

これまでの調査・分析のまとめ

参考資料

2020年11月27日

原子力規制庁

事故分析調査チーム

1. ①2号機ラプチャーディスク(1/2)

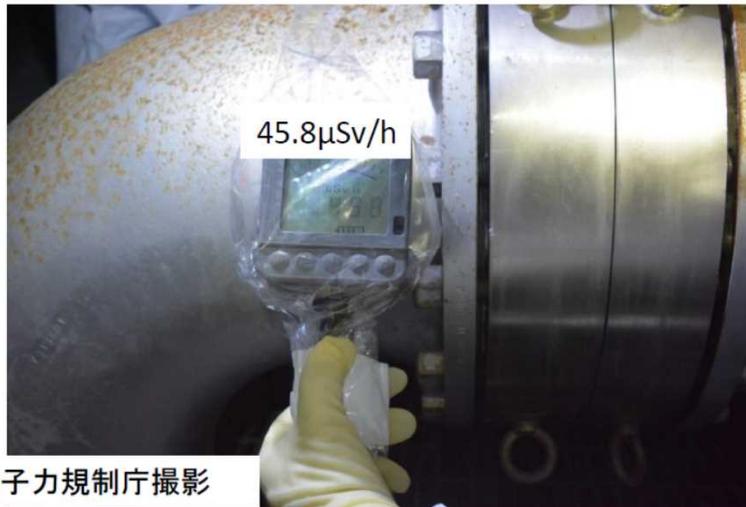
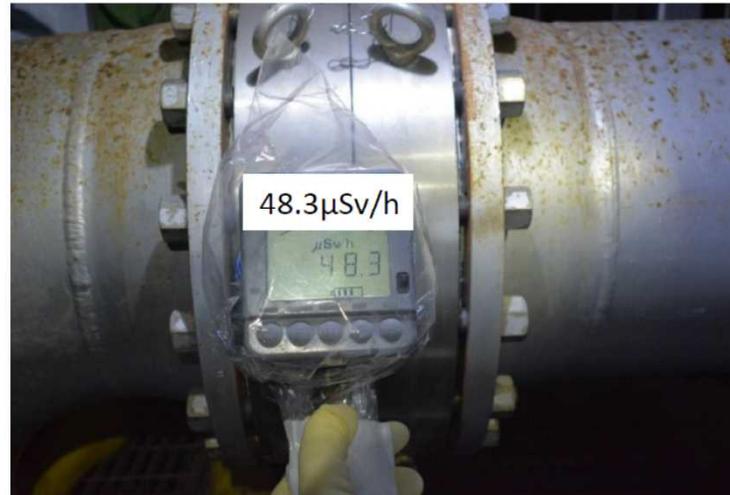
第9回会合(令和元年12月26日)資料4より抜粋



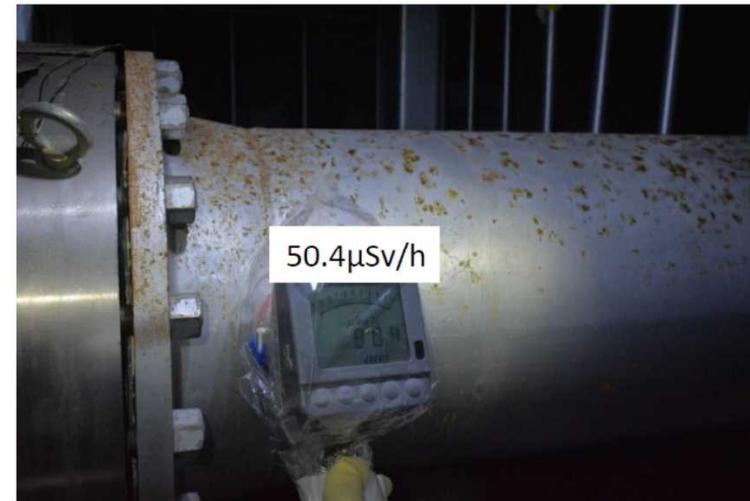
2号機耐圧強化ベントライン ラプチャーディスク



B.G. 120~150 μ Sv/h



令和元年8月2日原子力規制庁撮影

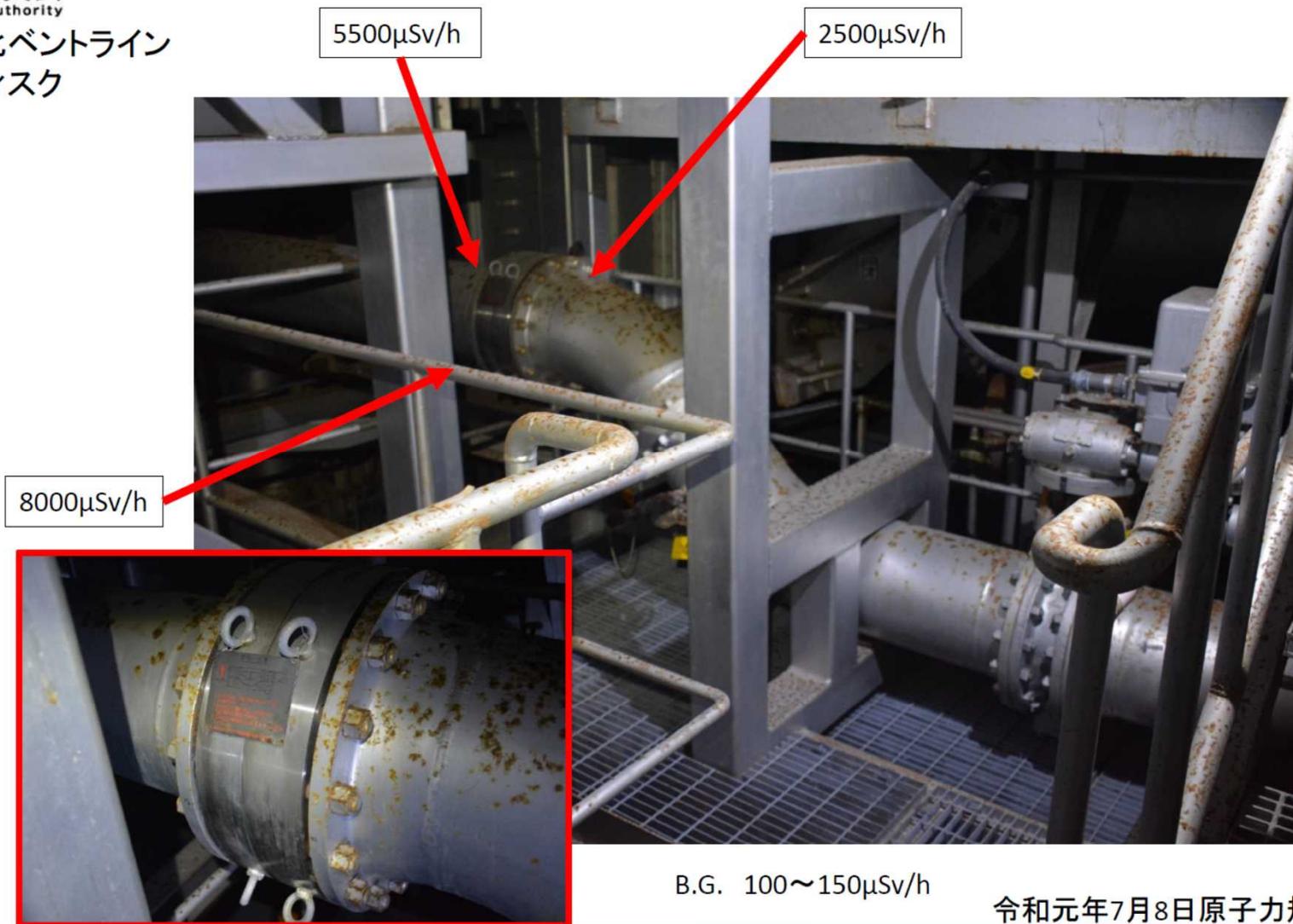


1. ①2号機ラプチャーディスク(2/2)

第9回会合(令和元年12月26日)資料2より抜粋



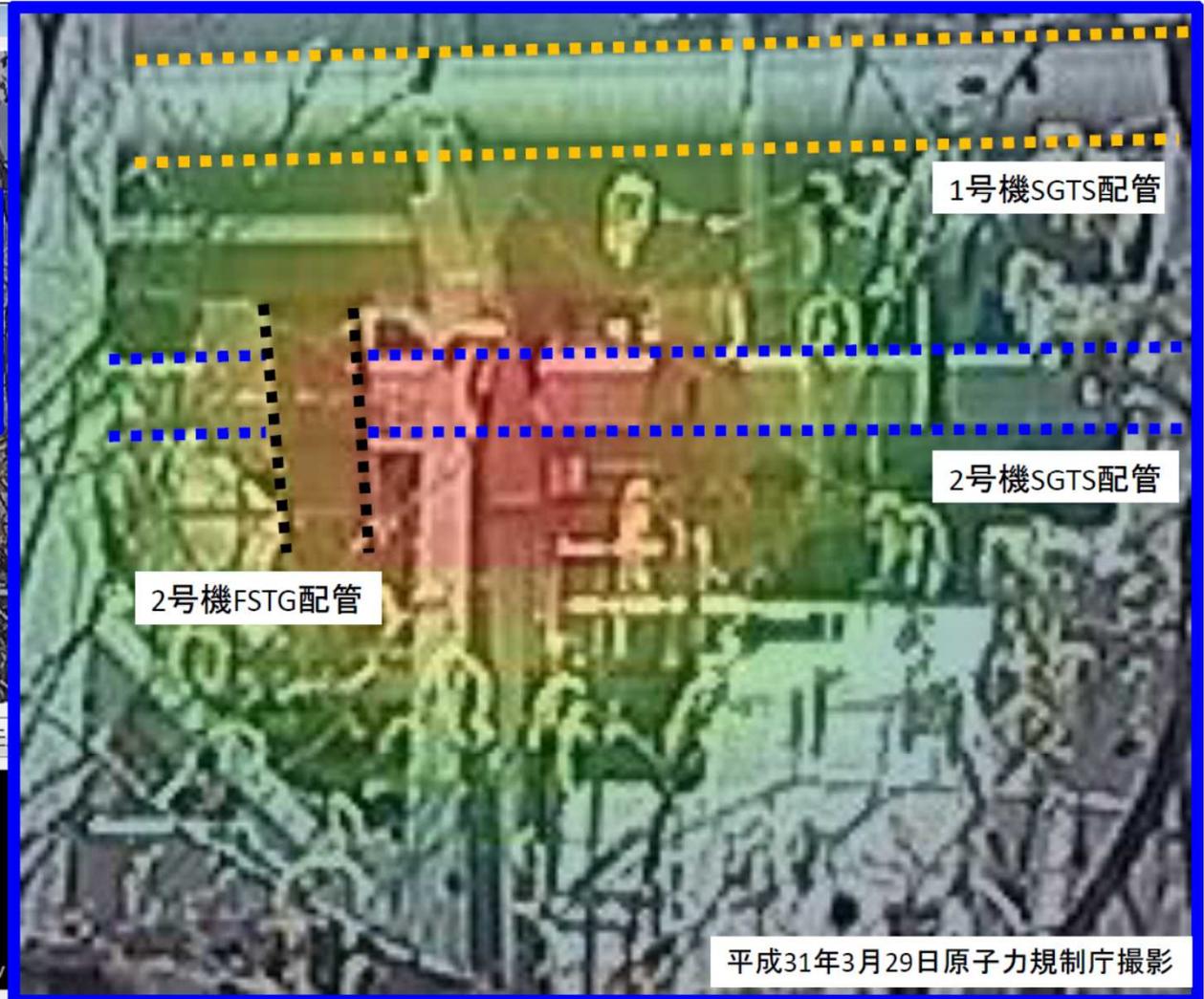
3号機耐圧強化ベントライン
ラプチャーディスク



令和元年7月8日原子力規制庁撮影

1. ②2号機SGTS配管の汚染状況(1/3)

第9回会合(令和元年12月26日)資料4より抜粋



平成31年3月29日原子力規制庁撮影

1. ②2号機SGTS配管の汚染状況(2/3)

第14回会合(令和2年10月16日)資料5-1より抜粋



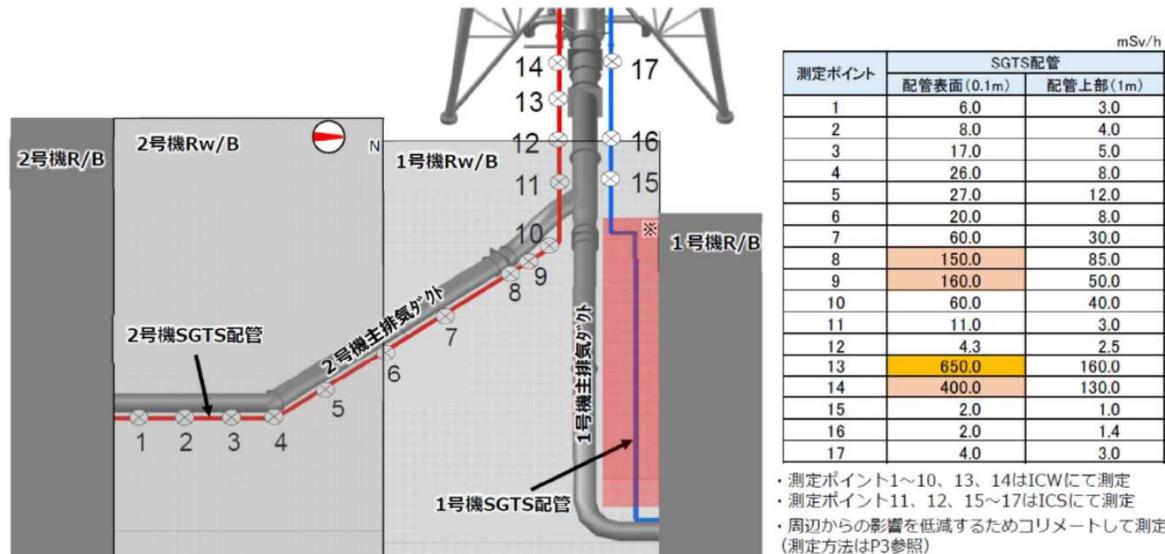
東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会 第12回会合
資料6-1



3. SGTS配管近傍線量調査について

(1) SGTS配管近傍線量調査結果

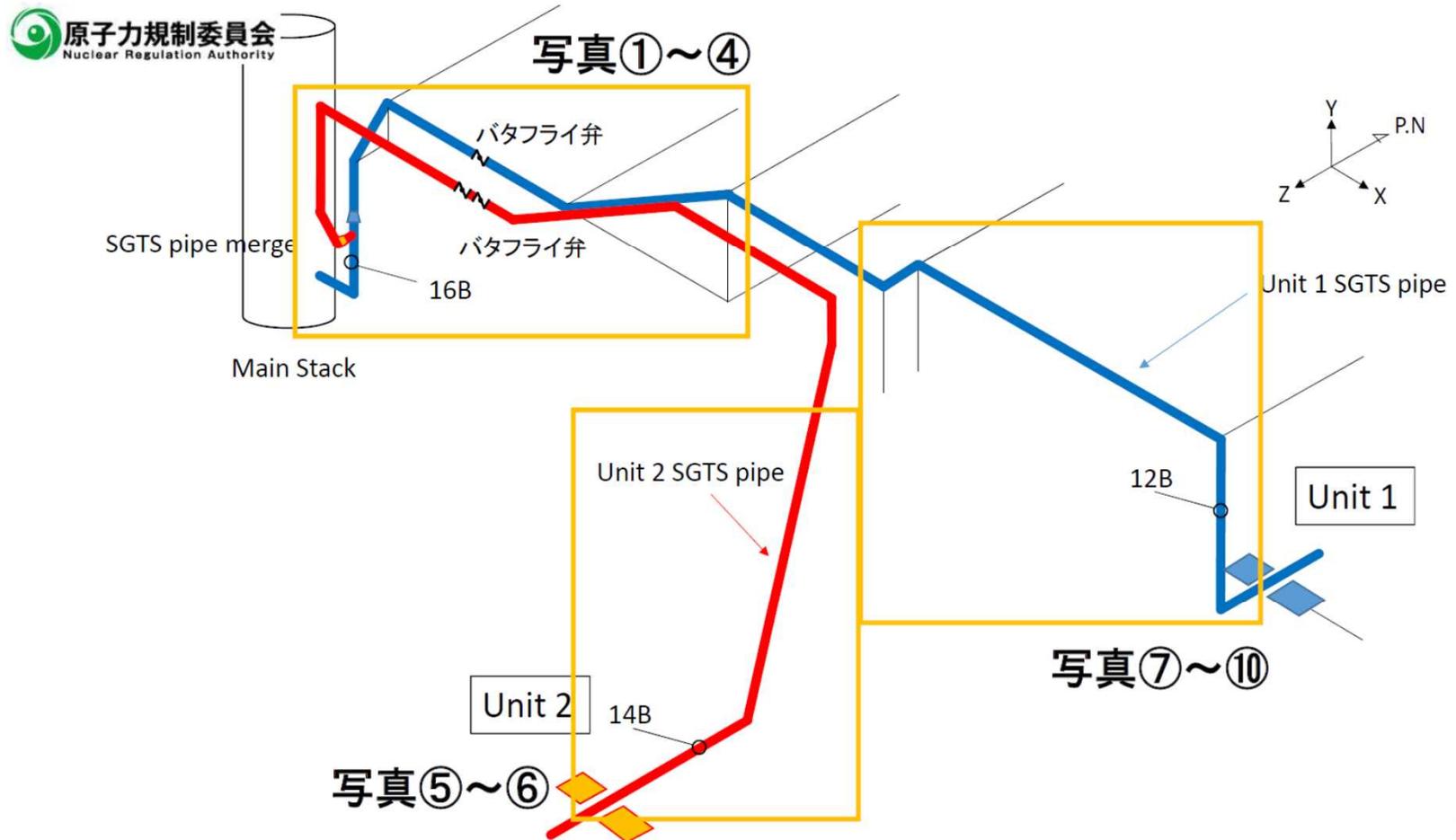
- ・1号及び2号Rw/B上部のSGTS配管近傍の放射線量を概ね3~5m間隔で測定を実施。
- ・測定ポイントのうち比較的高い放射線量はNo.8、No.9、No.13、No.14にみられ、最も高い値は、No.13の2号機SGTS配管表面から高さ0.1mの位置で約650mSv/hであった。



