

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			6月					7月					8月					9月		10月		備考																														
			26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23																																			
RPV/PCV健全性維持		<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【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 <ul style="list-style-type: none"> ・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) <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【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 <ul style="list-style-type: none"> ・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) 	検討・設計	【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																															
			現場作業	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		<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【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) ○2号機ミュオン透過法による測定(継続) <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【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) ○2号機ミュオン透過法による測定(継続) 	検討・設計	【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																																				
			現場作業	2号機 ミュオン透過法 測定/評価																																																			
燃料デブリ取り出し準備	取出後の燃料デブリ安定保管	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 <ul style="list-style-type: none"> ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC1生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続) <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 <ul style="list-style-type: none"> ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC1生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続) 	検討・設計	【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 試験計画策定及び試材調達等					乾燥挙動評価試験					粉化挙動評価試験					試験計画の作成及び調整(CEA)					・MCC1生成物の特性評価 試験準備(試験条件の調整含)					・分析に必要な要素技術開発 計画策定及び試材調達等					デブリ化学分析の検討試験																
			現場作業																																																				
燃料デブリ臨界管理技術の開発		<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・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) <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・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) 	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発					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(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)					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、未臨界度推定アルゴリズムの実証試験方法検討)					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(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)					溶解性中性子吸収材(水張り前のホフ酸水置換方法検討、ホフ酸水適用時の水質管理方法の検討)						
			現場作業																																																				
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"> ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 	検討・設計	燃料デブリ収納缶取扱いプロセス(取出し～保管)における課題抽出・整理																																																			
			現場作業	内部構造、安全評価手法検討																																																			

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

2016年7月28日

TEPCO



東京電力ホールディングス株式会社

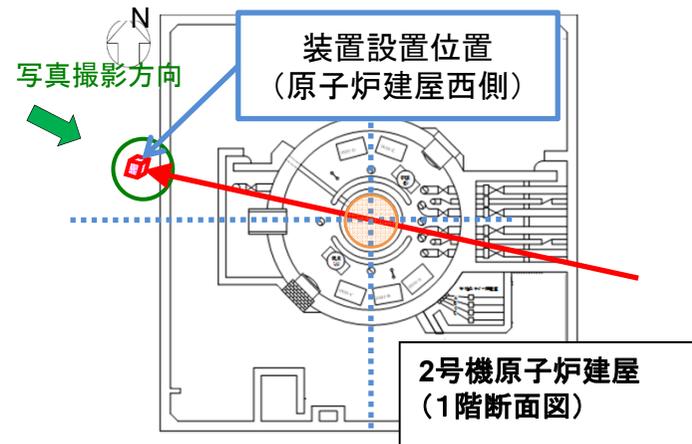
IRID

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。

- 国プロ「原子炉内燃料デブリ検知技術の開発」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。
- 2号機において平成28年3月～7月にミュオン透過法の測定を実施。その測定・評価結果を報告する。

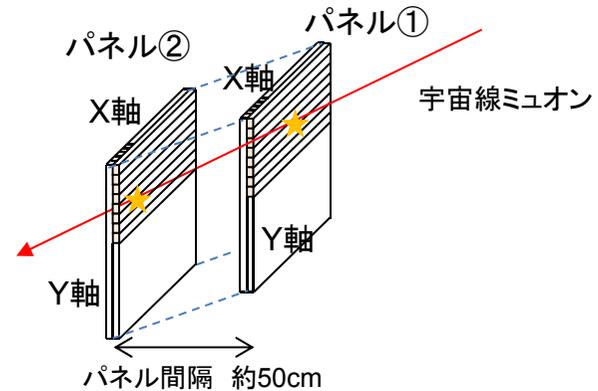


ミュオン測定装置設置
(小型装置, 約1m×1m×高さ1.3m)



