

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	10		17	24
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																							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							工程延長																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							工程延長																(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		現場作業	[ト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		現場作業	[D/Wシールの補修技術開発]補修装置の概念検討																											
	共通		現場作業	PCV冠水後の異常時のハウジングを考慮したPCV冠水システム概念図、PCV止水手順の検討																											
	燃料デブリの取出し	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																										
1号		(実績)なし (予定)なし		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																											
2号		(実績)なし (予定)なし	検討・設計	【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																											
3号		(実績)なし (予定)なし	現場作業	サンプリング技術の開発																											
共通	(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               <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul> <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○腐食抑制対策               <ul style="list-style-type: none"> <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> </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 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 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 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>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> <ul style="list-style-type: none"> <li>○【研究開発】事故時プラント挙動の分析</li> </ul>	<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) 2号機 ミュオン透過法 測定/評価</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               <ul style="list-style-type: none"> <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>・TML-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> </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               <ul style="list-style-type: none"> <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> </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               <ul style="list-style-type: none"> <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> </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               <ul style="list-style-type: none"> <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> </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>															
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。

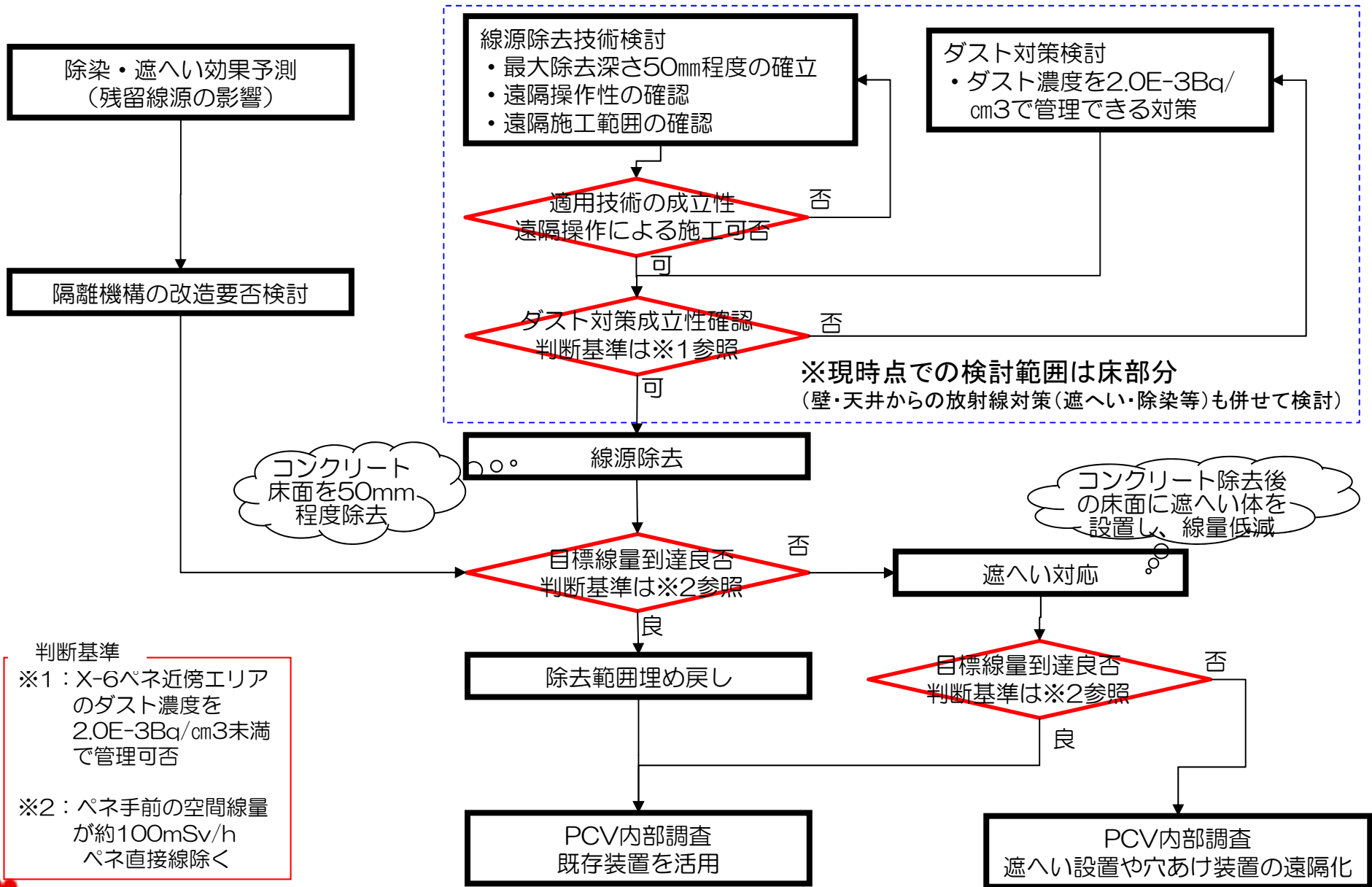
⇒床面汚染は、数ミリ程度～50mm程度あるものと推定する。

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 $2.2\text{mm}$ ）

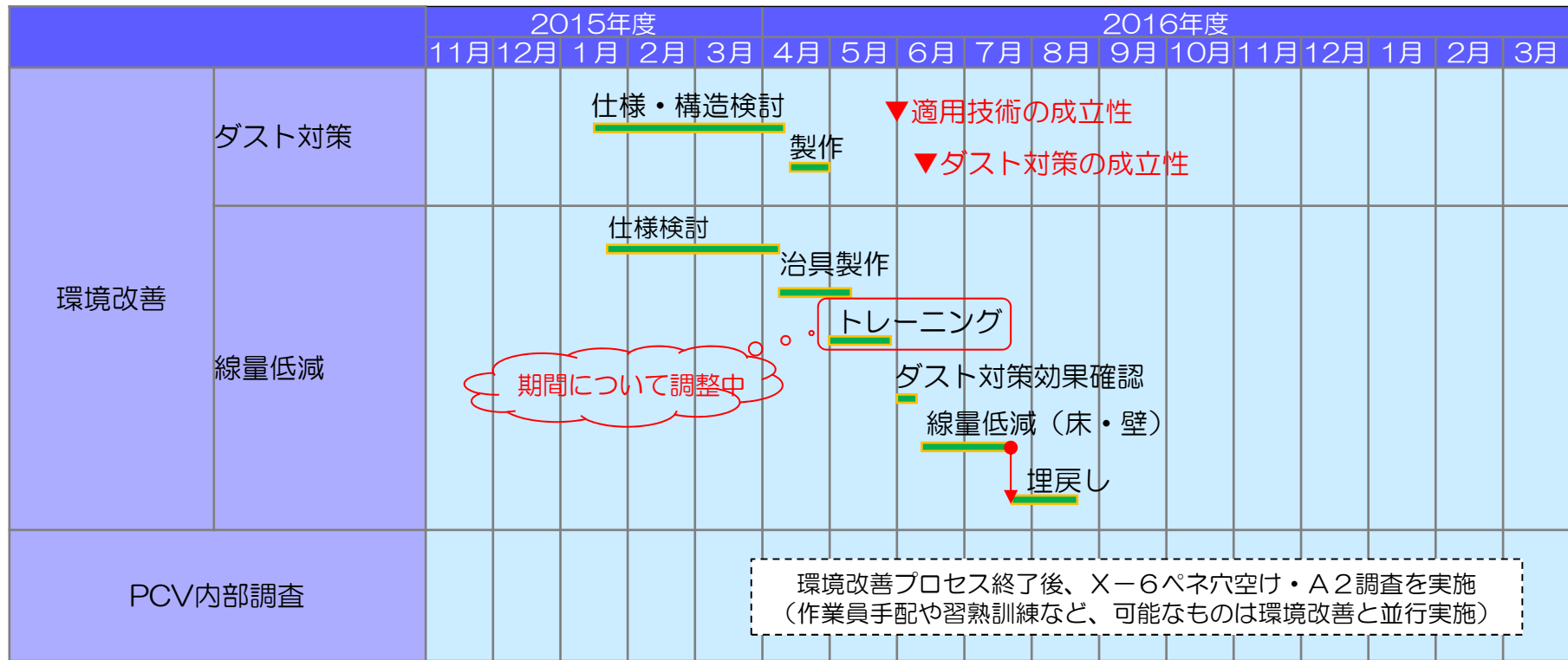
研削時と同等以上のダスト回収が可能であれば、1本コア抜き時のダストは許容範囲内。

