

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定			2月							3月							4月							5月		6月		備考	
			22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	31	6	13	20	27	3	10	17	24	31	6	13	20	27	3	6				
建屋内除染	共通	(実 績) ○【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発(継続) (予 定) ○【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発 上部除染装置の開発 地下除染概念検討																												完了時期 ・高所除染装置:2015年12月 ・上部除染装置:2016年3月 ・地下除染概念検討:2016年3月
	1号	(実 績) ○【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討(継続) (予 定) ○【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討(継続)	検討・設計	【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討 線量低減全体シナリオ策定 DHC配管・AC配管線量低減検討																												完了時期 ・南側高線量機器対策 DHC配管・AC配管線量低減検討: 2016年6月 ・小部屋調査:2015年12月
	2号	(実 績) ○【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討(継続) ○X-6ベネ周辺線量低減検討(継続) (予 定) ○【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討(継続) ○X-6ベネ周辺線量低減検討(継続)	検討・設計	【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討 X-6ベネ周辺線量低減検討																												(低所除染まで(現状)で作業可能) (PCV内部調査(X-6[北西]) 調査再開日時調整中
	3号	(実 績) ○R/B1階作業エリア遮へい設計・検討(継続) ○高所除染装置性能確認 ○狭隙部がれき撤去/除染(新規) (予 定) ○R/B1階作業エリア遮へい設計・検討(継続) ○狭隙部がれき撤去/除染(新規)	現場作業	【検討】R/B1階 作業エリア遮へい設計・検討																												
格納容器調査・補修	共通	(実 績) ○【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発(継続) ○【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定(継続) (予 定) ○【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発(継続) ○【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定(継続)	検討・設計	[PCV下部止水技術の開発(S/C脚部補強、ベント管止水、S/C内充填(ダウンカマ)止水、ガイドパイプ設置、1号機真空破壊ライン止水)] 試験計画策定等																												
	1号	(実 績) なし (予 定) なし		[S/C内充填(ダウンカマ)止水技術開発] 止水要素試験(ダウンカマ)																												
	2号	(実 績) なし (予 定) なし		[S/C内充填(ダウンカマ)止水技術開発] 止水要素試験(クエンチャ・ストレーナ)																												
	3号	(実 績) なし (予 定) なし		[S/C脚部の補強技術開発] トーラス室底部への補強材充填工場試験 補強材充填立方モデル工場試験																												
	共通		検討・設計	[機器ハッチ止水技術の開発] 溶接による止水技術概念検討および装置設計に必要な条件の整理 補修装置設計																												
	共通		検討・設計	[PCV貫通部止水技術の開発] 遠隔操作による止水時の止水材の調査、絞り込み試験および止水試験計画策定 止水試験																												
	共通			[トーラス室壁面貫通部の止水技術開発] 止水材の調査、絞り込み試験および止水試験計画策定 止水試験																												
	共通			[D/Wシールの補修技術開発] 補修装置の概念検討																												
	共通			PCV冠水後の異常時のバウンダリを考慮したPCV冠水システム概念図、PCV止水手順の検討																												
	燃料デブリ取り出し準備	共通	(実 績) ○【研究開発】格納容器内部調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) (予 定) ○【研究開発】格納容器内部調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】PCV内部調査技術の開発 PCVベデスタル内(CRD下部、プラットフォーム上、ベデスタル地下階)調査技術の開発 PCVベデスタル外(ベデスタル地下階、作業員アクセス口)調査技術の開発																											
1号		(実 績) なし (予 定) なし		【研究開発】RPV内部調査技術の開発 穴あけ技術・調査技術の開発																												
2号		(実 績) なし (予 定) なし		サンプリング技術の開発																												
3号		(実 績) なし (予 定) なし																														
共通			現場作業																													
燃料デブリ取り出し	1号	(実 績) なし (予 定) なし	現場作業																													
	2号	(実 績) なし (予 定) なし	検討・設計																													
	3号	(実 績) なし (予 定) なし	現場作業																													

