

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括弧	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		8月	9月				10月				11月	12月	備考		
			27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12				
建屋内除染	共通	(実績) (予定)	検討・設計															
		1号		(実績) ○【検討】PCV内部詳細調査に向けた現場環境改善(継続) (予定) ○【検討】PCV内部詳細調査に向けた現場環境改善(継続)	検討・設計													
		2号		(実績) ○【検討】PCV内部詳細調査に向けた現場環境改善(継続) (予定) ○【検討】PCV内部詳細調査に向けた現場環境改善(継続)		検討・設計												
		3号		(実績) (予定)	現場作業 検討・設計 現場作業													
格納容器調査・補修	共通	(実績) ○【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定(継続) ○【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発(継続) ○【研究開発】補修工法の実機適用に向けた環境改善の検討(継続) (予定) ○【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定(継続) ○【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発(継続) ○【研究開発】補修工法の実機適用に向けた環境改善の検討(継続)	検討・設計															
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】压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】压力容器内部調査技術の開発(継続)	検討・設計															
燃料デブリ取り出し	共通	(実績) (予定)なし	現場作業															
		1号		(実績) (予定)なし	検討・設計 現場作業													
		2号		(実績) (予定)なし		検討・設計 現場作業												
3号	(実績) (予定)なし	検討・設計 現場作業																



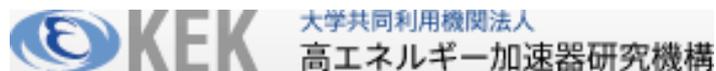
燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括弧	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定												備考
			8月			9月				10月				11月	
			27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	
RPV/PCV健全性維持		(実績) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発(継続) ○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実施(継続) (予定) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発(継続) ○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実施(継続)	【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発 【研究開発】腐食抑制剤の選定												
			【研究開発】副次的悪影響の評価 【研究開発】腐食抑制システムの概念設計・管理要領の策定 【研究開発】圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発												
			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)												
炉心状況把握		(実績) 【炉心状況把握解析】 ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析(継続) ○事故関連factデータベース構築(継続) ○【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価(継続) ○3号機ミュオン透過法による測定 (予定) 【炉心状況把握解析】 ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析(継続) ○事故関連factデータベース構築(継続) ○【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価(継続)	【炉心状況把握解析】 【研究開発】事故時プラント挙動の分析 事故関連factデータベース構築												
			【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価												
			3号機 ミュオン透過法 測定/評価												
取出後の燃料デブリ安定保管		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC I生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC I生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続)	【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握 (乾燥熱処理における核分裂生成物の放出挙動評価)												
			・MCC I生成物の特性評価 (分析計画の作成、調整及び分析(IA CEA)) ・分析に必要な要素技術開発 (燃料デブリの溶解及び多元素分析手法の開発、燃料デブリの非破壊分析技術の開発、多核種合理化分析手法の開発)												
			燃料デブリの溶解及び多元素分析手法の開発、燃料デブリの非破壊分析技術の開発、多核種合理化分析手法の開発												
燃料デブリ臨界管理技術の開発		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 ・臨界評価(継続) ・炉内の再臨界検知技術の開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 ・臨界評価(継続) ・炉内の再臨界検知技術の開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続)	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 臨界評価 ・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) ・臨界時挙動評価(燃料デブリ取出し時に必要な機能検討) ・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)												
			炉内の再臨界検知技術の開発 ・再臨界検知システム(複数工法への適用検討) ・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) 臨界防止技術の開発 ・非溶解性中性子吸収材(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) ・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)												
			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												
燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納缶の移送・保管システムの検討(継続) 燃料デブリ収納缶の仕様、安全評価に関わる検討(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納缶の移送・保管システムの検討(継続) 燃料デブリ収納缶の仕様、安全評価に関わる検討(継続)	【研究開発】燃料デブリ収納缶の移送・保管システムの検討 (燃料デブリ収納缶の移送・保管に係る安全要件・仕様及び保管システムの検討)												
			【研究開発】燃料デブリ収納缶の仕様、安全評価に関わる検討 (安全評価手法の開発及び安全性検証、燃料デブリ性状に応じた収納形式の検討)												
			燃料デブリ収納缶の仕様、安全評価に関わる検討												

