

原子炉格納容器調査による炉内状況の推定

2015年9月11日

東京電力株式会社
滝沢 慎



東京電力

IRID

1. 実機調査の目的

炉内状況に関する実機調査※の目的は、事故進展解析による推定結果や実験等による推定結果と合わせて評価・検討することにより総合的な炉内状況把握に資することであり、さらには、取り出しまでの間の燃料デブリの安定状態の維持・管理及び燃料デブリ取り出し作業時の安全確保に資することである

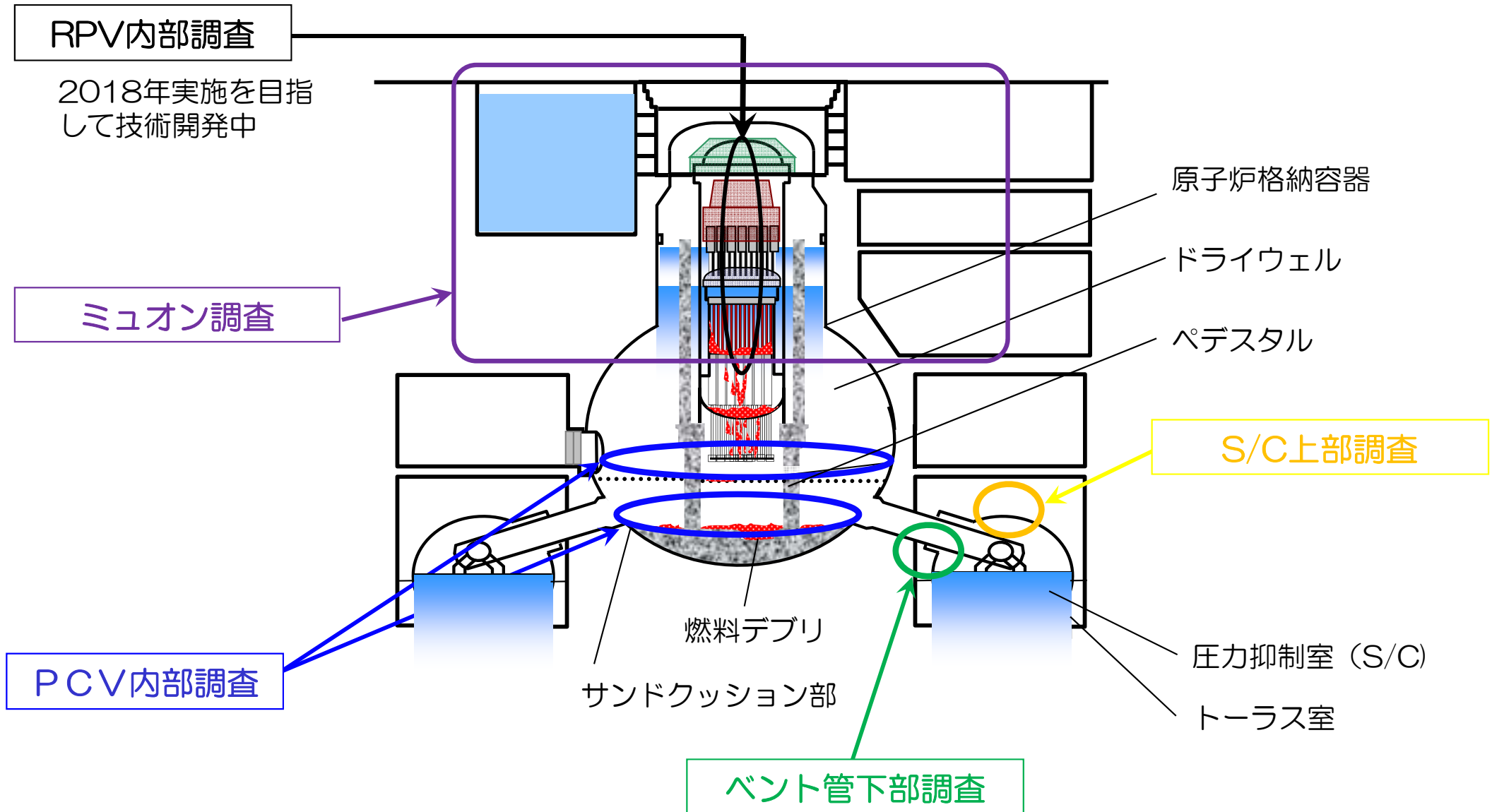
※原子炉格納容器（PCV）内部調査、原子炉圧力容器（RPV）内部調査、ミューオン調査等

2. 実機調査の主なニーズ

- は、2017年6月を目途に行われる燃料デブリ取り出し方針の決定のために早期に必要と考えられる情報であり、当面の実機調査の主な対象である。
- は■と合わせて、2018年上期までに行われる燃料デブリ取り出し方法を確定やその他の検討、作業に必要な情報である。

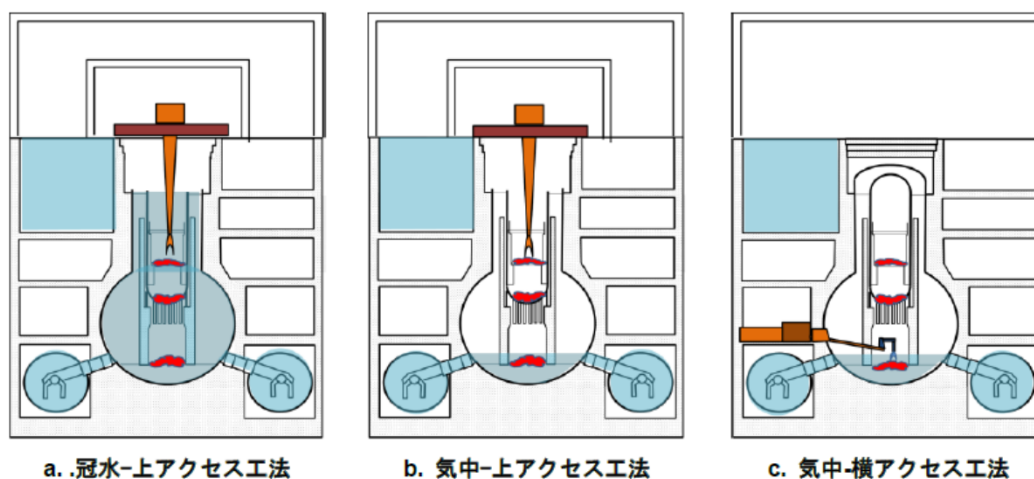
分類	主な必要情報		主な用途
	情報	部位	
線量・汚染	線量率	RPV内部、PCV内部	遮へい設計 炉内構造物取扱方法の決定 機器の耐放射線設計 等
デブリ分布	PCV内のペDESTAL内外のデブリの分布 ・デブリ位置/形状 ・デブリ冠水状況	ペDESTAL内、CRDハウジング、ペDESTAL外	燃料デブリ取り出し工法（例：横取り出し/上取り出し）の選定 臨界評価、燃料デブリ冷却状況評価 等
	RPV内のデブリ分布（量）、デブリ位置/組成/形状	炉心部、炉心下部、シュラウド等	臨界評価、燃料デブリ冷却状況評価 燃料デブリ取り出し装置設 等
格納容器バウンダリの状況	PCVバウンダリの状況、PCV及びサブプレッションプール（S/C）の水位	PCVシェル底部、S/C	燃料デブリ取り出し工法（例：冠水/気中）の選定、臨界評価、燃料デブリ冷却状況評価 等

3. 主な実機調査の調査部位



(参考) 燃料デブリ取り出しの戦略について

- 2017年6月目途に号機ごとの燃料デブリ取り出し方針を決定し、さらに2018年半ばに初号機の燃料デブリ取り出し方法を確定するとしている。(2015年6月12日、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議、中長期ロードマップ)
- 燃料デブリ取り出し方法の方針決定では、燃料デブリへのアクセス方法や格納容器の水位など、号機ごとにいくつかの組み合わせに絞り込むとしている。決定のためには、ペDESTAL外の燃料デブリ有無、RPV廻りの燃料デブリ有無、水位やアクセス方法等の調査・検討が必要としている。(2015年4月30日、NDF、技術戦略プラン2015)

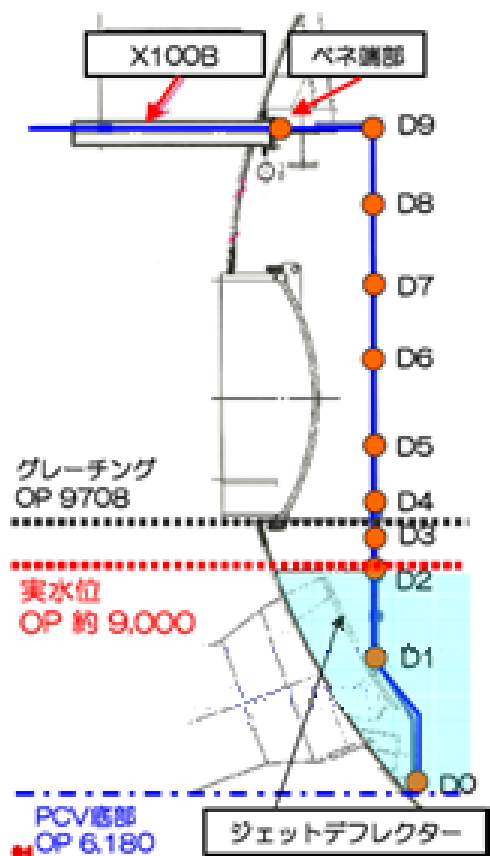


重点的に取り組む3つの燃料デブリ取り出し工法【イメージ】

- 燃料デブリ取り出し方法確定では、上記の方針を踏まえた研究開発や実機適用のための設計等のエンジニアリング作業を行って初号機の燃料デブリ取り出し方法を決定するとしている。

