

2017年秋の大会 水化学部会セッション

[1F_PL] 福島原子力発電所デブリ取り出しに関わる水化学管理

[1F_PL02] PCV内部調査の進捗状況

2017年9月13日

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, italicized capital letters.

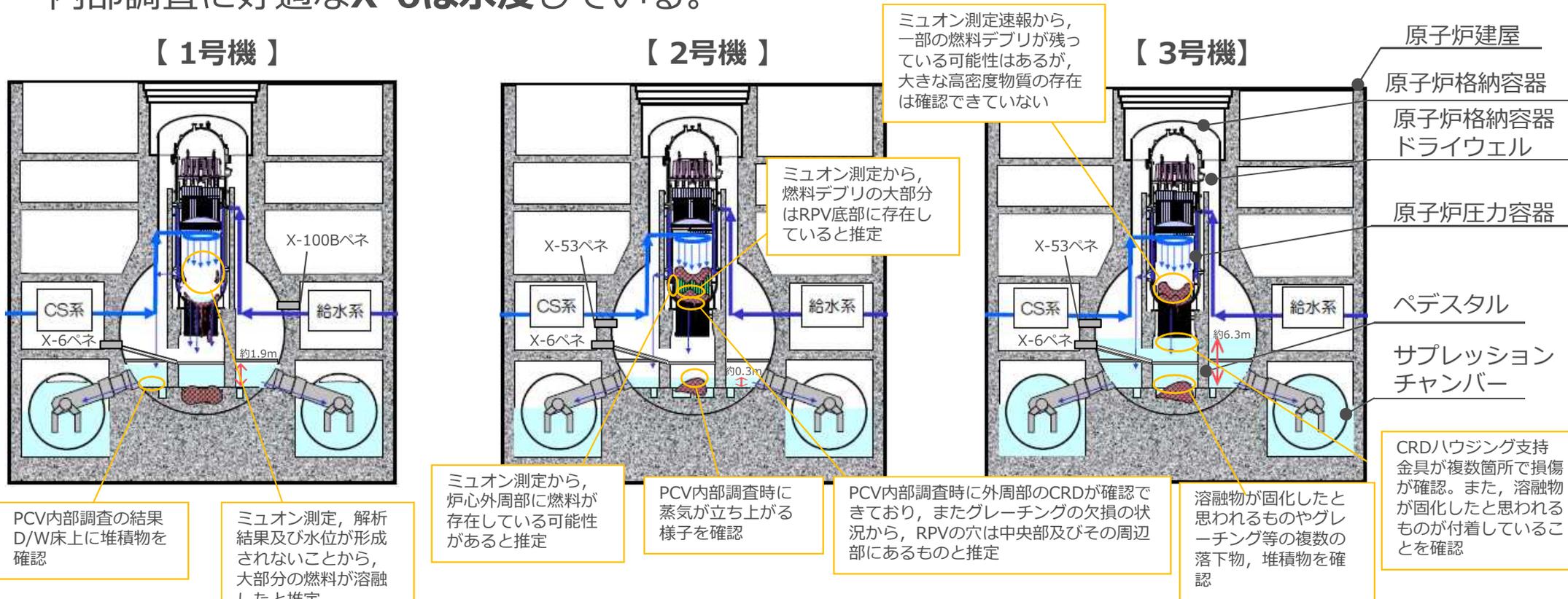
東京電力ホールディングス株式会社

これまでのPCV内部調査の経緯

1. 各号機の状況

1.1 燃料デブリ分布の推定と水位

- 1号機では溶融した燃料がほぼ全量がペDESTALへ落下しており、元々の炉心部にはほとんど燃料が存在していないと推定される。
- 3号機では水位が高く、ペDESTAL内部にアクセスしやすく原子炉格納容器（PCV）内部調査に好適なX-6は水没している。



・2及び3号機では、溶融した燃料のうち、一部は原子炉圧力容器（RPV）下部プレナムまたはRPVペDESTAL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。

事象進展解析及び水位測定結果による推定

1. 各号機の状況

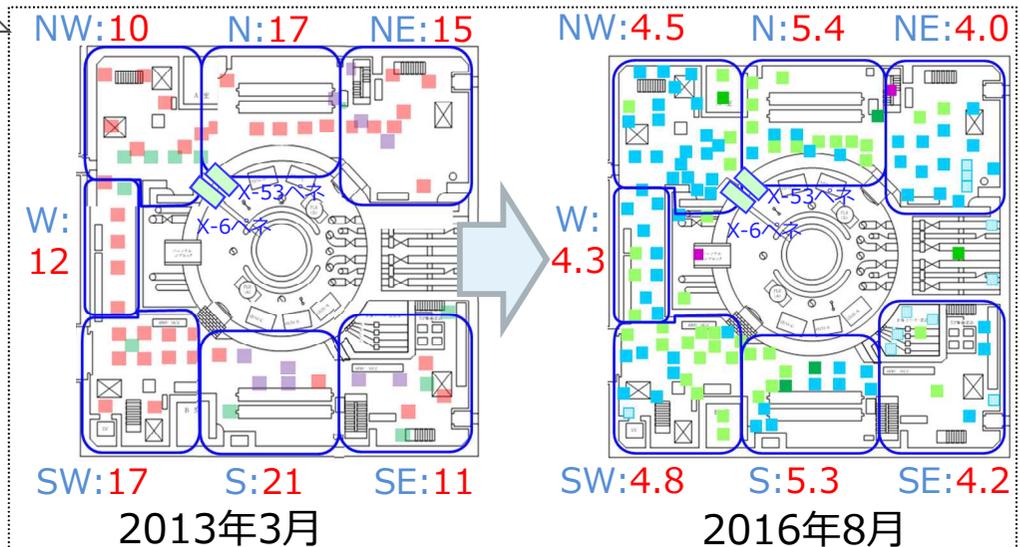
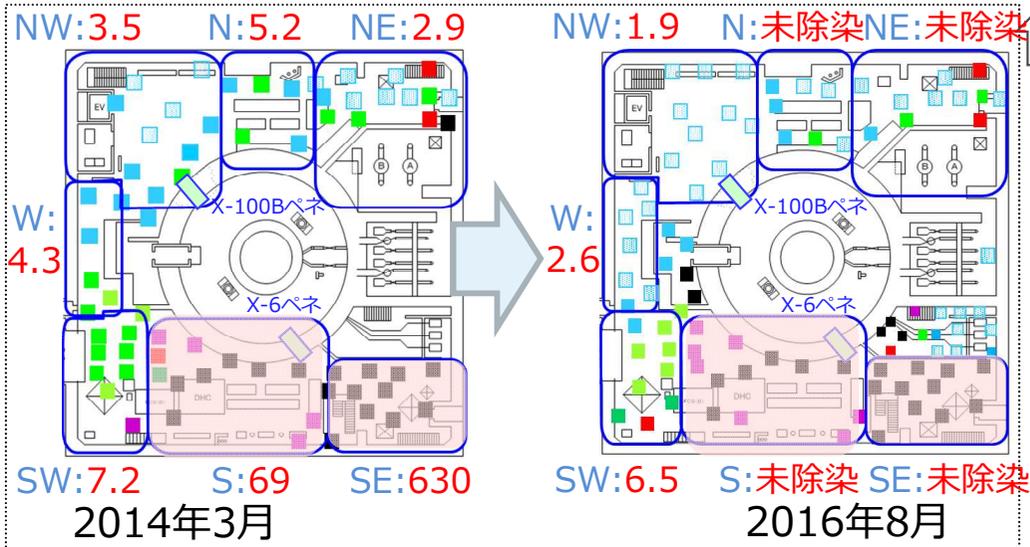
1.2 原子炉建屋1階の空間線量

■: <3mSv/h
 ■: <5mSv/h
 ■: <7 mSv/h
 ■: <10mSv/h
 ■: > 10mSv/h
 ■: > 20mSv/h
 ■: > 50mSv/h
 単位：mSv/h