福島第一原子力発電所 3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

2017年9月28日

TEPCO

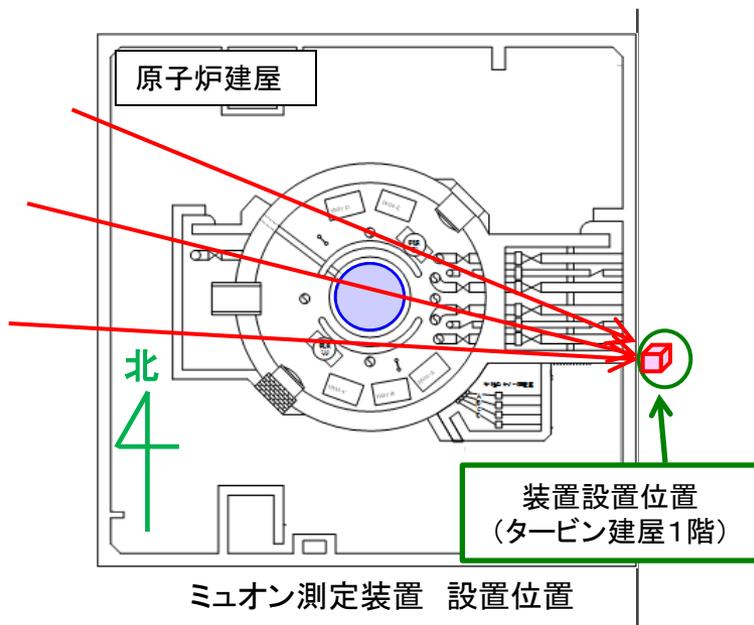


東京電力ホールディングス株式会社

IRID

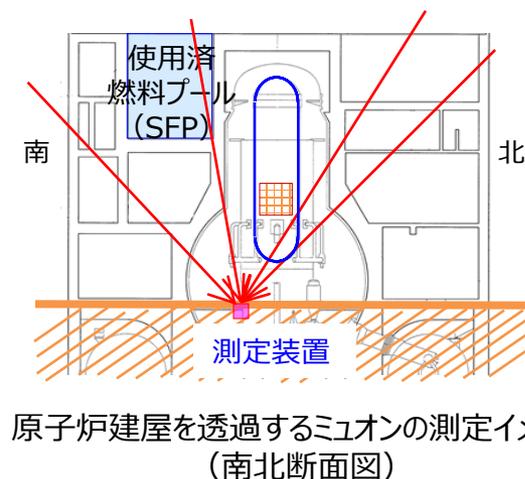
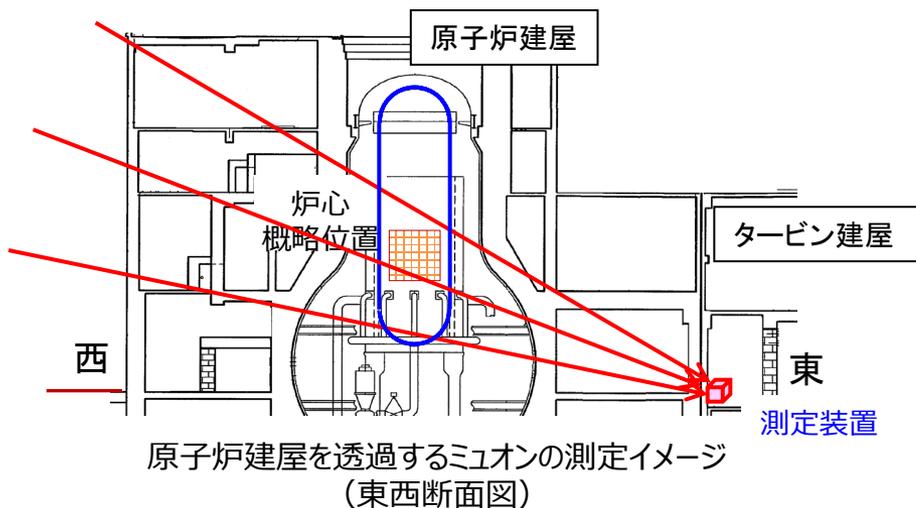
本資料の内容は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の事業の一環として、東京電力が実施するものである。

- 燃料デブリ取り出しに向けた炉内状況把握の取り組みとして、燃料デブリ分布に関する情報を取得するための手段の1つとして、これまでに1, 2号機において、原子炉を透過するミュオンの透過率から原子炉圧力容器内の物質質量分布などを把握するミュオン透過法測定を実施。
 - 1号機：炉心域に大きな燃料の塊はなし（2015年2月～5月, 5月～9月）
 - 2号機：原子炉圧力容器底部に燃料デブリと考えられる高密度の物質を確認（2016年3月～7月）
- 3号機でも2017年5月～9月にミュオン透過法測定を実施。その測定結果を報告する。（9月8日に測定終了）



