

有機化合物を含む可燃性ガスの発生源に関する 過去の調査結果から得られた情報について

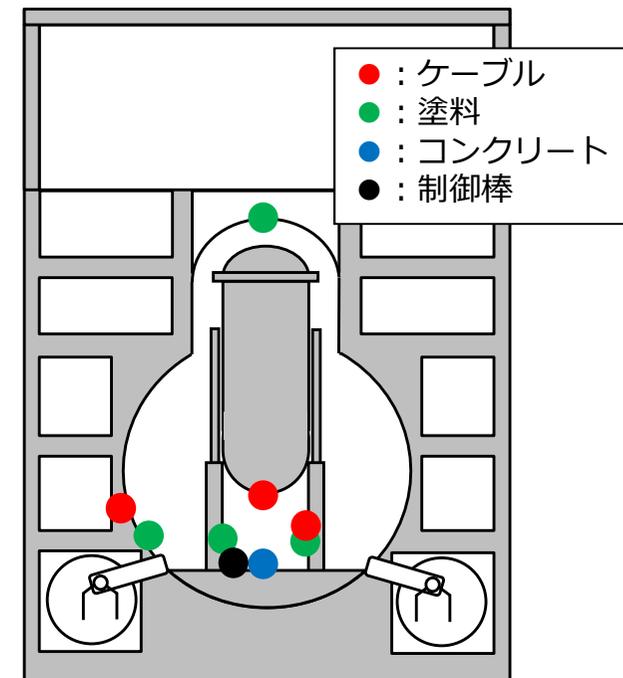
2021年9月14日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 背景及び概要

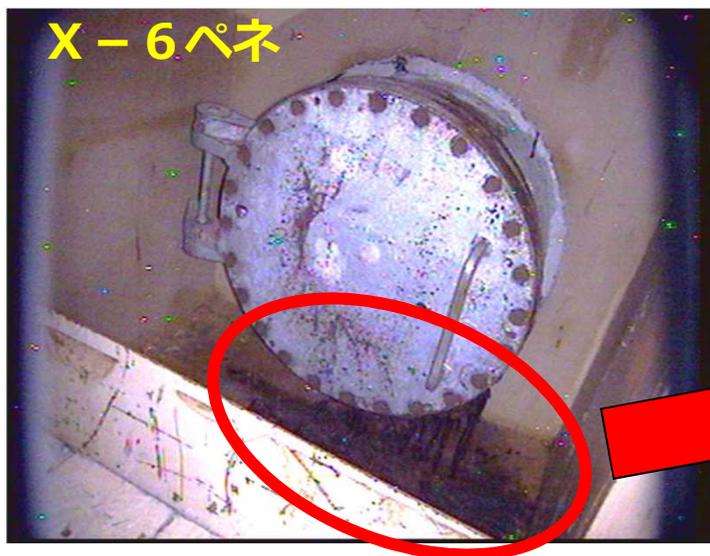
- 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（以下、「事故分析検討会」）にて実施された3号機原子炉建屋の水素爆発時の映像分析結果から、爆発時原子炉建屋内には水素だけではなく、有機化合物を含む可燃性ガス（以下、「可燃性有機ガス」）が発生していた可能性が示唆されている。
- 本資料では、RPV及びPCV周辺で可燃性有機ガスの発生源となり得る物について過去の調査結果から得られた情報を整理した。
- また、可燃性有機ガスは高温環境下で発生したと推測されることから、過去の調査結果から事故当時のRPV及びPCV周辺の雰囲気温度推定に関連する情報を整理した。
- 可燃性有機ガスの発生源となり得る物として以下を抽出し、過去の調査結果からこれらの状態に関する情報を整理した。
 - ✓ ケーブル被覆
 - ✓ 塗料（エポキシ樹脂）
 - ✓ コンクリート
 - ✓ 制御棒（ B_4C ）
- 事故当時のRPV及びPCV周辺の雰囲気温度推定に関連する情報として、以下の情報を整理した。
 - ✓ 事故当時の温度パラメータ
 - ✓ PCVトップヘッドフランジシール部の劣化
 - ✓ 鉛遮へい材、鉛毛マット



抽出した物に関する
情報の取得位置（概略）

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	ケーブル	X-6ペネ周り	2015.6.29 報道配付資料 2015.8.27 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



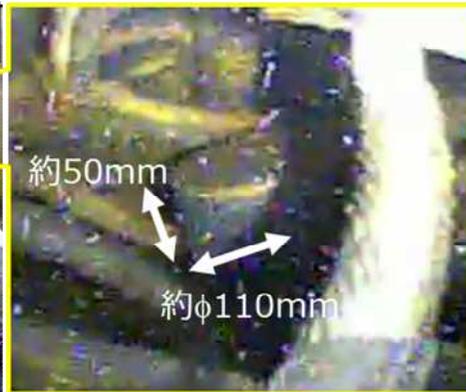
- ・ フランジから床面に溶け出た跡を確認
- ・ 溶け出たものについては以下のことが推定される
 - ・ ペネフランジシール用 Oリング
 - ・ CRD交換機用ケーブル被覆材 等

参考：PCV側から見た
5号機X-6ペネ内部

CRD交換機用制御ケーブル

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	ケーブル	X-6ペネ内部	2020.11.26 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



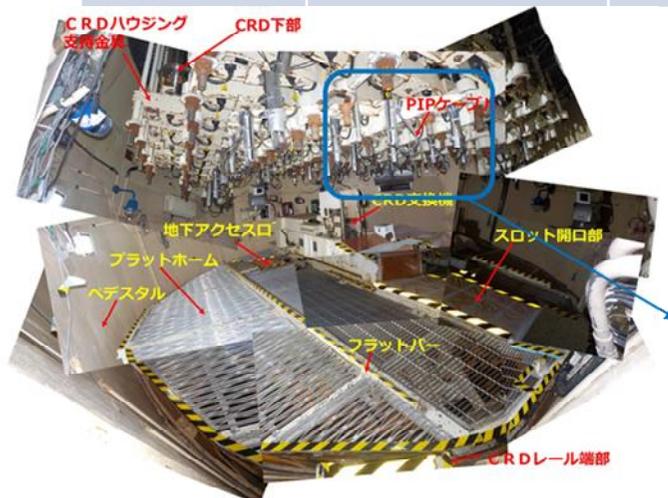
※2017年1月のアクセスルート構築時にペネ内に落下したX-6ペネハッチくり抜き部

- ・ケーブルは被覆材が無く内部がむき出しになっていることを確認
- ・接触調査により、ケーブルは固着が無く持ち上がることを確認

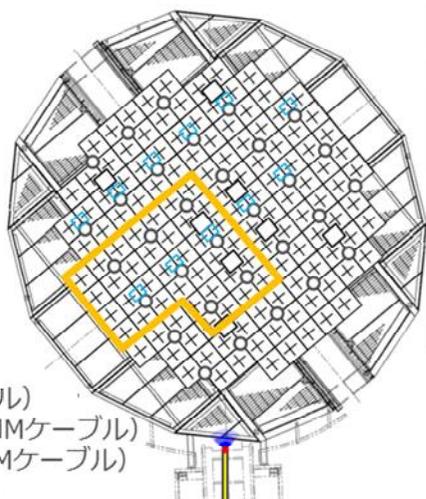


2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	ケーブル	ペDESTアル内上部	2017.3.30 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



(参考) 5号機のペDESTアル内



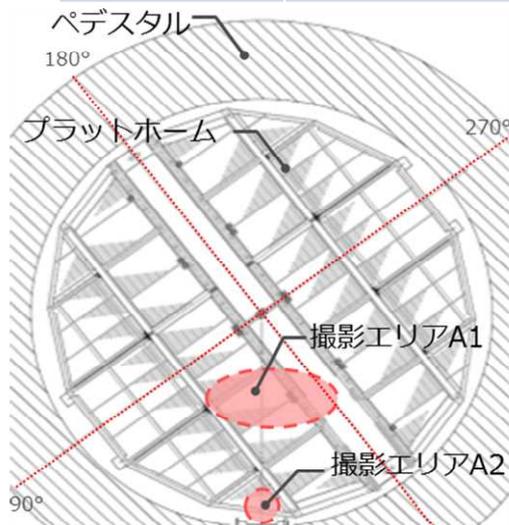
- + : 制御棒駆動機構
(真下にPIPケーブル)
 - : SRNM (真下にSRNMケーブル)
 - : LPRM (真下にLPRMケーブル)
 - : TIP案内管サポート
- グレーチング上に既設構造物の位置を投影した場合