4. 1号機における調査（調査装置挿入によるPCV内部調査、S/C窒素封入試験）

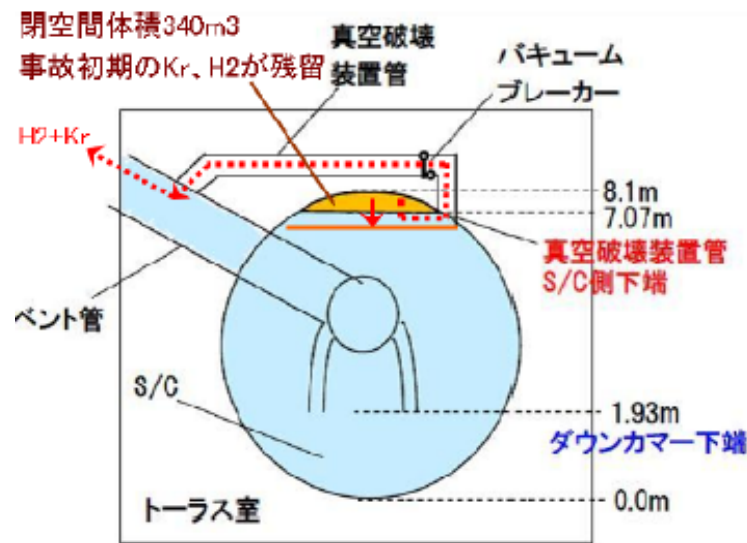
- 2012年10月※、調査装置をPCV貫通部（通称ペネ）から挿入することによりPCVの水位を約2.8mと確認した
- 2012年9月、S/Cへの窒素封入試験によりS/C内の水位はほぼ満水であることを確認した



PCV内部調査(2012.10)

ケーブル先端に取り付けたカメラ、線量計、温度計等をPCV貫通部（通称ペネ）から挿入して調査を実施した。

水位はケーブル送り出し量により測定した。



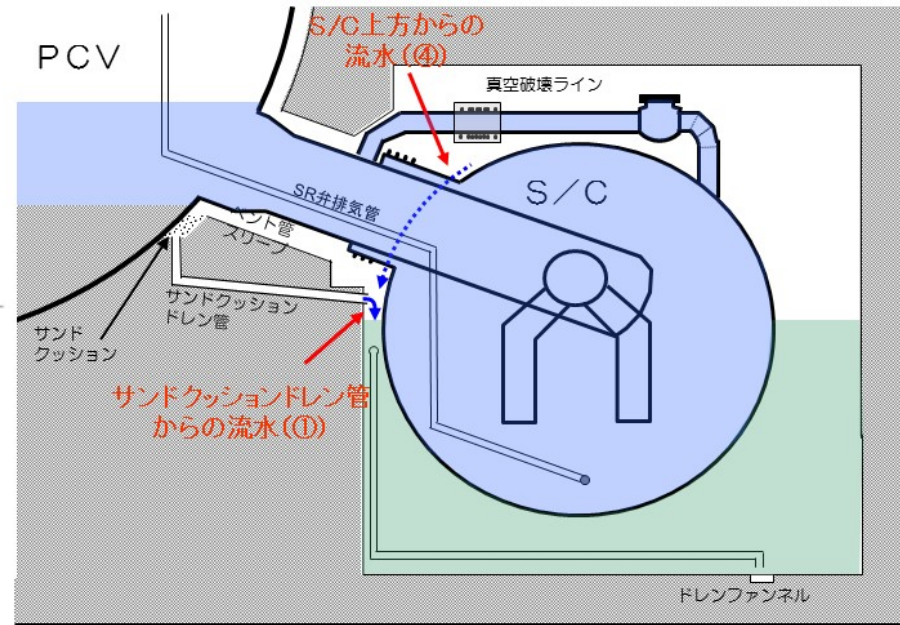
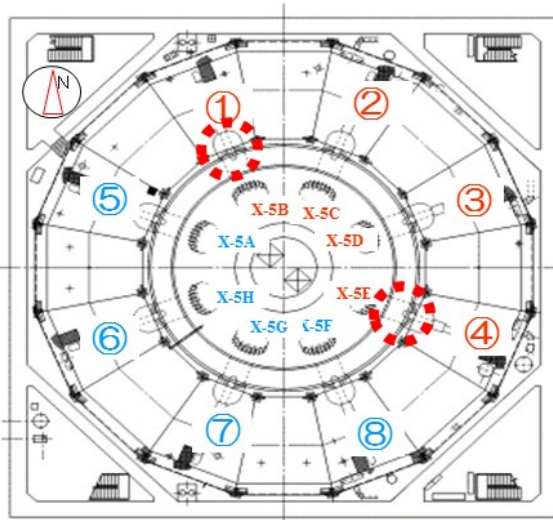
S/C窒素封入試験(2012.9)

ドライウェルにKr及び水素が定期的に放出される現象はS/C上部の真空破壊ラインからの放出と推定した。窒素封入試験を実施することで、この推定を実証した。

※複数回の類似の調査を実施したことがある。この場合、最初の調査の年月を示す。以降のページも同様

4. 1号機における調査（ベント管下部調査）

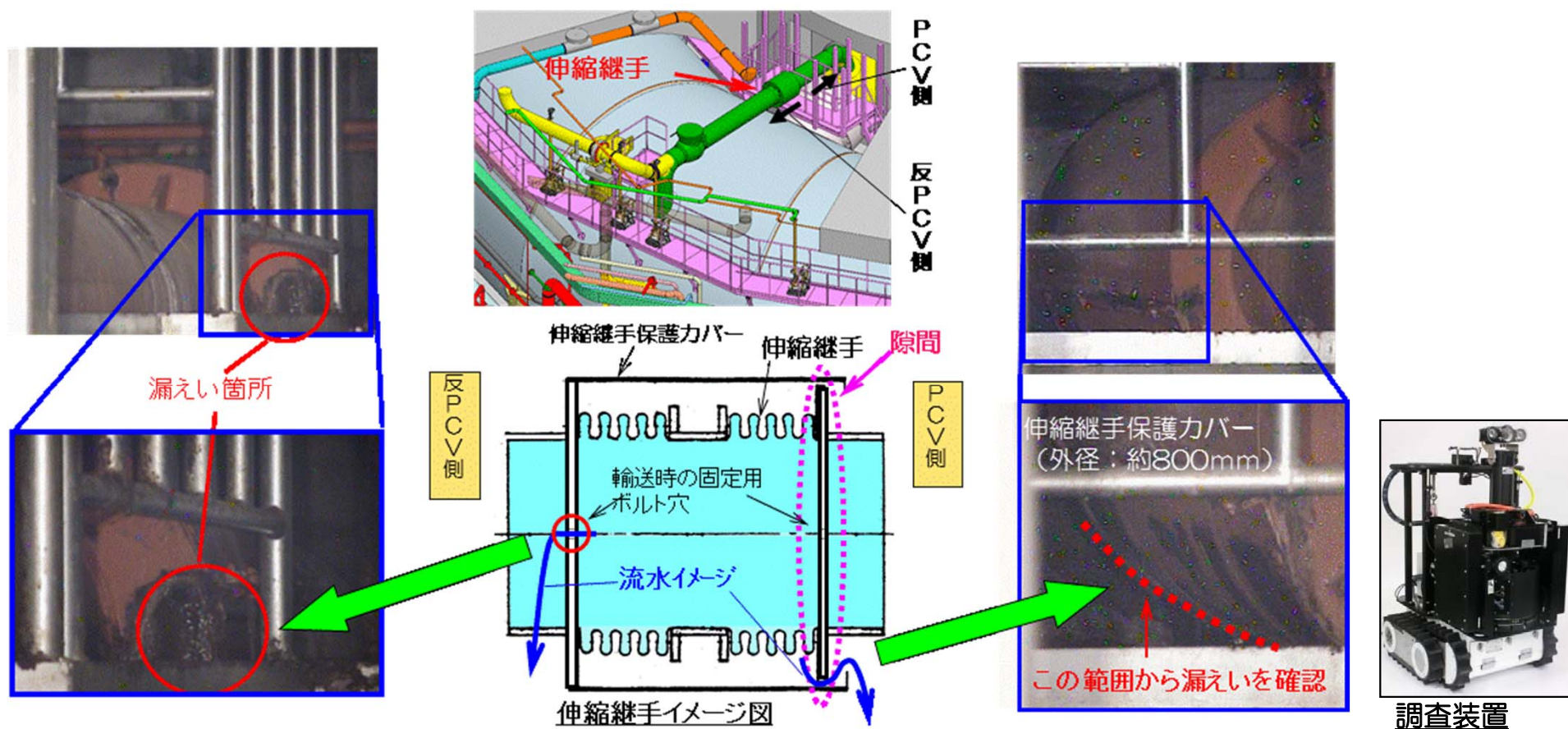
- 2013年11月、水上ボート型調査装置を用いて、トーラス室内のベント管下部について画像及び線量データを取得
- サンドクッションドレン管破損部からの流水（①）及びベント管両脇（④）からS/C表面をつたって流れる水流を確認
- サンドクッションからの漏えいは、ドライウェル部から直接の漏えいがある場合であり、PCVがPCV内に落下した燃料の影響を受けた可能性を示す
- 画像より漏えい量を推定すると、S/C表面 $0.74\sim 3.2\text{m}^3/\text{h}$ 、ドレン管 $0.15\text{m}^3/\text{h}$ 程度（参考：炉注水量 $4.4\text{m}^3/\text{h}$ ）



調査装置

4. 1号機における調査（S/C上部調査）

- 2014年5月、S/C上部調査装置により調査を行い、前頁④について真空破壊ラインの伸縮継手保護カバーからの漏えいを確認した
- 上記以外で真空破壊ライン、S/C上部の漏えいは見つからなかった