PCV内部調査に向けたX-6ベネ  
穿孔作業及び内部調査の実施時  
期は、線量低減結果を踏まえ確  
定する。

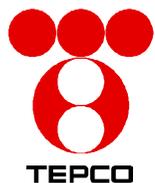
燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		2月		3月				4月			5月	6月	備考				
			22	28	6	13	20	27	3	10	17	24	上	中	下					
RPV/PCV健全性維持	圧力容器/格納容器の健全性維持	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【研究開発】圧力容器/格納容器腐食に対する健全性の評価技術の開発(継続)</li> <li>○腐食抑制対策</li> <li>・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続)</li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○腐食抑制対策</li> <li>・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続)</li> </ul>	<p>【研究開発】PCV/RPVの耐震健全性を踏まえた冠水工法の成立性評価</p> <p>裕度の低い機器の詳細評価</p>	<p>【研究開発】PCV補修や水位上昇を踏まえた機器の耐震強度の簡易評価</p> <p>各プラント想定状態に対する簡易評価</p>																
			<p>【研究開発】長期の腐食減肉量の予測の高度化</p> <p>腐食減肉評価モデル式の構築</p>																	
			<p>取得した材料特性を用いたベダスタルの暫定評価(侵食量は仮定)</p>																	
			<p>現場作業</p> <p>腐食抑制対策(窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減)</p>																	
炉心状況把握	炉心状況把握	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【炉心状況把握解析】</li> <li>○【研究開発】事故時プラント挙動の分析(継続)</li> <li>○【研究開発】シビアアクシデント解析コード高度化(継続)</li> <li>○2号機ミュオン透過法による測定(継続)</li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【炉心状況把握解析】</li> <li>○2号機ミュオン透過法による測定(継続)</li> </ul>	<p>【炉心状況把握解析】</p> <p>【研究開発】事故時プラント挙動の分析</p>	<p>事故関連factデータベース構築</p>																
			<p>【研究開発】シビアアクシデント解析コード高度化</p>																	
			<p>最新工程反映</p> <p>・2号機 ミュオン透過法測定装置設置作業(小型装置)</p> <p>2号機 ミュオン透過法 測定/評価</p>																	
			<p>現場作業</p> <p>測定終了時期は検討中</p>																	
取出後の燃料デブリ安定保管	燃料デブリ性状把握	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ性状把握</li> <li>・金属デブリ物性評価、福島特有事象の影響評価(継続)</li> <li>・TM1-2デブリ物性評価、分析手法確認(継続)</li> <li>・MCCI生成物特性評価、金属セラミックス溶融体製作/物性取得(継続)</li> <li>・燃料デブリ分析測定技術開発(継続)</li> <li>・収納/保管に係る基礎特性評価等(継続)</li> <li>・結果整理(継続)</li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ性状把握</li> <li>・MCCI生成物特性評価、金属セラミックス溶融体製作/物性取得(継続)</li> <li>・燃料デブリ分析測定技術開発(継続)</li> <li>・収納/保管に係る基礎特性評価等(継続)</li> <li>・結果整理(継続)</li> </ul>	<p>【研究開発】燃料デブリ性状把握</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機械物性評価(金属デブリ、福島特有事象)</li> <li>・MCCI生成物特性評価、金属セラミックス溶融体製作/物性取得</li> <li>・材料特性評価</li> </ul>																	
			<p>・MCCI生成物特性評価</p>																	
			<p>・燃料デブリ測定/分析技術開発</p>																	
			<p>・収納/保管に係る基礎特性評価等</p>																	
燃料デブリ臨界管理技術の開発	燃料デブリ臨界管理技術の開発	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発</li> <li>・臨界評価(継続)</li> <li>・炉内の再臨界検知技術の開発(継続)</li> <li>・臨界防止技術の開発(継続)</li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発</li> <li>・臨界評価(継続)</li> <li>・炉内の再臨界検知技術の開発(継続)</li> <li>・臨界防止技術の開発(継続)</li> </ul>	<p>【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・臨界評価</li> <li>・臨界評価(最新知見の反映、複数工法を考慮した臨界シナリオの見直し)</li> <li>・臨界時挙動評価(PCV上部水張り時に必要な機能整備、PCV水張り時挙動評価の精緻化、燃料デブリ取出し時に必要な機能検討)</li> <li>・臨界管理手法の策定(臨界管理の考え方整理、燃料デブリ取出し時臨界管理手法の策定、臨界誘因事象の整理・対策検討)</li> </ul>																	
			<p>炉内の再臨界検知技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・再臨界検知システム(複数工法への適用検討、未臨界度推定アルゴリズムの実証試験方法検討)</li> <li>・臨界近接検知システム(臨界近接検知手法の選定、システム仕様策定、適用性確認試験方法計画・準備、デブリ取出し作業への適用性検討)</li> </ul>																	
			<p>臨界防止技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・非溶解性中性子吸収材(候補材の耐放射線試験、核的特性確認試験準備、投入時均一性担保のための適用工法検討、必要投入量評価)</li> <li>・溶解性中性子吸収材(水張り前のホウ酸水置換方法検討、ホウ酸水適用時の水質管理方法の検討)</li> </ul>																	
			<p>現場作業</p>																	
燃料デブリ回収・移送・保管技術の開発	燃料デブリ回収・移送・保管技術の開発	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ回収・移送・保管技術の開発</li> <li>燃料デブリ回収缶の要求事項の洗い出し・抽出(継続)</li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】燃料デブリ回収・移送・保管技術の開発</li> <li>燃料デブリ回収缶の仕様、安全評価に関わる検討(継続)</li> </ul>	<p>燃料デブリ回収缶の要求事項安全評価に関わる検討、取扱いプロセス(取出し〜保管)における課題抽出・整理</p>																	
			<p>基本仕様検討</p>																	

H27年度末までに燃料デブリ回収缶の基本仕様決定

# 2号機PCV内部調査にむけての X-6ペネ廻り除染について

2016年3月31日  
東京電力株式会社



東京電力

---

# 1. 現状（経緯）

---

- X-6ペネ周辺の線量低減作業として、
  - ①床面溶出物除去（10/30～11/15）
  - ②床・壁・天井・X-6ペネ表面除染（スチーム洗浄）（11/11～11/13）
  - ③床面除染（化学洗浄）（11/17～12/7、1/13～1/18）
  - ④床面除染（表面研削）（12/11～1/7）を実施。
- 表面研削中に発生したダスト濃度の影響が大きいと判断し、研削作業を停止。再度、化学除染を実施。
- 除染作業後の線量は、床表面で最大8Sv/h程度であり、目標（床表面線量で概ね100mSv/h）には至っていない。
- PCV内部調査の装置性能（遮へい性能）では、現状線量に対応不可のため、調査時期を見直し。

