合わせることでデブリが高温にならない作業要領とする(例、レーザによる入熱は60秒以上は連続させない、など) 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値となる 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	安全	同上	3	デブリ表面温度の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	27	27

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

10/31

モデルID	
工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機能が回す安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(調節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作A-6	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	7	暗闇(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	暗闇(視界不良)による不適切な加工	【項目4】 (a)暗闇に影響されない中性子束	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	1F補助事業では中性子吸収剤の散布(作業一時停止)による再臨界防止技術を開発中である。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	12
△	作A-6	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	7	暗闇(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	暗闇(視界不良)による不適切な加工	【項目5】 (b)暗闇に影響されないデブリ寸法デブリの加工範囲	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)事象進展速度を考慮すると、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	・カメラ映像を用いる場合、デブリ寸法を直接的に判断することは困難で、画像処理が必要。 ・一般的なカメラは高線量環境での耐放射線性が低く、開発課題がある。 ・PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドアレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	2	同上	12	12
△	作A-7	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	8	霧(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	霧(視界不良)による不適切な加工	【項目4】 (a)霧に影響されない中性子束	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	1F補助事業では中性子吸収剤の散布(作業一時停止)による再臨界防止技術を開発中である。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	12
△	作A-7	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	8	霧(視界不良)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	霧(視界不良)による不適切な加工	【項目5】 (b)霧に影響されないデブリ寸法デブリの加工範囲	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)事象進展速度を考慮すると、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	・カメラ映像を用いる場合、デブリ寸法を直接的に判断することは困難で、画像処理が必要。 ・一般的なカメラは高線量環境での耐放射線性が低く、開発課題がある。 ・PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドアレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	2	同上	12	12

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.144

11/31

モデルID	
工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機器が抱う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か; 可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響; 自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (関断原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作A-8	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	9	雨滴 (視界不良) でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	雨滴 (視界不良) による不適切な加工	【項目4】 (a)雨滴に影響されない中性子束	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	1F補助事業では中性子吸収剤の散布 (作業一時停止) による再臨界防止技術を開発中である。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	12
△	作A-8	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	9	雨滴 (視界不良) でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	雨滴 (視界不良) による不適切な加工	【項目5】 (b)雨滴に影響されないデブリ寸法デブリの加工範囲	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 事象進展速度を考慮すると、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	・カメラ映像を用いる場合、デブリ寸法を直接的に判断することは困難で、画像処理が必要。 ・一般的なカメラは高線量環境での耐放射線性が低く、開発課題がある。 ・PCV内部詳細調査PIでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドアレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	2	同上	12	12
△	作A-9	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	10	ダスト飛散 (視界不良) でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	ダスト飛散 (視界不良) による不適切な加工	【項目4】 (a)ダスト飛散に影響されない中性子束	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	1F補助事業では中性子吸収剤の散布 (作業一時停止) による再臨界防止技術を開発中である。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	12
△	作A-9	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	10	ダスト飛散 (視界不良) でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	ダスト飛散 (視界不良) による不適切な加工	【項目5】 (b)ダスト飛散に影響されないデブリ寸法デブリの加工範囲	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 事象進展速度を考慮すると、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	・カメラ映像を用いる場合、デブリ寸法を直接的に判断することは困難で、画像処理が必要。 ・一般的なカメラは高線量環境での耐放射線性が低く、開発課題がある。 ・PCV内部詳細調査PIでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドアレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	2	同上	12	12

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.145

12/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工
作業		

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機器が回う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か;可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関断原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作A-10	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	11	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	ノイズ(視界不良)による不適切な加工	【項目4】 (a)バックグラウンド(ノイズ)に影響されない中性子束	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	1F補助事業では中性子吸収剤の散布(作業一時停止)による再臨界防止技術を開発中である。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	12
△	作A-10	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	11	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを不適切形状に加工し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	ノイズ(視界不良)による不適切な加工	【項目5】 (b)バックグラウンドに影響されないデブリ形状法デブリの加工範囲	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)事象進展速度を考慮すると、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	2	PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザー स्क্যান技術を開発中。水中環境ではフェイズドレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	2	同上	12	12
△	作A-11	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	12	加工箇所から構造物が落下してデブリに衝突し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	構造物の落下	【項目4】 (a)落下地点周辺の中性子束	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	・デブリ取り出しPJでは中性子吸収剤の散布(作業一時停止)による再臨界防止技術が開発中である。 ・デブリ取り出しPJでは、加工箇所が狭くなり、重力落下することを防止するため加工物を支えるサポートアームや落下物を受け止め皿などの概念が検討されている。	2	・中性子計測器を用いる場合、中性子束の閾値を設定すれば直接的に判断が可能。 ・中性子計測器は1F補助事業にて開発中。	2	項目7-1の対応により、中性子吸収剤の散布中は、作業量が制限される。	12	24
■	作A-11	デブリ加工機構	【臨界】 デブリ加工形状制御機能	12	加工箇所から構造物が落下してデブリに衝突し、デブリが臨界状態へ接近する	形状変化によるデブリの臨界近接	構造物の落下	【項目5】 (b)構造物が落下モードへ至る構造強度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (詳細検討要)構造強度は複数の物理量を組み合わせた総合的判断が必要になり、監視手順が複雑になるため、詳細検討する。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	安全	同上	4	・構造物の構造強度は、欠陥、ひずみ、応力、亀裂などの種々のパラメータに基づき評価する必要がある。直接的な判断は困難。 ・一般産業では橋梁やコンクリートトンネルなどの構造強度評価のための非破壊検査装置(超音波測定器など)が存在するが、高線量環境での放射線線性や複雑形状への適用方法などの技術課題がある。	2	同上	24	24

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

13/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工
作業		

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機能が旧う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応 への影響	点数	エラー(調節原因)対 処によるスループット への影響	個別	代表点
■	作A-12	デブリ加工機構	【気相】 ダスト飛散防止機能	13	加工により飛散するダストでPCV内ダスト濃度許容値に接近する	過剰なダスト飛散	ダスト飛散防止機能を 超えるデブリ加工	【項目4】 (a)加工現場のダスト濃度 直接的測定	連続的監視 予測値	1	安全	加工作業を一時中断することで過剰なダスト飛散はなくなる。 1F-1 PCV内部調査アクセスルート構築工事で類似事象に対処例あり。	2	※気相安全設備の監視データの活用が困難である場合、以下の対応が必要。 ・ダストサンプラーを用いる場合、ダスト濃度を直接的に判断することは可能。 ・高線量環境のデブリ加工現場でダスト濃度を測定する技術が必要。	3	項目7-1の対応による作業の一時停止期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	6	9	
★	作A-12	デブリ加工機構	【気相】 ダスト飛散防止機能	13	加工により飛散するダストでPCV内ダスト濃度許容値に接近する	過剰なダスト飛散	ダスト飛散防止機能を 超えるデブリ加工	【項目5】 (b)加工箇所への飛散防止助剤(ミスト)の到達量 (b)ミスト供給量	連続的監視 予測値	1	安全	同上	3	加工箇所そのものへのミスト散布量の直接測定を行わないため、監視により得るデータは予測値となる。	3	同上	9	9	

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.147

14/31

モデルID	
工程	303 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機器が扱う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か :可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関断原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作B-2	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	14	外力を加えたい箇所へ加工治具をアクセスさせるのに時間がかかる	加工箇所へのアクセス性の悪さ	加工現場の構造物	【項目4】 (a)加工箇所への到達時間	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	PCV内で複雑に配置された構造物に対するロボットアームのアクセス性向上技術は、燃料デブリ取り出しPJにて開発中である。	2	デブリ取り出しP「多関節MNPの遠隔操作支援手法」では、事前に構造物配置情報を取得し、機械処理することで加工箇所へのアクセス性向上を支援・評価する技術を開発中。	1	項目7-1の対応により、スループットへの影響は低いものとする。	6	6
△	作B-2	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	14	外力を加えたい箇所へ加工治具をアクセスさせるのに時間がかかる	加工箇所へのアクセス性の悪さ	加工現場の構造物	【項目5】 (b)加工現場の構造物三次元形状(寸法)	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	同上	2	燃料デブリ試験の取り出しフェーズで投入するサンプリング装置はレーザーキャンによる構造物配置状況の情報取得技術を実装し、現地実証試験予定。	1	同上	6	6
-	作B-3	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	15	加工治具の損耗が早く、頻繁な交換によって加工に時間がかかる	加工治具の過剰な損耗	燃料デブリ	【項目4】 (a)加工治具の損耗度	連続的監視 予測値	---	3	作業	ツールチェンジャなど、加工治具をその場で遠隔交換する技術は燃料デブリ取り出しPJにて開発中である。	3	・加工治具の損耗の直接的判断は困難。目視確認の場合は運転員の官能検査訓練が必要。目視以外の場合、治具の振動やモータ出力など、複数データを取得し、判断する必要がある。 ・上記いずれも一般産業技術を活用可能。	2	項目7-1の対応により、作業が一時的に制限されるものとする。	18	18
★	作B-3	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	15	加工治具の損耗が早く、頻繁な交換によって加工に時間がかかる	加工治具の過剰な損耗	燃料デブリ	【項目5】 (b)加工する燃料デブリの圧縮強度	離散的監視(サンプリング) 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (可能) 項目7-2に示すように、その場測定ではなくサンプリングを行う。 【トレードオフ】 サンプリングにより離散的監視となり、かつ測定結果の出力は遅れる。 【トレードオフの影響】 予測により監視精度が悪くなると、項目7-1の対応によりスループットは阻害される	3	作業	同上	2	サンプリングではデータ取得タイミングに遅れは出ること、その他、その場測定でなくなるもの性状そのものは直接的に判断が可能。	2	同上	12	18
-	作B-4	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	16	ホットスポットが出現し、機器への影響評価に時間がかかる	放射線に対する影響の判断遅延	ホットスポット	【項目4】 (a)ホットスポットに対する機器への影響度(耐放射線性)	連続的監視 直接的測定	---	1	作業	ホットスポットを確認した場合、その場から一時退避する作業要領は1F-2 PCV内部調査で取り入れられている。	1	・線量計を用いる場合、作業設備の積算被ばく量に基づく閾値を設定すれば直接的に判断することができ ・線量計はPCV内部調査PJの現地実証試験で導入実績がある。	3	項目7-1の対応による一時退避期間が不明のため、スループットが大幅に低下するものとする。	3	6
△	作B-4	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	16	ホットスポットが出現し、機器への影響評価に時間がかかる	放射線に対する影響の判断遅延	ホットスポット	【項目5】 (b)加工現場のホットスポットの線源位置	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	作業	同上	2	・1F-1 PCV詳細調査では、水中環境のデブリ(ホットスポット源)の発見のためγ線と中性子線を用いた計測システムを開発中 ・1F-2 PCV詳細調査では、γ線・中性子線の計測およびレーザーキャンによる構造物形状データを組み合わせたホットスポット位置推定システムを開発中。	3	同上	6	6

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

15/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工
作業		

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中心によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機能が担当安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閑節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点	
-	作B-	5	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	17	水流に阻害されて機械的/熱的外力がデブリへ伝達しない	デブリへの外力伝達不足	水流	【項目4】 (a)内容容器へのデブリ光量量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	4	作業	冷却水が直接注入されるRPV内の水流状況は不明。また、対応策も検討されていない。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	4	項目7-1の対応が決定できないため、スループットへの影響不明	16	48
★	作B-	5	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	17	水流に阻害されて機械的/熱的外力がデブリへ伝達しない	デブリへの外力伝達不足	水流	【項目5】 (b)燃料デブリ加工箇所での冷却水流速と流量 (b)水流が無い箇所での燃料デブリの取り出し量との差	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (可能) 水流が存在しない箇所での燃料デブリの加工量との比較および加工場所の水流の存在の有無の2点に分ければ、水流の阻害によってエラーが発生しているかは判断可能。 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値 【トレードオフの影響】 本予測は水流によって阻害されているか/されていないかの定性的判断のみにしか活用できない	4	作業	同上	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	4	同上	16	48
★	作B-	5	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	17	水流に阻害されて機械的/熱的外力がデブリへ伝達しない	デブリへの外力伝達不足	水流	(c)加工箇所の水流の存在の把握(目視による官能的判断)	連続的監視 官能的判断	同上	4	作業	同上	3	カメラ映像による目視での官能的判断となり、直接的に判断はできない。	4	同上	48	48
△	作B-	6	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	18	暗闇で加工結果(デブリ細断完了)が得られず、加工のやり直しで時間がかかる	加工したデブリの形状変化が不明	暗闇	【項目4/5】 (a)暗闇に影響されない加工済みデブリの寸法	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 加工現場で頻繁に監視する必要があるが、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	4	作業	デブリ取り出しPJでは、デブリの加工技術の検討を実施しているが、当該エラーの対策は詳細検討されていない。	2	PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドアレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	4	項目7-1にて対策が決定されていないため、スループットへの影響不明	32	32



# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

16/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工
作業		

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機能が担当安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測or官能判断	代替監視を設定可能か; 可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響: 自由記述		点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (関断原因) 対処によるスループットへの影響	個別
△	作B- 7	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	19	霧で加工結果(デブリ細断完了)が得られず、加工のやり直しで時間がかかる	加工したデブリの形状変化が不明	霧	【項目4/5】 (a)霧に影響されない加工済みデブリの寸法	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)加工現場で頻繁に監視する必要があるが、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	4	機能	デブリ取り出しPJでは、デブリの加工技術の検討を実施しているが、当該エラーの対策は詳細検討されていない。	2	PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	4	項目7-1にて対策が決定されていないため、スループットへの影響不明	32	32
△	作B- 8	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	20	雨滴で加工結果(デブリ細断完了)が得られず、加工のやり直しで時間がかかる	加工したデブリの形状変化が不明	雨滴	【項目4/5】 (a)雨滴に影響されない加工済みデブリの寸法	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)加工現場で頻繁に監視する必要があるが、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	4	作業	デブリ取り出しPJでは、デブリの加工技術の検討を実施しているが、当該エラーの対策は詳細検討されていない。	2	PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	4	項目7-1にて対策が決定されていないため、スループットへの影響不明	32	32
△	作B- 9	デブリ加工機構	燃料デブリ加工機能	21	(水中環境)浮遊する中性子吸収剤や堆積物で加工結果(デブリ細断完了)が得られず、加工のやり直しで時間がかかる	加工したデブリの形状変化が不明	浮遊する中性子吸収剤	【項目4/5】 (a)浮遊する中性子吸収剤や堆積物に影響されない加工済みデブリの寸法	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)加工現場で頻繁に監視する必要があるが、時間のかかる離散的監視などの多様化は困難 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	4	作業	デブリ取り出しPJでは、デブリの加工技術の検討を実施しているが、当該エラーの対策は詳細検討されていない。	2	PCV内部詳細調査PJでは、気中環境にて3Dカメラ・光学カメラでの画像処理・レーザースキャン技術を開発中。水中環境ではフェイズドレイの技術を開発中。ただし、水中環境では中性子吸収剤などデブリ加工時に発生する環境変化を考慮した精密測定は検証していない	4	項目7-1にて対策が決定されていないため、スループットへの影響不明	32	32

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.150

17/31

モデルID	
工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目							重要監視項目の重み付け評価										
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機能が担当安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か；可能、詳細検討、設定不要 トレードオフ：間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響：自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー（調節原因） 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	作B-10	線源収納機構	燃料デブリ回収機能	22	水流に阻害されてデブリが内容器に収まらない(流れてしまうなど)	低い燃料回収速度	水流	【項目4】 (a)内容器へのデブリ充 填量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	1	作業	・水中でのデブリは吸引回収する手法をデブリ取り出しPJにて検討しており、対策済み。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	1	項目7-1が1点のため	1	3
★	作B-10	線源収納機構	燃料デブリ回収機能	22	水流に阻害されてデブリが内容器に収まらない(流れてしまうなど)	低い燃料回収速度	水流	【項目5】 (b)燃料デブリ収納所の冷却水流速と流量 (b)水流が無い箇所での燃料デブリの取り出し量との差	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (可能) 水流が存在しない箇所での燃料デブリ収納量との比較および加工場所の水流の有無の2点が分かれば、水流の阻害によってエラーが発生しているかは判断可能。 【トレードオフ】 監視によって得られるデータは予測値 【トレードオフの影響】 本予測は水流によって阻害されているか/されていないかの定性的判断のみにしか活用できない	1	作業	同上	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	1	同上	1	3
★	作B-10	線源収納機構	燃料デブリ回収機能	22	水流に阻害されてデブリが内容器に収まらない(流れてしまうなど)	低い燃料回収速度	水流	(c)加工箇所の水流の存在の把握(目視による官能的判断)	連続的監視 官能的判断	同上	1	作業	同上	3	カメラ映像による目視での官能的判断となり、直接的に判断はできない。	1	同上	3	3

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

18/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工

【(8) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機能が回す安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関断原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	作B-11	線源収納機	燃料デブリ回収機能	23	暗闇(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	暗闇	【項目4】 (a)内容器へのデブリ光量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	4	作業	・デブリの拾い上げ動作で内容器に回収する場合、その場の環境測定に頼らない半自動化による繰り返し動作は一般産業技術に存在し、PCV内環境(視界不良)からの作業阻害低減が期待できる。 ・デブリ形状によっては運転員操作による軌道修正が必要な可能性もあるため、開発課題がある。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	2	項目7-1に対応のうち、運転員の介入により作業速度が落ちる可能性がある。	8	24
-	作B-11	線源収納機	燃料デブリ回収機能	23	暗闇(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	暗闇	【項目5】 (b)暗闇に影響されないデブリと内容器の相対位置	連続監視 予測値	---	4	作業	同上	3	・項目7-1に示す半自動作業に対する運転員の軌道修正対応(デブリと内容器の微小なずれなど)は、カメラ映像を用いる場合、習熟による見極めが必要であり、直接的に判断できない。 ・上記の一方、把持されたデブリと内容器は何れも基準位置から座標特定できるため、相対距離を算出することは可能であり、上記の直接的判断ができない問題に対する補助は技術的に可能である。	2	同上	24	24
-	作B-12	線源収納機	燃料デブリ回収機能	24	霧(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	霧	【項目4】 (a)内容器へのデブリ光量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	4	作業	・デブリの拾い上げ動作で内容器に回収する場合、その場の環境測定に頼らない半自動化による繰り返し動作は一般産業技術に存在し、PCV内環境(視界不良)からの作業阻害低減が期待できる。 ・デブリ形状によっては運転員操作による軌道修正が必要な可能性もあるため、開発課題がある。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	2	項目7-1に対応のうち、運転員の介入により作業速度が落ちる可能性がある。	8	24
-	作B-12	線源収納機	燃料デブリ回収機能	24	霧(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	霧	【項目5】 (b)霧に影響されないデブリと内容器の相対位置	連続監視 予測値	---	4	作業	同上	3	・項目7-1に示す半自動作業に対する運転員の軌道修正対応(デブリと内容器の微小なずれなど)は、カメラ映像を用いる場合、習熟による見極めが必要であり、直接的に判断できない。 ・上記の一方、把持されたデブリと内容器は何れも基準位置から座標特定できるため、相対距離を算出することは可能であり、上記の直接的判断ができない問題に対する補助は技術的に可能である。	2	同上	24	24

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.152

19/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・ 連続的監視or離散的監視 ・ 直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	作B-13	線源収納機	燃料デブリ回収機能	25	雨滴(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	雨滴	【項目4】 (a)内容器へのデブリ光量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	4	作業	・デブリの拾い上げ動作で内容器に回収する場合、その場の環境測定に頼らない半自動化による繰り返し動作は一般産業技術に存在し、PCV内環境(視界不良)からの作業阻害低減が期待できる。 ・デブリ形状によっては運転員操作による軌道修正が必要な可能性もあるため、開発課題がある。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	2	項目7-1に対応のうち、運転員の介入により作業速度が落ちる可能性がある。	8	24
-	作B-13	線源収納機	燃料デブリ回収機能	25	雨滴(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	雨滴	【項目5】 (b)雨滴に影響されないデブリと内容器の相対位置	連続監視 予測値	---	4	作業	同上	3	・項目7-1に示す半自動作業に対する運転員の軌道修正対応(デブリと内容器の微小なずれなど)は、カメラ映像を用いる場合、習熟による見極めが必要であり、直接的に判断できない。 ・上記の一方、把持されたデブリと内容器はどれも基準位置から座標特定できるため、相対距離を算出することは可能であり、上記の直接的判断ができない問題に対する補助は技術的に可能である。	2	同上	24	24
-	作B-14	線源収納機	燃料デブリ回収機能	26	(水中環境)中性子吸収剤や堆積物の浮遊(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	浮遊する中性子吸収剤や堆積物	【項目4】 (a)内容器へのデブリ光量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的測定	---	1	作業	水中でのデブリは吸引回収する手法をデブリ取り出しPJにて検討しており、対策済み。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	2	項目7-1に対応のうち、運転員の介入により作業速度が落ちる可能性がある。	2	8
-	作B-14	線源収納機	燃料デブリ回収機能	26	(水中環境)中性子吸収剤や堆積物の浮遊(視界不良)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	浮遊する中性子吸収剤や堆積物	【項目5】 (b)浮遊する中性子吸収剤や堆積物に影響されないデブリと内容器の相対位置	連続監視 予測値	---	1	作業	同上	4	・項目7-1に示す半自動作業に対する運転員の軌道修正対応(デブリと内容器の微小なずれなど)は、カメラ映像を用いる場合、習熟による見極めが必要であり、直接的に判断できない。 ・上記の一方、把持されたデブリと内容器はどれも基準位置から座標特定できるため、相対距離を算出することは可能であり、上記の直接的判断ができない問題に対する補助は技術的に可能である。	2	同上	8	8

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.153

20/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ4	: デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機能が回す安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(関節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
-	作B-15	線源収納機	燃料デブリ回収機能	27	高いバックグラウンド(ノイズ)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	ノイズ	【項目4】 (a)内容器へのデブリ充填量 (a)日々のデブリ搬出量	連続的監視 直接的監視	---	4	作業	・デブリの拾い上げ動作で内容器に回収する場合、その場の環境測定に頼らない半自動化による繰り返し動作は一般産業技術に存在し、PCV内環境(境界不良)からの作業阻害低減が期待できる。 ・デブリ形状によっては運転員操作による軌道修正が必要な可能性もあるため、開発課題がある。	1	セルもしくはデブリの受け入れ先で内容器内のデブリの重量もしくは体積を測定することで直接的に判断が可能	2	項目7-1に対応のうち、運転員の介入により作業速度が落ちる可能性がある。	8	32
-	作B-15	線源収納機	燃料デブリ回収機能	27	高いバックグラウンド(ノイズ)で内容器へのデブリ収納に時間がかかる	低い燃料回収速度	ノイズ	【項目5】 (b)ノイズに影響されないデブリと内容器の相対位置	連続的監視 予測値	---	4	作業	同上	4	・項目7-1に示す半自動作業に対する運転員の軌道修正対応(デブリと内容器の微小なずれなど)は、カメラ映像を用いる場合、習熟による見極めが必要であり、直接的に判断できない。 ・上記の一方、把持されたデブリと内容器は何れも基準位置から座標特定できるため、相対距離を算出することは可能であり、上記の直接的判断ができない問題に対する補助は技術的に可能である。	2	同上	32	32
△	作B-16	線源収納機	燃料デブリ回収機能	28	暗闇(視界不良)でデブリを内容器に収納できたか確認できない	内容器内の燃料デブリの充填量不明(内容器から溢れるなど)	暗闇	【項目4/5】 (a)暗闇に影響されない内容器へのデブリ充填量	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・段階的規模拡大取り出しPJでは、デブリの回収技術開発を行っている。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	2	・段階的規模拡大取り出しPJでは、PCV内環境から繰り出したカプセル内でのカメラを用いた少量デブリの回収技術開発を行っており、運転員による操作試験も実施している。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	4	項目7-1に示す対応が未決定のため、スループットへの影響不明	24	24
△	作B-17	線源収納機	燃料デブリ回収機能	29	霧(視界不良)でデブリを内容器に収納できなかったか確認できない	内容器内の燃料デブリの充填量不明(内容器から溢れるなど)	霧	【項目4/5】 (a)霧に影響されない内容器へのデブリ充填量	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・段階的規模拡大取り出しPJでは、デブリの回収技術開発を行っている。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	2	・段階的規模拡大取り出しPJでは、PCV内環境から繰り出したカプセル内でのカメラを用いた少量デブリの回収技術開発を行っており、運転員による操作試験も実施している。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	4	項目7-1に示す対応が未決定のため、スループットへの影響不明	24	24

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

モデルID	
工程	コ3 : デブリ取り出し
作業	サ4 : デブリ加工

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】対応策が決定されていない  
 【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果①(※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か; 可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響: 自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閾値原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点
△	作B-18	線源収納機	燃料デブリ回収機能	30	雨滴(視界不良)でデブリを内容器に収納できなかった確認できない	内容器内の燃料デブリの充填量不明(内容器から溢れるなど)	雨滴	【項目4/5】 (a)雨滴に影響されない内容器へのデブリ充填量	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・段階的規模拡大取り出しPJでは、デブリの回収技術開発を行っている。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	2	・段階的規模拡大取り出しPJでは、PCV内環境から縁切りしたカプセル内でのカメラを用いた少量デブリの回収技術開発を行っており、運転員による操作試験も実施している。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。パネ測りによる取り出し現場での重量測定と、ユニット缶内側に刻んだマーキングの目視による体積量推定などの対策なども挙げられる。	4	項目7-1に示す対応が未決定のため、スループットへの影響不明	24	24
△	作B-19	線源収納機	燃料デブリ回収機能	31	(水中環境)中性子吸収剤や堆積物の浮遊(視界不良)でデブリを内容器に収納できなかった確認できない	内容器内の燃料デブリの充填量不明(内容器から溢れるなど)	浮遊する中性子吸収剤	【項目4/5】 (a)浮遊する中性子吸収剤や堆積物に影響されない内容器へのデブリ充填量	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・段階的規模拡大取り出しPJでは、デブリの回収技術開発を行っている。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	2	・段階的規模拡大取り出しPJでは、PCV内環境から縁切りしたカプセル内でのカメラを用いた少量デブリの回収技術開発を行っており、運転員による操作試験も実施している。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。パネ測りによる取り出し現場での重量測定と、ユニット缶内側に刻んだマーキングの目視による体積量推定などの対策なども挙げられる。	4	項目7-1に示す対応が未決定のため、スループットへの影響不明	24	24
△	作B-20	線源収納機	燃料デブリ回収機能	32	高いバックグラウンド(ノイズ)でデブリを内容器に収納できなかった確認できない	内容器内の燃料デブリの充填量不明(内容器から溢れるなど)	ノイズ	【項目4/5】 (a)ノイズに影響されない内容器へのデブリ充填量	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要)開発中の計器があることから項目7-2を2点としたため、多様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・段階的規模拡大取り出しPJでは、デブリの回収技術開発を行っている。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。	2	・段階的規模拡大取り出しPJでは、PCV内環境から縁切りしたカプセル内でのカメラを用いた少量デブリの回収技術開発を行っており、運転員による操作試験も実施している。 ・大規模取り出しフェーズでは、上記PJの技術応用が期待できるが、詳細な検討や技術開発は実施していない。パネ測りによる取り出し現場での重量測定と、ユニット缶内側に刻んだマーキングの目視による体積量推定などの対策なども挙げられる。	4	項目7-1に示す対応が未決定のため、スループットへの影響不明	24	24

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

22/31

<p>【(※)記号凡例】</p> <p>★：代替監視を設定 ー：検討対象外</p> <p>■：代替監視のために詳細な検討が必要</p> <p>△：検討対象だが、代替監視の設定は不要</p>	<p>■項目7-1の得点表</p> <p>【4点】対応策が決定されていない</p> <p>【3点】対応策は存在するが、開発途上のものである</p> <p>【2点】対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない</p> <p>【1点】対応策は存在し、1Fでの適用実績がある</p>	<p>■項目7-2の得点表</p> <p>【4点】直接的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【3点】直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める</p> <p>【2点】直接的に判断でき、かつ導入に課題がある</p> <p>【1点】直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める</p>	<p>■項目7-3の得点表</p> <p>【4点】対応策がなく、スループット影響が不明</p> <p>【3点】対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる</p> <p>【2点】対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる</p> <p>【1点】スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点</p>
--	---	---	--

モデルID	コ3	：デブリ取り出し
作業	サ5	：加工後の各種記録

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目							重要監視項目の重み付け評価									
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3	項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か：可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ：間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響：自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー（閑節原因）対処による スループットへの影響	個別
		PCV内環境変化なし																

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

23/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ6	: デブリのセル移送

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

多様化 検討 結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価									
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)			
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閑静原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点		
-	作A-1	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	1	暗闇で干渉物の存在有無を確認できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	暗闇	【項目4/5】 (a)暗闇に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	---	2	安全	・1F-2 PCV内部調査では専用装置で作業ルート上の干渉物有無を事前確認する手法の有効性を示しており、類似した方法の適用が想定される。 ・本作業では燃料デブリを移送するため、追加の安全対策が求められるものとし、2点とする。これら対策はデブリ取り出しPJの各工法の特徴毎に検討が進められている。	1	同上	・3Dスキャンなどの寸法取得を行えば直接的な判断は可能 ・1F-2 PCV詳細調査ではレーザスキャンによる干渉物の位置情報を把握する技術が適用される。	1	項目7-1に示す各工法の特徴毎の安全対策は、作業を大きく制限する要素が抽出されなため、1点とする。	2	2	
-	作A-2	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	2	霧で干渉物の存在有無を確認できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	霧	【項目4/5】 (a)霧に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	---	2	安全	同上	1	同上	1	同上	1	同上	2	2
-	作A-3	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	3	雨滴で干渉物の存在有無を確認できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	雨滴	【項目4/5】 (a)雨滴に影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	---	2	安全	同上	1	同上	1	同上	1	同上	2	2
-	作A-4	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	4	高いバックグラウンドで干渉物の存在有無を確認できず移動経路上の安全確認に時間がかかる	干渉物の存在有無の把握遅延	ノイズ	【項目4/5】 (a)ノイズに影響されない干渉物の存在	連続的監視 直接的測定	---	2	安全	同上	1	同上	1	同上	1	同上	2	2
-	作B-1	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	5	水流で内容器の移動に時間がかかる	遅い移動速度	水流	【項目4】 (a)目的地までの到達時間	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	・水中仕様の重機は一般作業技術に存在し、水流に抵抗することは可能である。 ・本作業では燃料デブリを移送するため、追加の安全対策が求められるものとし、2点とする。これら対策は各工法の特徴毎に検討が進めていく必要がある。	1	同上	・実移動時間を取得することで直接的に判断可能 ・監視室で計測可能であり、導入に課題は無い	1	項目7-1に示す具体的な安全対策はデブリ取り出しPJでは深掘り検討されていないが、気中移送の応用が期待できるものとし、1点とする。	2	4	
△	作B-1	セル移送機構	燃料デブリ回収機能	5	水流で内容器の移動に時間がかかる	遅い移動速度	水流	【項目5】 (b)移動経路上の水流の流速	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 監視のための開発課題は耐放射線性に係るものであり、遮蔽設計など対策は明確であることから多様化対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	2	作業	同上	2	同上	1	同上	1	同上	4	4



# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

24/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ6	: デブリのセル移送

<p>【(※) 記号凡例】</p> <p>★: 代替監視を設定 - : 検討対象外</p> <p>■: 代替監視のために詳細な検討が必要</p> <p>△: 検討対象だが、代替監視の設定は不要</p>	<p>■項目7-1の得点表</p> <p>【4点】 対応策が決定されていない</p> <p>【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである</p> <p>【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない</p> <p>【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある</p>	<p>■項目7-2の得点表</p> <p>【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める</p> <p>【2点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある</p> <p>【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める</p>	<p>■項目7-3の得点表</p> <p>【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明</p> <p>【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる</p> <p>【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる</p> <p>【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点</p>
--	---	--	--

多様化 検討 結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検討要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応 への影響	点数	エラー(間節原因)対 処によるスループット への影響	個別	代表点
-	作B-2	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	6	ホットスポットとな った内容器に対する機器 への影響評価で移動に 時間がかかる	放射線に対する影響 の判断遅延	内容器の放射線	【項目4】 (a)機器への影響度を予 測するための積算被ば く量	連続的監視 予測値	---	1	作業	・一般に、使用済み燃料移送の ように耐放射線性が低い部品は 線源から遠ざける設計で対応す る。 ・デブリ取り出しPJでは、ク レーンによって電気駆動部品を 内容器に接近させずに移送する 手法も提案されている。	3	・線量計を用いる場合、作業設備の 積算被ばく量に基づく閾値を設定す れば直接的に判断することができ る。 ・線量計はPCV内部調査PJの現地実 証試験で導入実績がありホットス ポットを検出した場合は退避する運 用がなされた。PCV内部詳細調査で もより精度を高めたものを開発中 である。 ・ただし、積算線量は機器の破損等 の影響を直接判断できるものとし、 3点とする。	1	項目7-1が1点のため	3	3
△	作B-2	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	6	ホットスポットとな った内容器に対する機器 への影響評価で移動に 時間がかかる	放射線に対する影響 の判断遅延	内容器の放射線	(b)内容器の放射線量	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があること から項目7-2を2点としたため、多 様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	作業	同上	2	・線量計を用いる場合、周囲のバ ックグラウンドに影響を受けな い測定方法を確立する必要がある。 ・高線量環境でのホットスポット に相当する箇所の測定技術は、 PCV内部詳細調査PJにて開発中。	1	同上	2	3
△	作B-3	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	7	(水中環境)中性子吸 収剤や堆積物の舞い上 がり移動経路を検知 できず、移動に時間か かる	内容器の移動経路の 把握遅延	堆積物の舞い上がり	【項目4/5】 (a)堆積物の舞い上り に影響されない内容器 の移動経路検知	連続的監視 予測値	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 開発中の計器があること から項目7-2を2点としたため、多 様化の対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	3	作業	・IF-1 PCV内部詳細調査では単 眼カメラによる構造物特徴点と 画像対応手法を用いた自己位置 推定技術を設計している。 ・IF-3 水中ROV調査では周辺構 造物と図面情報に基づき、自己 位置を推定した。 ・デブリ取り出しでは干渉物の 撤去などで周辺構造物配置は変 化していくので、追加対策が必 要である。	2	・項目7-1に示した過去のPCV内部 調査で採用された手法により、作 業員は直接的に自己位置判断は可 能である。 ・しかし工事進行に伴い、ランド マークが変化していく可能性が高 いため、PCV内部構造物配置情報 の更新作業が必要であり、課題 がある。	1	項目7-1に示す技術の導 入によりスループット への影響はない	6	6
△	作B-4	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	8	内容器の放射線で現在 地の確認に時間がかか る	現在地把握遅延	内容器の放射線	【項目4/5】 (a)内容器の放射線に影 響を受けない現在地	連続的監視 予測値	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6
△	作B-5	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	9	セル(R)のダスト舞 い上がりで現在地の確認 に時間がかかる	現在地把握遅延	ダスト	【項目4/5】 (a)ダストに影響され ない現在地	連続的監視 予測値	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6
△	作B-6	セル移送機 構	燃料デブリ 回収機能	10	高いバックグラウンド で現在地の確認に時 間がかかる	現在地把握遅延	ノイズ	【項目4/5】 (a)ノイズに影響され ない現在地	連続的監視 予測値	同上	3	作業	同上	2	同上	1	同上	6	6

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

【(※) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある	■項目7-2の得点表 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点
--	--	--	---