### ■ 対策案

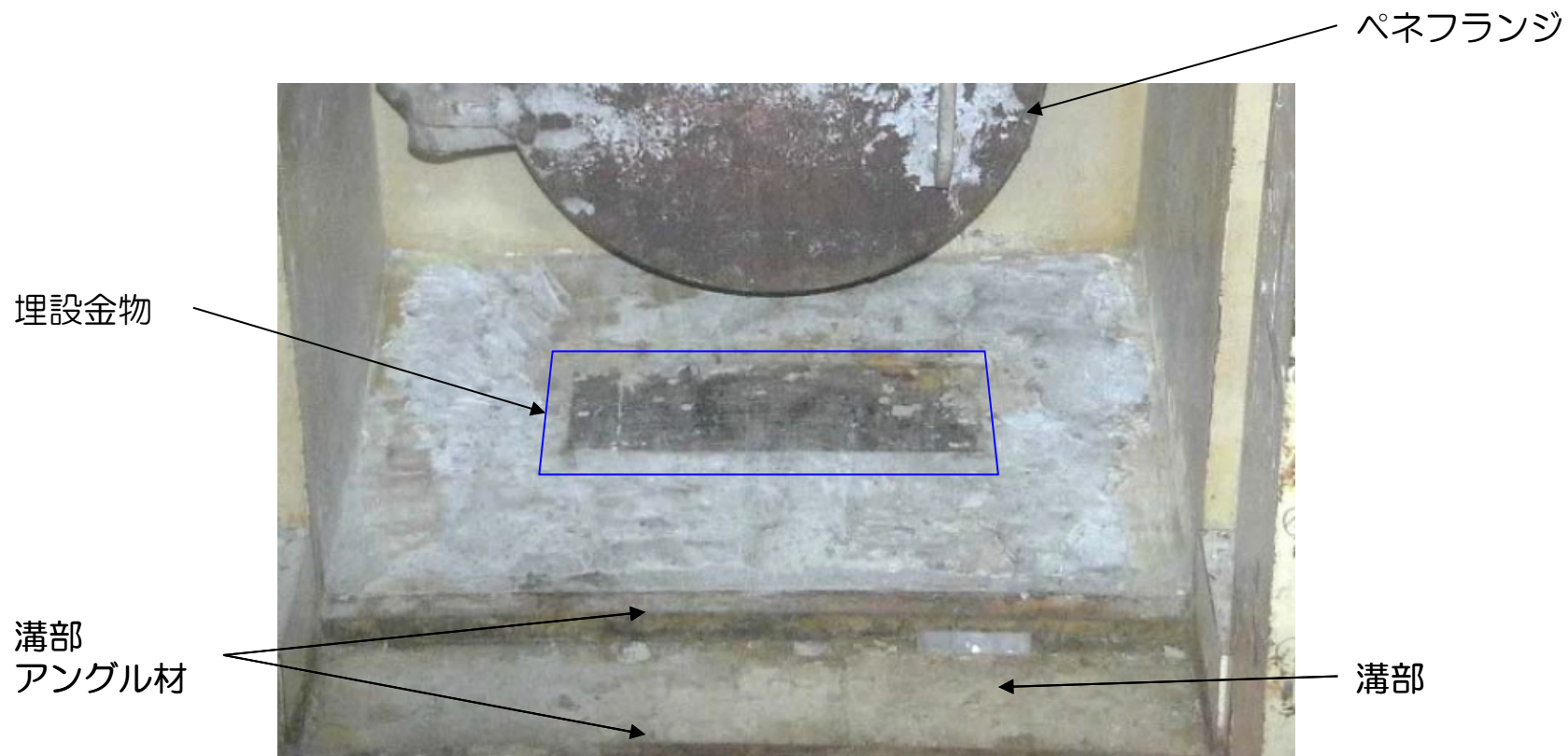
対策①	対策②	実施項目
粉塵発生が少ないコア抜き技術での実施	連続ダストモニタを設置し管理値前に作業を中断させる	連続ダストモニタの設置
	小型フードを設置し、ダストを局所に閉じ込め回収を実施	コア抜き時のダストを試算し要求仕様の設定 トレーニングを行い遠隔操作性、設置性、粉塵回収率を確認