## 2. 実績の振り返り

### ■ 除染技術

#### ● 浸透深さに関する技術

- 文献調査※<sup>1</sup>によると、コンクリートに対するCs線源の浸透深さは約数ミリ～50mm程度。クラック、金属面との隙間からさらに浸透している可能性がある。

※1 : Farfan,E.B., et al.:Assessment of (90)Sr and (137)Cs penetration into reinforced concrete(extent of" deepening" )under natural atmospheric conditions, Health physics, Vol.101, No.3, pp.311-320, 2011

- 技術検討には、浸透汚染深さが目安となるが、
  - ・コンプトン散乱測定器による確認では、浸透汚染の有無を判断できるが、X-6ペネ廻りは測定器の使用上限（表面線量200mSv/h）を超えているため使用ができない。
  - ・乾式コア抜きは、コア抜きの技術的成立性とダスト対策の成立性の確認が必要
  - ・湿式コア抜きは、コア抜き時に使用する水により、コア側面が汚染する可能性があり、汚染計測が不明瞭になる可能性がある。
- 湿式の場合汚染の広がりが懸念されるが、
  - ・コンクリート内の汚染浸透係数（水）は、 $2.0 \times 10^{-11}$  cm/sec程度（文献参照値※<sup>2</sup>、ボーリング後の水洗い回収を1時間程度と想定すると、 $7.2 \times 10^{-8}$  cm程度となる。速やかに、水を回収すれば汚染は深く浸透しないと考える。

※2 : 土木学会論文集 No. 620/V-43, 291-302, 1999. 5

不均質材料としてのコンクリートの均質化透水係数に関する解析的研究

### 3. PCV内部調査のための線量低減方針と計画

実績の振り返りより、以下の観点を考慮し検討を進める。

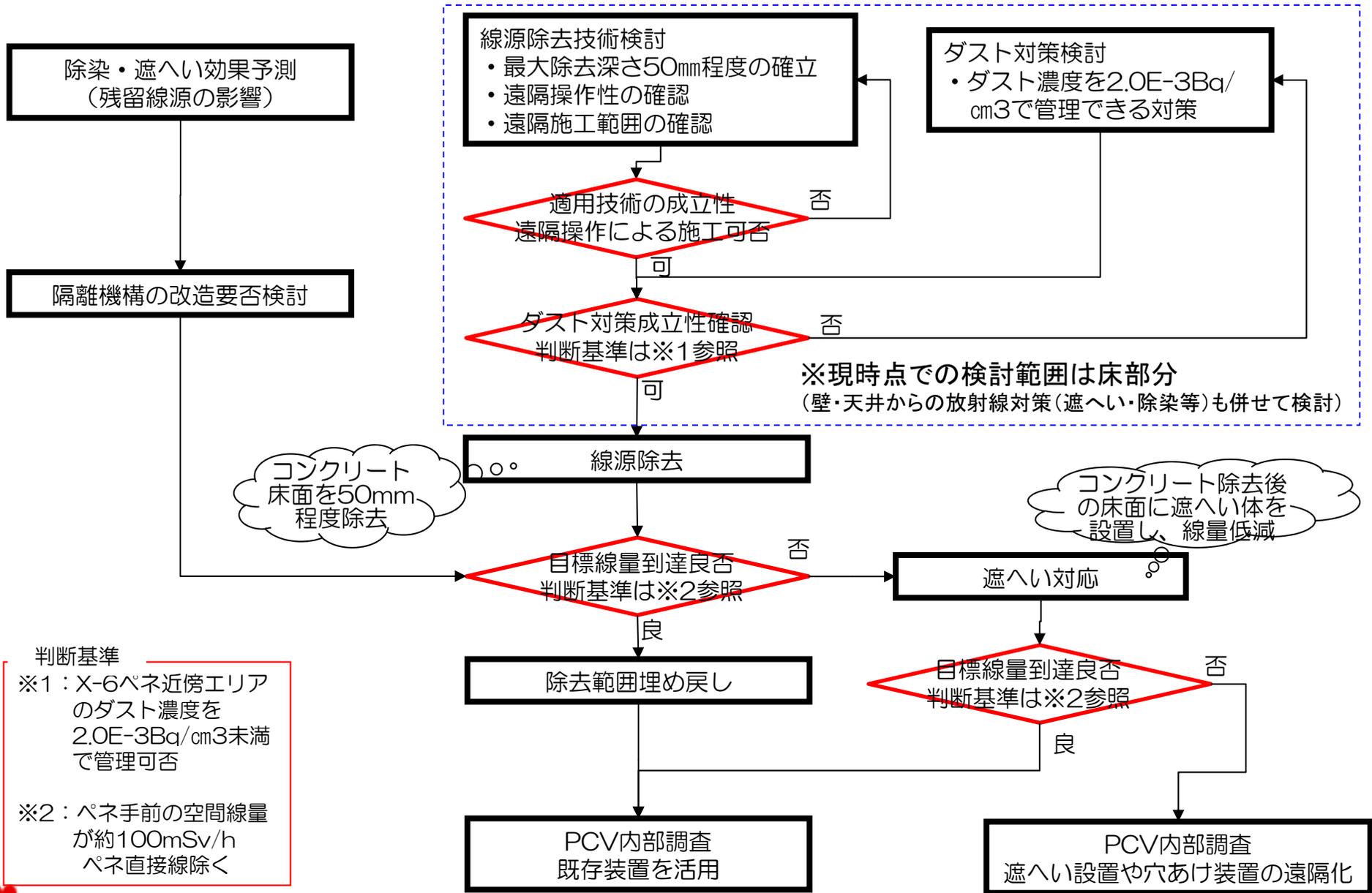
⇒床面汚染は、数ミリ程度～50mm程度あるものと推定する。

除去する際には、オペフロ排気フィルタのダスト濃度アクションレベル $1.0E-4$ Bq/cm<sup>3</sup>（X-6ペネ近傍で $2.0E-3$ Bq/cm<sup>3</sup>と試算）に達しないこと。

