

資料1-6

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29日



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。

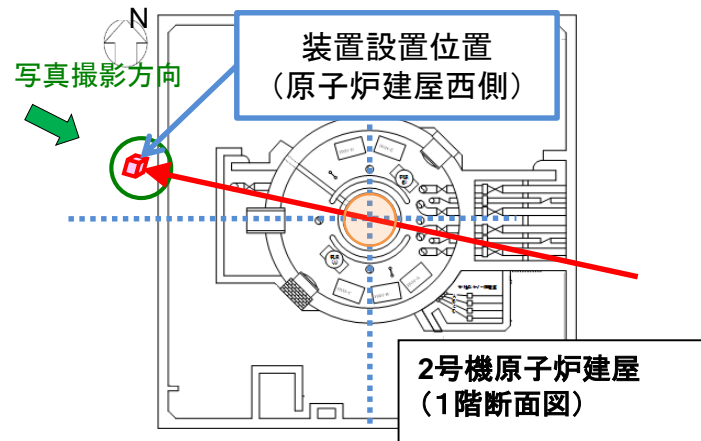
TEPCO

概要

- 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2016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。

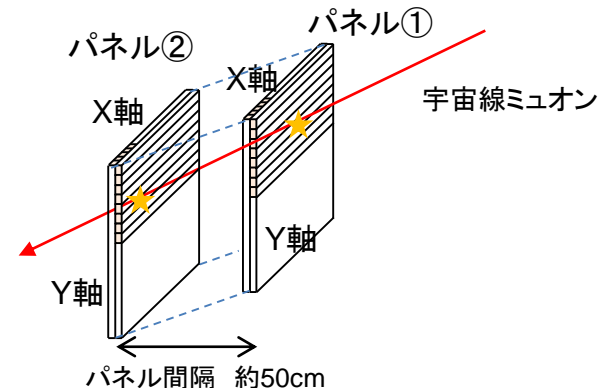


ミュオン測定装置設置
(小型装置, 約1m×1m×高さ1.3m)



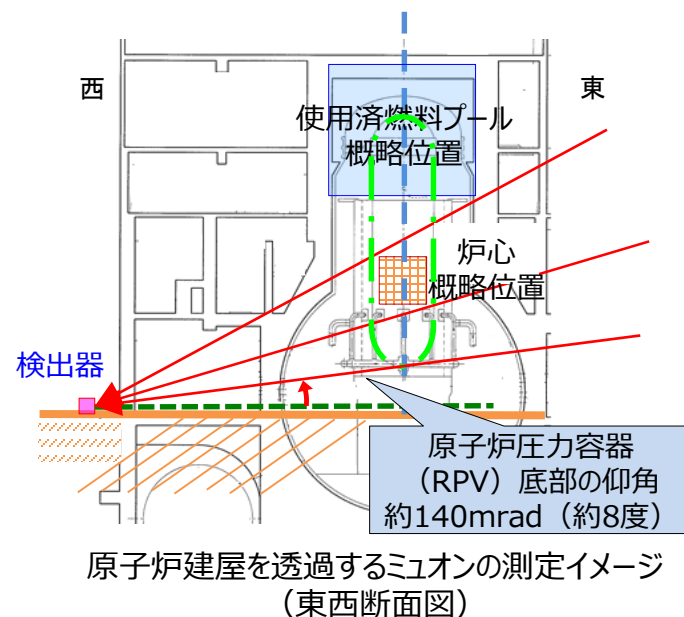
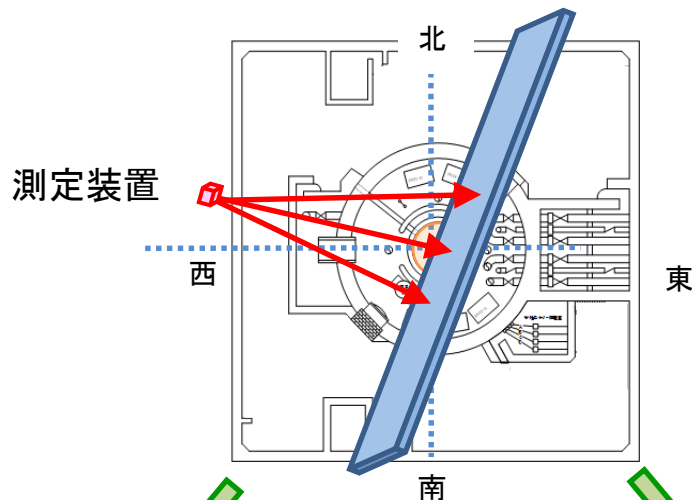
<ミュオン測定装置の計測原理 (イメージ)>