・右上部は、左側と比較して、PIPケーブル及びLPRMケーブルを多数確認

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

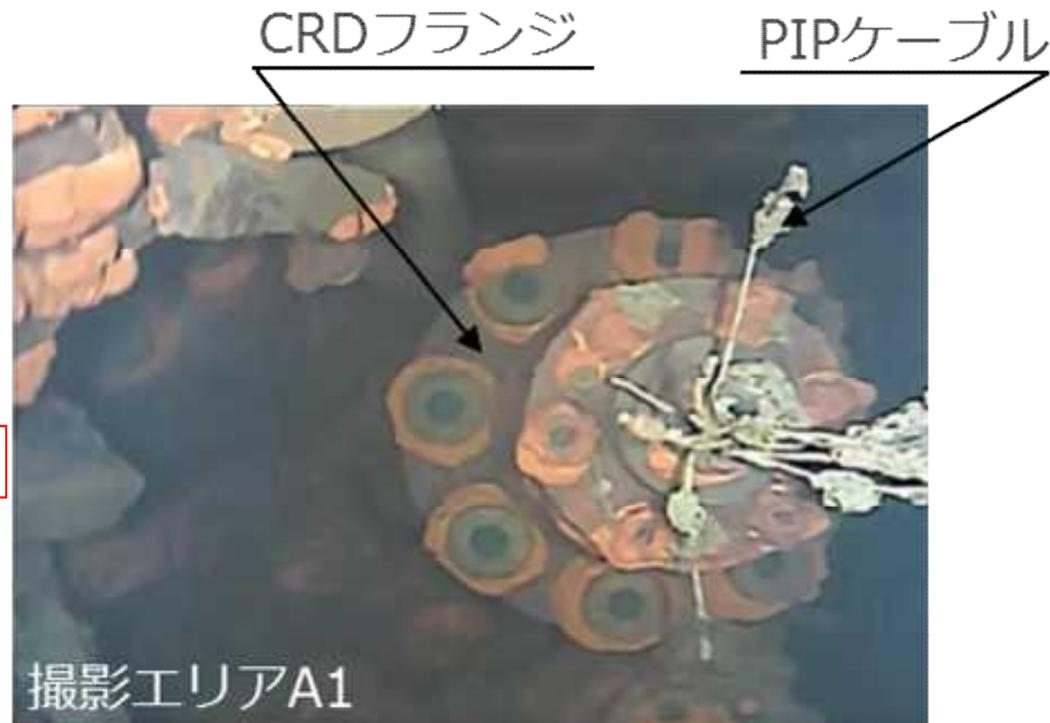
号機	種類	場所	公表資料
3号機	ケーブル	ペDESTアル内上部	2017.12.26 特定原子力施設監視・評価検討会



PIPケーブル



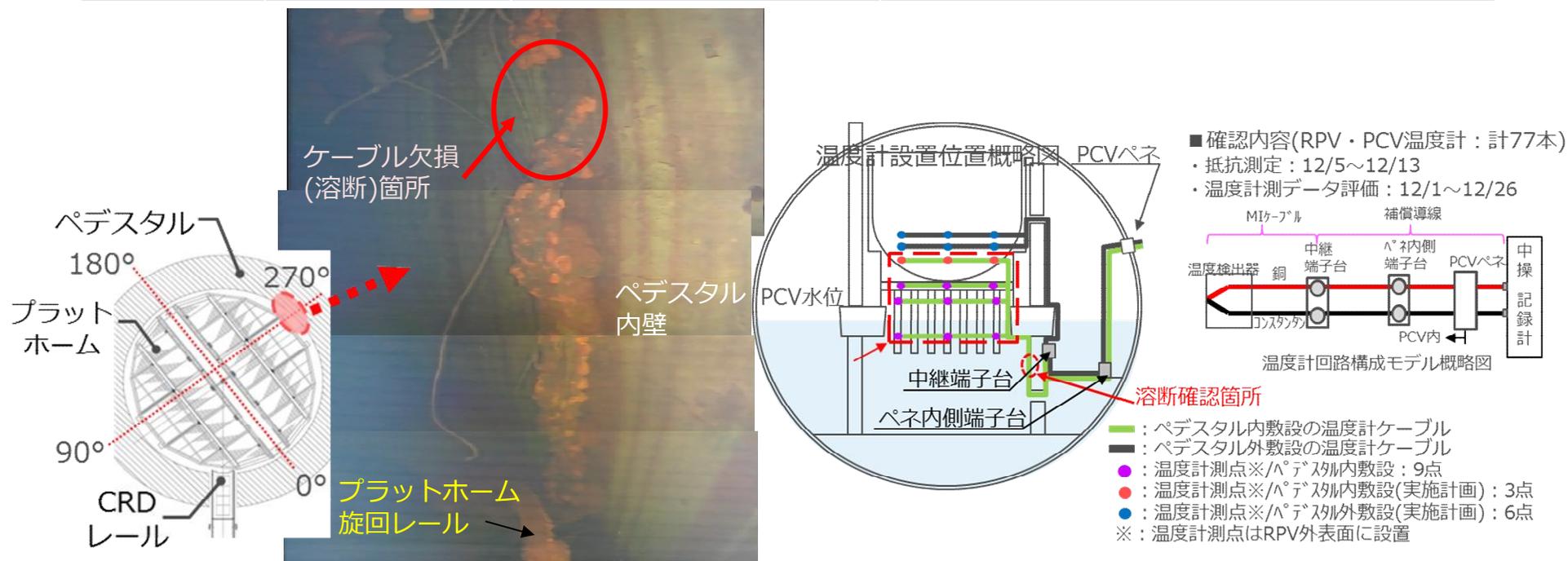
震災前のCRDハウジング支持金具の状態 (3号機)



PIPケーブルが欠損していることを確認

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
3号機	ケーブル	ペDESTアル内壁面	2017.12.26 特定原子力施設監視・評価検討会



- ・ペDESTアル内壁面270°付近に敷設されているRPV底部温度計ケーブル(12本)が欠損している状況を確認
- ・ペDESTアル内に落下・溶融した燃料等の高温溶融物が付着したことにより欠損(溶断)したものと推定
- ・ペDESTアル外に敷設しているRPV底部温度計(6本)は、高温溶融物が付着する可能性は低く欠損していないと考えている

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	ケーブル	RPV底部ヘッド上部	2012.2.15 福島第一原子力発電所第2号機 原子炉圧力容器底部における温度上昇を踏まえた対応に係る報告について

- 2号機RPV底部温度計の指示不良事象
 - 2012年2月2日以降、RPV底部ヘッド上部の温度計の1箇所において、指示値の緩やかな上昇傾向を確認
 - 他パラメータの状況から当該温度計の不具合と推定し、健全性確認（直流抵抗測定）を実施したところ、断線状態に達したものと判定
 - 当該温度計の指示不良（ハンチング及び温度上昇）について、条件を模擬したモックアップ試験にて同様の挙動が起きることを確認