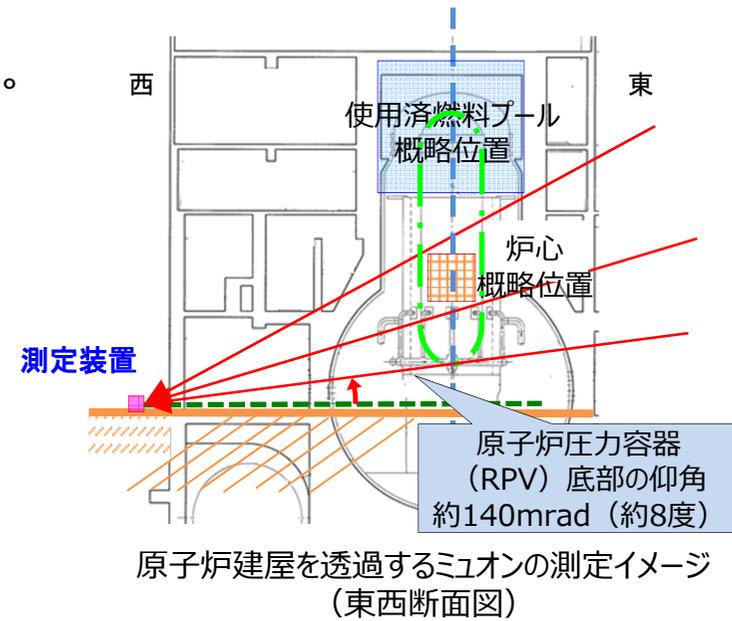
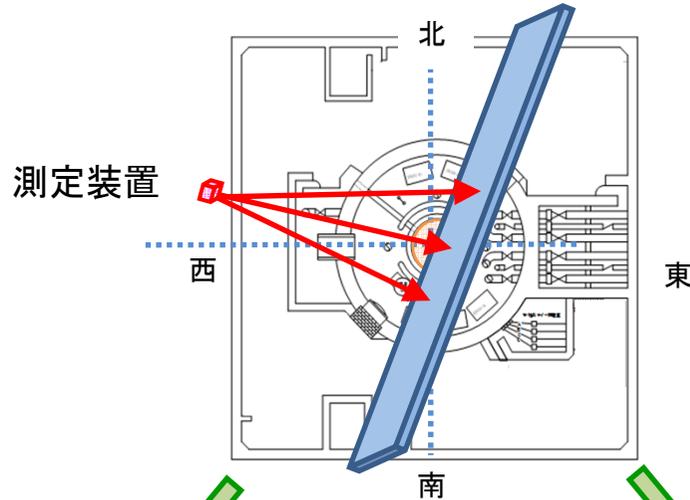
<ミュオン測定装置の計測原理 (イメージ) >