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>

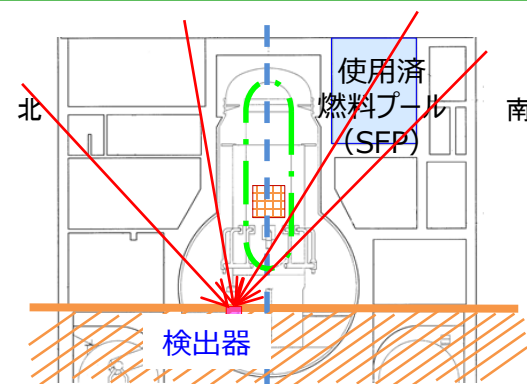
- ・炉心域/圧力容器底部: 燃料有り
- ・SFP内: 満水

シミュレーション
(燃料無し)



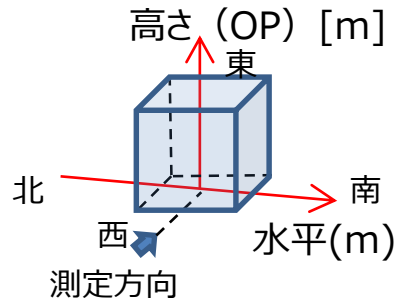
<解析条件>

- ・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)



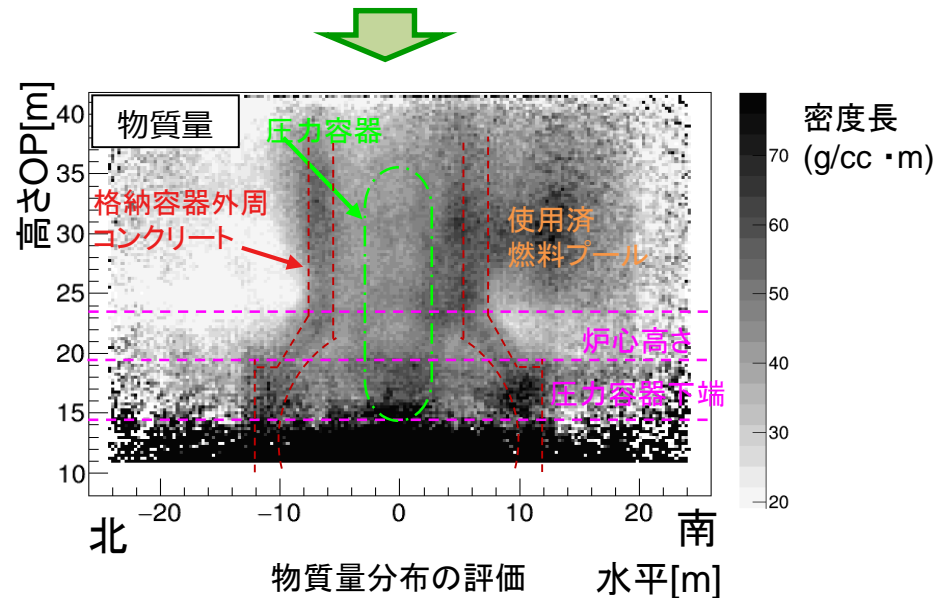
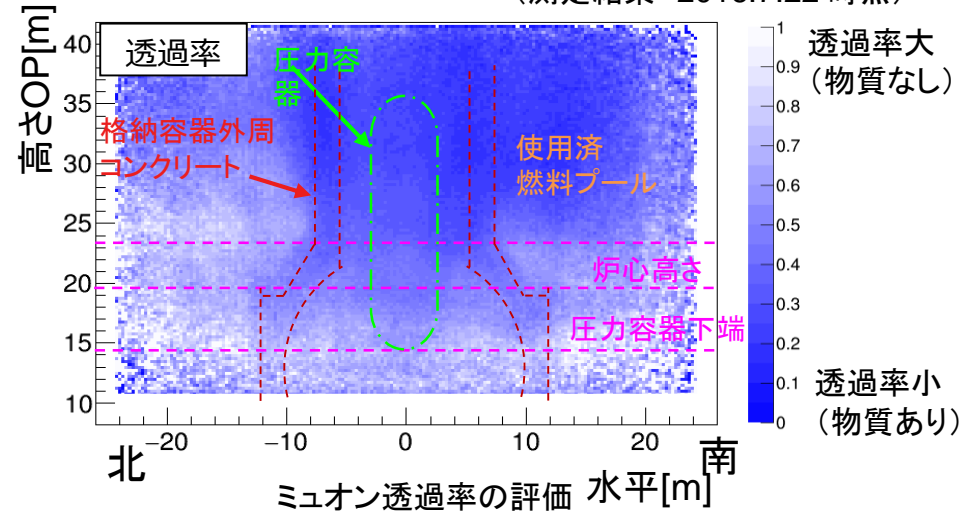
- 測定装置で検出したミュオンの数から、原子炉を透過するミュオンの透過率を算出
 - 格納容器外周のコンクリート、使用済燃料プールなど主要な構造物の影を確認。