モデルID		コ3	: デブリ取り出し																	
工程	コ3	: デブリの移送①																		
代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目						重要監視項目の重み付け評価												
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が抱う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閑節原因)対 処による スループットへの影響	個別	代表点	
-	作B-	1	セル内移送機構①	燃料デブリ封缶機能	1	内容物の放射線が移動経路上の動線干渉有無確認に時間がかかる	他作業との動線干渉有無把握遅延	内容物の放射線	【項目4/5】 (a)内容物の放射線に影響されない動線干渉検知	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	無人環境で並行する作業の干渉有無監視およびそれに基づくオペレーションは一般産業(製造工場など)で普及しており、この技術導入で対応が可能である。	3	・並行する作業が多くなるほど、管理パラメータが増えるため作業員の直接的な判断はできなくなる。 ・機械による監視は作業ラインの特性に合わせて専用設計する必要がある。	1	項目7-1の対応によりスループットへの影響は無いものとする。	6	6
-	作B-	2	セル内移送機構①	燃料デブリ封缶機能	2	セル(R)のダスト舞い上がりで移動経路上の動線干渉有無確認に時間がかかる	他作業との動線干渉有無把握遅延	セル(R)のダスト	【項目4/5】 (a)ダストの影響を受けない動線干渉検知	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	同上	3	同上	1	同上	6	6
-	作A-	1	セル(Y)	静的バウンダリ機能	3	内容物のダストがセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の汚染度上昇有無把握の遅延	セル(R)のダスト	【項目4】 (a)セル(Y)のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	・セル(Y)のダスト濃度が一時的に上昇しても換気空調設備による時間経過で濃度は下がる。 ・現在のPCVもダスト濃度が上昇した際は作業一時停止することで対応している。	1	ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。	2	項目7-1の対応により作業量が制限(作業の一時停止)される	2	2
-	作A-	1	セル(Y)	静的バウンダリ機能	3	内容物のダストがセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の汚染度上昇有無把握の遅延	セル(R)のダスト	【項目5】 (b)セル(R)のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	同上	1	同上	2	同上	2	2
-	作A-	2	セル(Y)	静的バウンダリ機能	4	内容物の水素がセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の水素濃度上昇による影響把握有無の遅延	内容物の水素	【項目4】 (a)セル(Y)の水素濃度/もしくは酸素濃度	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	・セル(Y)の水素あるいは酸素濃度が一時的に上昇しても換気空調設備および窒素封入設備による時間経過で濃度は下がる。 ・現在のPCVも窒素封入による安全対策を実行中である。	1	水素濃度あるいは酸素濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。	2	項目7-1の対応により作業量が制限(作業の一時停止)される	2	4
△	作A-	2	セル(Y)	静的バウンダリ機能	4	内容物の水素がセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の水素濃度上昇による影響把握有無の遅延	内容物の水素	【項目5】 (b)内容物の水素発生量	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (設定不要) 監視のための開発課題は耐放射線性に係るものであり、遮蔽設計など対応策は明確であることから多様な対象外とする。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	安全	同上	2	・水素濃度計を活用し、閾値と比較することで直接的に判断が可能。 ・内容物は高線量であることから、計器を接近させる場合は耐放射線性を持たせるなどの課題がある。	2	同上	4	4

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

No.159

26/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
工程	サ7	: デブリの移送①

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、IFでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、IFでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価								
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)			
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閑居節因)対処による スループットへの影響	個別	代表点	
-	作B-	3	セル(Y)	セルの遮蔽機能	5	内容物の放射線がセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の空間線量率上昇有無把握の遅延	内容物の放射線	【項目4】 セル(Y)の空間線量率	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	・セル(Y)の空間規模に対して線源(内容物)は小さいことから重大な影響は及ぼさないと考えられる。 ・セル運用に支障がある場合、内容物をセル(R)に一時的に差し戻すなどの対応が考えられる。	1	・線量計を活用し、閾値と比較することで直接的に判断が可能	2	項目7-1の対応により作業量が制限(作業の一時停止)される	4	4
-	作B-	3	セル(Y)	セルの遮蔽機能	5	内容物の放射線がセル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)の空間線量率上昇有無把握の遅延	内容物の放射線	【項目5】 (b)内容物の表面線量率	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	同上	1	・線量計を活用することで直接的に判断が可能	2	同上	4	4
-	作B-	4	セル内移送機構①	燃料デブリ封缶機能	6	セル(R)のダスト舞い上がりで移動経路を検知できず、移動に時間がかかる	移動経路の把握遅延	セル(R)のダスト舞い上がり	【項目4/5】 (a)ダストの舞い上がりに影響されない内容物の移動経路検知	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	セル(R)は新規設置構造物であることから、換気空調系の設計によりダストを適切に処理することで対応可能である。	1	セル(R)は新規設置構造物であることから、移動経路を検知する計器は設計段階で設定可能である。	1	項目7-1の対応によりスループットへの影響は無いものとする。	2	2
-	作B-	5	セル内移送機構①	燃料デブリ封缶機能	7	内容物の放射線で内容物の現在地確認に時間がかかる	内容物の現在地把握	内容物の放射線	【項目4/5】 (a)ダストの舞い上がりに影響されない内容物の現在地検知	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	同上	1	ITVやセル内移送機構の車輪回転量などで直接的に判断可能である。検知要求精度が高い場合はリミッタスイッチなどの活用策も存在する。	1	同上	2	2
-	作A-	3	セル(Y)	静的バウンダリ機能	8	セル(R)で舞い上がったダストがセル(Y)に流入し、セル(Y)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(Y)へのダスト流入	セル(R)のダスト	【項目5】 (a)セル(R)のダスト量	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	・セル(R)がセル(Y)に影響を及ぼすほどのダストが飛散していると判断した場合、扉を開けない対応で汚染拡大は防止可能である。セル(R)は定期的に除染しダストの過剰な蓄積を防止する。	1	既存のダストモニタと閾値を設定すれば直接的判断が可能である。	1	項目7-1の対応によりスループットへの影響は無いものとする。	1	1

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-4が1点

モデルID			コ3 : デブリ取り出し		サ8 : デブリの収納		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価					
代替監視検討結果① (※)	分析番号	対象機器	項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②	項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)					
					作業	サ8					点	該当機能	点	エラー (閑静原因) 対処によるスループットへの影響	点	個別	代表点					
-	作B-1	収納機構	燃料デブリ封缶機能	1	内容物の放射線や内容物からの内容物飛び出し有無確認に時間がかかる	内容物からの内容物飛び出し有無の把握遅延	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	---	2	作業	内容物から異物が飛び出していた場合、セル(R)に差し戻し、別の内容器への入れ替え対応などが想定される。	1	・実作業時間を取得することで直接的に判断可能 ・監視室で実行可能であり、導入に課題はない	2	項目7-1の対応により、作業量が制限される。	4	12		
-	作B-1	収納機構	燃料デブリ封缶機能	1	内容物の放射線や内容物からの内容物飛び出し有無確認に時間がかかる	内容物からの内容物飛び出し有無の把握遅延	内容器の内容物	内容器の内容物	【項目5】 (b)内容器からの内容物飛び出し有無	連続的監視 官能的判断	---	2	作業	同上	3	カメラ画像で官能的な判断 (= 直接的な判断) できる場合もあるが、撮影条件によっては誤った判断をする場合があり、確実性は担保されない。	2	同上	12	12		
-	作B-2	収納機構	燃料デブリ封缶機能	2	内容物の放射線や内容器の損傷有無確認に時間がかかる	内容器の損傷有無の把握遅延	内容器移送中の損傷	内容器移送中の損傷	【項目4】 (a)内容器の損傷有無確認時間	連続的監視 直接的判断	---	2	作業	内容器が損傷していた場合、セル(R)に差し戻し、別の内容器への入れ替え対応などが想定される。	1	・実作業時間を取得することで直接的に判断可能 ・監視室で実行可能であり、導入に課題はない	2	項目7-1の対応により、作業量が制限される。	4	12		
-	作B-2	収納機構	燃料デブリ封缶機能	2	内容物の放射線や内容器の損傷有無確認に時間がかかる	内容器の損傷有無の把握遅延	内容器移送中の損傷	内容器移送中の損傷	【項目5】 (b)内容器の損傷有無	連続的監視 官能的判断	---	2	作業	同上	3	カメラ画像で官能的な判断 (= 直接的な判断) できる場合もあるが、撮影条件によっては誤った判断をする場合があり、確実性は担保されない。	2	同上	12	12		
-	作B-3	収納機構	燃料デブリ封缶機能	3	内容器のダスト (デブリ粉) が密封収納容器の蓋と本体に付着し、除去に時間がかかる	遅い異物 (デブリ粉) 除去速度	内容器内部の燃料デブリ粉	内容器内部の燃料デブリ粉	【項目4/5】 (a)密封収納容器への異物 (デブリ粉) 噛み込み除去時間	連続的監視 直接的判断	---	2	作業	容器へのダスト付着モード (静電気力あるいは水滴による表面張力) により、異物除去方法は変わるが、除去そのものに大きな技術課題はないと考えられる。	1	・実作業時間を取得することで直接的に判断可能 ・監視室で実行可能であり、導入に課題はない	1	異物除去方法が確立した場合スループットへの影響はない	2	6		
-	作B-3	収納機構	燃料デブリ封缶機能	3	内容器のダスト (デブリ粉) が密封収納容器の蓋と本体に付着し、除去に時間がかかる	遅い異物 (デブリ粉) 除去速度	内容器内部の燃料デブリ粉	内容器内部の燃料デブリ粉	【項目4/5】 (b)密封収納容器への異物 (デブリ粉) 付着量	連続的監視 官能的判断	---	2	作業	同上	3	カメラ画像で官能的な判断 (= 直接的な判断) できる場合もあるが、撮影条件によっては誤った判断をする場合があり、確実性は担保されない。	1	同上	6	6		

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

28/31

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ8	: デブリの収納

【(※) 記号凡例】  
 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外  
 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要  
 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要

■項目7-1の得点表  
 【4点】 対応策が決定されていない  
 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである  
 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない  
 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある

■項目7-2の得点表  
 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある  
 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める  
 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある  
 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める

■項目7-3の得点表  
 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明  
 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる  
 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる  
 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点

代替監視 検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目							重要監視項目の重み付け評価										
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機器が担う 安全機能もしくは 作業機能	分析 ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するた めの検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当 機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応 への影響	点数	エラー(関節原因)対 処による スループットへの影響	個別	代表点
-	作B-4	収納機構	燃料デブリ 封缶機能	4	内容物の放射線による ノイズで密封収納容器 への収納に時間がかか る	遅い収納速度	内容物の放射線	【項目4】 (a)内容物の収納完了時 間	連続的監視 直接的判断	---	3	作業	内容物からの放射線により、機 器の動作精度に影響が及ぶ場合 本エラーは無視できなくなる が、デブリ取り出しPJでは高線 量環境下でのデブリ収納方法に ついて各工法に沿った検討をし ている。	1	・実作業時間を取得することで直接 的に判断可能 ・監視室で実行可能であり、導入に 課題はない	1	項目7-1に示す各工法の 特徴に沿った対応を行 うことで、する	3	4
-	作B-4	収納機構	燃料デブリ 封缶機能	4	内容物の放射線による ノイズで密封収納容器 への収納に時間がかか る	遅い収納速度	内容物の放射線	【項目5】 (b)内容物の表面線量率	連続的監視 直接的判断	---	2	作業	同上	1	・線量計を活用することで直接的に 判断が可能	2	同上	4	4

【(※) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある	■項目7-2の得点表 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点
---	--	--	---

モデルID			重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価									
工程	コ3	作業	項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1		代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)			
分析番号	対象機器	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(間節原因)対 処によるスループットへの影響	個別	代表点					
-	作A-	1	セル(G) 静的バウンダリ機能	2	セル(Y)で空中浮遊していたダストがセル(G)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(G)の汚染度上昇有無把握の遅延	セル(Y)のダスト	【項目4】 (a)セル(G)のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	・セル(G)のダスト濃度が一時的に上昇しても換気空調設備による時間経過で濃度は下がる。 ・現在のPCVもダスト濃度が上昇した際は作業一時停止することで対応している。	1	ダスト濃度の閾値を設定すれば直接的な判断が可能。	2	項目7-1の対応により作業量が制限(作業の一時停止)される	2	2			
-	作A-	1	セル(G) 静的バウンダリ機能	2	セル(Y)で空中浮遊していたダストがセル(G)の環境維持に及ぼす影響評価に時間がかかる	セル(G)の汚染度上昇有無把握の遅延	セル(Y)のダスト	【項目5】 (a)セル(Y)のダスト濃度	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	同上	1	同上	2	同上	2	2			
-	作A-	2	除染水排水機構 輸送容器の除染機能	4	汚染水排水配管に移行するダスト蓄積による部分的閉塞による排水能力の低下。	排水能力の低下	水除染による汚染水	【項目4】 (a)系統内流量	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	閉塞の傾向が有意にみられるときは配管のフラッシングにより対応可能である。	1	閾値との比較により直接的に判断が可能。	1	項目7-1が1点のため	1	4			
△	作A-	2	除染水排水機構 輸送容器の除染機能	4	汚染水排水配管に移行するダスト蓄積による部分的閉塞による排水能力の低下。	排水能力の低下	水除染による汚染水	【項目5】 (b)配置に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (対象外) 機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	安全	・密封収納容器表面に付着するダスト量は微量と想定され、PCV内の液相設備よりエラー発生頻度は低いと想定される。 ・必要に応じて配管多重化により対応。また、短時間の機能低下、あるいは停止に対しては極めて影響軽微と考えられる。	4	サンプリングとホットラボでの分析が必要である場合、作業員は直接的に判断ができない。汚染水を扱うため、サンプリング方法に課題がある。	1	同上	4	4			

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

30/31

【(※) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 - : 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある	■項目7-2の得点表 【4点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点
---	--	--	---

モデルID	コ3	: デブリ取り出し
作業	サ9	: デブリの移送②

代替監視検討結果① (※)	分析番号	重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価									
		項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②			項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)			
		対象機器	対象機器が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・連続的監視or離散的監視 ・直接的測定or予測値or官能判断	代替監視を設定可能か:可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ:間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響:自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー(閑節原因)対処によるスループットへの影響	個別	代表点		
-	作A-3	除染水排水機構	輸送容器の除染機能	6	汚染水排水配管に移行するダスト蓄積で生じる電位差に起因した腐食による配管劣化(パウンドリ機能低下)の加速。	配管の劣化	水除染による汚染水	(a)系統内流量+漏洩量	連続的監視 直接的測定	---	1	安全	安全機能への影響はあるが、発生頻度が低いことが想定される。	1	閾値との比較により直接的に判断が可能。	1	項目7-1が1点のため	1	4		
△	作A-3	除染水排水機構	輸送容器の除染機能	6	汚染水排水配管に移行するダスト蓄積で生じる電位差に起因した腐食による配管劣化(パウンドリ機能低下)の加速。	配管の劣化	水除染による汚染水	【項目5】 (b)配管に流入する移送液中のダスト量・粒径分布・粒子の密度	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (対象外)機能劣化に接しては予備機に切り替えることにより機能を維持するため多様化検討は不要。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	1	安全	同上	4	サンプリングとホットラポでの分析が必要である場合、作業員は直接的に判断ができない。汚染水を扱うため、サンプリング方法に課題がある。	1	同上	4	4		
-	作B-1	セル外搬出確認機構	燃料デブリ搬出機能	7	汚染水の飛散で検査装置が汚染され、検査に時間がかかる。	検査作業の遅れ	水除染による汚染水	【項目4】 (a)密封収納容器の除染完了時間	連続的監視 直接的測定	---	2	作業	汚染水の飛び散りを想定し、セル(G)を2つに分けるなどの対応策が想定される。	1	・実作業時間を取得することで直接的に判断可能 ・操作室で実行可能であり、導入に課題は無い	1	項目7-1の対応によりスループットへの影響は無いものとする。	2	4		
△	作B-1	セル外搬出確認機構	燃料デブリ搬出機能	7	汚染水の飛散で検査装置が汚染され、検査に時間がかかる。	検査作業の遅れ	水除染による汚染水	【項目5】 汚染水の影響を受けない検査項目(表面線量率、密封度、表面汚染濃度)	連続的監視 直接的測定	【代替監視を設定可能か】 (対象外)課題はあるものの新設設備内での監視対応となり、大きな開発難易度は低いと判断し、多様化検討は不要。 【トレードオフ】 --- 【トレードオフの影響】 ---	2	作業	同上	2	項目7-1の対応により汚染水の影響を受けずに検知要求は達成可能である。いずれの項目も閾値と比較することで直接的に判断可能であるが、無人操作での検知する場合は検査機の遠隔操作で課題があるものの、新設設備内での対応となるため、対応難易度は低い。	1	同上	4	4		

# 添付資料3.1.2-1(b): 令和4年度版 デブリ取り出し・搬出作業システムのリスク評価表

31/31

【(※) 記号凡例】 ★: 代替監視を設定 ー: 検討対象外 ■: 代替監視のために詳細な検討が必要 △: 検討対象だが、代替監視の設定は不要	■項目7-1の得点表 【4点】 対応策が決定されていない 【3点】 対応策は存在するが、開発途上のものである 【2点】 対応策は存在するが、1Fでの適用実績はない 【1点】 対応策は存在し、1Fでの適用実績がある	■項目7-2の得点表 【5点】 直接的に判断できず、かつ導入に課題がある 【3点】 直接的に判断できず、かつ導入に実現性が見込める 【2点】 直接的に判断でき、かつ導入に課題がある 【1点】 直接的に判断でき、かつ導入に実現性が見込める	■項目7-3の得点表 【4点】 対応策がなく、スループット影響が不明 【3点】 対応策は存在するが、作業中止によりスループットが大幅に下がる 【2点】 対応策は存在するが、作業量の制限によりスループットが下がる 【1点】 スループットへの影響はない、もしくは項目7-1が1点
--	--	--	---

モデルID		重要監視項目										重要監視項目の重み付け評価							
工程	コ3	: デブリ取り出し										項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
作業	サ10	: デブリの搬出										項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)	
代替監視検討結果① (※)	分析番号	項目1	項目2	項目3 (エラー抽出表より抜粋)		項目4	項目5	項目6-1	代替監視検討結果②		項目7-1		項目7-2		項目7-3		項目7-4 (評価結果)		
		対象機器	対象機能が担う安全機能もしくは作業機能	分析ID	作業遅延要因 (=エラー)	エラーの直接原因	エラーの間接原因	作業遅延を回避するための検知要求	監視形態 ・ 連続的監視or離散的監視 ・ 直接的測定or予測値or官能的判断	代替監視を設定可能か: 可能、詳細検討要、設定不要 トレードオフ: 間接監視、予測、離散的監視 トレードオフの影響: 自由記述	点数	該当機能	安全機能もしくは作業機能への 阻害対策の有無	点数	作業員による的確・迅速な現場対応への影響	点数	エラー (関節原因) 対処によるスループットへの影響	個別	代表点
		PCV内環境変化なし																	



## 1. 現場での測定条件

### 1.1 測定が必要になる場面

- デブリ取り出し作業中のスループット遅延要因を抽出したところ、デブリ加工範囲および加工済みデブリ寸法の測定が必要であることが明らかになった。
- 測定が必要になる場面を以下に示す。
  - デブリ加工前
    - 臨界防止の観点から、あらかじめデブリを加工しても問題ない範囲を決めるための測定
  - デブリ加工中
    - 臨界防止の観点から、加工前に決めた範囲を逸脱していないことを確認するための測定
    - 再加工防止の観点から、加工治具ごとの加工進捗具合や加工不良が起きていないことを確認するための測定
    - 臨界防止の観点から、加工時に発生したデブリ粉が広い範囲に舞い上がったり、同じ箇所でも大量に堆積したりしていないことを確認するための測定
  - デブリ加工後
    - 再加工防止の観点で、デブリがユニット缶に収納できる寸法であることを確認するための測定

## 1. 現地での測定条件

### 1.2 測定要求仕様

- 重要監視項目に対する監視要求仕様の設定例を下表に示す。
- 計器選定上一般的に重要と考えられる以下項目を個別に設定した。

#### 【監視要求仕様】

検出場所、検出個所数、測定物理量、測定計器への耐腐食環境性、測定レンジ(概略)、測定環境条件(空間線量率、温度、圧力、湿度)、検出精度要求

作業遅延要因	検出場所	検出個所数	測定単位	計器要求耐腐食性	概略測定レンジ	測定環境条件	要求検出精度
形状変化によるデブリの臨界近接	加工中のデブリ(RPV、ペDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	以下成分による腐食を考慮すること ・海水由来の塩素 ・中性子吸収剤由来のホウ酸水	・臨界PJでは1回あたりの加工範囲を16cm×16cm×16cm立法に制限しているため1cm～30cm ・加工後のデブリ堆積半径が35.4cm未満に制限しているため1cm～80cm ・上記2点を考慮して1cm～80cm	RPV:最大5000 Gy/h ペDESTAL内外: 最大100 Gy/h 温度:最大50°C 圧力(ゲージ圧): -2000～500Pa 湿度:100%(結露あり)	1cm単位
加工したデブリの形状変化が不明	加工中のデブリ(RPV、ペDESTAL内外)	デブリ取り出し装置に付帯	cm	以下成分による腐食を考慮すること ・海水由来の塩素 ・中性子吸収剤由来のホウ酸水	・臨界PJでは1回あたりの加工範囲を16cm×16cm×16cm立法に制限しているため1cm～30cm	RPV:最大5000 Gy/h ペDESTAL内外: 最大100 Gy/h 温度:最大50°C 圧力(ゲージ圧): -2000～500Pa 湿度:100%(結露あり)	1cm単位

## 1. 現地での測定条件

### 1.3 想定されるデブリ形状

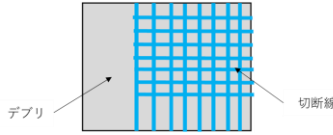
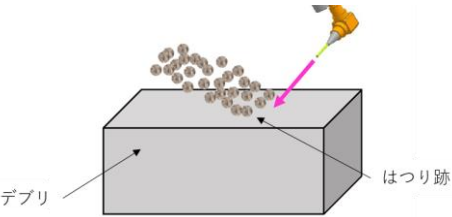
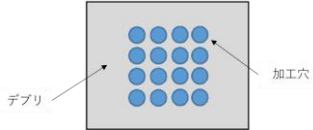
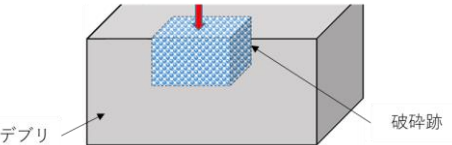
- 測定が必要になる場面ごとに想定されるデブリ形状を以下に示す。

#### 【デブリ加工前】

デブリの形状	主な分布エリア	参考図	デブリの形状	主な分布エリア	参考図
複数の層が重なり合った形状	全エリア		小石が多く堆積する形状	炉心支持板周辺 炉底部周辺 ペDESTAL底部	
凹凸が大きい形状	全エリア		棒形状	燃料周辺 CRGT周辺 ペDESTAL底部	
凹凸が小さく平坦な形状	全エリア		格子形状	上部格子板周辺 ペDESTAL底部	
一部が盛り上がった形状	全エリア		損傷せずに事故前の構造を維持した形状	全エリア	 形状を維持したCRDハウジング

参考図の出典 URL: [https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/04/20180426\\_1.pdf](https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/04/20180426_1.pdf)

1. 現地での測定条件 1.3 想定されるデブリ形状  
【デブリ加工中】

デブリの形状	加工治具	参考図	臨界の起こりうる条件	
			気中環境	水中環境
表面に切断線が入った形状	ディスクカッター AWJ		切断線の間隔が近い (～数cm 程度)と、 かけ流しの水が浸入して、 臨界になりやすい	切断線の間隔が近い (～数cm 程度)と、水が 浸入して臨界になりやすい。
表面にはつり跡が残った形状	レーザー ガウジング		デブリ表面を薄く削り取る 作業による臨界リスクなし。削り取ら れた～1mm 以下 のデブリ細粉が気中で 堆積しても臨界リスクなし	水中で～10mm 以下の 大きさのデブリ細粉を 舞上がり直径46.4cm 以上で舞い上げると 臨界発生のおそれあり
				水中で～10mm 以下の 大きさのデブリ細粉が 堆積半径35.4cm 以上で堆積すると 臨界発生のおそれあり
表面に加工穴が 空いた形状	コアボーリング		穴と穴の間隔が短い ピッチ(～100mm 程度)で 複数の穴をあけると 臨界になりやすい	穴と穴の間隔が短い ピッチ(～100mm 程度)で 複数の穴をあけると 臨界になりやすい
表面に破碎跡が 残った形状	チゼル		小片となったデブリの間に かけ流しの水が侵入するので 臨界発生のおそれあり。 1 バッチの加工範囲が 16cm×16cm×16cm 以下 にすれば対策できる	小片となったデブリの間に 水が侵入し臨界リスクあり。 1 バッチの加工範囲が 16cm×16cm×16cm 以下 にすれば対策できる

【デブリ加工後】

- 加工後のデブリ形状は、加工前のデブリ形状と同じとする。
- デブリ寸法は、ユニット缶の内径である198mmと内法高さ360mm以下とする。

## 2. 現場適用に向けた基本的課題の抽出

### 2.1 計器の調査

廃炉・汚染水対策事業費補助金「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」にて開発された計器の応用でデブリ加工範囲および加工済みデブリの寸法を測定可能か調査した。

○：デブリ取り出しへの応用に大きな課題はないと期待できる  
 △：デブリ取り出しへの応用に向けて、現場の条件次第では追加対策や改良が必要  
 ?：デブリ取り出しへの応用に向けての成立性確認が必要

表. 計器の調査結果(1/2)

		VTカメラ(近・中距離用)	レーザースキャナ	フェーズドアレイ
		気中環境で使用	気中環境で使用	水中環境で使用
暗闇	測定精度低下	○ カメラに付属の照明で対策可能	○ 照度に影響を受けない	○ 照度に影響を受けない
霧(気中環境)	測定精度低下	○ 霧でも視認性が確保できることを要素試験で確認済み	○ 霧でも視認性が確保できることを要素試験で確認済み	/
雨滴(気中環境)	測定精度低下	○ 降水対策で視界の確保ができることを要素試験で確認済み	○ 降水対策で視界の確保ができることを要素試験で確認済み	
	機器故障	○ 保護等級IP65相当	○ 保護等級IP67相当	/
ダスト飛散	測定精度低下	○ ミスト散布でダスト量を99%低減できる対策[1]を併用	○ ミスト散布でダスト量を99%低減できる対策[1]を併用	△ 堆積物(FeO(OH))の浮遊による精度低下報告有り
	機器故障	○ 保護等級IP65相当	○ 保護等級IP67相当	○ 水中使用を前提。ダスト混入を防げると推定

## 2. 現場適用に向けた基本的課題の抽出

### 2.1 計器の調査

○：デブリ取り出しへの応用に大きな課題はないと期待できる

△：デブリ取り出しへの応用に向けて、現場の条件次第では追加対策や改良が必要

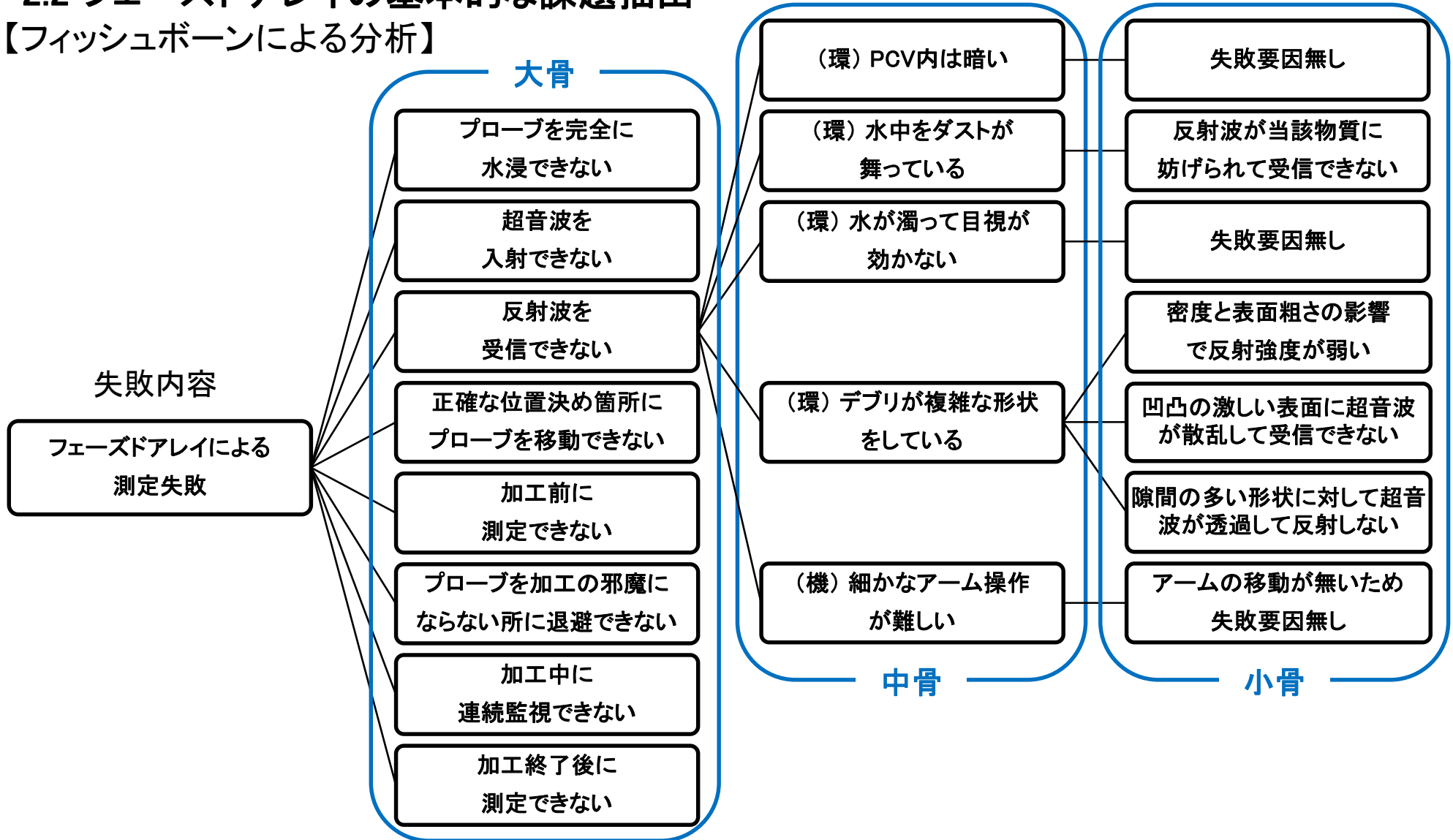
？：デブリ取り出しへの応用に向けての成立性確認が必要

表. 計器の調査結果(2/2)

		VTカメラ(近・中距離用)	レーザースキャナ	フェーズドアレイ
		空中環境で使用	空中環境で使用	水中環境で使用
高線量	測定精度低下	△ 線量率300Gy/hで使用可能。 デブリ取り出し環境の想定線量率は最大5kGy/hのため、現場の条件次第では追加対策が必要	△ 線量率0.796kGy/hまでは性能に変化が無いことを確認済み デブリ取り出し環境の想定線量率は最大5kGy/hのため、現場の条件次第では追加対策が必要	△ 線量率10Gy/hで使用可能。 ペDESTAL底部等、水位低下後も水没している箇所の線量率は想定していないが、現場の条件次第では追加対策が必要
	測定精度低下	△ 積算線量30kGyまで使用可能。 デブリ取り出し環境の想定線量率は最大5kGy/hのため、現場の条件次第では追加対策が必要	△ 積算線量30kGyまで使用可能。 デブリ取り出し環境の想定線量率は最大5kGy/hのため、現場の条件次第では追加対策が必要	△ 積算線量1.16kGyまで使用可能。 ペDESTAL底部等、水位低下後も水没している箇所の線量率は想定していないが、現場の条件次第では追加対策が必要
濁水(水中環境)	測定精度低下			? 堆積物(FeO(OH))の浮遊による精度低下報告有り。中性子吸収剤への影響は不明 臨界PJでも中性子吸収剤散布による他作業への影響が課題になると言及あり

- フェーズドアレイは濁水環境(鉄錆の浮遊)では測定精度が低下する報告あり。また、デブリ加工時特有作業である中性子吸収剤散布に伴う濁水環境を考慮した計測への影響評価は過去に実施していない
- 本事業ではフェーズドアレイのデブリ加工範囲および加工済みデブリ寸法測定に係る適用性を検討する

2. 現場適用に向けた基本的課題の抽出  
 2.2 フェーズドアレイの基本的な課題抽出  
 【フィッシュボーンによる分析】



## 2. 現場適用に向けた基本的課題の抽出

### 2.2 フェーズドアレイの基本的な課題抽出

#### 【課題の抽出】

- ・ フェーズドアレイでの失敗条件をフィッシュボーンで抽出。
- ・ 机上検討では有効性が不明なものについては、要素試験で明らかにする。
- ・ 試験実施の判断基準を以下のように設定した。

要素試験を実施する判断基準		要素試験で明らかにすべきこと
I	失敗防止対策で発生するトレードオフが受け入れ可能なのか判断がつかないもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水中に浮遊するダストなどの物質に反射しにくい低周波のフェーズドアレイプローブにすることで、測定結果にどの程度の影響を与えるか不明</li> </ul>
II	失敗対策に向けた1F現場への要求について、具体性に欠けるもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 加工箇所に入り込んだ物質がフェーズドアレイの測定精度に影響を与えない条件が不明</li> </ul>
III	失敗防止対策のために新たに導入する要素機器の選定条件や、要素機器同士の組み合わせ条件、機器の1F適用に係る条件が明らかでないもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水中を浮遊する物質がフェーズドアレイの測定精度に影響を与えない条件が不明</li> <li>・ デブリの密度と表面粗さがフェーズドアレイの測定精度に影響を与えない条件が不明</li> <li>・ デブリの形状がフェーズドアレイの測定精度に影響を与えない条件が不明</li> </ul>

机上検討では対策の有効性が不明なものについて、要素試験を実施し、将来開発課題としてまとめる

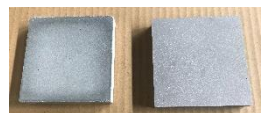


### 3. 試験概要

表. 開発課題抽出試験一覧表

No.	試験		試験内容	試験目的
1	密度	密度の違いによる反射強度の影響(平面試験体)	密度の異なる試験体(モルタル、SUS304)を用いて密度と反射強度の関係を調べる	超音波の特性評価
2	表面粗さ	表面粗さの違いによる反射強度の影響(平面試験体)	表面粗さの異なる試験体を用いて表面粗さと反射強度の関係を調べる	超音波の特性評価
3	形状	細粉堆積物の検出	濁水中環境で加工された燃料デブリから発生するデブリ細粉の模擬試験体が検出できることを調べる また、細粉の粒径と反射強度の関係を調べる	加工途中の臨界防止
4		加工途中(切断ライン試験体)の切断ライン検出	濁水中環境でのディスクカッター、AWJ、レーザーガウジングの加工途中における切断ラインを模擬した試験体が検出できることを調べる	加工途中の臨界防止、 加工進捗確認
5		チゼル加工後(破碎模擬試験体)の破碎物の検出	濁水中環境でのチゼル加工により破碎された後の燃料デブリを模擬した試験体が検出できることを調べる	加工後の臨界防止
6		加工後のデブリ片(フェーズドアレイで測定が困難な形状)の検出	ユニット缶への収納不可事象防止のため、加工後のデブリ片を模擬した試験体が濁水中環境で検出できることを調べる	デブリ片のユニット缶への収納不能防止

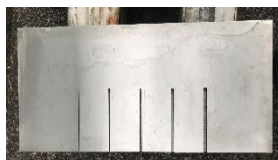
No.1  
密度の違いによる反射強度の影響



No.3  
細粉堆積



No.4  
加工途中  
(切断ライン試験体)



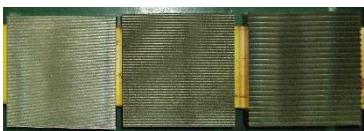
No.5  
チゼル加工後  
(破碎模擬試験体)



No.6  
加工後のデブリ片  
(フェーズドアレイで測定が困難な形状)