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。



2号機 ミュオン透過法測定

- 2号機の原子炉建屋を透過するミュオンを測定し、レントゲン写真のように炉心や圧力容器底部の燃料デブリを撮影。
⇒ 原子炉を通る断面上にイメージを投影



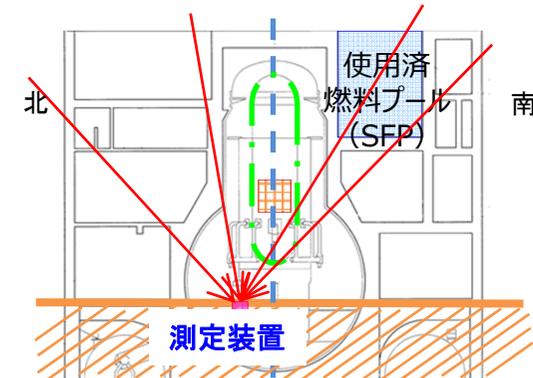
撮影画像のイメージ



シミュレーション (燃料有り)
 <解析条件>
 ・炉心域/圧力容器底部: 燃料有り
 ・SFP内: 満水

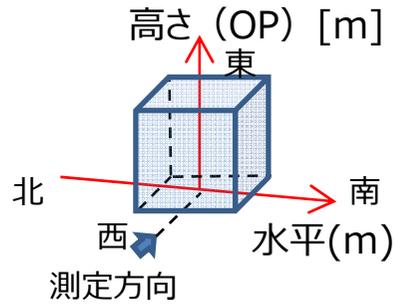


シミュレーション (燃料無し)
 <解析条件>
 ・炉心域/圧力容器底部: 燃料無し
 ・SFP内: 満水

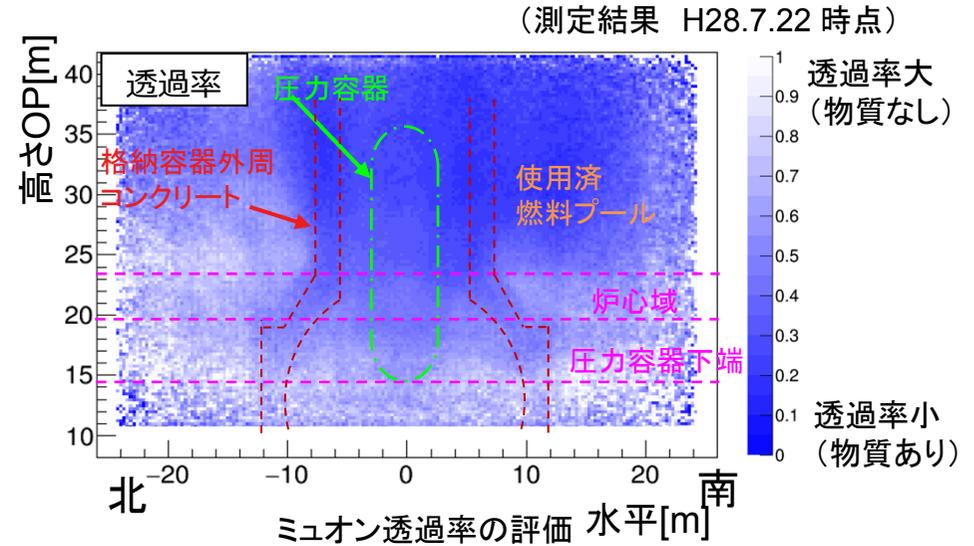


原子炉建屋を透過するミュオンの測定イメージ (南北断面図)

2号機 測定結果（ミュオン透過率、物質質量分布）



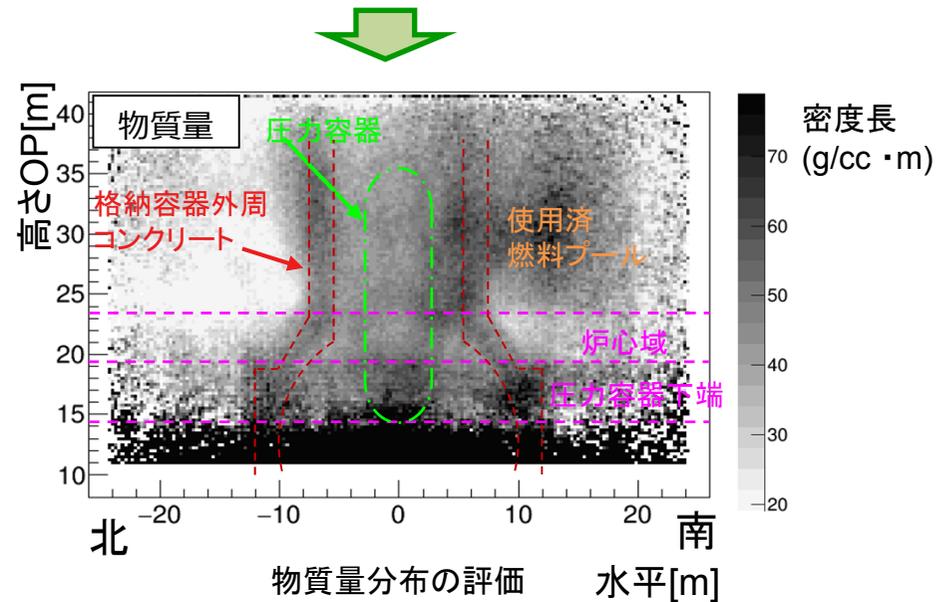
- 測定装置で検出したミュオンの数から、原子炉を透過するミュオンの透過率を算出
 - 格納容器外周のコンクリート、使用済燃料プールなど主要な構造物の影を確認。



上下方向のミュオンのエネルギー分布の違いによるミュオン透過率の角度依存性（全体に上の方が色が濃く見える傾向）をふまえ、ミュオン透過率から物質質量の分布（密度長）を評価