#### ■検討・確認事項

- コンクリート除去技術は乾式／湿式の両面から検討を行う。
- 天井・壁面等に残留する線源について影響を評価し、適切な遮へいを設置が可能な検討を行う。壁面汚染対策として、遮へい以外に化学除染等を考慮し検討する。
- 線量低減で発生するダストは、発生抑制・飛散防止・監視を考慮し検討する。
- 作業前には、トレーニングを実施し遠隔操作性、施工可能範囲を確認する。

# 4. 線量低減の実施フロー（案）



判断基準

※1：X-6ペネ近傍エリアのダスト濃度を2.0E-3Bq/cm3未満で管理可否

※2：ペネ手前の空間線量が約100mSv/hペネ直接線除く

## 5. 線源除去技術検討・選定

- 浸透汚染除去に必要な技術を整理。対応深さ50mm以上、対象物、粉塵発生量、粉塵飛散防止機能、装置把持性からコア抜き機と切断機を選定（表中□枠）

機材	研削機		研り（破碎）機		コア抜き機		切断機	
	乾式	湿式	乾式	湿式	乾式	湿式	乾湿式	乾式
機材イメージ								
対応深さ	～約10mm	不明	～約150mm	～約300mm	～85mm	～57mm		
対象物	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート 金属	コンクリート (金属は確認中)	金属		
粉塵発生量 (研削機基準の研削面積比)	1 (φ100mm研削刃)	～0.078 (～φ28mmドリルビット)	～0.174 (～φ220mmビット刃)	～0.028 (～φ35mmビット刃)	～0.031 (φ105mm回転刃の挿入面積)	～0.031 (φ105mm回転刃の挿入面積)		
粉塵飛散防止機能	研削と同時吸引が可能	浸漬しながら破碎することで粉塵の発生を抑制	研削と同時に吸引が可能	浸漬しながら削ることで粉塵飛散を抑制	同時吸引可能であるが、刃の挿入時は飛散	同時吸引可能であるが、刃の挿入時は飛散		
装置把持性	実績有	振動が生じるため把持に懸念	振動が生じるため把持に懸念	振動が無い ため把持可と判断	振動が無い ため把持可と判断	振動が無い ため把持可と判断		

## 6. ダスト対策（案）

- X-6ペネ近傍エリアのダスト濃度を $2.0E-3\text{Bq}/\text{cm}^3$ （※）未満で管理できる対策を検討。

※オペフロ排気フィルタのアクションレベルを超過しない値

- コア抜き1本時に発生するダスト濃度の推測（1/7発生ダスト上昇事象から推測）  
研削とコア抜きの研削面積比からダスト濃度を試算

	研削（1/7）	コア抜き（計画）
研削面積（ $\text{cm}^2$ ）	37.5 ※1	2.16 ※2
オペフロダスト濃度（ $\text{Bq}/\text{cm}^3$ ）	1.2E-3（実測値）	6.9E-5（推測値）

※1：研削刃（ $\phi 100\text{mm}$ ）の面積 $75\text{cm}^2$ の半面が接触と仮定

※2：コアビット（ $\phi 32\text{mm}$ ビット、刃厚 $2.2\text{mm}$ ）

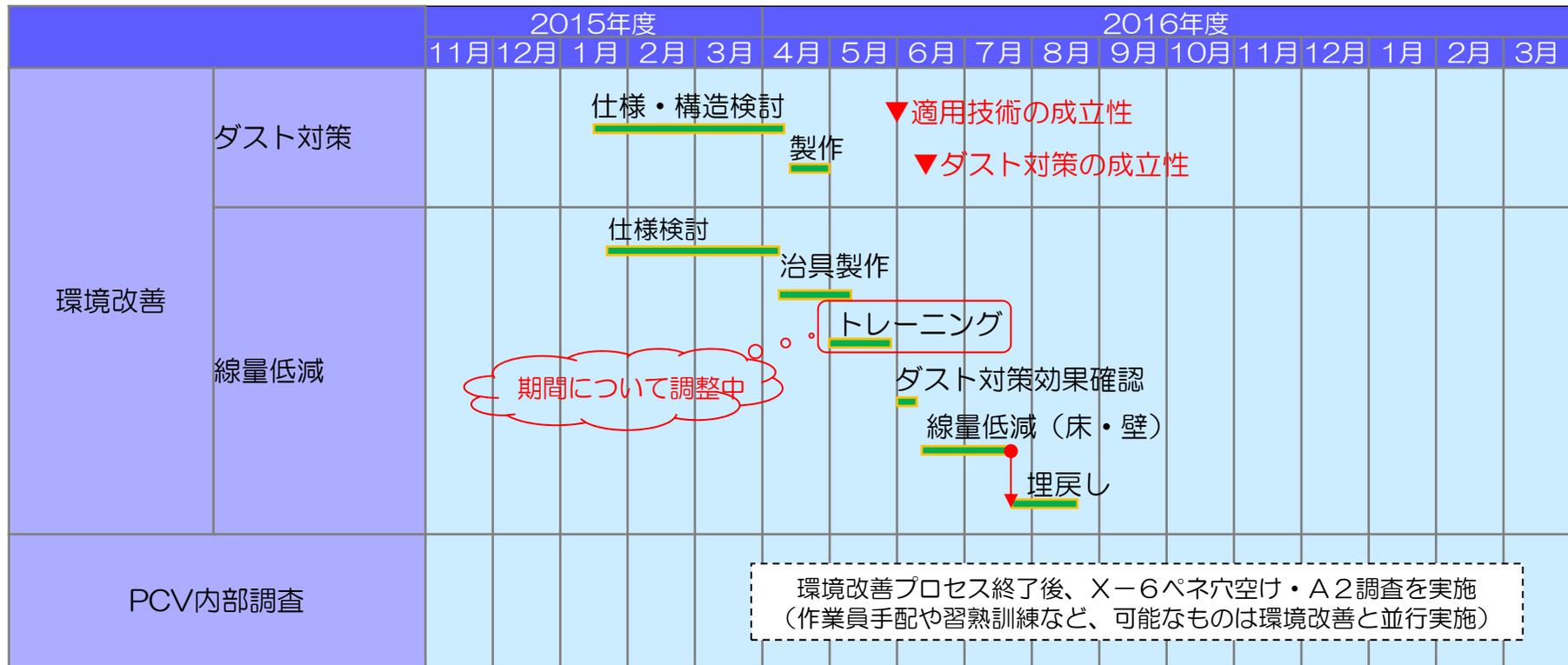
研削時と同等以上のダスト回収が可能であれば、1本コア抜き時のダストは許容範囲内。