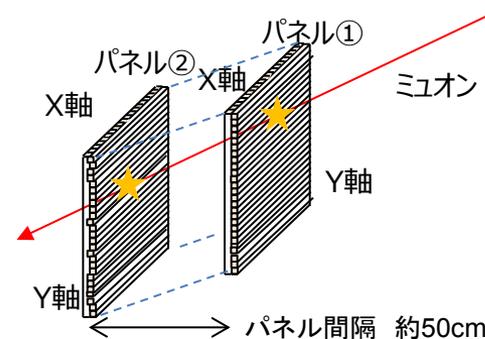
ミュオン測定装置 設置状態
 (小型装置, 約1m×1m×高さ1.3m)

- ミュオンは、宇宙から飛来する放射線が大気と衝突する過程で発生する二次的な宇宙線。エネルギーが高く、物質を透過しやすい。
- 原子炉建屋を透過するミュオン数を測定し、その透過率から原子炉压力容器内の燃料デブリ分布をレントゲン写真のように撮影。（高密度の物質ほど透過しにくく、暗い影になる）

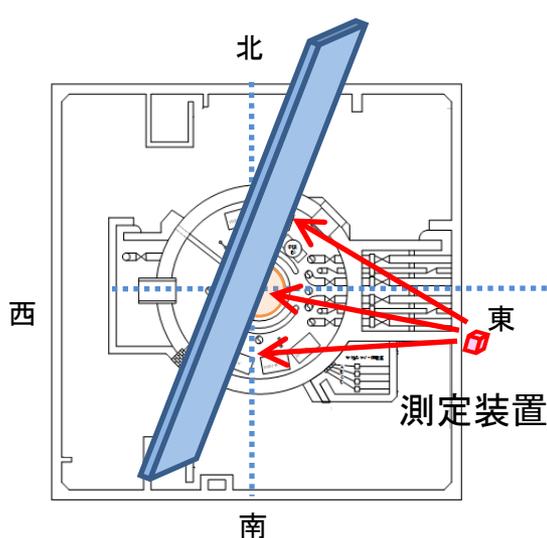


<ミュオン透過法測定装置の計測原理 (イメージ)>

上空から飛来するミュオンを装置内部に配置した2枚のパネル検出器 (プラスチックシンチレータ) で検知し、通過したパネルの座標からミュオンの軌跡を算出。



- 原子炉建屋を透過するミュオンを測定し、原子炉建屋を透視
- 原子炉を通る断面上にイメージを投影し、レントゲン写真のように炉心域や原子炉压力容器底部の燃料デブリを撮影

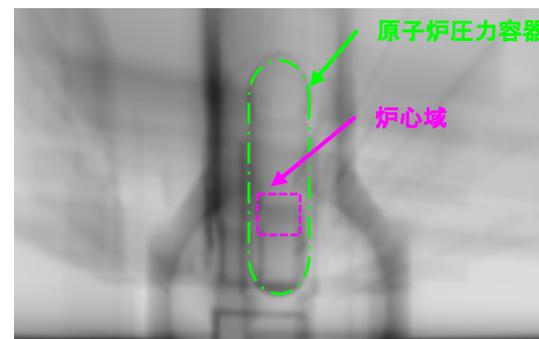


撮影画像のイメージ

シミュレーション
(燃料有り)

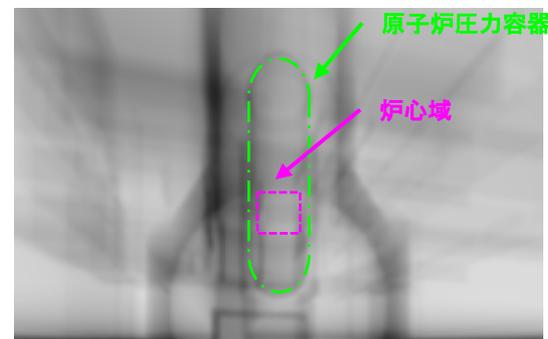
原子炉建屋の構造図から、
ミュオンによる透視結果を
シミュレーション

シミュレーション
(燃料無し)