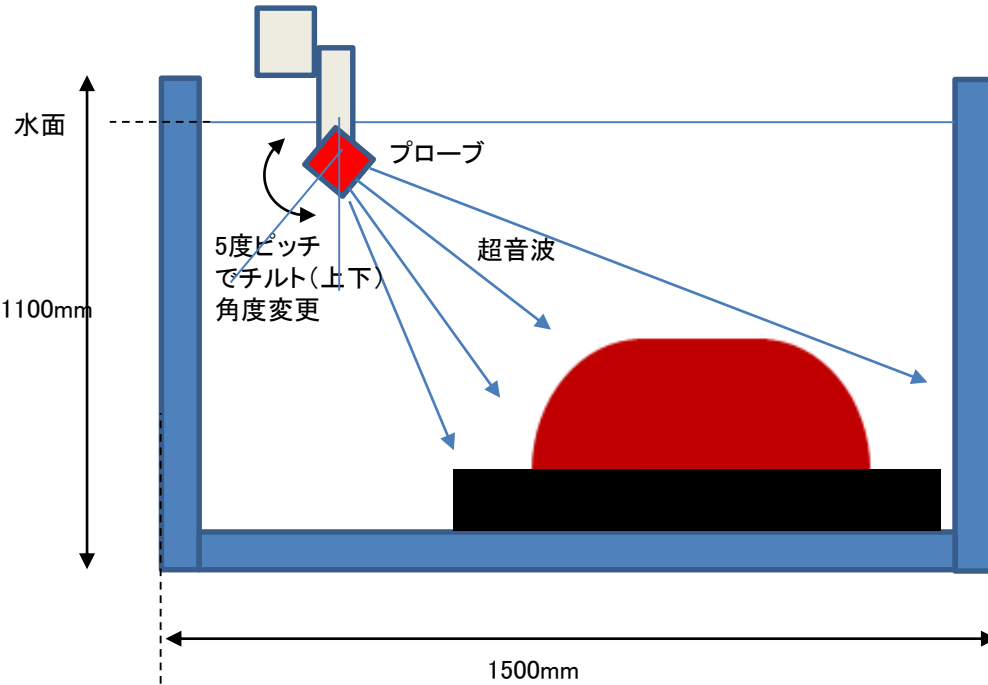
No.2  
表面粗さの違いによる反射強度の影響



6種類の試験を実施。次頁以降に代表例の詳細を示す

### 4. 試験詳細(代表例)

・前頁一覧表の試験No.3を代表例として示す。



水ガラス系中性子吸収材の配合(重量割合)

原材料	重量割合(g)
1号珪酸ソーダ	266.8
普通ポルトランドセメント	53.4
酸化ガドリニウム	38.7*
第一リン酸ナトリウム	9.54**
イオン交換水	42.7

上記の重量割合で、1バッチ当たり4.2kgの水ガラス系中性子吸収材を作製

\*: 酸化ガドリニウムは、TX-10の添加量193.6gの1/5とする。

\*\* : 第一リン酸ナトリウムは、TX-10の添加量5.3gの1.8倍とする。



図. 水ガラス系吸収材(模擬材)の仕様



チルト角度調整試験

チルト角度	パン角度
30,35,40,45,50,55	0

パン角度調整試験

チルト角度	パン角度
55	-20,-15,-10,-5,±0,5,10,15,20

図. 試験体系

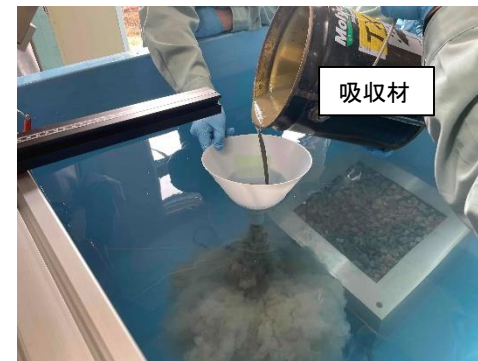


図. 水ガラス系吸収材の水槽への投入

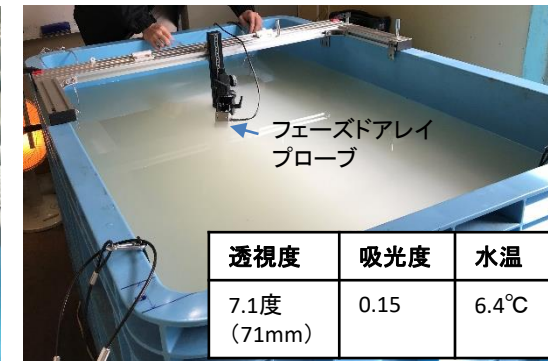


図. 投入後の濁水

### 4. 試験詳細(代表例)

・計器仕様と測定条件を示す

表. フェーズドアレイプローブのスペックおよび測定条件

500kHzフェーズドアレイプローブ		100kHzフェーズドアレイプローブ	
周波数(kHz)	500	周波数(kHz)	100
素子数	64(8×8)	素子数	64(8×8)
素子ピッチ(mm)	1.5	素子ピッチ(mm)	7.5
素子サイズ(mm)	1.2×1.2	素子サイズ(mm)	6.0×6.0
重量(kg) (ケーブル・コネクタは含まない)	0.54	重量(kg) (ケーブル・コネクタは含まない)	3.20

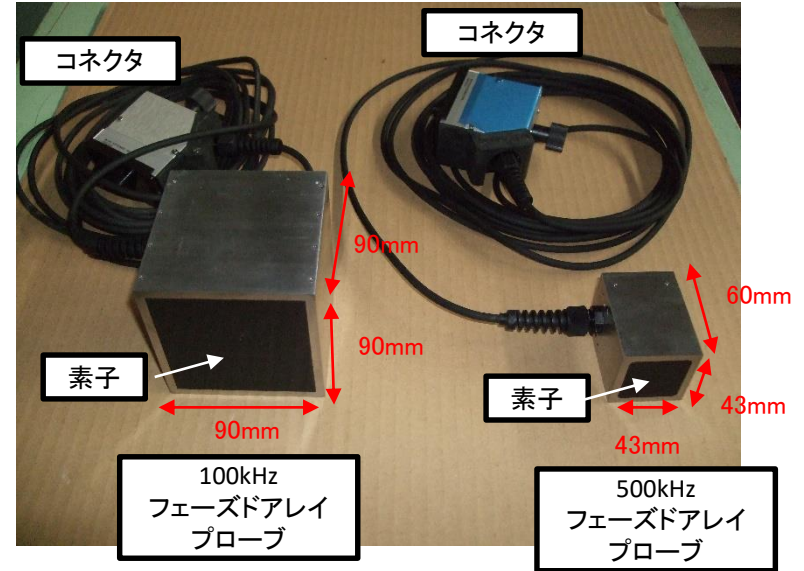


図. フェーズドアレイプローブ外観

測定条件		
探傷器	TOPAZ64	
探傷方法	スキャン方法	セクタスキャン
	焦点位置	試験体上面中央
	ゲイン(dB)	+70
Bscan(側面画像) 取得時探傷角度	探傷角度(°) (チルト(上下))	-20~+30 (1° ピッチ)
	探傷角度(°) (パン(左右水平))	-5~+5 (1° ピッチ)
Cscan(上面画像) 取得時探傷角度	探傷角度(°) (チルト(上下))	-10~-5 (1° ピッチ)
	探傷角度(°) (パン(左右水平))	-20~+20 (0.5° ピッチ)

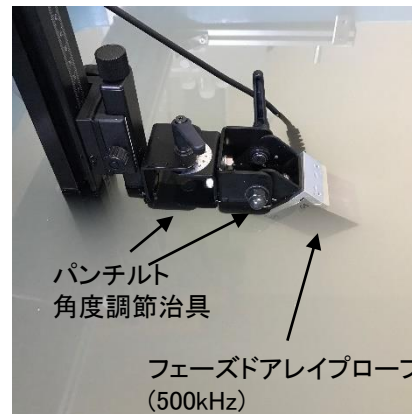


図. 濁水環境でのプローブ設置

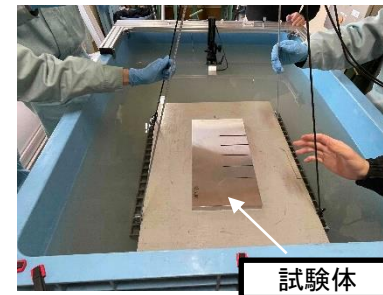


図. 濁水環境試験  
水槽底部へ試験体の設置

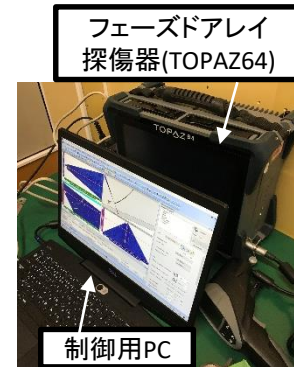
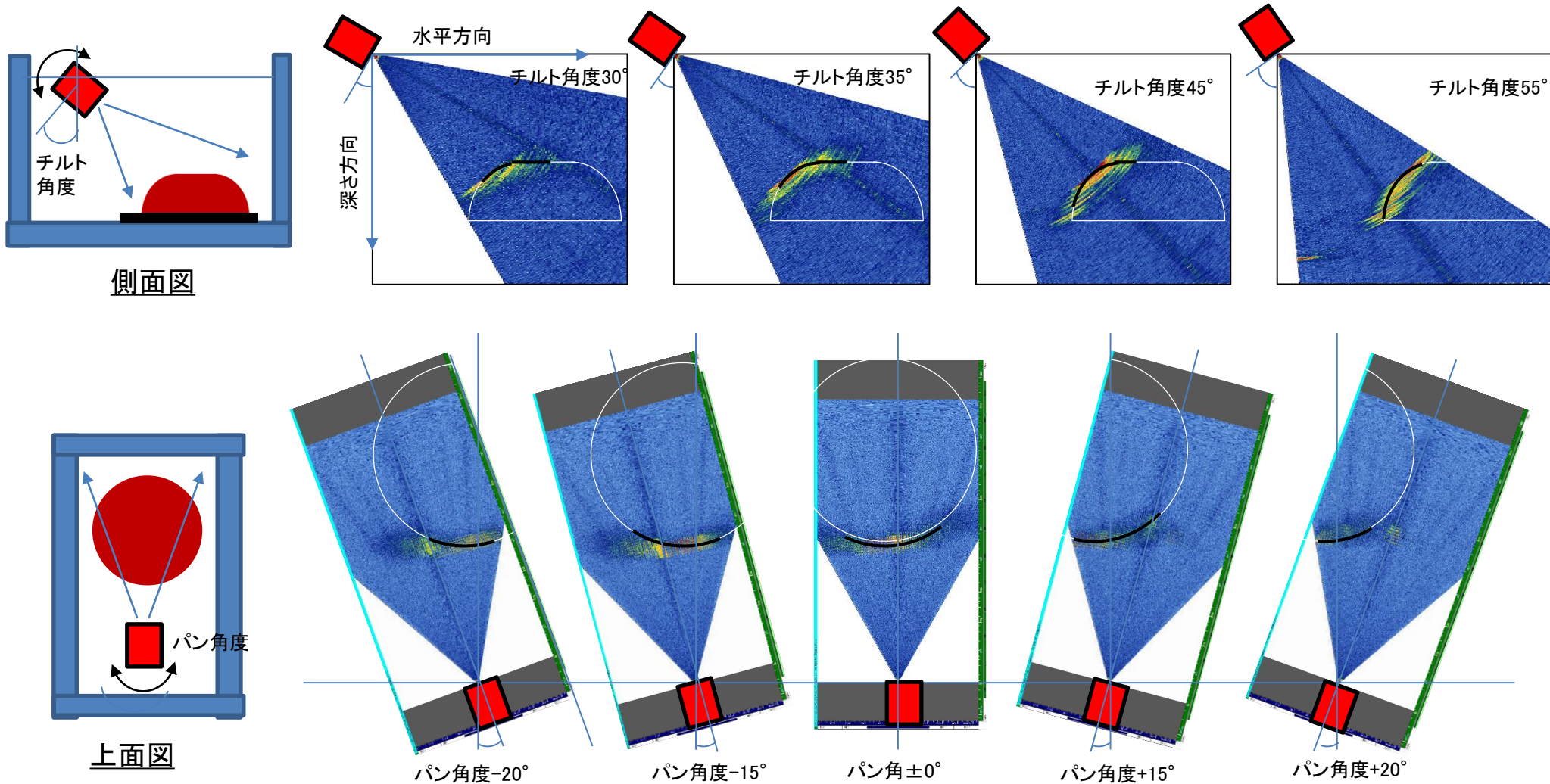


図. フェーズドアレイ  
測定画面

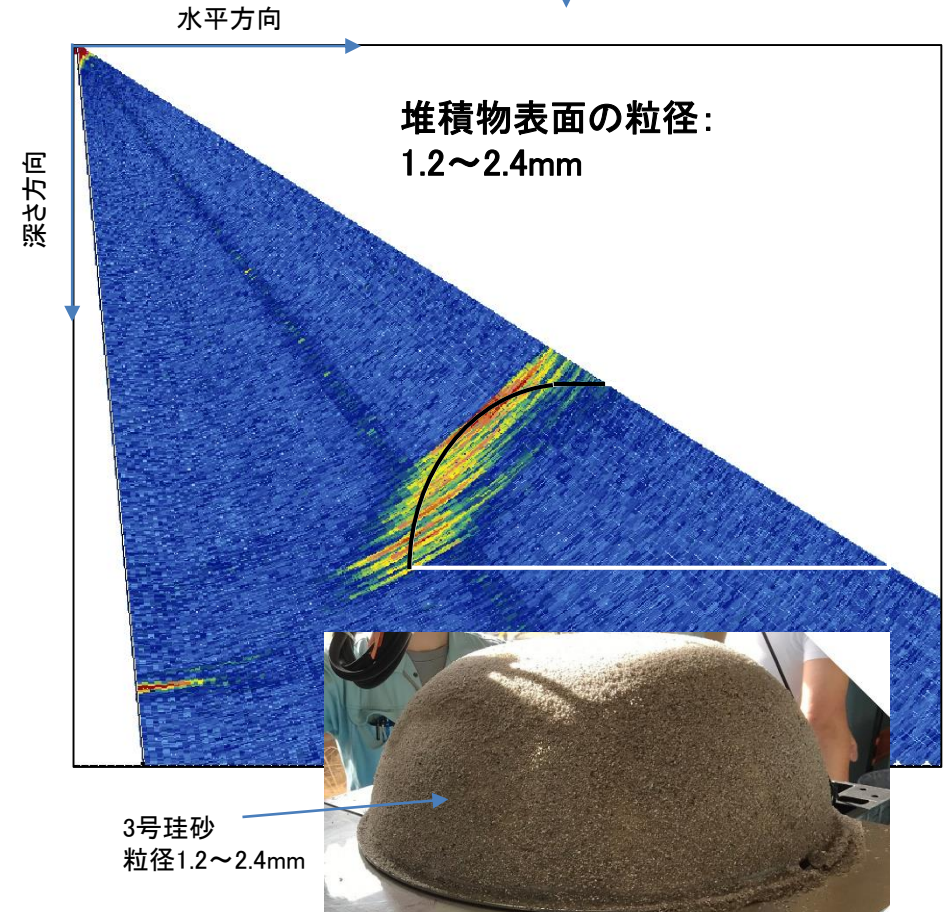
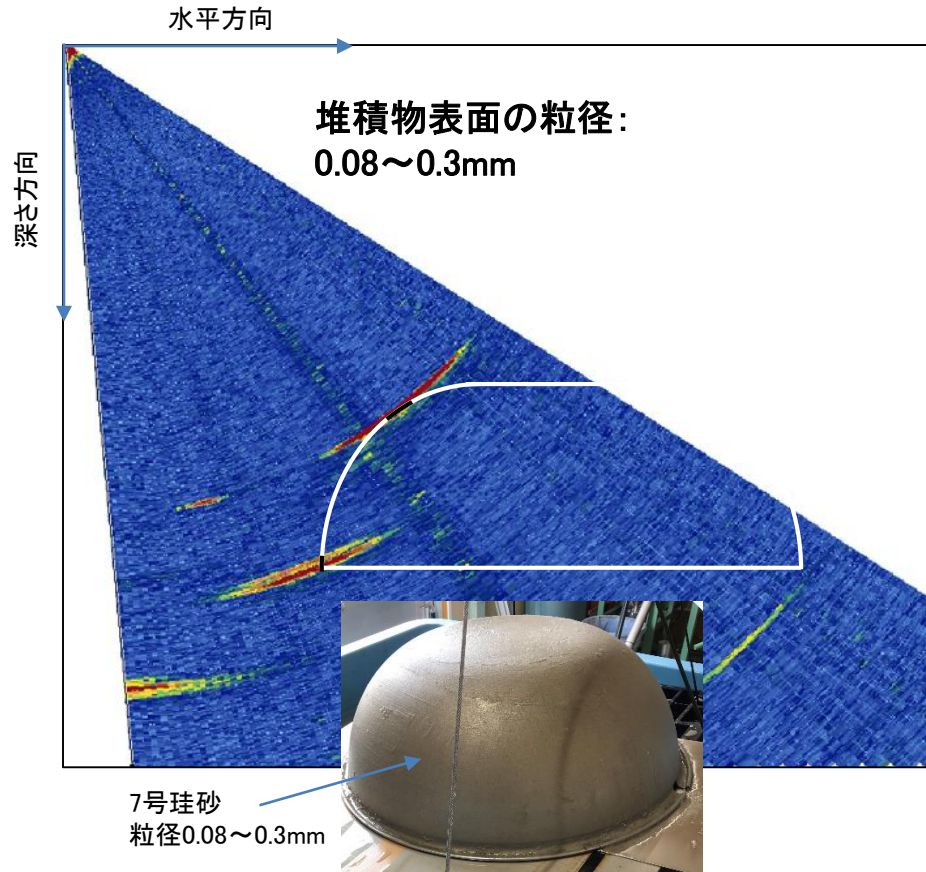
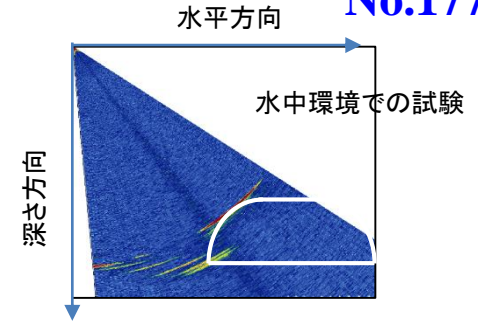
### 5. 試験結果(代表例)

- ・プローブ角度を変えながら、堆積物模擬試験体の表面形状を測定
- ・濁水の影響は小さく、模擬堆積物表面からのエコーを受信できることを確認
- ・堆積物表面の粒径の違いによる反射強度の変化を確認



## 5. 試験結果(代表例)

- ・プローブ角度を変えながら、堆積物模擬試験体の表面形状を測定
- ・濁水の影響は小さく、模擬堆積物表面からのエコーを受信できることを確認
- ・堆積物表面の粒径の違いによる反射強度の変化を確認



堆積物表面の粒径が大きいほど、広範囲で表面形状が測定できることを確認

## 6. 試験全体のまとめ

No.		試験	試験結果	課題
1	密度	密度の違いによる反射強度の影響(平面試験体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>モルタルとSUS304試験体での形状測定ができることを確認</li> <li>試験体密度の違いによる反射強度の変化を確認</li> </ul>	測定不能な密度条件の調査
2	表面粗さ	表面粗さの違いによる反射強度の影響(平面試験体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験体表面の粗さの違いによる反射強度および反射経路の変化を確認</li> </ul>	測定不能な表面粗さ条件の調査
3	形状	細粉堆積試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>模擬堆積物表面の形状測定ができることを確認</li> <li>濁水の影響は小さいことを確認</li> <li>粒径の違いによる反射強度の変化を確認</li> </ul>	プローブ位置・角度を変えた複数条件での測定画像の合成による堆積物形状の三次元可視化技術の開発
4		加工途中(切断ライン試験体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>切断ラインの測定ができることを確認</li> </ul>	切断ラインに対して最適な超音波の入射角度の調査
5		チゼル加工後(破碎模擬試験体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>模擬破碎(チゼル加工)デブリからのエコーが受信できることを確認</li> </ul>	プローブ位置・角度を変えた複数条件での測定画像の合成によるチゼル加工面積可視化技術の開発
6		加工後のデブリ片(フェーズドアレイで測定が困難な形状)	<ul style="list-style-type: none"> <li>凹凸のあるデブリ模擬試験体および網目状のデブリ模擬試験体の寸法が測定できることを確認</li> </ul>	プローブ位置・角度を変えた複数条件での測定画像の合成による物体形状の三次元可視化技術の開発

試験結果に基づき、測定失敗対策の実現に向けた開発課題を整理

## 7. 監視シナリオ

### 【パターンA: デブリ取り出し装置で測定する場合】

- 4種類の計器(3Dカメラ(近距離用)、レーザスキャナ、フェーズドアレイ、その他中性子検出器など他の測定用計器)を同時にデブリ加工現場へ持ち込むことはデブリ取り出し装置の寸法制約および制御性の観点で困難と判断。
- 日々のデブリ加工計画に基づいて最適な計器を1つ選定し、現場へ持ち込む運用とした。
- 計器の交換場所は高線量環境を避けるため、例えば上取り出し工法プラン2の場合は、デブリ取り出し装置が待機するSFPなどで実施する。
- ツールチェンジャで計器毎の高精度な端子接続は困難と判断。ツールチェンジャ外に専用通信コネクタを個別に設置。使わないコネクタは接点ヘダスト等混入を防ぐために保護蓋を取り付け。

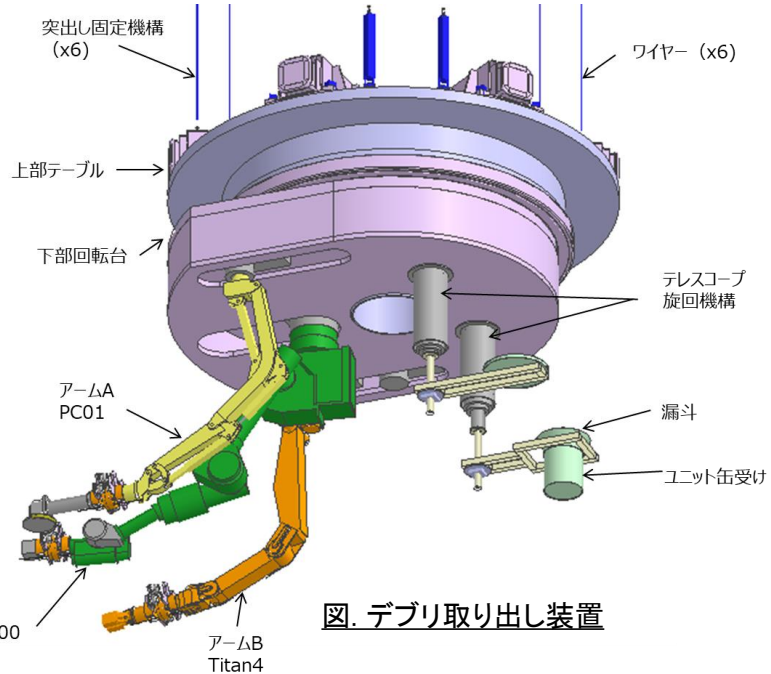
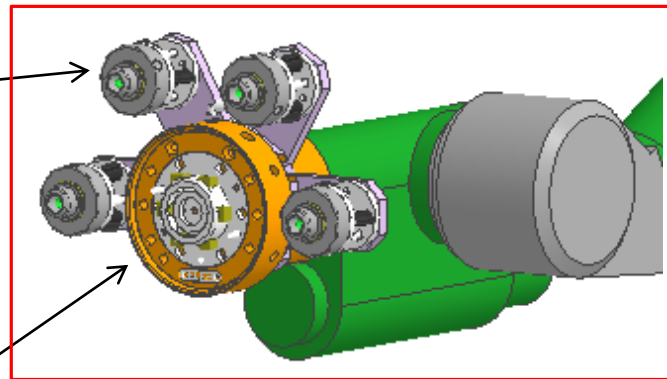


図. デブリ取り出し装置

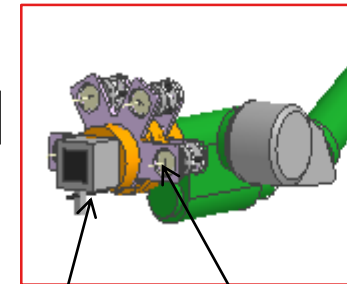
図. 計器との取り合い部  
(フェーズドアレイを取り外した状態)

- 通信コネクタ(x4)
- 3Dカメラ(近距離)、レーザスキャナ、フェーズドアレイ、その他中性子検出器など他の計測用として個別に具備

ツールチェンジャ  
(計器固定およびエア等供給用)



※接続ケーブルは非表示



計測器

通信コネクタ端子保護蓋

図. 計器の交換を全体とした測定用ロボットアーム

## 7. 監視シナリオ

【パターンB: デブリ取り出し装置とは独立した専用装置で測定する場合】

- デブリ取り出し装置には多くの機能・機器が集約され、その構造と制御技術は複雑化していくことが予測される。よって、可能な限りの分業・装置構成単純化を目指していくことが望ましい。
- 測定作業はデブリ取り出し装置と分業し易いことから、その適用可能性を検討した。
- RPV内は炉内直径が約6mと狭くデブリ取り出し装置を小型化しなければ別装置を投入することは困難だが、ペDESTAL内外の場合は、例えばX-6ペネを通じた横アクセスルートから測定専用装置を投入できる可能性がある。

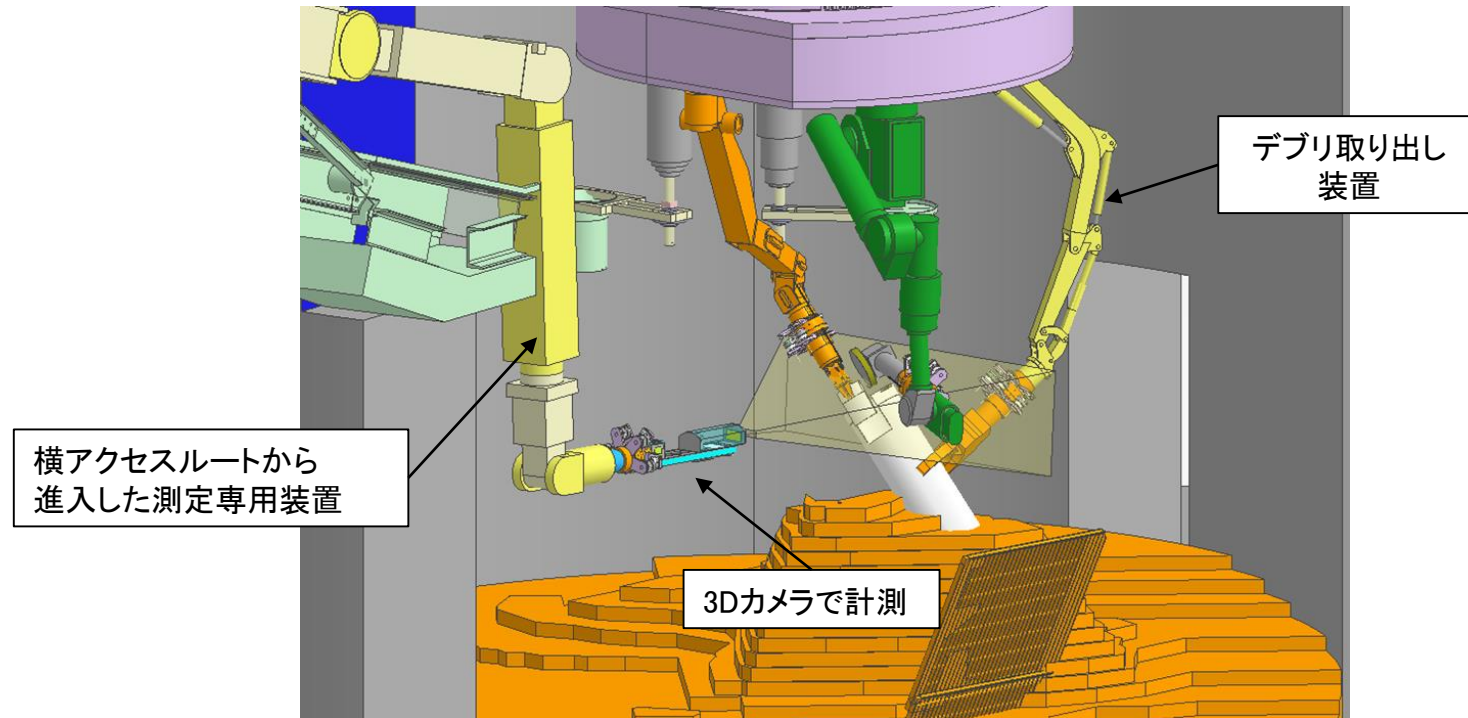


図. 横アクセスルートで3Dカメラを進入させ、寸法測定補助を行う作業概念



■ 気流解析結果の小目次

1. 解析方針

- 1.1 解析の目的
- 1.2 感度パラメータの設定
- 1.3 固定パラメータの設定
- 1.4 解析ケース一覧

2. 解析結果

- 2.1 ダスト発生位置ペデスタル内(ケース1~9)
  - 2.1.1 ダスト濃度の時間変化
  - 2.1.2 ダスト濃度の高さ方向変化
- 2.2 ダスト発生位置ペデスタル外(ケース10~18)
  - 2.2.1 ダスト濃度の時間変化
  - 2.2.2 ダスト濃度の高さ方向変化
- 2.3 各方位における各高さダスト濃度の時間変化

3. まとめ



上記結果を示した後、以下内容を続けて説明

- 気流解析結果に基づく監視要求仕様の見直し
- 監視で得たデータの運用方法
- 監視シナリオ(有力シナリオの監視系統概念およびペネトレーション活用計画)

## ■気流解析結果

### 1. 解析方針

#### 1.1 解析の目的(1/3)

- 本項項目では、ダスト濃度に関する監視要求の検討に対して、気流解析を実施して考察した。
- ダストをモニタリングする上で、リスク評価の結果より、次の監視すべきパラメータが抽出されている。
  - ダスト量(濃度)
  - ダスト粒径分布
- 上記のパラメータは、21年度に構築したデブリ取り出しモデルを基に作成されたものであるが、現状のデブリ取り出しモデルでは、発生する外乱の時間的・空間的拡がりに関してそれぞれ以下のような課題がある。
  - 時間的拡がり:  
デブリ取り出しは作業ステップごとに定義されており、単一のステップにおいて発生するダストが時間経過によってPCV内を伝搬するについて考慮されていない。
  - 空間的拡がり:  
発生するダストがPCV内を伝搬する過程やその範囲について(例:ダストの拡散)考慮されていない。
- 上記の課題によって、監視要求仕様(測定レンジ等)の検討の解像度が粗くなってしまう懸念がある事から、より精緻な検討を実施するために、発生したダストの時間的・空間的拡がりを把握することを目的に解析を実施する。

■気流解析結果

1. 解析方針

1.1 解析の目的(2/3)

- 空間的・時間的拡がりを踏まえ、実機のダスト監視要求検討に向けて最終的に必要となる情報は以下の7項目である。

検出場所	検出個所数	測定単位	計器要求耐腐食性	概略測定レンジ	測定環境条件	検出精度要求
------	-------	------	----------	---------	--------	--------

- 本事業では、号機や工法に依存しない一般論による検討を実施することとしている。また、作業設備による外乱(ダスト発生)から安全設備に対して与える影響の因果を把握できる測定ポイントを検討することを目的に、以下の情報について監視要求を整理する。

検出場所	検出個所数	測定単位	計器要求耐腐食性	概略測定レンジ	測定環境条件	検出精度要求
------	-------	------	----------	---------	--------	--------

- 上記の監視要求を把握するための解析方針を次頁以降に示す。

## ■気流解析結果

### 1.解析方針

#### 1.1 解析の目的(3/3)

- ここで、ダストの拡散については以下の2要因を総合した相対速度が持ち上げ効果となり生じる。
  - 加工時のダストの重力による下方向への沈降速度
  - 気流による上方向への上昇速度
- 上記の2要因は、様々な複合的メカニズムによって決定されるものであり、各号機の状況や工法等によってもその特性が異なる。そこで本事業においては、以下のパラメータを調整し、ダストの持ち上げ効果を模擬し、その変動によるダスト分布への影響を把握する。

#### 【ダストの沈降速度の模擬】

- ダスト粒径を変動させ、終端速度による下方向へのダスト沈降速度を模擬。

#### 【流動による上方向の速度の模擬】

- 空調風量を変動させ、PCV球殻部中心の断面積と併せて上方向の最低流速を模擬。

#### 【ダストの発生位置の模擬】

- ダスト発生位置を変動させ、デブリの存在が想定される位置(ペDESTAL内外床面)でのダスト発生を模擬。

- なお、上記以外のパラメータについては、本事業においては暫定的に、ダストがより広く拡散しやすさの観点で代表値を与え固定することとするが、将来的には各号機の状況を考慮した評価を実施する必要がある。

- 以上に基づき、ダスト性状と流速に応じたダスト分布の傾向を把握し、監視仕様に対してアウトプットする。

■気流解析結果

1.解析方針

1.2 感度パラメータの設定(1/2)

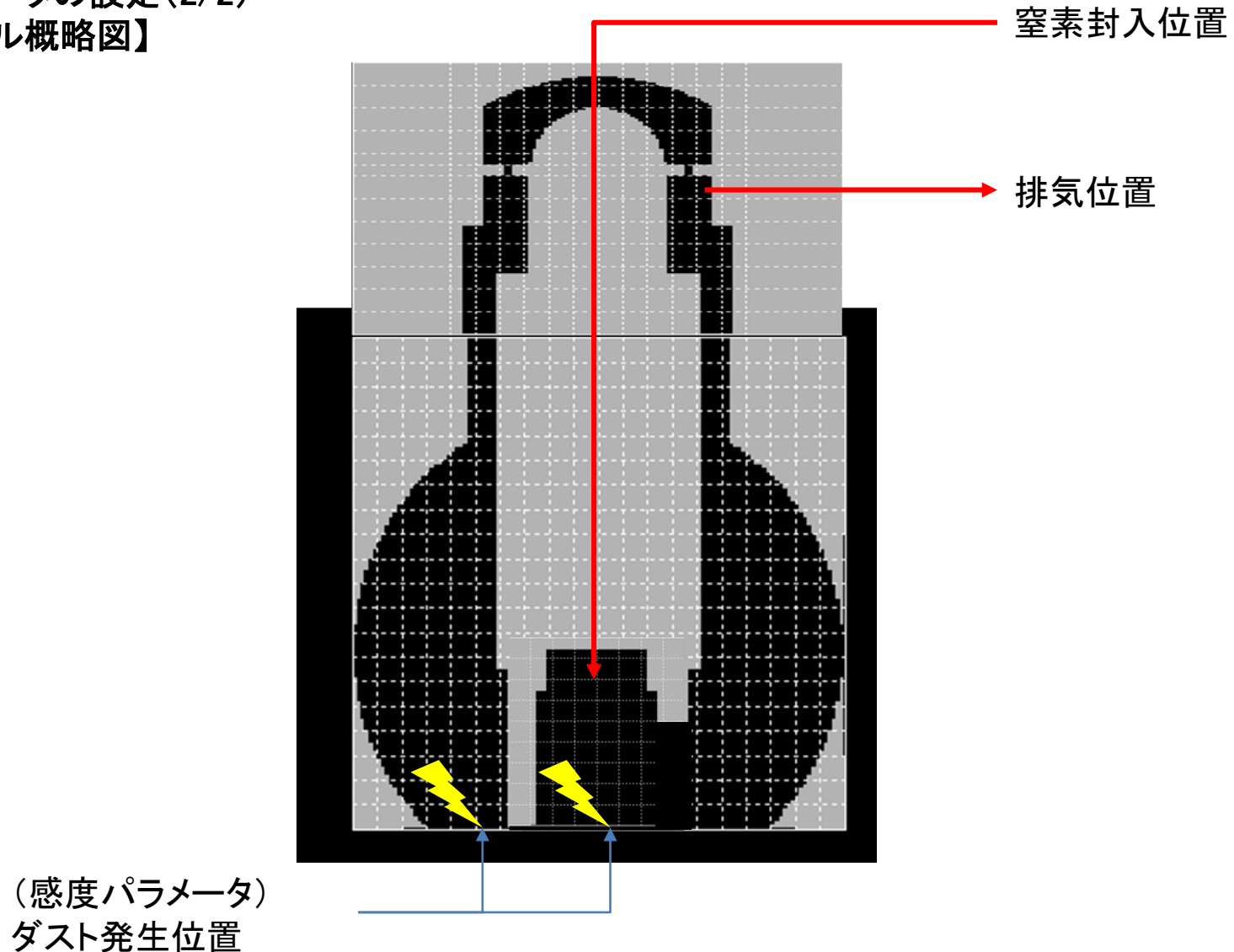
項目	設定値	設定根拠
ダスト粒径 [μm]	0.1 1 10	加工方法や加工対象物に応じて変動するため、機械加工による一般的な粒径分布を参考に設定。
排気(窒素)風量[m <sup>3</sup> /h]	100 1000 10000	各号機の破損口面積と要求されるPCV内負圧度に応じて変動するため、号機の網羅性を考慮して設定。
ダスト発生位置	ペDESTAL内 ペDESTAL外	加工作業が想定される位置によるPCV内ダスト濃度への変化を見るため、ペDESTAL内中央床面、およびそこから最も離れた位置としてペDESTAL外(作業員アクセス開口と反対側)床面を選定。