1/2号機SGTS配管撤去に向けた現場調査の実施状況について(2020年6月15日東京電力HD株式会社)より抜粋 4

1. ②2号機SGTS配管の汚染状況(3/3)

第12回会合(令和2年6月25日)資料5-2より抜粋

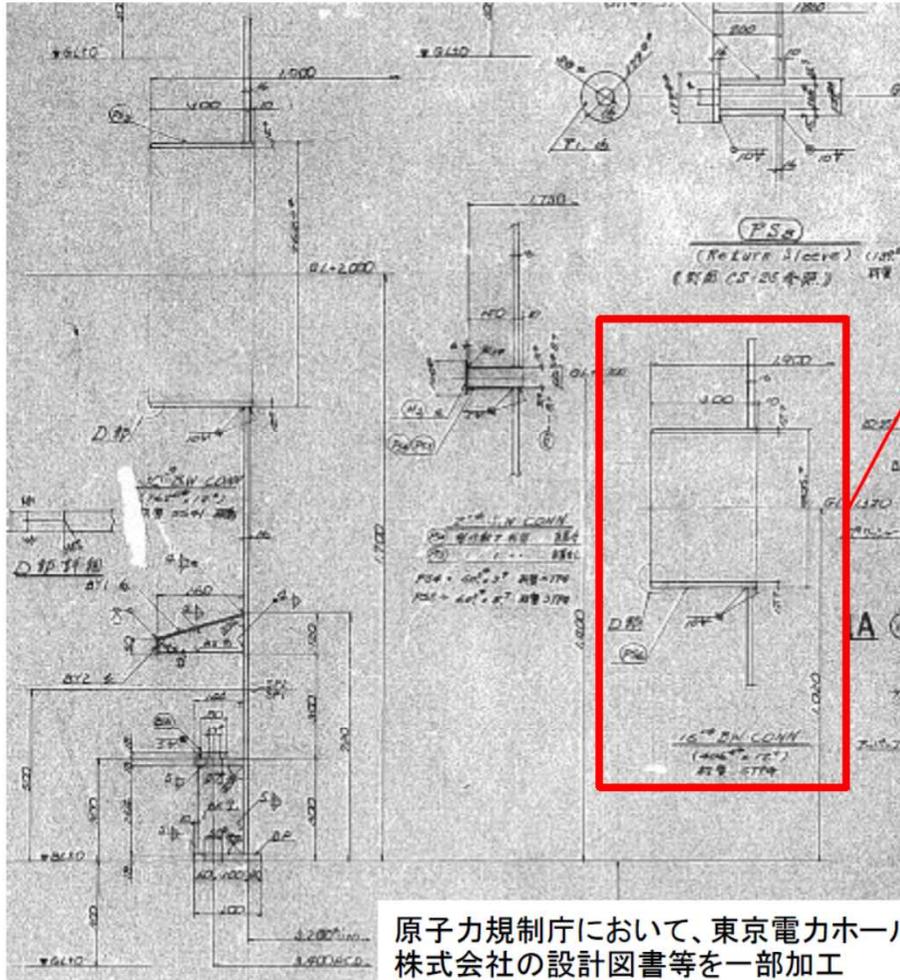


1. ③1/2号機共用スタックの構造(1/2)

第10回会合(令和2年2月4日)資料4-2より抜粋

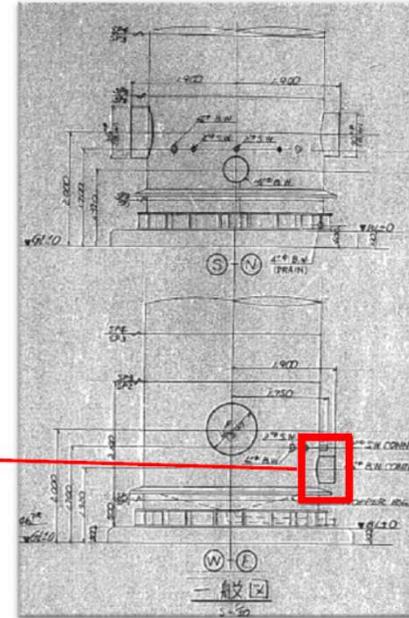


○1, 2号機スタック構造

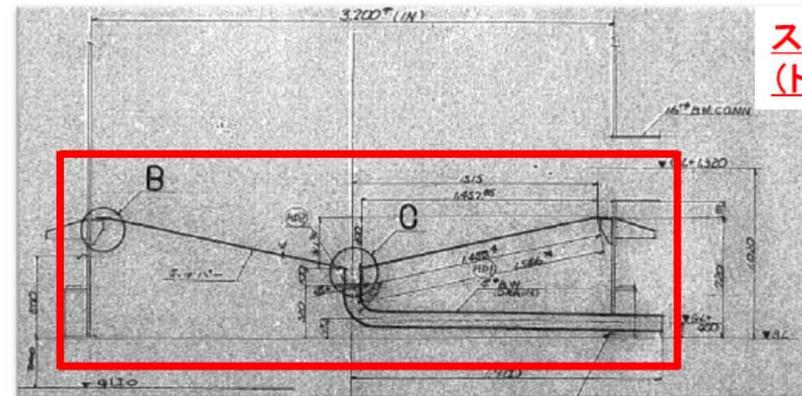


原子力規制庁において、東京電力ホールディングス株式会社の設計図書等を一部加工

【参考】



スタック基部 (SGTS配管接続部)



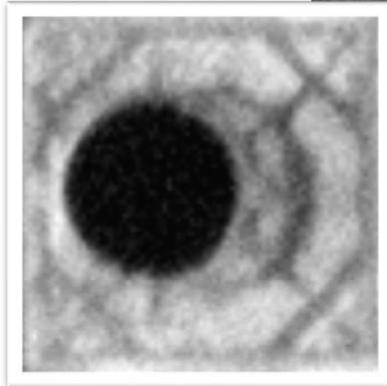
スタック基部 (ドレン系)

1. ③1/2号機共用スタックの構造(2/2)

第10回会合(令和2年2月4日)資料4-2より抜粋



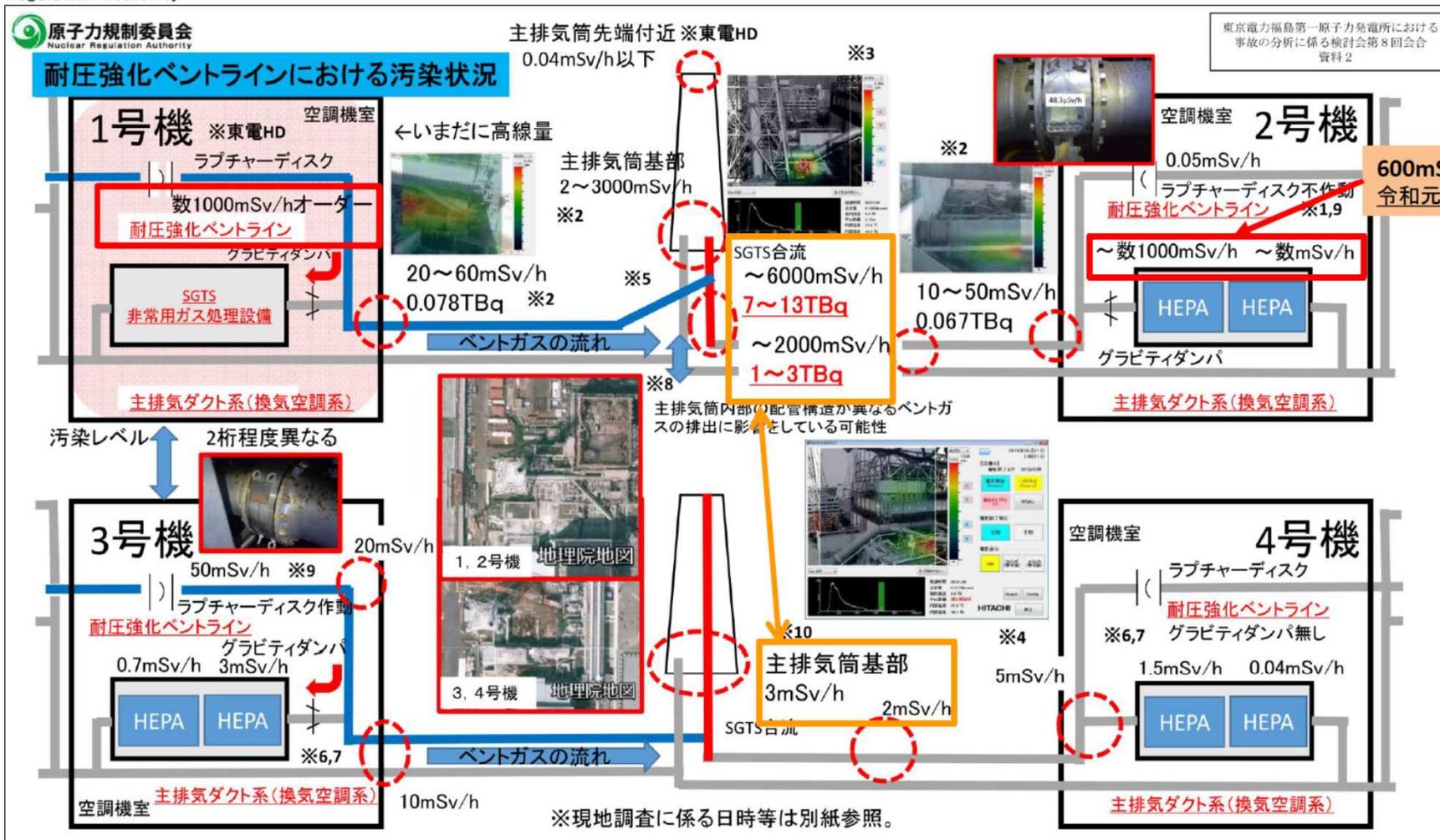
○1, 2号機スタック
(航空写真)



2011/3/18 17:08 防衛省撮影(1, 2号機)

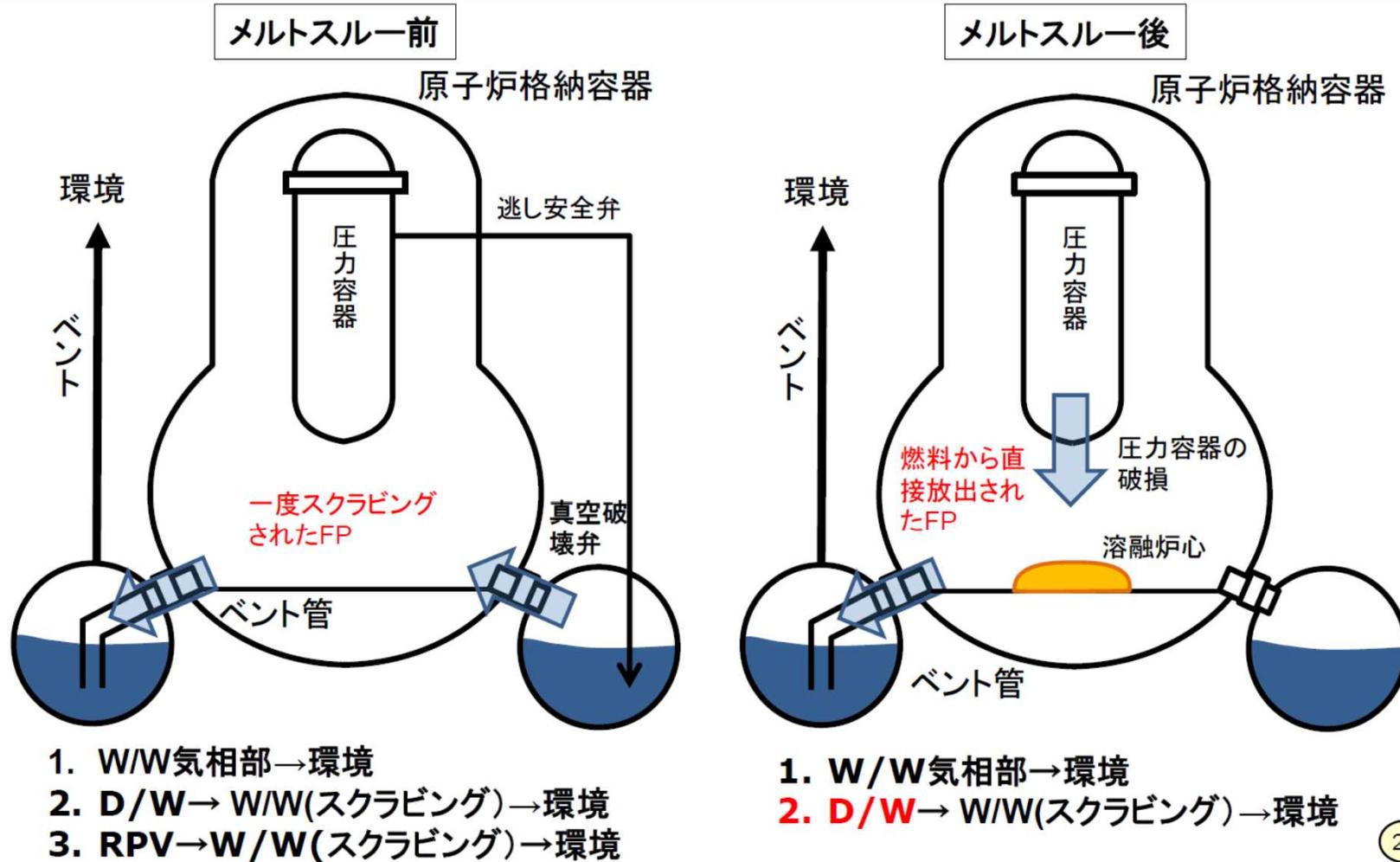
1. ④1/2号機ベント配管系の高汚染(1/2)