<シミュレーション条件>

- ・炉心域/原子炉压力容器底部: 燃料有り
- ・SFP内: 満水



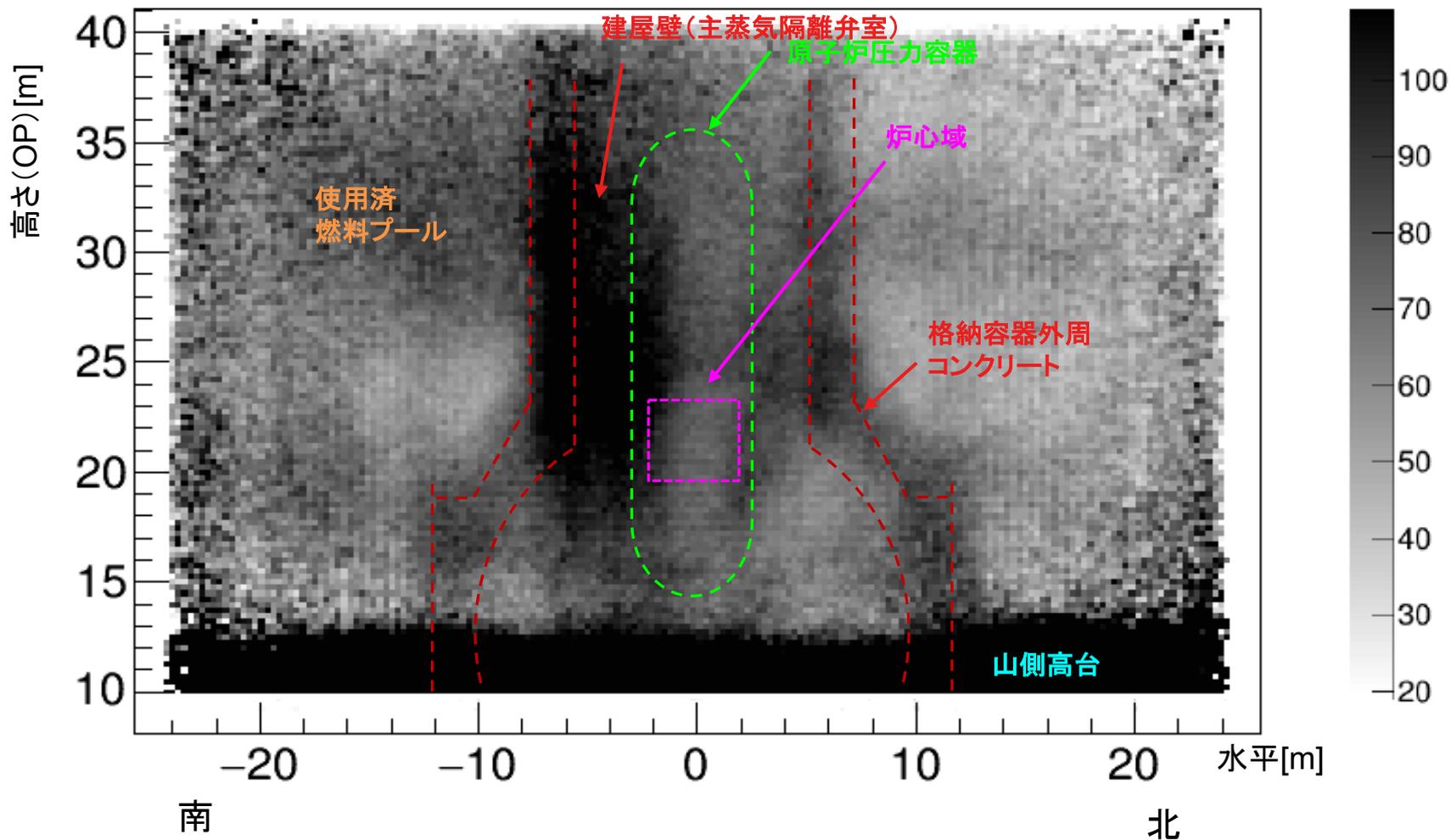
<シミュレーション条件>

- ・炉心域/原子炉压力容器底部: 燃料無し
- ・SFP内: 満水

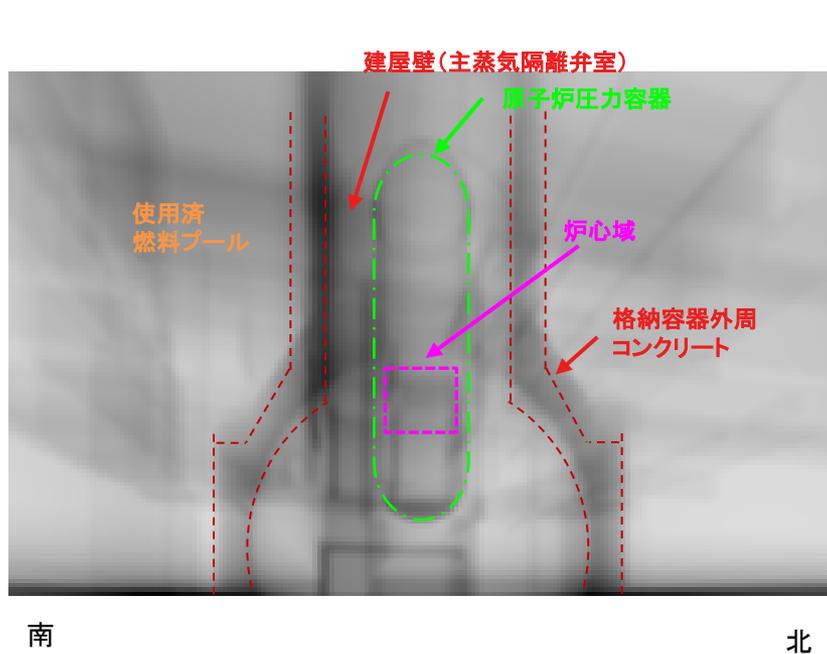
- ミュオン透過法測定により3号機の物質質量分布を評価した結果は以下の通り。
(結果の解釈については次項以降参照)