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。

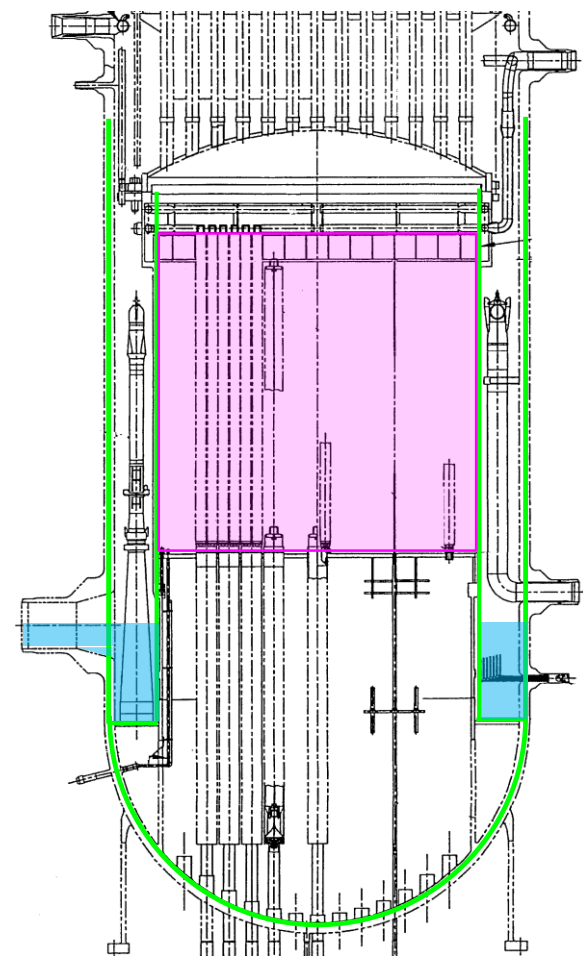
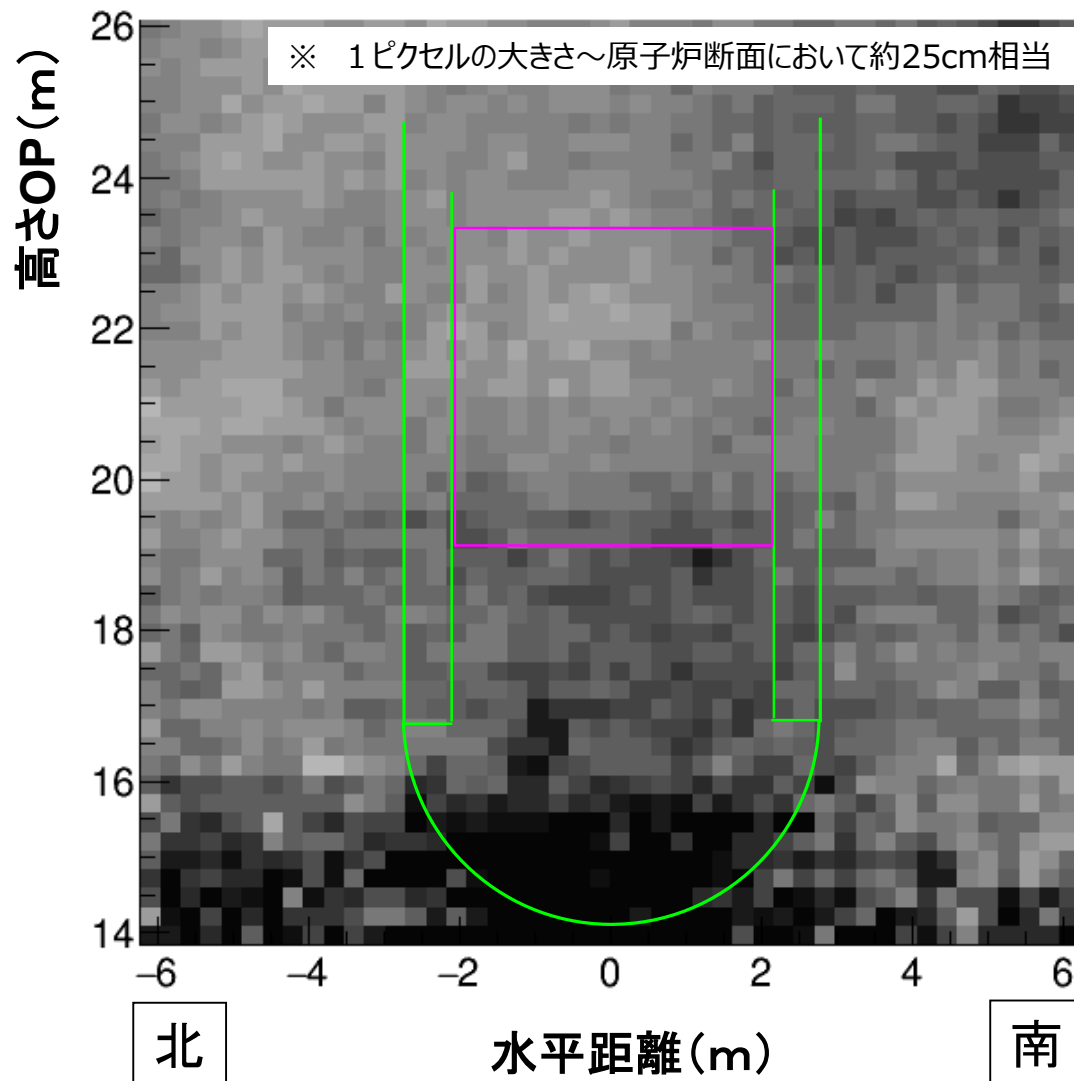
(測定結果 2016.7.22 時点)



圧力容器下部における物質質量分布(圧力容器底部詳細)

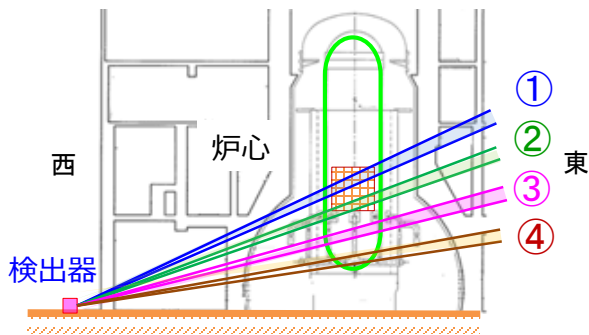
- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。

(測定結果 2016.7.22 時点)