第14回会合(令和2年10月16日)資料4より抜粋



※第8回事故分析検討会資料から抜粋、一部加筆

ベントによる主要なFP移行経路の比較

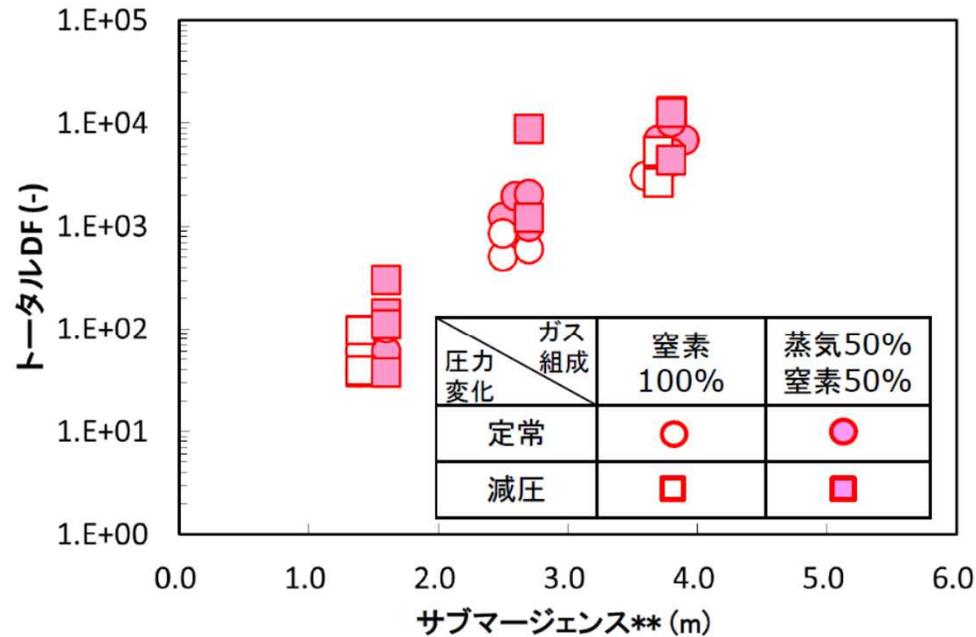


3. 実験結果と考察

トータルDF*の評価

- ・減圧時のDFは定常とほぼ同等。
- ・サブマージエンスの増加に伴ってDF増加。
- ・ガス組成の影響は小さい傾向。

※ただし、較正法等の検討を今後さらに行い、確実なデータとする予定。



* 計測エアロゾルの入口総質量/出口総質量

** ノズルから水面までの距離

これまでの事故分析検討会の議論を踏まえたスクラビング効果について

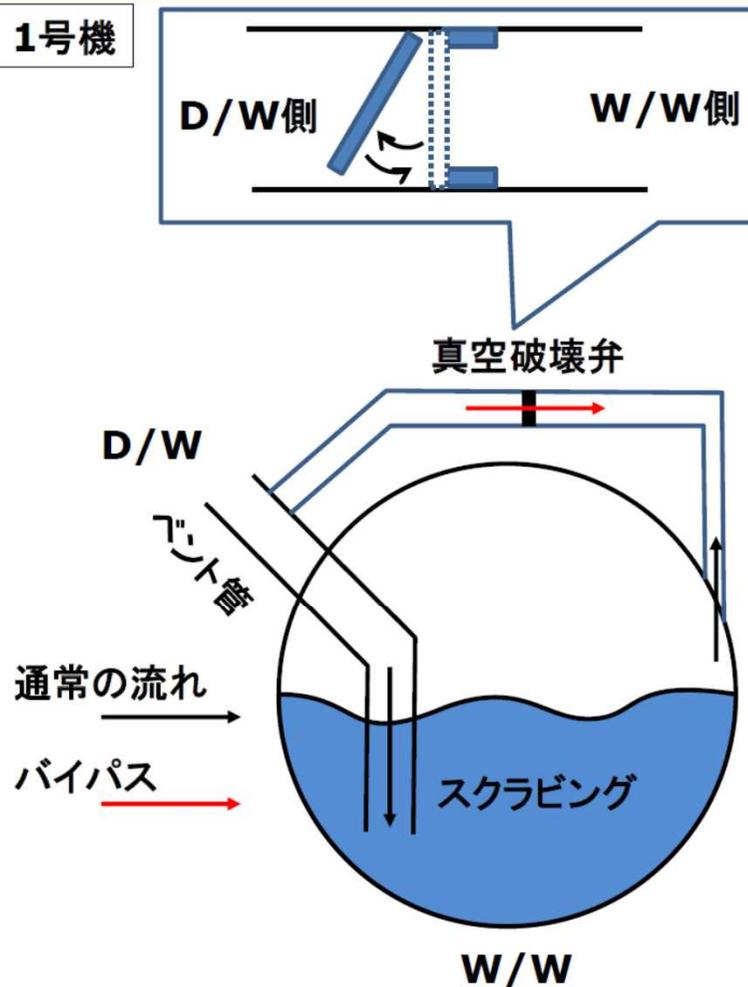
○スクラビング効果の整理

各種事故シーケンスを模擬した実験条件範囲内では、

- DFは、水深による影響が大きい(一定程度の水深によりDFの効果が期待される)。
- 流入気体の非凝縮性ガス割合(50%以上の範囲)がDFへ及ぼす影響は小さい。
- プール水の減圧沸騰は、DFへ有意な影響を及ぼさない。
- プール水温の上昇に伴い、DFが若干増大する傾向が見られる。(流入気体が飽和温度以上の条件)

真空破壊弁でのバイパスに関する確認項目

1号機



- 放射能
 - 環境(スタック)への放射性物質放出量が妥当か
 - バイパス部分に痕跡はないか
- 圧力
 - 圧力挙動が実測値と整合するか
 - 実測値では、D/W圧力とW/W圧力には圧力差が生じている

OECD/NEA BSAF2の結果に基づく評価

- 前項に示したように、1号機のベントによるCs-137の放出量は概ね100 TBq程度と考えられる
- UNSCAREによる評価量(Cs-137: 150 TBq)¹と比較する範囲にある
- 真空破壊弁においてバイパスが生じなくとも、ベントによって相当量のCs-137が放出されたと考えられる
 - 真空破壊弁にバイパスが生じた場合でも、その寄与は数十TBq程度と推察される
- したがって、真空破壊弁でのバイパスは、3号機の耐圧強化ベントラインと比較して、1号機の耐圧強化ベントラインの線量が高いことの主たる要因とは考え難い

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes," 2014

1号機真空破壊弁の機能喪失モード

- 前項で示したように、真空破壊弁でのバイパスは、1号機の耐圧強化ベントラインにおける高線量の主たる要因とは考え難い
- ただし、真空破壊弁でバイパスが生じたとすれば、その原因、放出量への寄与等について検討する必要がある
- 真空破壊弁でバイパスが生じた場合に、その原因、影響の大きさ等により対策が異なる
 - 過温破損の場合は、冷却手段の強化、下部ヘッド破損防止等
 - 機械的な機能喪失であれば、耐久性の向上等
 - 放出量増加の程度がW/Wベントの優位性に影響を与えるか

1. ⑤SGTSフィルタの汚染状況(1/2)

第14回会合(令和2年10月16日)資料4より抜粋

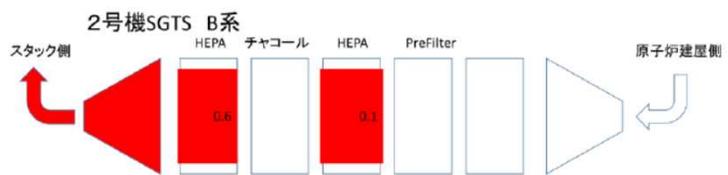


○SGTSフィルタ部の線量測定結果



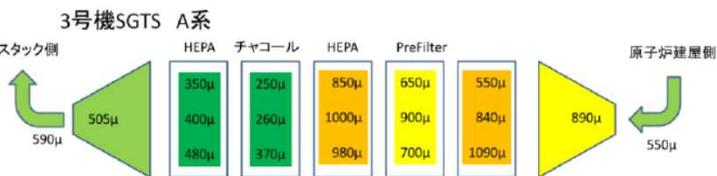
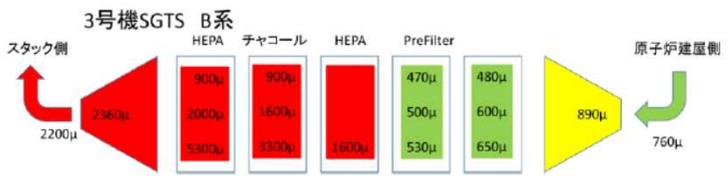
汚染レベルに数十倍以上の差が生じていると推定。その理由を調べる

■東電による測定(平成23年8月2日)
(SGTSTレイン付近を測定)
※現在の線量は減衰して半分以下になっている可能性が高い。



未測定

■原子力規制庁による測定*(令和元年8月2日)
※ガンマカメラ測定によるCs-137放射能からの推定



■原子力規制庁による測定(令和元年6月20日)

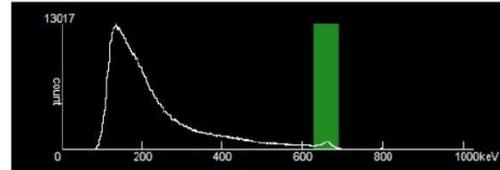
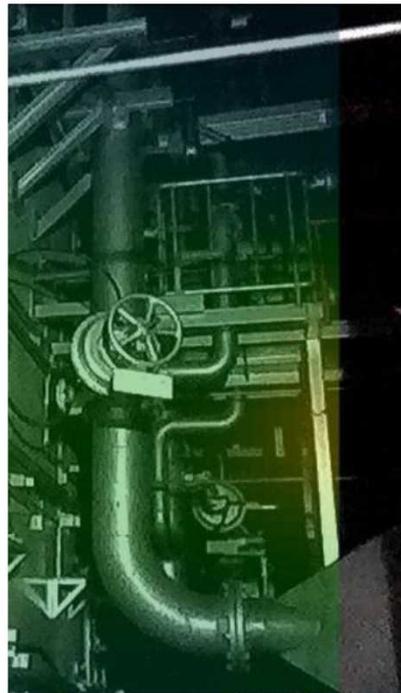


■原子力規制庁による測定(平成25年8月7日)

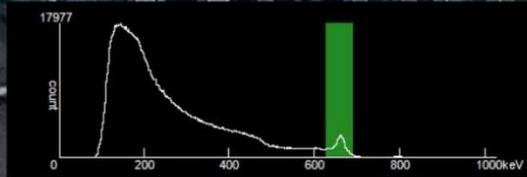
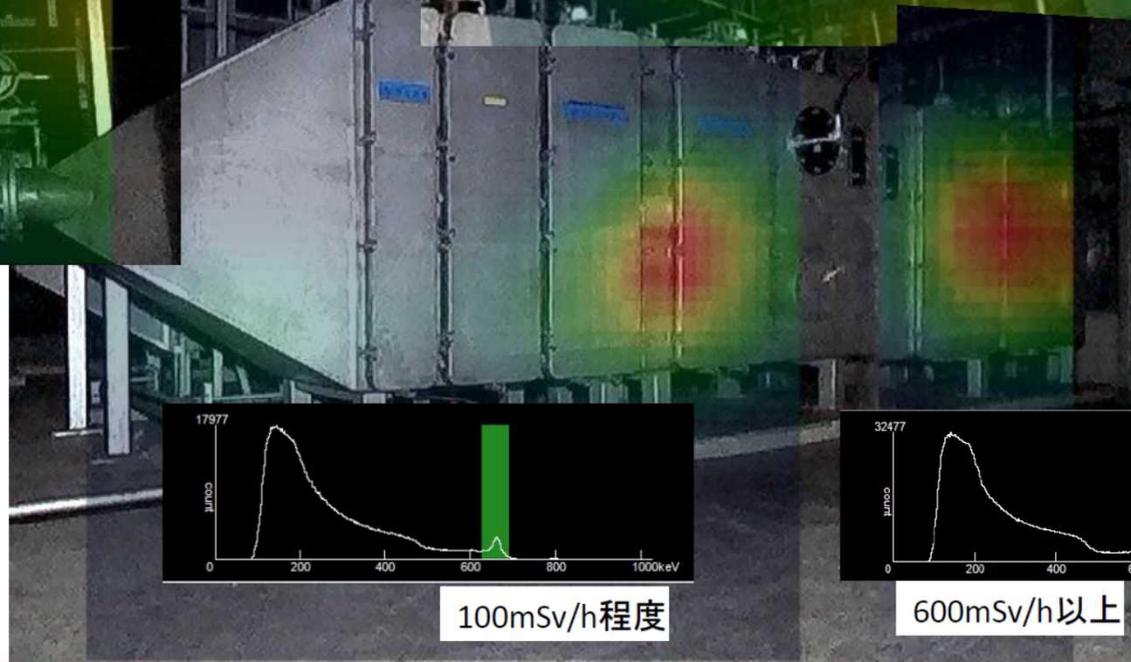
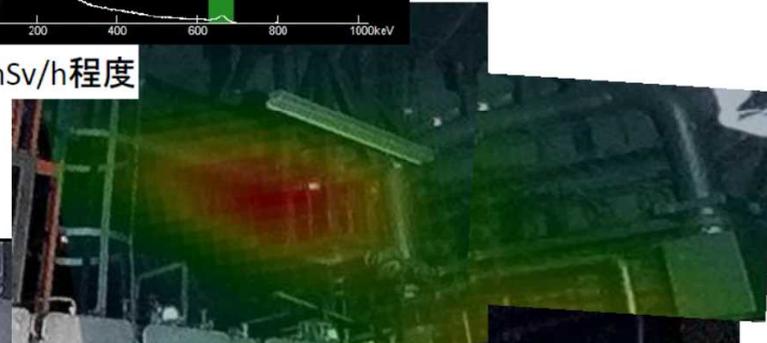
数値は線量当量率(Sv/h)を表す

1. ⑤SGTSフィルタの汚染状況(2/2)

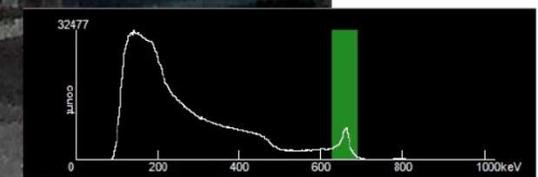
第9回会合(令和元年12月26日)資料4より抜粋



100mSv/h程度



100mSv/h程度



600mSv/h以上

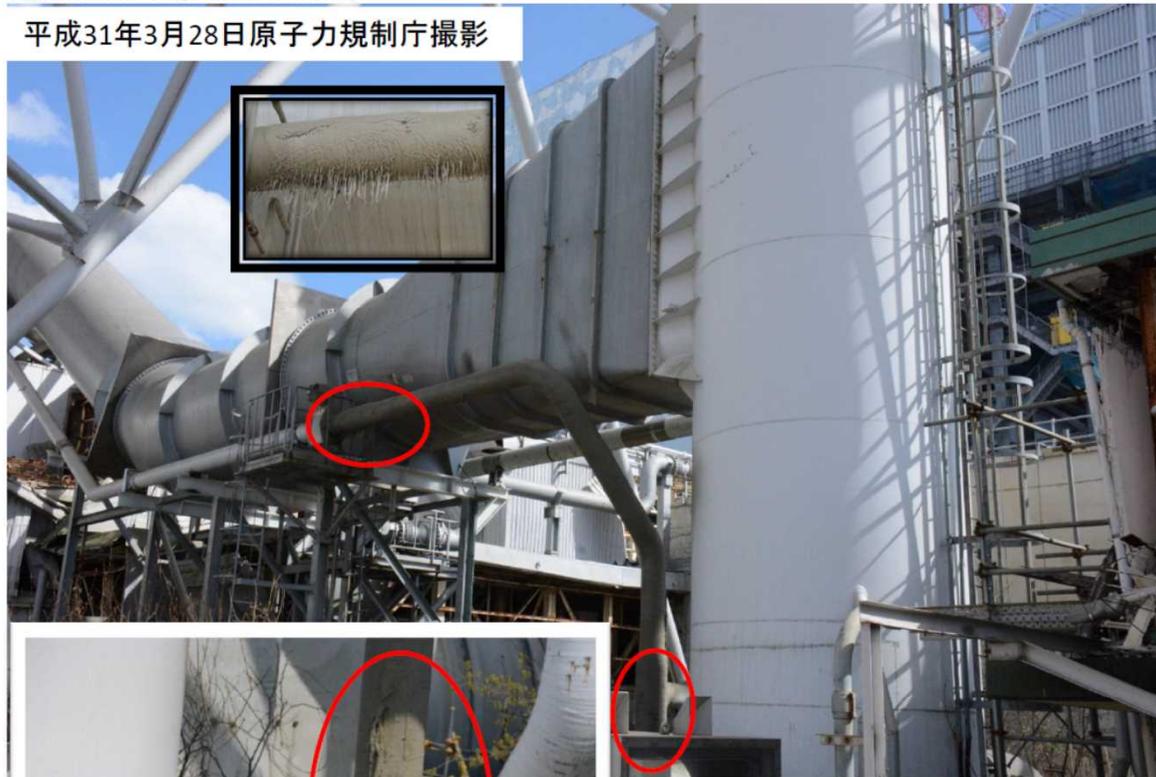
令和元年8月2日原子力規制庁撮影

1. ⑥1/2号機ベント配管系の高温履歴

第10回会合(令和2年2月4日)資料4-1より抜粋



平成31年3月28日原子力規制庁撮影



平成31年3月29日原子力規制庁撮影

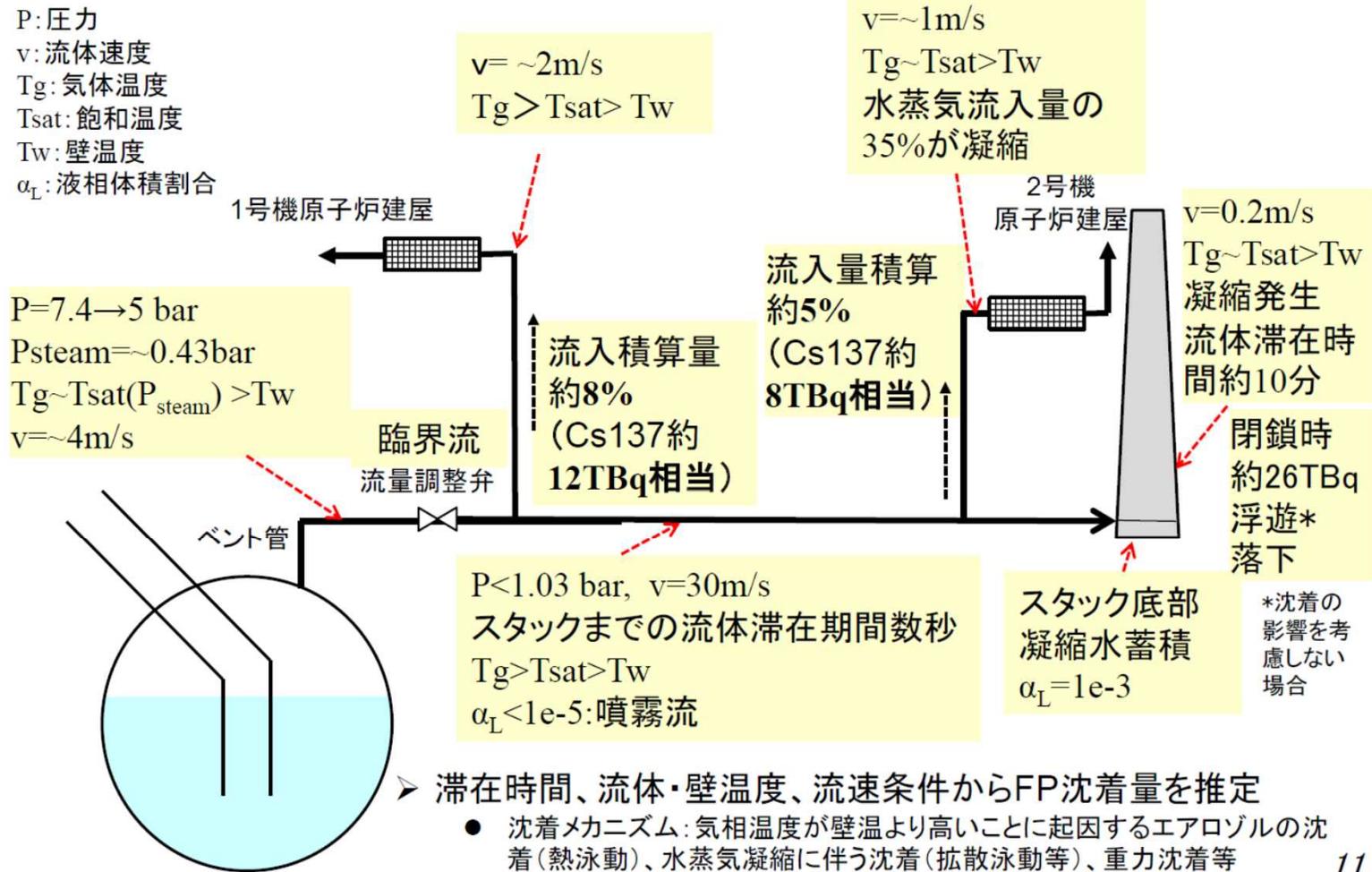
平成25年11月22日東京電力撮影



平成23年8月1日東京電力撮影



感度解析ケース1の結果 (3/3) : 典型的状況





まとめ(1/2)