(2017年9月8日時点)

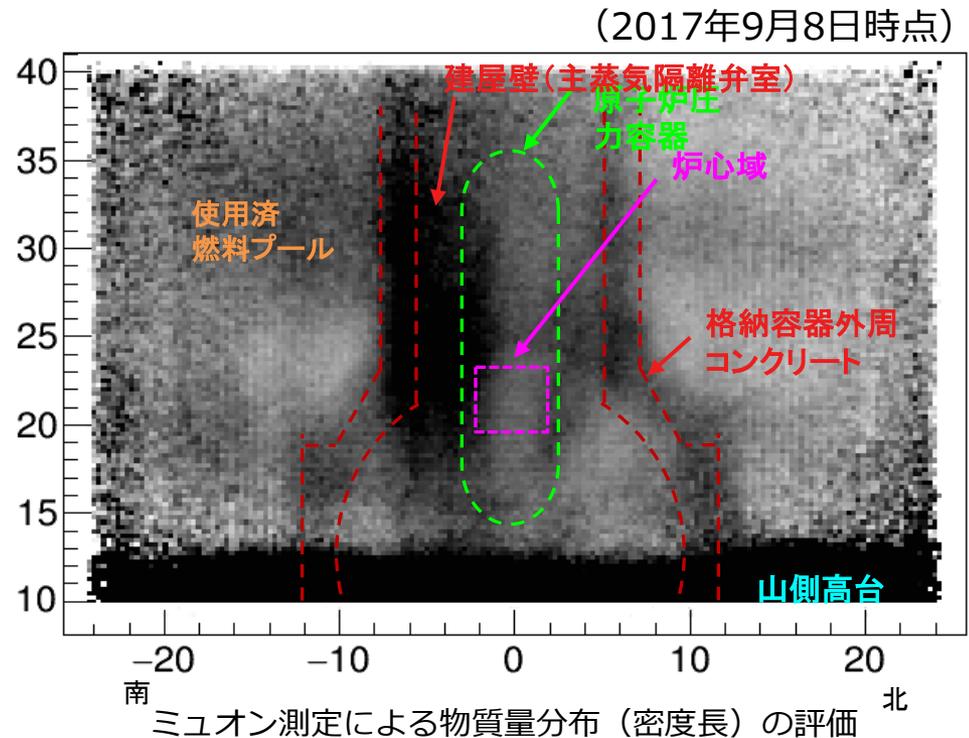
密度長
(g/cc・m)