圧力容器下部の構造

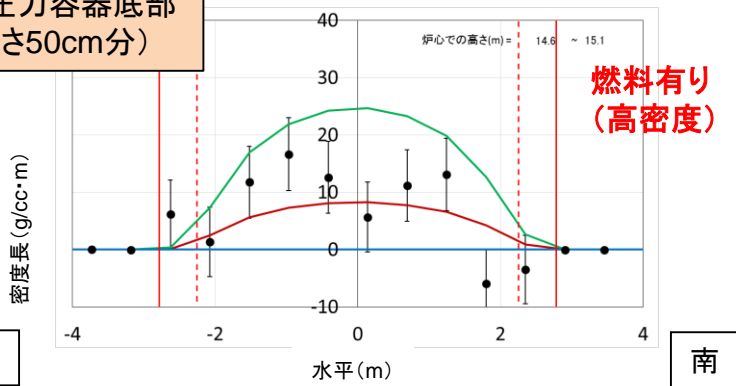
- シミュレーションと測定されたミュオン計測数の比較により，圧力容器内の物質量の分布を評価。



- シミュレーション評価 (燃料無し)
- シミュレーション評価 (燃料有り, 2g/cc)
- シミュレーション評価 (燃料有り, 6g/cc)
- 測定値を用いた評価

(測定結果 2016.7.22 時点)

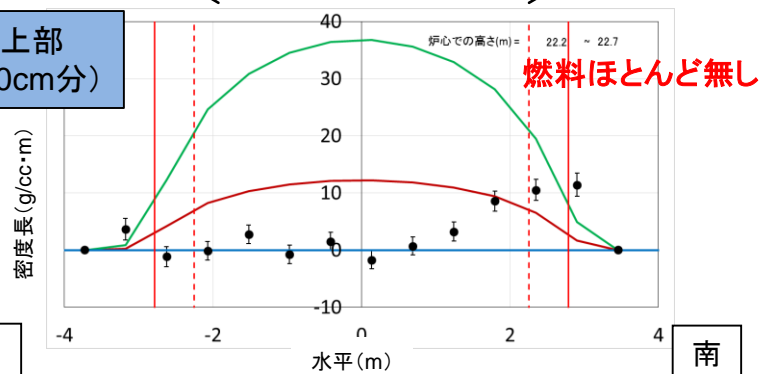
④ 圧力容器底部 (高さ50cm分)



北

南

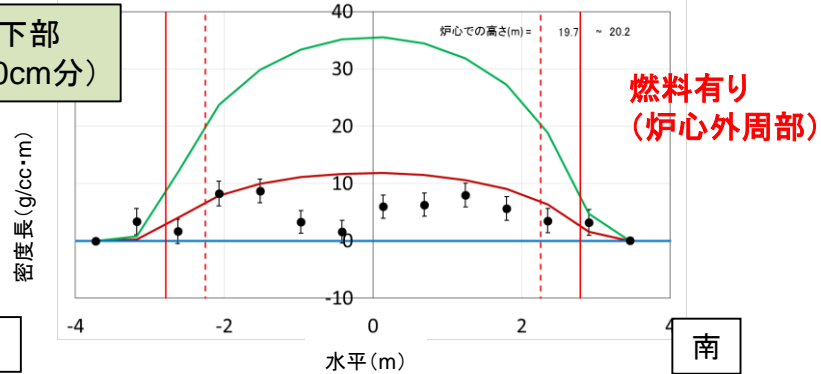
① 炉心上部 (高さ50cm分)



北

南

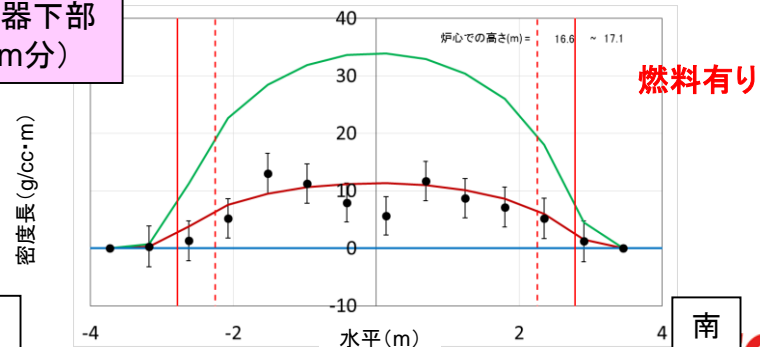
② 炉心下部 (高さ50cm分)