### ■ 対策案

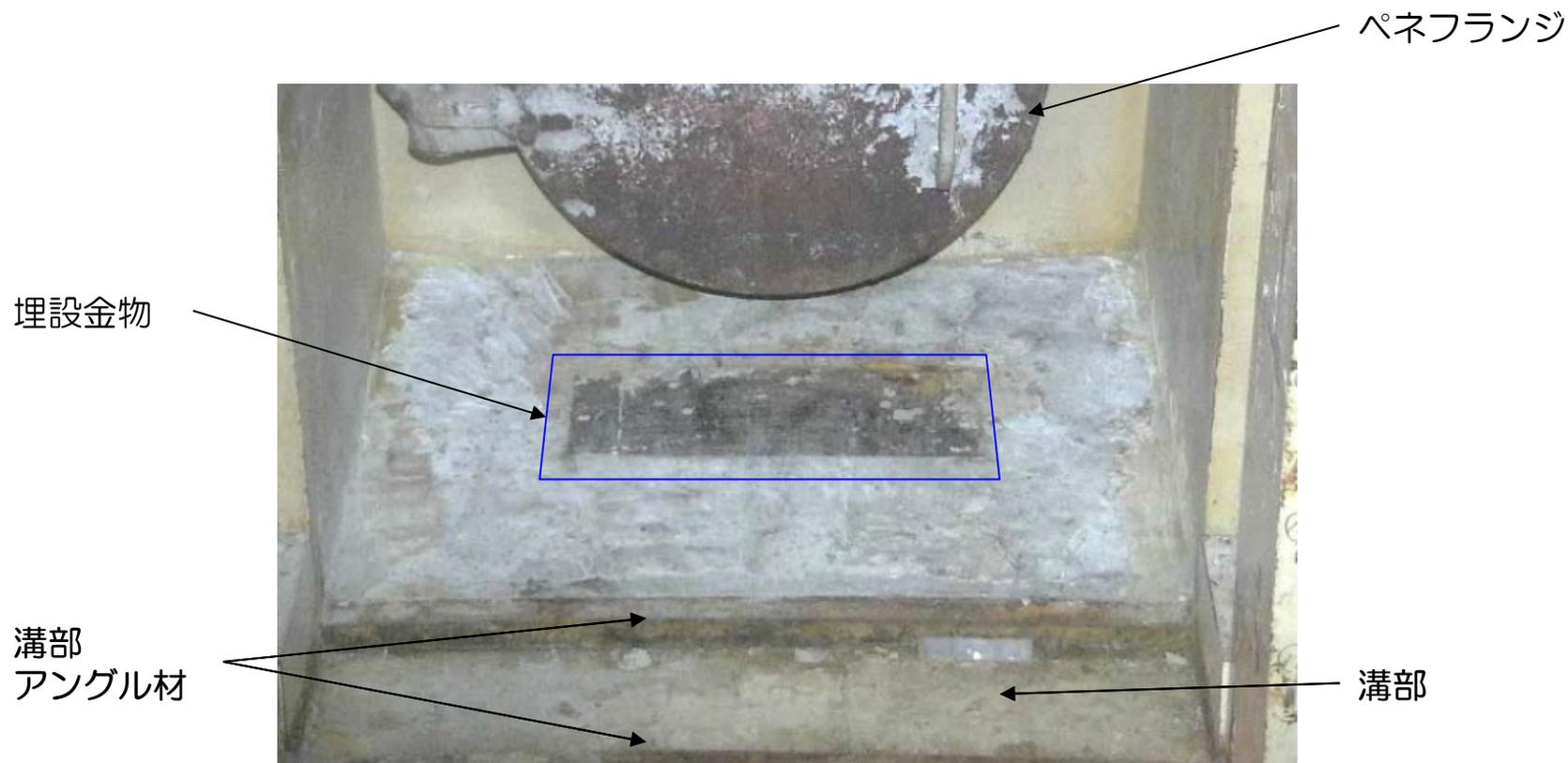
対策①	対策②	実施項目
粉塵発生が少ないコア抜き技術での実施	連続ダストモニタを設置し管理値前に作業を中断させる	連続ダストモニタの設置
	小型フードを設置し、ダストを局所に閉じ込め回収を実施	コア抜き時のダストを試算し要求仕様の設定 トレーニングを行い遠隔操作性、設置性、粉塵回収率を確認