# 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

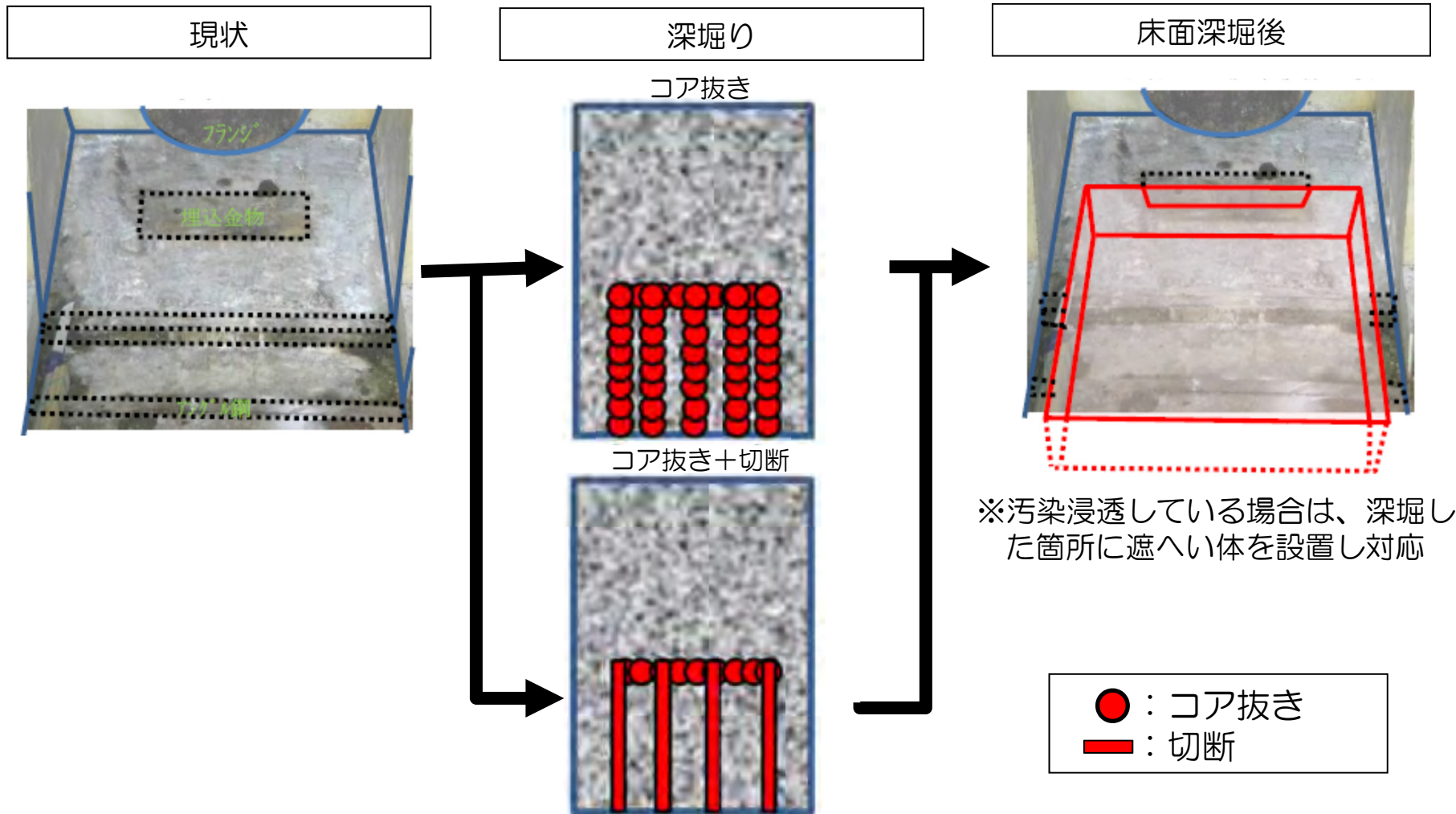


# (参考) X-6ペネ周辺状況



# (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

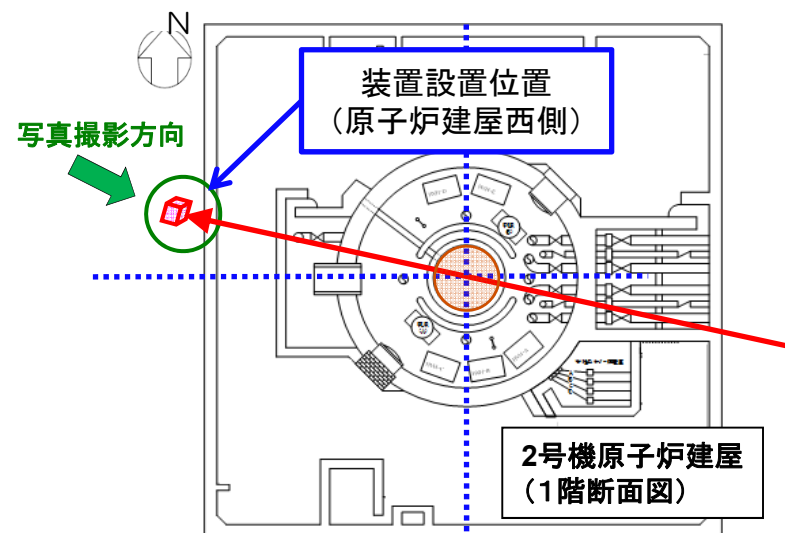
IRID