北

南

③ 圧力容器下部 (高さ50cm分)



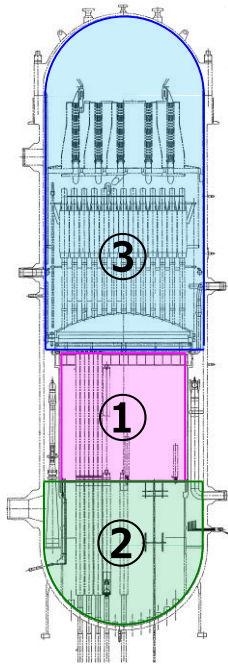
北

南

圧力容器内の物質量の定量評価

■ 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 2016.7.22 時点)

	評価結果 [ton]		(参考) 事故前の物質量※ [ton]
① 炉心域 (シユラウド内)	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

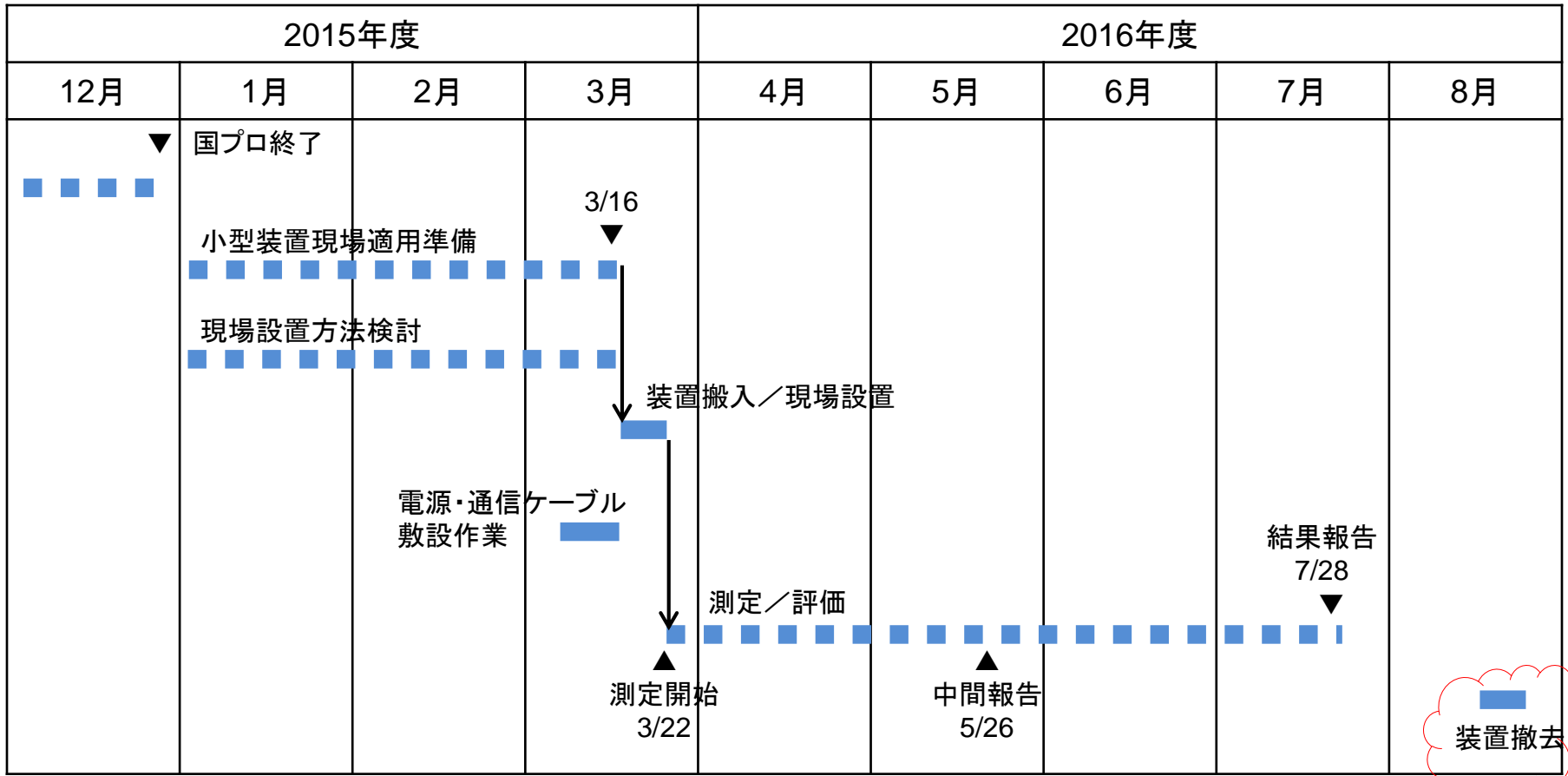
2号機 ミュオン透過法測定結果のまとめ

- 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構造物の影を確認。