# 7. 工程 (案)

## ■ 線量低減の進捗・結果に応じてPCV内部調査を計画する

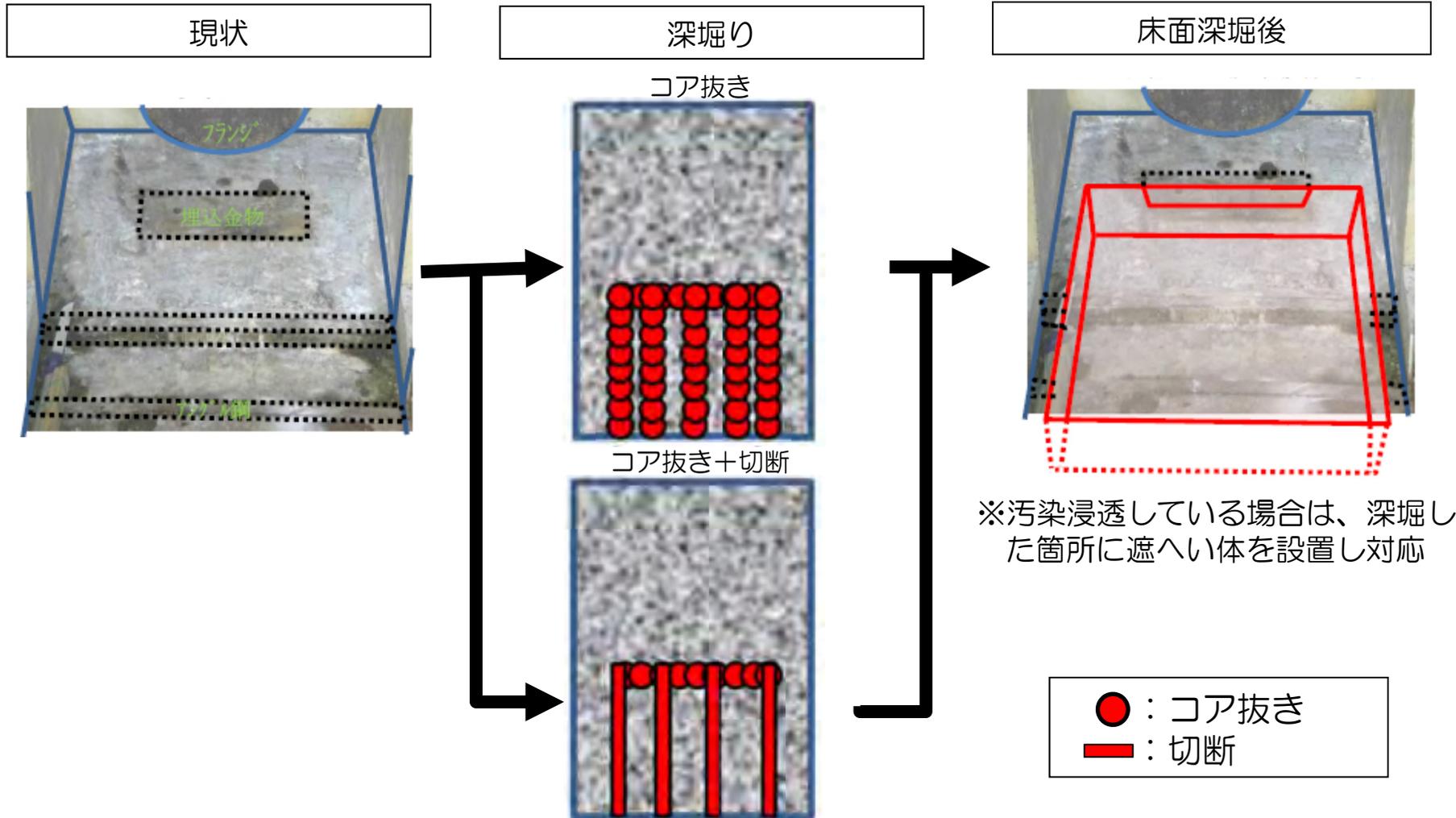


# (参考) X-6ペネ周辺状況



# (参考) 選定技術による床面除染の施工イメージ

- 選定した技術により浸透汚染源であるコンクリート（必要に応じて金属）を除去し、線量低減を計画。遠隔装置によるトレーニングにより、機材操作性、施工可能範囲を確認する。



- 今後の同様なペネ廻りの線量低減が必要になった場合、浸透深さは有意義な知見となることから、コア抜きしたもので浸透深さを確認する。

# 福島第一原子力発電所 2号機 ミュオン測定による 炉内燃料デブリ位置把握について

平成28年3月31日  
東京電力株式会社

本資料の内容は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の事業の一環として、東京電力が実施するものである