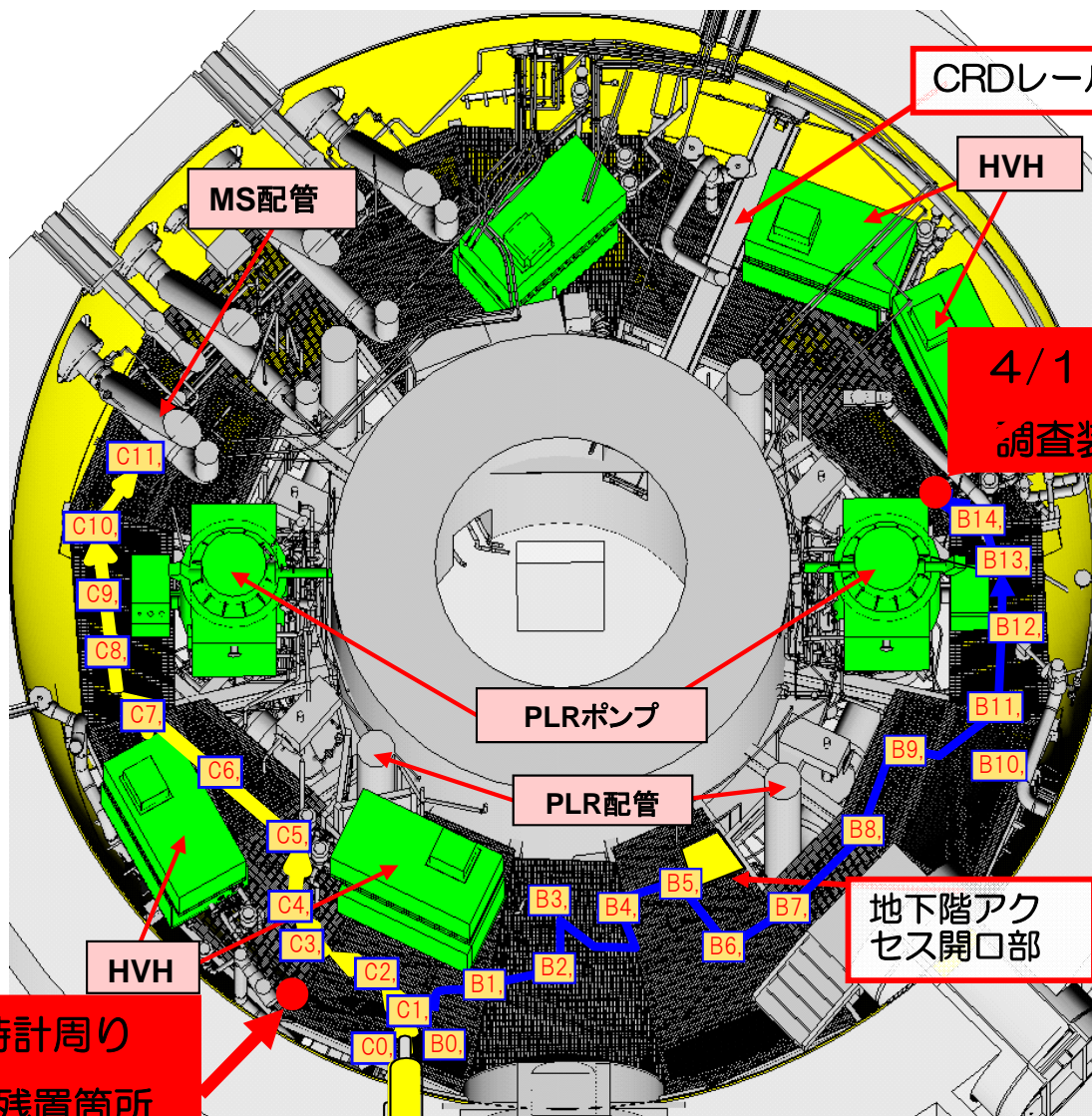


4. 1号機における調査（自走式調査装置によるPCV内部調査）（1/2）

■2015年4月、自走式調査装置を用いてPCV1階グレーチング上の調査を実施、画像、線量率、温度データを取得

- ➡ : アクセス実績ルート
（反時計周りルート）
- ➡ : アクセス実績ルート
（時計周りルート）

調査装置

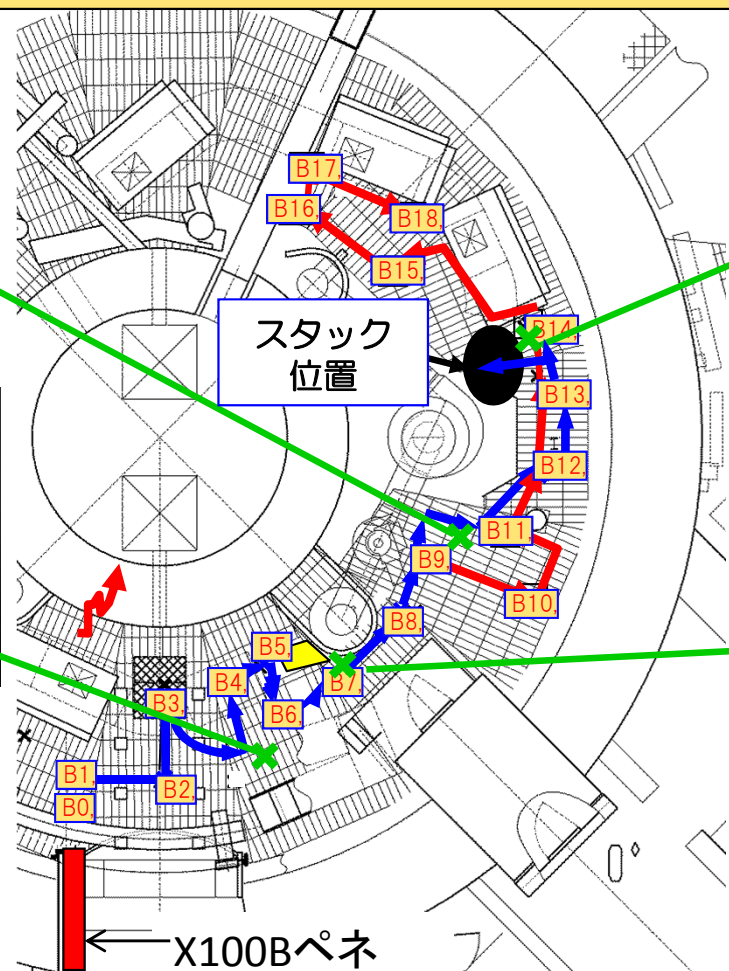


4/13反時計周り
調査装置残置箇所

4/20時計周り
調査装置残置箇所

4. 1号機における調査（自走式調査装置によるPCV内部調査）（2/2）

- 線量率：約5~10mSv/h 場所による明確な依存性は見られない
- 温度：約18~21℃ 場所による明確な依存性は見られない
- PCV1階グレーチング上の機器に目立った損傷は見られない
- 溶融した鉛らしきものが観察されたことから、PCVは鉛の融点（328℃）以上を経験したとみられる。他の落下物についても物の特定、経験温度の推定等を実施中



✕ 主な落下物

→ 計画ルート

→ 実績ルート (H27.4.10)

4. 1号機における調査（ミュオン調査）（1/3）

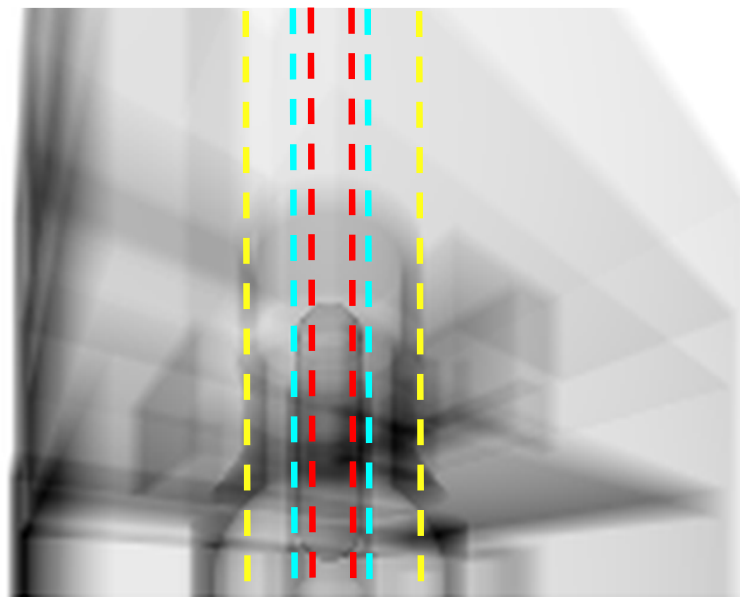
■2015年2月～5月、原子炉建屋の北側、北西コーナーに設置した測定機によりミュオンを測定した