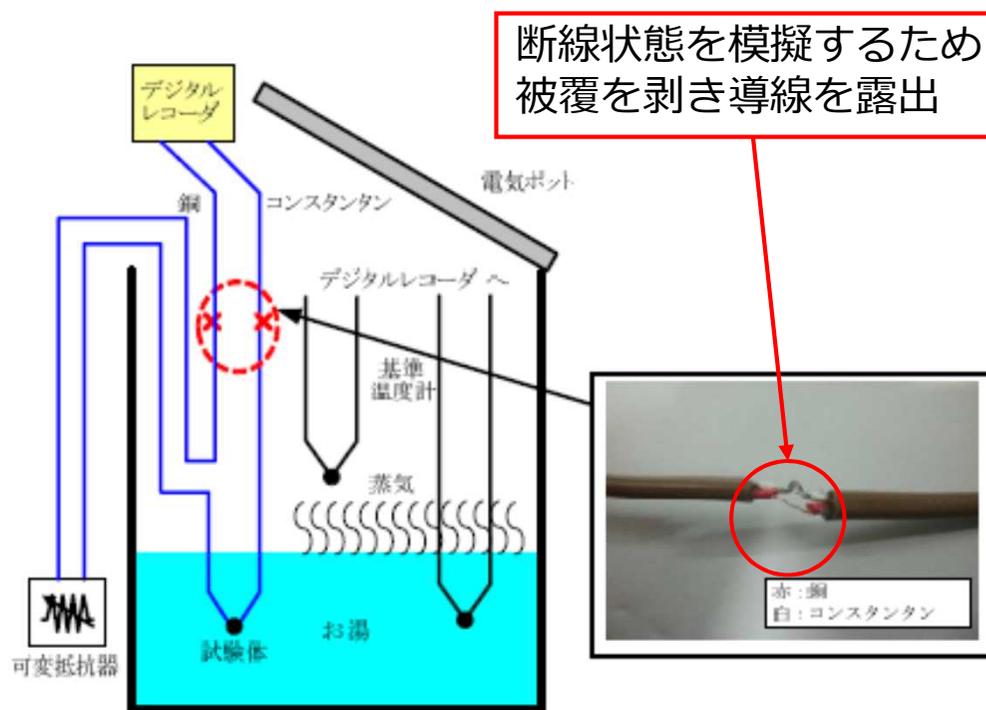


図1. モックアップ試験概要図

- 事故時の環境（高温、高圧、高湿分）により、ケーブルの被覆が失われ内部が剥き出しになり、指示不良に至ったと推定
- その際、ケーブルの被覆から可燃性有機ガスが発生した可能性が考えられる

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

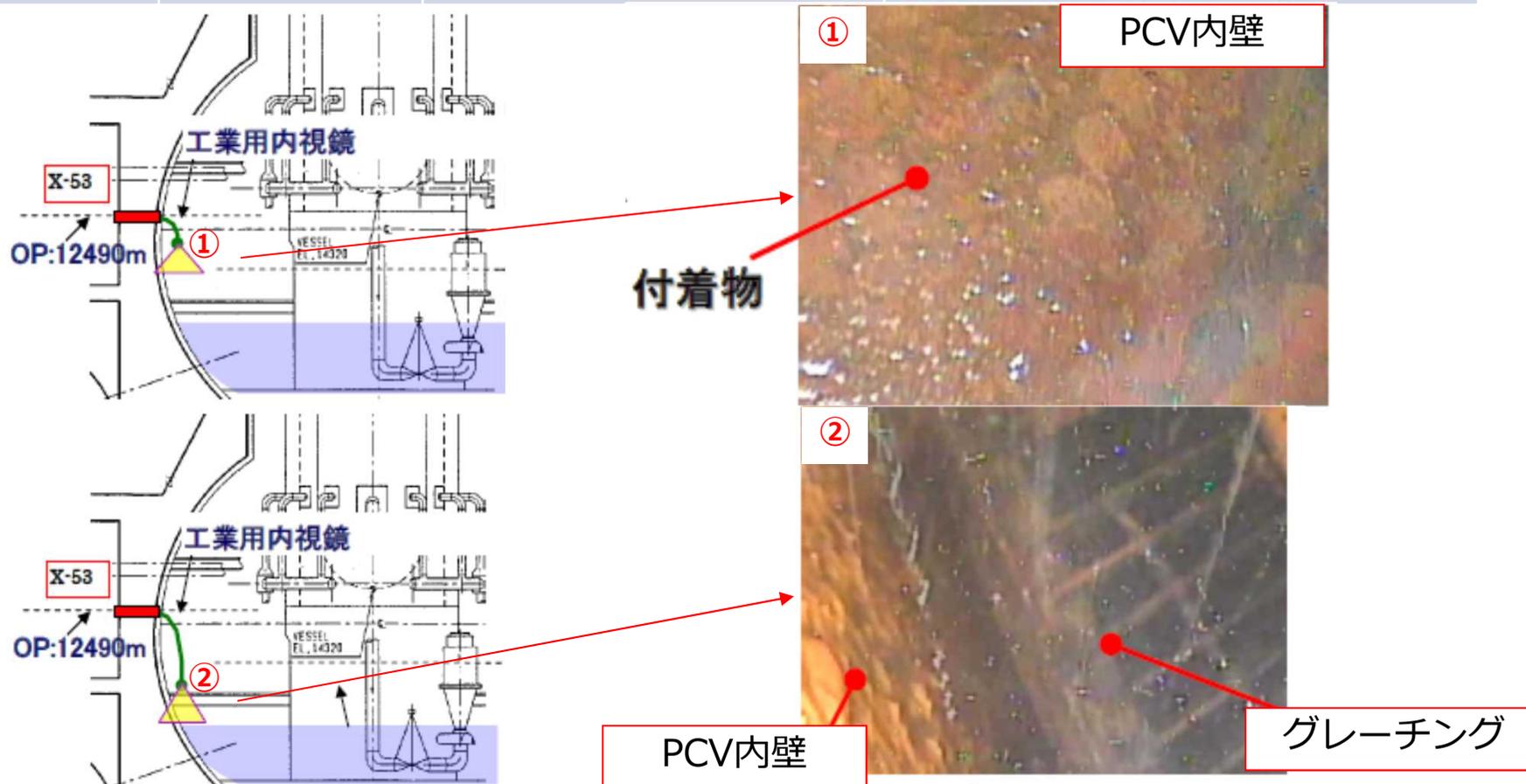
号機	種類	場所	公表資料
1号機	塗料	PCV内壁面 (X-100Bペネからアクセス)	2012.10.12 当社HP 福島第一原子力発電所1号機 原子炉格納容器内部調査 (10/11実施分) <ダイジェスト版>



PCV内壁面の塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	塗料	PCV内壁面 (X-53ペネからアクセス)	2012.1.23 政府・東京電力中長期対策会議 運営会議



PCV内壁面のエポキシ系塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

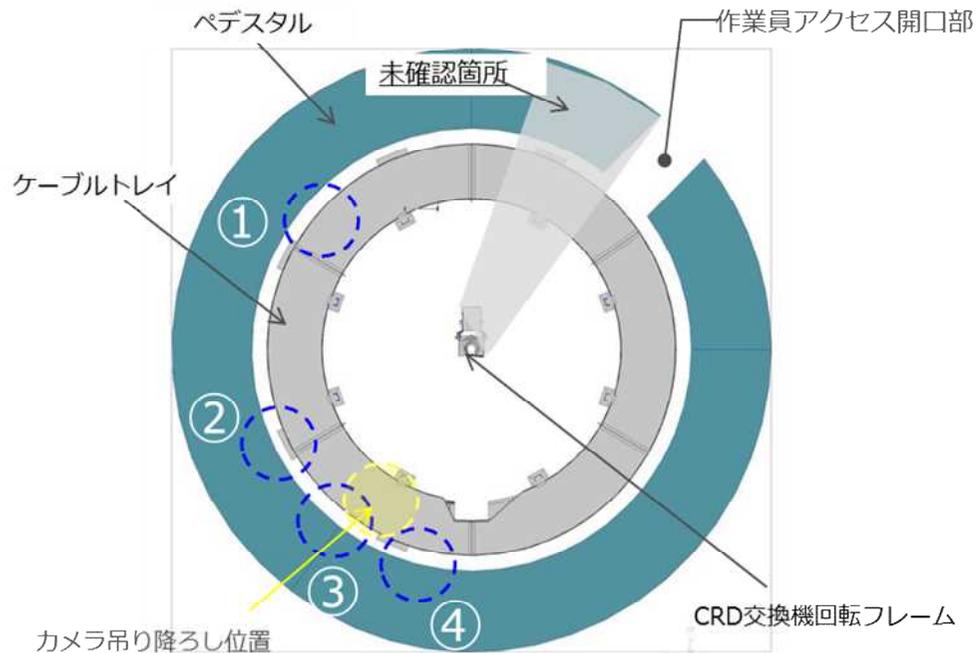
号機	種類	場所	公表資料
3号機	塗料	PCV内壁面 (X-53ペネからアクセス)	2017.7.19 当社HP 福島第一原子力発電所3号機 PCV 内部調査進捗 ～19日調査速報～