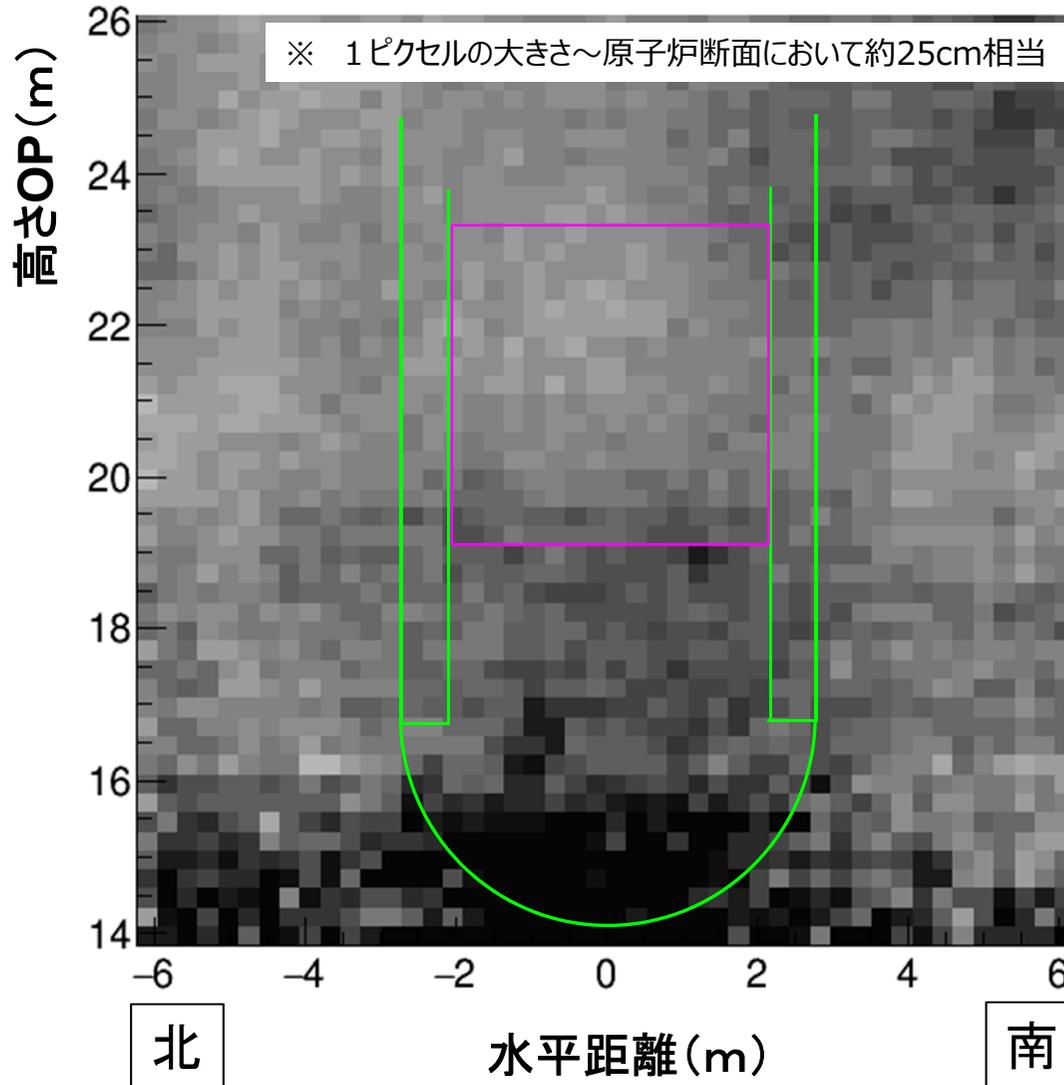
- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影※を確認。