- ▶ グラビティダンパが設計どおりに機能する場合、測定された汚染分布を説明できない。
- ▶ グラビティダンパが有する逆流防止機能の劣化が流量分配に大きく影響し、この劣化を考慮することにより汚染分布との大まかな整合が可能。

ベント弁閉時点における流量分配

	1号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)	2号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)
基本解析ケース	0.6%(0.9TBq)	0.3%(0.4TBq)
感度解析ケース1	8%(12TBq)	5%(8TBq)
感度解析ケース2	14%(21TBq)	5%(8TBq)

- ▶ ベント弁閉鎖時にスタック雰囲気中には、約26TBq(感度計算ケース1)のCs-137が存在すると推定可能*。ベント弁閉鎖直後よりスタック中のCsはベント配管系統に再流入する可能性。

* SGTS配管壁等への付着を考慮しない場合



まとめ (2/2)

3. 1号機側と2号機側SGTS配管での**非対称な挙動。汚染分布と関連する可能性。**
 - ベント作動中、ベント弁からスタックに至る流路(1号機SGTS配管)では、**凝縮**による蓄水はほとんど見られない
 - 2号機側への配管やスタックでは、**凝縮**による蓄積が見られた。
4. 今後、圧力境界条件を変えてベント閉鎖後の挙動を検討するとともに、本解析で得られた速度や温度を用いて、エアロゾルの管壁への付着挙動を評価する。

1. ⑧1号機SGTSフィルタの汚染度調査

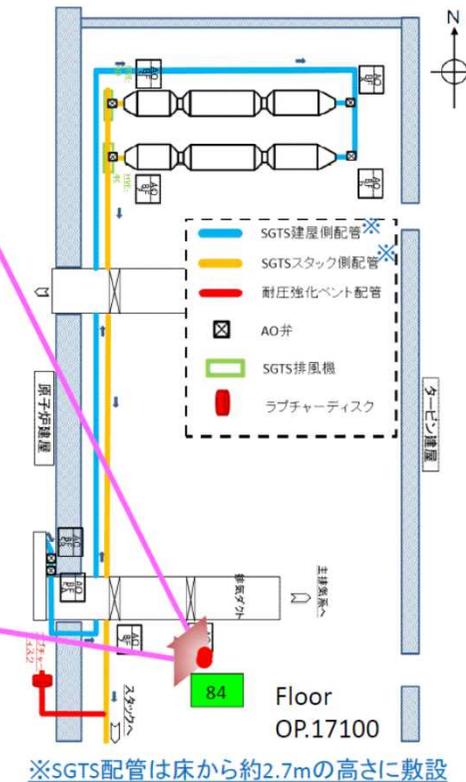
第14回会合(令和2年10月16日)資料3より抜粋



○1号機SGTS室内概要図



写真は、令和2年10月9日
原子力規制庁撮影



原子力規制庁による測定結果(令和2年10月9日)
mSv/h

2. ①1号機～3号機シールドプラグのCs137捕獲(1/3)

第15回会合(令和2年11月12日)資料4より抜粋



まとめ

この汚染密度よりシールドプラグ下層隙間の汚染を概算すると、少なくとも20～40 PBq以上と推定でき、前回オペフロ床面から1500 mm位置での1センチメートル線量当量率から推定して求めた平均汚染密度の $6.6E+10$ Bq/cm²(前回の約70 PBqと推定した平均濃度)と同じオーダーとなる。

よって、現在規制庁において推定している2号機シールドプラグ頂部カバーと中間カバー隙間の汚染は前回とほぼ同様に数十PBq程度の汚染があることを裏付ける結果となっている。

その他の手法を用いた汚染の推定

※11/12の検討会後に単位を修正しました。

シールドプラグ以外の場所の床面測定結果は、0.1～数mSv/hとばらつきがあるが、それを1 mSv/h程度であると仮定しており、不確かさの一因となっている。

このような仮定を置くことは、非常に線量率の高い2号機のおペフロにおいては、検出器が見込む測定範囲以外の放射線の影響を受けやすいため、あくまでオーダーの相違において議論する上では有効と考える。

一方、上記のような遠方及び近傍のγ線の影響を無視しうる方法として、飛程が短い床面のβ線源を測定し、そこでのγ線及びβ線の比を用いる手法で、遠方及び近傍のγ線の影響を低減する方法を用いる。現在、その準備を進めているところ。

2. ①1号機～3号機シールドプラグのCs137捕獲(2/3)

第12回会合(令和2年6月25日)資料3より抜粋



1-3号機 原子炉建屋5階オペレーションフロアの環境の相違に応じた測定方法の選択について



2017年3月30日廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議
「1号機オペレーティングフロア調査結果(中間)について」



2018.11.6東京電力ホールディングス株式会社撮影



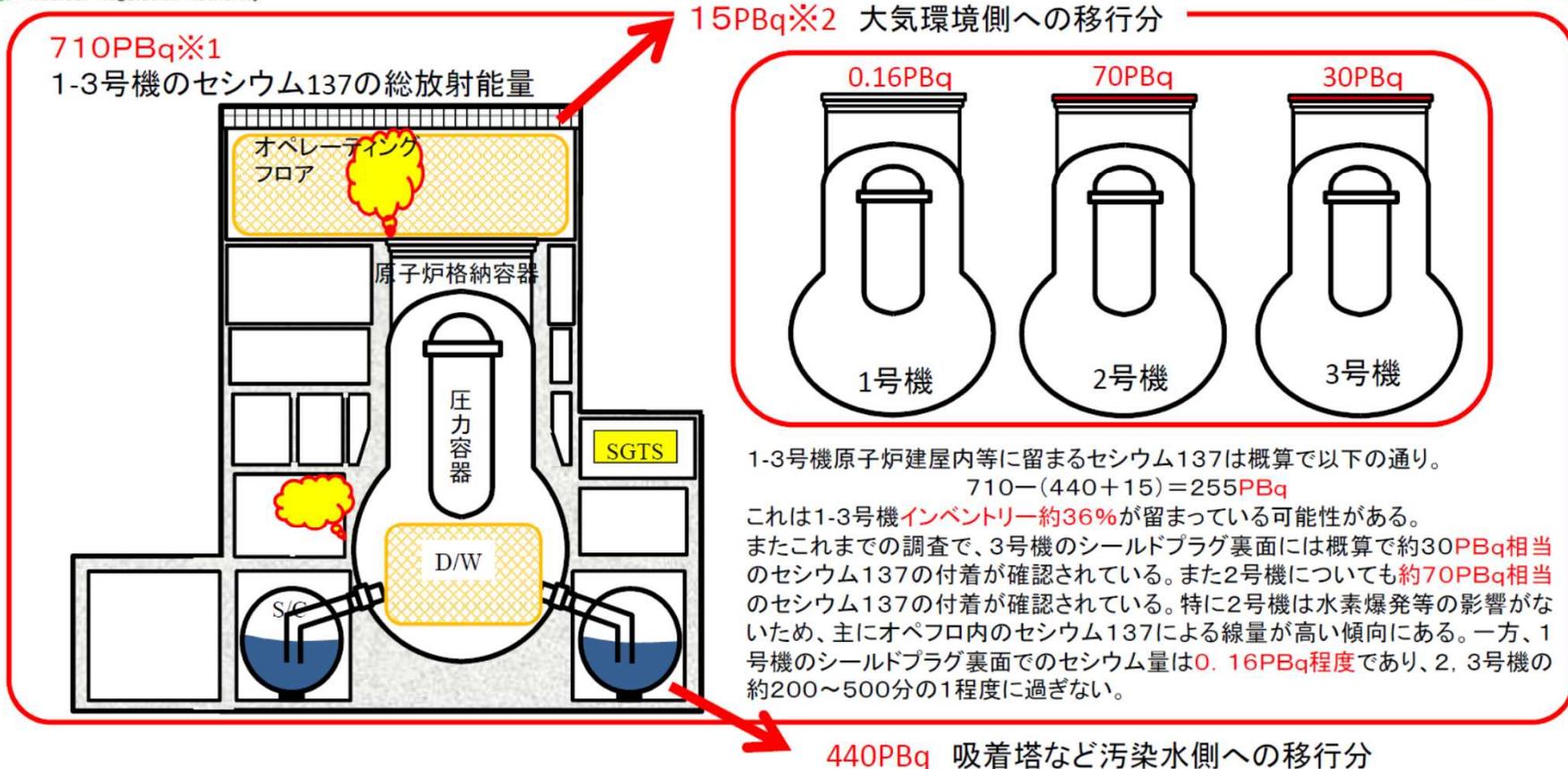
廃炉当初(撮影日2014年1月31日)

対象号機	1号機	2号機	3号機
シールドプラグの状態	3層とも大きなズレ 1層目に変形あり	外観上の大きな ズレや損傷なし	第1層に破損 中央部に30cm陥没
5階天井、壁、柱などの破損	大規模に破損	ブローアウトパネルの脱落程度	大規模に破損
5階天井、壁、柱の汚染	汚染あり 測定への影響度不明	ほぼ一様に汚染有り 測定に影響は小さい	汚染あり 測定への影響度小
シールドプラグ表面汚染の有無	有り 除染実績なし	有り 除染実績あり 880mSv/h⇒140mSv/h (プラグ中心1.5m高さ)	有り 除染実績あり 表層5mm程度はつり 800mSv/h⇒200mSv/h (プラグ中心5m高さ)
表面汚染レベル(線量のみ)	平均150mSv/h(表面) 平均100mSv/h(1.2m高さ)	平均114mSv/h(1.5m高さ)	平均50mSv/h(0.5m高さ) 平均200mSv/h(5m高さ)
高線量瓦礫の有無	有り 除染なし	有り 片付け進行中	ほぼ無し
選択した測定方法	GM計数管 (東京電力)	・鉛遮へい付きAPD ・ガンマカメラ	鉛コリメータ付き 半導体検出器
測定による汚染レベルの推定値	0.1PBq	70PBq	30PBq

2. ①1号機～3号機シールドプラグのCs137捕獲(3/3)

第12回会合(令和2年6月25日)資料3より抜粋

【参考】



※1: 福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉停止時の放射性物質(ヨウ素131、セシウム137)の量について(平成23年4月14日原子力安全・保安院)

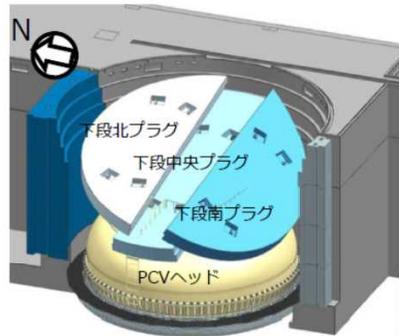
※2: 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書(平成23年6月)

2. ②-1 トップヘッドフランジ経由の漏出(1/3)

第10回会合(令和2年2月4日)資料6-3より抜粋

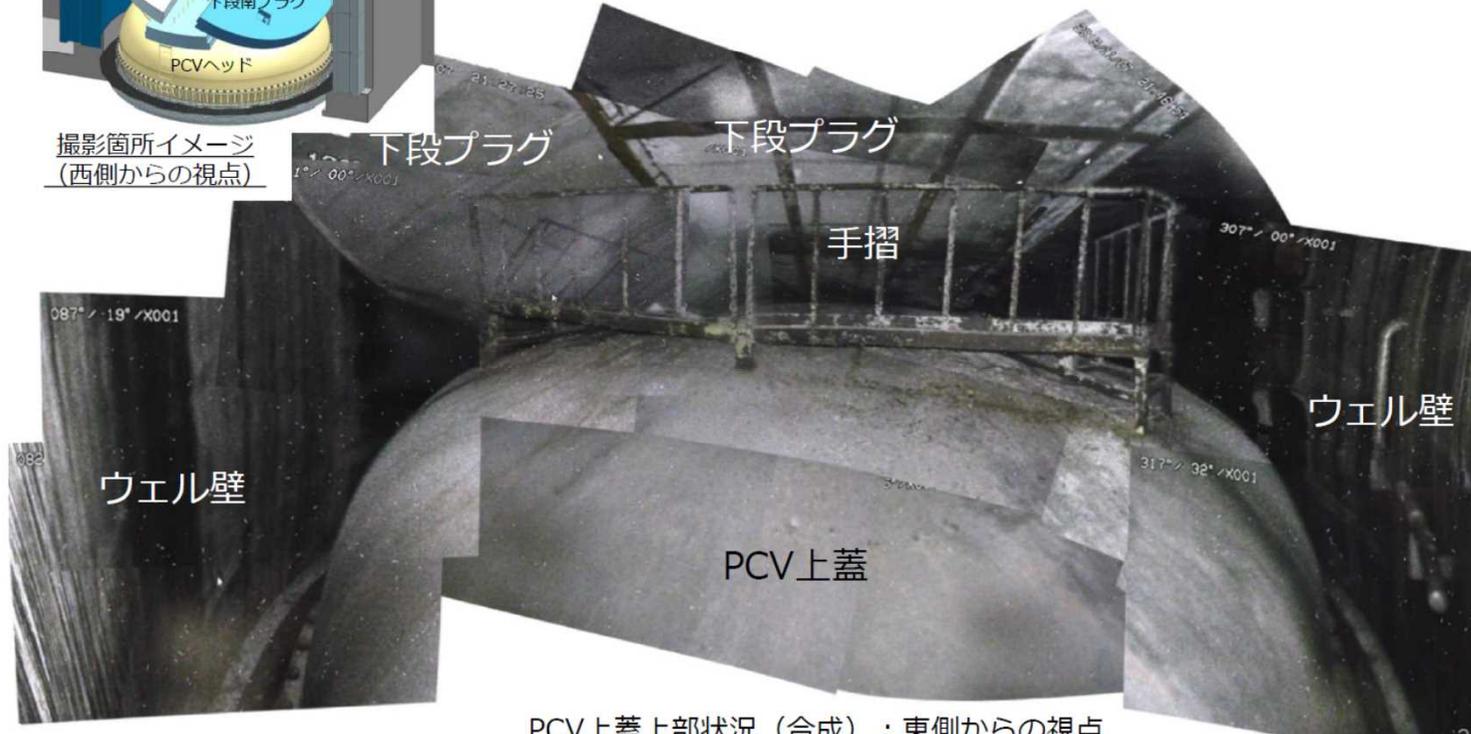
TEPCO

3. PCV上蓋の上部の映像



撮影箇所イメージ
(西側からの視点)