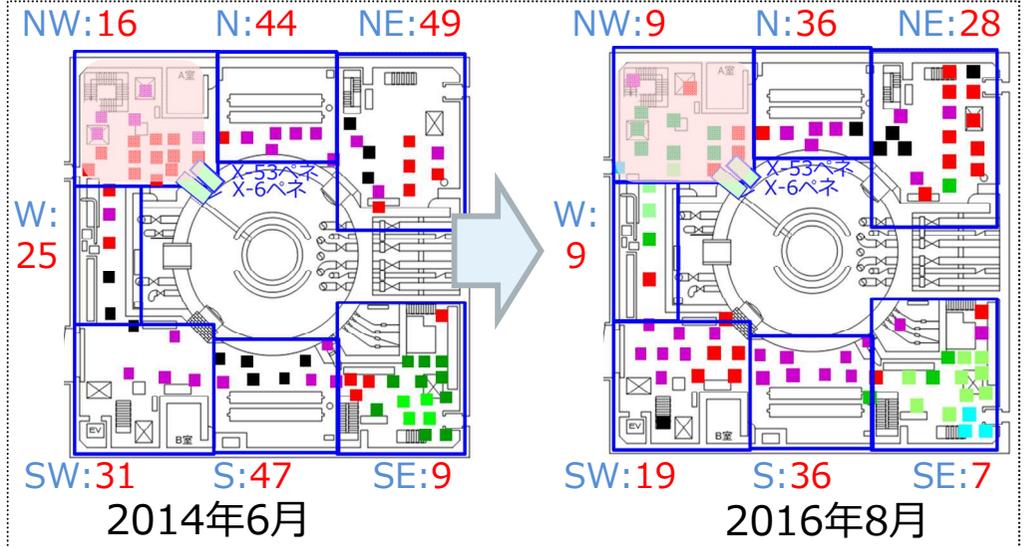
数値は、各エリアの平均値

1号機

2号機



3号機



- **1号機ではX-6付近の空間線量が非常に高い。**換気空調系配管内等の汚染が原因とみられ、除染には困難が伴う。
- 3号機では、除染前、PCV内部調査に適用可能なX-53付近の線量が高かった。

空間線量が高い箇所があり、PCV内部調査にあたってはアクセス候補には限りがある。

1. 各号機の状況

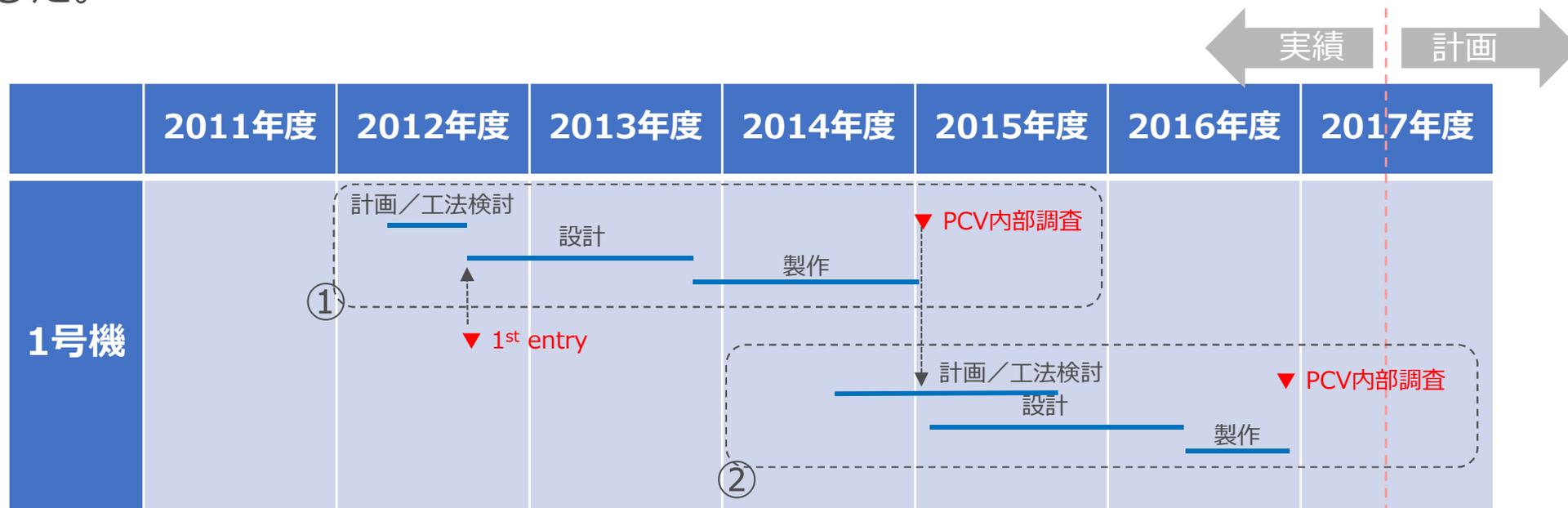
1.3 X-6ペネの使用可否

	水位	X-6ペネ周辺線量	X-6の使用可否	調査方法
1号機	約1.9m	630mSv/h <u>X-6ペネ周辺</u> <u>高線量</u>	X-6ペネの周辺の線量が高いため、使用不可	燃料の大半がPCVペDESTALに落下しペDESTAL外にも流出している可能性が高いことを踏まえ、X-100Bを通じてペDESTAL外の調査を実施
2号機	約0.3m	4.5mSv/h	使用可能	X-6ペネからPCVペDESTAL底部の状況について調査を実施
3号機	約6.3*m <u>X-6ペネ水没</u> *：注水流量低減前の水位	9mSv/h	X-6ペネが水没しているため使用不可	X-6が水没しており穴あけが困難なことから水中遊泳式遠隔装調査装置による調査

2. 内部調査の経緯と至近の調査計画

2.1 1号機 PCV内部調査の経緯 (1)

- 2012年X-100Bを開孔（約φ130mm）して、PCV内にカメラ、線量計を挿入して情報を取得するとともに、滞留水を採取。
- PCV内の更なる調査は、高線量によりX-6への接近が困難であること、燃料の大半がPCVペデスタルに落下しペデスタル外にも流出している可能性が高いことを踏まえ、X-100Bを通じてペデスタル外の調査を計画。
- ペデスタル外の調査では、まず、1階グレーチング上の調査（2015年4月実施）により地下階へのアクセスルートを確認した後、地下階の調査（2017年3月実施）を行う計画とした。

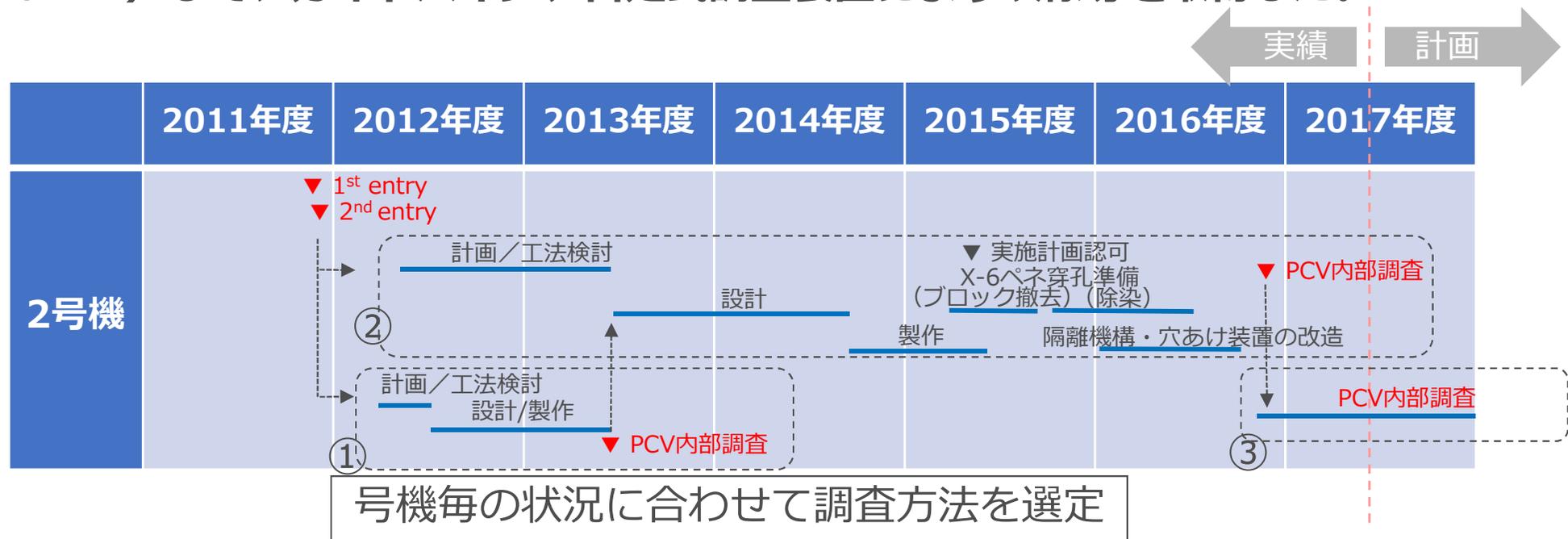


号機の状態に合わせて調査方法を選定

2. 内部調査の経緯と至近の調査計画

2.2 2号機 PCV内部調査の経緯 (1)