※ 圧力容器底部と同等の高さ（OP14.3m付近）の格納容器外周のコンクリートの影が確認されており、有意な影であると考えられる。

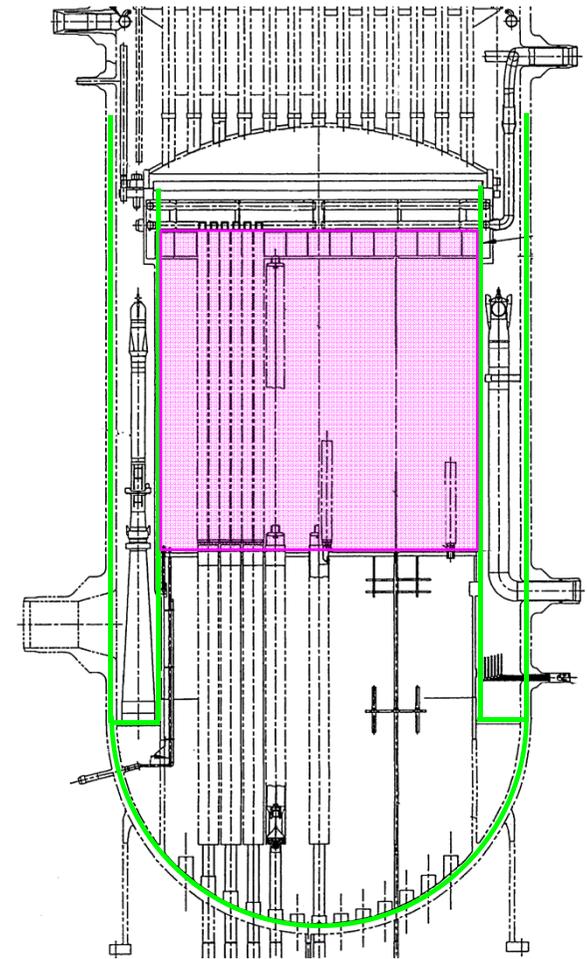


圧力容器下部における物質質量分布（圧力容器底部詳細）

- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。



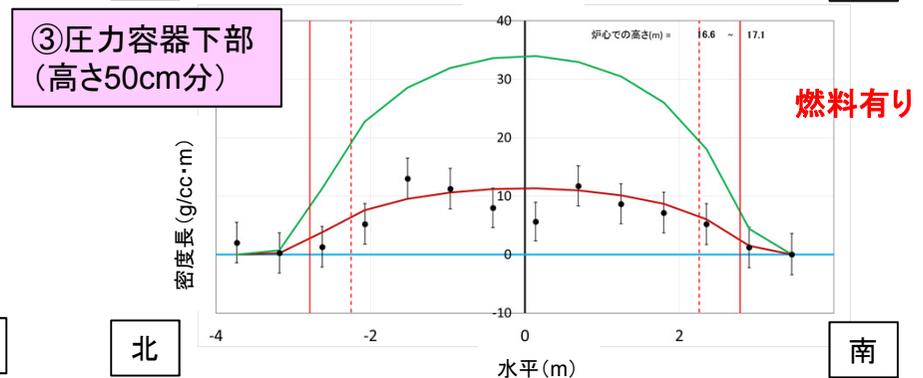
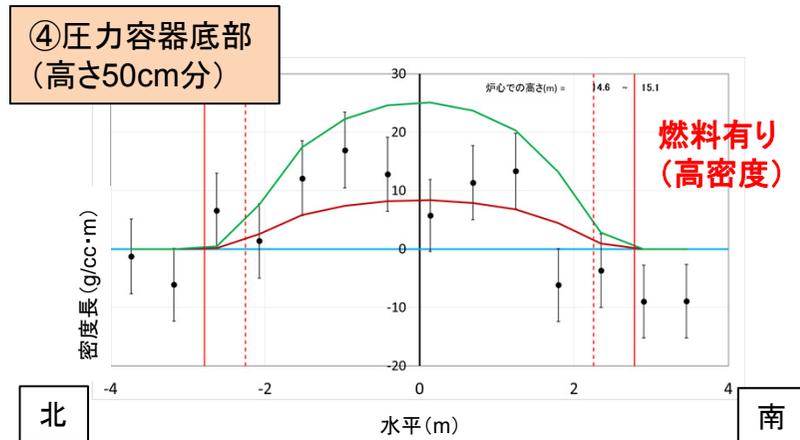
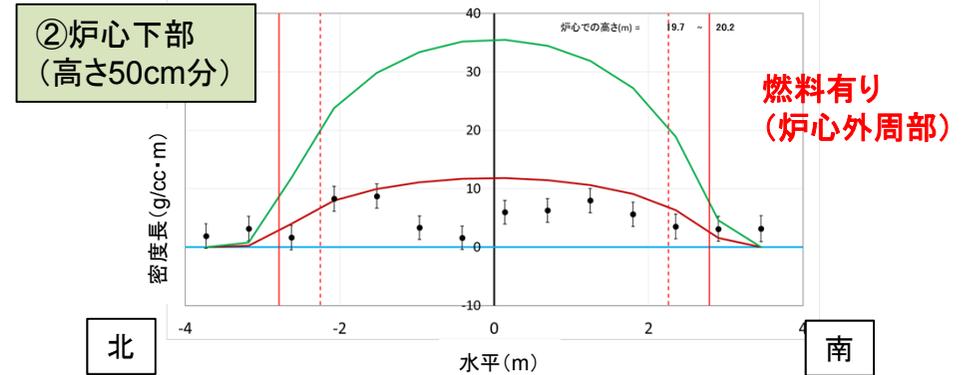
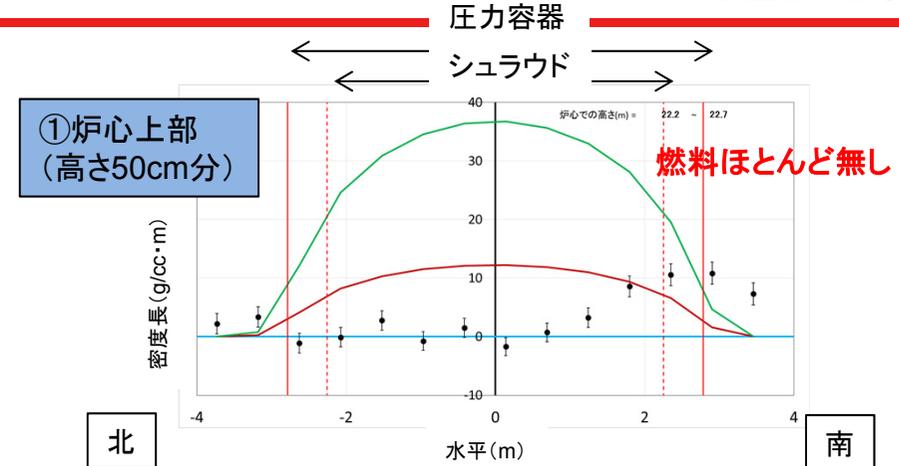
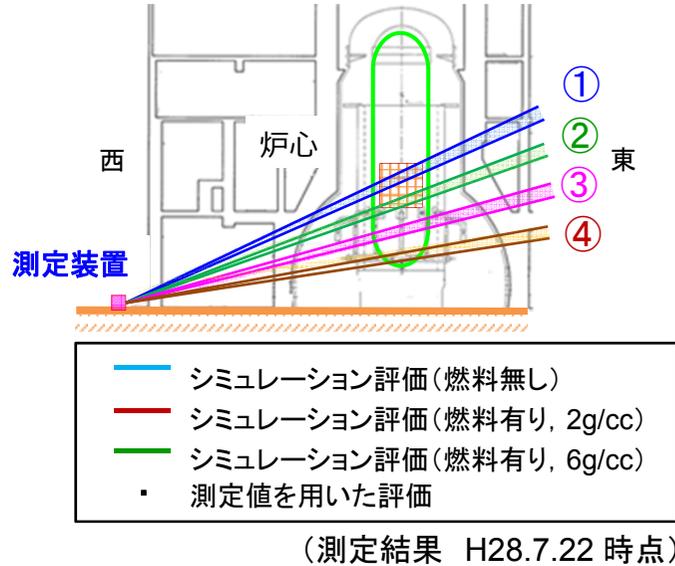
(測定結果 H28.7.22 時点)