- ホース設置時に原子炉キャビティ（ウェル）内の状況について、映像を取得することができた。
- 取得した映像からはPCV上蓋等の著しい損傷は確認されなかった。



PCV上蓋上部状況(合成)：東側からの視点

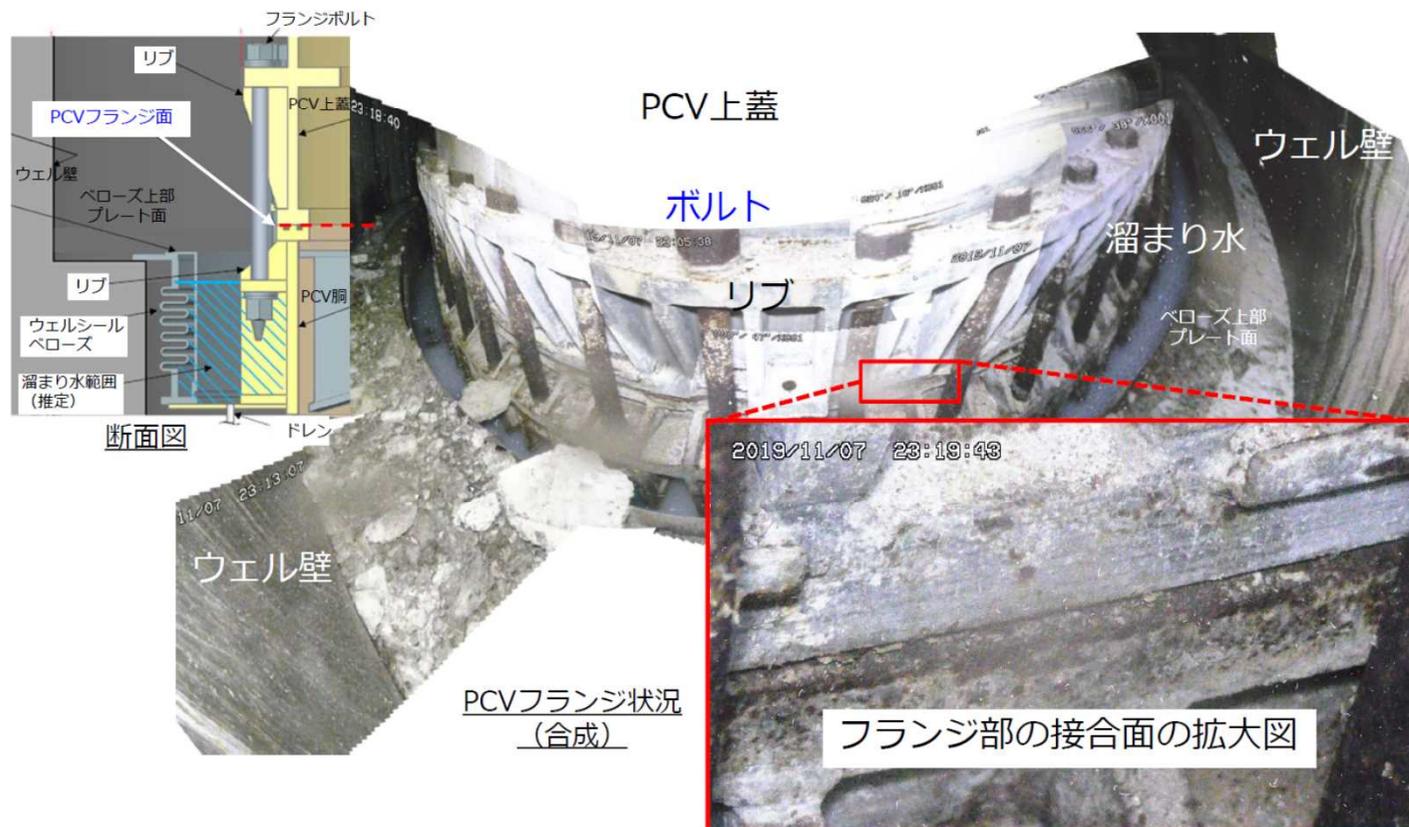
2. ②-1 トップヘッドフランジ経由の漏出(2/3)

第10回会合(令和2年2月4日)資料6-3より抜粋

4. PCV上蓋のフランジ部の映像

TEPCO

- フランジ部についても、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。
- 映像中のホワイトノイズからは高い汚染が推定されるため、事故時の高いPCV圧力の条件下ではフランジ部からの漏えいがあったものと考えられる。



2. ②-1 トップヘッドフランジ経由の漏出(3/3)

第10回会合(令和2年2月4日)資料6-3より抜粋

(参考) 事故前のPCV蓋のフランジ部の映像

TEPCO



5

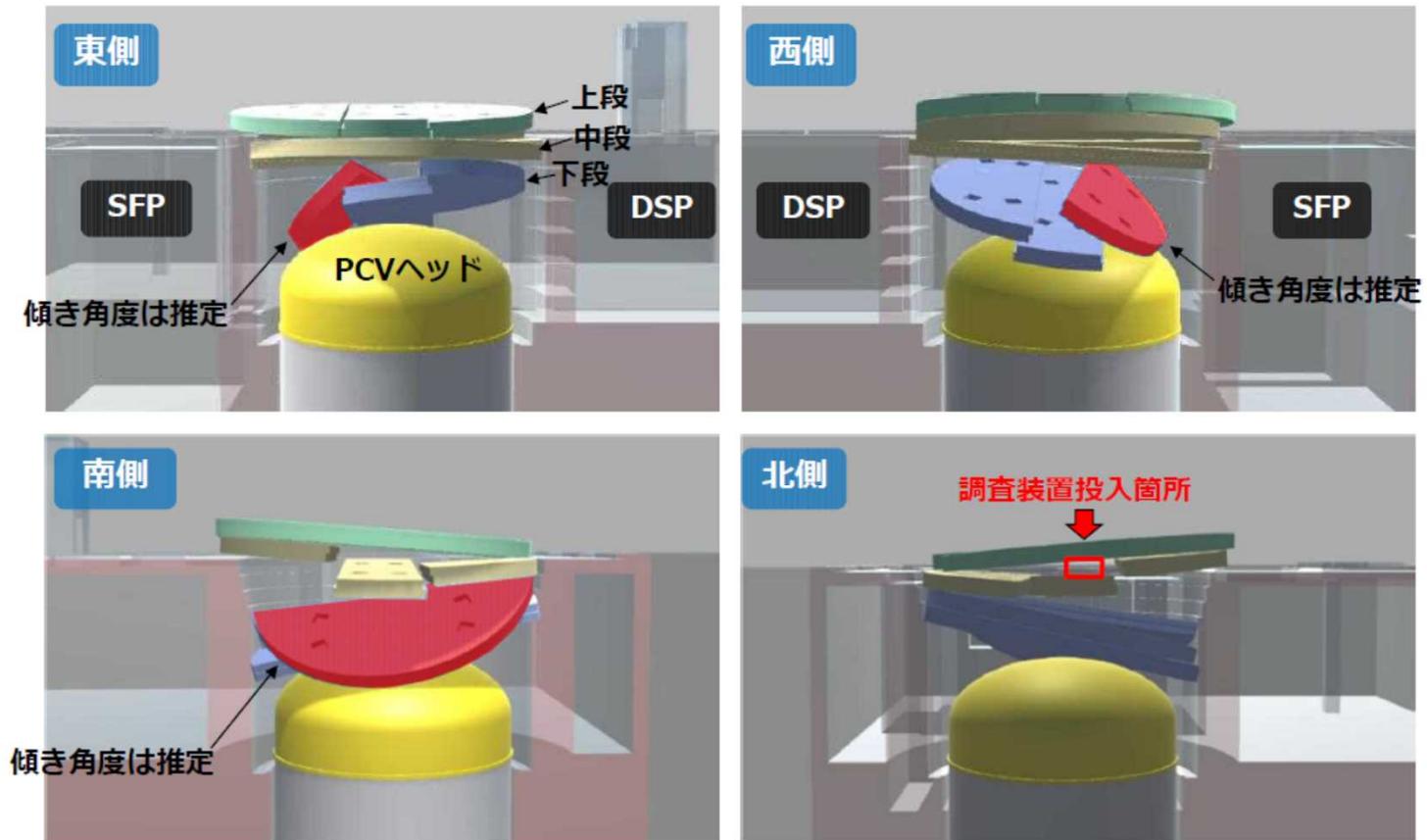
2. ②-2 1号機シールドプラグずれ

第12回会合(令和2年6月25日)資料3-1(参考)より抜粋

2017/3/30 廃炉汚染水対策チーム会合事務局会議資料
「福島第一原子力発電所1号機オペレーティングフロア調査結果(中間)について」抜粋

2. プラグのずれ状況

■ ウェルプラグ状態図 (調査結果を基にイメージ図を作成)



2. ②-3 1号機シールドプラグにおけるCs捕獲(1/2)

第12回会合(令和2年6月25日)資料3-1より抜粋



2/3号機のシールドプラグ下部に大量のCsが捕獲されていることについて

- 環境中に放出されたCs137を大幅に軽減した可能性
 - ・外部放出量の1Fとチェルノブイリの比較表 ⇒ 参考③(51ページ)参照
- 大量のCsの存在が判明したことによる、廃炉上の課題

1号機シールドプラグ下部に捕獲されたCsは2/3号機より遥かに少ない

- ベント時の格納容器の相対的汚染程度の推測とは逆の結果
- シールドプラグが変位していることに起因する可能性
- 1号機の落下した屋根トラスの下部に捕獲されている可能性
 - ・IRIDの資料抜粋 ⇒ 参考④(52ページ)参照
- 放出量自体が少なかった可能性

Cs放出の理解に向けて(今回よりも、モニタリングも含めて別途議論したい点)

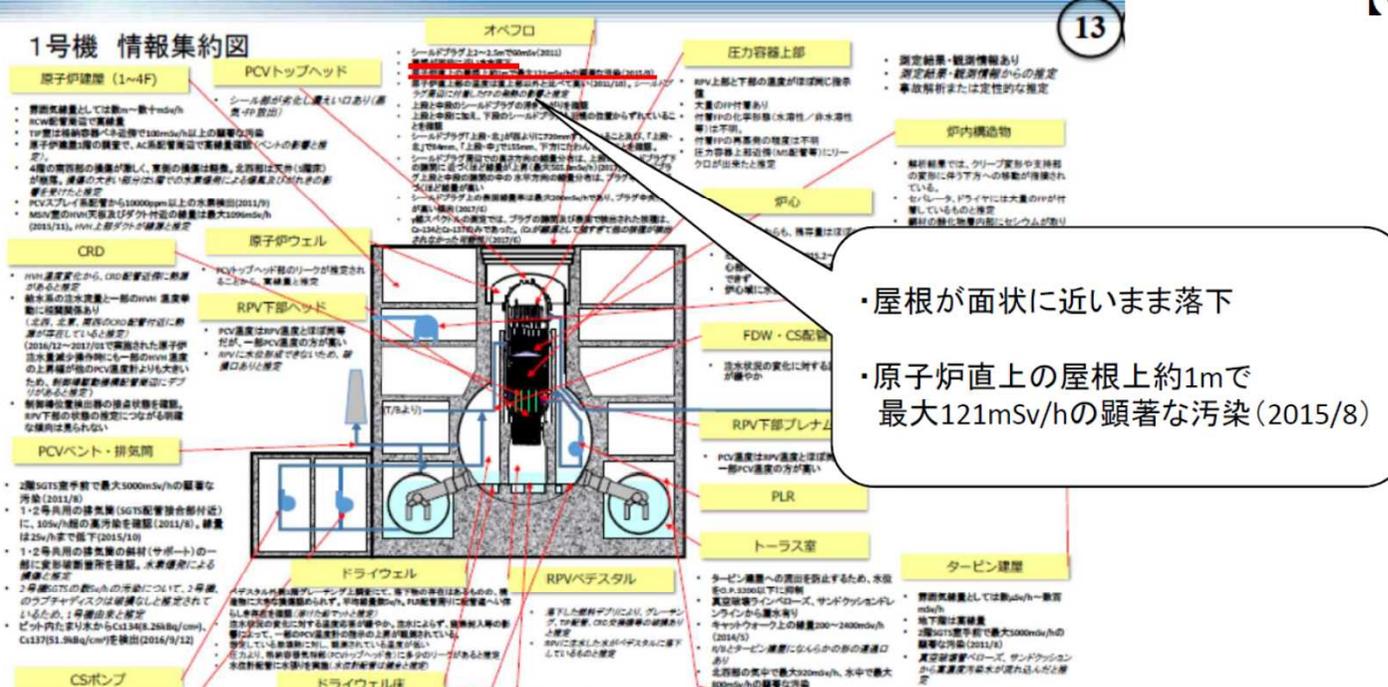
- Csが、炉心損傷後遅れて放出されている可能性
- 1号機の放出量が少ないのなら、その原因

2. ②-3 1号機シールドプラグにおけるCs捕獲(2/2)

第12回会合(令和2年6月25日)資料3-1より抜粋

【参考④】

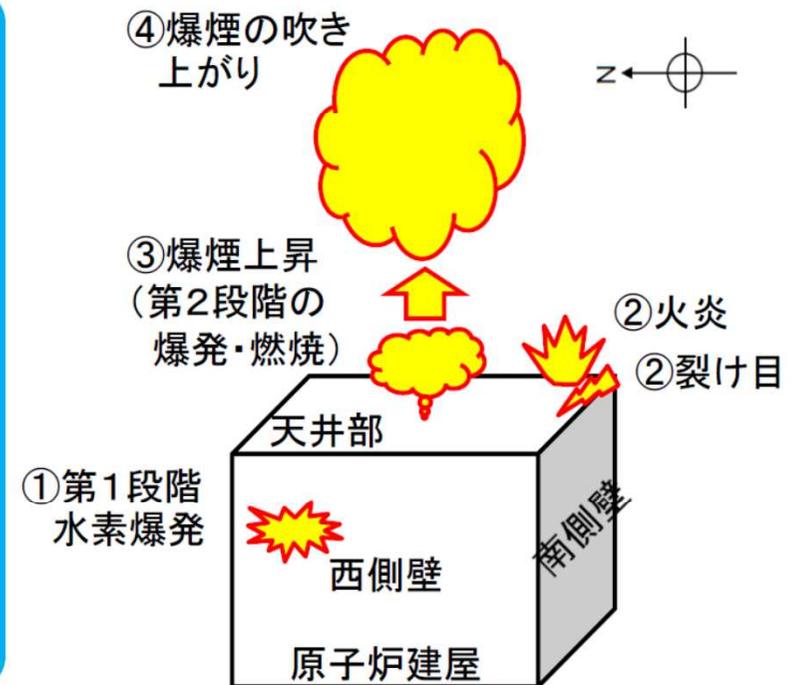
1号機 情報集約図



「廃炉・汚染水対策事業費補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)」
平成29年度成果報告(平成30年6月)
(抜粋、原子力規制庁において一部加工)

4. 複数段階事象仮説

- ① RB内で北西部に大きな損傷を与える第1段階の水素爆発(RB4階の可能性もある。)
- ② RB南東側天井部に裂け目が生じ、火炎発生
- ③ これとは別に、RB中央天井部から第2段階の爆発・燃焼による爆煙上昇
- ④ 残存水素が燃焼しつつ爆煙を吹き上げる



3. ②3号機水素爆発時の振動記録(地震計記録)(1/2)

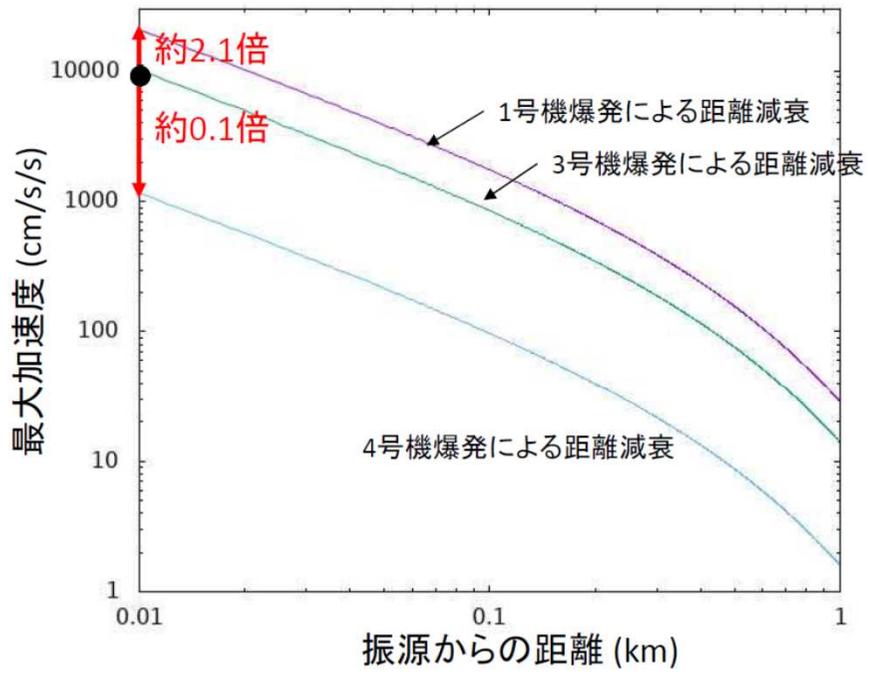
第15回会合(令和2年11月12日)資料2-3より抜粋



○ 爆発時の振源付近の振幅比の推定

(1号機爆発時の振幅)/(3号機爆発時の振幅)=約2.1倍
(地震動のエネルギーが最大加速度値の2乗に比例すると仮定すれば、エネルギー比で約4.4倍)