- 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。)

現在の2号機ミュオン透過法測定の概略工程



現場状況にあわせ撤去予定
(他工事とヤード工程調整中)

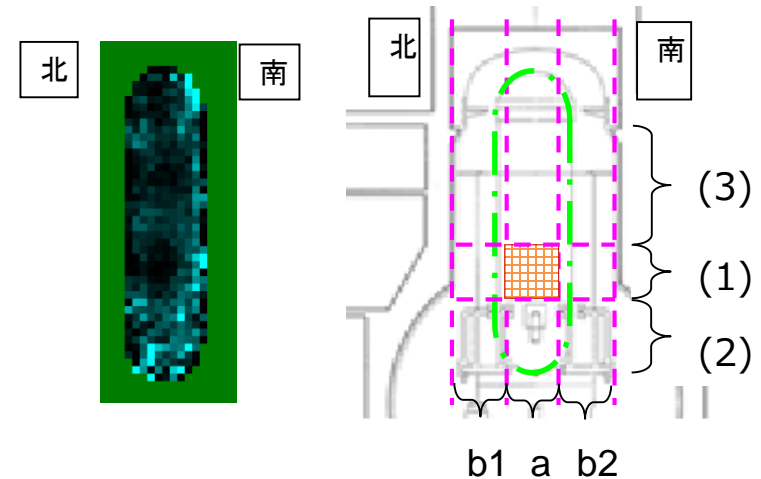
(参考)圧力容器内の物質量の定量評価の手法と結果詳細

- 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

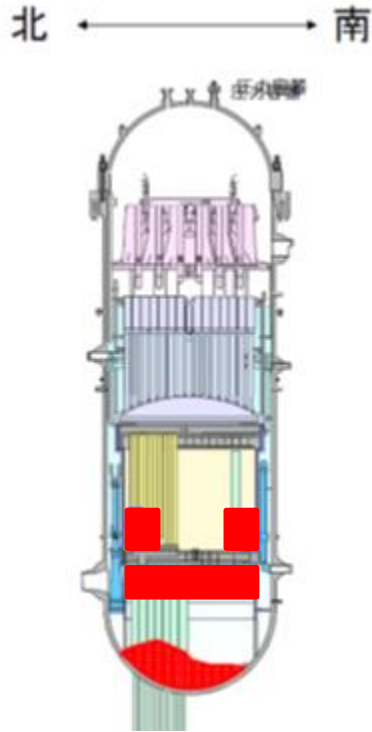
②測定値を用いた近似的評価

<定量評価結果>

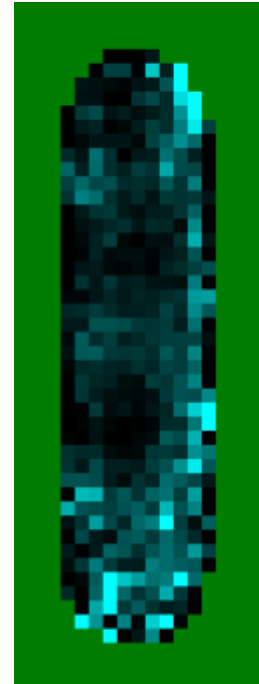
(測定結果 2016.7.22 時点)