- 格納容器外周の遮へいコンクリート，使用済燃料プール，原子炉建屋の壁などの主要な構造物を確認した。

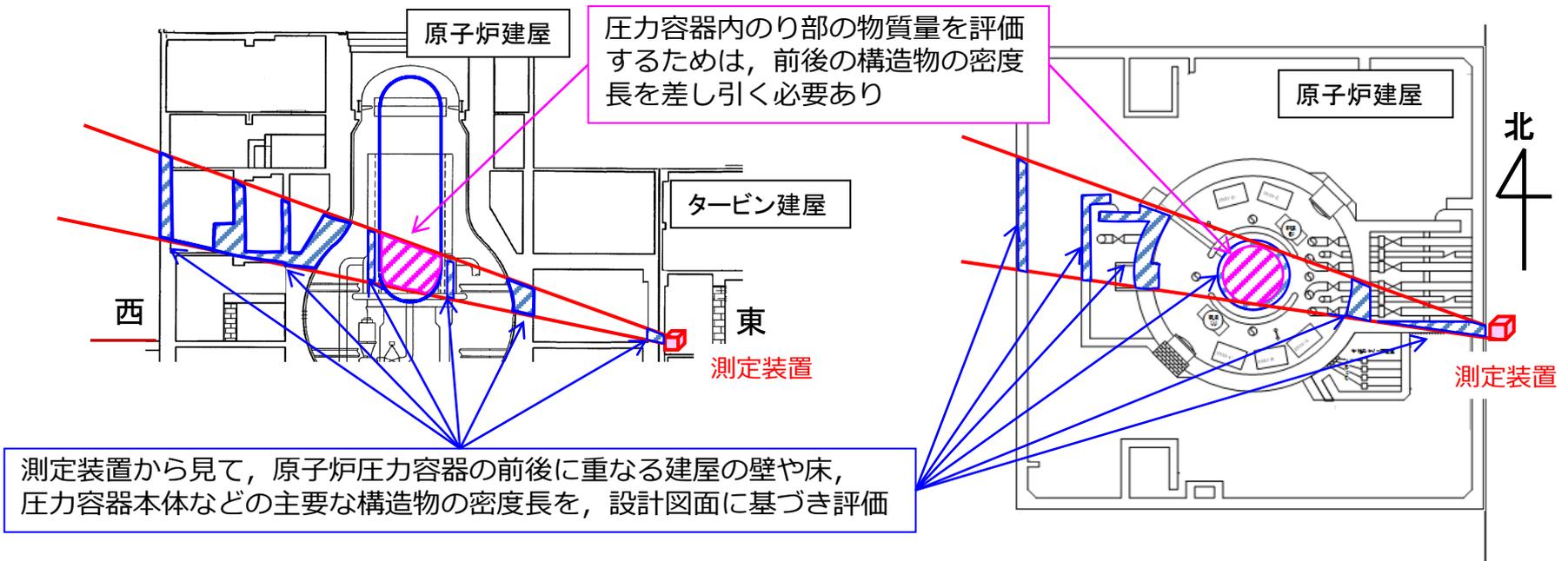


シミュレーションによる物質分布（密度長）の評価
（炉心域，および炉底部に燃料デブリありのケース）

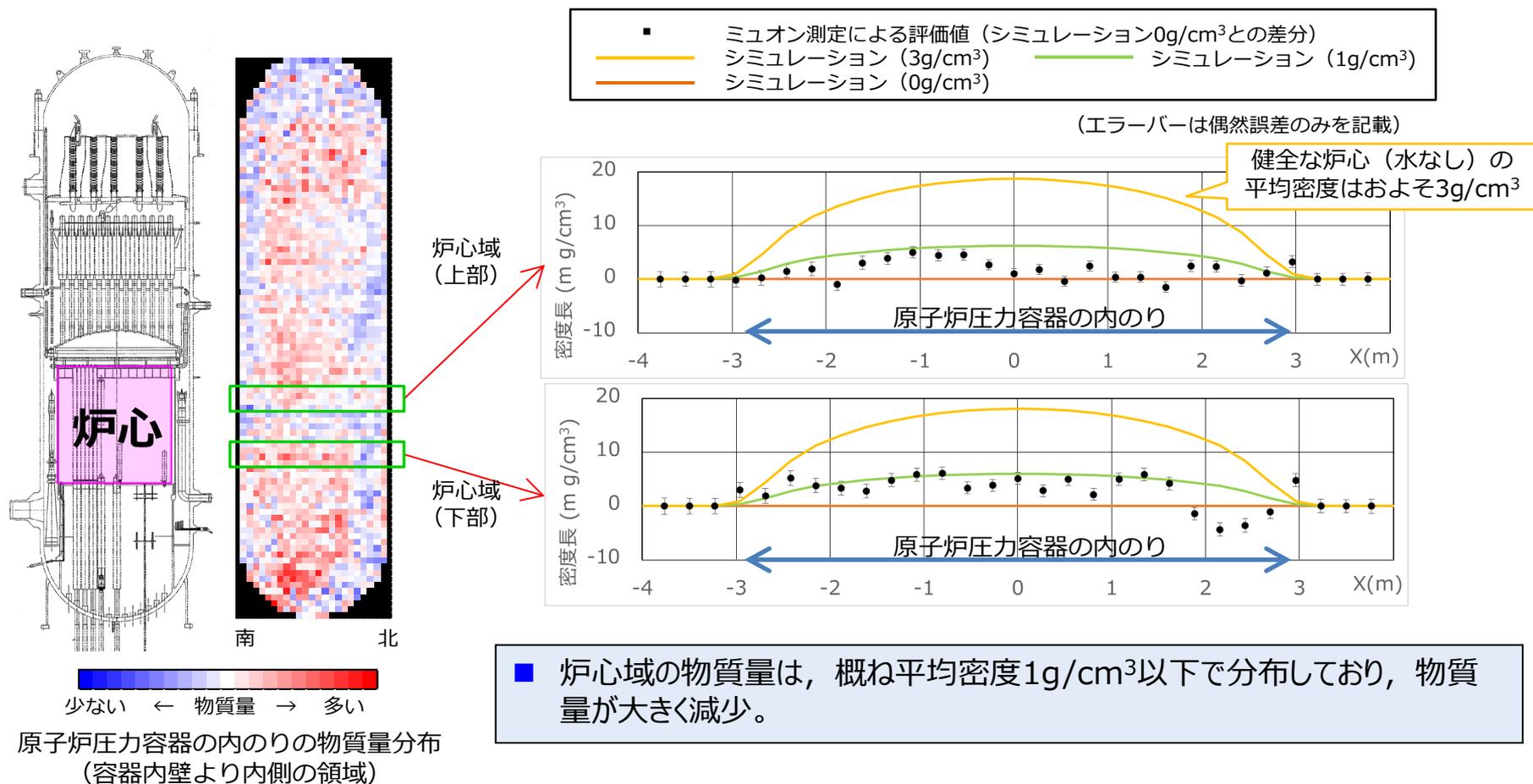


ミュオン測定による物質分布（密度長）の評価

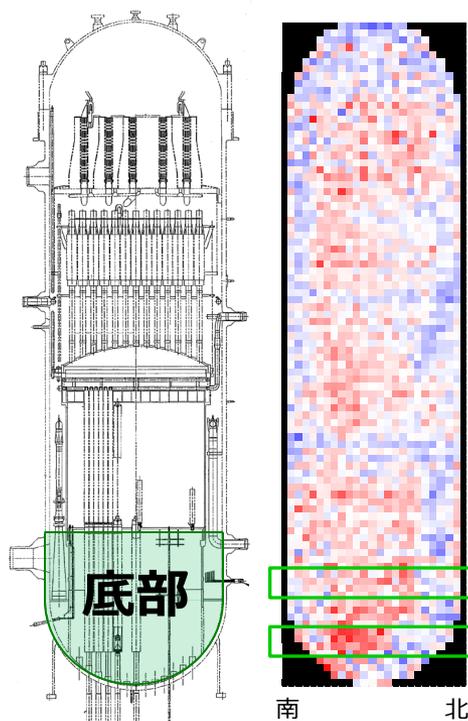
- ミュオン測定により得られる密度長分布には原子炉建屋の壁や床，原子炉圧力容器の容器自身など構造物の物質量の影響が含まれている。
- 原子炉圧力容器の内のり部の物質量を評価するためには，これら構造物の影響を差し引く必要がある。