東京電力

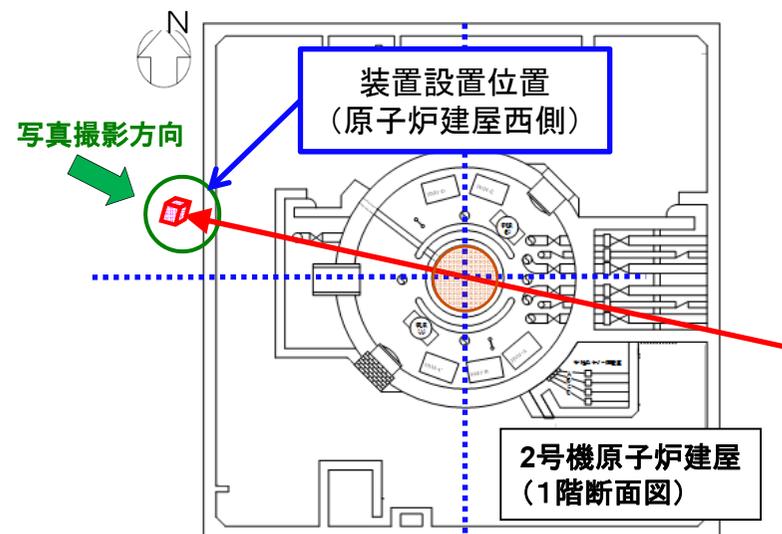
IRID

# 概要

- 平成25年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金「原子炉内燃料デブリ検知技術の開発」（国プロ）にて，原子炉を通過する宇宙線ミュオンの測定により，炉内燃料デブリを検知する技術を開発。
- 平成27年2月～9月に1号機でミュオン透過法の測定を実施。炉心域に1 m程度以上の大きな燃料の塊がないという結果を得た。
- 1号機の測定実績からミュオン透過法の有効性を確認。  
2号機においても，平成28年3月22日より，ミュオン透過法測定を開始。

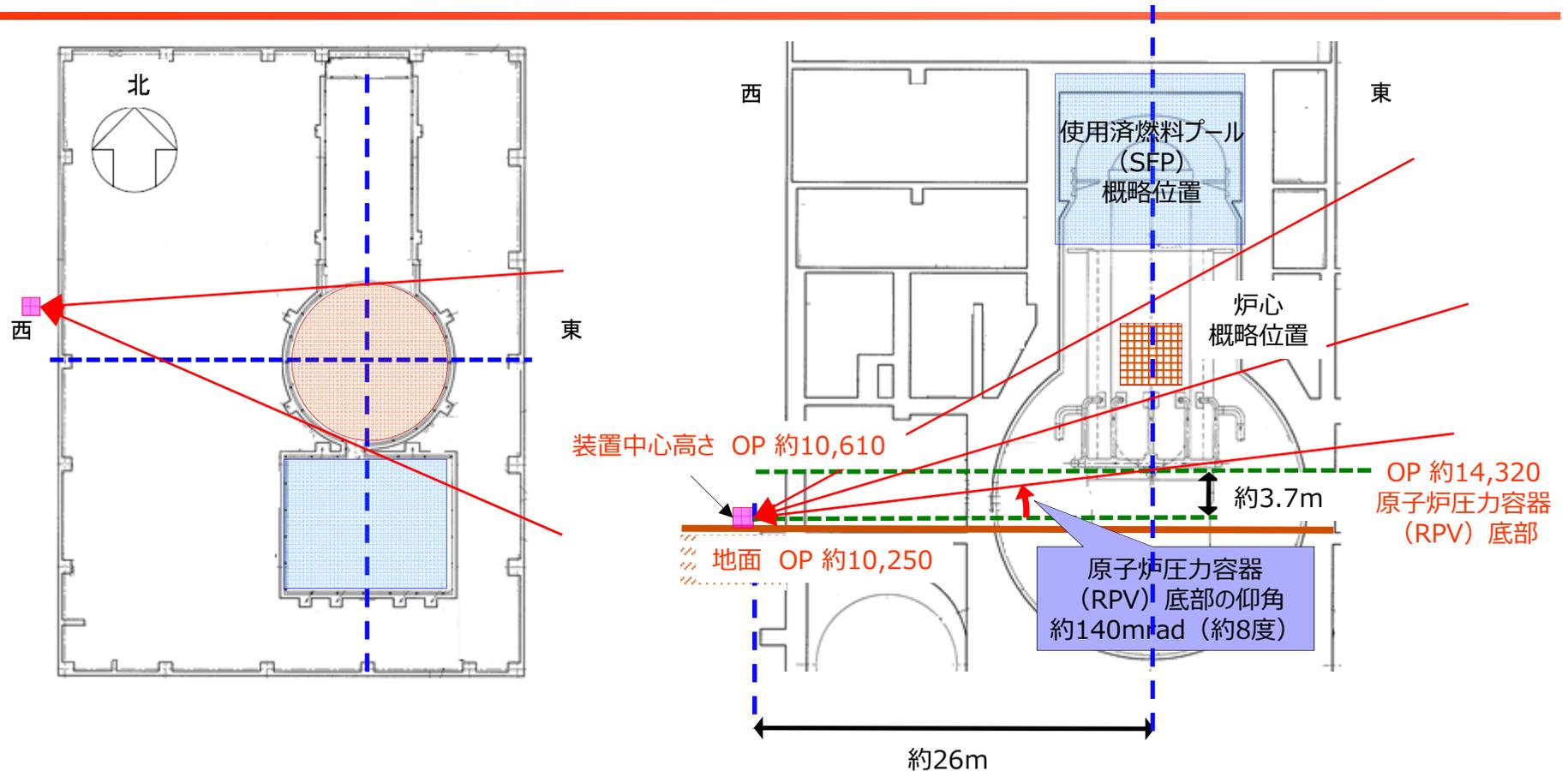


ミュオン測定装置設置  
(小型装置, 約1m×1m×高さ1.3m)