PCV内壁面のエポキシ系塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	塗料	ペDESTアル内壁面	2018.5.18 特定原子力施設監視・評価検討会



ペDESTアル内壁面のエポキシ系塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

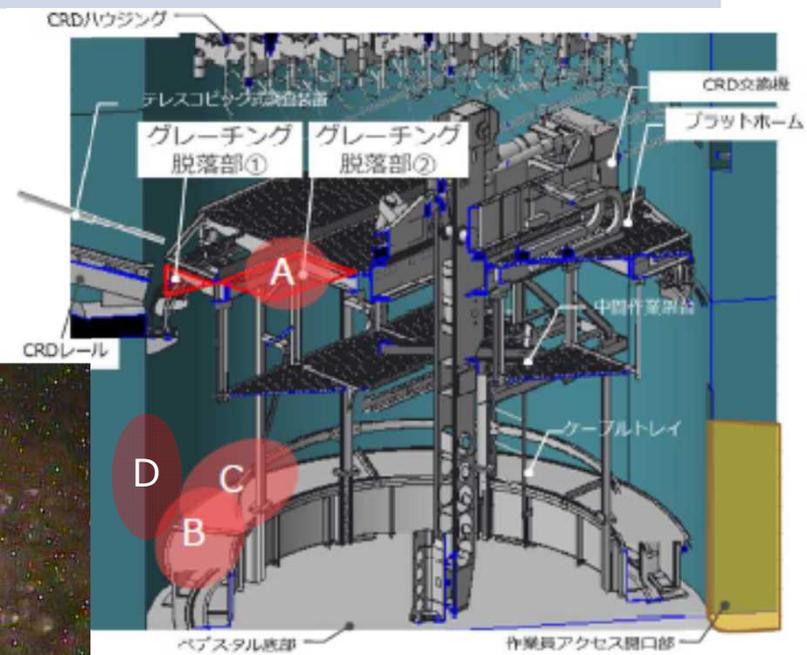
号機	種類	場所	公表資料
2号機	塗料	ペDESTアル内壁面	2018.2.1 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



撮影箇所D ペDESTアル内壁



撮影箇所C ペDESTアル底部



ペDESTアル内壁

ペDESTアル内壁面のエポキシ系塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

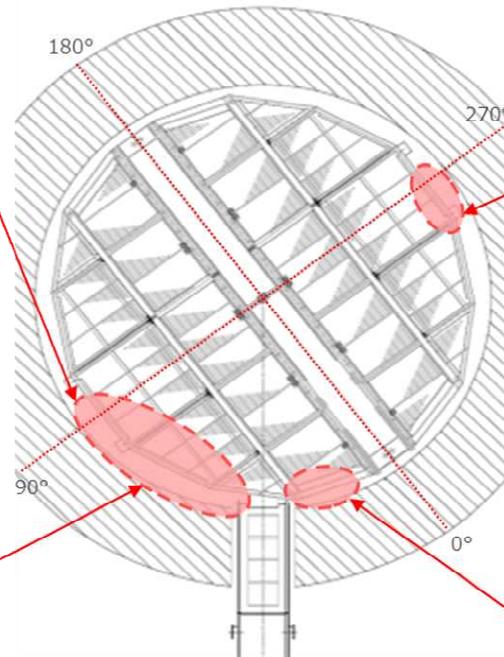
号機	種類	場所	公表資料
3号機	塗料	ペDESTアル内壁面	2017.12.26 特定原子力施設監視・評価検討会



<カメラ向き：下方>



<カメラ向き：上方>



<カメラ向き：水平>



<カメラ向き：下方>

ペDESTアル内壁面のエポキシ系塗装の剥がれや表面の荒れのようなものは見られるものの、内壁に大規模な破損・変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
1号機	塗料	PCVトップヘッド	2019.11.28 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