- そのため，測定装置から見て原子炉圧力容器の前後にある構造物の密度長を設計図面とシミュレーションにより評価し測定結果から差し引く。



- 測定結果から原子炉建屋の壁や床, 压力容器などの構造物の物質量を、シミュレーションに基づき除去
- 压力容器内のりが、一様な密度をもつ仮想的な物質で満たされている場合のシミュレーション結果と比較し, 燃料の有無を推定



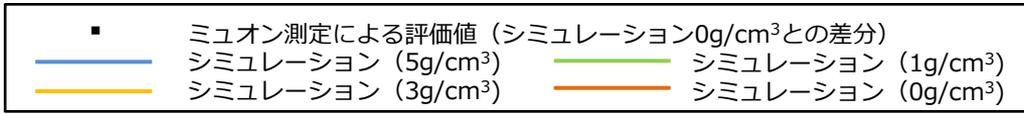
原子炉圧力容器内の物質分布 (②原子炉圧力容器底部)



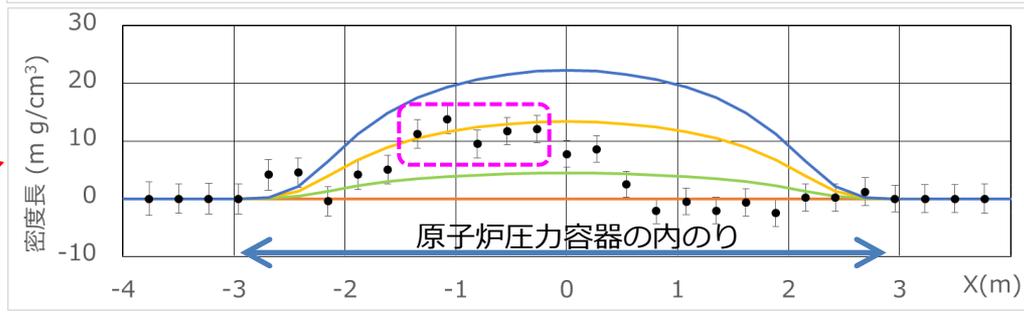
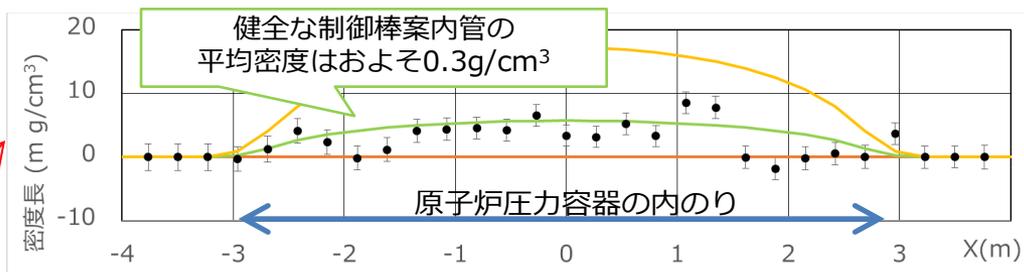
原子炉圧力容器の内りの物質分布 (容器内壁より内側の領域)