# 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。

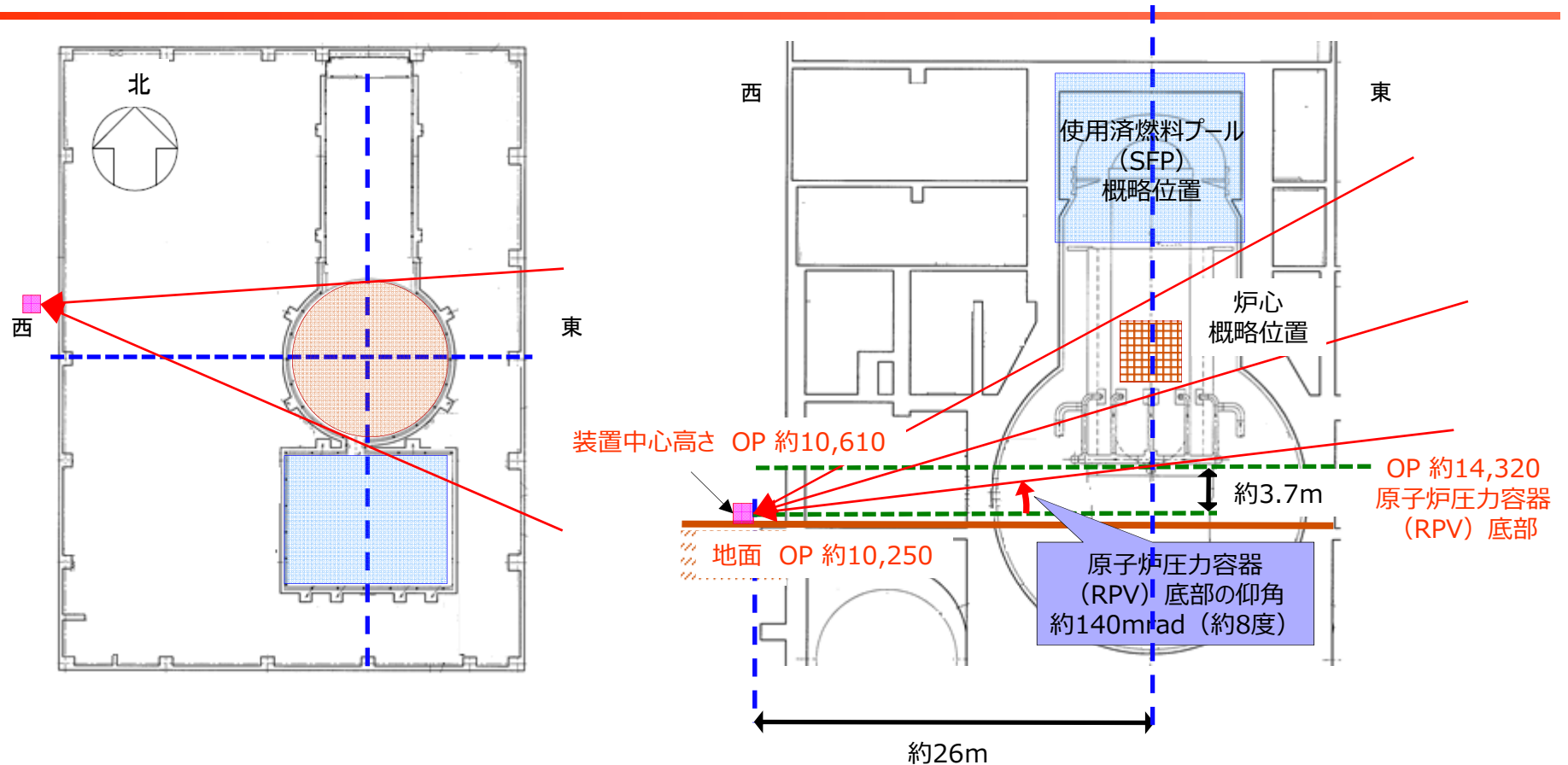


ミュオン測定装置設置  
(小型装置, 約1m×1m×高さ1.3m)



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、およそ原子炉压力容器（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。