測定器



4. 1号機における調査（ミュオン調査）（2/3）

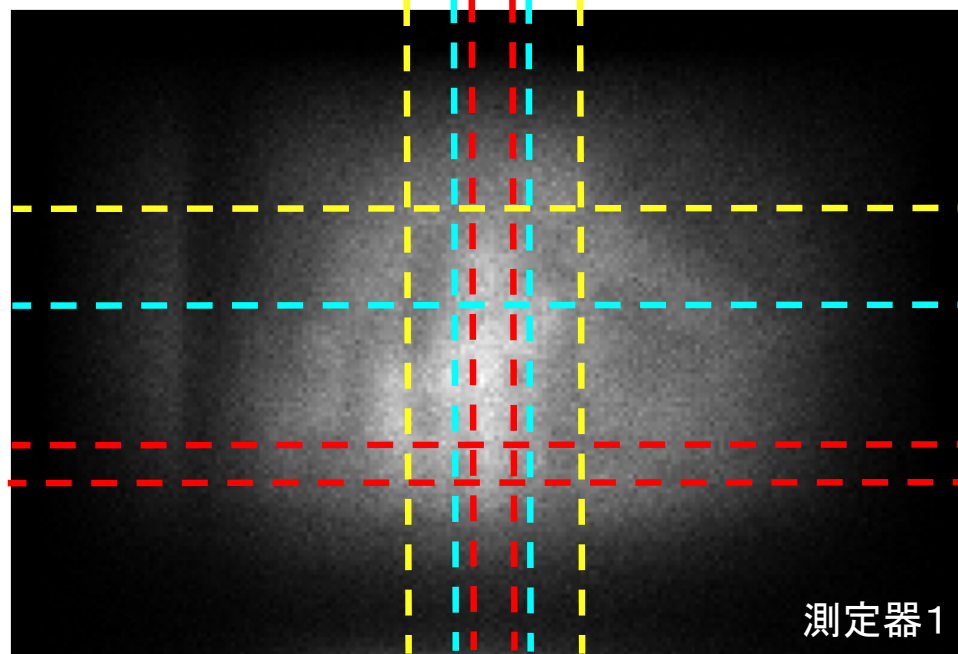


格納容器の境界

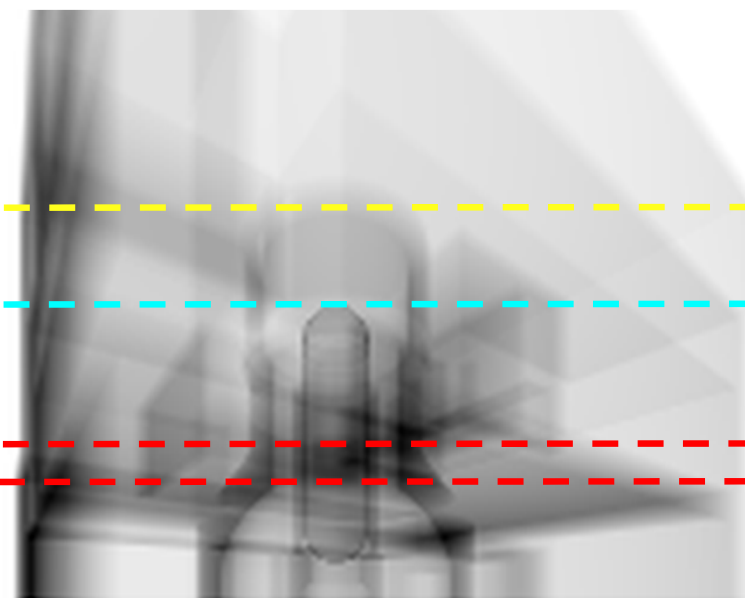
原子炉の境界

炉心の境界

- 鮮明ではないが、測定データでは、
図面から予想される、見えるべき
位置に機器等が確認できている
- また、格納容器・原子炉の境界も一致
- しかしながら、もともとの炉心位置には
高密度物質（燃料）を確認することが
できない

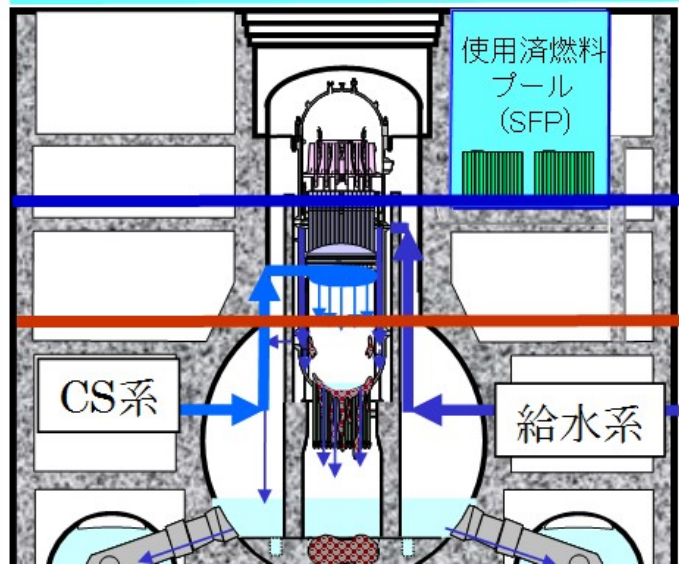
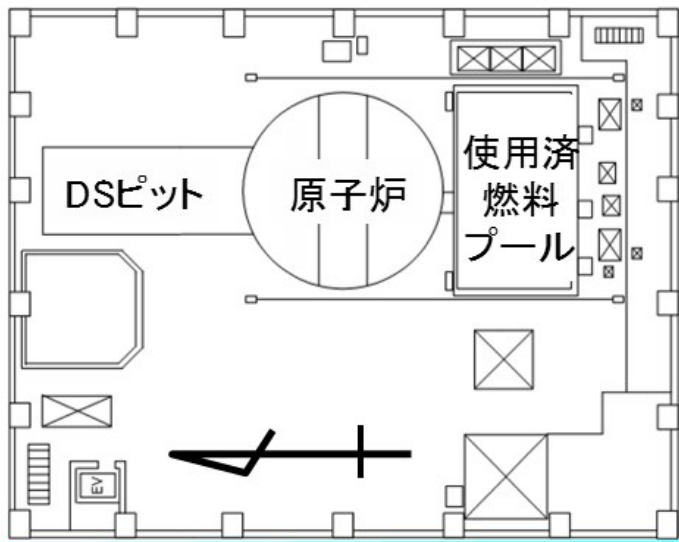


測定器1

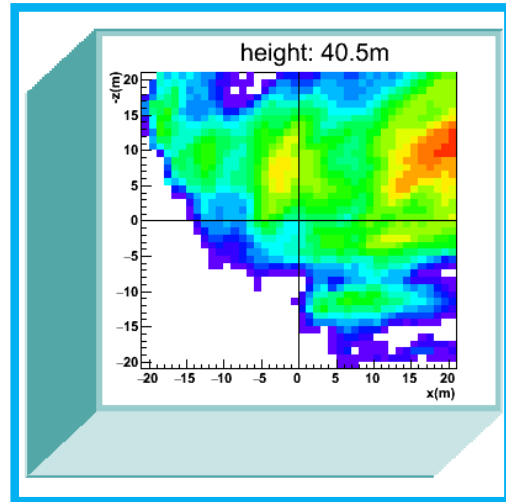


※密度の高い物質があるところで多くのミュオンが吸収されるため、黒く見える。

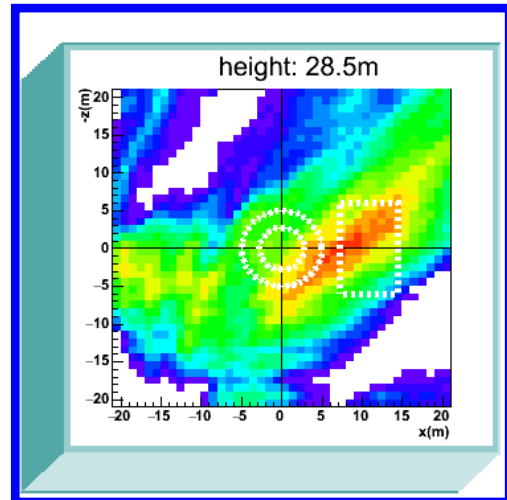
4. 1号機における調査（ミュオン調査）（3/3）



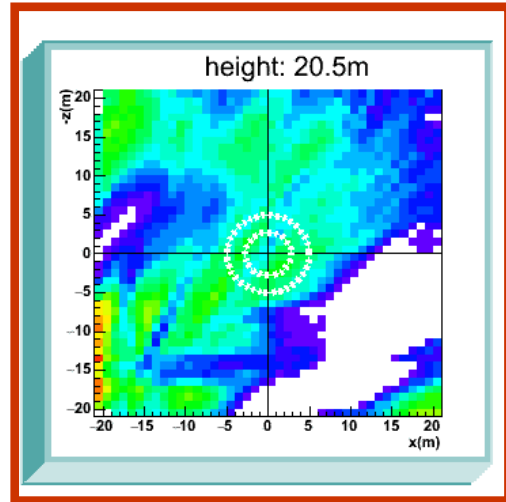
■ 2つの測定器の測定結果を合成することで、高さごとの高密度物質の分布を表示すると、使用済み燃料プール（SFP）には高濃度物質が見られ、炉心部には高濃度物質は見られない



オペフロ断面



SFP高さ断面



炉心高さ断面



原子炉建屋の配置図（上：5階オペフロ、下：断面図）

4. まとめ（1号機）

実炉調査結果のまとめ

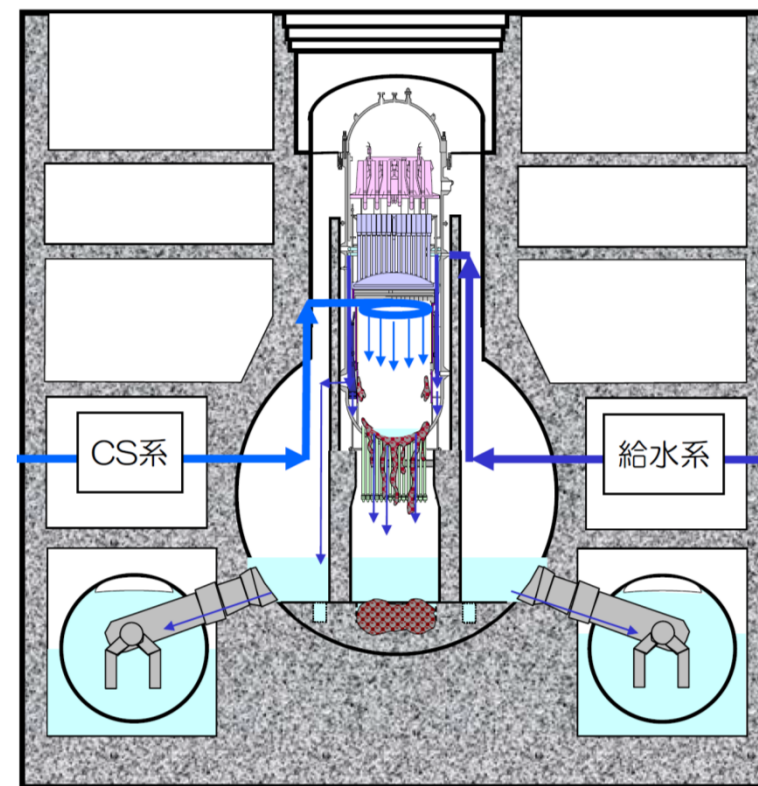
- D/W内水位は底部から約3m程度
- S/C内水位はほぼ満水
- サンドクッションドレイン管からの漏えいを確認
～ドライウェルに落下した燃料がPCVシェルに影響を与えた可能性あり
- S/C真空破壊ラインの伸縮継手カバーからの漏えいを確認
- 元々燃料が配置されていた炉心位置に大きな燃料の塊は確認できていない

事象進展解析コードによる評価（参考）

- 事故後溶融した燃料はほぼ全量が原子炉圧力容器下部プレナムへ落下した。下部プレナムに落下した燃料デブリは、大部分が原子炉格納容器ペDESTALに落下したと考えられる