圧力容器下部の構造

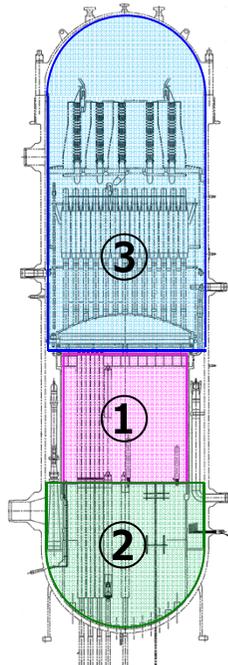
統計的手法による圧力容器内の物質量分布評価

- シミュレーションと測定されたミュオン計測数の比較により、圧力容器内の物質量の分布を評価。



■ ミュオン測定結果から圧力容器内の物質量を定量評価

- 2次元的な測定情報から、原子炉建屋の構造の影響などを考慮し、圧力容器内に存在する物質量を評価



<定量評価結果>

(測定結果 H28.7.22 時点)

	評価結果 [ton]		(参考) 事故前の物質量※ [ton]
① 炉心域 (シュラウド内)	約20~50	評価結果の 不確かさ ~数十トン程度	約160 (燃料集合体) 約15 (制御棒)
② 圧力容器底部	約160		約35 (構造物) 水の影響は非考慮
合計 (①+②)	約180~210		約210
(参考) ③ 圧力容器上部	約70~100		約80 (構造物)

※ 設計上の重量。簡便のため、一部考慮していない構造物あり。
また、ミュオン測定は実際には斜めに見上げる方向に測定しているため、正確に一致するものではない。

■ 定量評価の結果から、燃料デブリの大部分は圧力容器底部に存在していると推定

- 2号機のミュオン透過法測定では、主要な構造体の影を確認。
 - 格納容器外周の遮へいコンクリートの影を確認。
 - 使用済燃料プールの位置に影を確認。
 - 原子炉建屋の壁や床などの建造物の影を確認。

- 得られたデータを評価した結果、圧力容器底部に燃料デブリと考えられる高密度の物質が存在していることを確認。
 - 定量評価からは、燃料デブリの大部分が圧力容器底部に存在していると推定