- 2012年X-53を開孔（約φ20mm）して、PCV内にカメラ、線量計を挿入して情報を取得した。
- PCV内の更なる調査では、まず、アクセスルートとなるCRDレールを確認する調査（2013年8月実施）を行った後、ペDESTAL内の調査（2017年1～2月実施）を行う計画とした。
- 2013年8月の調査では、X-53（約φ50mmに拡大）から挿入したカメラ及び線量計をCRDレール上まで挿入し、CRDレール上の線量、限られた画角ではあるがペDESTAL内の映像を取得した。また、滞留水を採取した。
- 2017年1～2月の調査では、X-6にバウンダリを確実に確保できる範囲で開孔（約φ120mm）して、ガイドパイプ、自走式調査装置により映像等を取得した。



2. 内部調査の経緯と至近の調査計画

2.3 3号機 PCV内部調査の経緯

- 建屋内線量が高いため除染を実施し、2015年にカメラ、線量計を挿入調査は、水没していないX-53（約φ140mm）を用いた。この時、滞留水の採取も行った。
- PCV内の更なる調査では、X-6が水没しており穴あけが困難なことから、X-53から投入する水中遊泳式遠隔装調査装置（以下、水中ROV）による調査とした。



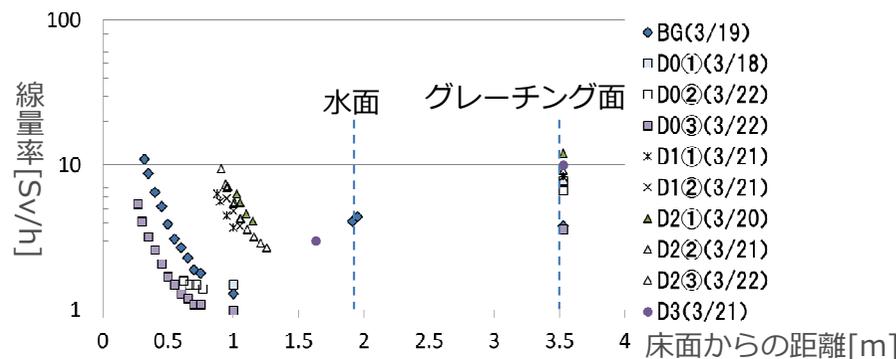
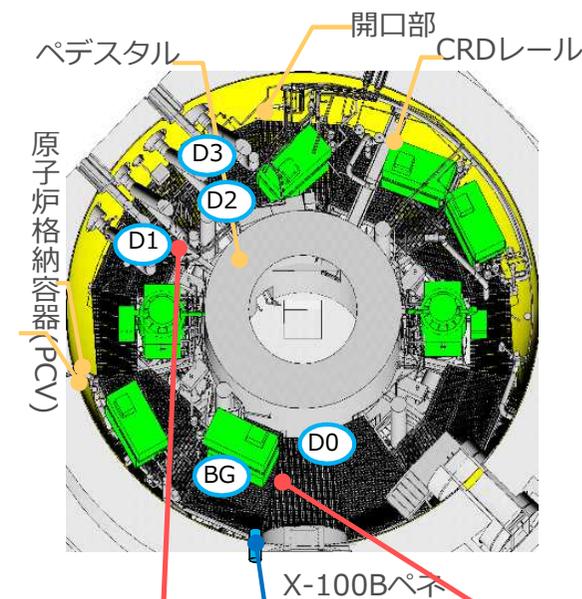
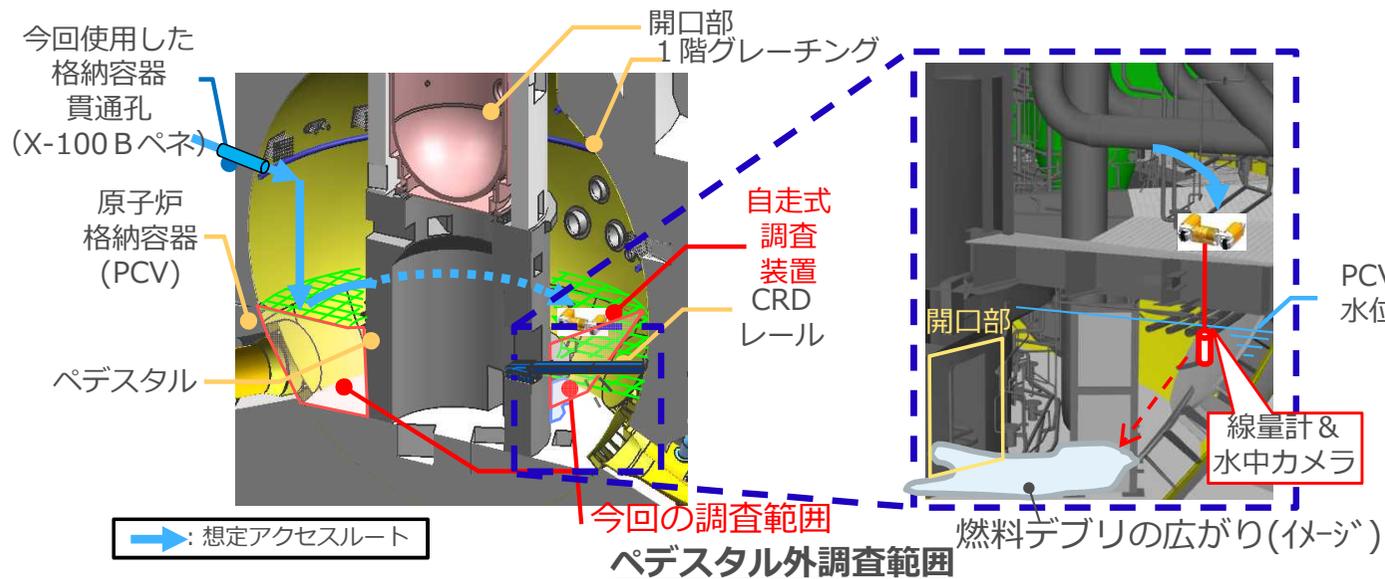
号機毎の状況に合わせて調査方法を選定

1号機PCV内部調査の状況

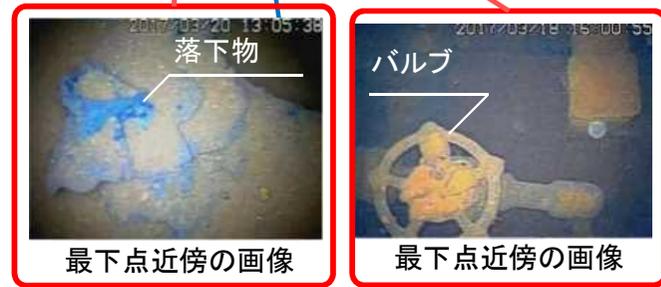
3. PCV内部調査の状況 (1号機)

3.2 ペDESTAL外調査 (2017年3月)

- 2015年4月に実施した格納容器内部調査結果(1階部分の調査)を踏まえ、2017年3月に格納容器内部の調査を行った。1階部分からカメラ・線量計を吊り下ろし、ペDESTAL開口部近くのPCV底部の状況を撮影した。また、底部に近づくほど線量が上昇する傾向を確認。
- なお、1階部分の線量・構造物の状況は2015年4月の調査時と大きな変化はなかった。



注：設計上のグレーチング面と床面の距離から計測ユニットのケーブル送りだし量を引いて算出してあり、正確な床面からの距離は今後、得られた画像データを元に評価を行う。

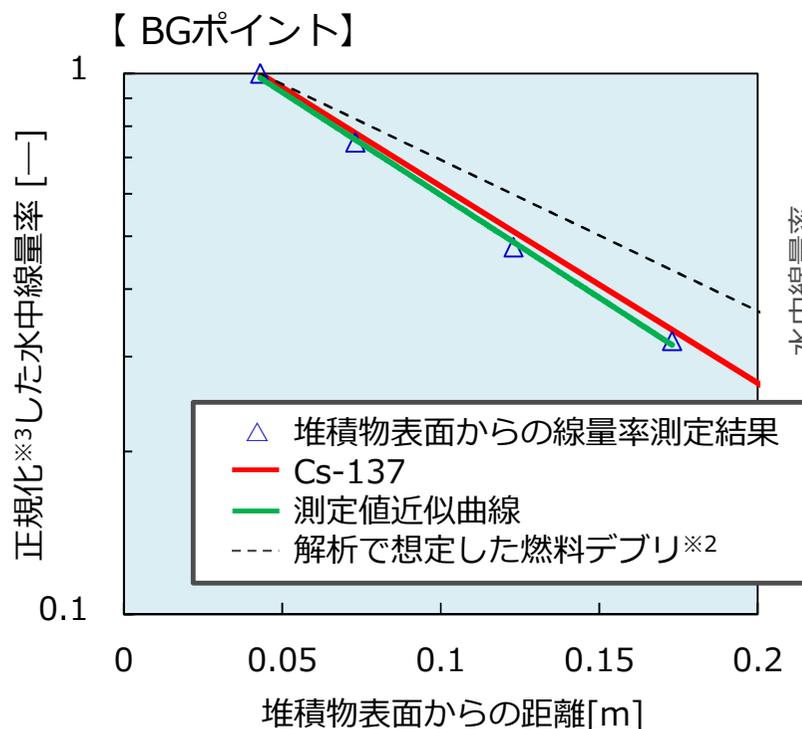
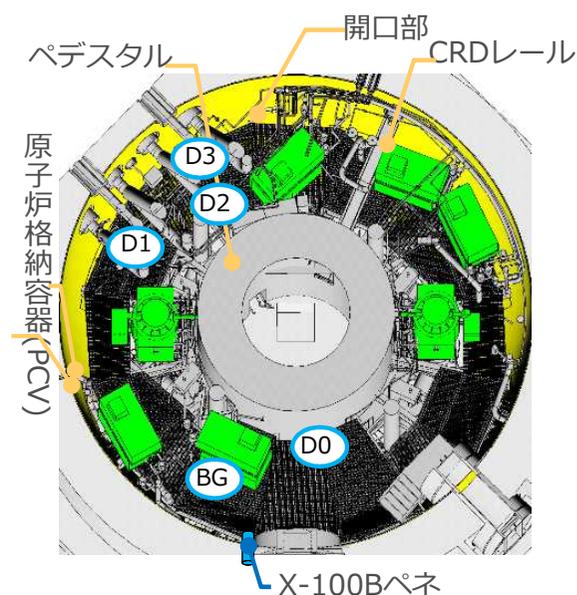