至近に計画している実炉調査

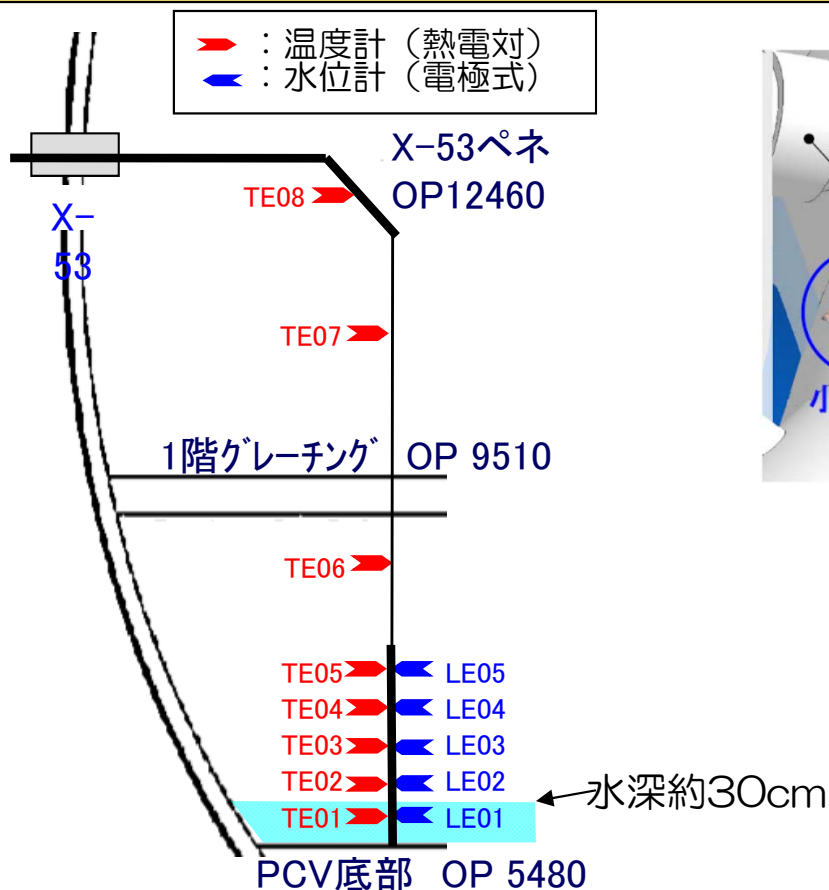
- 自走式調査装置によるPCV内部調査（ペDESTAL外側のPCV床上）（2015年度内）



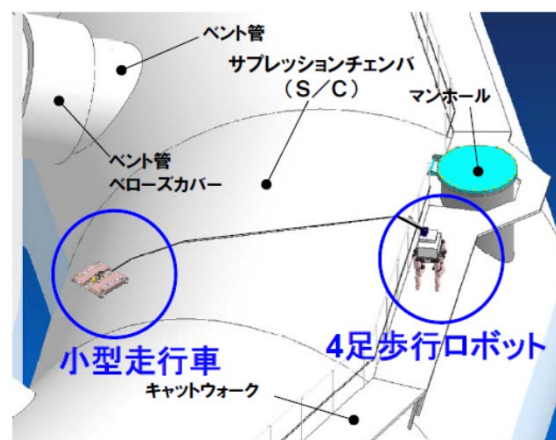
1号機の炉心・格納容器の状況推定図

5. 2号機における調査（調査装置挿入によるPCV内部調査）

- 2012年3月、ケーブル先端にカメラ、線量計、温度計を取り付けた調査装置をPCV内に挿入した。その後の調査で、PCVの水位は約30cmと判明。（ベント管オーバーフロー高さ34.4cmと同等）
- 2013年12月～翌3月、四足歩行ロボットを用いてベント管下部の調査を実施したところ、全てのベント管において調査部位に漏えいは見られなかった



2014年6月調査のイメージ



調査結果例



ベント管下部調査

5. 2号機における調査（S/C水位測定調査）

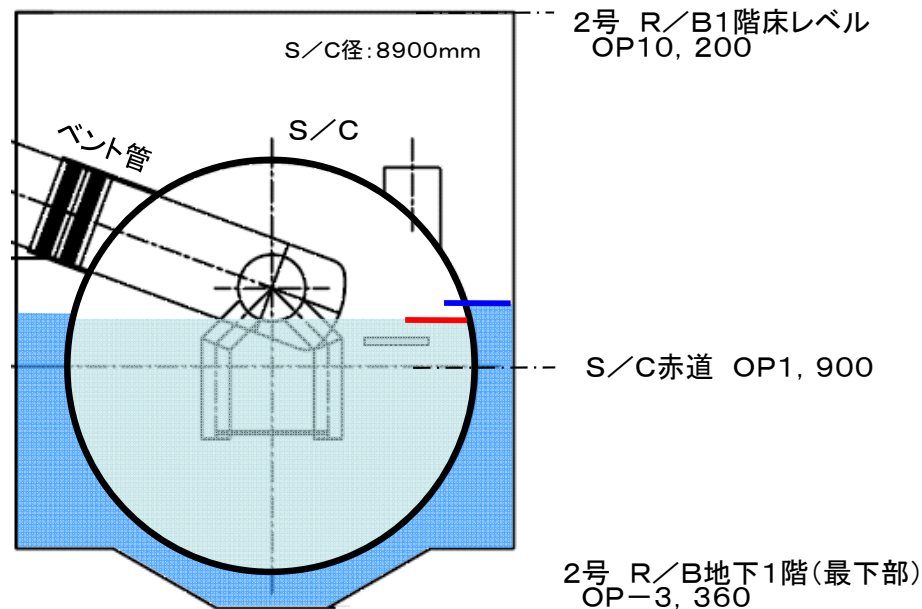
- 2014年1月、S/C外面より超音波によりS/C内水位を測定した
- S/C内水位は、トーラス室内滞留水とほぼ同じレベルで連動している。S/C内の下部又は接続配管の水没部から漏えいしていると考えられる

測定日	1月14日	1月15日	1月16日
S/C内水位	約OP 3, 210	約OP 3, 160	約OP 3, 150
トーラス室滞留水 水位(参考)	約OP 3, 230	約OP 3, 190	約OP 3, 160
水位差	約20mm	約30mm	約10mm
測定方法	水中構造物の直接距離計測		