- また、シミュレーションとの比較による評価からは、炉心下部及び炉心外周域にも燃料と思われる高密度の物質が若干存在している可能性。
(ただし、評価には原子炉建屋の構造体の影響などによる不確かさが残る。)

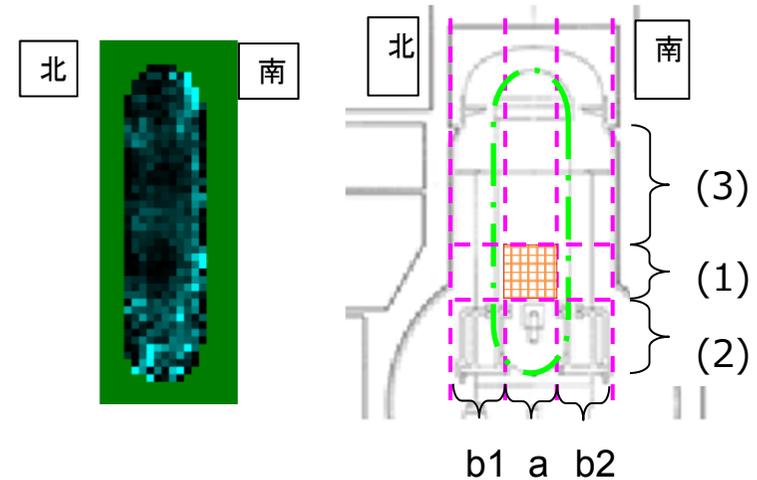
(参考)圧力容器内の物質量の定量評価の手法と結果詳細

■ ミュオン測定結果から圧力容器内の物質量を定量的に推定。

- 評価では、原子炉建屋の壁や床などの構造物の影響を考慮する必要

手法①	シミュレーションとの比較による物質量の評価
手法②	測定値を用いた近似的評価
⇒ 燃料が存在すると想定される領域(a)の物質量と燃料が存在しない領域(b1※1)の物質量の差分から炉内の物質量を評価	

※1 b2領域は一部使用済燃料プールと重なるため、本手法による評価には適さない



①シミュレーションとの比較による物質量の評価

②測定値を用いた近似的評価

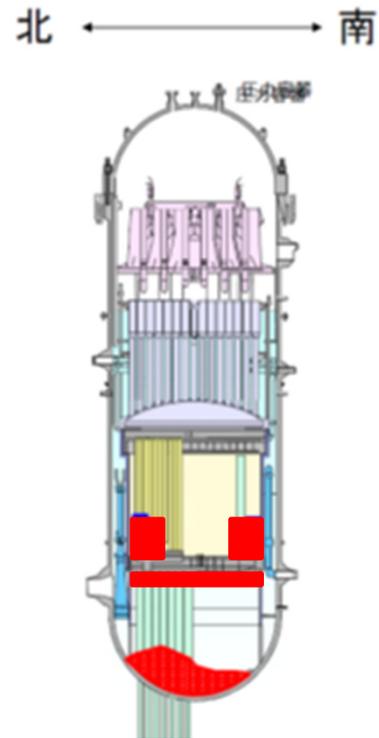
<定量評価結果>

(測定結果 H28.7.22 時点)

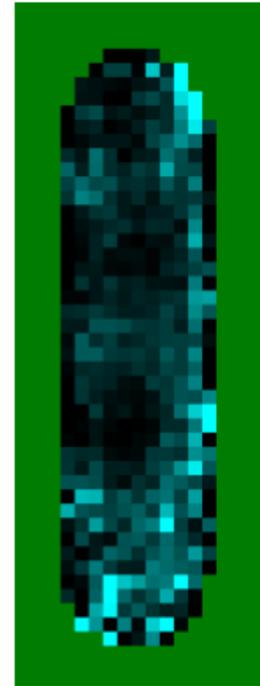
	手法①による評価結果 [ton]			手法②による評価結果 [ton]		
		評価誤差			評価誤差	
		統計誤差	系統誤差		統計誤差	系統誤差
(1) 炉心域 (シュラウド内)	49.0※2	±4.7	±32.7	17	±4	±17
(2) 圧力容器底部	159.2	±9.4	±50.8	161	±10	±52
(3) 圧力容器上部	95.5	±5.8	±28.8	73	±4	±29