格納容器底部近傍の状況

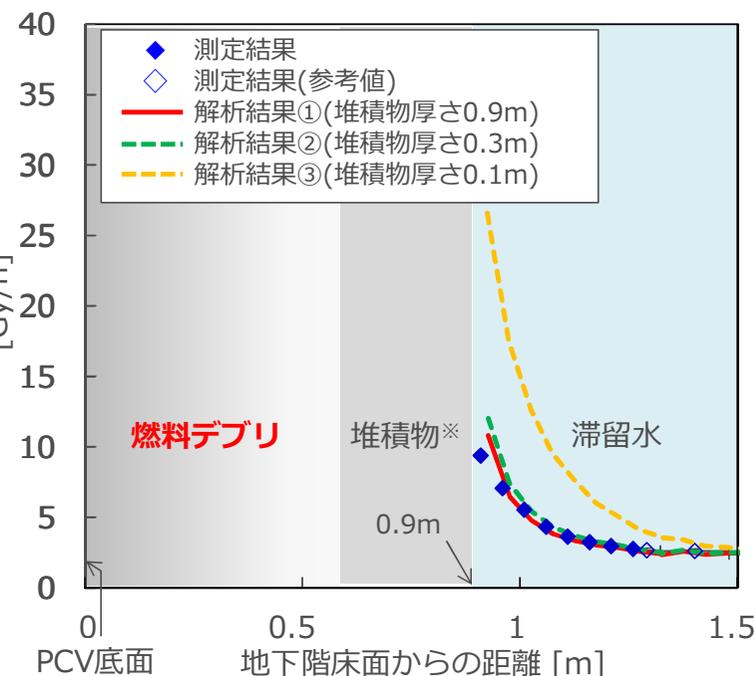
3. PCV内部調査の状況 (1号機)

3.2 ペDESTAL外調査 (2017年3月)

- 線量率の分析の結果，堆積物表面からの線量率測定結果^{※1}とCs-137減衰曲線の減衰率が同等であることから，堆積物表面の主線源（核種）はCs-137と推定。
- D1,D2の各測定ポイントで確認された堆積物表面高さ（約0.9m）の範囲で，堆積物の下に燃料デブリが存在する場合の線量率の評価を行った。ペDESTAL開口部に距離が近いD2③ポイントの解析結果は右下図の通り。
- 堆積物厚さが厚い場合には，堆積物による遮へい効果により，燃料デブリが存在するかどうかは推定できなかった。
- 堆積物厚さは現時点で不明であることから，推定できなかった原因が燃料デブリが無かったのか，堆積物や構造物が厚く，遮へい効果が大きい影響によるものかまで判別できなかった。



※1：測定結果から滞留水及び構造物影響を差し引いた値
 ※2：事故時に燃料が炉内構造物を熔融させ，炉内構造物中に存在するCo-60と混ざりあったものと仮定
 ※3：堆積物表面に最も近接した測定ポイントの線量率を1として線量率を整理したもの



D2③解析条件 (堆積物表面高さ0.9m)
 ① 堆積物厚さ：0.9m
 ② 堆積物厚さ：0.3m
 ③ 堆積物厚さ：0.1m

※：堆積物の下に構造物がある可能性もある

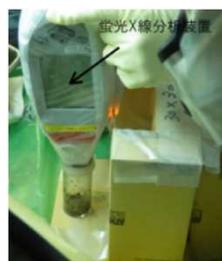
3. PCV内部調査の状況 (1号機)

3.3 堆積物 (浮遊物) のサンプリング (2017年4月)

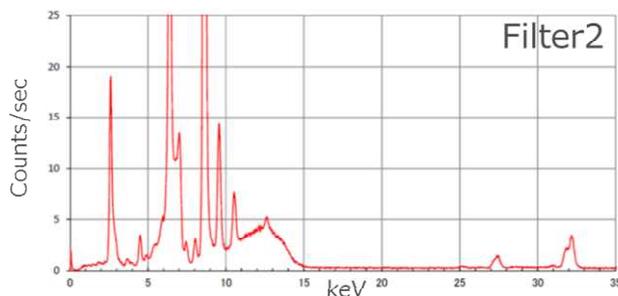
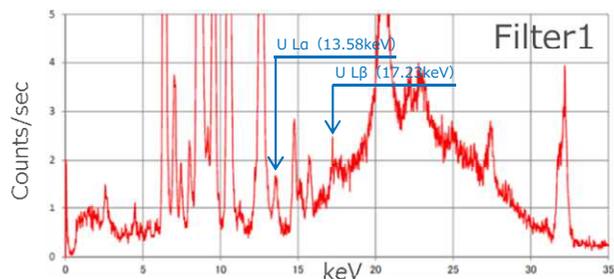
- X-100Bペネ直下のPCV底部から堆積物のサンプリングを行い、簡易蛍光X線分析とGe半導体検出器によるγ線核種分析を実施。
- 堆積物の成分は炉内構造物や保温材等に使用されるステンレス鋼に含まれるFeやNi等に加え、Uの特性X線のエネルギーピークが確認された。
- 今後、構外に搬出して詳細分析を実施すべく準備中。



サンプリング状況



簡易蛍光X線分析装置による分析の状況



簡易蛍光X線分析装置によって得られたスペクトル

Filter1	Filter2
Cl	Cl
Ti	Ca
Fe	Ti
Ni	Fe
Cu	Ni
Zn	Cu
Ga or Ir ※	Zn
Zr	Pb
Te	Sn
Ba	Te
Pb	Ba
U	

簡易蛍光X線分析装置による分析結果

検出されたγ線核種	放射エネルギー [Bq/g]
Cs-134	3.5E+06
Cs-137	2.7E+07
Co-60	1.1E+05
Sb-125	7.0E+05

Ge半導体検出器によるγ線核種分析結果

2号機PCV内部調査の状況

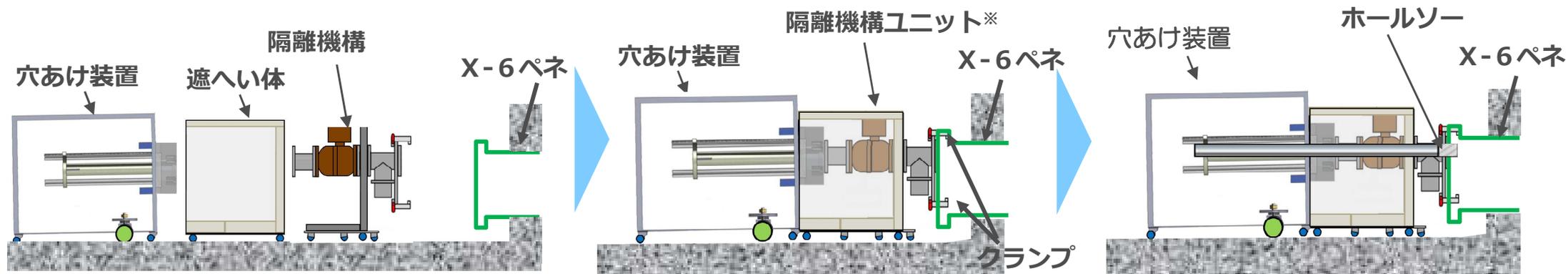
4. PCV内部調査の状況 (2号機)