【補足】S/C内の水位は、トーラス室滞留水水位の変化の影響を受けると考えられる。

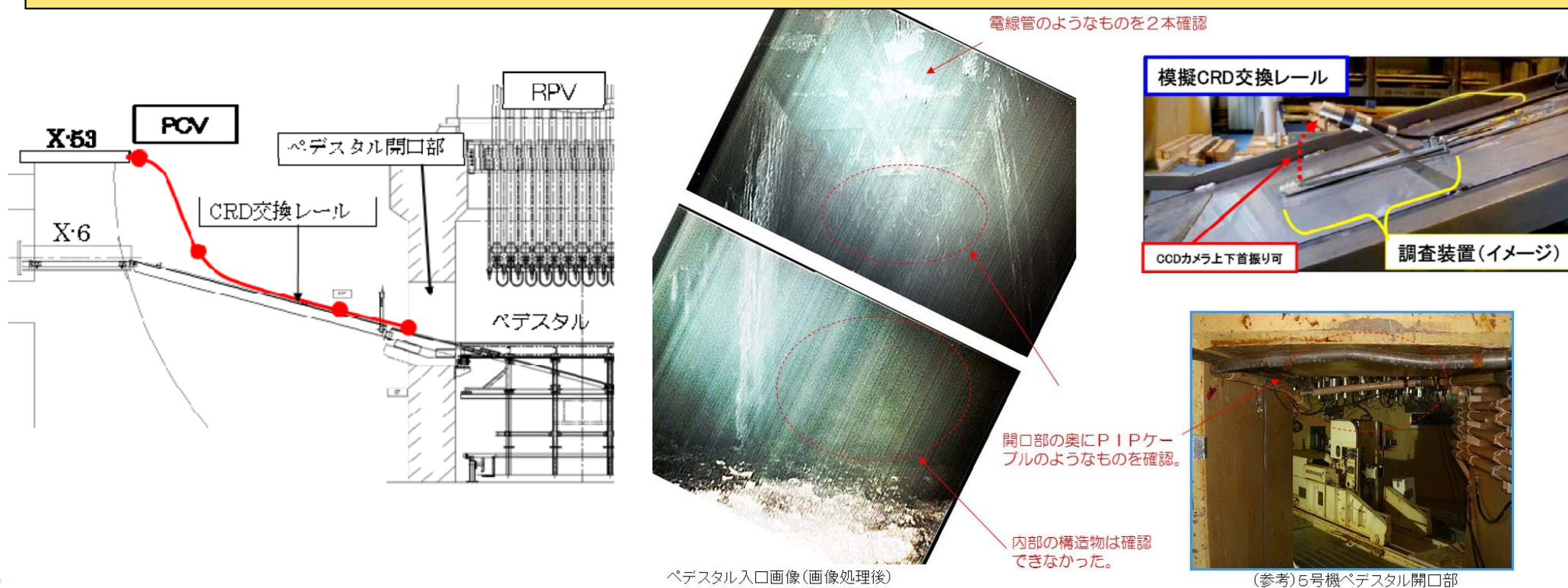


測定時の状況

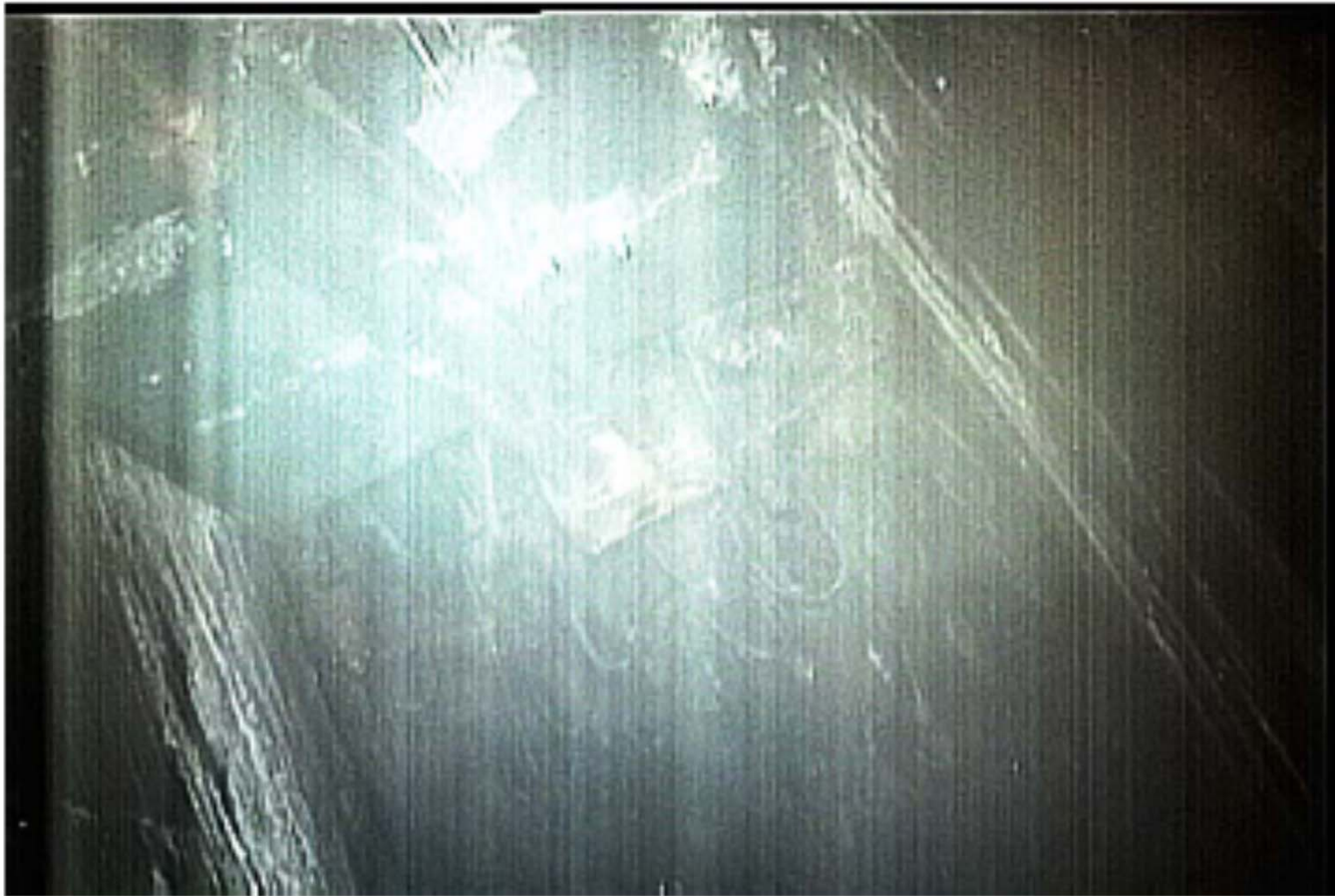


5. 2号機における調査（調査装置挿入によるPCV内部調査）

- 2013年3月、ケーブル先端にカメラ、線量計、温度計を取り付けた調査装置をPCV内に挿入した
- ペDESTAL開口部からペDESTAL内を撮影した結果、制御棒位置指示計用ケーブルが確認され、開口部近傍ではRPV下部に大きな損傷がないと考えられる
- CRD交換レール上の線量率は、24~36Sv/h。ペDESTAL開口部に近づいても燃料デブリへの接近を示唆するような急激な線量上昇はみられなかった。



5. 2号機における調査（調査装置挿入によるPCV内部調査）



まとめ（2号機）

実炉調査結果のまとめ

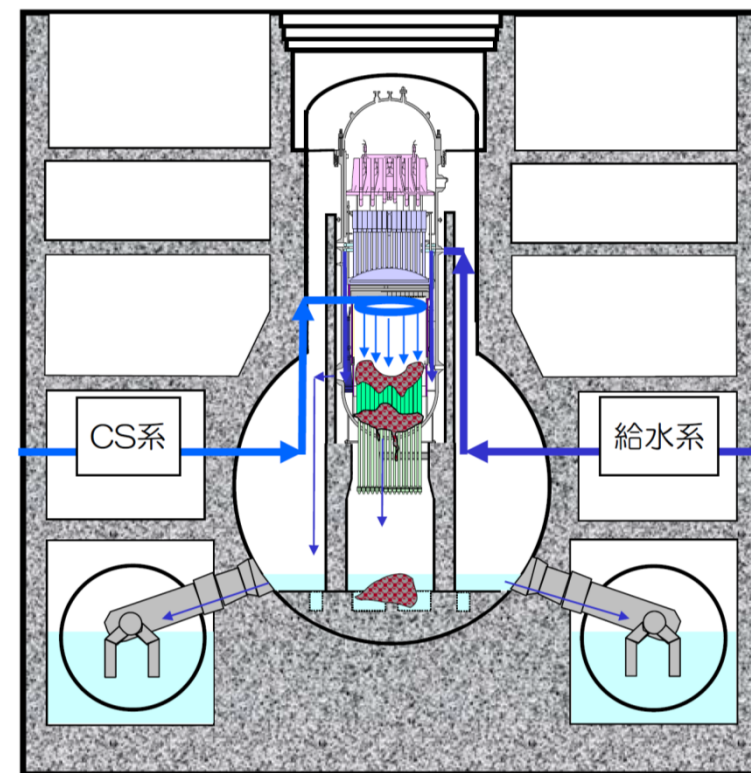
- D/W内水位は底部から30cm程度
- S/C内水位は中央部付近であり、トラス室水位とほぼ同等
～水没部に漏えい部があるものと推定される
- 気中部に漏えいは確認されていない
- PCVペデスタル開口部開口部近傍ではRPV下部に大きな損傷がないと考えられる

事象進展解析コードによる評価（参考）

- 事故後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または原子炉格納容器ペデスタルへ落下し、燃料の一部は元々の炉心部に残存していると考えられる。

至近に計画している実炉調査

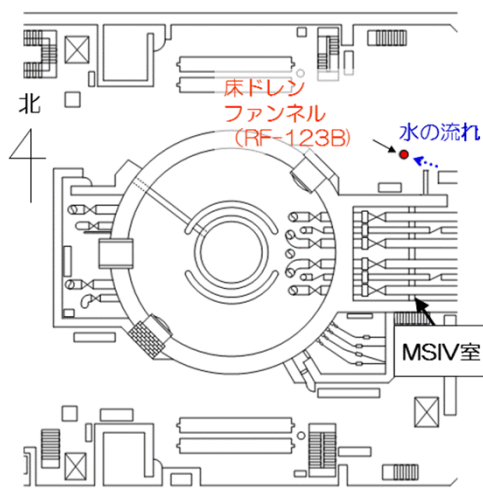
- 自走式調査装置によるPCV内部調査（ペデスタル内プラットフォーム上）
（実施時期：現場準備が整った後）
- ミュオン調査（2015年度中目途）



2号機の炉心・格納容器の状況推定図

6. 3号機における調査（1階における漏えい調査）

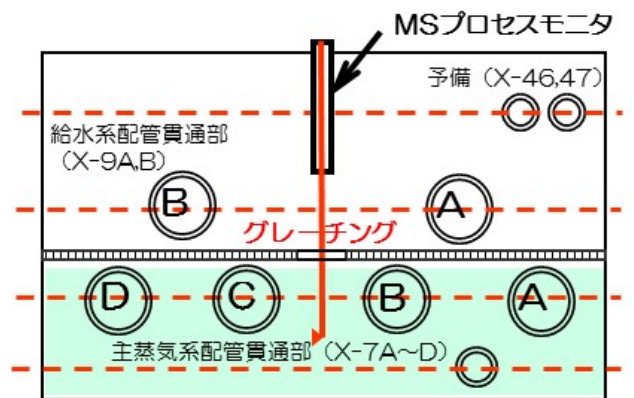
- 2014年1月、主蒸気隔離弁室扉付近から近傍のファンネルに向かう水流を発見。その後、パンチルトカメラ、内視鏡による調査で主蒸気配管Dからの漏えいを確認
- 漏えい量は、画像からの分析により $1.2\sim 4.5\text{m}^3$ と推定（注水量 4.5m^3 ）
- 当該主蒸気管の高さと、水頭圧から推定される水位とは整合しており、この漏えい部は主要な漏えい部と考えられる



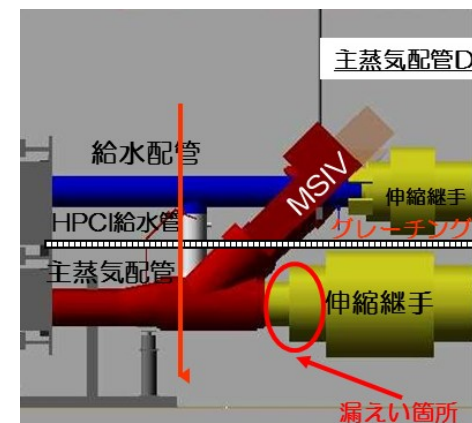
主蒸気配管D（主蒸気配管Cの奥側）



漏えい箇所拡大



MSIV室からPCV側を見た図



MSIV室イメージ図（断面）

6. まとめ（3号機）

実炉調査結果のまとめ

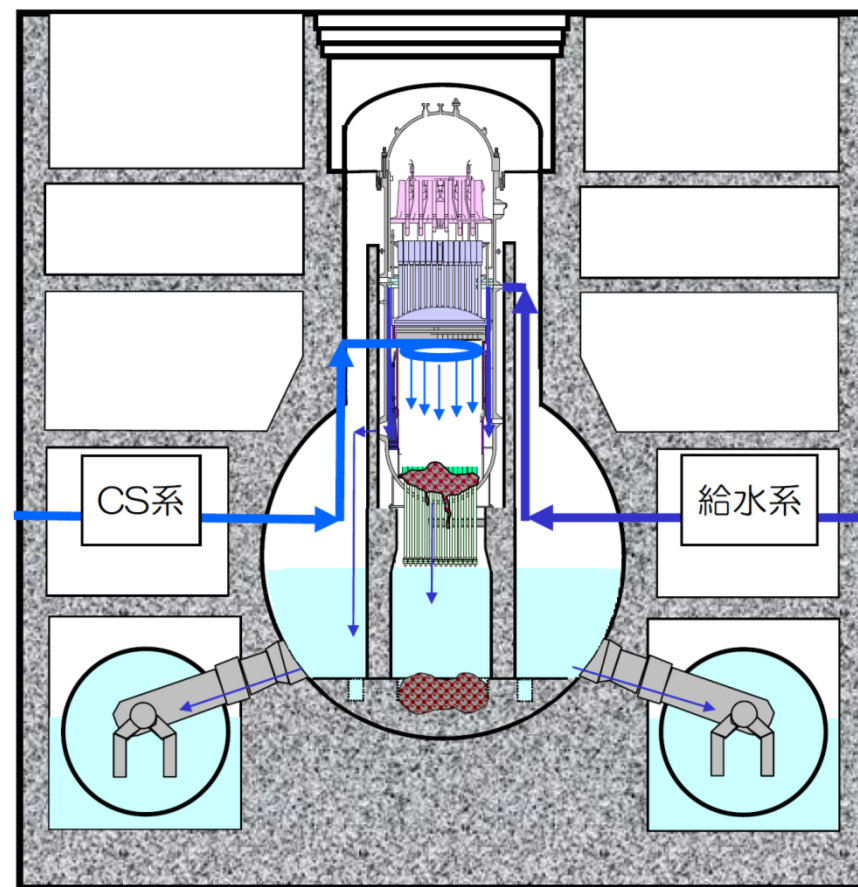
- D/W内水位は底部から6.5m程度
- S/Cはほぼ満水
- 主蒸気配管Dの伸縮継手付近からの漏えいを確認