■気流解析結果

1.解析方針

1.2 感度パラメータの設定(2/2)

【気流解析モデル概略図】



■気流解析結果

1.解析方針

1.3 固定パラメータの設定(1/2)

【空調条件】

項目	設定値	設定根拠
窒素封入位置	RPV底部	
排気位置	PCV円筒部上部 (PCVトップヘッド下部)	PCV床面で発生するダストをPCV上部までより広く輸送・拡散できる配置として暫定的に設定。 なお、PCV破損口については、号機特有性の排除およびダストを上方へと輸送する風量(流速)の最大化の観点から、本解析の考慮からは除外。
温度	25 [°C]	代表値として設定。
湿度	0 %	パラメータを単純化するため、代表値として設定。
ガス組成	N2 : 100 %	窒素注入によりPCV 内が窒素充填されていることを想定する。
大気圧力	101.325 [kPa]	PCV破損により大気圧相当であると仮定し設定。

■気流解析結果

1.解析方針

1.3 固定パラメータの設定(2/2)

【ダスト条件】

項目	設定値		設定根拠
ダスト飛散量	0.39[kg/h]		大規模取り出しダスト発生量300kg/dayのうち、1.3%の3.9kgが噴出すると想定。 作業10時間の積算値が3.9kgとなるように設定。
ダスト発生時間	10[h]		
ダスト密度	2000 [kg/m <sup>3</sup> ]		ダストが最も拡散しやすい条件として、コンクリート密度2000kg/m <sup>3</sup> ~UO <sub>2</sub> 11000kg/m <sup>3</sup> の中で最小値を設定。
ダスト注入温度	25 [°C]		代表値として設定。
ダスト注入圧力	101.325 [kPa]		代表値として設定。
ダスト沈着メカニズムの考慮	凝集	×	単分散を想定するため、凝集は考慮しない。
	慣性衝突	○	19年度成果※より、衝突による沈着は考慮しない。
	重力沈降	×	重力によるダスト沈着のみ考慮する。
	熱拡散	×	19年度成果※より、熱・乱流拡散による沈着は考慮しない。
	乱流拡散	×	19年度成果※より、熱・乱流拡散による沈着は考慮しない。
	熱泳動	×	19年度成果※より、熱・乱流拡散による沈着は考慮しない。
	拡散泳動	×	19年度成果※より、熱・乱流拡散による沈着は考慮しない。

※2019年度補助事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発」において実施した気流解析<sup>[1]</sup>



■気流解析結果

1.解析方針

1.4 解析ケース一覧

本事業で実施する感度解析ケースとして、以下を想定。

ケースID	デブリ発生位置	ダスト粒径[ $\mu\text{m}$ ]	空調(窒素・排気)風量[ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
1	ペDESTAL内	0.1	10000
2			1000
3			100
4		1	10000
5			1000
6			100
7		10	10000
8			1000
9			100
10	ペDESTAL外	0.1	10000
11			1000
12			100
13		1	10000
14			1000
15			100
16		10	10000
17			1000
18			100

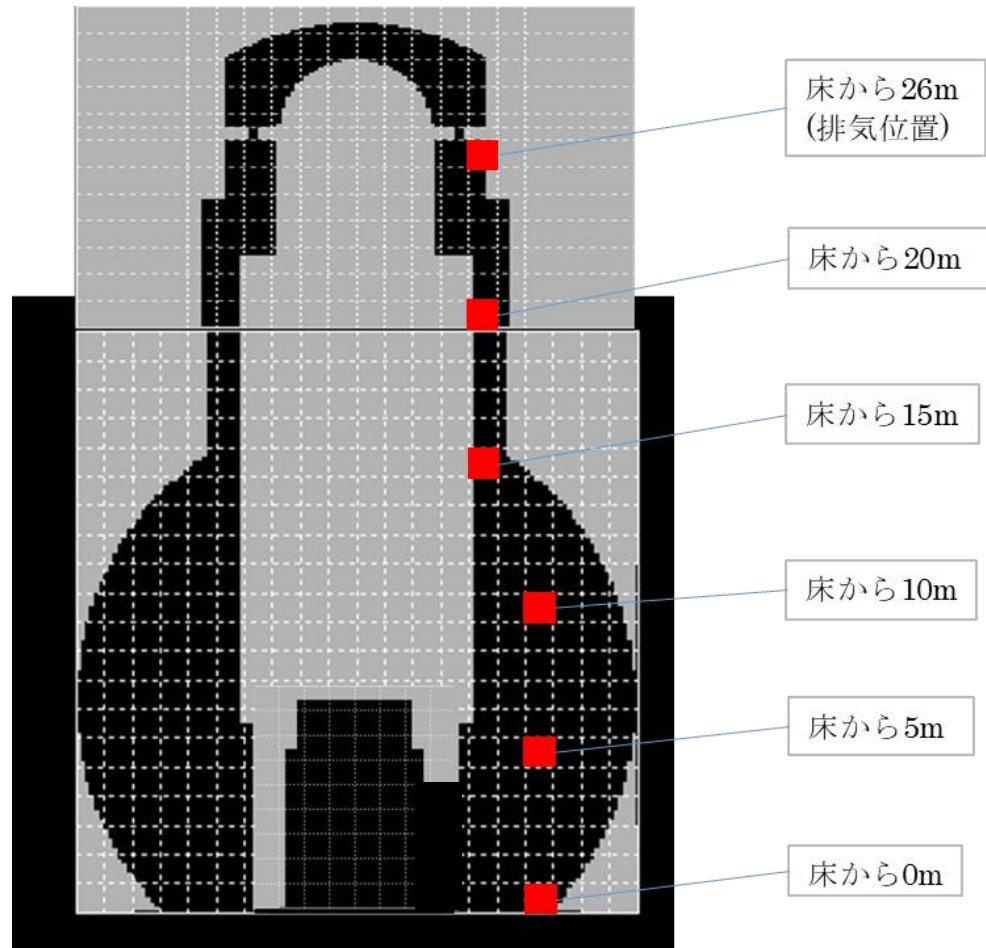
## ■気流解析結果

### 2.解析結果

#### 2.1 ダスト発生位置ペDESTAL内(ケース1~9)

##### 2.1.1 ダスト濃度の時間変化(1/4)

- ダスト濃度の経時変化を、ケース1~9毎に出力する。このダスト濃度については、高さ方向に傾向を把握するために、下図の赤点位置にてそれぞれ出力した。



## ■気流解析結果

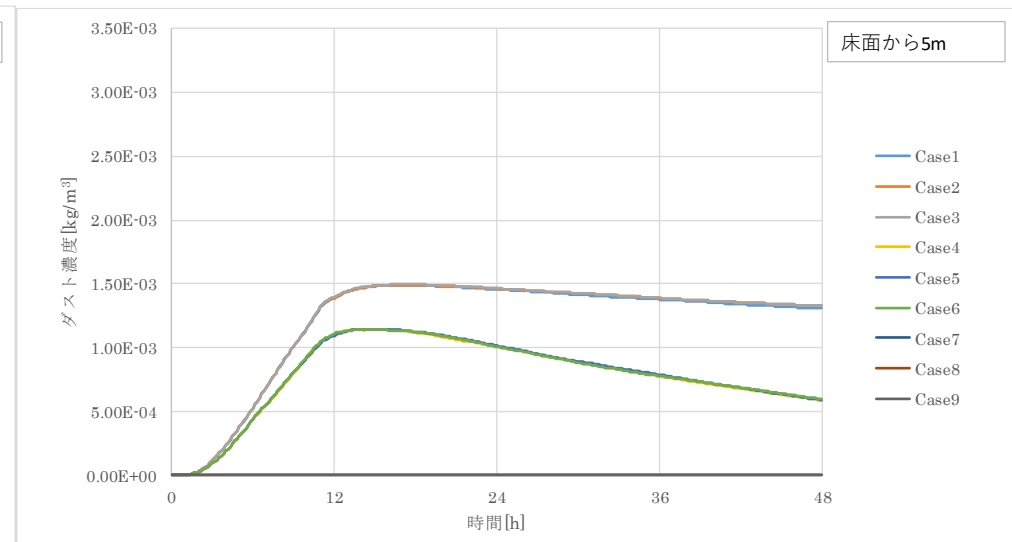
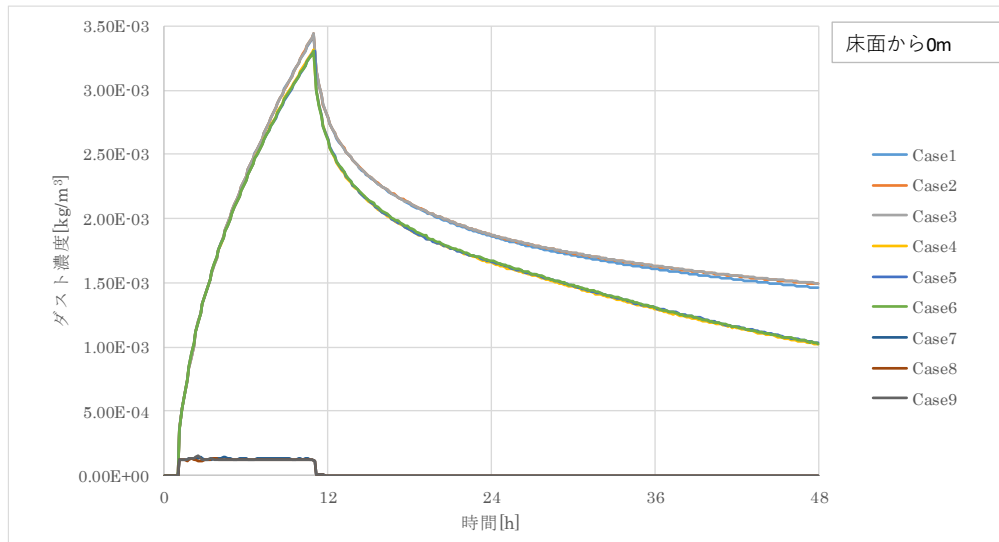
### 2.解析結果

#### 2.1 ダスト発生位置ペDESTAL内(ケース1~9)

##### 2.1.1 ダスト濃度の時間変化(2/4)

##### 【床面0m~5m高さ(球殻部下部)】

- Case1~3、4~6、7~9(粒径ごと:0.1 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ )のそれぞれでダスト濃度は概ね同様の挙動を示している。
  - 球殻部は風速が小さいことから、対流によるダストの拡散への影響が軽微。
  - 球殻部内においては、粒径に応じた重力沈降およびブラウン拡散等による輸送が律速になっている。



■気流解析結果

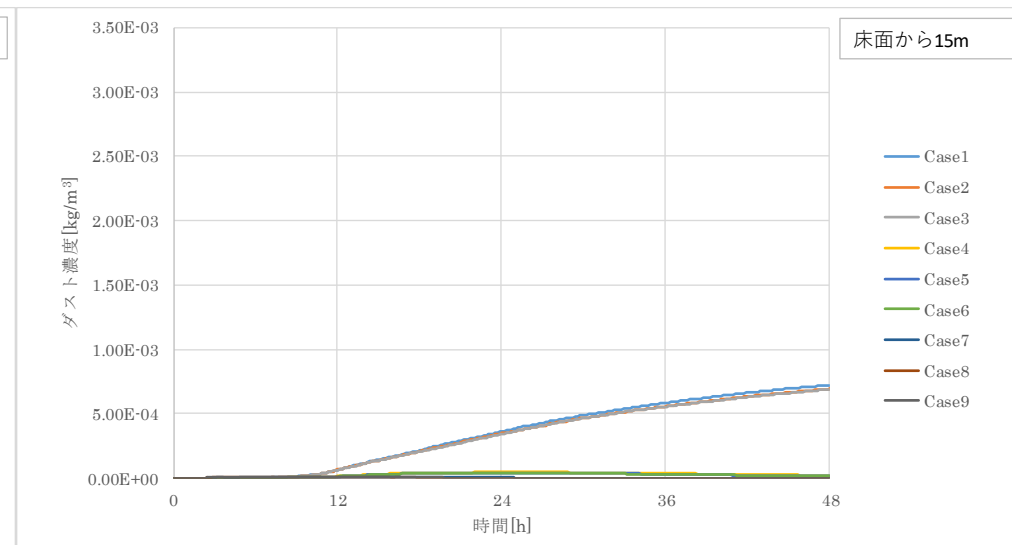
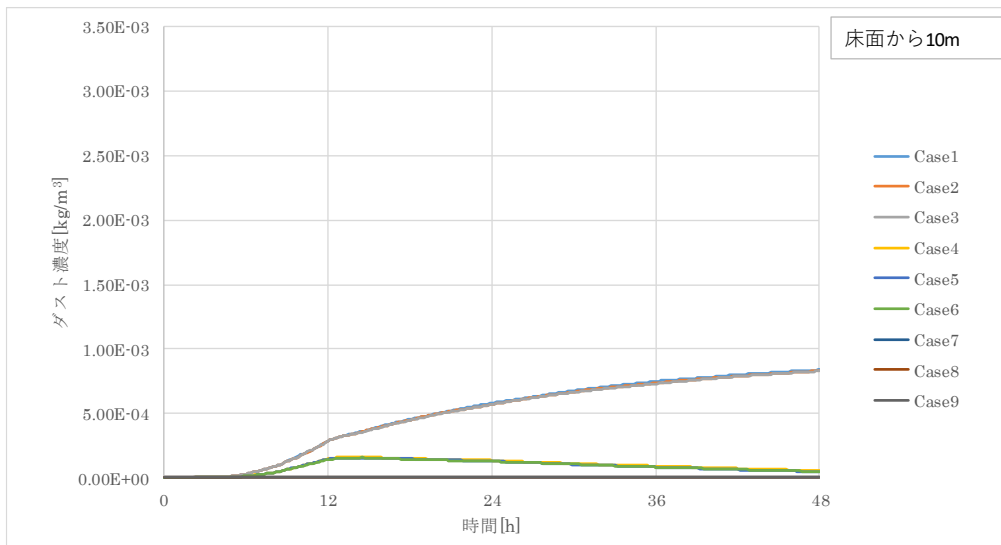
2.解析結果

2.1 ダスト発生位置ペデスタル内(ケース1~9)

2.1.1 ダスト濃度の時間変化(3/4)

【床面10m~15m高さ(球殻部上部)】

- Case1~3、4~6、7~9(粒径ごと:0.1 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ )のそれぞれでダスト濃度は概ね同様の挙動を示している。
  - 球殻部は風速が小さいことから、対流によるダストの拡散への影響が軽微。
  - 球殻部内においては、粒径に応じた重力沈降およびブラウン拡散等による輸送が律速になっている。



## ■気流解析結果

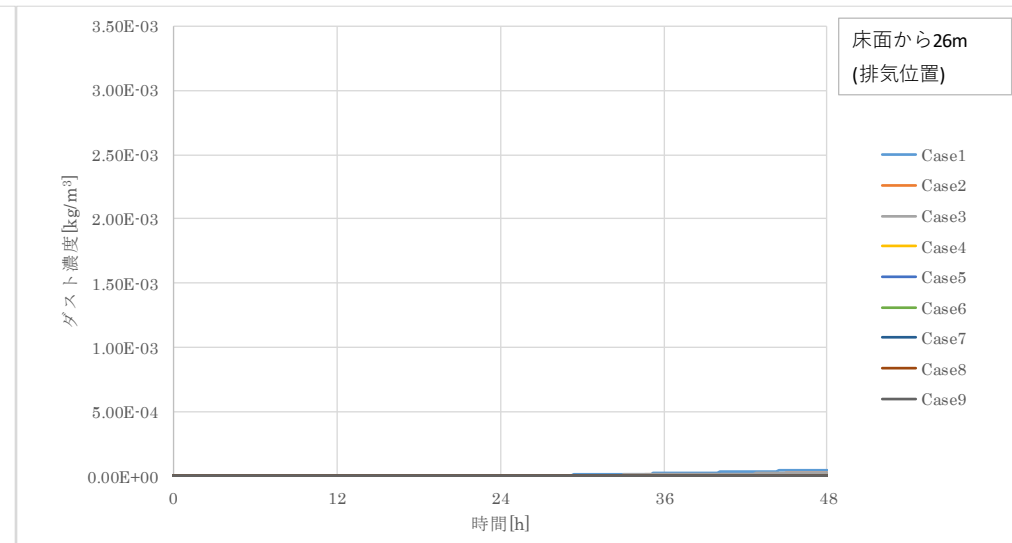
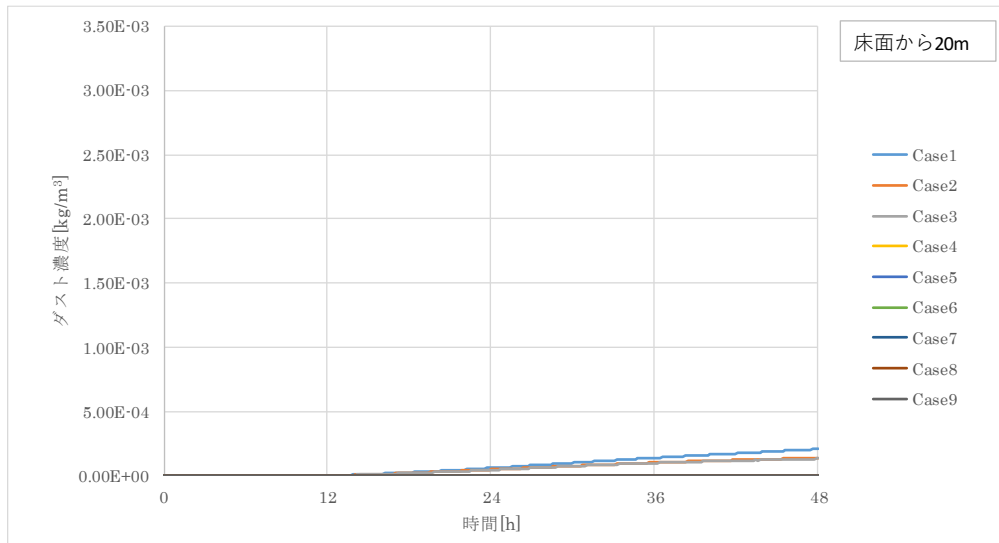
### 2.解析結果

#### 2.1 ダスト発生位置ペDESTAL内(ケース1~9)

##### 2.1.1 ダスト濃度の時間変化(4/4)

##### 【床面20m~排気(26m)高さ(円筒部)】

- 0.1 $\mu$ m (Case1~3)については、風量に応じてダスト濃度が変動している。
  - 円筒部高さ(流路面積が小さい)において、排気によるダストの持ち上げ効果が顕著になるためであると考えられる。
- 1 $\mu$ m、10 $\mu$ mについては、円筒部高さまでダストが殆ど到達していない。



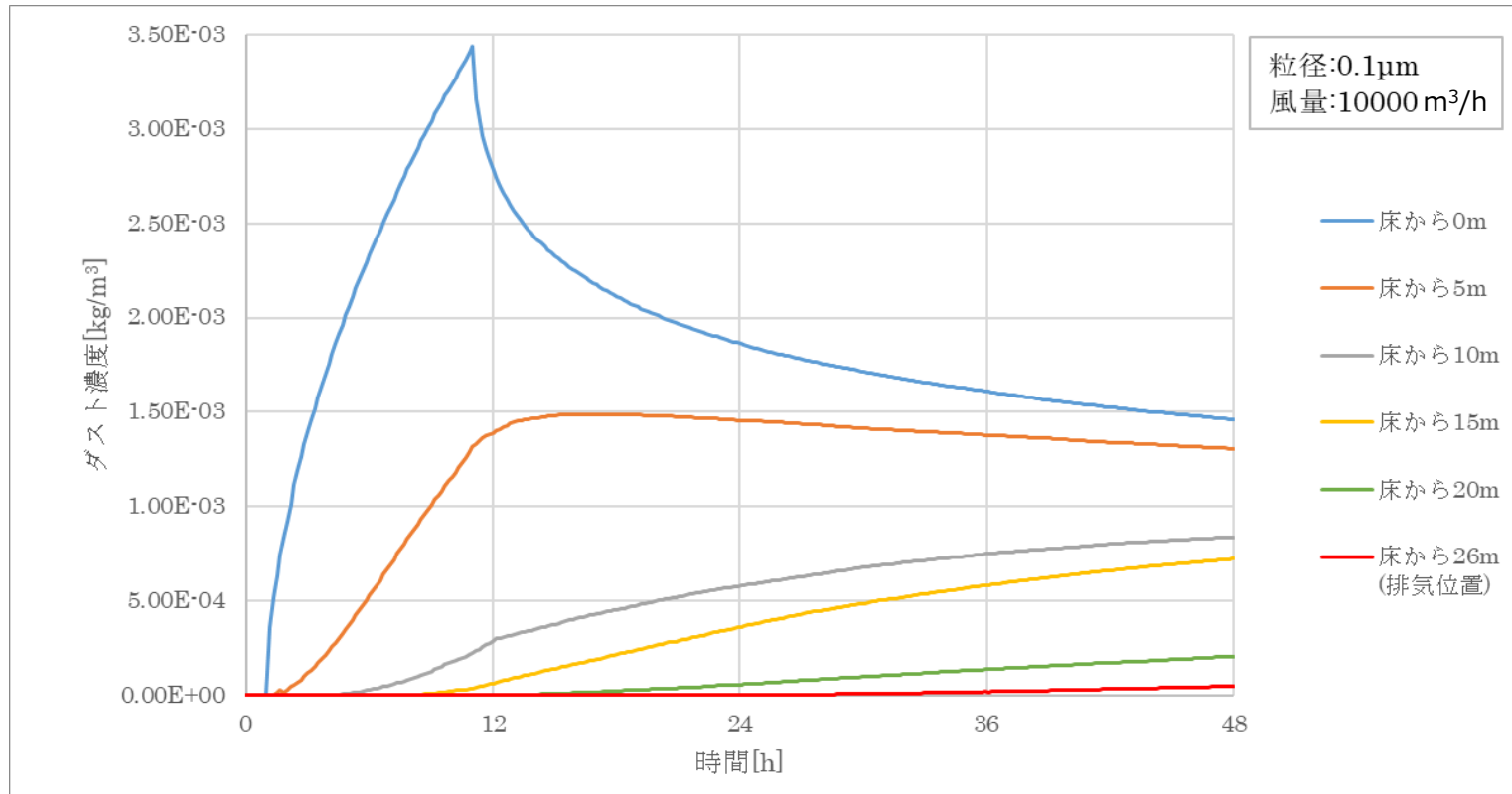
■気流解析結果

2.解析結果

2.1 ダスト発生位置ペデスタル内(ケース1~9)

2.1.2 ダスト濃度の高さ方向変化

- 代表としてケース1に着目し、ダスト濃度の時間変化を高さ方向に整理した。
  - ダスト発生位置から最も遠い排気位置における時間遅れは20時間程度となった。
  - デブリ取り出し作業と安全設備の因果の早期把握に向けては、PCV球殻部中底部(10m以下)の内、より底部に近い位置での監視が望ましいと考えられる。



(ダスト発生)

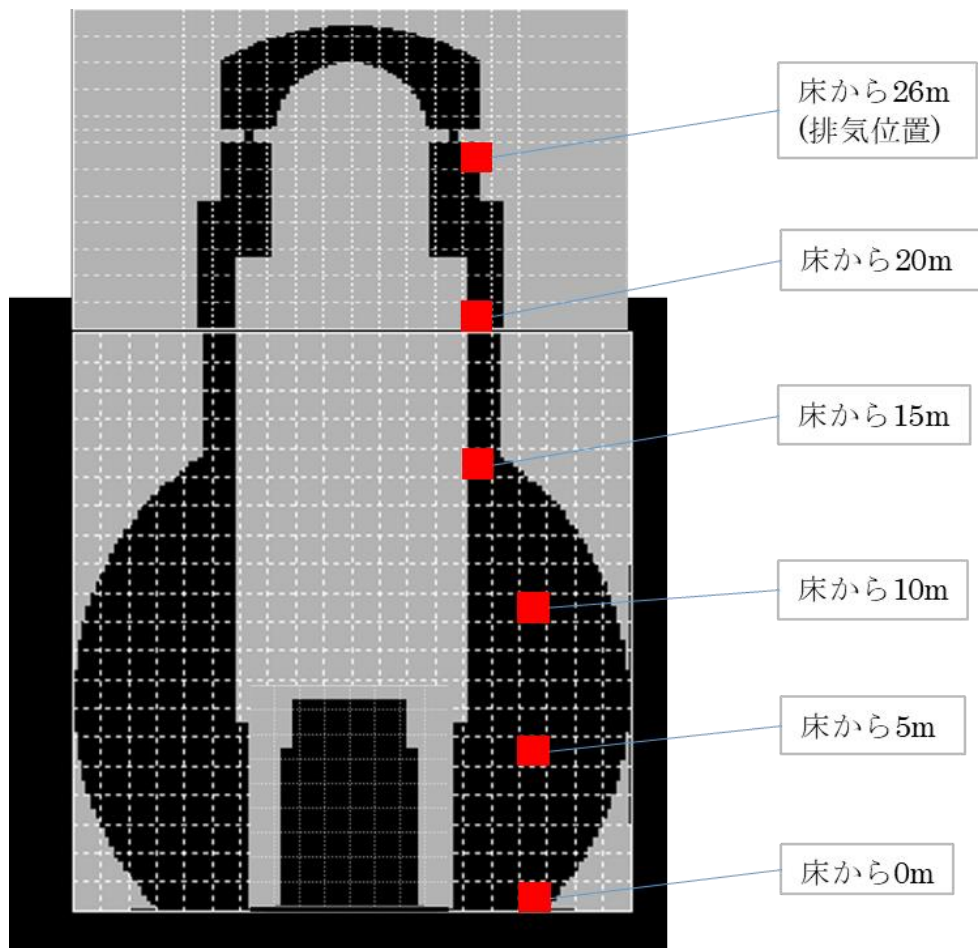
## ■気流解析結果

### 2.解析結果

#### 2.2 ダスト発生位置ペDESTAL外(ケース10~18)

##### 2.2.1 ダスト濃度の時間変化(1/4)

- ダスト濃度の経時変化を、ケース10~18毎に出力する。このダスト濃度については、高さ方向に傾向を把握するために、下図の赤点位置にてそれぞれ出力した。



■気流解析結果

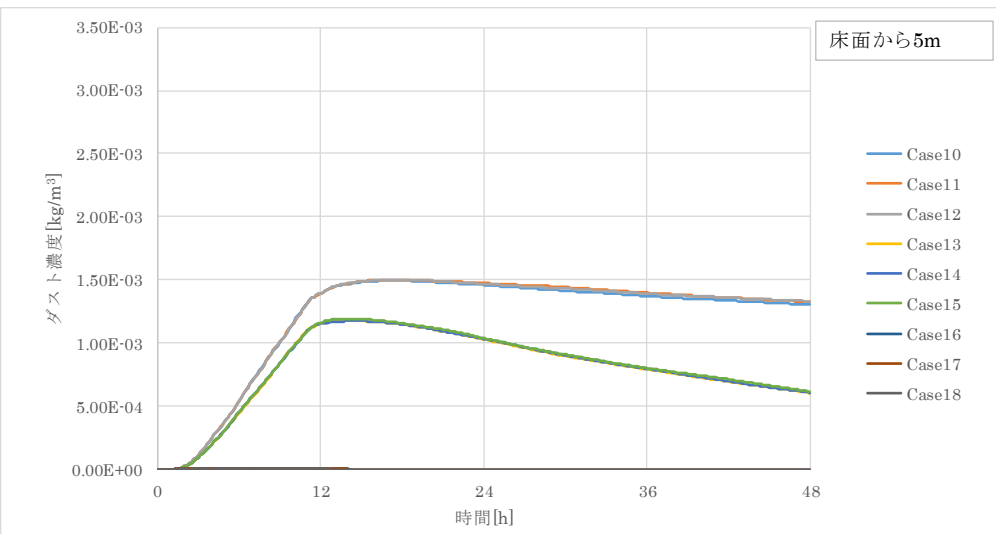
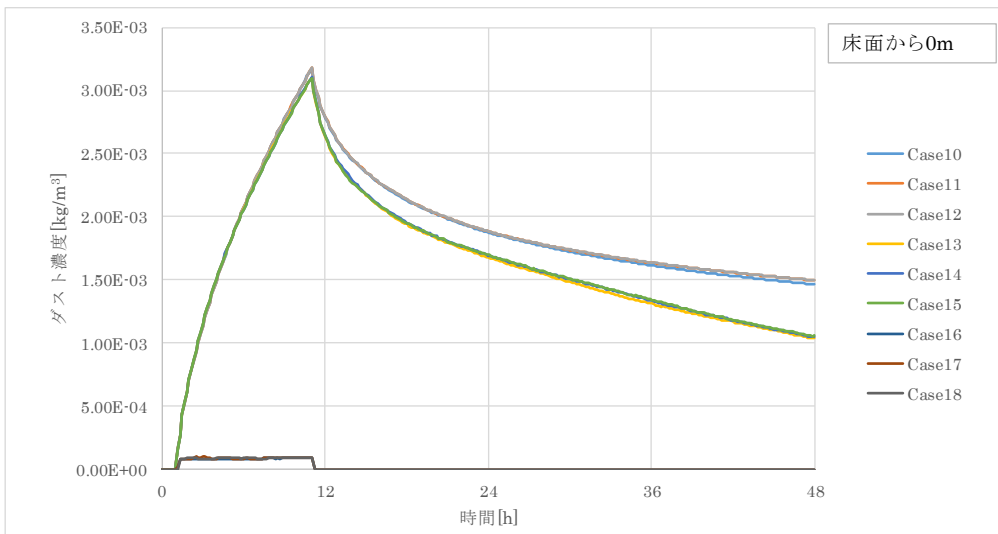
2.解析結果

2.2 ダスト発生位置ペDESTAL外(ケース10~18)

2.2.1 ダスト濃度の時間変化(2/4)

【床面0m~5m高さ(球殻部下部)】

- Case10~12、13~15、16~18(粒径ごと:0.1 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ )のそれぞれでダスト濃度は概ね同様の挙動を示している。
  - 球殻部は風速が小さいことから、対流によるダストの拡散への影響が軽微。
  - 球殻部内においては、粒径に応じた重力沈降およびブラウン拡散等による輸送が律速になっている。
- 粒径および空調風量条件が同一の場合でCase1~9と比較したところ、ダスト濃度の挙動に差異は見られなかった。





■気流解析結果

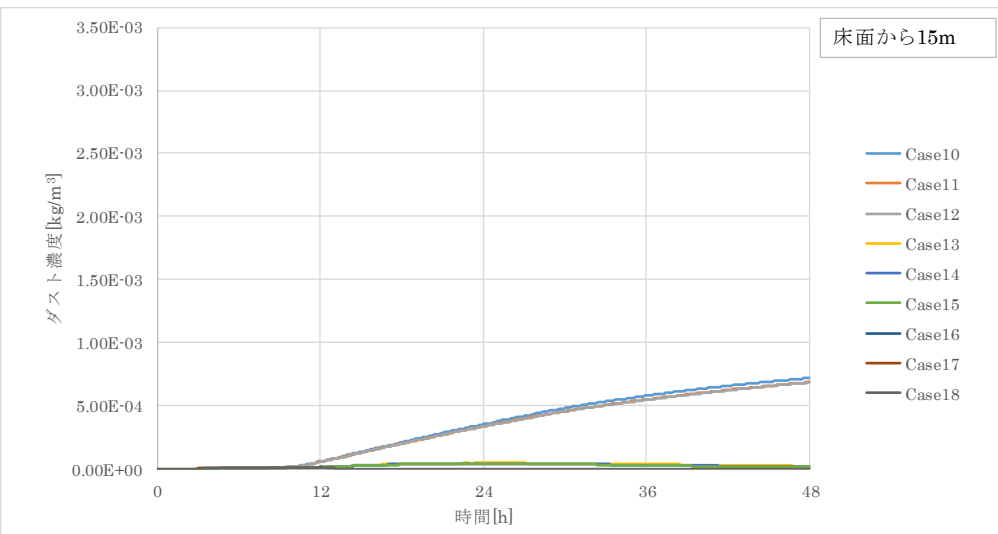
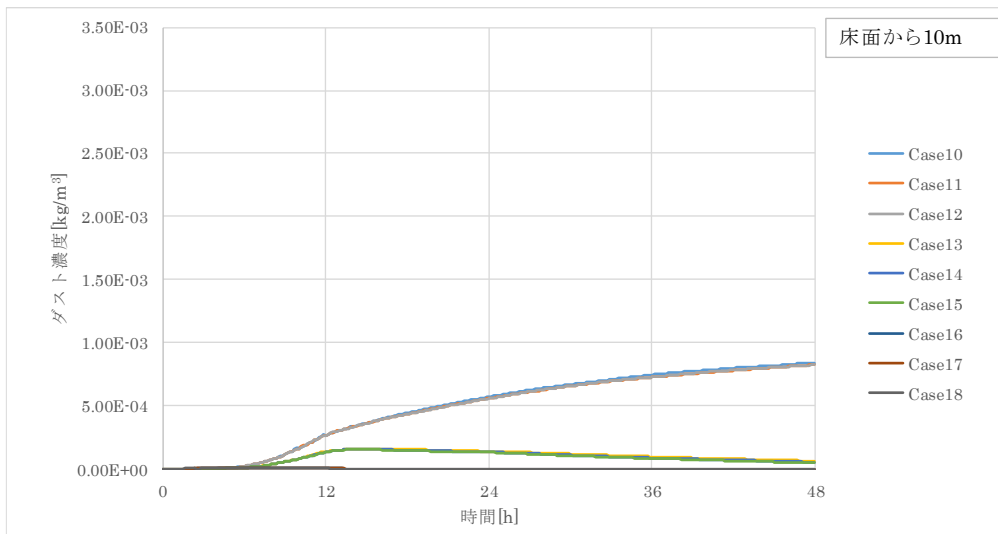
2.解析結果

2.2 ダスト発生位置ペDESTAL外(ケース10~18)

2.2.1 ダスト濃度の時間変化(3/4)

【床面10m~15m高さ(球殻部上部)】

- Case10~12、13~15、16~18(粒径ごと:0.1 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ )のそれぞれでダスト濃度は概ね同様の挙動を示している。
  - 球殻部は風速が小さいことから、対流によるダストの拡散への影響が軽微。
  - 球殻部内においては、粒径に応じた重力沈降およびブラウン拡散等による輸送が律速になっている。
- 粒径および空調風量条件が同一の場合でCase1~9と比較したところ、ダスト濃度の挙動に差異は見られなかった。