※2 圧力容器内の物質量評価値(89.0ton)からシュラウド等の構造物量(約40ton)を差し引いた値

(参考) 2号機ミュオン透過法測定の結果から推定される燃料デブリ分布 (イメージ)



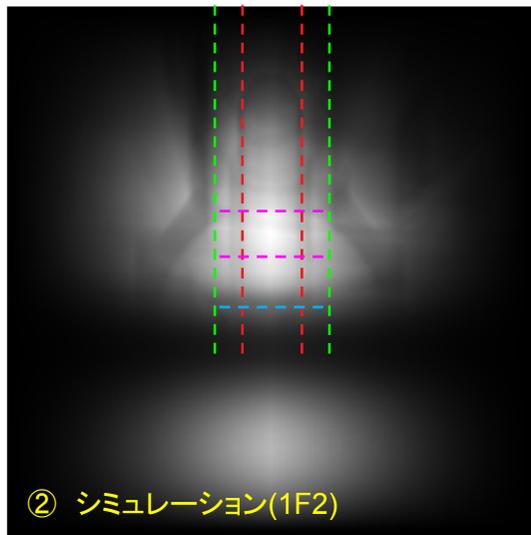
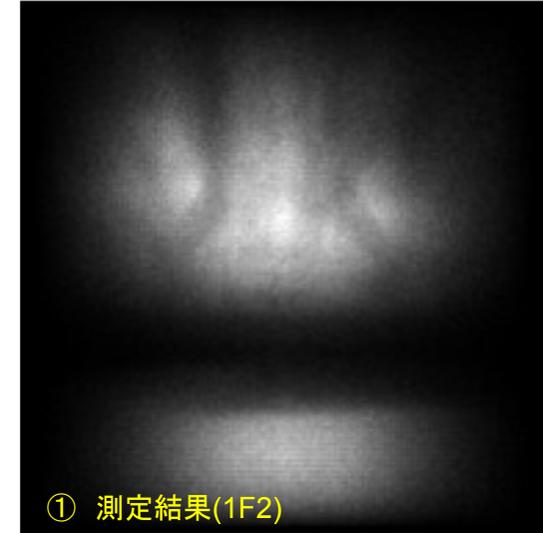
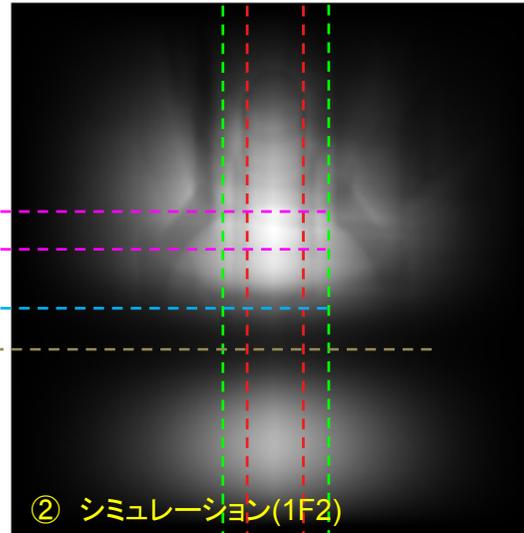
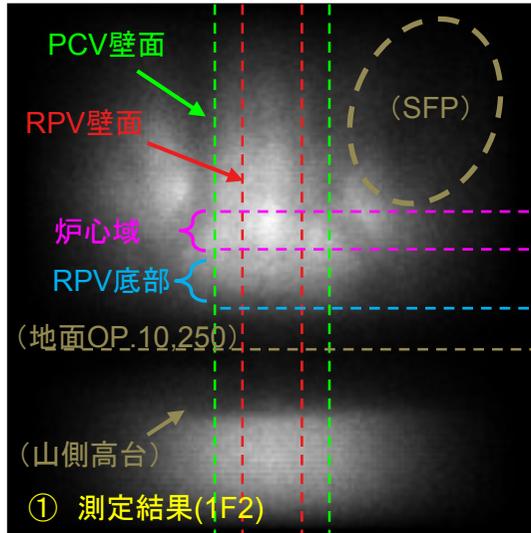
RPV内燃料デブリ分布
(イメージ)



RPV内密度分布
(シミュレーションとの比較による評価)

(参考) ミュオン測定結果 (補正※前)

測定結果(H28.7.22時点)



※ アクセプタンス・フラックス補正
ミュオン透過法装置は、中心部分のミュオンの計測数が多くなる特性があり、画像として中心部が明るく、外周が暗く写る(右図)。ミュオン透過率の評価では、これを補正している。