(4号機爆発時の振幅)/(3号機爆発時の振幅)=約0.1倍
(同 エネルギー比で約0.01倍)



3. ②3号機水素爆発時の振動記録(地震計記録)(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-3より抜粋



○ まとめ

- S波の到着時刻から1秒間の区間における、最大加速度振幅をS波の最大振幅として見積もり、距離減衰特性式による回帰を行った。
- 回帰曲線から振源における振幅を推定し、1号機、3号機及び4号機爆発時の振幅比を推定した。
- 1号機爆発時の振源の振幅は3号機の2.1倍(エネルギー比で4.4倍)程度※、4号機爆発時の振源の振幅は3号機の0.1倍(エネルギー比で0.01倍)程度※であった。

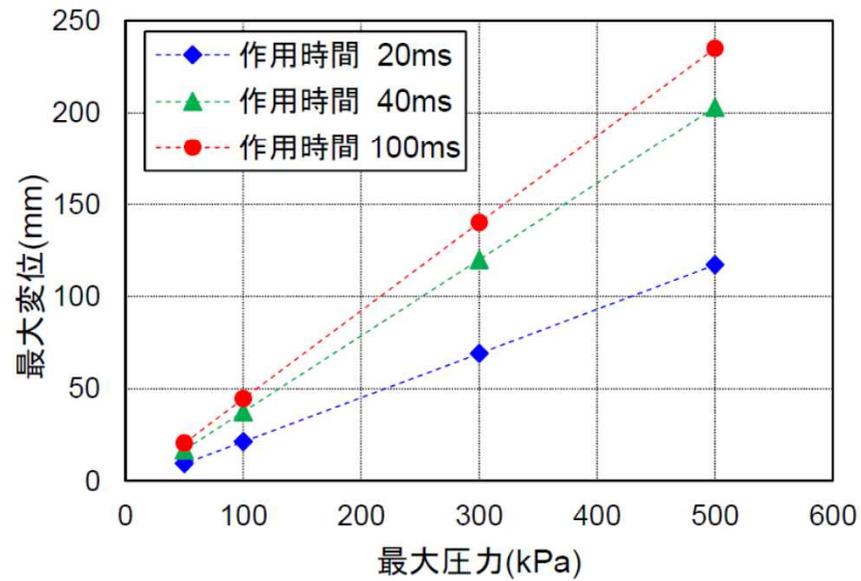
※本検討で推定したのは、各号機の爆発に伴い放出されたエネルギーのうち、地盤に伝播した振動のエネルギー比である。

3. ③3号機原子炉建屋3階天井部の大梁の破損(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-2より抜粋

6

解析結果 (床版に作用した爆風も考慮)



大梁Bの損傷 (No.7811)

○ 50~500kPaの爆風圧に対して、はりは9~235mm変位

39

3. ③3号機原子炉建屋3階天井部の大梁の破損(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-2より抜粋

7

まとめ

- 大梁の写真：曲げにより目視で明らかに認め得るほどの下方向の変位が発生
- 試算の結果：50～500kPa、作用時間20～100msの爆風圧に対して、はりの最大変位は2～235mm
- 水素爆発の映像：1/60秒（約17ms）の画像にして数コマ程度の現象

以上より、50～500kPa程度の爆風が数十ms程度作用していたと考えてよいのではないかと考えられる。

3. ④3号機水素爆発 噴煙(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-1より抜粋



○複数段階事象仮説※の整理

映像処理前 (30コマ/秒)	映像処理後 (60コマ/秒)
①原子炉建屋内で、北西部に大きな損傷を与える第1段階の水素爆発 (RB4階の可能性もある)	①建屋を北西方向に変形させる力を与えた水素爆発現象がまず生じた。 (以下「前駆爆発」と呼ぶ。)これにより、RB北西部の膨張破損開始。 RB東南角5階下部付近にも破損発生。
②原子炉建屋南東側天井部に裂け目が生じ、火災発生	②次いで、RB屋根南東部から可燃物質(炭化水素ではないか?)を含む水素が噴出し黄橙色の火炎が発生するとともに、RB南壁5階部分の破損・崩落開始。同時にRB南東方向に噴出様のものが見られるが詳細は不明。
③これとは別に、原子炉建屋中央天井部から第2段階の爆発・燃焼による爆煙上昇	③最初の前駆爆発から2~3/60s程度して、建屋変形などによって弱体化していたRB屋根中央部は上方へと膨れ上がり始めた。どの時点で、RB5階西側側壁部分が水平方向に吹き飛んだかは不明。
④残存水素が燃焼しつつ爆煙を吹き上げる	④この上方への噴煙は第2段階の上昇に移行し、1秒後にはスタック頂部より少し高い位置に到達。この途中で、南東角の火炎は上昇する噴煙の中に吸い込まれる。なお、この上昇する噴煙付近にも小規模の火炎が見られる。この現象は、残存水素等の燃焼によるものと思われる。

⑤以上の結果、3号機の「水素爆発」は、前駆爆発=4階部分の損壊、建屋上部の火災発生・継続、RB屋根部の上方への膨張、残存水素の燃焼による噴煙上昇が、この順番で発生した、一連の、しかし、一つではない現象であったと考えられる。

なお、火炎の色は黄橙色であり、RB内部にあった気体は、主成分である水素に炭化水素が混ざったものだったのではないかと推測される。ただし、現時点では、比率までは分からない。

※複数段階事象仮説：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第13回会合資料2参照。

3. ④3号機水素爆発 噴煙(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-1より抜粋



○ 3号機原子炉格納容器内の状況

1. 3号機 PCV内部調査進捗 (22日調査速報) (1/2)

< 参考資料 >
2017年7月22日
東京電力ホールディングス株式会社

■ 本日の調査状況は以下の通り

調査概要図

調査範囲

調査に使用する格納容器貫通孔 (X-53ベネ)

格納容器貫通孔 (X-6ベネ)

制御棒駆動機構(CRD) 交換用レール

ベDESTAL開口部

水中ROV

制御棒駆動機構(CRD) ハウジング

プラットフォーム

開口部 (スロット)

作業員アクセス開口部

地下室

CRDハウジング

CRD下部

プラットフォーム

CRD交換機

格下アクセス口

プラットフォーム

ベDESTAL

スロット開口部

プラットフォーム

CRDレール基部

①ベDESTAL内

②ベDESTAL内

③ベDESTAL内

3号機 PCV内部調査進捗 (22日調査速報) (2017年7月22日東京電力ホールディングス株式会社)より抜粋

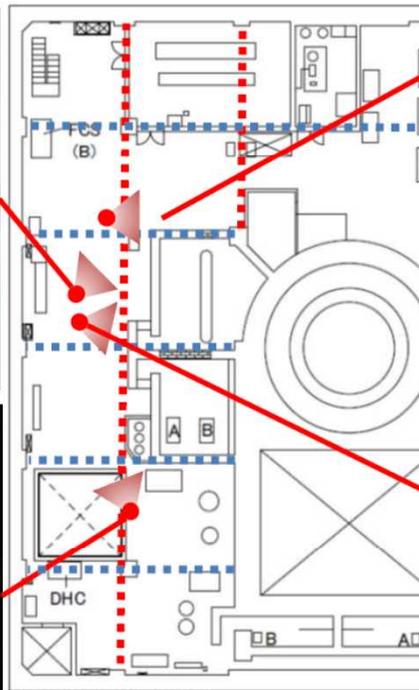
IRID TEPCO 1

3. ⑤3号機原子炉建屋3階天井部の小梁の破損

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-2より抜粋



○3号機原子炉建屋3階



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 第14回会合
資料3

写真は、令和2年9月18日
原子力規制庁撮影

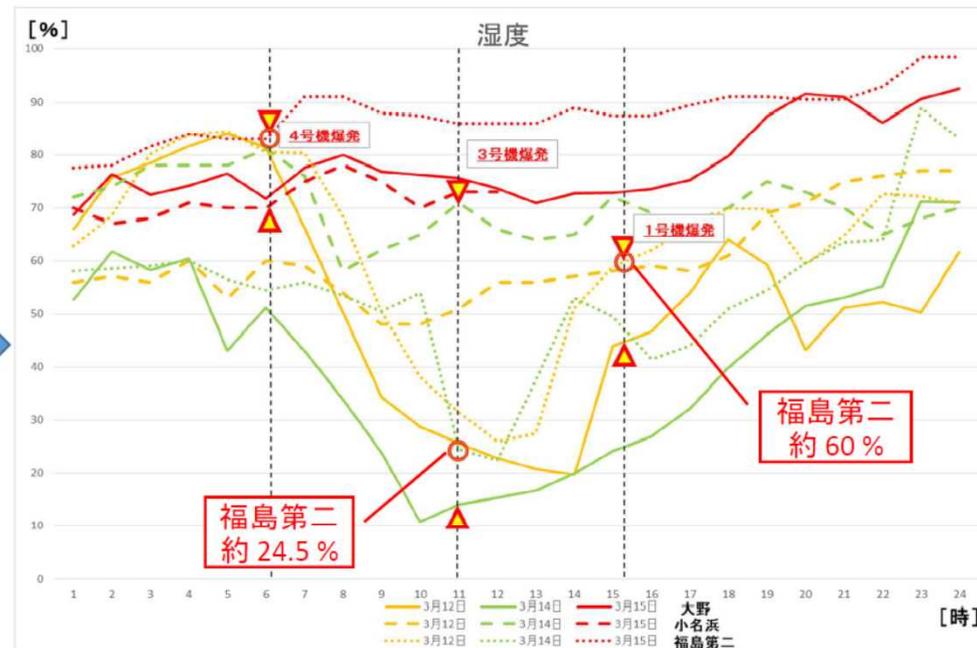
図面は、東京電力資料及び政府事故調報告書より抜粋一部加工

3. ⑥水素爆発時の気象条件

第15回会合(令和2年11月12日)資料6-1より抜粋



○1, 3, 4号機 原子炉建屋の爆発時の湿度について



福島第一の敷地に近く、海岸沿いにある福島第二の気象データ(気象観測装置の湿度データ)を比較。

1号機爆発時(3月12日15時36分頃)は、福島第二で約60%の湿度

3号機爆発時(3月14日11時01分頃)は、福島第二で約24.5%の湿度

3. ⑦水素爆発時の損傷(圧力上昇による損傷)(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料2-2より抜粋

3号機原子炉建屋



○4階西側の損傷状況



●:カメラ位置 ◀:視野の方向

令和2年9月18日原子力規制庁撮影
※360度カメラの映像から抽出しているため、画像が湾曲している。
※360度カメラの外側に汚染防止のための透明カバーを付けているため、光が屈折している場合がある。

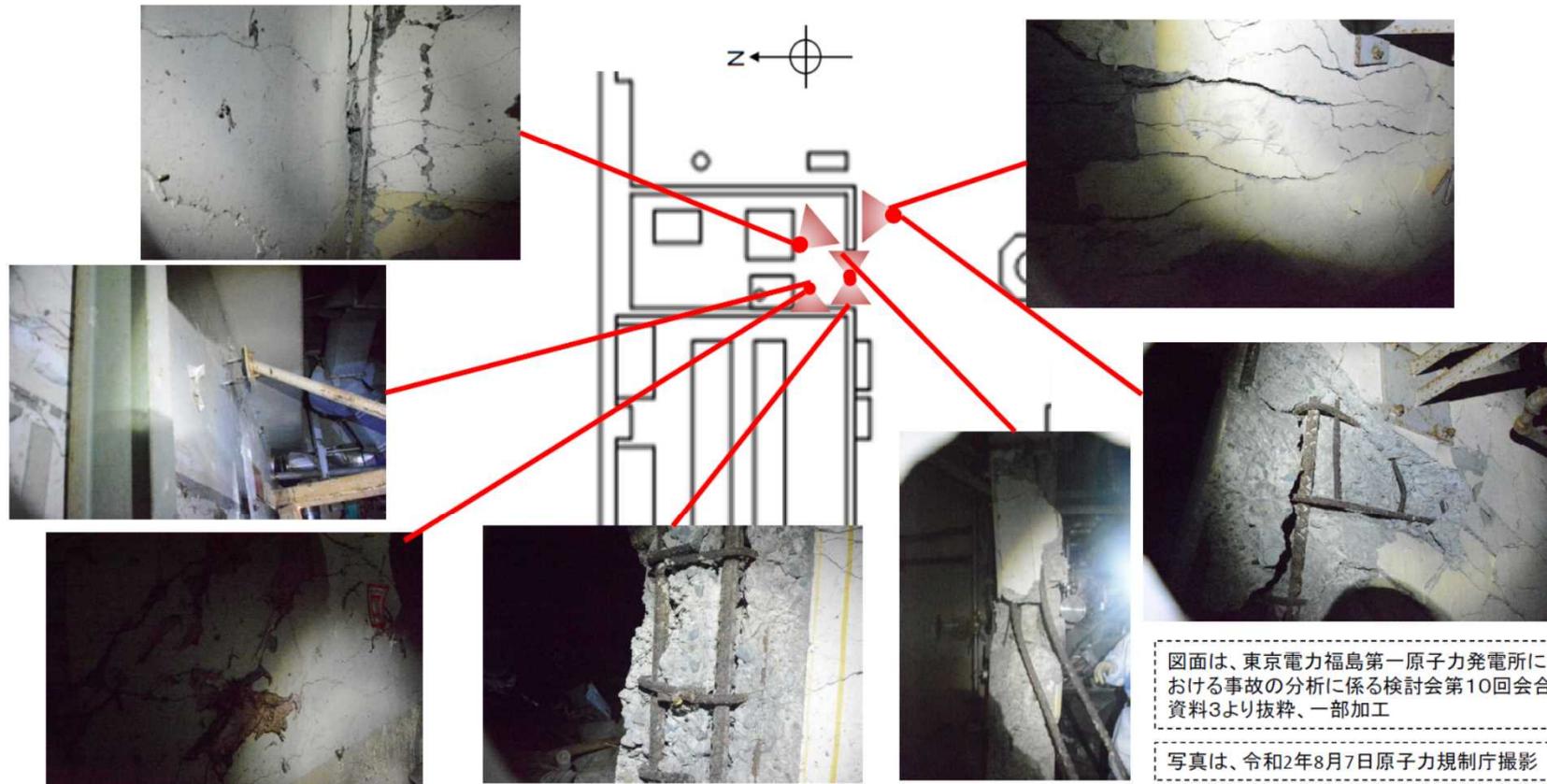
3. ⑦水素爆発時の損傷(圧力上昇による損傷)(2/2)

4号機原子炉建屋

第13回会合(令和2年9月3日)資料3より抜粋



4号機原子炉建屋3階の状況(北側CRDリペア室)



4. ①主蒸気逃し安全弁の逃し弁機能 中間開状態(1/2)

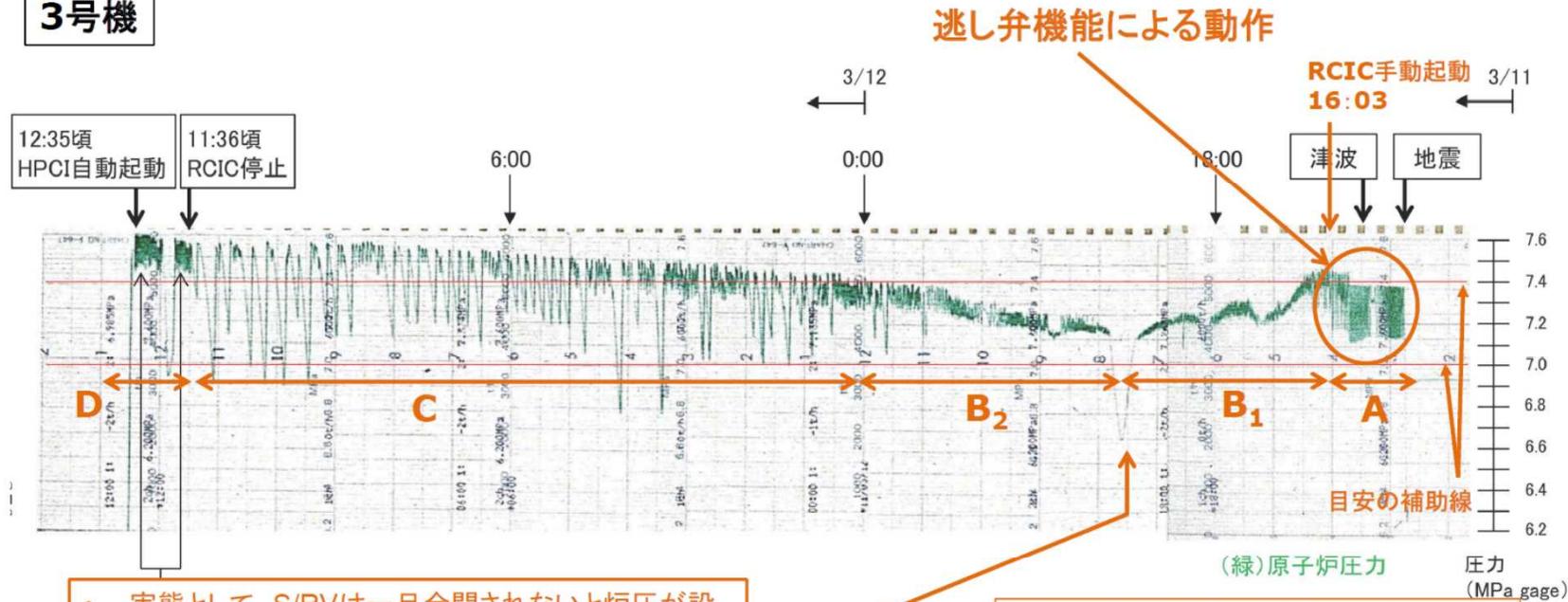
第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