## ■気流解析結果

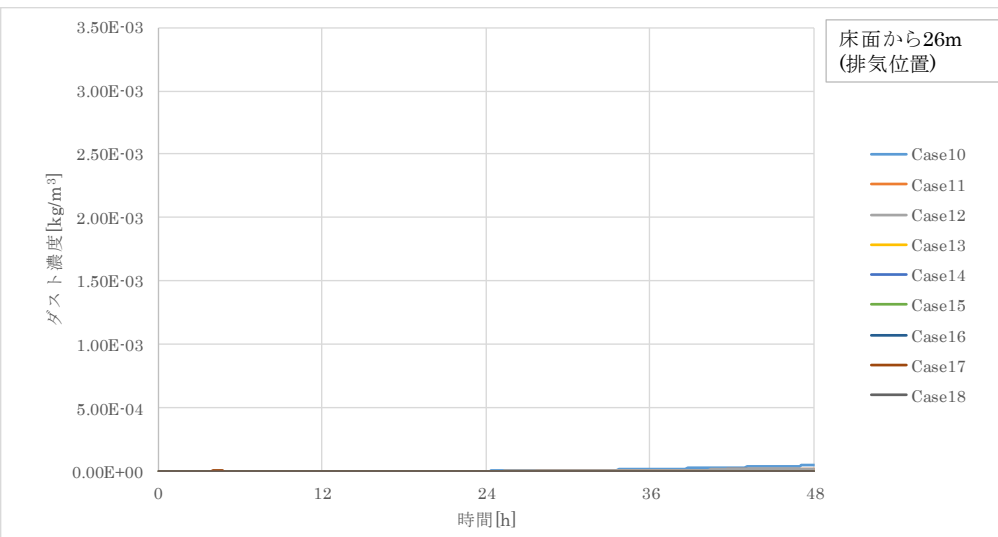
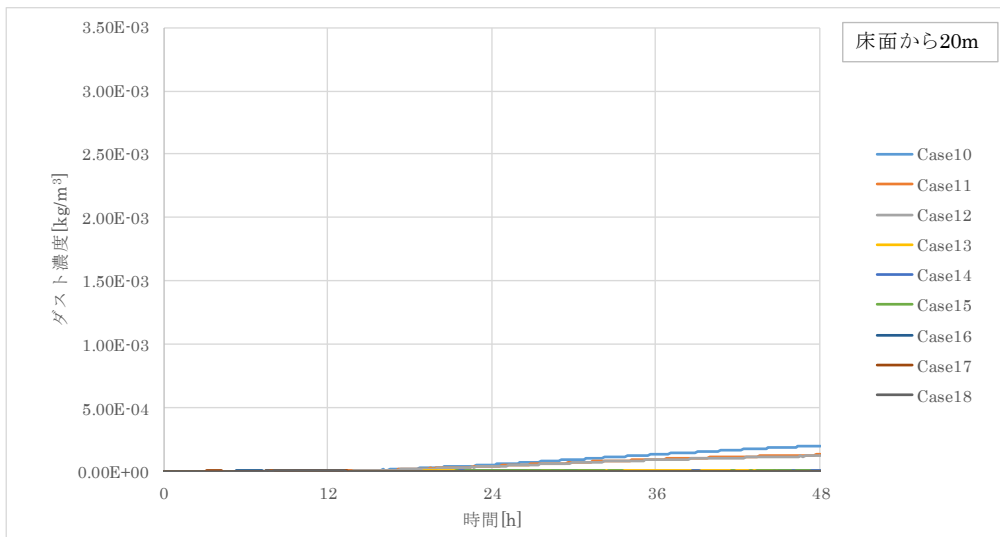
### 2.解析結果

#### 2.2 ダスト発生位置ペDESTAL外(ケース10~18)

##### 2.2.1 ダスト濃度の時間変化(4/4)

##### 【床面20m~排気(26m)高さ(円筒部)】

- 0.1 $\mu\text{m}$  (Case10~12)については、風量に応じてダスト濃度の変動している。
  - 円筒部高さ(流路面積が小さい)において、排気によるダストの持ち上げ効果が顕著になるためであると考えられる。
- 1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ については、円筒部高さまでダストが殆ど到達していない。
- 粒径および空調風量条件が同一の場合でCase1~9と比較したところ、ダスト濃度の挙動に差異は見られなかった。



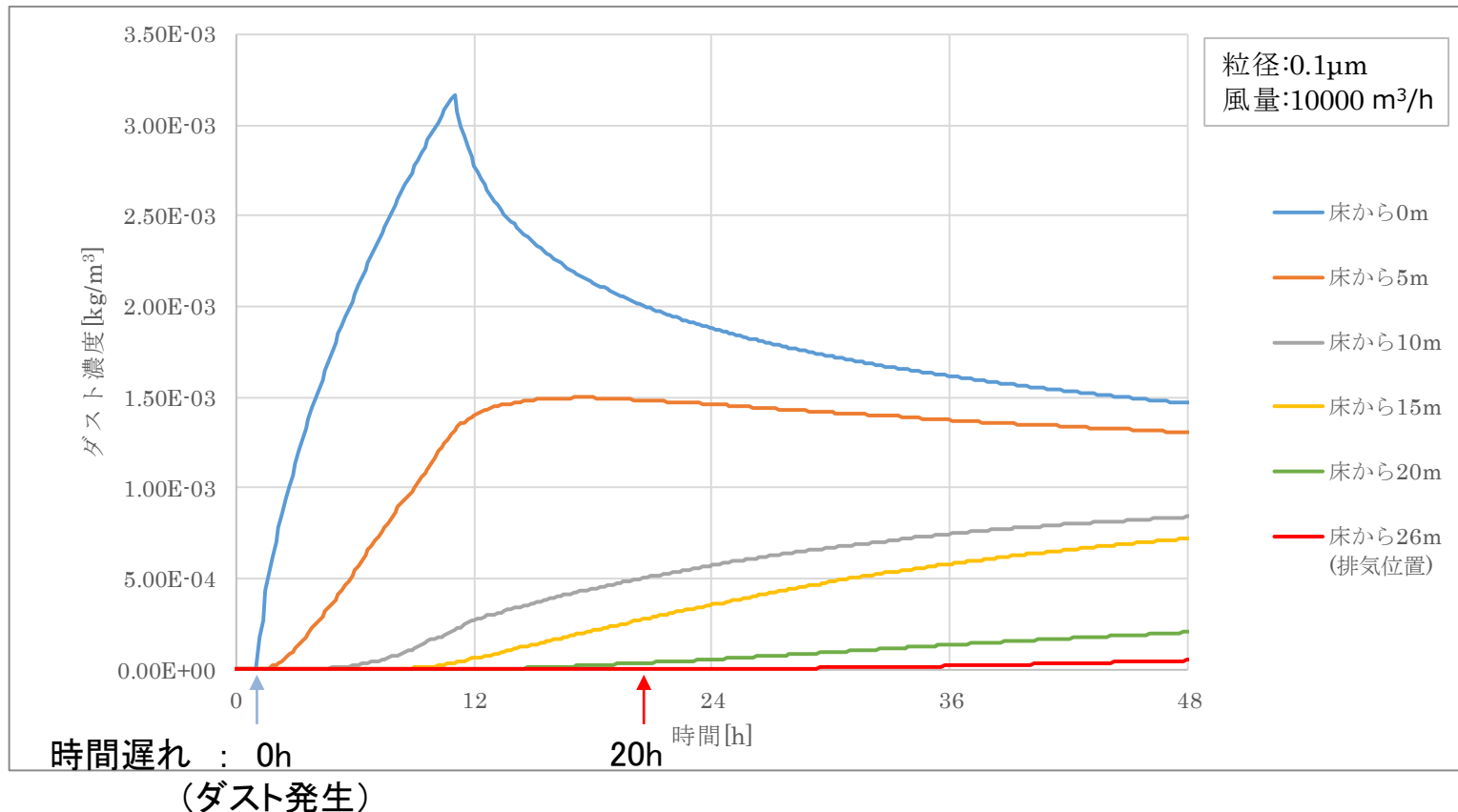
■気流解析結果

2.解析結果

2.2 ダスト発生位置ペDESTAL外(ケース10~18)

2.2.2 ダスト濃度の高さ方向変化

- 代表としてケース1に着目し、ダスト濃度の時間変化を高さ方向に整理した。
  - ダスト発生位置から最も遠い排気位置における時間遅れは20時間程度となった。
  - デブリ取り出し作業と安全設備の因果の早期把握に向けては、PCV球殻部中底部(10m以下)の内、より底部に近い位置での監視が望ましいと考えられる。



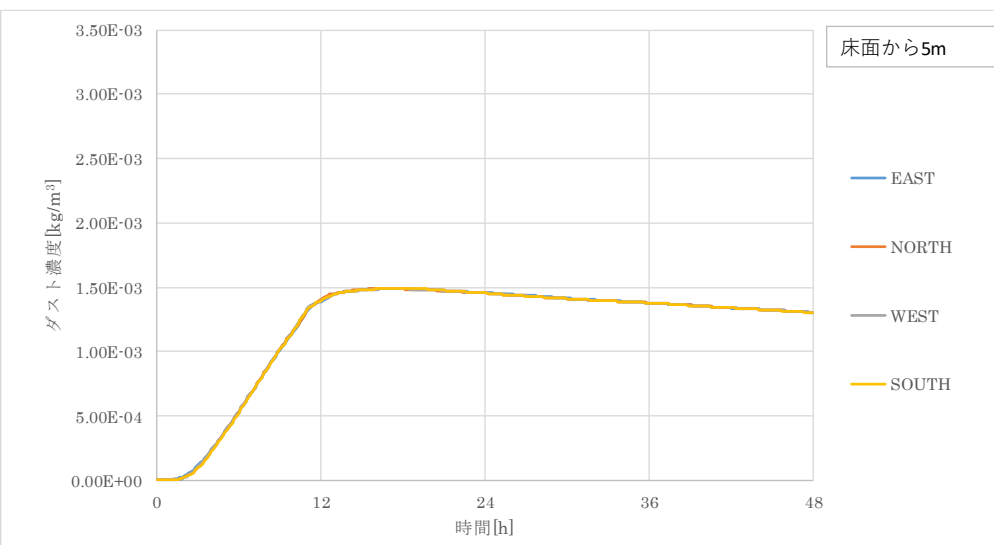
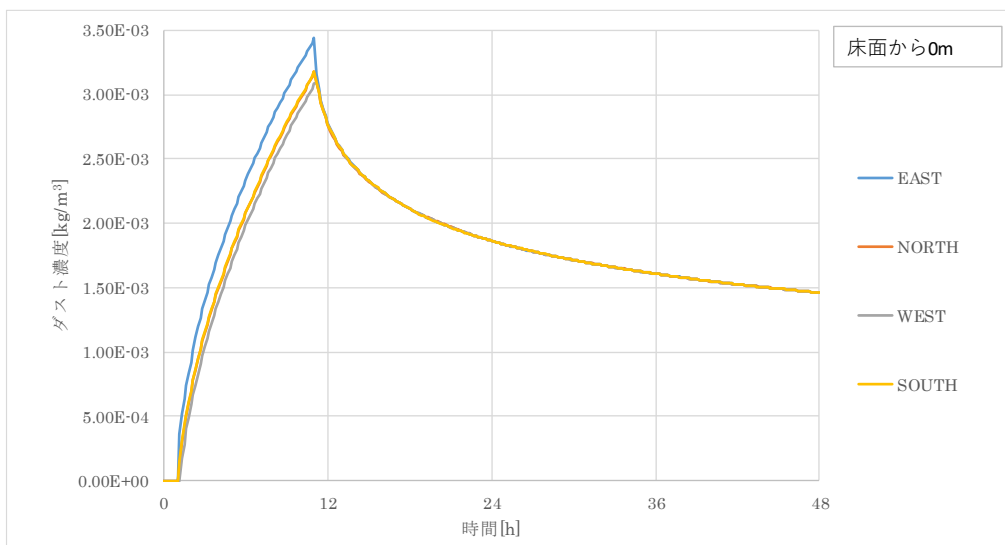
## ■気流解析結果

### 2.解析結果

#### 2.3 各方位における各高さダスト濃度の時間変化 (1/3)

##### 【床面0m～5m高さ(球殻部下部)】

- 代表としてケース1に着目し、4方位における各高さでのダスト濃度の結果を整理した。
- PCV内全体を通して、ダスト濃度は同等レベルおよび同様の挙動であることから、方位性はないものと考えられる。



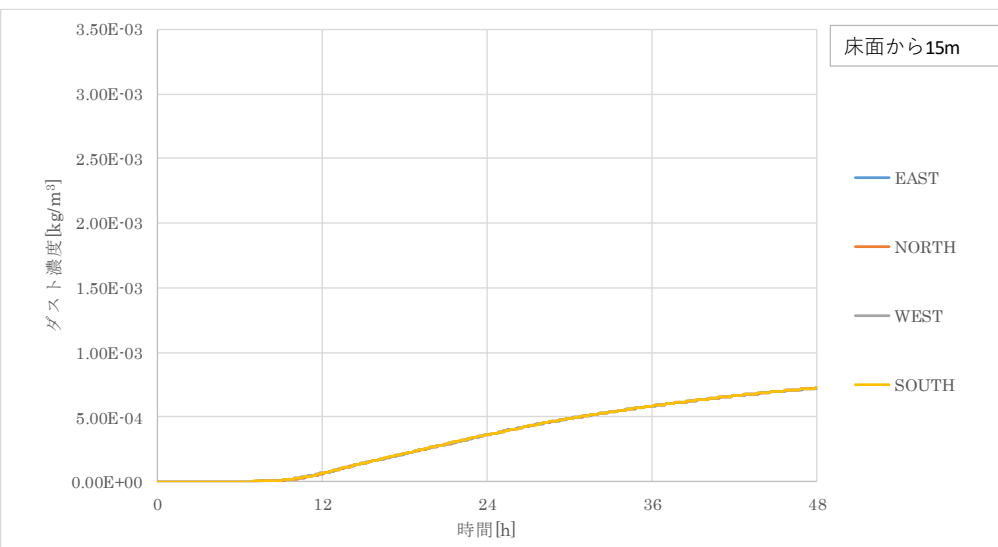
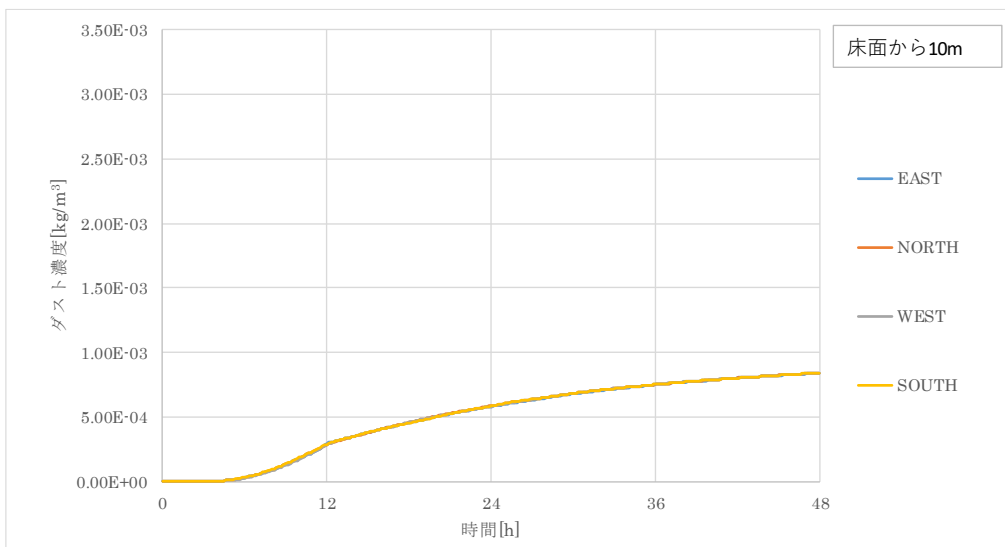
## ■気流解析結果

### 2.解析結果

#### 2.3 各方位における各高さダスト濃度の時間変化 (2/3)

##### 【床面10m～15m高さ(球殻部上部)】

- 代表としてケース1に着目し、4方位における各高さでのダスト濃度の結果を整理した。
- PCV内全体を通して、ダスト濃度は同等レベルおよび同様の挙動であることから、方位性はないものと考えられる。



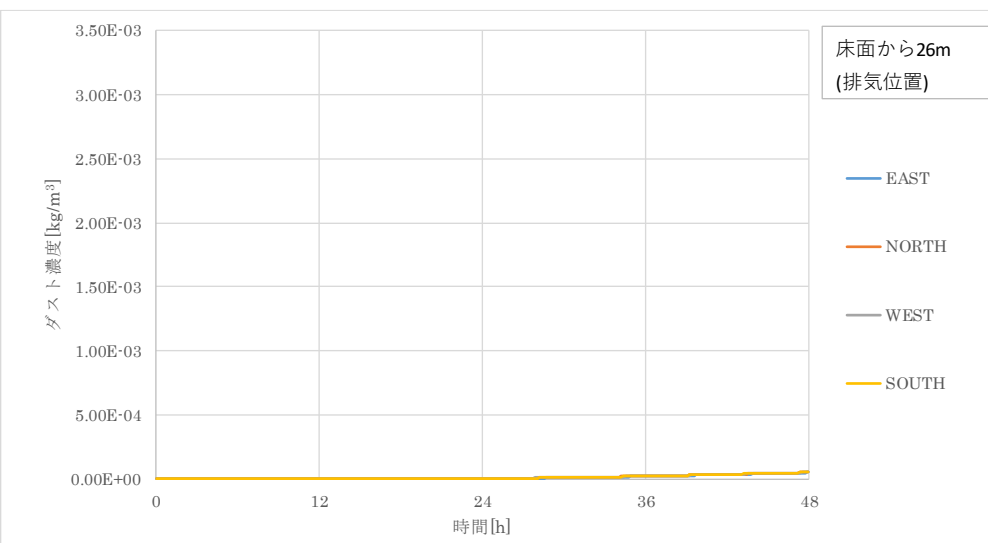
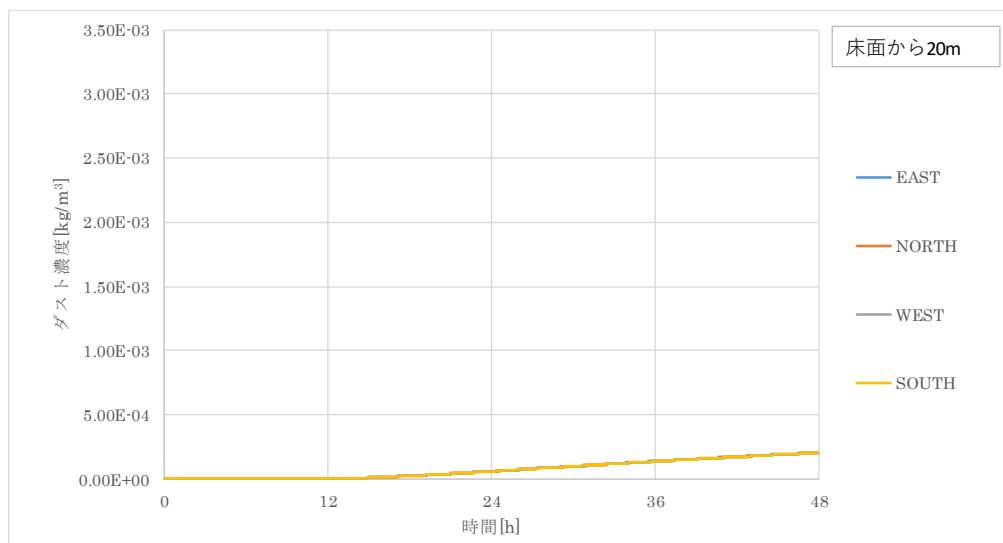
## ■気流解析結果

### 2.解析結果

#### 2.3 各方位における各高さダスト濃度の時間変化 (3/3)

##### 【床面20m～排気(26m)高さ(円筒部)】

- 代表としてケース1に着目し、4方位における各高さでのダスト濃度の結果を整理した。
- PCV内全体を通して、ダスト濃度は同等レベルおよび同様の挙動であることから、方位性はないものと考えられる。



### ■気流解析結果

#### 3.まとめ

GOTHICコードを用い、ダスト発生時におけるPCV内のダスト監視要求について気流解析より得られた知見を以下にまとめる。

- PCV球殻部は流速が小さくなることから、粒径に応じた重力沈降およびブラウン拡散等によるダスト輸送が支配的になっているため、ダスト濃度分布は粒径に依存するものの、同粒径の場合、空調風量によるダスト濃度分布への影響は小さいと考えられる。
- 粒径条件0.1 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ の内、排気位置へ到達するのは0.1 $\mu\text{m}$ のみであり、その時間遅れは20時間程度であった。なお、1 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ のダストはPCV上方の排気位置には到達しないことが確認された。
- ペDESTAL内外のそれぞれでダストを発生させ、粒径および空調風量条件が同一の場合、いずれも高さ方向では概ね同様の挙動が見られた。
- 代表としてケース1に着目し、D/W内の各高さにおける周方向のダスト濃度分布を確認した。ここでは、各高さにおける周方向のダスト濃度分布で概ね同様の挙動が見られた。このことから各高さにおける周方向のダスト濃度分布へ影響を与えるパラメータは、いずれかの方位に大きく依存することはないと考える。

以上のことから、デブリ取り出し作業による外乱が安全設備(気相系システムの構成機器)に対して与える影響の因果関係を把握するためには、以下が要求される。

- 概略測定レンジ : 排気位置に到達するダストの粒径範囲として、0.1 $\mu\text{m}$ ～1 $\mu\text{m}$ (サブミクロン)。
- 検知場所 : 作業設備と安全設備の因果を早期に把握する領域として、PCV球殻部中低部。
- 検知個所数 : ダストの発生位置に影響を受けず、また方位性もないと考えられることから1個所。

■気流解析結果

【参考文献】

- [1] 平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」研究報告書(最終報告)(令和3年3月:技術研究組合 国際廃炉研究開発機構)



## ■気流解析結果に基づく監視要求仕様の見直し

- デブリ加工時に発生するダストと、気相システムの機能劣化加速の因果関係を早期検知(ダスト発生から12時間以内)するには、以下2箇所での測定が必要。
  - ① 気相システムの配管内でダスト濃度測定orフィルタ前後差圧で測定
  - ② PCV球殻部中底部(10m以下)でダスト濃度を測定

## ■(上記①と②に基き)監視で得たデータの運用方法

### 【中長期の運用】

日毎のデータを蓄積し、ダスト濃度とフィルタ前後差圧それぞれの挙動の相関性を分析し、把握する。(図1)

### 【日々の運用】

デブリ加工開始から12時間以内で得られるダスト濃度の挙動から、その日の気相システムへの負荷度合いを事後評価。翌日の作業計画へ反映する。(図2)

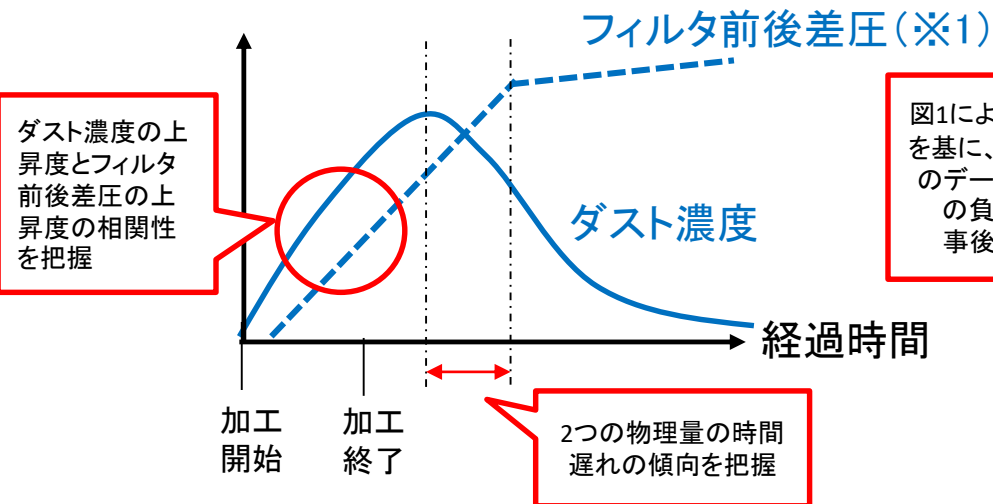


図1 日々得られるデータを用いた  
中長期のデータ運用・分析イメージ(※2)

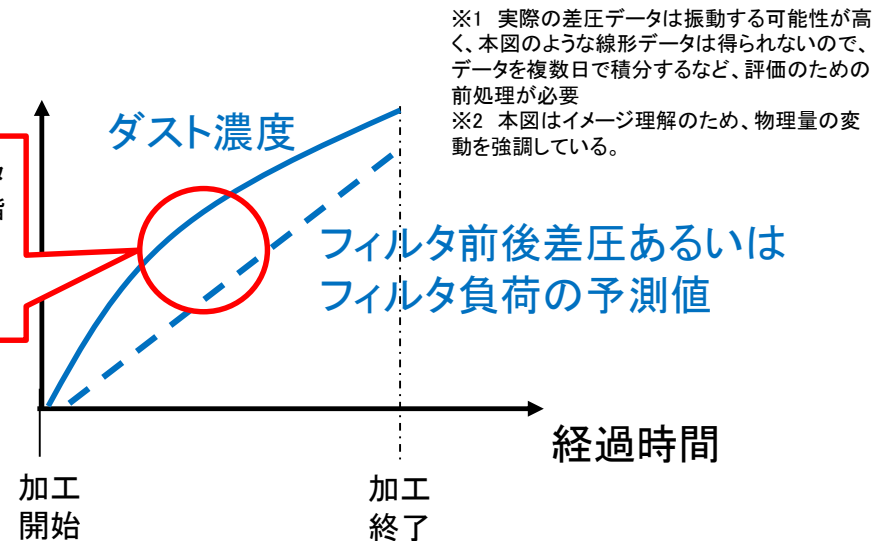


図2 日々のデータ運用・分析イメージ(※2)

本データ運用方法を実行するためのシナリオを検討(次頁)


■監視シナリオ

前ページのデータ運用法案とは別に、計器開発の観点で測定シナリオを抽出した。

測定シナリオA (測定箇所の変更に伴う)	【シナリオA1】 デブリ取り出し装置本体に付与する。
	【シナリオA2】 デブリ取り出し装置以外の専用監視装置(PCV内任意の位置へ移動する機能有り)に付与する。
測定シナリオB (測定箇所の固定)	【シナリオB1】 ペネトレーションを通過し、計器をPCV内に固定する。インサービス時の電気等のケーブル配線もペネトレーションを通じて引き出す。
	【シナリオB2】 ペネトレーションをダクトのように活用し、ダストを吸引し、PCV外に設置した計器で計測する。吸引したダストと空気は気相システムに接続して循環・排風する。
	【シナリオB3】 計器をPCV内に固定するが、ペネトレーションは使用せずPCV内を移動できる専用据え付け装置で実施する。インサービス時の電気等のケーブル配線もペネトレーションを使用せず、デブリ取り出し装置のアクセスルートなどを活用する。
	【シナリオB4】 気相システムの前処理設備の前後で計測する

- ・上記6つのシナリオと前ページのデータ運用法案との相性を今後考えていく
- ・6つのシナリオの抽出ロジックを次ページに示す

■監視シナリオ

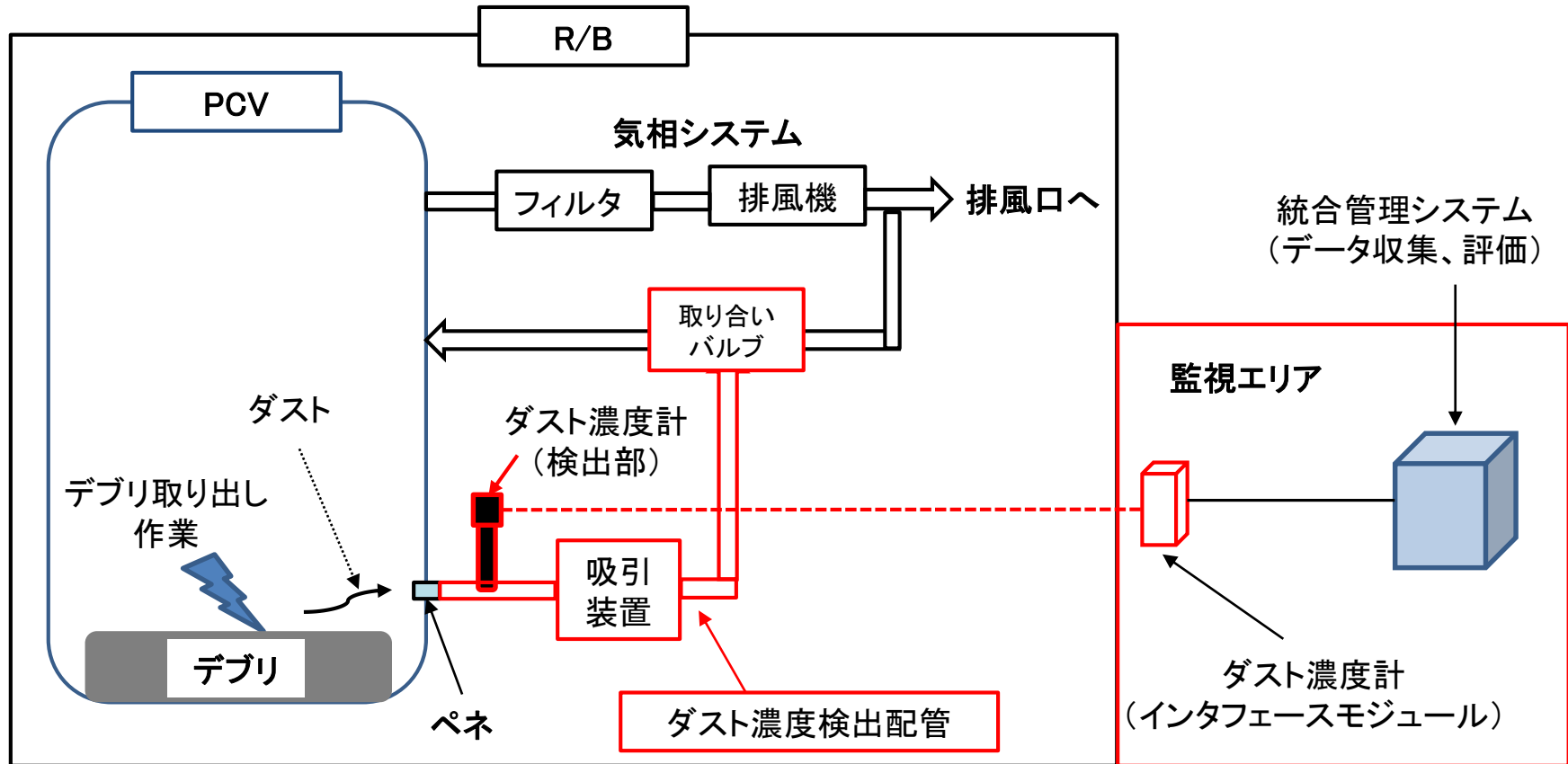
		計器候補	計器保護	検知精度	計器設置性／保守性
測定シナリオA (測定箇所 の都度 変更)	【シナリオA1】 デブリ取り出し装置本体に付与する。		△ ・プローブは気中空間に露出させる必要があるが、作業中に周辺構造物と接触して破損させない保護と空間露出にトレードオフがある ・RPV内想定線量環境(5000Gy)の対放射線性を持たせた構造設計が必要 ・カタログ品のケーブル長では不足するため、信号強度補償を含めた開発課題がある	△ ・測定箇所とデブリ加工箇所が近くなるため、バックグラウンドが高く、精度が落ちる可能性がある	○ ・デブリ取り出し装置に付帯することから、設置性や保守性は良好であると期待できる
	【シナリオA2】 デブリ取り出し装置以外の専用監視装置(PCV内任意の位置へ移動する機能有り)に付与する。				○ ・バウンダリを維持しながら計器設置・抜き取る必要があるが、現行運用する常設監視計器の応用が気体できる
測定シナリオB (測定箇所 の固定)	【シナリオB1】 ペネトレーションを通過し、計器をPCV内に固定する。インサービス時の電気等のケーブル配線もペネトレーションを通じて引き出す。				○ ・建屋内に計器を設置するため、他案に比べて設置性・保守性ともに良好と期待できる
	【シナリオB2】 ペネトレーションをダクトのように活用し、ダストを吸引し、PCV外に設置した計器で計測する。吸引したダストと空気は気相システムに接続して循環・排風する。	エレクトロ ダイナミック 方式 ダストモニタ	○ ・計器はプローブ以外は建屋環境に固定するため、他シナリオに比べて適用課題は低い	○ ・気流解析の結果、PCV底部付近に設置できる場合は比較的検知精度が高くなる	◎
	【シナリオB3】 計器をPCV内に固定するが、ペネトレーションは使用せずPCV内を移動できる専用据え付け装置で実施する。インサービス時の電気等のケーブル配線もペネトレーションを使用せず、デブリ取り出し装置のアクセスルートなどを活用する。		△ ・シナリオA1/A2/B1と同様		○ ・シナリオA1/A2と同様
	【シナリオB4】 気相システムの前処理設備の前後で計測する		○ ・シナリオB2と同様	△ ・気相システムの吸引箇所によっては検知精度が低くなる	◎ ・シナリオB2と同様

計器保護・検知精度・設置性・保守性の観点で、シナリオB2が総合優位

■監視シナリオ

【シナリオB2(配管へダスト吸引してPCV外で測定)へ要求する監視システムの検討】

- PCV底部(底部から10m以内)のダストを吸引するため、ペネに検出用配管を設ける。
- 吸引したガスは、気相システムのメインプロセスと合流し、PCV内へと差し戻す。
- 測定データは有線通信で監視エリアまで移送、インタフェースモジュールを介して統合監視システムの監視データ収集サーバへ記録する。



システム構成のための基本的な要求システムを整備

■監視シナリオ

【シナリオB2におけるペネトレーション活用計画】

【検討方針】

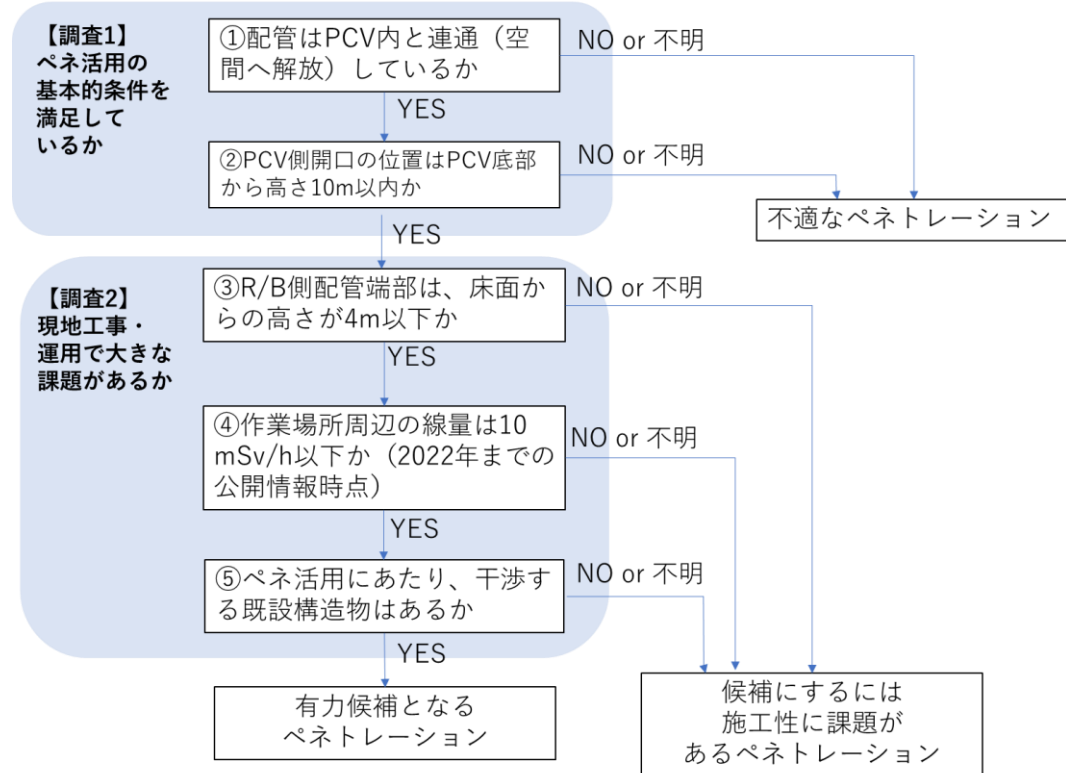
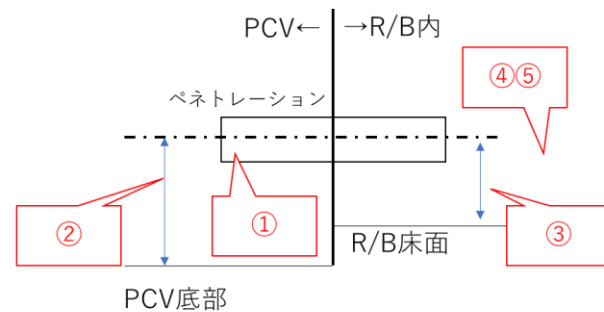
- 右図に示す2つの調査で、活用可能なペネトレーションを絞り込むための計画を策定した。
- 施工工事時のアクセス性を考慮し、1号機および2号機の1階に存在するペネトレーションに対して調査を実施した。  
なお、3号機は2号機と構造が類似しているため2号機を代表例とした。