参考：事故前のPCV上蓋

フランジ部について、塗装の劣化はあるものの、著しい損傷や大きな変形は確認されなかった

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

号機	種類	場所	公表資料
2号機	塗料	PCVトップヘッド	2021.7.8 事故分析検討会

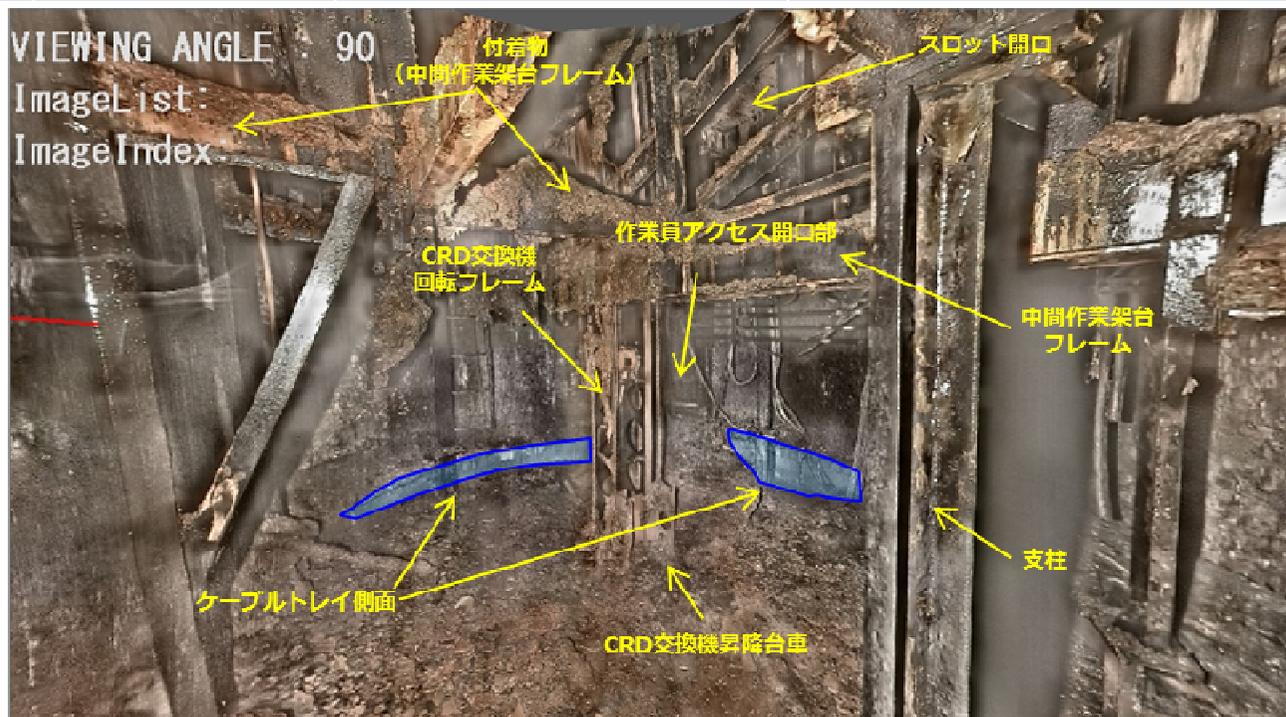


参考：事故前のPCV上蓋

PCV上蓋の塗装が剥がれ落ちていることを確認

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

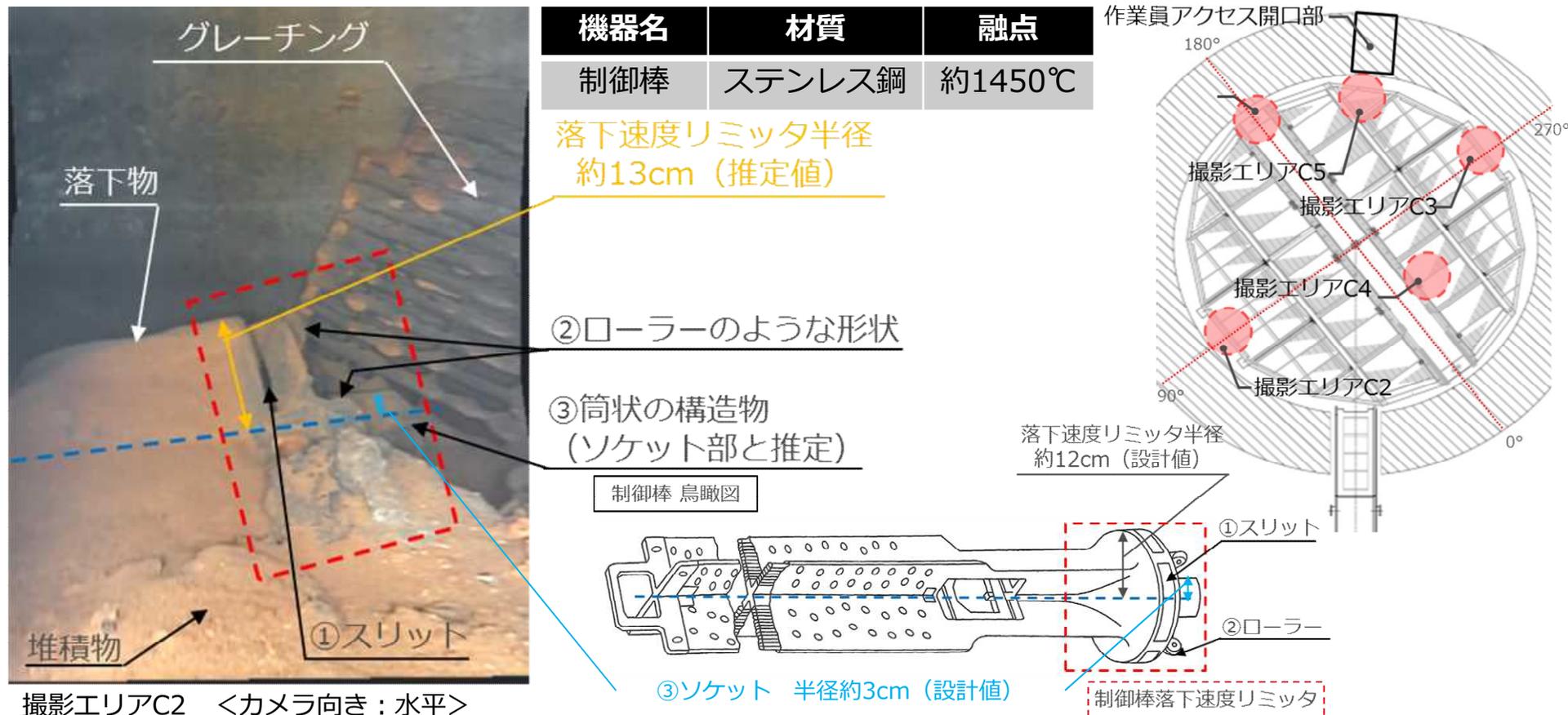
号機	種類	場所	公表資料
2号機	コンクリート	ペDESTAL底部	2018.4.26 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議



- ・ペDESTAL底部の堆積物は溶融物が固化したもののように見える一方で、ケーブルトレイ(ステンレス鋼、厚さ4mm)の変形が確認されていないことから、ケーブルトレイの上に堆積し始めた際の堆積物温度が、ケーブルトレイに熱変形を生じさせる温度ではなかった可能性がある
- ・このことから、2号機ではMCCI(溶融炉心-コンクリート反応)により可燃性有機ガスが発生した可能性は低いと考えられる

2. 可燃性有機ガスの発生源となり得る物に関する情報

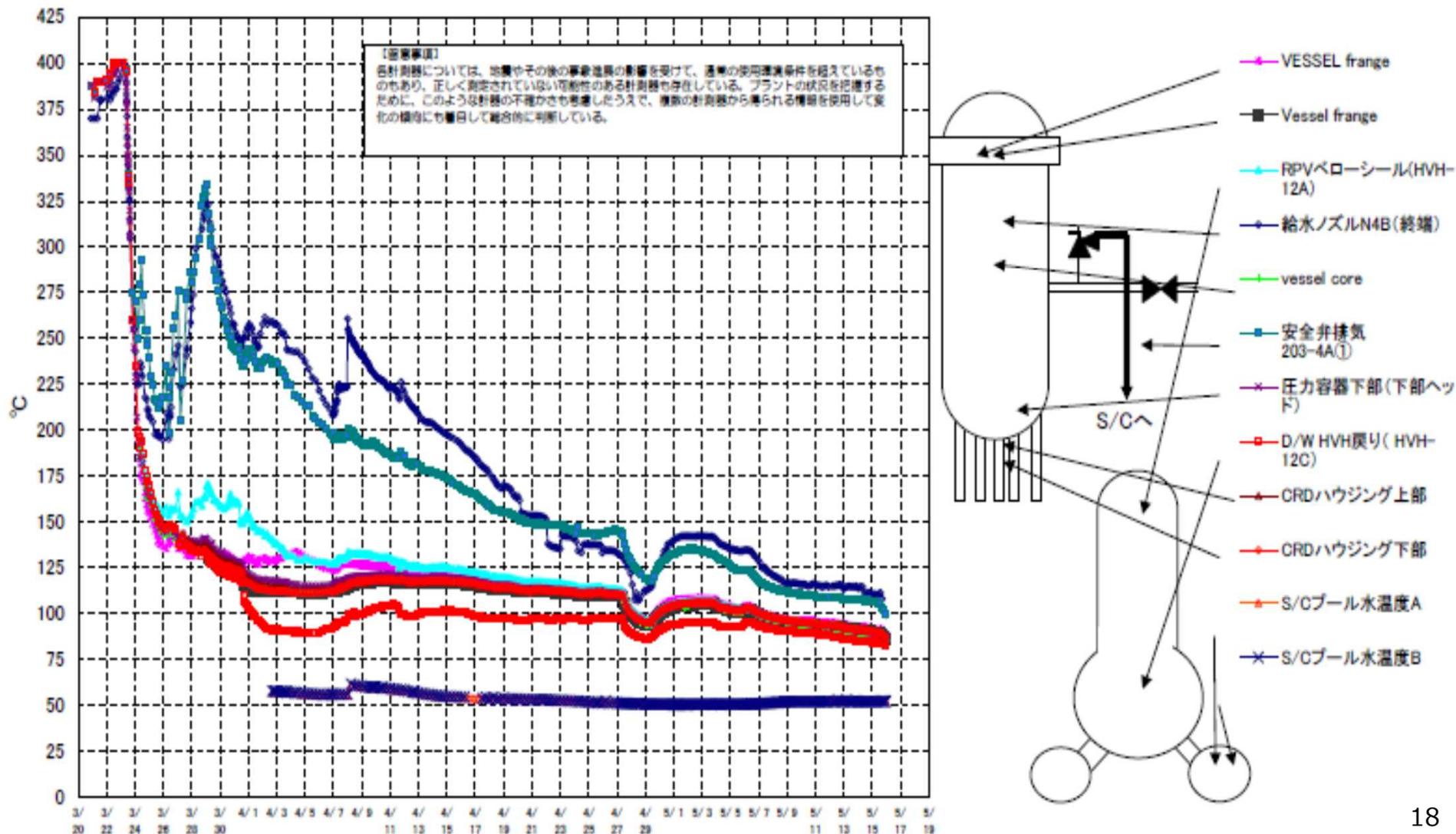
号機	種類	場所	公表資料
3号機	制御棒	ペDESTAL底部	2017.12.26 特定原子力施設監視・評価検討会



ペDESTAL底部に制御棒と類似した構造物の一部が落下していることから、溶融燃料と制御棒が接触して制御棒が溶融した際、 B_4C から可燃性有機ガスが発生した可能性が考えられる