4.1 PCV内部調査にむけた作業ステップ (2017年1~2月)

ステップ1. 装置の搬入

ステップ2. 装置の設置

ステップ3. 穴あけ



PCV内部を確認したステップ

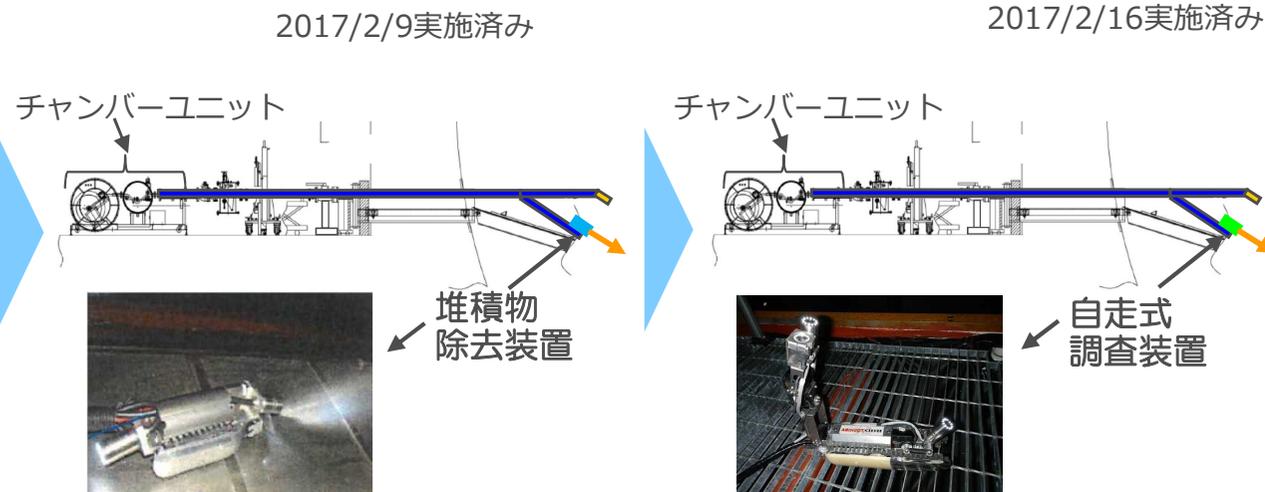
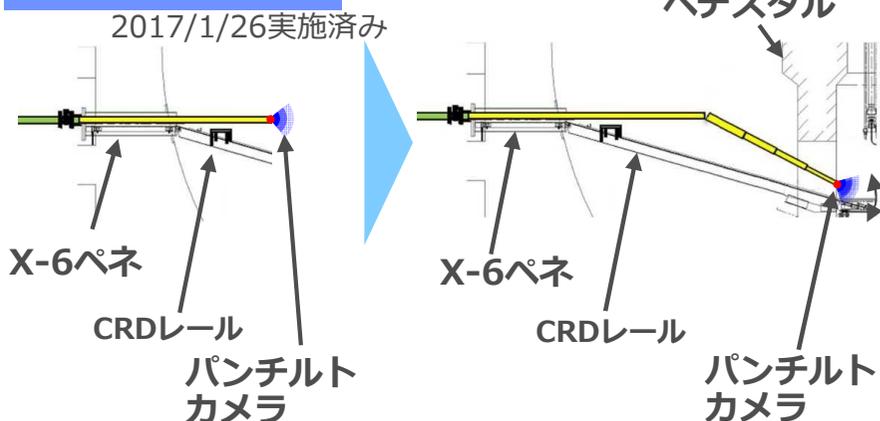
※隔離機構と遮へい体を組合せたもの

ステップ4. 事前確認用ガイドパイプによるX-6ペネ内、CRDレール事前調査

ステップ5. ガイドパイプによるペDESTAL内事前調査

ステップ6. 堆積物除去装置の投入

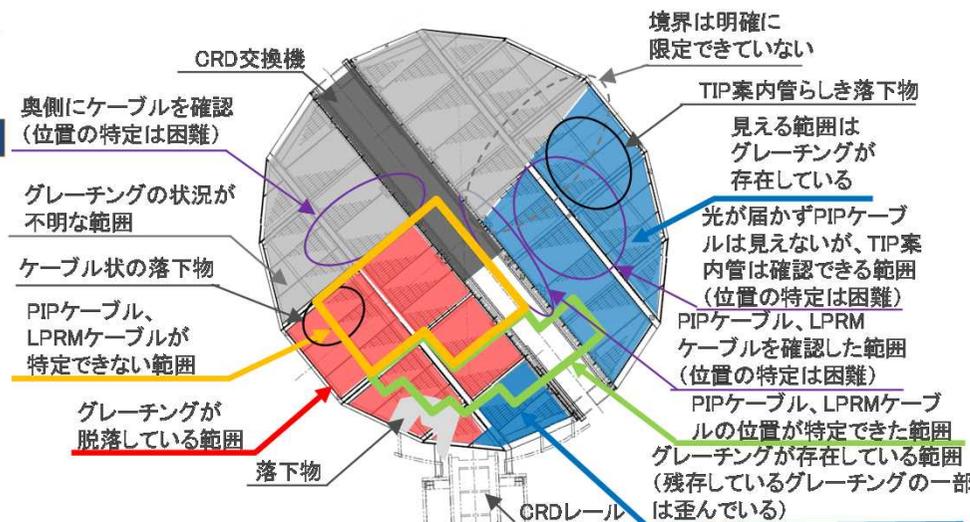
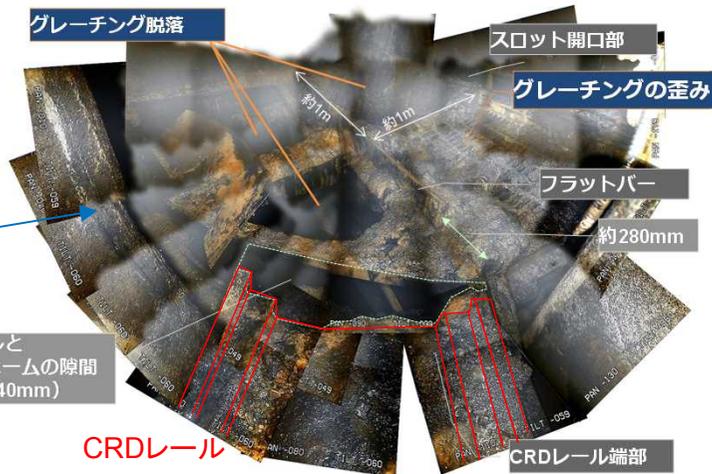
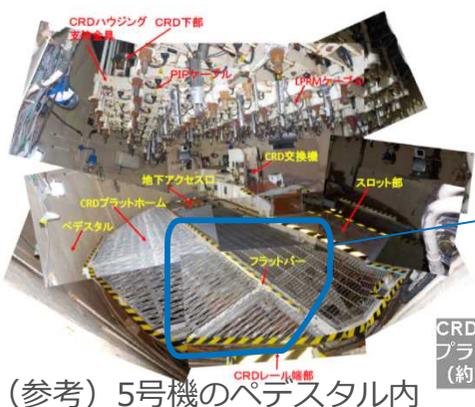
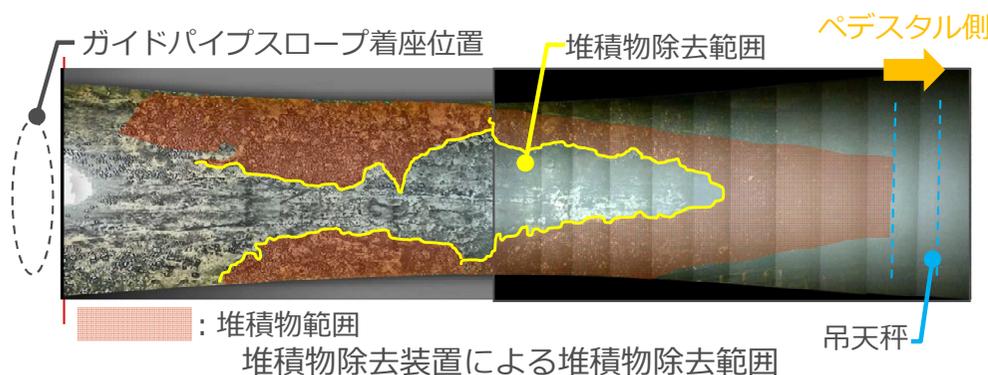
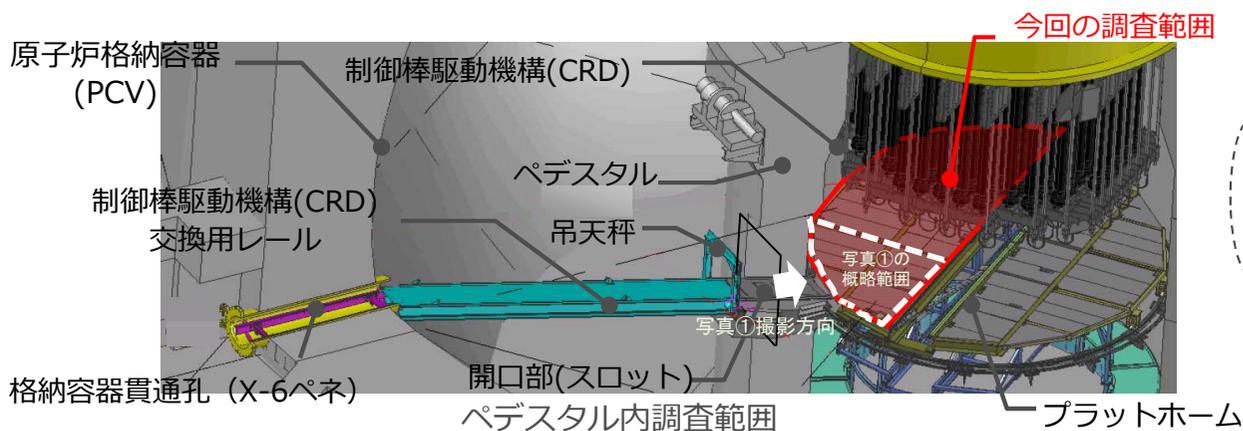
ステップ7. 自走式調査装置による内部調査