ミュオン測定装置 設置位置

## 2号機 透過法ミュオン測定の実験範囲



- 仰角が低く水平に近い方向（約7～8°以下）から飛来するミュオンはエネルギーが高く、透過力が高すぎるため、適切な測定が出来ない。
- 今回の2号機は、測定可能な仰角の下限付近ではあるが、およそ原子炉圧力容器 (RPV) 全体を測定範囲にとらえられる見込み。
- また、原子炉建屋 (R/B) の西側から測定することで、原子炉と使用済燃料プール (SFP) が重なることなく測定が可能。



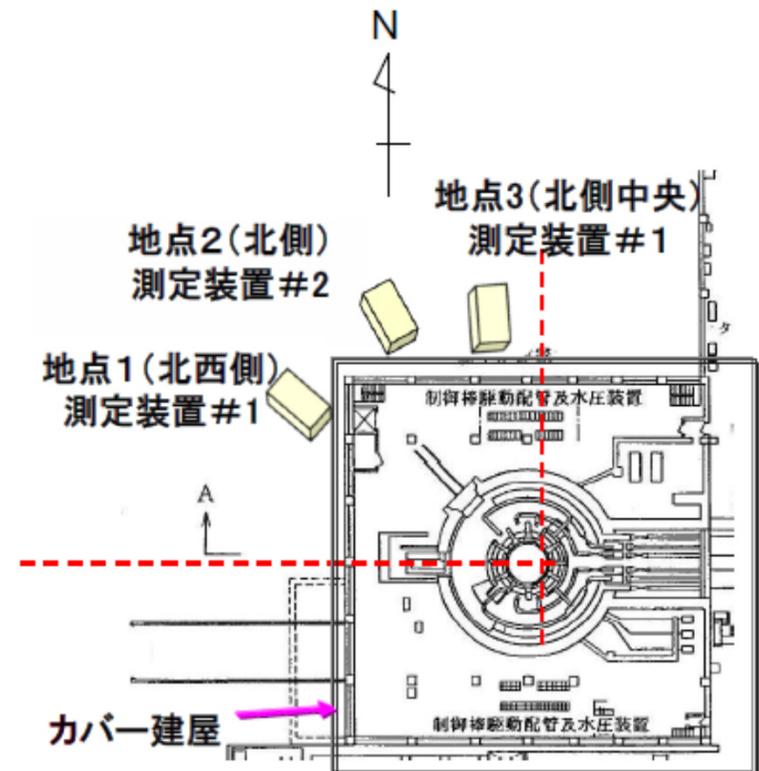
# (参考) 1号機での測定装置設置状況

- 1号機において透過法によるミュオン測定を実施。(平成27年2月～9月)
- 原子炉と使用済み燃料プールの配置関係などから、西側からの測定が理想的であったが、建屋カバー解体作業など他工事との干渉をさけるため、北側や北西側に装置を設置。(そのため、RPV底部が測定視野範囲外へ)



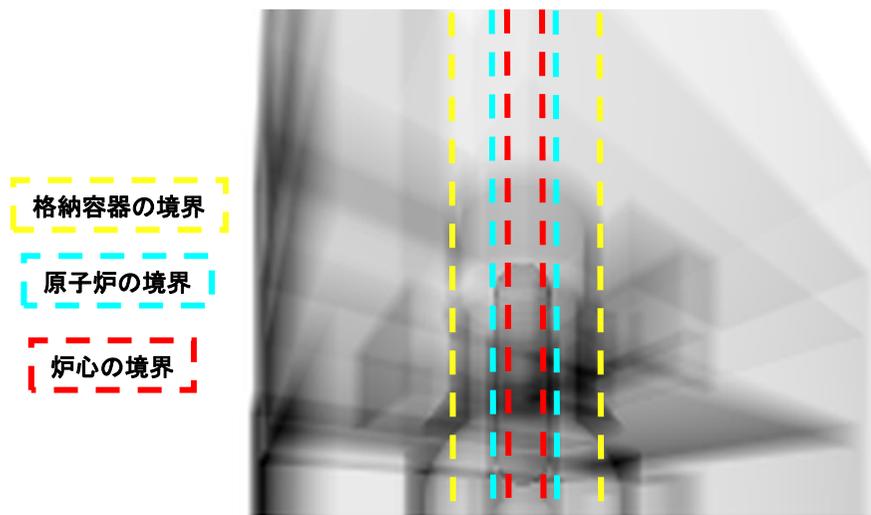
測定装置設置作業風景

<装置概要>  
長さ約3.6m×幅約1.6m×高さ約2.2m  
重量約20t



測定装置設置位置

# (参考) 1号機 透過法ミュオン測定の実績



- 鮮明ではないが、測定データでは、図面から予想される位置に機器等を確認
- 格納容器・原子炉の境界も一致
- 炉心域に大きな燃料の塊は確認できず  
(使用済燃料プールには燃料と思われる高密度物質の存在を確認)