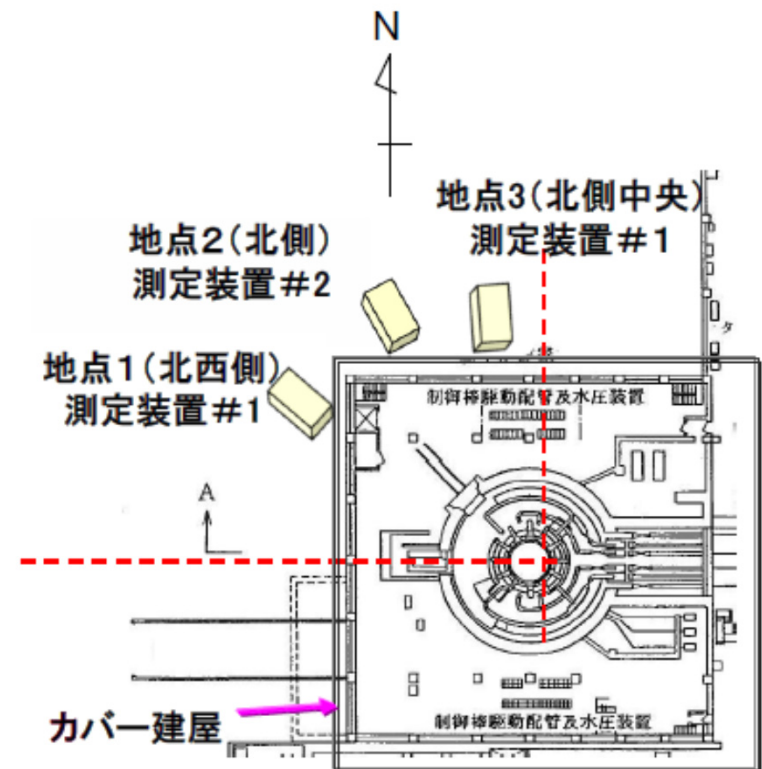
# (参考) 1号機での測定装置設置状況

- 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)



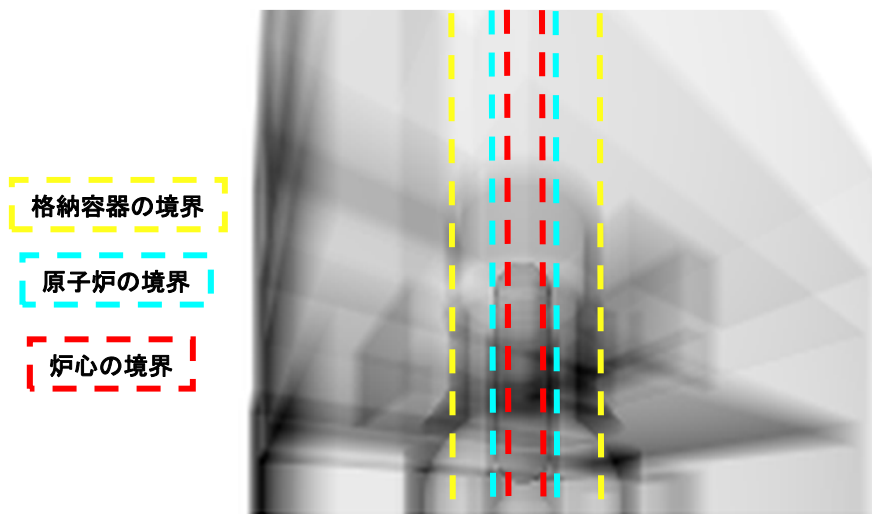
測定装置設置作業風景

<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)