4. PCV内部調査の状況 (2号機)

4.2 ペデスタル内調査 (2017年1~2月)

- 2017年1月~2月にかけて、格納容器内部の調査を実施。CRD交換用レール及びペデスタル内において、堆積物やグレーチングの脱落等の状況を確認。堆積物は堆積状況を確認した上で、自走式調査装置投入のため一部を除去。
- また、線量計を搭載したロボットによる調査により、CRD交換用レール上において線量率を確認。なお、今まで調査できていなかった箇所を、事故後初めて調査出来たということであり、新たな事象が発生したということではない。
- 今後、一連の調査で得られた情報を評価し、今後の格納容器内部調査の計画に反映する。



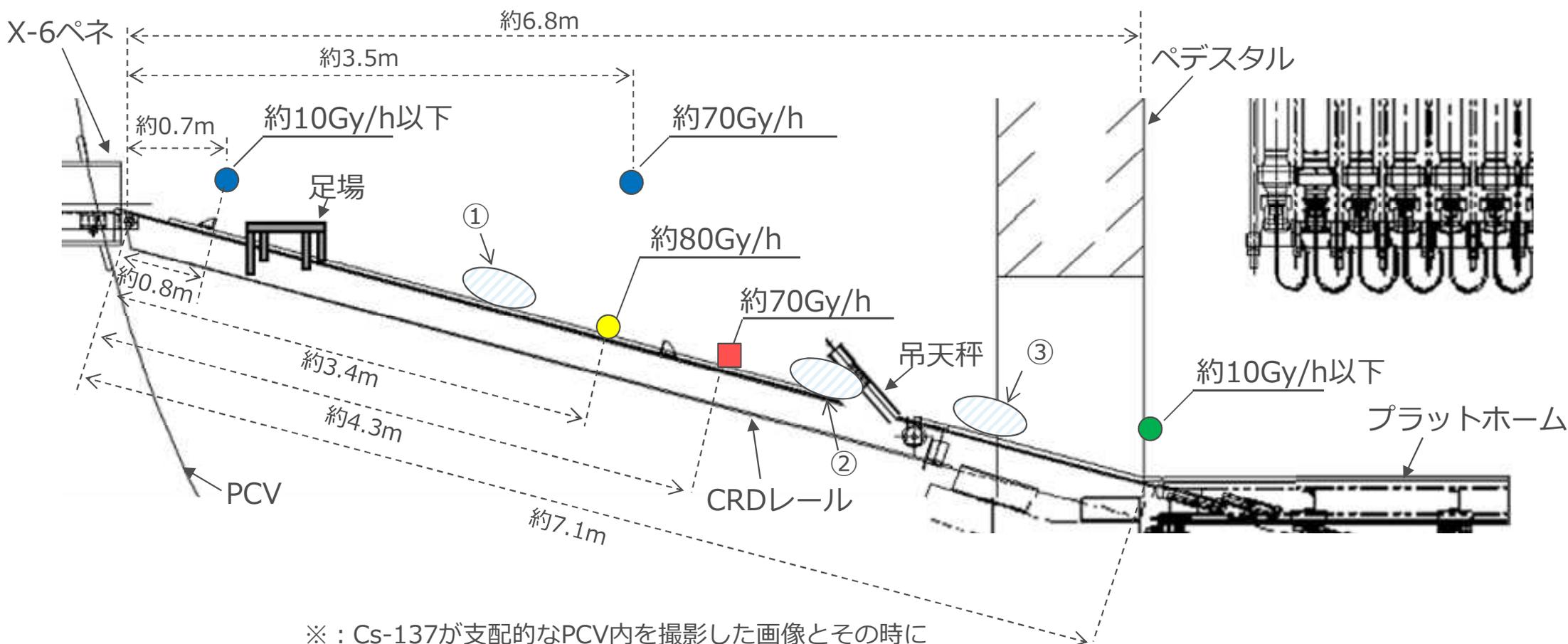
2号機のペデスタル内調査画像

画像解析によるペデスタル内確認結果

4. PCV内部調査の状況 (2号機)

4.3 ペDESTAL内調査 線量率確認結果 (2017年1~2月)

- X-6ペネ内, CRDレーン事前調査 : 1/26
 - ペDESTAL内事前調査 : 1/30
 - 堆積物除去装置の前方カメラ : 2/9
 - 自走式調査装置 : 2/16
- カメラ画像ノイズから線量率を推定
- 積算線量計を用いて線量率を算出



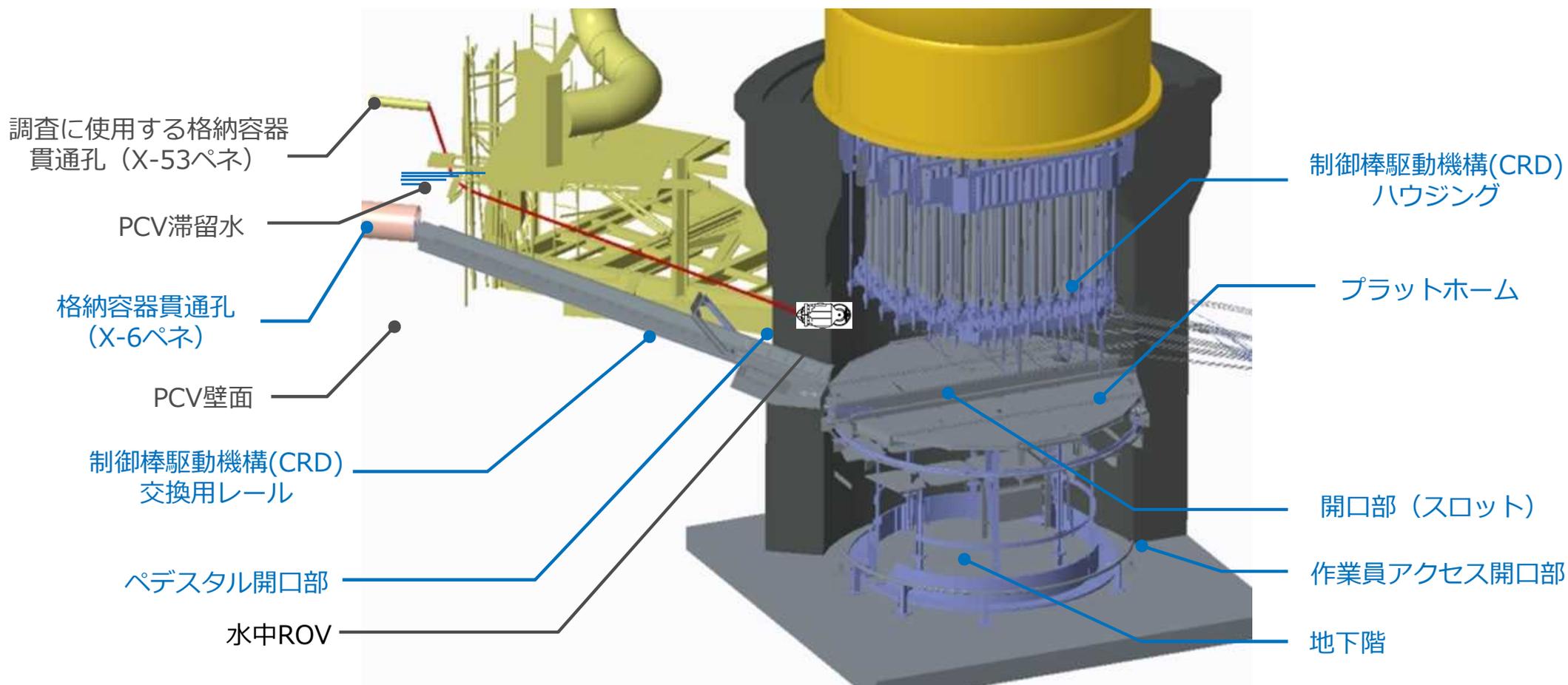
※ : Cs-137が支配的なPCV内を撮影した画像とその時にあわせて電離箱で測定した線量率を用いて校正