再掲

3号機RPV圧力

3号機



- 実態として、S/RVは一旦全開されないと炉圧が設定圧を下回っても開信号が解除されない(あるいは閉信号が出ない)と考えられる
- そのため、窒素供給を喪失した弁を閉止できていないと考えられる
- 2号機においても類似の挙動が見られることから、窒素供給切れになったS/RVに共通する挙動と考えられる

A、B₁、B₂、C及びDは便宜上の時間区分

表1 SRVの逃がし弁機能と安全弁機能の作動圧 単位: MPa[gage]

	A	B	C	D	E	F	G	H
逃がし弁機能	7.51	7.58	7.44	7.58	7.51	7.58	7.51	7.58
安全弁機能	7.71	7.78	7.64	7.71	7.64	7.78	7.71	7.78
ADS機能の有無	有	有	有	—	有	—	有	有

東電、未説明問題報告書(第5回)より抜粋

政府事故調報告書より抜粋して加筆(オレンジ色)

4. ①主蒸気逃し安全弁の逃し弁機能 中間開状態(2/2)

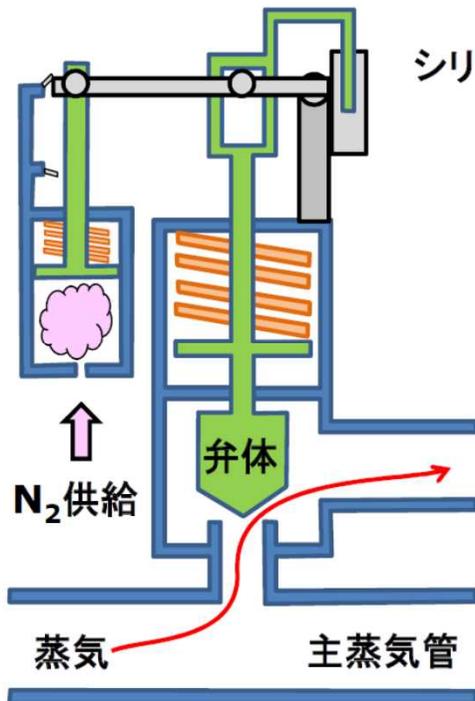
第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



B-1の区間で生じるS/RVの中間開状態

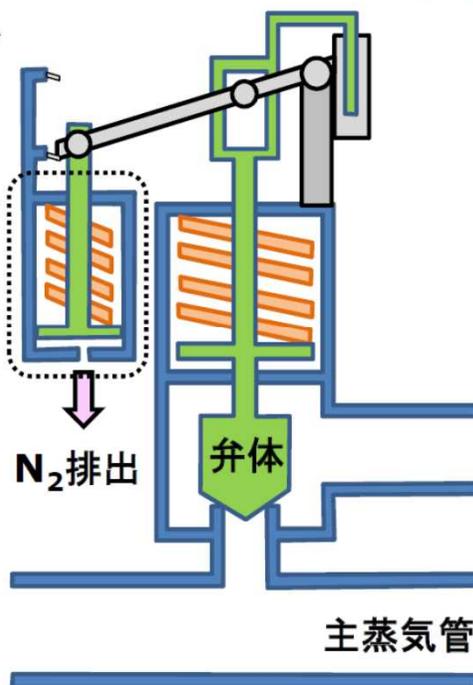
開

窒素ガスがシリンダに供給され、弁体が持ち上げられる



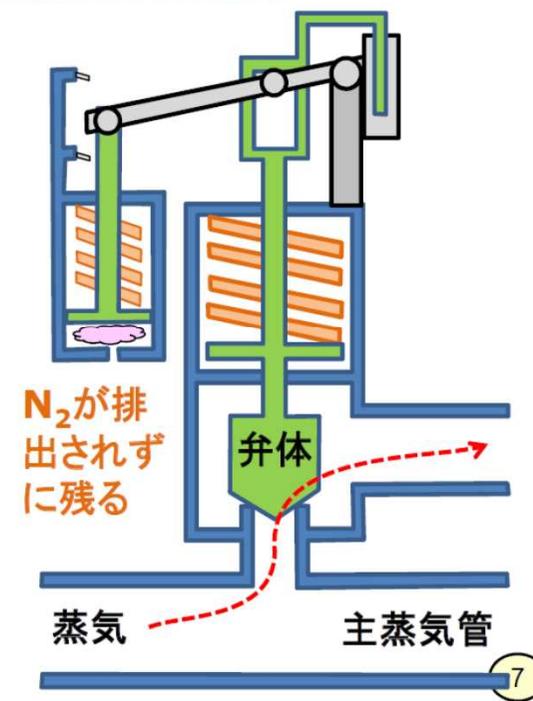
閉

シリンダから窒素ガスが排出され、弁体がバネで押し付けられる



中間開

窒素ガスがシリンダに不十分に供給され、弁体を上方へ押し上げる力がかかる。その後、シリンダから窒素ガスが排出されないと、弁体を上方へ押し上げる力がなかった状態が維持される。



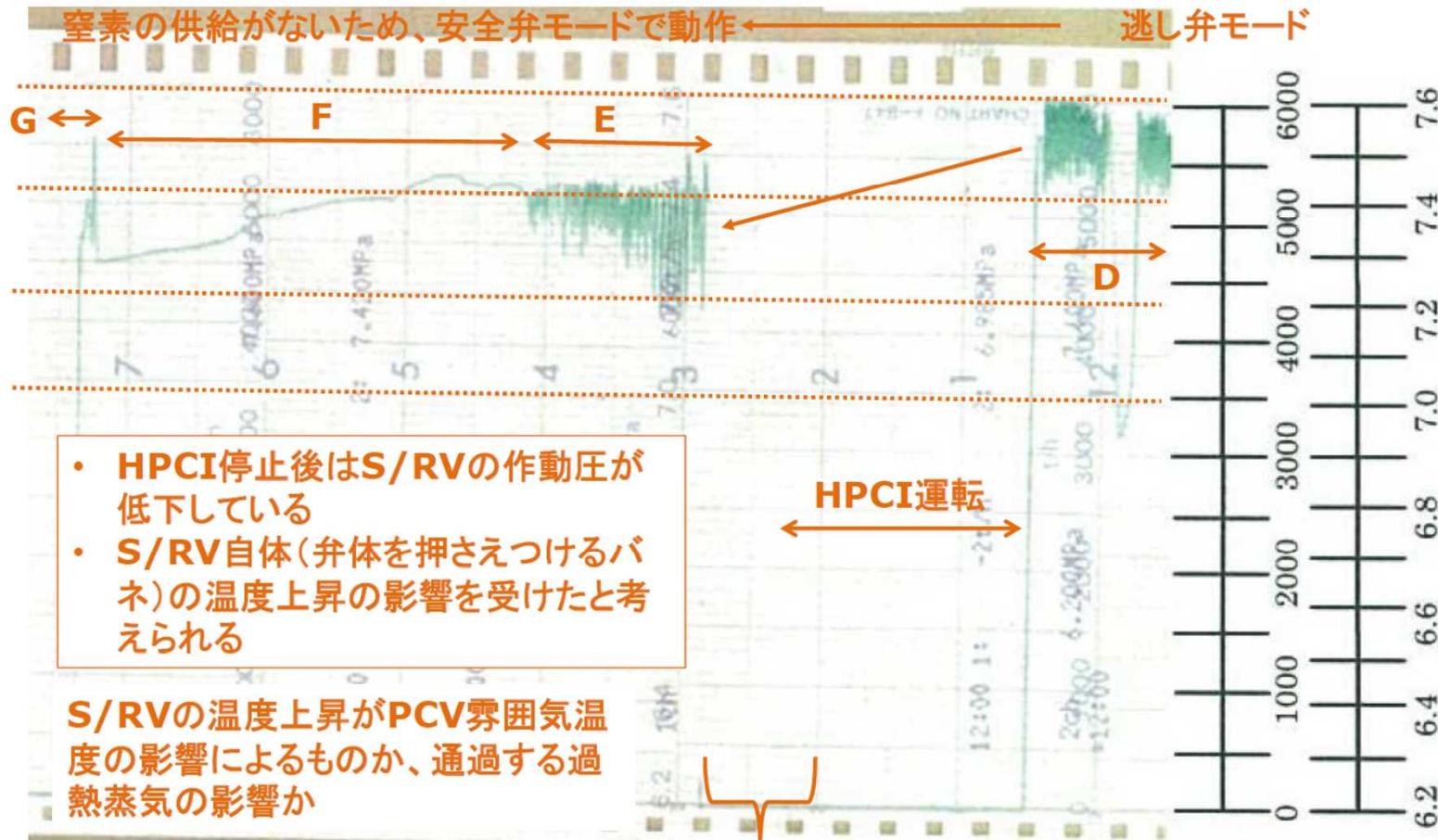
4. ②主蒸気逃し安全弁の安全弁機能 作動圧力の低下(1/3)

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



3号機

HPCI運転前後でのRPV圧力



- HPCI停止後はS/RVの作動圧が低下している
- S/RV自体(弁体を押さえつけるバネ)の温度上昇の影響を受けたと考えられる

S/RVの温度上昇がPCV雰囲気温度の影響によるものか、通過する過熱蒸気の影響か

D、E、F及びGは便宜上の時間区分

(注)欠測期間が存在する

2. HPCI停止後のS/RVの挙動について

- 炉心損傷後は、過熱蒸気によってS/RV自体の温度が上昇したと考えられる
 - 主蒸気管を通過する蒸気温度の上昇によってS/RV自体(ばね部)の温度が上昇
 - S/RVの温度は格納容器の雰囲気温度よりも高温になると考えられる
- S/RV自体の温度が上昇した場合の影響
 - ばねによる弁体の押し下げ力の低下
 - 設定圧よりも低い炉圧での安全弁としての動作

4. ②主蒸気逃し安全弁の安全弁機能 作動圧力の低下(3/3)

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋

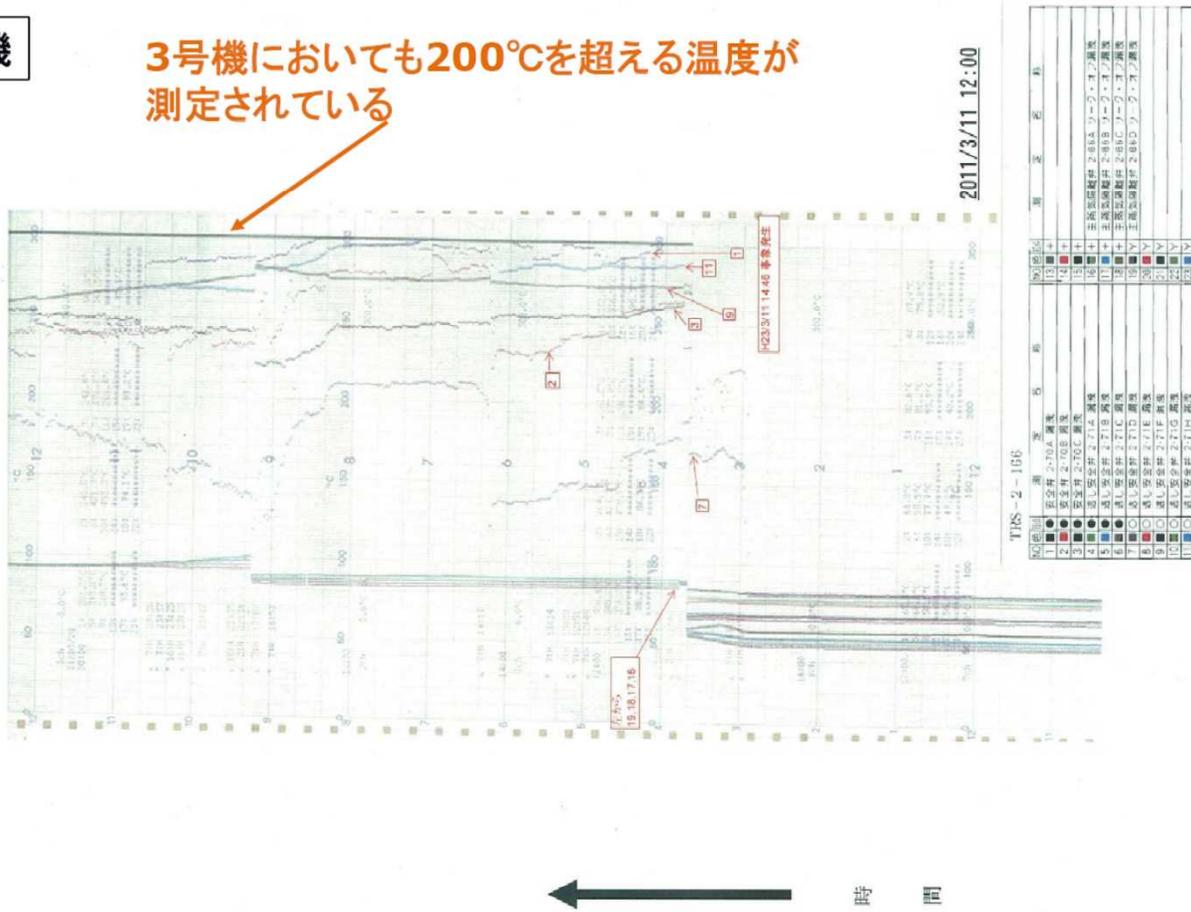


参考

S/RVの温度

3号機

3号機においても200°Cを超える温度が測定されている



3号機 安全弁・逃し弁・漏洩温度 (2/2)

4. ③自動減圧系の作動による3号機ベント成功(1/2)

第12回会合(令和2年6月25日)資料4-1より抜粋



ADS作動ロジック

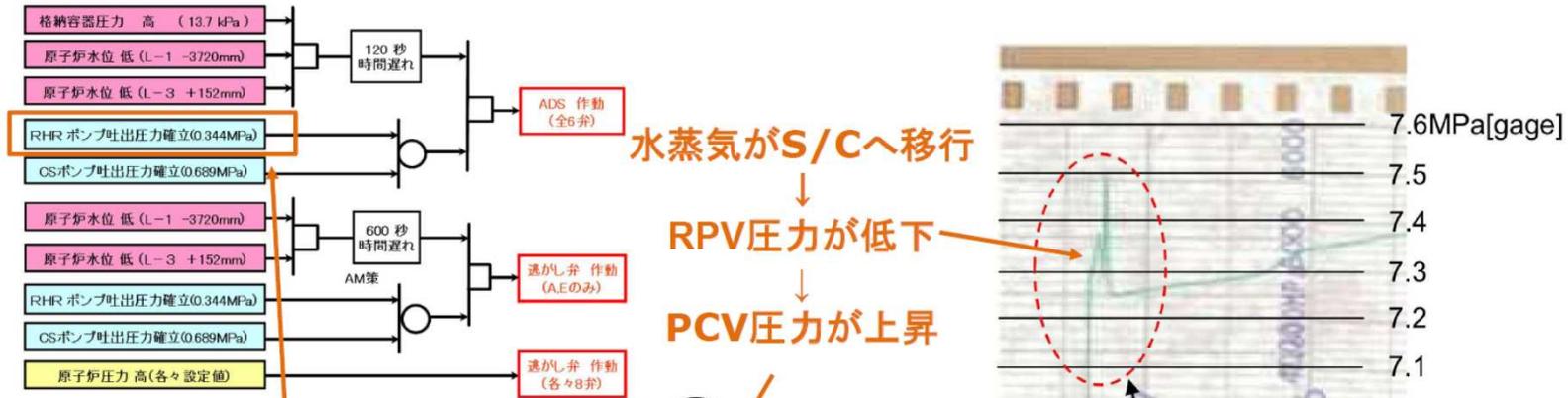


図6 SIVの作動ロジック

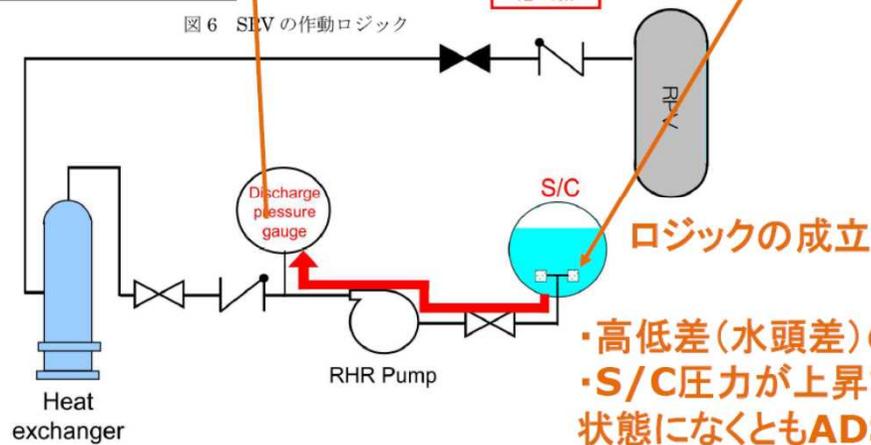


図9 RHRの系統構成



図7 原子炉圧力チャート(狭帯域)