【調査結果(個別結果)】

- 1号機の場合、例えば軽装用のX-33、X-34ペネが調査1の条件を満たすことを確認した。しかし、調査2における④は条件を満たさず、また⑤においても周辺既設構造物との干渉する可能性があり、工事施工性に課題があることを確認した。
- 2号機の場合、例えば軽装用のX-30やX-34などが調査2の④までは条件を満たすことを確認した。しかし、⑤については1号機と同様に周辺既設構造物との干渉可能性を確認した。

【調査結果(全体総括)】

- ダスト濃度の測定において、最重要条件である調査1を満たす可能性のあるペネの存在を確認した。
- 一方、本調査ではペネ配管と測定用配管の取り合い条件や、ペネ配管の計器設置性については、考慮できておらず将来の監視システム設計にあたって深掘り検討する必要があることを確認した。



## 1. 現場での測定条件

### 1.1 測定が必要になる場面

- 燃料デブリを加工する工具のうち、ディスクカッターなど機械的加工を行うものは燃料デブリの圧縮強度で切削効率が変わるのが過去の研究(燃料デブリ取り出しPJ)にて報告されている。
- 燃料デブリとの加工相性が悪いことを現場で確認した場合は、ツールチェンジャによる工具のその場交換を行う案もあるが、交換作業が頻発するとスループットが低下する(いわゆるチョコ停の頻発)。
- したがって、加工現場へ向かう前に、最適な工具を準備しておくための事前計画は必要である。本項では、加工エリア(RPV内部、ペDESTAL内外)を代表する燃料デブリの圧縮強度を現場データから評価し、日々の工具準備計画策定に資することを目的とした燃料デブリ圧縮強度の測定方法を検討する。

1. 現場での測定条件 1.2 測定要求仕様

■(前提条件の設定)加工エリアの定義

- 下図は2号機におけるRPV・PCV内状態の推定図である。RPV内の中底部(上部格子板以下)において、燃料デブリは既設構造物を中心に、燃料棒・粒子状デブリ・酸化物デブリ、ペレットが存在すると推定している。特に底部ではミュオン測定結果を基に、高密度物質の存在が言及されている。ペDESTAL底部では、粒子状デブリおよびコンクリート混合デブリ(MCCIに相当)の存在を推定している。コンクリートとの混合により、ペDESTAL床面コンクリートも侵食している可能性が示唆されている。
- 2号機においてはペDESTAL外への燃料デブリ流出は言及されていないが、1号機および3号機については性状不明の堆積物やコンクリート混合デブリが存在する可能性が示されている。なお、ペDESTAL外の堆積物の存在については補助事業「PCV内調査PJ」にて、1号機と3号機でそれぞれ確認されている。

- 上記の内容から本監視項目で定義する加工エリアは以下4エリアとした。

- RPV内中部(上部格子板以下～CRGT)
- RPV底部(CRGT～炉底)
- ペDESTAL内部
- ペDESTAL外部

- 本監視項目ではこれら4エリアに存在する燃料デブリの圧縮強度の代表値を算出することで、監視データを取得したものとする。

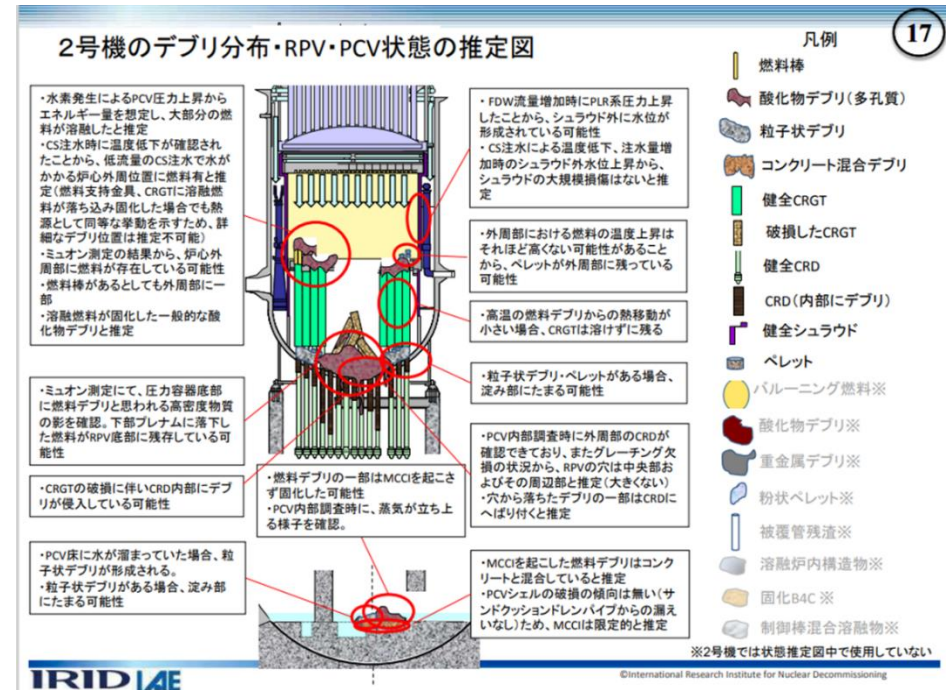


図. 2号機のRPV・PCV内状態の推定図

(出典: 補助事業「統合的な炉内状況把握の高度化」, H28年度成果報告(H29年6月), IRIDホームページ公開資料)

## 1. 現場での測定条件 1.2 測定要求仕様

### ■(前提条件の設定)燃料デブリ加工条件の確認

- 燃料デブリはその性状に応じた加工効率の高い工具を適用する必要がある。
- 燃料デブリ燃料デブリに応じた工具の適用例を調査し、下表のようにまとめた。

燃料デブリ種類	圧縮強度 [MPa](※1)	対応工具(※2)(※3)
燃料	切り株燃料:230	◎レーザーガウジング
	未熔融燃料:280	○ディスクカッター
燃料デブリ塊	クラフト・岩盤上(上部):2000	◎ディスクカッター
	上記以外:230	○AWJ
既設構造物	1300(炉心支持板)	◎レーザーガウジング ○ディスクカッター
MCCI形成物	22	◎チゼル

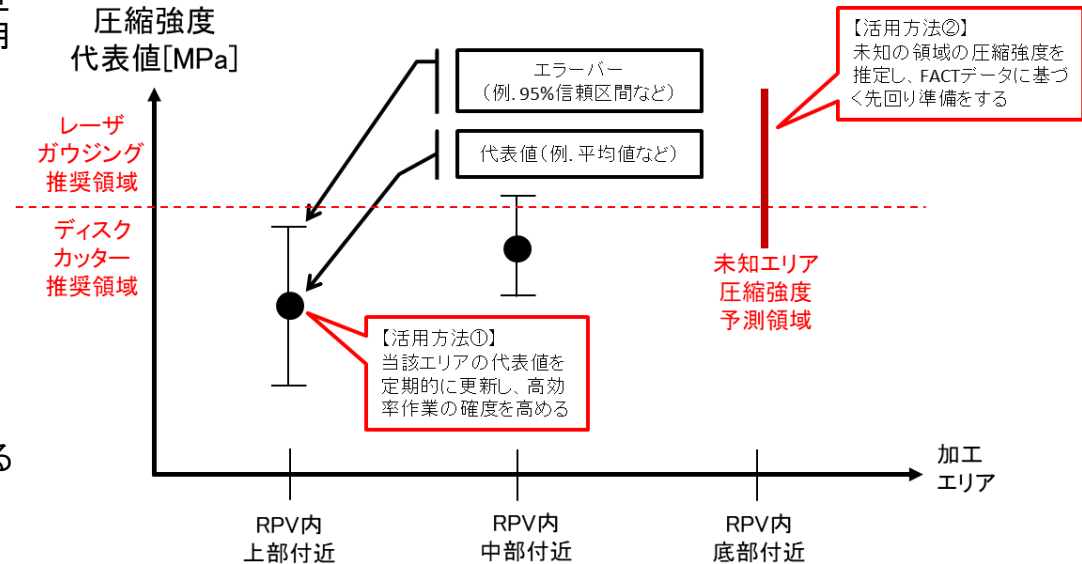
※1 圧縮強度は燃料デブリ性状把握PJの成果に基づき設定

※2 補助事業「燃料デブリ取り出しPJ」 IRID公開報告書, 2019年度実施分, No.158(2022年8月公開)を参考に設定

※3 ◎:最も相性が良い ○:◎の次に相性が良い

### ■(前提条件の設定)現場で得られたデータの活用方針の検討方針

- 右図は燃料デブリはその性状に応じた加工効率の高い工具をRPV内の燃料デブリを加工するさいの圧縮強度代表値の運用概念を示したものである。
- 例えば加工エリアを3つに分けて、その代表値を平均値+エラーバーという形態で算出する。さらに圧縮強度に対するディスクカッターとレーザーガウジングの使い分けを判断する閾値を予め設定する。このような整理をする場合、2つの運用方法が考えられる。
- 1つ目は現行作業エリアのFACTデータを集約し、高効率作業の確度が高い作業計画策定に資する方法である。
- 2つ目は未知のエリア(本図の場合は、RPV内定部付近)の圧縮強度を周辺エリアのデータ(本図の場合は、RPV内上部付近と中部付近)に基いて推定し、先回り準備の効率性を高める方法である。
- 上記の運用を目指した監視方法を検討した。





1. 現場での測定条件 1.2 測定要求仕様

■前提条件に基づく監視要求仕様の詳細化

- 測定レンジは、「燃料デブリ加工条件の確認」で示した圧縮強度の桁オーダーを参考に設定した
- 機器測定精度は、圧縮強度に対する燃料デブリ加工治具の選定基準が2桁MPa、3桁MPa、4桁MPaのオーダーでそれぞれ分類できれば燃料デブリ加工の事前計画は策定できるものとし、かつ一般的なテンシロンの荷重測定精度が指示値の±0.5%であることを考慮して約10倍に仮設定した。
- 代表値の算出に必要なサンプル数は、代表値の算出方法等に依存するため、設定しない。

項目	要求仕様
測定レンジ	10～3000 MPa
機器測定精度	指示値に対して±5%
代表値算出に必要なサンプル数(N数)	代表値算出方法に依る

2. 現場適用に向けた基本的課題の抽出 2.2 計器の調査

- ・ 候補となる計器の検討結果を以下に示す。小片の燃料デブリを測定対象にする可能性が高いことから、「押し込み式」、「引っかき式」は対応しやすい。
- ・ 一方、何れの計器も燃料デブリを測定に適した形状に前処理加工する必要があることを確認した。

測定方法	手法	具体例	適用可能性検討	課題
	押し込み	<p>マイクロビッカーズ装置例と硬さ算出例</p> <p>測定力 F</p> <p>測定子</p> <p>22°</p> <p>圧痕</p> <p><math>HV = 0.1891 \times (F(N) / d^2 (mm^2))</math></p> <p><math>d = (d1 + d2) / 2</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 比較的小さい試験片で対応可能</li> <li>・ 試験片の固定方法に注意すれば、大きい装置は必要なし</li> <li>・ ホットラボに設置可能</li> <li>・ サイトでも実績もある手法なので、適用可能性は高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 押し込み後、押し込み形状の測定を行うため、表面性状、設置および固定の仕方に影響される。試験片採取後研磨など試験片加工はほとんどできないと思われるため、影響分を考慮した評価方法を検討する必要がある</li> <li>・ 通常は7点測定してそこから5点を正として評価。ばらつきに対する対処法も考慮する必要有</li> </ul>
硬さ測定	反発	<p>シュミットハンマー測定例</p> <p>90°</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ シュミットハンマーはコンクリート等に打撃を加え、返ってくる衝撃値より圧縮強度を推定</li> <li>・ 測定面に対して90°で打撃する。</li> <li>・ 装置は比較的小型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 採取した試験体は打撃に対してしっかり固定することが必要</li> <li>・ コンクリートや岩石に使用されているため、燃料デブリに適用可能か圧縮強度との相関性はあるかを試験等によって評価する必要有</li> <li>・ 統計的な評価が必要になるので、打撃数は多いほうがよく、9点以上測定している。測定位置同士の間隔も必要</li> </ul>
	引掻き	<p>CERCHAR試験の概要</p> <p>Diameter 10 mm</p> <p>99°</p> <p>Central point</p> <p>Displacement 10 mm</p> <p>Thrust 70 N</p> <p>Wear flat</p> <p>Rock</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 左図のようなツールをある負荷をかけて移動させる。移動後、ツール先端にできた平らな部分の面積から硬さを算出する。</li> <li>・ 試験片は円柱形を使用しており、10mm以上の広さが必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料デブリに適用可能かどうか試験評価が必要。</li> <li>・ ツールに対して高い製作精度が要求される</li> <li>・ ツールを動かしても試験体が動かないよう固定することが必要</li> <li>・ 小型化にあたっては通常試験片との比較し、データのばらつきを抑える必要有</li> </ul>
圧縮強度	圧縮試験 (JIS)	<p>圧縮試験概要</p> <p>材料</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 装置は幅ひろく揃っており、持ち運ぶ可能な装置もある。</li> <li>・ 試験片は正四角、角柱、円柱など多岐に渡っており、最小でも4mmφ×30mm程度。</li> <li>・ コンクリートや岩盤評価ではよく使用される評価方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 評価法としては確立されている手法</li> <li>・ 試験片形状をさらに小型化するのであれば、形状によるデータの差を評価する必要がある</li> </ul>

### 3. 監視シナリオ

#### 【測定頻度】

- 本監視は加工エリアの代表値を推定することが目的のため、加工現場でのその場測定による連続的監視は行わず、定期的にデータを得る離散的監視とした。
- 取り出された燃料デブリからサンプルを少量回収し、加工エリア情報と紐づけた上で専用設備に持ち込み、圧縮強度を測定し、統計的手法を用いて代表値を算出する方針とする。

#### 【サンプル回収タイミング・方法】

- サンプル回収タイミングは、内容器(ユニット缶もしくは収納缶)が保管容器に収納される前とする。回収方法はセル内で解放状態となった内容器内に対して、ロボットアーム等で燃料デブリを取り上げるものとする。
- 回収箇所に測定設備が無い場合は、1F構内の分析棟へ持ち込む。移送用容器へのサンプル収納および構内移送は、補助事業「燃料デブリ取り出しPJ」で開発する試験的取り出しフェーズ向け「燃料デブリ遠隔輸送台車(T-PAD)」もしくは取り出し規模の更なる拡大フェーズ向け「燃料デブリ搬送装置」の技術を応用する。
- なお、特定の内容器をそのまま分析棟へ移送するシナリオも考えられるが、放射線防護上の負荷が高まると判断し、本事業では検討から除外した。測定後のサンプルは回収設備に差し戻し、通常ラインに復帰させる。

#### 【仕分けシステムとの協調】

- 本監視のためだけに燃料デブリ移送・保管作業を一時停止する行為は、スループットの観点で非効率的である。
- そこで、補助事業「燃料デブリ仕分けPJ」で検討された仕分けシナリオを参考にサンプル回収タイミングを設定した。仕分けシナリオおよび推奨する回収タイミングを次頁以降に示す。

### 3. 監視シナリオ

#### ■燃料デブリ仕分けPJと協調したサンプル回収タイミング(1/4)

【仕分けシナリオA(およびC)の場合】

- ユニット缶収納後にR/Bもしくは増設建屋内に搬入されたタイミングで回収する。
- サンプルは収納缶への収納前であることから作業効率が高く、かつ燃料デブリとして最終判定されたものであるため、測定データとしての品質も高くなる。

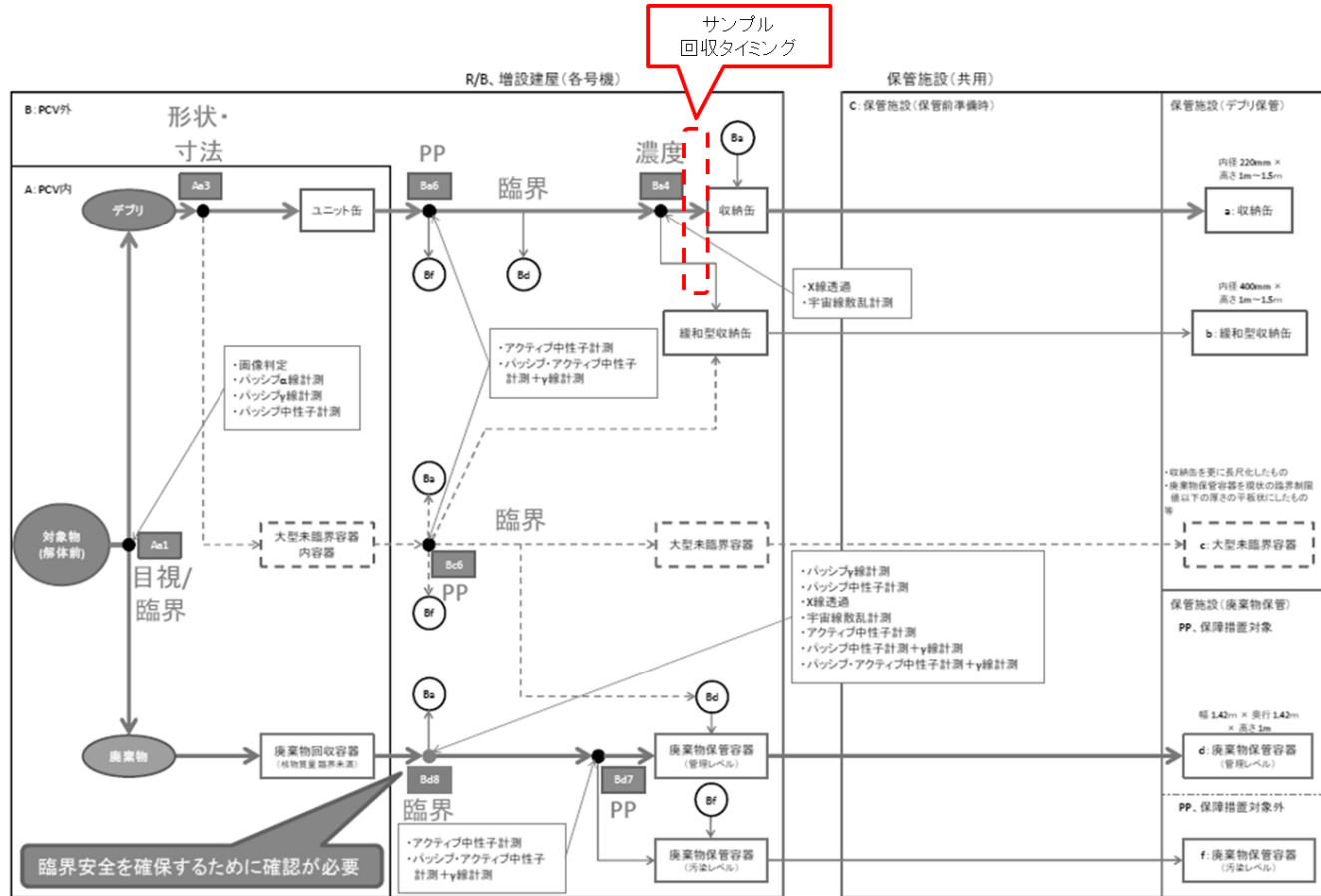


図. 仕分けシナリオAにおける燃料デブリのサンプル回収タイミング(その1)  
(出典:補助事業「燃料デブリ仕分けPJ」)

### 3. 監視シナリオ

#### ■燃料デブリ仕分けPJと協調したサンプル回収タイミング(2/4)

【仕分けシナリオB(およびD)の場合】

- R/Bもしくは増設建屋内に搬入されたタイミングでの回収と、保管施設での保管前準備時に回収する2パターンがある。前者は形状・寸法のみで燃料デブリと判定されたものなので、燃料デブリとしての確度は低い一方、ユニット缶状態で回収するので作業効率が高い。
- 後者は燃料デブリとして最終判定されたものを回収するので、監視データとしての品質は高くなる。

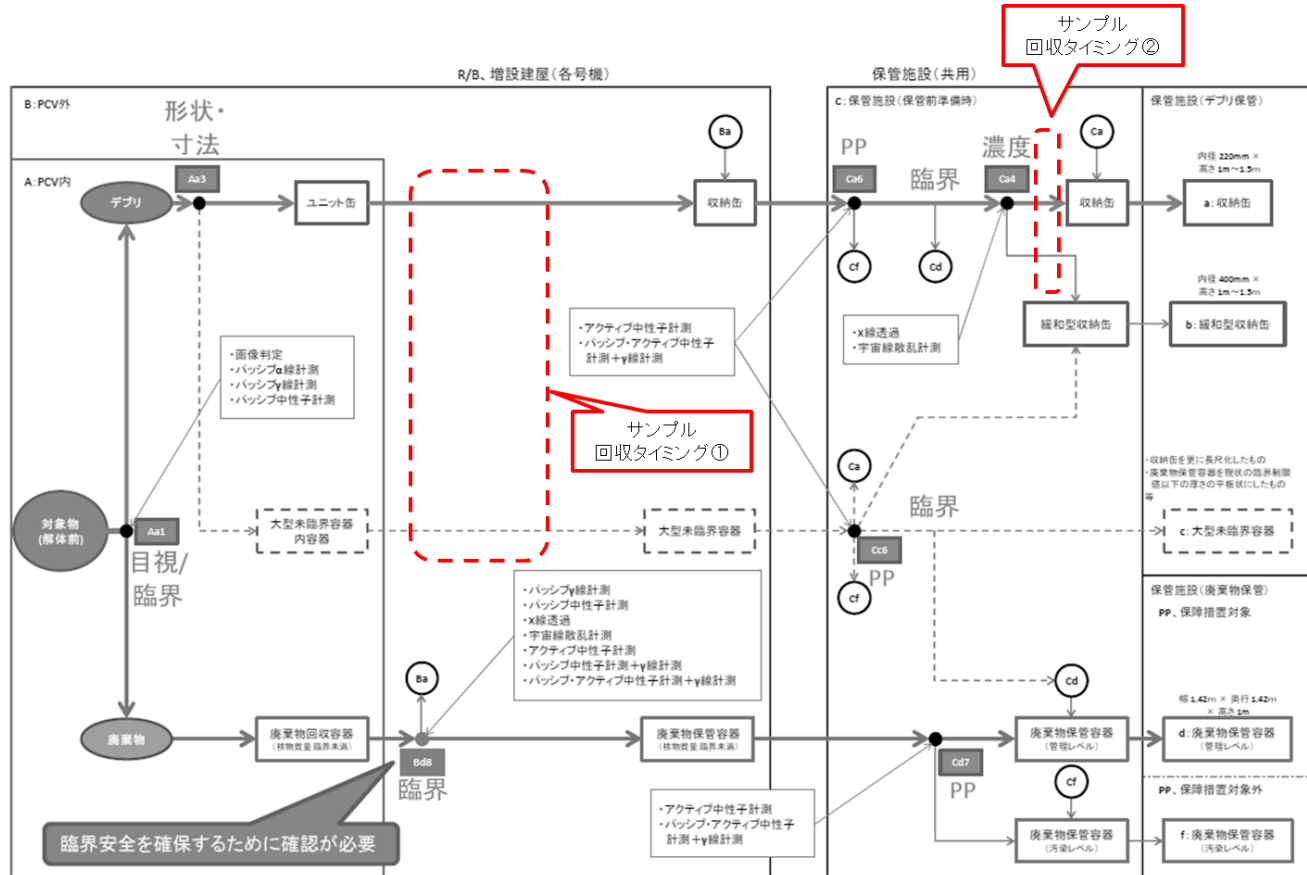


図. 仕分けシナリオBにおける燃料デブリのサンプル回収タイミング(その2)

(出典:補助事業「燃料デブリ仕分けPJ」)

### 3. 監視シナリオ

#### ■燃料デブリ仕分けPJと協調したサンプル回収タイミング(3/4)

【仕分けシナリオA(およびC)の場合】

- ユニット缶収納後にR/Bもしくは増設建屋内に搬入されたタイミングで回収する。
- サンプルは収納缶への収納前であることから作業効率が高く、かつ燃料デブリとして最終判定されたものであるため、測定データとしての品質も高くなる。

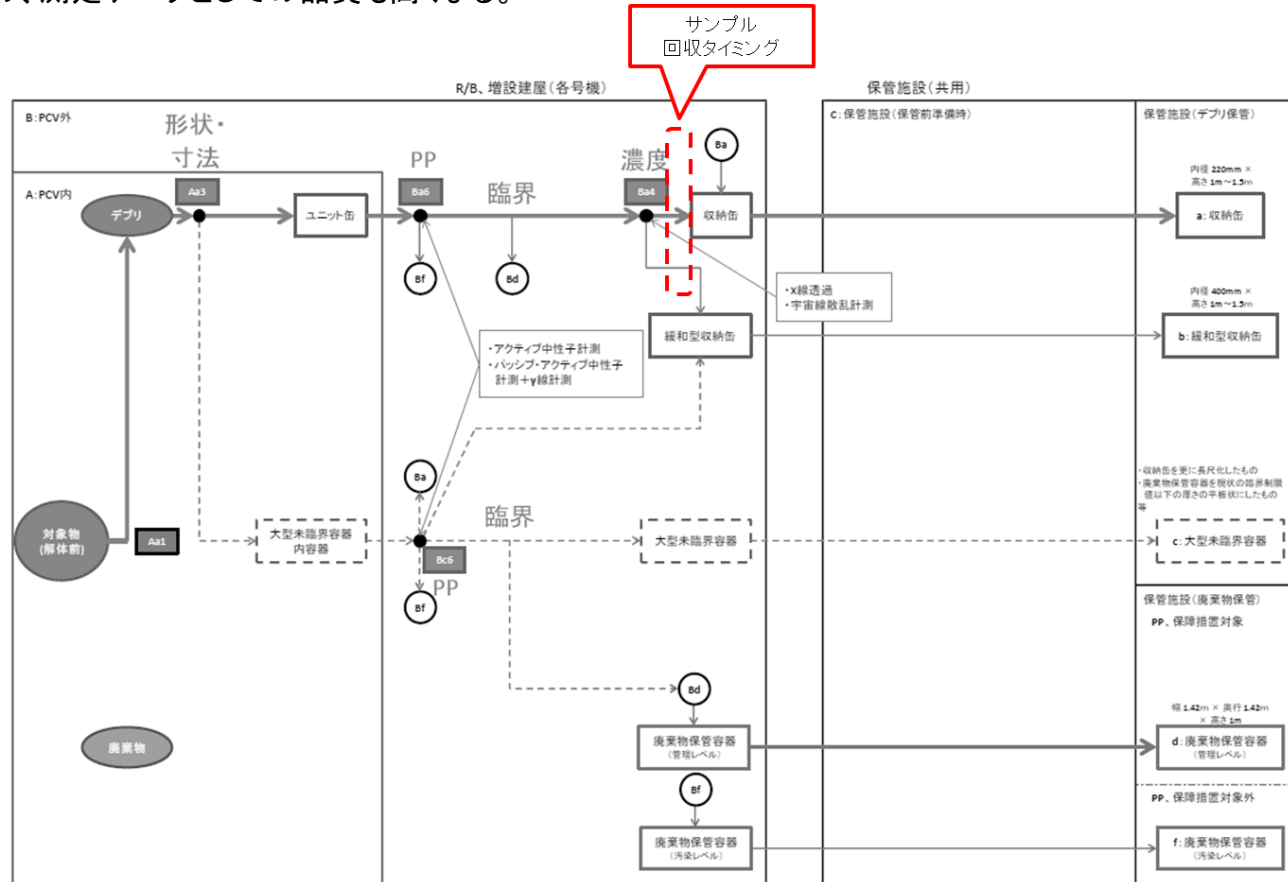


図. 仕分けシナリオCにおける燃料デブリのサンプル回収タイミング(その3)  
(出典: 補助事業「燃料デブリ仕分けPJ」)

### 3. 監視シナリオ

#### ■燃料デブリ仕分けPJと協調したサンプル回収タイミング(4/4)

【仕分けシナリオB(およびD)の場合】

- R/Bもしくは増設建屋内に搬入されたタイミングでの回収と、保管施設での保管前準備時に回収する2パターンがある。前者は形状・寸法のみで燃料デブリと判定されたものなので、燃料デブリとしての確度は低い一方、ユニット缶状態で回収するので作業効率が高い。
- 後者は燃料デブリとして最終判定されたものを回収するので、監視データとしての品質は高くなる。

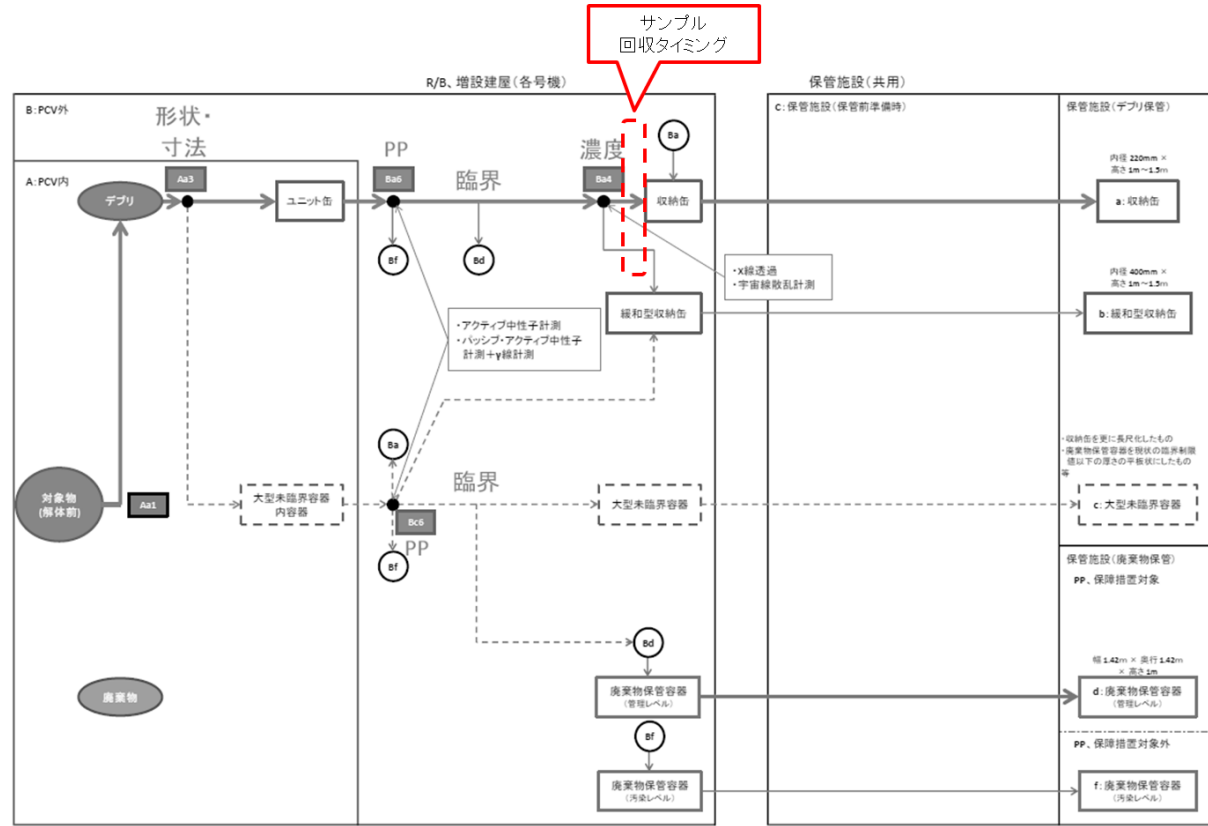


図. 仕分けシナリオDにおける燃料デブリのサンプル回収タイミング(その4)  
(出典: 補助事業「燃料デブリ仕分けPJ」)

## ■加工エリアを代表する燃料デブリの圧縮強度との棲み分け方針

- 加工エリアを代表する圧縮強度(添付資料3.1.2-3(c))を把握することで、加工現場へ持ち込む治具の選択に成功する頻度は高くなる。
- 上記の一方、現場の局所的な場面で、燃料デブリの加工が思うように進まない場合、その原因が加工治具の劣化にあるのか、加工中のデブリの圧縮強度が想定以上であるのか運転員は迅速に判断する必要がある。

## ■測定要求仕様

- 「加工エリアを代表する圧縮強度」と同様とする(下表は添付資料3.1.2-3(c) 1.2節に示したものを再掲)。

項目	要求仕様
測定レンジ	10～3000 MPa
機器測定精度	指示値に対して±5%
代表値算出に必要なサンプル数(N数)	代表値算出方法に依る

## ■計器の調査

- 計器候補は「加工エリアを代表する圧縮強度」と同様のもものが挙げられるが、何れもPCV内高線量環境に対する耐放射線性への設計課題以外に、計器小型化の観点で開発課題が残ることを確認した。
- 物体は強度と延性の組み合わせによって、その破面に特徴が現れる。この特徴に注目し、加工箇所破面の画像(色、形状、切断くず)および周辺環境の状況を組み合わせて圧縮強度推定できる総合分析ソフトウェア開発およびバックデータ充実化を課題として抽出した。

## ■監視シナリオ

- 添付資料3.1.2-3(a)の監視シナリオに示す方法と同様に、デブリ取り出し装置のロボットアームを使った測定を基本とするが、ペDESTAL内外では横アクセスルートからの専用装置での監視も候補となる。



1. 現場での測定条件

1.1 測定が必要になる場面

■ 必要性

- 作業中に落下した構造物が周辺のデブリに衝突することでデブリが不適切な形状に変化することと、デブリに亀裂が生じて水が浸入することにより臨界が生じる事象を回避する必要がある。