3号機PCV内部調査の状況

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

5.1 PCV内部調査の概要 (2017年7月)

【調査計画】：①燃料デブリが存在する可能性のあるペDESTAL地下階について確認を行う。
②ペDESTAL内次回調査装置への設計・開発フィードバック情報(X-6やCRDレールの状況等)を取得する。

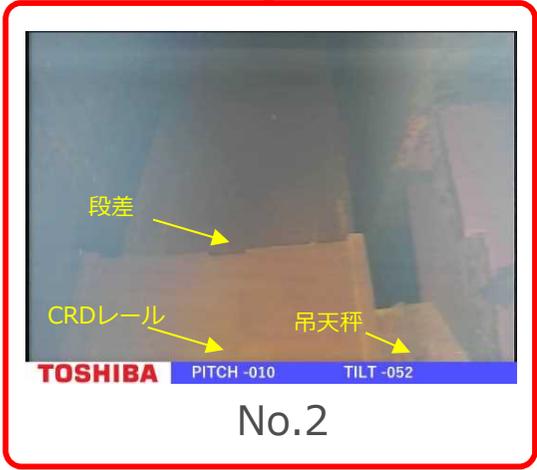
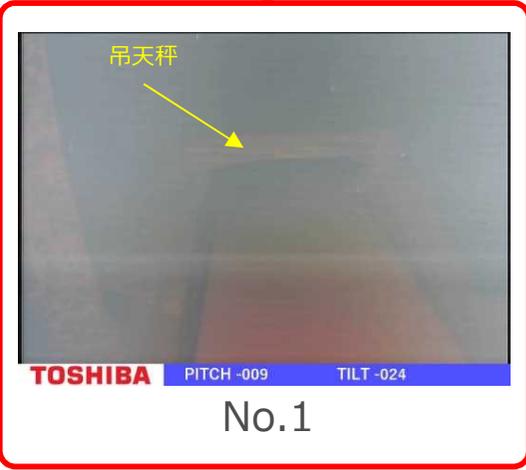
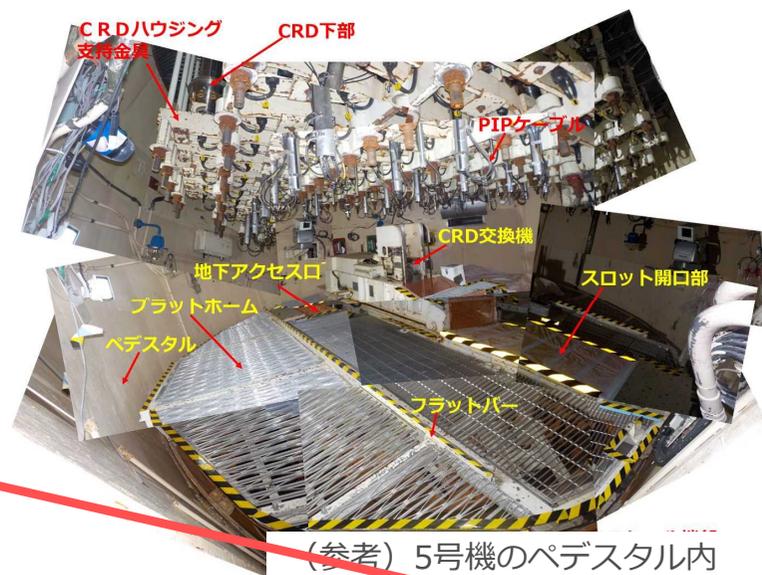
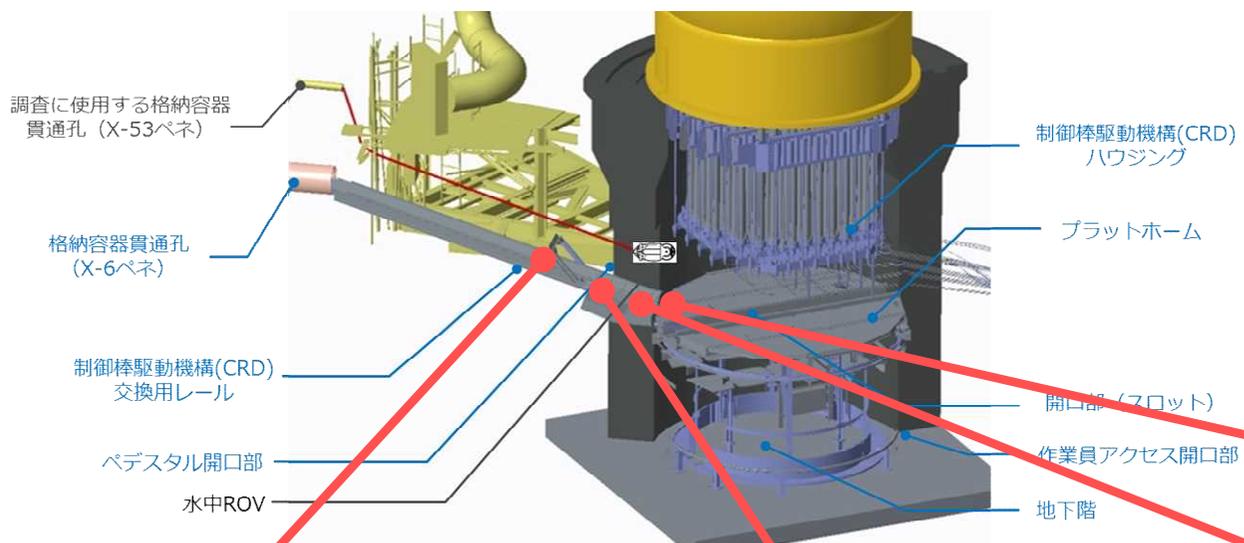


調査概要図

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

5.1 画像取得結果 (CRDレール~ペデスタル開口部)

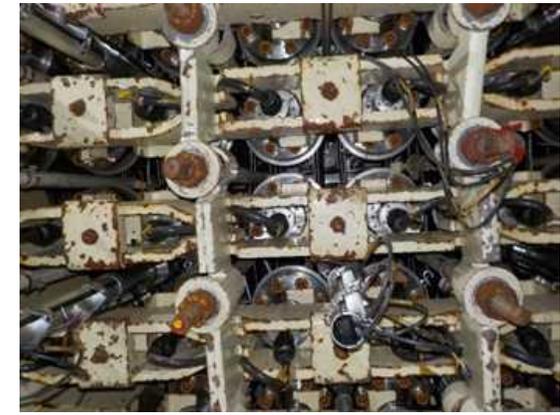
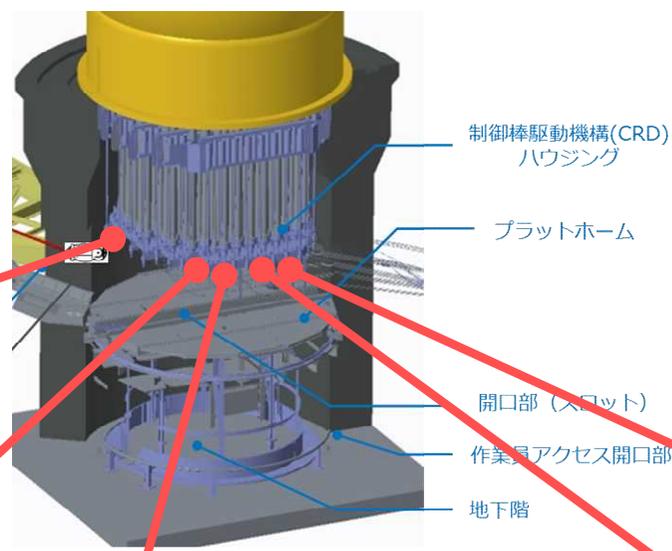
(2017年7月) **TEPCO**