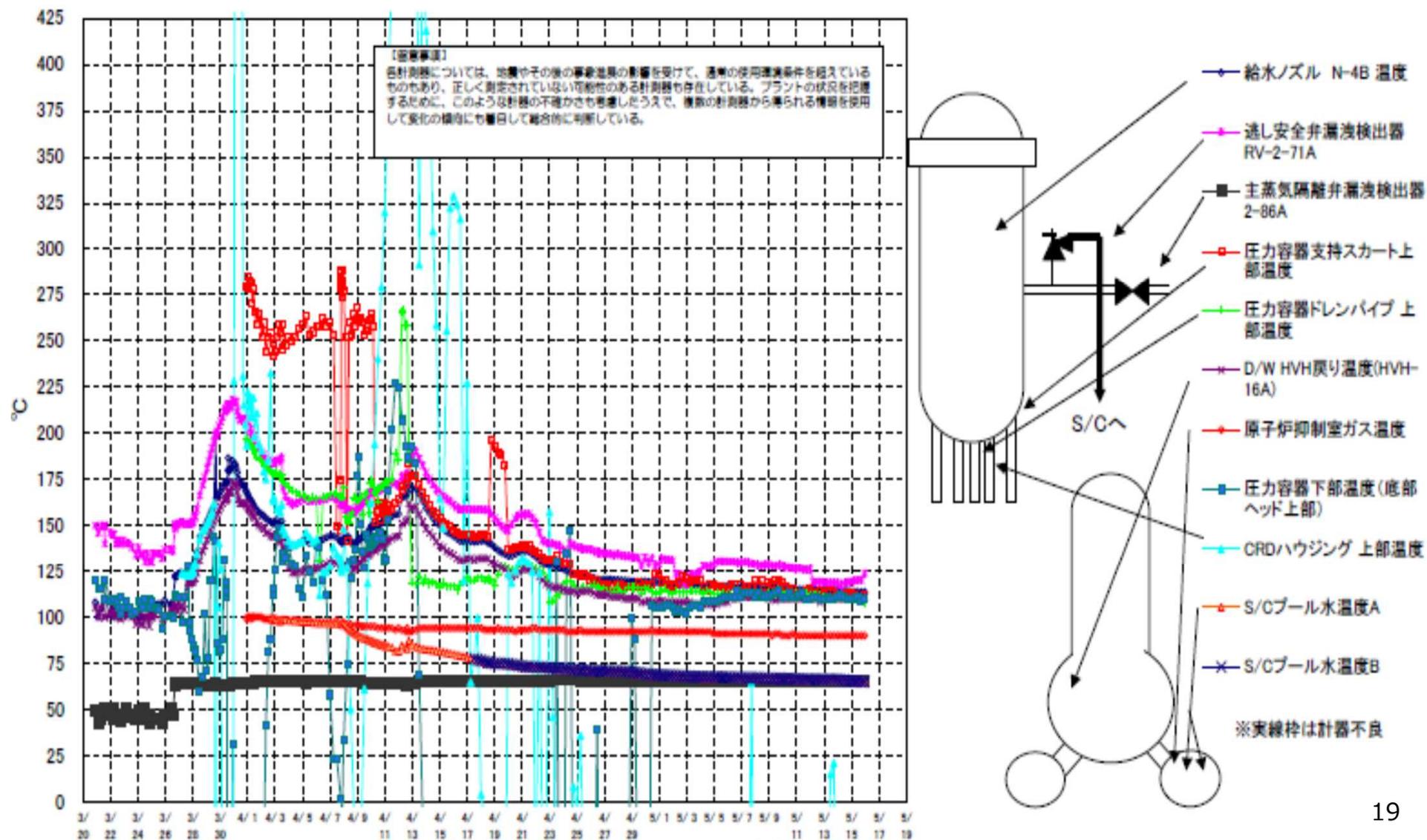
3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 **TEPCO**

号機	種類	公表資料
1号機	事故当時の温度パラメータ(代表点)	当社HP プラント関連パラメータ



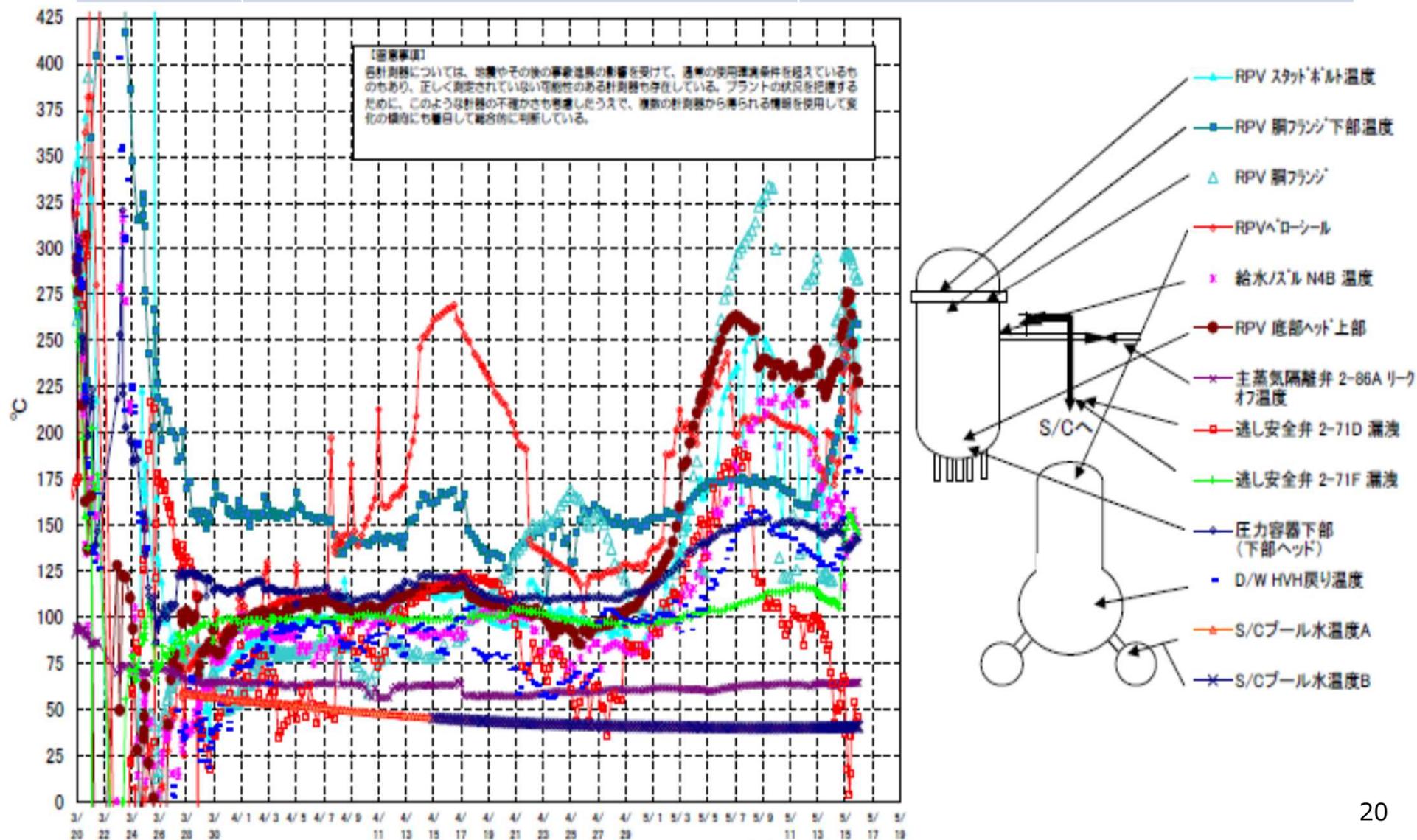
3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 TEPCO

号機	種類	公表資料
2号機	事故当時の温度パラメータ(代表点)	当社HP プラント関連パラメータ



3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 TEPCO

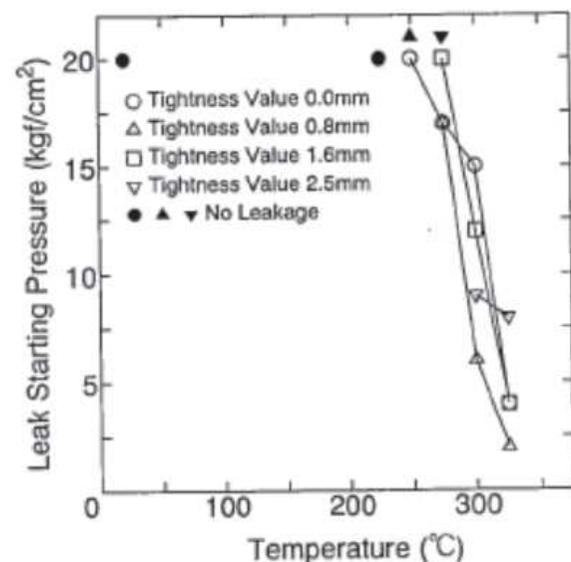
号機	種類	公表資料
3号機	事故当時の温度パラメータ(代表点)	当社HP プラント関連パラメータ