	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



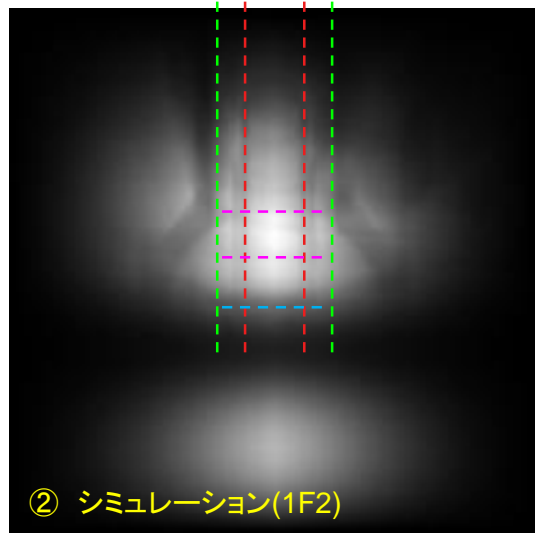
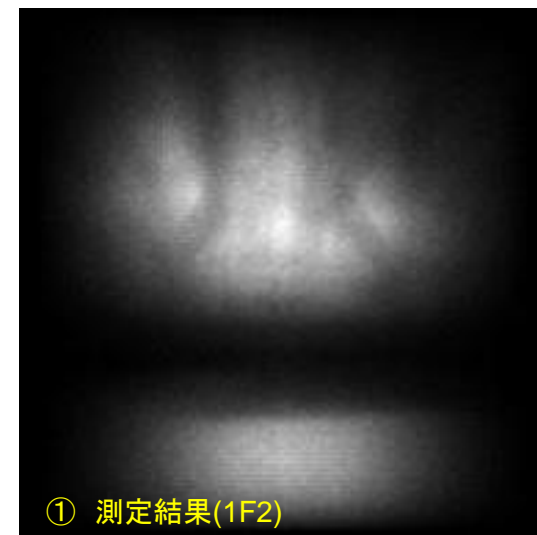
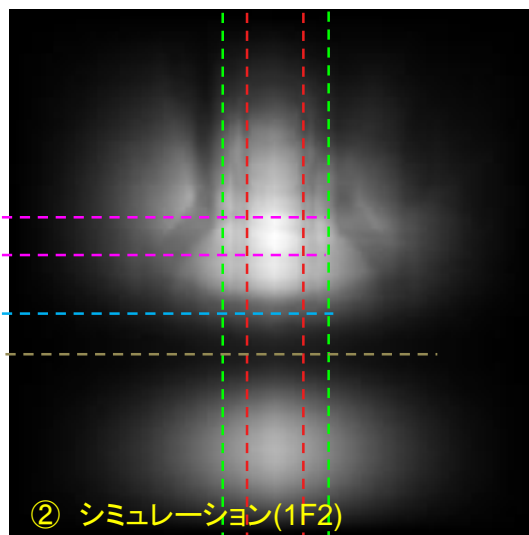
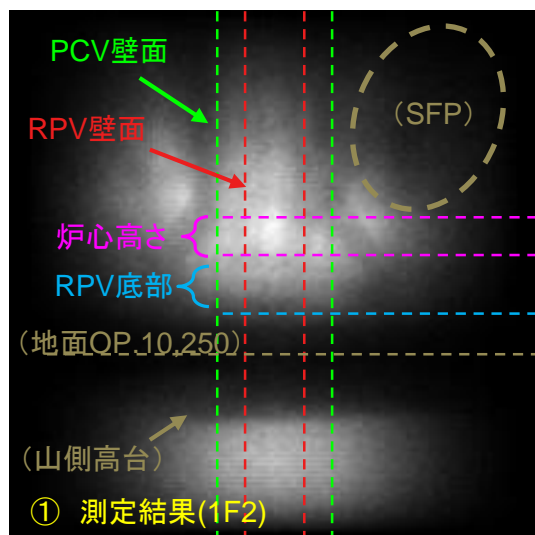
RPV内燃料デブリ分布
(イメージ)



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(2016.7.22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。