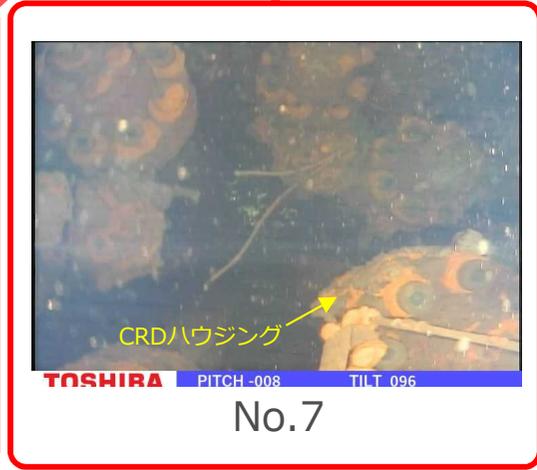
・ペデスタル内において複数の構造物の損傷を確認した。

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

5.2 画像取得結果 (CRDハウジング近傍) (2017年7月)



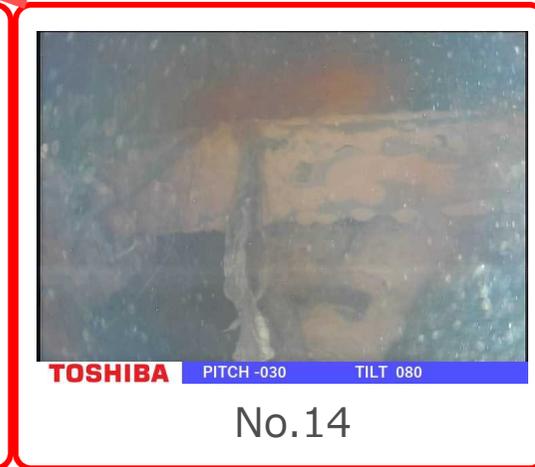
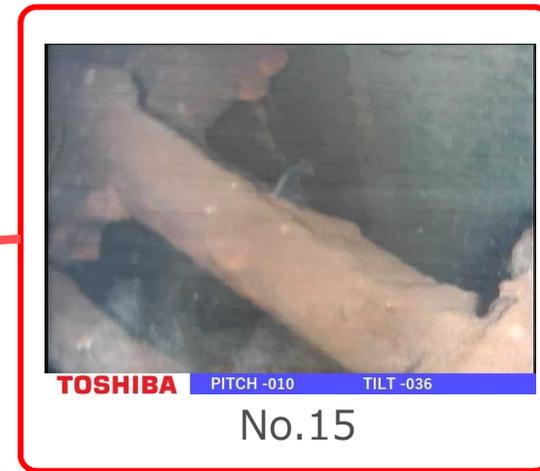
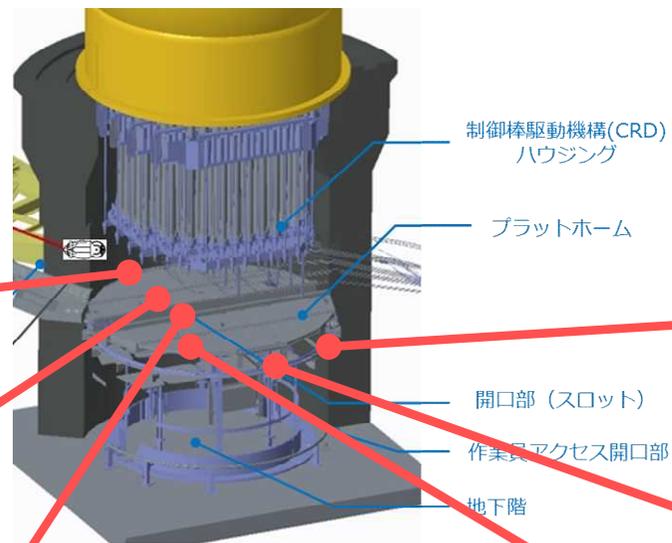
(参考) 5号機のCRDハウジングおよびCRDハウジング支持金具



- ・複数個所でCRDハウジング支持金具の脱落、変形を確認した。
- ・CRDハウジング支持金具に溶融物が固化したと思われるものが付着していることを確認した。

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

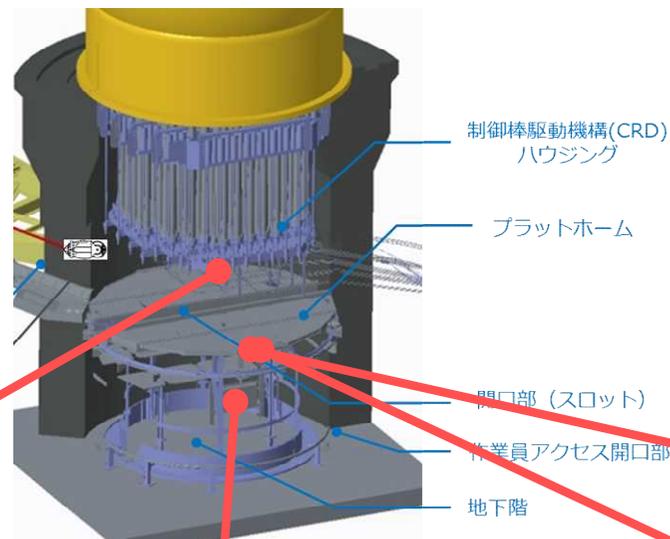
5.3 画像取得結果 (ペデスタル内) (1/3) (2017年7月)



・ペデスタル内において複数の構造物の損傷や落下物を確認した。

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

5.3 画像取得結果 (ペデスタル内) (2/3) (2017年7月)



TOSHIBA PITCH -013 TILT -092

No.16



TOSHIBA PITCH -011 TILT -073

No.17



TOSHIBA PITCH -009 TILT -090

No.18



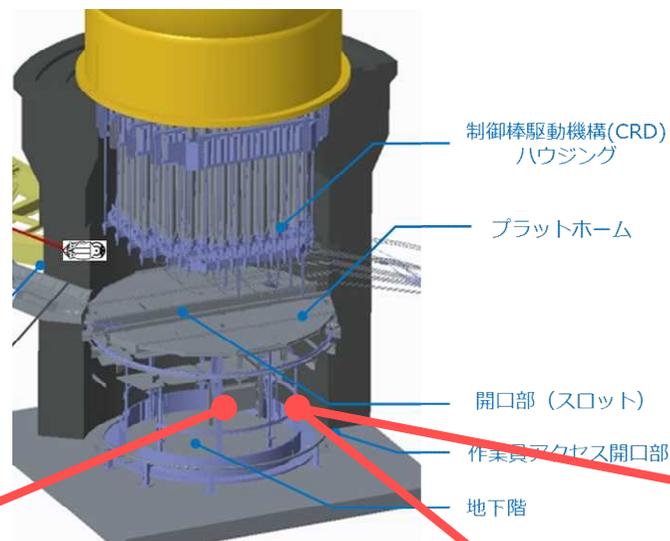
TOSHIBA PITCH 005 TILT -053

No.19

・ペデスタル下部や、ペデスタル内構造物上に溶融物が固化したと思われるものを確認した。

5. PCV内部調査の状況 (3号機)

5.3 画像取得結果 (ペデスタル内) (3/3) (2017年7月)



- ・ペデスタル下部において小石状や砂状の堆積物を確認した。
- ・グレーチング等の複数の落下物を確認した。

5. PCV内部調査の状況（3号機）

5.4 調査結果まとめ（2017年7月）

2017年7月の調査で、3号機ペDESTAL内部の状況を初めて撮影することができた。

ペDESTAL内部において、溶融物が固化したと思われるものや、複数の構造物の損傷を確認することができた。

- CRDハウジング支持金具の複数箇所で損傷が確認され、CRDハウジング支持金具に溶融物が固化したと思われるものが付着していることを確認した。
- ペDESTAL下部において溶融物が固化したと思われるものやグレーチング等の複数の落下物、堆積物を確認した。



得られた画像データを元に、ペDESTAL内部等の状況を継続確認する。

まとめ

- 各号機の至近のPCV内部調査で得られた結果は以下の通り。
 - 1号機（2017年3月）
 - PCV外側ドレンサンプ周辺の視認される構造物に大きな損傷や倒壊がないことを確認した。
 - 調査地点においてPCV底部に確認された堆積物表面の主線源はCs-137であると推定し、堆積物厚さが薄い地点では燃料デブリが存在していないか、又は存在しても少量であると推定、ペDESTAL開口部近傍では堆積物表面高さが高く、堆積物中に燃料デブリが存在するかどうかは推定できなかった。
 - 2号機（2017年1月～2月）
 - 一連の調査で、ペDESTAL内グレーチングの脱落や変形等を確認した。
 - 3号機（2017年7月）
 - CRDハウジング支持金具の複数箇所での損傷が確認され、CRDハウジング支持金具に溶融物が固化したと思われるものが付着していることを確認した。
 - また、ペDESTAL下部においても溶融物が固化したと思われるものやグレーチング等の複数の落下物、堆積物を確認した。

- 
- 燃料デブリ取り出しに向けた検討のため、調査によって得られた情報や調査技術を次の調査計画立案にフィードバックしながら、引き続き調査を進めていく