事象進展解析コードによる評価（参考）

- 事故後、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または原子炉格納容器ペDESTアルへ落下している。燃料の一部は元々の炉心部に残存していると考えられる。

至近に計画している実炉調査

- 調査装置挿入によるPCV内部調査
（実施時期：2015年10月）



3号機の炉心・格納容器の状況推定図

7. まとめ

- これまでの実炉調査により、PCV/S/Cの水位や漏えい個所などの情報が徐々に明らかになっている。
- 一方、燃料デブリの分布に関する情報については、1号機のミュオン調査結果を除いてほとんど得られていない。
- 今後、これまでの調査結果や事故進展解析コードの評価結果、さらに線量等の現場の状況を考慮して更なる実炉調査を計画していく。

参考



(参考) 至近に計画されている2号機PCV内部調査 (通称A2調査) の概要(1/3)

【調査対象部位】：プラットホーム上(プラットホーム上面, CRDハウジング下部)及び下(地下階)

【調査及び装置開発ステップ】

(1) X-6ペネ (Φ115mm) からの調査

- ・X-6より、ペDESTAL内部プラットホームの状況調査を行う。：A2 (今回の調査対象)

(2) X-6 (孔径拡大、またはペネ開放) からの調査 (2016年度～)：A3～A4

- ・ペDESTAL内部の状態が不明であることから、A2調査の結果を調査装置の設計・開発にフィードバック。
- ・デブリ形状計測装置を投入し、ペDESTAL内部の調査を行う。
- ・調査装置をPCV内部に投入するために必要な開口を、孔径拡大、またはペネ開放により設ける。

A1. CRDレール状況調査(2013/8実施済)

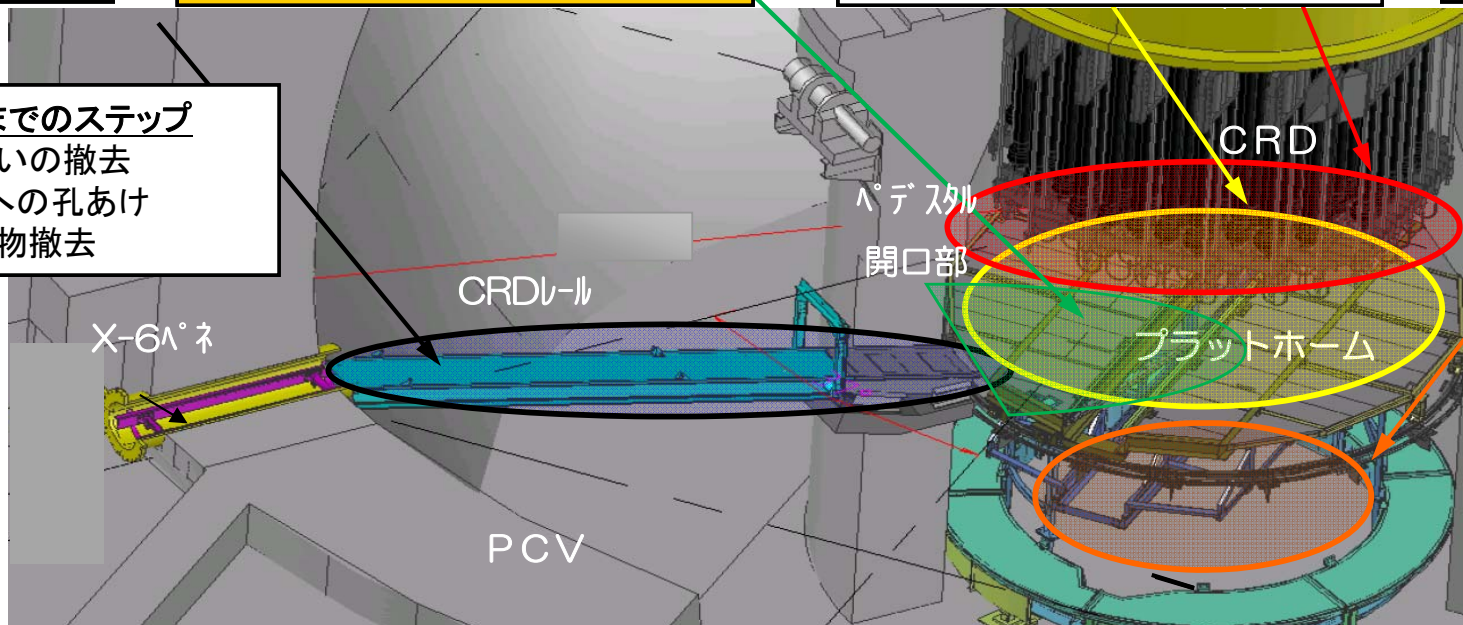
A2. ペDESTAL内部プラットホーム状況調査(今回の調査対象)

A3. CRD下部及びプラットホーム状況調査(2016年度調査目標)