■ 構造物落下後を想定したデブリ取り出し装置側の対策

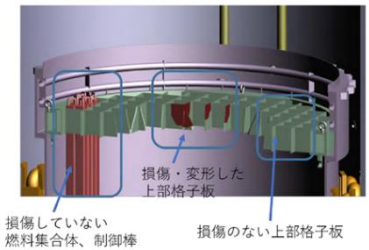
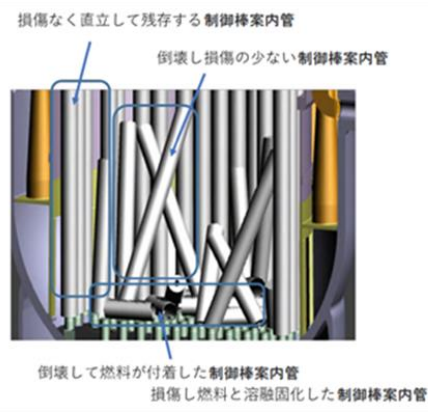
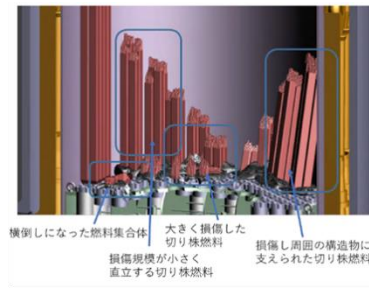
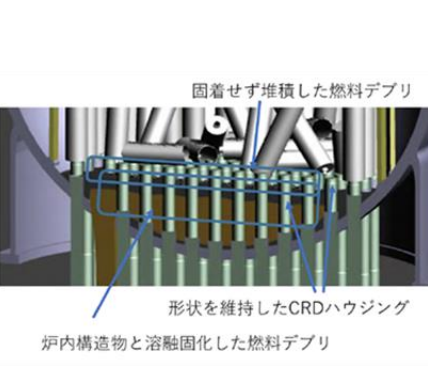
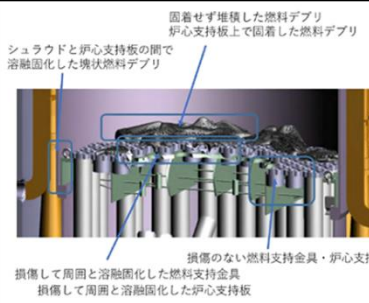
- デブリ取り出しPJでは、構造物落下時における対策を検討している。例としては、小型落下物用の受けパンの準備、落下想定箇所への事前の中性子吸収剤散布、不安定箇所の把持・固定などである。
- 上記の通り、事後対策は既に検討されていることから、本事業では予兆検知性を高めることを目的に検討した。検討範囲を以下表に示す。

現場のシーン	監視の役割	本事業での検討
デブリ取り出し作業前	構造物落下を未然に防止するための予兆検知	検討する
デブリ取り出し作業中	同上	検討する
構造物落下してしまった場合	落下箇所周辺の燃料デブリが再臨界を起こしていないかどうかの事後検知	臨界PJの中性子検出器で対応するため、検討対象外

## 1. 現場での測定条件 1.2 測定要求仕様

### ■測定対象と燃料デブリ取り出し手順の整理

- 燃料デブリ取り出しPJがRPV内での燃料デブリ取り出し作業手順を検討するさいに整備した以下図のアセスメントモデルを参考に、測定対象候補となる構造物と、それらを崩壊させないための取り出し優先順位を整理した。
- 取り出し順位は、事故後に倒壊・損傷した構造物と、固着せずに移動しやすい堆積燃料デブリの優先度を高める方針とした。

測定対象候補(*)	取り出し手順	測定対象候補(*)	取り出し手順
 <p>損傷していない燃料集合体、制御棒</p> <p>損傷のない上部格子板</p> <p>損傷・変形した上部格子板</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 損傷・変形した上部格子板</li> <li>② 損傷していない燃料集合体・制御棒</li> <li>③ 損傷のない上部格子板</li> </ol>	 <p>損傷なく直立して残存する制御棒案内管</p> <p>倒壊し損傷の少ない制御棒案内管</p> <p>倒壊して燃料が付着した制御棒案内管</p> <p>損傷し燃料と溶融固化した制御棒案内管</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 倒壊し損傷の少ない制御棒案内管</li> <li>② 損傷なく直立して残存する制御棒案内管</li> <li>③ 倒壊して燃料が付着した制御棒案内管</li> <li>④ 損傷し燃料と溶融固化した制御棒案内管</li> </ol>
 <p>横倒しになった燃料集合体</p> <p>大きく損傷した切り株燃料</p> <p>損傷し周囲の構造物に支えられた切り株燃料</p> <p>損傷規模が小さく直立する切り株燃料</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 損傷し周囲の構造物に支えられた切り株燃料</li> <li>② 横倒しになった燃料集合体</li> <li>③ 大きく損傷した切り株燃料</li> <li>④ 損傷規模が小さく直立する切り株燃料</li> </ol>	 <p>固着せず堆積した燃料デブリ</p> <p>形状を維持したCRDハウジング</p> <p>炉内構造物と溶融固化した燃料デブリ</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 固着せず堆積した燃料デブリ</li> <li>② 炉内構造物と溶融固化した燃料デブリ</li> <li>③ 形状を維持したCRDハウジング</li> </ol>
 <p>固着せず堆積した燃料デブリ</p> <p>炉心支持板上で固着した燃料デブリ</p> <p>シュラウドと炉心支持板の間で溶融固化した塊状燃料デブリ</p> <p>損傷のない燃料支持金具・炉心支持板</p> <p>損傷して周囲と溶融固化した燃料支持金具</p> <p>損傷して周囲と溶融固化した炉心支持板</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 固着せず堆積した燃料デブリ</li> <li>② 炉心支持板上で固着した燃料デブリ</li> <li>③ シュラウドと炉心支持板の間で溶融固化した塊状燃料デブリ</li> <li>④ 損傷して周囲と溶融固化した燃料支持金具</li> <li>⑤ 損傷して周囲と溶融固化した燃料支持板</li> <li>⑥ 損傷の無い燃料支持金具・炉心支持板</li> </ol>		

(\*)出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」, 2019年度実施分成果

1. 現場での測定条件 1.2 測定要求仕様

■ 構造物強度低下メカニズムの分析

- PCV内構造物は事故時からあらゆる強度低下現象に晒されている。強度低下を引き起こす一般的な「腐食」、「水素脆化」、「照射脆化」、「ラチェット現象」、「クリープ変形」の観点で、PCV内でこれら現象が起きている可能性を整理した。

強度低下現象	メカニズム	環境条件	発生可能性
腐食	金属イオンが溶出して酸素や水と反応し、腐食生成物を生成する現象。孔食や材料間同志の電位差による異種金属腐食もある。進行すると減肉し強度低下を招く恐れがある。 鉄筋コンクリートの鉄筋はコンクリートによって水や空気の遮断、アルカリによる不動態皮膜によって守られているが、それを阻害することがあると腐食が進行し、強度低下を招く	温度50℃以下、窒素封入、塩化物イオン濃度20ppm以下	SUS, Ni基およびZryは耐食性良好であるため、現状の水質では強度低下が懸念されるような孔食や異種金属腐食による減肉が生じる可能性は低い。鉄筋コンクリートの場合はコンクリートが損傷し、錆が多量に発生している場合は注意が必要である
水素による脆化	水素を吸収することで、脆化する現象	水素ガスは事故当時に発生したが、その後の発生量は少ない	事故時は水素発生したが、その後の発生量は少ないこと、炉内の温度変化を考慮すると吸収された水素が排出されている可能性もあるため、発生の可能性は低い
照射による脆化	照射によって転移ループ、ボイドや偏析が生じて機械強度が変化し、脆化する現象		稼働中やその後の照射量を考慮して検討する必要がある。特に上部格子板付近。
ラチェット現象	温度差による応力変化によって、一定方向に亀裂が進行する現象		事故後の環境条件を考慮すると影響する材料はない
高温によるクリープ変形	物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。1Fの場合、事故時の高温環境下における構造物の変形が対象になる	1F事故時 (MAPP解析条件に準じる)	燃料デブリ取り出しPJにて、MAPP解析結果に基づく1F事故時の熱負荷を考慮したクリープ変形評価を実施。ドライヤなど、一部の構造物は600mm程度の変位を確認。PCV内構造物の一部は変形している可能性がある(*) 変形によりボルト締結力が不足する箇所が発生している可能性があり、注意が必要である

(\*)【出典】IRID ホームページ公開情報, <https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2020/09/2019008kibonosaranarukakudai.pdf>

## 2. 監視シナリオとその達成のための要求

### 2.1 監視シナリオ

#### ■監視の手順

～手順1: 現場作業開始前の調査～

- ① 新たなエリアでデブリ加工を行う場合、デブリ取り出し作業を一時停止し、調査モードに切り替える。燃料デブリ取り出し装置もしくは、専用監視装置に計器を搭載し、以下を実施する。  
→3Dレーザスキャナによる現地構造物三次元形状データ取得。  
→カメラによる加工候補およびその周辺エリア周辺の異常変形物の有無の搜索。

～手順2: 強度低下懸念物の特定と追加調査～

- ② ①で取得したデータから異常変形物など強度低下が懸念される物を発見した場合、以下の③を実施する。強度低下懸念物がない場合、④に移行する。
- ③ 官能的な外観確認による健全性評価  
→例えば、カメラ映像からボルトなど機器固定箇所にも緩みや変形が無いかを確認する。問題があるもしくは本評価では対応できない場合、④へ移行する。問題無いと判断した場合、⑤に移行する。
- ④ 弾塑性解析等のシミュレーションを用いた強度評価  
→カメラ映像から、構造物の健全時の状態を特定し、事故後の材料的強度低下情報を基に、材料物性を推定する。さらに、①で取得したCADデータに基き評価用3Dモデルを作成する。モデル作成にあたって現場の情報に不足がある場合は、追加調査を実施する。評価によって問題があると判断された場合は、⑤に移行する。問題がない場合は⑥に移行する。

～手順3: 現場対応～

- ⑤ 落下想定箇所の中性子吸収剤の散布などの既存対策の効果が見込め無い場合、あらたな対応が必要になるので注目するエリアのデブリ加工は中止する。スループット維持のため、別のエリアの加工を優先し、その間に新たな対応策を策定する。
- ⑥ 既存対策にもとづいてデブリ加工を開始する。なお、一連の手順で強度低下懸念物と一度でも判定されたものについては作業中も常時監視する。

#### ■監視シナリオ達成のための要求

- 作業設備においても、再臨界防止対策のために構造物の把持や落下想定箇所の中性子吸収剤散布を実施する。監視システムは、それら対策が度重なって現場作業が停滞しないよう、問題のある箇所を絞り込む助勢を担う。
- 上記の手順1は、作業設備が日常的に実施する。手順2の②は、懸念物を発見次第即日実施するが、判断は人間系なので意思決定に数日かかるものとする。その期間は、当該エリアでの取り出し作業は中止し、別の場所で作業する。
- 手順2の③と④は、人間系で実施し、各種評価と関係者の意思決定に数週間～数ヶ月かかるものとする。その期間は懸念物が発見されたエリアでの取り出し作業は中止し、別の場所で作業する。

2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(1/6)

- 前頁の手順3⑥で実施する現場作業の監視(オンライン監視)すべき詳細な物理量を決定するため、構造物崩落メカニズムを分析する。
- 燃料デブリ取り出しPJでは、アセスメントモデルごとに加工治具の相性を検討している(下表)。これを参考に燃料デブリと加工治具の組み合わせ毎の構造物崩落メカニズムを検討した。
- 検討結果を次頁以降に示す。

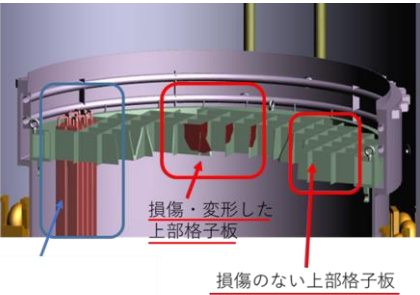
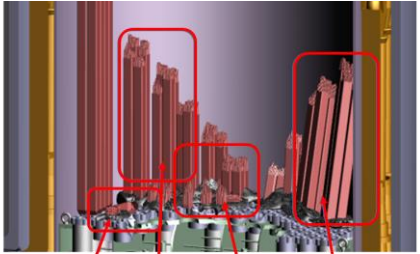
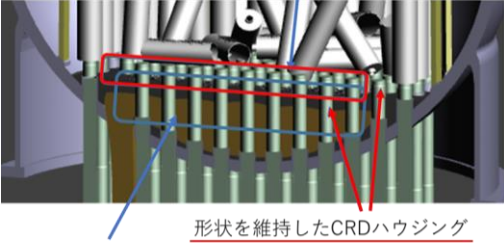
【凡例】○:加工可能 ×:加工に不適

加工エリア	燃料デブリ	加工治具				
		ディスクカッター	AWJ	レーザーガウジ ング	コアボーリング	チゼル
上部格子板周辺	上部格子板	○	○	○	×	×
	燃料集合体	○	○	○	×	×
	制御棒	○	○	○	×	×
燃料周辺	燃料集合体	○	×	×	×	×
	切り株燃料	○	×	×	×	×
炉心指示板周辺	損傷の無い燃料支持板 /燃料支持金具	×	×	○	×	×
	損傷して周囲と溶融固化した 燃料支持金具/燃料支持板	○	×	×	×	×
	固着せず堆積した燃料デブリ/ 炉心支持板上で固着した燃料デ ブリ	○	×	×	×	○
	シュラウドと炉心支持板の間で 溶融固化した塊状燃料デブリ	×	×	○	×	×
CRGT周辺	損傷なく直立して残存するCRGT	×	×	○	×	×
	倒壊し損傷の少ないCRGT	×	×	○	×	×
	倒壊して燃料が付着したCRGT/ 損傷し燃料と溶融固化した CRGT	○	×	×	×	×
炉底部周辺	固着せず堆積した燃料デブリ	○	×	×	×	×
	形状を維持したCRDハウジング	○	○	○	×	×
	炉内構造物と溶融固化した 燃料デブリ	×	×	×	○	○

2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(1/5)

CG図出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」,2019年度実施分成果

加工治具	構造物崩落のメカニズム	メカニズム発生対象のデブリ	選定理由
ディスク カッター	微小振動による 共振の発生	 <p>損傷・変形した 上部格子板</p> <p>損傷のない上部格子板</p>	<p>加工時に発生する単一振動が片側固定の構造物が持つ周波数特性に対して大きな反応を示すことがある。当該の上部格子板の残骸はシュラウドとの片側固定の状態にあるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		 <p>横倒しになった燃料集合体</p> <p>大きく損傷した 切り株燃料</p> <p>損傷し周囲の構造物に 支えられた切り株燃料</p> <p>損傷規模が小さく 直立する切り株燃料</p>	<p>加工時に発生する単一振動が片側固定の構造物が持つ周波数特性に対して大きな反応を示すことがある。当該の燃料集合体と切り株燃料の残骸は燃料支持金具との片側固定の状態であるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		 <p>形状を維持したCRDハウジング</p>	<p>加工時に発生する単一振動が片側固定の構造物が持つ周波数特性に対して大きな反応を示すことがある。当該のCRDハウジングの残骸はCRDハウジング貫通孔スタブチューブとの片側固定の状態であるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>

## 2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

### ■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(2/5)

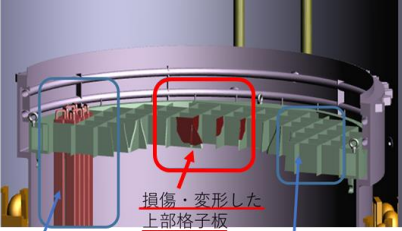
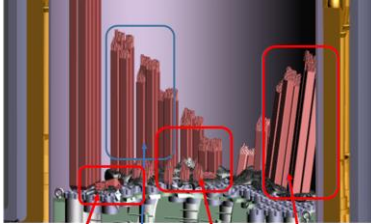
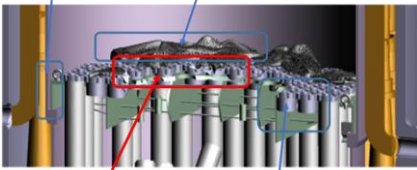
CG図出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」, 2019年度実施分成果

加工治具	構造物崩落のメカニズム	メカニズム発生対象のデブリ	選定理由
ディスク カッター		<p>固着せず堆積した燃料デブリ 炉心支持板上で固着した燃料デブリ</p> 	<p>加工時に発生する単一振動が積み重なった構造物やバランスの悪い構造物の加重ポイントをずらすことがある。当該の燃料デブリは炉心支持板上に積み重なっているため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
	<p>微小振動による堆積した構造物や不安定な構造物のバランス崩壊</p>	 <p>倒壊して燃料が付着したCRGT 損傷し燃料と熔融固化したCRGT</p>	<p>加工時に発生する単一振動が積み重なった構造物やバランスの悪い構造物の加重ポイントをずらすことがある。当該のCRGTの残骸はCRDハウジング上に無造作に横たわっているためバランスが悪く、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		<p>固着せず堆積した燃料デブリ</p> 	<p>加工時に発生する単一振動が積み重なった構造物やバランスの悪い構造物の加重ポイントをずらすことがある。当該の燃料デブリはCRDハウジング上に積み重なっているため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>

## 2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

### ■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(3/5)

CG図出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」, 2019年度実施分成果

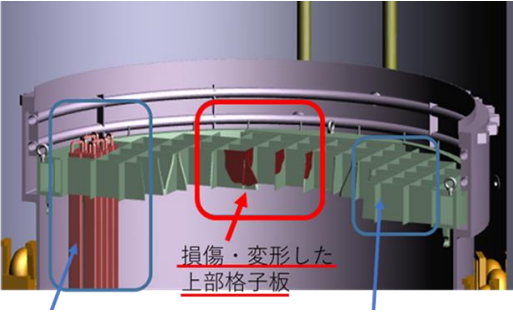
加工治具	構造物崩落のメカニズム	メカニズム発生対象のデブリ	選定理由
ディスク カッター	押付荷重による 構造物の損傷 ・位置ずれ	 <p>損傷・変形した 上部格子板</p>	<p>脆くなった構造物はディスクカッターによる加工時の大きな押し付け荷重に耐えられないことがある。当該の上部格子板の残骸は損傷・変形があるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		 <p>横倒しになった燃料集合体 大きく損傷した 切り株燃料 損傷し周囲の構造物に 支えられた切り株燃料</p>	<p>脆くなった構造物はディスクカッターによる加工時の大きな押し付け荷重に耐えられないことがある。当該の燃料集合体と切り株燃料の残骸は損傷があるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		 <p>損傷して周囲と溶融固化した燃料支持金具 損傷して周囲と溶融固化した炉心支持板</p>	<p>脆くなった構造物はディスクカッターによる加工時の大きな押し付け荷重に耐えられないことがある。当該の炉心支持金具と炉心支持板の残骸は損傷があるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>
		 <p>倒壊して燃料が付着したCRGT 損傷し燃料と溶融固化したCRGT</p>	<p>脆くなった構造物はディスクカッターによる加工時の大きな押し付け荷重に耐えられないことがある。当該のCRGTの残骸は損傷があるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。</p>



2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(4/5)

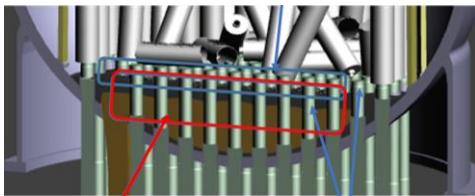
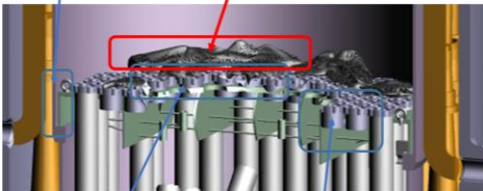
CG図出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」, 2019年度実施分成果

加工治具	構造物崩落のメカニズム	メカニズム発生対象のデブリ	選定理由
AWJ	微小振動による共振の発生	なし	加工時に発生する振動が不規則であるため、構造物が持つ固有振動数と一致し続けることが無い。そのため、当該メカニズムは発生しないと推定した。
	押付荷重による構造物の損傷・位置ずれ		脆くなった構造物はWJによる噴射反力に耐えられないことがある。当該の上部格子板の残骸は損傷・変形があるため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。
レーザーガウジング	微小振動による共振の発生	なし	レーザーガウジングは加工断面積が小さいため、噴射反力が5[N]程度である。そのため、当該メカニズムは発生しないと推定した。

## 2. 監視シナリオとその達成のための要求 2.2 構造物崩落メカニズム

### ■加工治具の使用による構造物崩落メカニズム検討(5/5)

CG図出典:平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」, 2019年度実施分成果

加工治具	構造物崩落のメカニズム	メカニズム発生対象のデブリ	選定理由
コア ボーリング	微小振動による共振の発生	なし	コアボーリングは回転速度が遅いため、振動周波数は数[Hz]程度であり、地震と同程度である。そのため、当該メカニズムは発生しないと推定した。
	押付荷重による構造物の損傷・位置ずれ	 <p>炉内構造物と溶融固化した燃料デブリ</p>	脆くなった構造物はコアボーリングによる加工時の大きな押し付け荷重に耐えられないことがある。当該の燃料デブリはコアボーリングによる加工を想定している箇所なので、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。
チゼル	微小振動による共振の発生	なし	加工時に発生する単一振動が片側固定の構造物が持つ周波数特性に対して大きな反応を示すことがある。チゼルによる加工を想定している箇所の中で片側固定の構造物が存在しないため、当該メカニズムは派生しないと推定した。
	衝撃荷重による堆積した構造物や不安定な構造物のバランス崩壊	 <p>固着せず堆積した燃料デブリ 炉心支持板上で固着した燃料デブリ</p>	加工時に発生する単一振動が積み重なった構造物やバランスの悪い構造物の加重ポイントをずらすことがある。当該の燃料デブリは炉心支持板上に積み重なっているため、当該メカニズムが発生しやすいと推定した。

2. 監視シナリオとその達成のための要求

2.3 オンライン監視／オフライン監視

- 2.2項の検討結果に基づき、2.1節で示した手順2④のシミュレーション(オフライン監視)を含めて監視すべき物理量と適用候補となる計器を設定した。

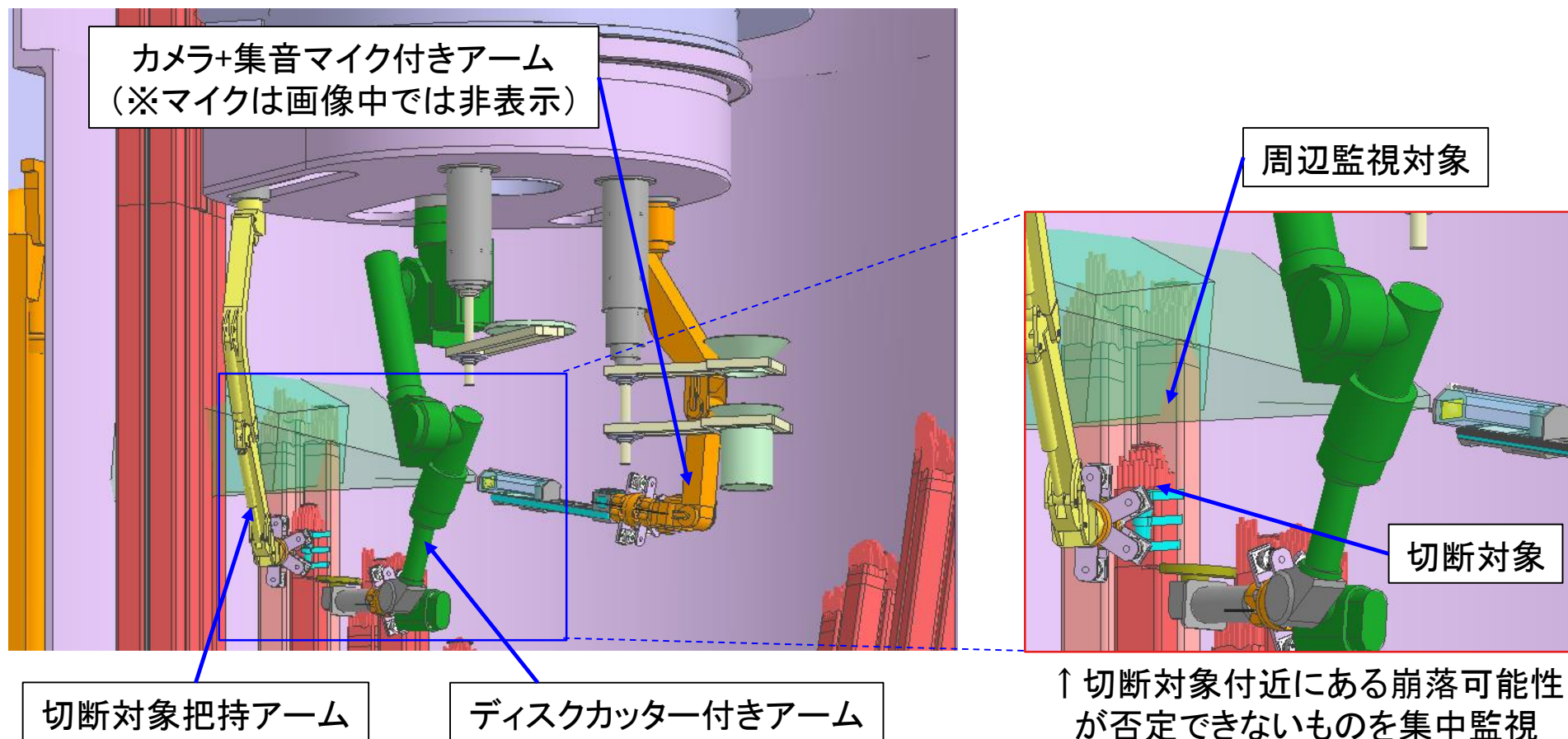
構造物崩落メカニズム	測定する物理量	オンライン監視	オフライン監視	適用計器
微小振動による共振の発生	加工時の音の変化	○	×	音響センサ
微小振動や衝撃荷重による堆積した構造物や不安定な構造物のバランス崩壊	構造物の振動	×		
	構造物のずれ量	○	×	3Dカメラ or レーザ スキャナ
押付荷重による構造物の損傷・位置ずれ	構造物の変形量	×	○	
	構造物の欠損量	×	○	
	構造物の減肉量	×		
全体共通	構造物の硬さ	×	○	サンプリング+ホットラポでの分析
	構造物の外観映像	○ (外観異常の官能的判断)	○ (ボルト緩み・脱落など外観異常の官能的判断, 図面調査時の根拠元)	カメラ

【凡例】○実施する ×実施しない

## 2. 監視シナリオとその達成のための要求

### 2.4 現場での測定概念

- 燃料デブリ取り出し装置に計測用アームを持たせた場合の監視作業概念図を以下に示す。
- 切断対象そのものは把持・固定するため、その周辺にある構造物が監視対象となる。



【注記】

ダスト量／ダスト濃度については3.1.2-3(b)を参照

核種組成／化学的性質については本体資料3.1.3項を参照

表. 詳細検討結果(1/3)

重要監視項目	単位	詳細検討結果	計器候補
①PCV内外差圧	Pa	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCV壁面の部分的破損を考慮して設定。</li> <li>PCV壁面の部分的破損は、PCV内外差圧の常時監視によりPCV壁面の部分破損の事後検知が可能。ただし、破損箇所を監視で特定することは困難であり、さらにPCV内外差圧が設計値を逸脱した際にPCV補修は困難と想定されるため、今後PCV壁面の部分的破損時の放出抑制対策の検討が必要である。</li> </ul>	差圧伝送器 圧力伝送器
②機器(*1)前後差圧	Pa	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器劣化加速を考慮して設定。</li> <li>前処理フィルタやデミスタの破損は、フィルタ前後差圧、デミスタ前後差圧の常時監視により事後検知が可能。</li> <li>予兆検知は困難だが、使用する前処理フィルタ、デミスタの切替操作により機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	差圧伝送器 圧力伝送器
③系統内圧力	kPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィルタケーシング、配管、隔離弁の劣化加速を考慮して設定。</li> <li>フィルタケーシングの破損は、系統内圧力の常時監視により事後検知が可能。予兆検知および破損箇所の特定は困難となる場合もあるが、使用フィルタの切替操作により機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> <li>配管、隔離弁の破損は、系統内圧力の常時監視により事後検知が可能。予兆検知および破損箇所の特定は困難となる場合もあるが、他の機器より事象発生頻度は低いと想定され、さらに非常用系に切替操作することにより機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	差圧伝送器 圧力伝送器
④電気ヒータ前後差温度	℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィルタ入口相対湿度の設計値超過によるフィルタ性能低下及び電気ヒータ劣化加速を考慮して設定。</li> <li>フィルタ入口相対湿度を設計値以下に管理するための原子力仕様の相対湿度計は使用環境に適合した製品がないため、既設の発電用原子炉の非常ガス処理系と同様に電気ヒータ前後差温度を代替監視パラメータとする。</li> <li>電気ヒータ前後差温度が設計値を逸脱した場合、電気ヒータ故障だけでなくフィルタ入口相対湿度が設計値を超過する恐れもあるため、電気ヒータ前後差温度を常時監視することでフィルタ性能低下及び電気ヒータ故障の事後検知が可能。予兆検知は困難だが、電気ヒータ前後差温度の設計値が逸脱した際には、使用電気ヒータの切替操作により機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	熱電対
⑤排風機風量	m <sup>3</sup> /h	<ul style="list-style-type: none"> <li>排風機の劣化加速を考慮して設定。</li> <li>排風機の故障は、排気風量を常時監視することで事後検知が可能。予兆検知はできないが、排気風量の設計値が逸脱した際には、使用排風機の切替操作により機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	差圧式流量計

(\*1)前処理フィルタ, デミスタ (\*2)フィルタケーシング, 配, 隔離弁 (\*3)デミスタ, 電気ヒータ, フィルタ, 排風機, 配管, 隔離弁等

【注記】

ダスト量／ダスト濃度については3.1.2-3(b)を参照

核種組成／化学的性質については本体資料3.1.3項を参照

表. 詳細検討結果(2/3)

重要監視項目	単位	詳細検討結果	計器候補
⑥デブリ加工装置ミスト供給量	L/min	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料デブリ加工地点から各機器(デミスタ、電気ヒータ、フィルタ、配管、隔離弁等)に移行する飛散防止助剤(水ミスト)の付着による部分的閉塞や部分的破損につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>各機器入口のミスト量は計器による検知ができないため、発生元となる加工装置のミスト供給量(飛散防止助剤の供給量)を代替監視項目とする。加工装置ミスト供給量と各機器入口ミスト量との因果関係は現状想定できないため、実設計の監視項目として設定する場合には基本設計情報に基づく妥当性確認が必要である。</li> <li>加工装置ミスト供給量の常時監視により各機器へのミスト量の影響を推定できる可能性がある。なお、特にミストによる影響が大きいフィルタについては、フィルタ上流側にデミスタ及び電気ヒータを設置することにより機能を担保している。万が一各機器にミストが蓄積し、部分的閉塞や部分的破損が生じた際には差圧にて事後検知し、使用機器を予備機に切り替えることにより機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	差圧式流量計
⑦各機器(*3)へ流入するダスト量+核種組成	ダスト量: g/cm <sup>3</sup> 核種組成: 定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>各機器へのダストからの照射による部分的劣化の加速につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>ダストからの照射による部分的破損は、ダスト量及び核種組成の常時監視もしくは定期的な監視により各機器への放射線劣化の影響を評価し、予兆検知性を高めることが可能と考えられる。常時監視が望ましいが、定期的(離散的)な監視でもデブリ取り出し作業との因果関係を見出すことは可能と考えられる。また、核種組成ではなく放射線強度をダスト放射線モニタにより監視する代替方策も有効と考える。</li> <li>各機器の部分的破損が生じた際には直接監視パラメータで事後検知し、予備機や非常用系統に切り替えることで機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	ダスト量:ダスト濃度計 核種組成:LIBSおよびク ロマトグラフィ系
⑧デミスタ上流側及び電気ヒータ～乾式逆洗フィルタ間のダスト量+粒径分布	ダスト量: g/cm <sup>3</sup> 粒径分布: μm	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィルタへのダスト蓄積による部分的閉塞及び部分的劣化の加速につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>ダスト蓄積による部分的閉塞及び部分的破損は、ダスト量及び粒径分布の常時監視もしくは定期的な監視によりフィルタ閉塞への影響を評価し、予兆検知性を高めることが可能と考えられる。連続的監視が望ましいが、定期的(離散的)な監視でもデブリ取り出し作業との因果関係を見出すことは可能と考えられる。</li> <li>フィルタの部分的閉塞は、フィルタ差圧の定期的な監視により回避するものとし、万が一部分的閉塞及び部分的破損が生じた際には直接監視パラメータで事後検知し、予備機に切り替えることで機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	ダスト量:ダスト濃度計 粒径分布:レーザー解 析・散乱法

(\*1)前処理フィルタ, デミスタ

(\*2)フィルタケーシング, 配, 隔離弁

(\*3)デミスタ, 電気ヒータ, フィルタ, 排風機, 配管, 隔離弁等

【注記】

ダスト量／ダスト濃度については3.1.2-3(b)を参照

核種組成／化学的性質については本体資料3.1.3項を参照

表. 詳細検討結果(3/3)

重要監視項目	単位	詳細検討結果	計器候補
⑨各機器(*3)へ流入するダスト量+化学的性質	ダスト量:g/cm <sup>3</sup> pH:- 塩素イオン濃度:ppm 化学組成:定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>各機器へ移行するダストによる腐食による部分的劣化加速につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>ダストによる腐食による部分的破損はダスト量及び化学的性質の常時監視もしくは定期的な監視により各機器への腐食影響を評価し、予兆検知性を高めることが可能と考えられる。常時監視が望ましいが、定期的な監視でもデブリ取り出し作業との因果関係を見出すことは可能と考えられる。</li> <li>なお、各機器の部分的破損が生じた際には直接監視パラメータで事後検知し、予備機や非常用系統に切り替えることで機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	ダスト量:ダスト濃度計 化学組成:LIBS+サンプリング(クロマトグラフィ系)
⑩D/W水面上付近のPCV壁面に飛来するミストの化学的性質	pH:- 化学組成:定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミストによるPCV壁面の腐食により生じる部分的破損につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>D/W水面上付近のPCV壁面へ飛来するミストの化学的性質の監視は、そのミスト量および化学的性質を含めて監視は困難である。</li> <li>PCV壁面の腐食によるPCVの部分的破損は、PCV内外差圧により事後検知可能と考えられ、本表(1/3)①に示すものと同様の課題が挙げられる。</li> </ul>	【PCV内外差圧】 差圧伝送器 圧力伝送器
⑪排気フィルタ入口に流入するアブレイシブ量+粒径分布	アブレイシブ量:g/cm <sup>3</sup> 粒径分布:μm	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィルタへのアブレイシブの蓄積による部分的閉塞及び部分的劣化の加速につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>アブレイシブの蓄積による部分的閉塞及び部分的破損は、アブレイシブ量及び粒径分布の常時監視もしくは定期的(離散的)な監視により各フィルタ閉塞への影響を評価し、予兆検知性を高めることが可能と考えられる。連続的の監視が望ましいが、定期的な監視でもデブリ取り出し作業との因果関係を見出すことは可能と考えられる。</li> <li>なお、フィルタの部分的閉塞は、フィルタ差圧の定期的な監視により回避するものとし、万が一部分的閉塞及び部分的破損が生じた際には直接監視パラメータで事後検知し、予備機に切り替えることで機能を担保するため、予兆検知性を高めるための開発優先度は低い。</li> </ul>	ダスト量:ダスト濃度計 粒径分布:レーザー解析・散乱法

(\*1)前処理フィルタ, デミスタ

(\*2)フィルタケーシング, 配, 隔離弁

(\*3)デミスタ, 電気ヒータ, フィルタ, 排風機, 配管, 隔離弁等

【注記】

化学組成については本体資料3.1.3項を参照

■ 閉じ込めおよび冷却機能

表.詳細検討結果(1/2)