3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 TEPCO

号機	種類	公表資料
1～3号機	PCVトップヘッドフランジ シール部の劣化	2015.8.25 柏崎刈羽原子力発電所6,7号機 新規制基準適合性に係る審査会合

- 1F事故では、PCVトップヘッドフランジ部のシール材（シリコン製）が高温高圧条件の蒸気環境下に長期間さらされることによって劣化し、格納容器の閉じ込め機能を喪失したと推定
- 既往研究では、温度が200℃を超えると、漏えい発生時の圧力が徐々に低下し、300℃のような高温条件では、0.5MPaを下回るレベルの圧力でもシール部が破損し、漏えいが発生（右図）



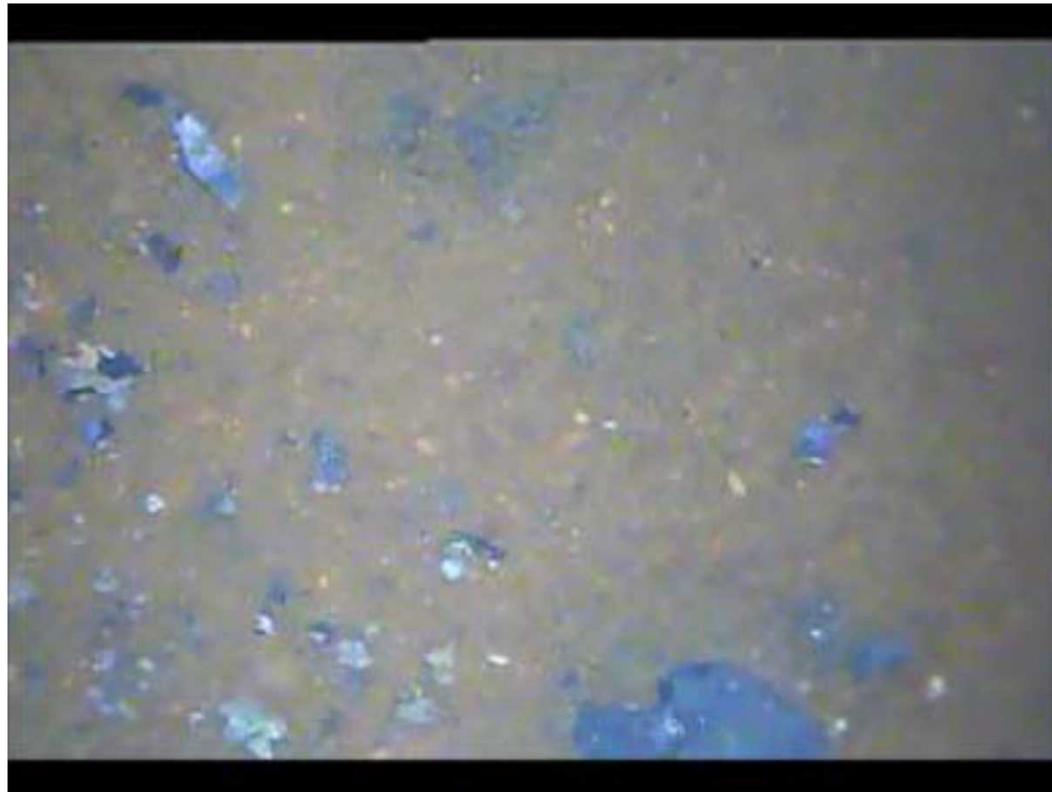
シール材の漏えい限界※

号機	MAAP解析における PCV漏えい発生時刻（仮定）	PCV温度	PCV圧力
1号機	3/12 5:00頃	300℃付近	0.8MPa
2号機	3/15 7:20頃	150～175℃ (3/13から継続)	0.75MPa程度

※K.Hirao, T.Zama, M.Goto et al., "High-temperature leak characteristics of PCV hatch flange gasket", Nucl. Eng. Des. 145, 375-386, 1993

3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 **TEPCO**

号機	種類	場所	公表資料
1号機	鉛遮へい材	PCV底部 (X-100Bペネからアクセス)	2012.10.22 政府・東京電力中長期対策会議 運営会議

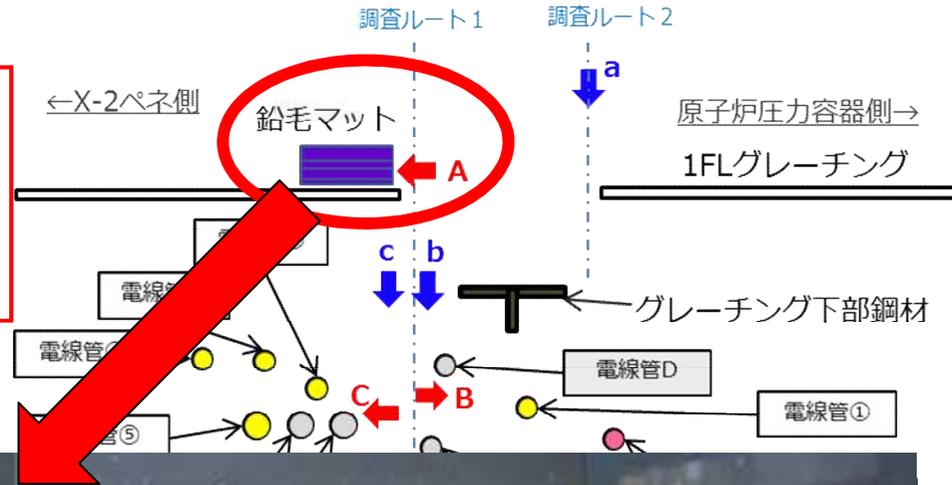


- X-100Bペネ直下のPCV底部の堆積物に青色に見える破片状のものを確認
- 鉛遮へい材が溶融、落下し再度凝固したものと推定
(参考：鉛の融点 327.5℃)

3. 事故当時のRPV,PCV周辺の雰囲気温度推定に関する情報 **TEPCO**

号機	種類	場所	公表資料
1号機	鉛毛マット	PCV内 (X-2ペネからアクセス)	2021.5.27 廃炉・汚染水・処理水チーム会合／事務局 会議

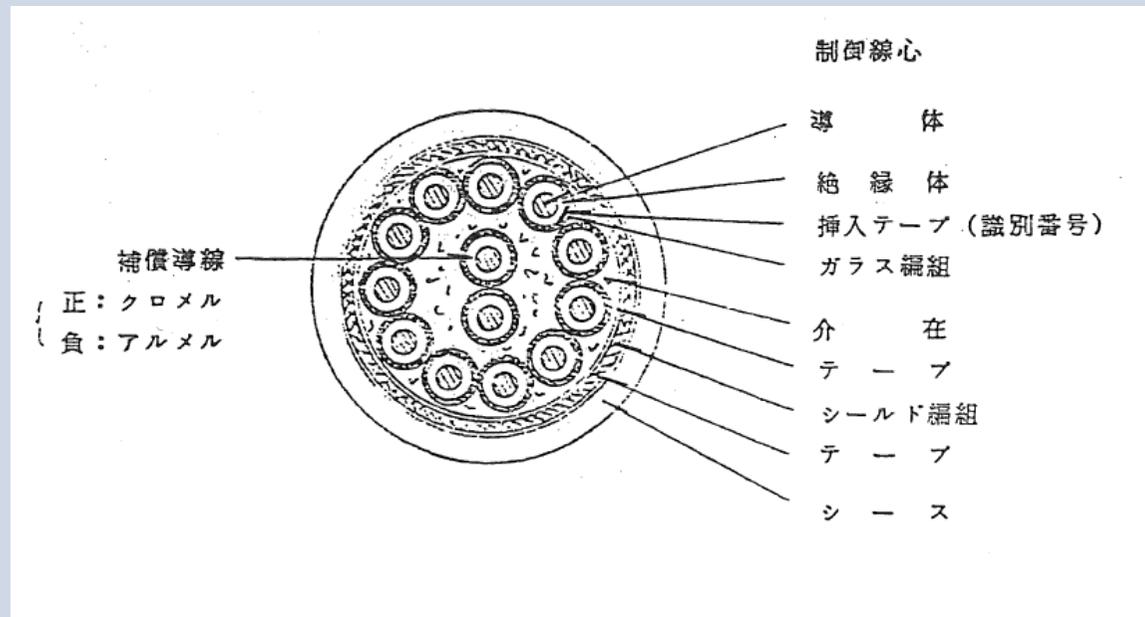
- PCV内部のX-2ペネ近傍に鉛毛マットを確認
- 鉛の残存状況は不明
(参考：鉛の融点 327.5℃)