A4. ペDESTAL地下階の状況調査

X-6ペネ使用までのステップ

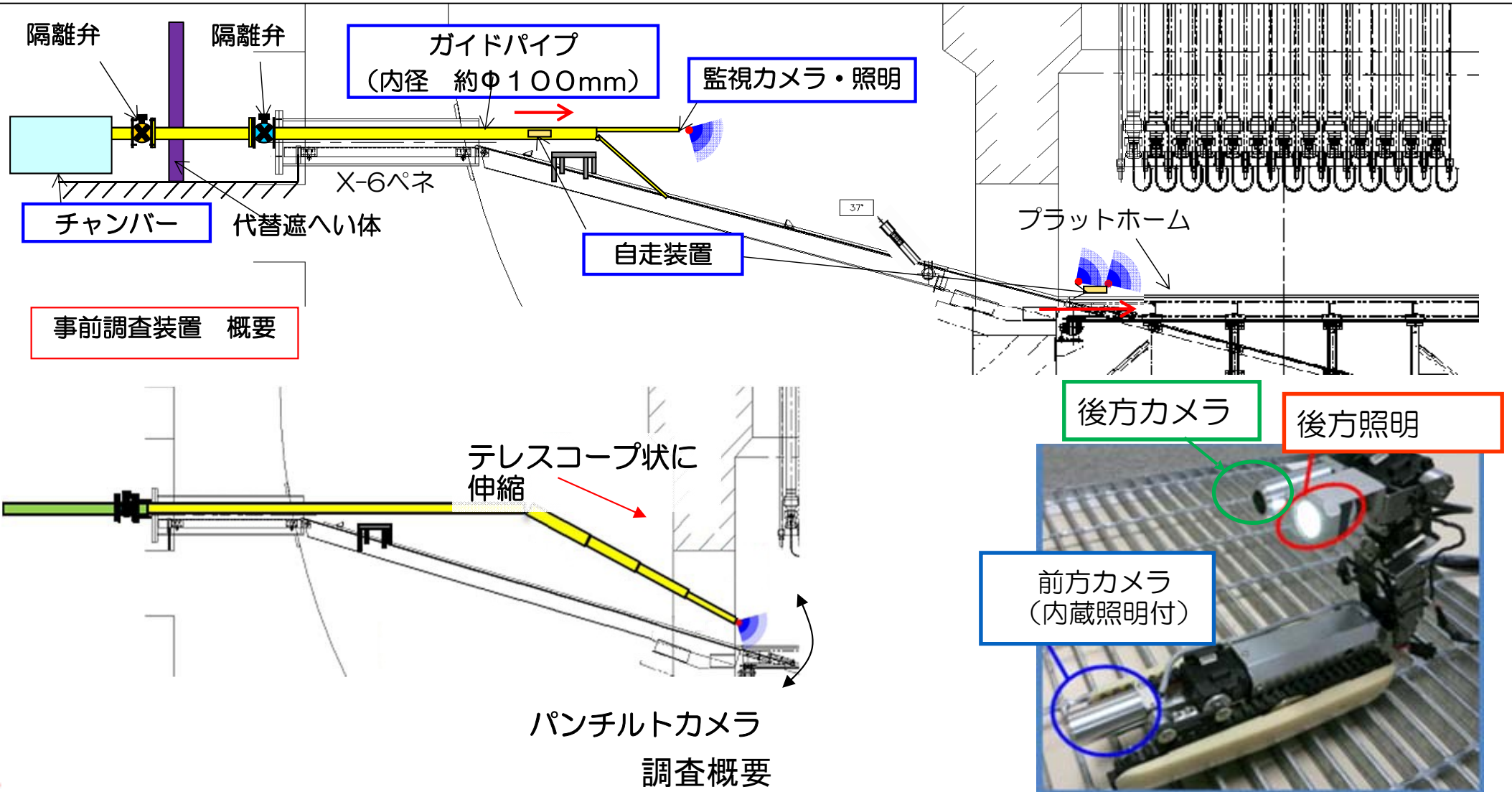
- ・ペネ前遮へいの撤去
- ・ペネハッチへの孔あけ
- ・ペネの内包物撤去



A1～A4調査のイメージ

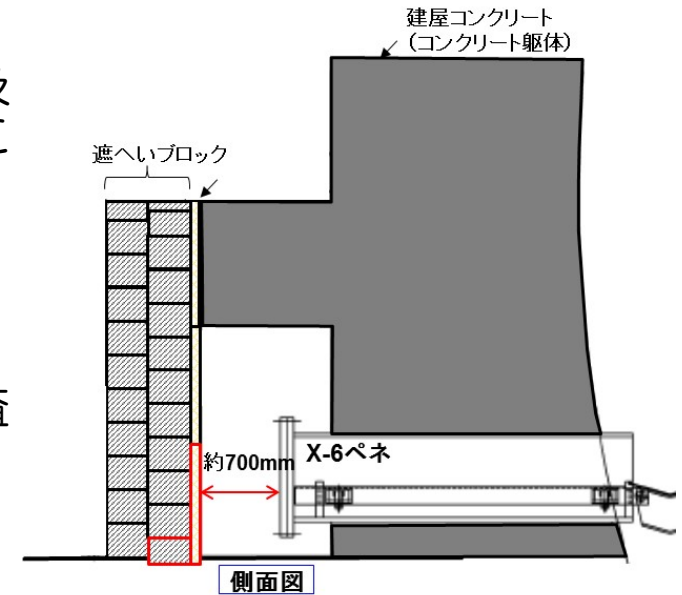
(参考) 至近に計画されている2号機PCV内部調査 (通称A2調査) の概要(2/3)

- ①事前確認調査としてX-6ペネ内のケーブル回避およびCRDレール上の状況確認を行う。
- ②挿入治具 (ガイドパイプ) と自走装置 (クローラ) に計測器 (カメラ、線量計、温度計) を搭載した装置にて、ペデスタル内部プラットホームの状況調査を行う。



(参考) 至近に計画されている2号機PCV内部調査 (通称A2調査) の概要(3/3)

- 2015年6月11日から7月8日、X-6ペネ前に設置されている遮へいブロックの取り出し作業を行ったが、最下段ブロック及び最下段鉄板 (右図中赤色部分) が固着しており、取り外すことができなかった。
- 11月末を目途に固着解除及び取り外しを行うべく準備中。
- また、X-6ペネ周りの撮影、測定を実施したところ、高線量、溶融物の溶出が確認された。ブロック撤去完了後のA2調査実施までの工程については、X-6ペネ周辺の汚染や溶融物の調査結果を踏まえ策定する。

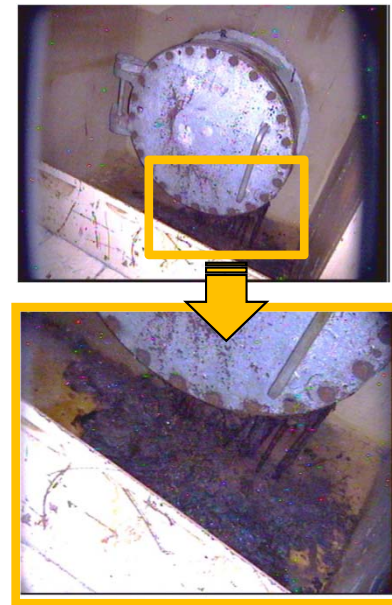


(これまでに確認されたX-6ペネ周りの状況)

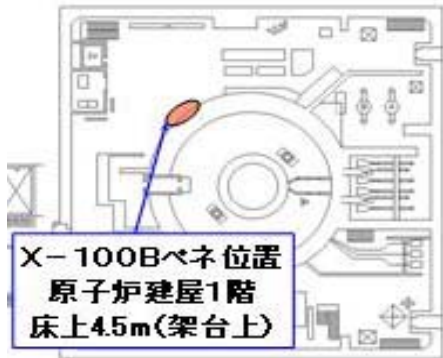

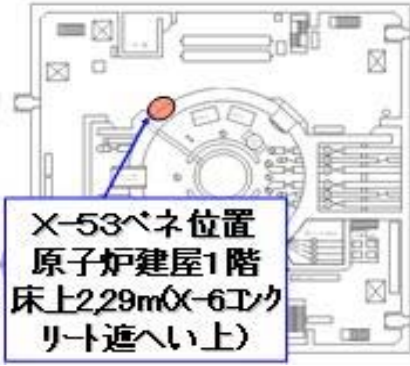
- X-6ペネ周辺の躯体の天井部及び壁面に大きな損傷は見られない
- X-6ペネ表面に多少の錆はあるが大きな損傷は見られない
- X-6ペネフランジから床面に溶け出た跡が確認された
- X-6ペネフランジ中心部で1000mSv/hを超える線量が確認された



- * 溶け出たものについては以下のことが推定される
- ・ ペネフランジ用Oリング
 - ・ CRD交換機用ケーブル被覆材



参考. これまでの実施状況

号機	1号機		2号機		3号機
調査回数	1回目		1回目	2回目	3回目
調査支援企業	日立GE (株)		(株) 東芝		(株) 東芝
PCV貫通部	 <p>X-100Bベネ位置 原子炉建屋1階 床上4.5m(架台上)</p> <p>X-100B (機器ハッチ上部)</p>	 <p>X-53ベネ位置 原子炉建屋1階 床上2.29m(X-6工ク リト遮へい上)</p> <p>X-53 (X-6 CRD点検ハッチ上部)</p>	 <p>X-53ベネ位置 原子炉建屋1階 床上2.29m(X-6工ク リト遮へい上)</p> <p>X-53 (X-6 CRD点検ハッチ上部)</p>		
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> 映像取得 雰囲気温度、線量測定 水位、水温測定 滞留水の採取 常設温度計設置 	<ul style="list-style-type: none"> 映像取得 雰囲気温度測定 	<ul style="list-style-type: none"> 水面確認 水温測定 雰囲気線量測定 	<ul style="list-style-type: none"> 滞留水の採取 水位測定 常設温度計設置 	<ul style="list-style-type: none"> 映像取得 雰囲気温度、線量測定 水位、水温測定 滞留水の採取 常設温度計設置 <p>※高線量の為、線量低減対策が必要</p>
実施時期	2012.10.9~13済		2012.1.19済	2012.3.26,27 済	2013.2~ 2014.6.5済
					(2015年度上期目処)

【参考】これまでの2号機原子炉格納容器調査結果等について

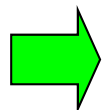
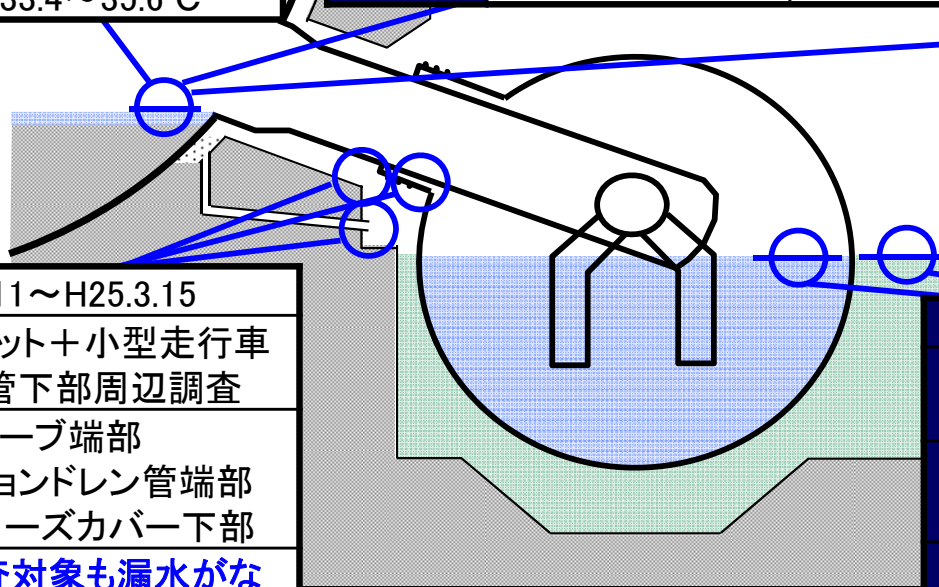
実施日	H26.6.5～H26.6.6
実施概要	PCV(格納容器)内監視計器設置および滞留水水位測定
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV滞留水の水位確認 ・PCV内温度測定 ・PCV内水位確認
実施結果	PCV水位:PCV底部より約300mm ,底部より350mm未満であることを確認 PCV内温度:33.4～35.6℃

実施日	H25.8.7
実施概要	PCV貫通部からの滞留水採取
実施項目	PCV滞留水採取
実施結果	pH:7.4, 導電率:25μS/cm, 塩素:2.9ppm, Cs134:2.14E+03Bq/cm ³ , Cs137:4.38E+03Bq/cm ³

実施日	H24.3.26～H24.3.27
調査概要	PCV(格納容器)貫通部からの工業用内視鏡等の挿入によるPCV滞留水水位等の調査
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV滞留水の水位確認 ・PCV滞留水の水温度測定 ・PCV内雰囲気気線量測定
調査結果	PCV水位:PCV底部より約600mm 滞留水水温:48.5～50.0℃ 雰囲気気線量:31.1～72.9Sv/h

実施日	H24.12.11～H25.3.15
調査概要	4足歩行ロボット+小型走行車によるベント管下部周辺調査
調査対象	<ul style="list-style-type: none"> ・ベント管スリーブ端部 ・サンドクッションドレン管端部 ・ベント管ベローズカバー下部
調査結果	いずれの調査対象も漏水がないことを確認。

実施日	H26.1.14～H26.1.16
実施概要	S/C(圧力抑制室)内水位測定装置によるS/C内水位測定
測定項目	<ul style="list-style-type: none"> ・S/C内滞留水水位 ・トラス室滞留水水位
測定結果	S/C内水位:約OP.3150 トラス室水位:約OP.3160 水位差:約10mm



今後、資源エネルギー庁補助事業により開発中のS/C下部調査装置の実証試験を2号機で実施し、S/C下部に止水不可能な損傷の有無を確認していく。