重要監視項目	単位	詳細検討結果	計器候補
①動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するアブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	アブレイシブ量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子の密度:g/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動的機器の粒子蓄積による部分的閉塞、摩耗による部分的破損、粒子の蓄積による電位差に起因する腐食等の機能劣化加速につながる諸現象の進行や、静的機器の粒子蓄積による閉塞、固着等の機能劣化加速につながる諸現象の進行の要因となることを考慮して設定。</li> <li>【動的機器】 以下理由より、機能劣化につながる諸現象の進行を考慮する観点からは、連続的な監視は必須の要求ではなく、離散的な監視で十分であり、離散的な監視でも対応可能である。  <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ デブリ取り出し作業による機器の機能劣化の原因を推定するための傾向把握を目的とした監視であるため</li> <li>➢ 本機器機能に与える影響が現状定量化困難なため、機能劣化に対する予測性は悪いが、動的機器に関しては同一機能を担う機器を全面的に多重化することを前提としており、機能異常の発生時には速やかに予備機の起動により安全機能を維持することが可能であるため。</li> </ul> </li> <li>【静的機器】 デブリ取り出し作業による機器の機能劣化は進行に一定の時間を要することが予想され、本項目はその原因を推定するための傾向把握を目的とした監視である。この観点からは、連続的な監視は必須の要求ではない</li> <li>上記の一方、本項目が機器機能に与える影響が現状定量化困難であり、因果関係を早期に把握する意味で連続的監視は1つの手段である。具体的に期待できる追加の効果を以下に示す。</li> <li>【連続的監視性を高めた場合の追加の効果】  <ul style="list-style-type: none"> <li>アブレイシブ(主成分:ガーネット)の成分濃度を連続的に検出できた場合、以下の効果が期待できる。</li> <li>本項目と機器機能が被る影響との相関の高精度な分析に資するデータの収集が行える可能性がある。</li> <li>工法に拠って影響度に差が生じる可能性が否定できないこと、並びに取得するデータが機器の受ける影響を緩和するための運転・保守計画に活用できる可能性がある。</li> </ul> </li> </ul>	アブレイシブ量: ダスト濃度計  粒径分布: レーザー解析・ 散乱法  粒子密度: サンプリング+気体 置換法
②動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子の密度:g/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本表①と同様の理由で、粒子のふるまいとして動的機器及び静的機器の機能に与える影響を考慮して設定</li> <li>本監視項目が離散的な監視でも対応可能な理由は本表①と同様。</li> <li>連続的監視性を高めた場合の追加の効果についても、本表①と同様。</li> </ul>	ダスト量: ダスト濃度計 粒径分布: レーザー解析・ 散乱法 粒子密度: サンプリング+気体 置換法
③動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するpH、塩化物イオン濃度、化学組成	pH:- 塩素イオン濃度:ppm 化学組成:定性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>移送液が動的機器及び静的機器に化学的な影響を与えることにより金属部材の腐食進行を加速させ、機能劣化加速に至ることを考慮して設定。</li> <li>動的機器は、本表①と同様の理由で、機能劣化につながる腐食の進行を考慮する観点からは、連続的な監視は必須の要求ではなく、離散的な監視でも対応可能である。</li> <li>静的機器は、本表①と同様の理由により、連続的に監視する必要性はないが、機器機能に与える影響が現状定量化困難であり、因果関係を早期に把握する意味で連続的監視は1つの手段である。</li> </ul>	pH:pH検出器 塩素イオン濃度:塩素濃度計もしくはLIBS 化学組成:LIBS+サンプリング(クロマトグラフィ系)

(\*1)D/W滞留水移送ポンプ, PCV滞留水排出ポンプ, PCV滞留水注水ポンプ

(\*2)D/W, 配管, 弁, PCV滞留水バッファタンク, 冷却器, D/W滞留水粒子粗取り装置, トーラス室滞留水粒子粗取り装置



【注記】

化学組成については本体資料3.1.3項を参照

■未臨界維持機能

表.詳細検討結果(2/2)

重要監視項目	単位	詳細検討結果	計器候補
④動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するpH、塩化物イオン濃度、化学組成	pH:- 塩素イオン濃度: ppm 化学組成:定性分析	本表(1/2)の③と同様	同左
⑤動的機器(*1)へ流入するアブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)	g/m <sup>3</sup>	本表(1/2)の①と同様	同左
⑥動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するアブレイシブの量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	アブレイシブ量: g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子の密度:g/m <sup>3</sup>	本表(1/2)の①と同様	同左
⑦バッファタンクへ流入するダストの量(SS(浮遊物質)濃度)	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm	本表(1/2)の②と同様	同左
⑧動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm	本表(1/2)の②と同様	同左
⑨動的機器(*1)、静的機器(*2)へ流入するダスト量(SS(浮遊物質)濃度)+粒径分布+粒子の密度	ダスト量:g/m <sup>3</sup> 粒径分布:μm 粒子密度:g/m <sup>3</sup>	本表(1/2)の②と同様	同左
⑩(デブリ加工時の)投入熱量	kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>移送液の温度が設計範囲を超えて上昇し、PCV滞留水移送ポンプ等動的機器の機能劣化を引き起こすことを考慮して設定</li> <li>デブリ取り出し作業による機器の機能劣化は進行に一定の時間を要することが予想され、本項目はその原因を推定するための傾向把握を目的としている。この場合、機器機能に与える影響が現状定量化困難であり、機能劣化に対する予測性が悪い</li> <li>動的機器は多重化されることが前提であるが、移送液の温度が設計基準を逸脱する場合には、予備機を起動しても同様の理由により機能が劣化することが想定されることから、機能維持が担保されない可能性があるため、デブリ加工機構の加工治具(レーザガウジングおよびディスクカッター)の使用履歴から投入熱量を推定する代替監視項目へ置き換えた</li> </ul>	<p>【レーザガウジング】 出力(W)× 加工時間(min) 【ディスクカッター】 連続切削時間(min)</p>

(\*1)D/W滞留水移送ポンプ, PCV滞留水排出ポンプ, PCV滞留水注水ポンプ

(\*2)D/W, 配管, 弁, PCV滞留水バッファタンク, 冷却器, D/W滞留水粒子粗取り装置, トーラス室滞留水粒子粗取り装置

### ■現場での走行条件・保守・レスキュー

#### 【建屋内走行ルート of 仮定】

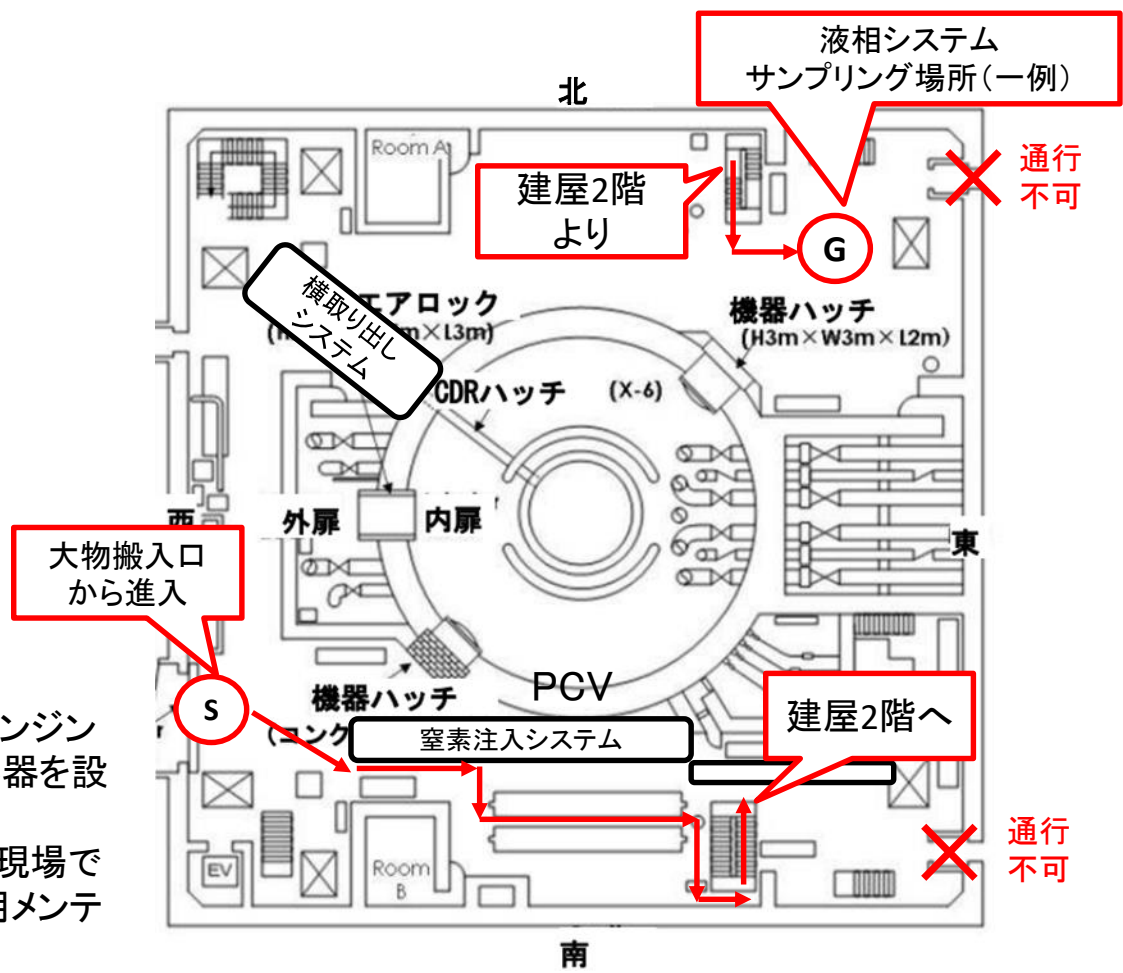
- 燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大フェーズにおけるR/B内の状況は未決定だが、東京電力HD予備エンジニアリング情報等を参考に液体サンプル回収地点を仮設定。
- サンプル回収にあたって最も厳しい以下の制約下でのサンプル回収ルートを設定。
  - タービン建屋は通行できない。
  - 建屋北西エリアは横取り出しシステムにより通行できない。
  - 建屋南側は窒素注入システムを潜ったり乗り越えず、回避して走行する。
- 図面情報や震災後の現場状況写真等を活用し、狭隘部や現地床面状況を調査。ロボットへの走行要求として設定。

#### 【作業員の対応・保守】

- 作業員は低線量エリアであるR/B外側に設けたチェンジングプレイスから自動巡回機に対してサンプル回収容器を設置・回収。巡回中は現場から退避。
- 自動巡回機はR/B外側の倉庫で常時待機。充電は現場で実施。メンテナンスのために月に1度、低線量の専用メンテナンスエリアまで移動させる。

#### 【レスキュー】

- 走行中にスタックした場合は有人作業(2名)で救援。このため、自動巡回機の目標重量は50kgとする。



原子炉建屋1階

【建屋図出典】IRIDホームページ: [https://irid.or.jp/debris/Reference\\_J.pdf](https://irid.or.jp/debris/Reference_J.pdf)

サンプル回収ルートを最も厳しい条件(タービン建屋通行不可・北西エリア通行不可・南側廊下通行制限)で仮設定  
保守性・レスキュー性を高めるため、自動巡回機は軽量化を要求

■ロボット毎の走行能力および自動巡回機への適用性調査

・構造形態に基づく原子炉建屋内の走行性と自動走行技術としての適用性を調査した結果を以下に示す、

○・・・条件付きで現地適用可能 ×・・・単独での適用は不可能

評価キーワード	四足歩行型ロボット	クローラ型ロボット	車輪型ロボット
段差の乗り越え	○ 脚先可動範囲が乗り越え対象 段差高さより高いと踏破可能	○ 重心の底面高さが乗り越え対象 段差高さより高いと踏破可能	○ タイヤの車輪半径が乗り越え対象 段差高さより高いと踏破可能
狭隘部での小回り走行	○ 脚部独立駆動により 走行可能	○ 前進、後退、旋回しかできないため 他ロボットに比べて性能は劣りやす い。ただし、細かな移動を繰り返せ ば技術的には走行可能	○ 4輪独立駆動およびメカナムホイー ル・オムニホイールなどのタイヤ 形状を選定することで走行可能
荷物運搬時の階段昇降	○ 階段昇降時の重心位置が、 転倒防止条件を満たしていれば、 階段昇降可能	○ 階段昇降時の重心位置が、 転倒防止条件を満たしていれば、 階段昇降可能	× タイヤ変形による昇降技術なども 研究されているが、一般産業品としては十 分に普及しておらず、 補助機を使うことが一般
砂や埃の上での悪路走行	○ 保護等級IP54相当の防塵性能を 有する機器が存在。 建屋内での有人遠隔走行実績あり	○ 保護等級IP67相当の 防塵性能を有する機器が存在 建屋内での有人遠隔走行実績あり[1]	○ 保護等級IP65相当の防塵性能を有する機 器が存在。大型ではあるものの建屋内での 有人遠隔走行を見越した開発品[2]あり
自動走行技術の特許出願状況 (特許検索サービスシステムにて調査)	351件	78件	830件

[1]原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発 [2]階的に規模を拡大した燃料デブリ取り出し技術の開発

走行能力面では四足歩行ロボットが高パフォーマンス。  
自動走行技術は車輪型が特許最多。1Fへの潜在的な適用ポテンシャルは高いと判断し、  
階段昇降補助機の活用を前提に本事業では車輪型ロボットの適用性を検討する



フィッシュボーン分析対象としたレーザーファインダ・ARマーカ読み取り機能付き自動巡回基  
(出典: 東芝)

## ■ 現地適用に向けた基本的課題の抽出

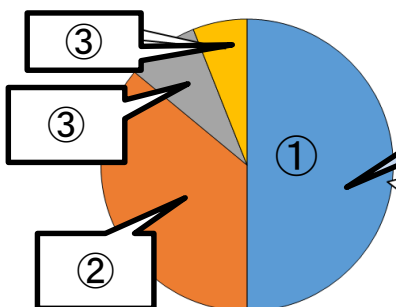
### 【フィッシュボーン分析】

市場流通品を調査し、以下の条件を満たす自動巡回機を選定し、**パックポットと同様にフィッシュボーンでサンプル回収失敗要因を分析した(抜粋例は右表参照)**

- サンプラーまでの往復路は無線通信・GPSが使用できなくても移動できること
- マグネットシートなどの壁や床面など既設構造物にガイドを埋め込み工事することなく移動できること
- 比較的小型であること

### 【分析結果】

- 抽出した失敗要因のうち、約50%がセンシングに係るものであった。
- 構造が1F現場環境とマッチングア普利しないことによる失敗の多くは、基本設計段階での設計対応で対策可能であることを確認。



- ① センシング関連の失敗
- ② 1F環境条件と構造がアンマッチングで失敗  
→ メカナムホイールが砂で詰まる、など

- ③ 通信関連の失敗
- ④ その他の失敗

失敗内容	大骨	中骨	小骨
自動巡回機器でのサンプル回収失敗	移動経路を確認できない	(環) R/B内は暗い	経路点に設置したマーカを認識できない
		(環) R/B内にスポット照明がある	暗闇環境で突如レーザーキャナに光が入ると正確な位置情報を収集できない可能性あり マーカ面に反射して、移動機器搭載のカメラでマークがうまく認識できない カメラにスポット光が入り、認識処理できない
		(環) R/B内は汚染源とホットスポットがある	汚染源とホットスポットを認知することができない。
		(環) R/B内はホコリ溜まり、水溜まりがある	レーザーセンサの窓の外側に付着した水に、砂などが付着してセンシングができなくなる
		(環) R/B内は一時的な仮置き品など干渉物が発生する	安全な回避経路の探索、確認に時間がかかる
		(環) 移動経路に階段がある	階段昇降機への進入経路を認識できない
		(環) 移動経路に段差がある	段差は走破できないため安全な回避経路の探索に時間がかかる
		(環) 空間線量が高い	積算線量の影響で電子機器が故障する
		(機) 無線通信が断線する	移動中は無線通信を行わないため、失敗要因無し
		(機) 認識用の搭載照明が機能しない	ARマーカ面が反射して、マークがうまく認識できない
(環) 周囲の障害物が曲面形状	LRFのスキャン高さ以外の位置の障害物を認識できない		

一般産業巡回機器は1Fの特殊環境でセンシングが不安定になることを確認。対策検討

## ■現地適用に向けた基本的課題の抽出

## 【センシングに係る開発課題抽出試験の検討】

表. 試験一覧表

試験No	試験名
①	ARマーカのセンシング評価試験
②	ARマーカの認識に対するスポット照明の影響評価試験
③	二次元LRFによるセンシングに対するスポット照明の影響評価試験
④	狭隘部の走行に関する評価試験
⑤	自律走行に対する一時置き荷物の影響評価試験
⑥	自律走行に対する既設構造物の影響評価試験
⑦	走行路面段差の自己位置推定に対する影響と踏破性の評価試験
⑧	自己位置推定に対する斜面の影響と踏破性の評価試験
⑨	自己位置推定に対する砂地の影響と踏破性の評価試験

サンプル回収に係る試験を9種類実施。次頁より、代表例を抜粋説明

# 添付資料3.1.3-1(b): 自動巡回機の開発課題抽出試験結果

## ■現地適用に向けた基本的課題の抽出

### 【センシングに係る開発課題抽出試験の検討】

#### 試験④: 狭隘部の走行に関する評価試験

##### 【実施内容】

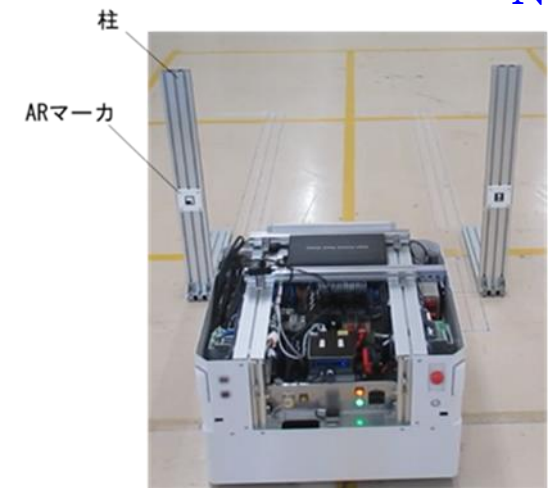
- 狭隘部の通過を以下の2段階で実行することを想定する
  - (ア) ARマーカにより狭隘部に対して自動巡回機器の位置を補正
  - (イ) 自律走行により狭隘部を通過
- (ア)の補正実行後の誤差と、(イ)における自動巡回機器と狭隘部とのクリアランスマーヅンを評価する

##### 【(ア)の結果】

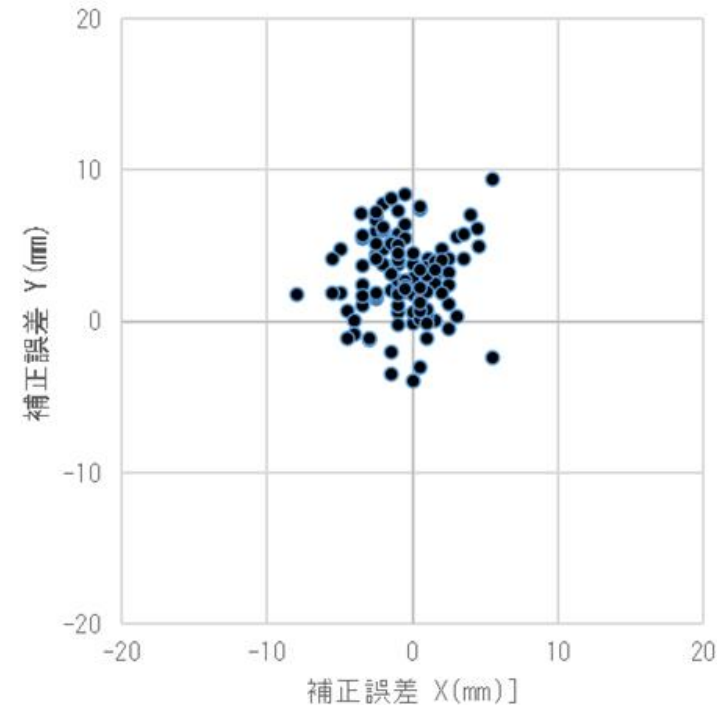
- 11か所の異なる初期位置から、ARマーカの認識結果に基づき、狭隘部に対して自動巡回機器の位置を補正した結果を右図に示す
- XY方向の誤差はともに±10mm以内に入っているが、Y方向の誤差がプラスにシフトしていることが判明した

##### 【(イ)の結果】

- 柱と車体のクリアランスを50、100、150mmで狭隘部試験を実施した
- 柱の奥左右に壁を設置し、壁ありと壁なしで狭隘部走行に対して優位性があるかどうか評価した
- クリアランスが50mmだと干渉が生じるため、自動巡回機器と周囲の物体との間に片側100mm以上のクリアランスを確保する必要があることを確認した
- 追加壁による優位性は確認できなかった



試験の外観

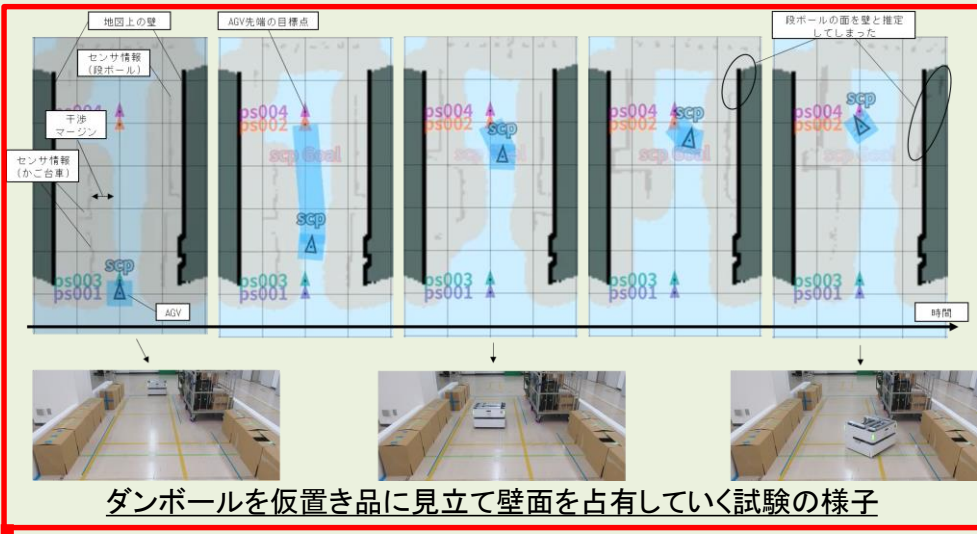


■ 現地適用に向けた基本的課題の抽出

【センシングに係る開発課題抽出試験の検討】

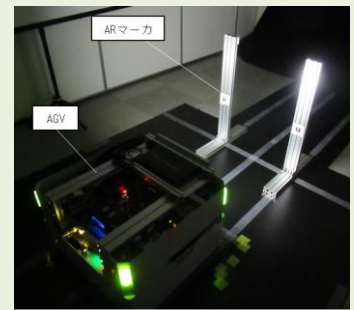
試験⑤: 事前生成地図に無い仮置き品発生影響度評価

- 仮置き品の空間占有率が高くなると、一部を壁と誤認し、目標到達地点への位置決め誤差が大きくなることを確認
- 1F現場への要請として、自動巡回機走行ルート上の仮置き品は空間壁面の50%以下に抑える要求を設定



試験②: 機器搭載照明の照度条件評価試験

- 自走走行の補助手段であるカメラによるARマーカの読み取りは、暗闇環境でもARマーカの材質(ツヤの有無)と照度の組み合わせで最適化できることを確認。
- 1Fに適用する自動巡回機器の構造条件として設定



暗闇環境での試験の様子

試験パラメータ		試験結果	
一時置き品占有率[%]	走行速度[m/s]	走行中の干渉物とのクリアランス(200mm)の確保率[%]	到達地点位置決め誤差±100mm以内の納まる割合[%]
80	0.1	100	30
	0.5	100	70
50	0.1	100	100
	0.5	100	100
20	0.1	100	100
	0.5	100	100

添付資料3.1.3-1(b): 自動巡回機の開発課題抽出試験結果

■ 現地適用に向けた基本的課題の抽出

【センシングに係る開発課題抽出試験の検討】

・他の試験の結果概要を以下に示す。

試験No.	試験	試験結果	課題
①	ARマーカのセンシング評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動巡回機器に搭載した照明の照度と、ARマーカ表面の光沢有無の組み合わせにより、ARマーカの認識精度が異なることを確認</li> <li>照度を低くした上で表面に光沢のあるARマーカを使用すると、マーカ認識成功率が高くなり検出誤差も低くなることを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本試験結果に基づき、工場環境での設計検証試験(部分モックアップもしくはフルモックアップ)を行い、その後1F実環境で妥当性確認試験をする必要がある</li> </ul>
③	二次元LRFによるセンシングに対するスポット照明の影響評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>スポット照明を直接二次元LRFに対して照射しても対象物への検出精度に大きな変化が無いことを確認</li> </ul>	
⑥	自律走行に対する既設構造物の影響評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>周囲にある構造物の形状の違いによりSLAM走行時に地図へ反映されないことがあることを確認</li> <li>自動巡回機器の走行速度の違いにより停止位置の誤差に変化があることを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本試験結果にもとづき、自律走行しやすいルートを構築できるか検討する必要がある。</li> <li>また、安全を維持しつつ運用性が損なわれない走行速度を設定する必要がある</li> </ul>
⑦	走行路面段差の自己位置推定に対する影響と踏破性の評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>段差への進入角度と厚さが違って自己位置推定結果に大きな変化が無いことを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験No.①と同様</li> </ul>
⑧	自己位置推定に対する斜面の影響と踏破性の評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>スロープ登坂中に旋回方向に姿勢のずれが生じることを確認</li> <li>スロープの傾斜の違いにより停止位置の誤差に変化があることを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スロープ登坂時は二次元SLAM走行以外の方式(例えば磁気テープ読み取り方式、三次元SLAM走行方式など)センシング技術を導入する必要がある</li> </ul>
⑨	自己位置推定に対する砂地の影響と踏破性の評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂の有無と走行パターンが違って自己位置推定結果に大きな変化が無いことを確認</li> <li>砂上を走行しても車輪に空転などの滑りが見られないことを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験No.①と同様</li> </ul>



## ■現地適用に向けた基本的課題の抽出

## 【自動巡回技術に対して追加で期待されるニーズの抽出と検討】

- 1F現場の重要指示計は基本的に設置時に全て有線化し、遠隔監視される。
- 一方、デブリ取り出しの進行に伴うR/B内での改造工事や、起動試験で空間線量率計などが仮設される可能性はある。
- 自動巡回機が目的地までの道中で追加で設備監視が行うニーズを想定し、フィッシュボーンで失敗事例を抽出した上で、R/B内環境(暗闇)を想定した追加試験を実施した。

表. 指示計読み取りに係る試験一覧

試験No	試験名
①	指示計読み取り距離の確認試験
②	指示計読み取り用照明の条件評価試験
③	アナログ指示計読み取りに対するカメラ角度の影響評価試験
④	指示計読み取りに対するスポット照明の影響評価試験

追加ニーズとして試験を4種類設定。次頁より、代表例を抜粋説明

## ■現地適用に向けた基本的課題の抽出

### 【自動巡回技術に対して追加で期待されるニーズの抽出と検討】

(※)実際の1F現場ではアナログ式の指示計が追加される可能性は低いが技術調査の一環で実施

### 試験②: 指示計読み取り用照明の条件評価試験(※)

#### 【実施内容】

- 暗所環境において、指示計読み取り用照明の照射方法として以下の2ケースについて評価する
  - (ア) カメラの直上に照明を設置し指示計へ直接照射
  - (イ) 指示計の下方向から間接的に照射

#### 【(ア)の結果】

- (ア)の条件の下で撮影したアナログメータとデジタルメータの読み取り結果を右図にそれぞれ示す
- 指示計カバー上部での反射が強く、外乱となり得ることが判明した



#### 【(イ)の結果】

- (イ)の条件の下で撮影したアナログメータとデジタルメータの読み取り結果を右図にそれぞれ示す
- (ア)のような局所的な反射が発生せず、フォーカスずれがない場合は安定的に読み取りが可能であることが判明した



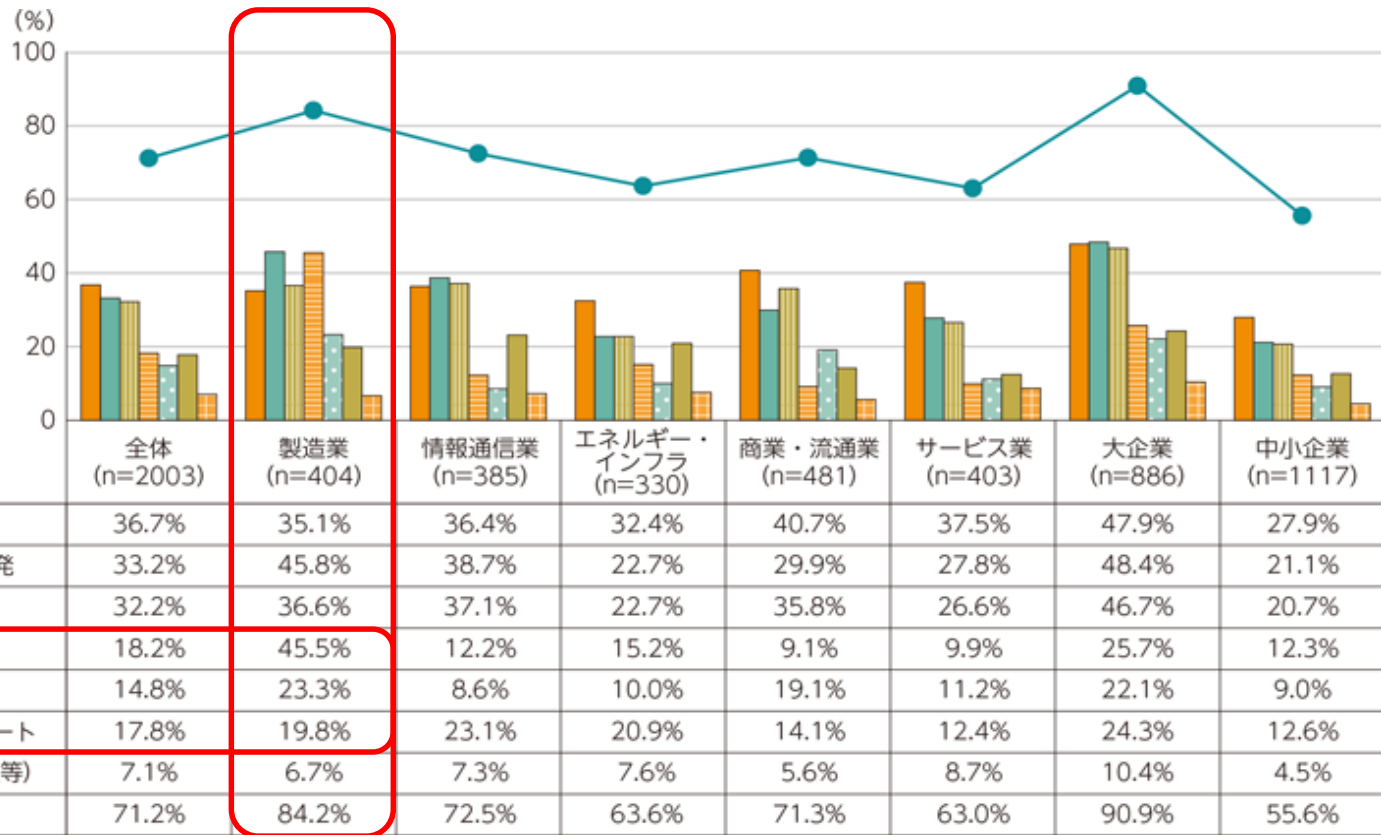
■ 現地適用に向けた基本的課題の抽出

【自動巡回技術に対して追加で期待されるニーズの抽出と検討】

・他の試験の結果概要を以下に示す。

試験No.	試験	試験結果	課題
①	指示計読み取り距離の確認試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染物付着防止のために計器読み取り部にビニールカバーを付けた場合、ビニールカバー無しするときよりも読み取り距離が短くなった。デジタルメータよりアナログメータの方がこの影響は顕著であった。</li> <li>読み取り部に対してカメラ視野が位置ずれを起こした場合、読み取り値にズレが発生した。アナログメータの方がこの影響は顕著であった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計器の読み取り部にはビニールカバーを付けないことが推奨されるが、空間線量率計など、一時的に設置する計器については、別工事で使いまわしをしたい要求があるため、現場運用との調整が必要である。</li> <li>カメラの視野が位置ずれを起こさないようARマーカなどで位置決め精度を高める必要がある。</li> </ul>
③	アナログ指示計読み取りに対するカメラ角度の影響評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>アナログメータは自動巡回機が当てた光で針に影が発生する。カメラの読み取り角度と照明の当て方(直接照射・間接照射)の組み合わせによっては指針の影を誤認識する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本試験データに基づき、自動巡回機が最適な角度で読み取りできる位置決め精度を持たせる必要がある(ARマーカを用いるなど)。</li> <li>アナログメータを使用する場合、4辺にLEDを配置して影を消去する方法などが推奨される。</li> </ul>
④	指示計読み取りに対するスポット照明の影響評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>R/B内で他工事のために設置したスポット照明の照射範囲の中に指示計が入っていた場合、自動巡回装置の影が指示計に入り込むとアナログメータの場合は読み取り不可となることを確認した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他工事でスポット照明を仮設する場合、指示計・巡回機・スポット照明の位置関係を事前に確認する必要がある。</li> </ul>
--	---	---	<p>【各試験を実施する中で得た課題】</p> <p>試験ではカメラのオートフォーカス機能を使用した。フォーカスずれが原因で読み取り失敗する事象が発生した。暗所におけるフォーカスの成否判定とフォーカスずれ発生時のフォーカス調整機能の開発・検証が必要である。</p>

## ■ (参考) 我が国における各事業の現場で得られるデータ活用の動き



本体資料3.2.1で  
定義する現場  
データに相当

図. データを活用している業務領域  
出典: 総務省, 日本企業におけるデータ活用の現状

URL <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd132110.html>

(参考/仮説) デブリ取り出し作業工程はある種の生産・製造工場とも読み取れる。製造業の現場データ活用割合は、他業種とくらべて第一位(84.2%)。1F廃炉においては現場の不確実性も考慮すると、一般製造業よりも安全や品質に係る管理項目が多くなる。人間系での管理には限界があり、日々の現場データの蓄積と、データドリブンによる統計的傾向管理などが必要である

# 添付資料3.2.1-1: 1Fにおける統合管理支援の必要性

## ■一般的な製造業における拠点・製造ライン立ち上げの工程設計フロー(例)

[1]Total Productive Maintenance

- 生産システム上に存在するあらゆるロスをゼロにすること、生産効率の極限追求で、継続的に生産性向上、収益の確保を実現する活動。
- 「全員参加の生産保全」と称されている。TPMが目指す「ロス・ゼロ」を実現するには、ロスの顕在化、ロスの分類、ロスの削減、ロスの再発防止・未然防止(潜在化したロスへの対策)が大前提となる。

### 【グランドデザイン】

方向性の確認(事業計画、工程計画、予算計画、役割分担)

基本的条件の把握(必要スペース、稼働時間、特殊条件)

基本計画の検討(建築、設備、関係法令)

### 【工程設計】

#### 建屋

**基本設計** ★  
(レイアウト、入出経路、概算工事費、**基幹インフラ(ネットワーク他)**)

**詳細設計**  
(動力設備、建築構造、設備導入スケジュール)

**据付準備**  
(ユーティリティの配置イメージ、建築物の壁・床・天井等の高さや位置の墨出し)

#### 設備

**基本設計** ★  
(設備要求仕様、要件定義(システム要件含む)、生産保全)

**詳細設計** ★  
(設計開発、要素技術開発、検査仕様、**通信・ソフト仕様**)

**設備製造** ★  
(設備・治具製造、組立、**電装・ソフト開発開始**)

#### システム(生産・製造支援・製造履歴)

**基本設計** ★  
(要件定義(システム構成・仕様))

**詳細設計** ★  
(システム仕様、ソフト開発)

**デバック**

### 【ライン立ち上げ】

工事

設備搬入・据付

設備・システム検証

### 【ライン維持管理・改善】

**ライン維持管理(TPM[1])**

ライン改善

製造ラインの改善のためには、工程設計段階から種(TPMを実施するための上図の★)を仕込む必要あり  
→1F廃炉も統合管理支援システムの種を概念設計段階から仕込む