原子炉圧力容器底部 (上部付近)

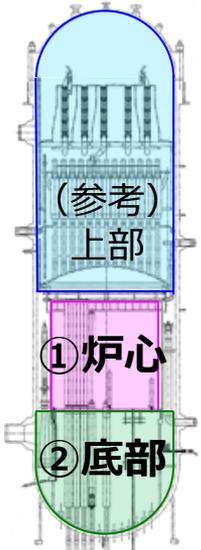
原子炉圧力容器底部 (底部ヘッド付近)



(エラーバーは統計的な誤差 (偶然誤差) のみを記載)



■ 原子炉圧力容器底部 (底部ヘッド付近) は、場所によって通常よりも多い物質が存在することを確認。



<定量評価結果>

(測定結果 2017年9月8日 時点)

	物質量 [ton]	誤差 [ton]		(参考) 事故前のおよその 物質量 [ton]
		偶然誤差	系統誤差	
(参考)原子炉圧力容器上部	約120	±約6	数十トン	約80 (炉内構造物)
① 炉心域	約30	±約3		約160 (燃料集合体) 約15 (制御棒) 約35 (炉内構造物)
② 原子炉圧力容器底部	約90	±約5		約35 (構造物) 水の影響は非考慮

<燃料デブリ分布の評価>

- ① 炉心域の物質量は大きく減少している。構造物を含め燃料の多くが下方に移行したものと考えられる。燃料デブリの大きな塊はないものと想定される。
- ② 原子炉圧力容器底部は、事故前の物質量と比較して増加。不確かさはあるものの、一部の燃料デブリが残っている可能性がある。

<系統誤差の評価>

検出器が測定対象物の位置を特定する際の分解能の限界により生じる誤差などを見積もった結果として、±15～±25トン程度という結果を得ている。

ただし、コンクリート内の鉄筋の影響や事故後敷設した設備の寄与など、シミュレーションで再現しきれていない要素の影響により、さらに数倍程度の系統誤差があると評価している。

- 原子炉建屋を透過するミュオンの測定により、格納容器外周の遮へいコンクリート、使用済燃料プール、原子炉建屋の壁などの主要な構造物を確認した。

- 3号機ミュオン透過法測定による原子炉圧力容器内の燃料デブリ分布の評価結果は以下の通り。
 - もともとの炉心域には燃料デブリの大きな塊は存在していない。

 - 原子炉圧力容器の底部には、不確かさはあるものの、一部の燃料デブリが残っている可能性がある。

- 今回の評価結果は、格納容器内部調査などで得られたその他の知見とあわせて、今後の燃料デブリ取り出しに向けた取り組みに活用していく。

(参考) 1～3号機のミュオン測定結果と、燃料デブリ分布の推定との比較

ミュオン測定結果	1号機	2号機	3号機
		<ul style="list-style-type: none"> 炉心域に燃料デブリの大きな塊はなし (原子炉圧力容器底部の測定はなし) 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器底部に燃料デブリと考えられる高密度の物質を確認 炉心域にも燃料が一部存在している可能性あり

↓ 結果を燃料デブリ分布の推定に反映

↓ 結果を燃料デブリ分布の推定に反映

↓ 今後、格納容器内部調査やミュオン測定などで得た知見を燃料デブリ分布の推定に反映予定

現状の燃料デブリ分布の推定 (※)	1号機	2号機	3号機
		<ul style="list-style-type: none"> 溶融した燃料がほぼ全量が格納容器に落下し、元々の炉心部にはほとんど燃料が存在しない 	<ul style="list-style-type: none"> 溶融した燃料のうち、一部は原子炉圧力容器下部プレナムおよび格納容器へ落下し、燃料の一部は元々の炉心部に残存 3号機は2号機よりも多くの燃料デブリが格納容器に落下していると推定

※ 「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）」(IRID, IAE) 第2回福島第一廃炉国際フォーラム講演資料より抜粋 (<http://ndf-forum.com/program/day2.html>, 2017年7月3日)