4. 1F3号機 原子炉格納容器内ケーブル仕様 (1/4)

No.	対象	仕様	長さ 重さ	在庫 有無
1	制御棒位置検出器※ ケーブル (137本)	○複合ケーブル（補償導線+制御線） 絶縁体：シリコンゴム+ シリコン処理したガラス編組 シース：シリコンゴム	総長： 約2700m 総重量： 約730Kg	無し

断面図

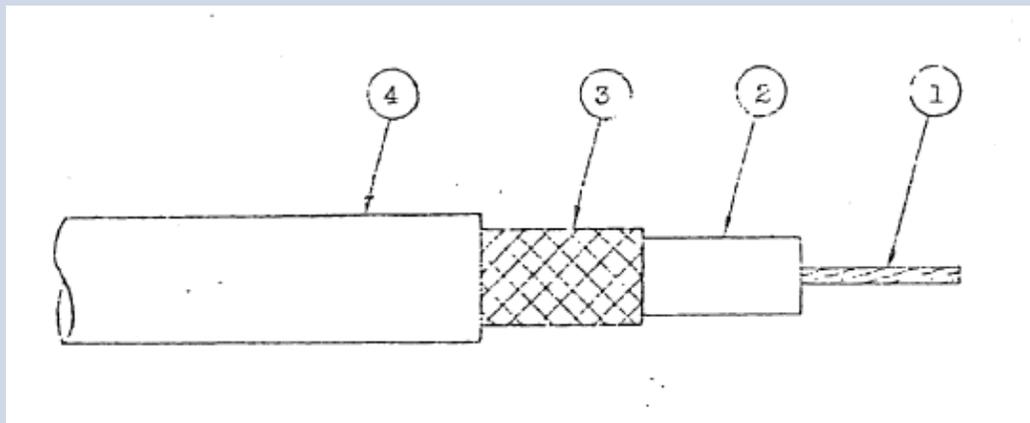


※：制御棒位置検出器（PIP）

4. 1F3号機 原子炉格納容器内ケーブル仕様 (2/4)

No.	対象	仕様	長さ 重さ	在庫 有無
2	局部出力領域モニタ※ ケーブル (124ch)	○同軸ケーブル 絶縁体：架橋ポリエチレン シース：難燃性架橋ポリエチレン	総長： 約3800m 総重量： 約230Kg	無し

断面図



番号	名称
1	内部導体
2	絶縁体
3	外部導体
4	シース

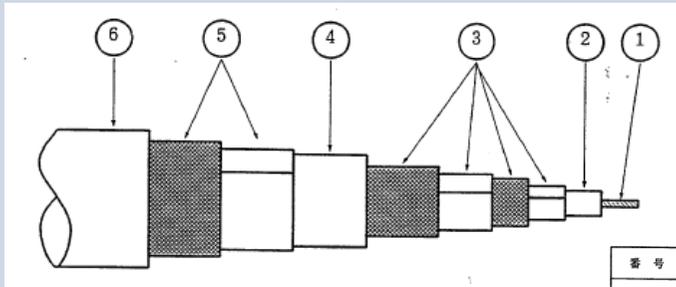
※：局部出力領域モニタ（LPRM）

4. 1F3号機 原子炉格納容器内ケーブル仕様 (3/4)

No.	対象	仕様	長さ 重さ	在庫 有無
3	起動領域モニタ※ ケーブル (8ch)	○同軸ケーブル ① 絶縁体：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン シース (2重構造)： ノンハロゲン難燃性架橋ポリエチレン ② 絶縁体：照射架橋発泡ポリオレフィン シース：難燃ノンコロシブ照射架橋ポリオレフィン	総長： 約300m 総重量： 約90Kg	無し

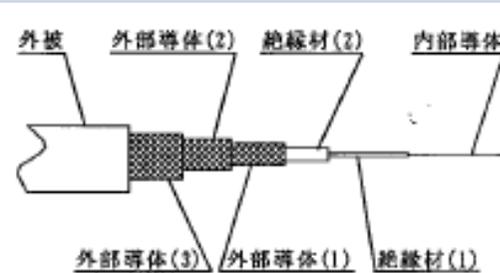
断面図

①



番号	名称
1	内部導体
2	絶縁体
3	外部導体
4	第1シース
5	遮蔽
6	第2シース

②



部材	仕様 (材質・構造)
内部導体	錫メッキ軟銅より線
絶縁材(1)	Rockbestos Polymer LE
絶縁材(2)	照射架橋発泡ポリオレフィン
外部導体(1)	0.127mm錫メッキ軟銅線編組
外部導体(2)	0.127mm錫メッキ軟銅線編組
外部導体(3)	0.127mm錫メッキ軟銅線編組
外被	難燃ノンコロシブ照射架橋 ポリオレフィン

※：起動領域モニタ (SRNM)

4. 1F3号機 原子炉格納容器内ケーブル仕様 (4/4)

No.	対象	仕様	長さ 重さ	在庫 有無
4	原子炉圧力容器底部温度計 (21本)	○無機絶縁ケーブル (MIケーブル) 絶縁体：酸化マグネシウム(MgO) シース：SUS316TP	総長： 約140m 総重量： 芯数により重量が異なるため確認不可	無し
5		○補償導線 (PNケーブル) 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム シース：難燃性クロロプレン		無し

対象	断面図
MIケーブル	
補償導線	

【参考】 1F3号機 原子炉压力容器底部温度計配置

対象	配置図
<p>原子炉压力容器 底部温度計 (21本)</p>	<p>調査対象温度計</p>

5. ケーブル及び塗料の可燃性有機ガス発生量評価計画

■ 試験計画

- 格納容器内での使用量が多く、可燃性有機ガスの発生が考えられるケーブル及び塗料の昇温試験を計画中
- 発生ガス中の可燃性有機ガスの同定及び定量分析
 - 200℃（格納容器限界温度として、格納容器全域を想定）
 - 1000℃（試験装置の限界温度、RPV下部での溶融炉心との接触を想定）
- 実施期間：今年度中に実施予定

試験を計画しているケーブル及び塗装

No.	種類	評価対象	用途
1	ケーブル	CVケーブル 絶縁体：架橋ポリエチレン シース：難燃性特殊耐熱ビニル	・ 高圧動力用ケーブルに使用
2	ケーブル	PNケーブル 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム シース：特殊クロロプレングム	・ 制御・計装ケーブルに使用 ・ RPV下部に設置
3	ケーブル	同軸ケーブル 絶縁体：ETFE／架橋ポリエチレン シース：難燃性架橋ポリエチレン	・ SRNM／LPRMケーブルに使用 ・ RPV下部に設置
4	塗料	エポキシ系塗料※1	・ D/W、S/C壁面 上塗り
5	塗料	エポキシ系塗料※1	・ S/C壁面 上塗り
6	塗料	無機ジンクリッチ塗料※2	・ D/W、S/C壁面 下塗り
7	塗料	無機ジンクリッチ塗料※2	・ S/C壁面 下塗り

※ 1、2：製品の違いにより2種類実施