東京電力、第5回未説明問題報告書より抜粋して加筆(オレンジ色)

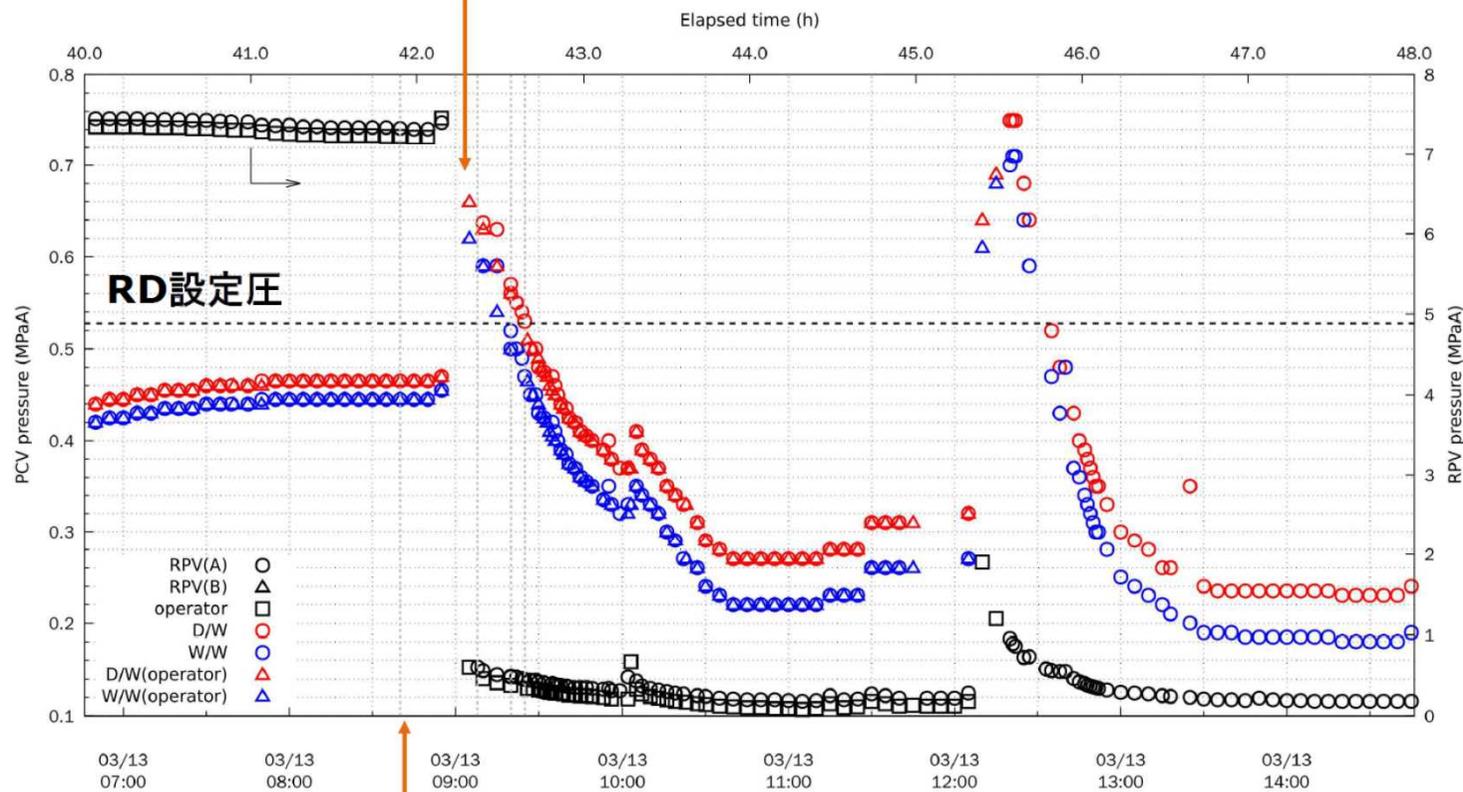
4. ③自動減圧系の作動による3号機ベント成功(2/2)

第12回会合(令和2年6月25日)資料4-1より抜粋



ADS作動によるRD破損

ラプチャーディスクの破損により格納容器の減圧開始



8:41
ベントライン構成完了

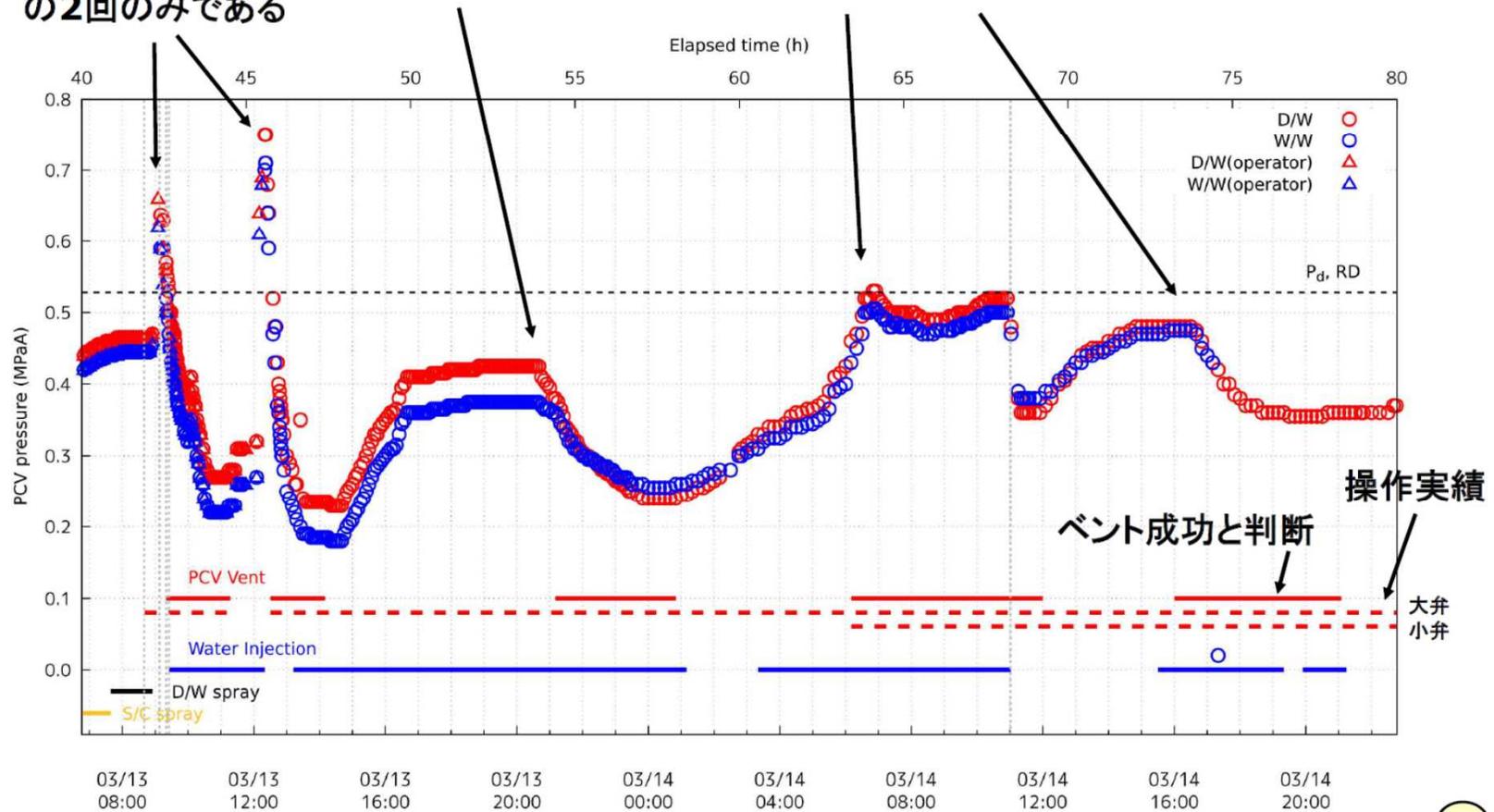
4. ④3号機のベント実施回数2回

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



3号機のPCV圧力

事故後は、PCVベントによってPCV圧力が低下したと判断されていたが、成功したのは最初の2回のみである



※3月13日 11:17 AO弁開確認

1

4. ⑤4号機への水素供給

第11回会合(令和2年3月27日)資料5より抜粋



1, 3, 4号機 原子炉建屋の爆発について

【参考】

	1号機	3号機	4号機
3/12	<p>14:30頃 ベント① 14:50 D/W圧力 750kPa[abs]→580kPa[abs] 15:36 原子炉建屋で爆発</p>		
3/13	<p>1号機R/Bの爆発 ○水平(南北)方向に広がるように白色の爆発煙が上がる。 (政府事故調)</p>	<p>9:20頃 ベント① 9:24 D/W圧力 637kPa[abs]→540kPa[abs] 12:30頃 ベント② 13:00 D/W圧力 480kPa[abs]→300kPa[abs]</p>	
3/14		<p>11:01 原子炉建屋で爆発</p>	
3/15		<p>3号機R/Bの爆発 ○白煙を上げて水平方向に広がる爆発煙と、黒煙を上げて垂直方向に広がる爆発煙が認められた。 (政府事故調) ○オレンジ色の閃光を放った次の瞬間、3号機R/Bが爆発した(国会事故調) 爆発後、最上階から水蒸気の白煙が激しく立ち上がるのが観察された(国会事故調)</p>	<p>6:12 原子炉建屋で爆発 9:38 3階北西付近で火災発生</p>
3/16			<p>5:45 3階北西付近で火災発生</p>

4. ⑥主蒸気逃し安全弁の逃し弁機能 中間開状態の継続

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



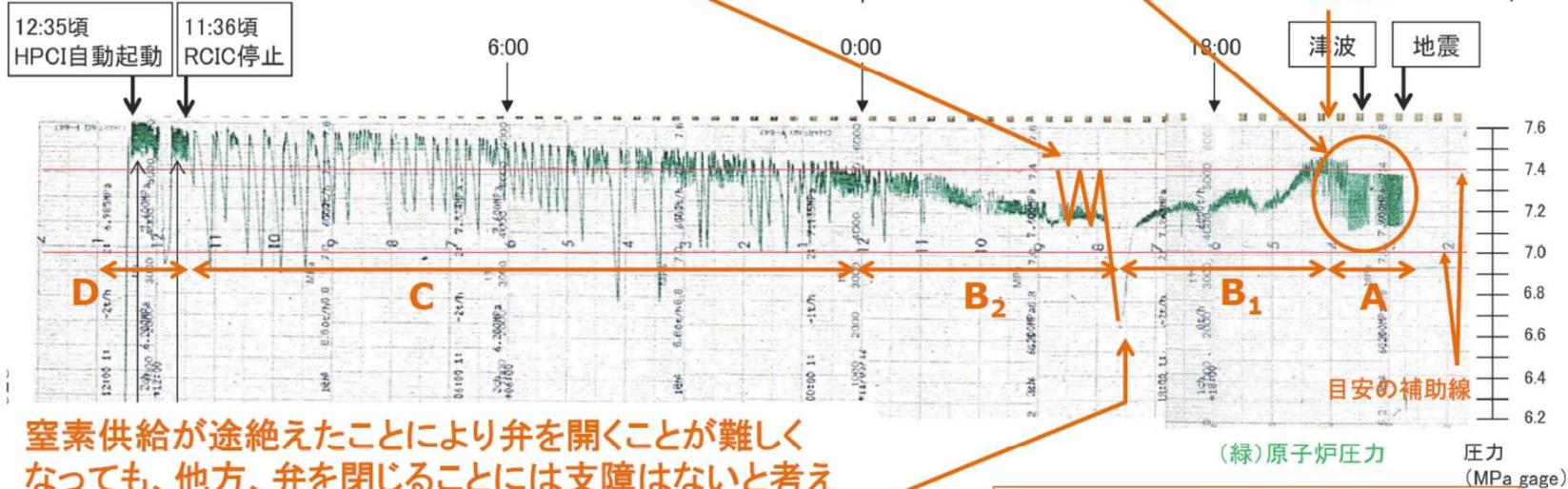
3号機RPV圧力

3号機

閉信号が出されれば、炉圧はS/RV開の設定圧まで上昇するのではないか

逃し弁機能による動作

RCIC手動起動
16:03



窒素供給が途絶えたことにより弁を開くことが難しくなっても、他方、弁を閉じることには支障はないと考えられる

3月11日19:頃に原子炉圧力は大きく低下している
 ・この時点で明らかにS/RVの閉止圧より炉圧が低下していることから、閉止信号が出ているはず。
 ・B2の期間では、炉圧はS/RVの開圧力まで上昇せずに振幅を繰り返している。

A、B₁、B₂、C及びDは便宜上の時間区分

表1 SRVの逃がし弁機能と安全弁機能の作動圧 単位: MPa[gage]

	A	B	C	D	E	F	G	H
逃がし弁機能	7.51	7.58	7.44	7.58	7.51	7.58	7.51	7.58
安全弁機能	7.71	7.78	7.64	7.71	7.64	7.78	7.71	7.78
ADS機能の有無	有	有	有	—	有	—	有	有

東電、未解明問題報告書(第5回)より抜粋

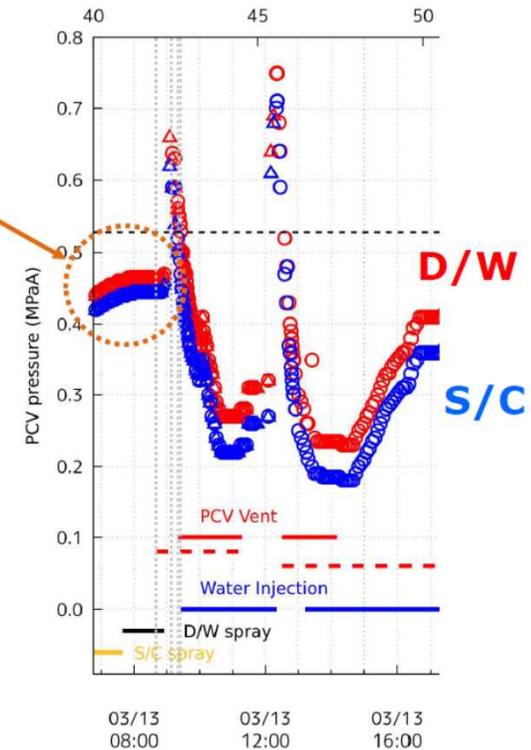
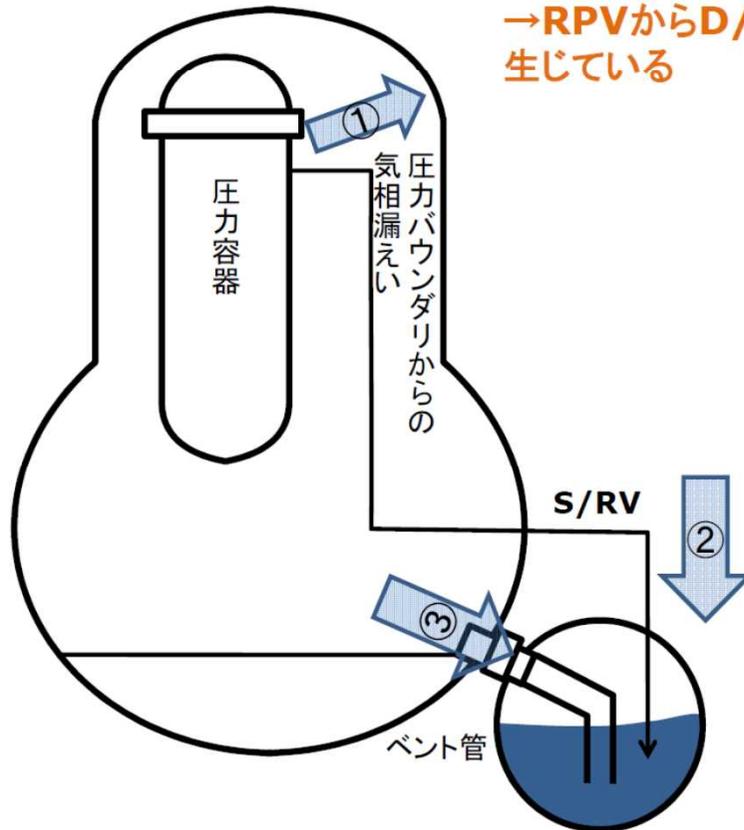
政府事故調報告書より抜粋して加筆(オレンジ色)

本資料では、著者による推定、コメント等はオレンジ色で記載した

5. ①-1 3号機ベント実施以前の原子炉圧力容器からドライウェルへの漏えい(1/3)

ベント前の崩壊熱、FP等の輸送

ベント実施前からD/W圧力が
S/C圧力よりも高い
→RPVからD/Wへの漏えいが
生じている

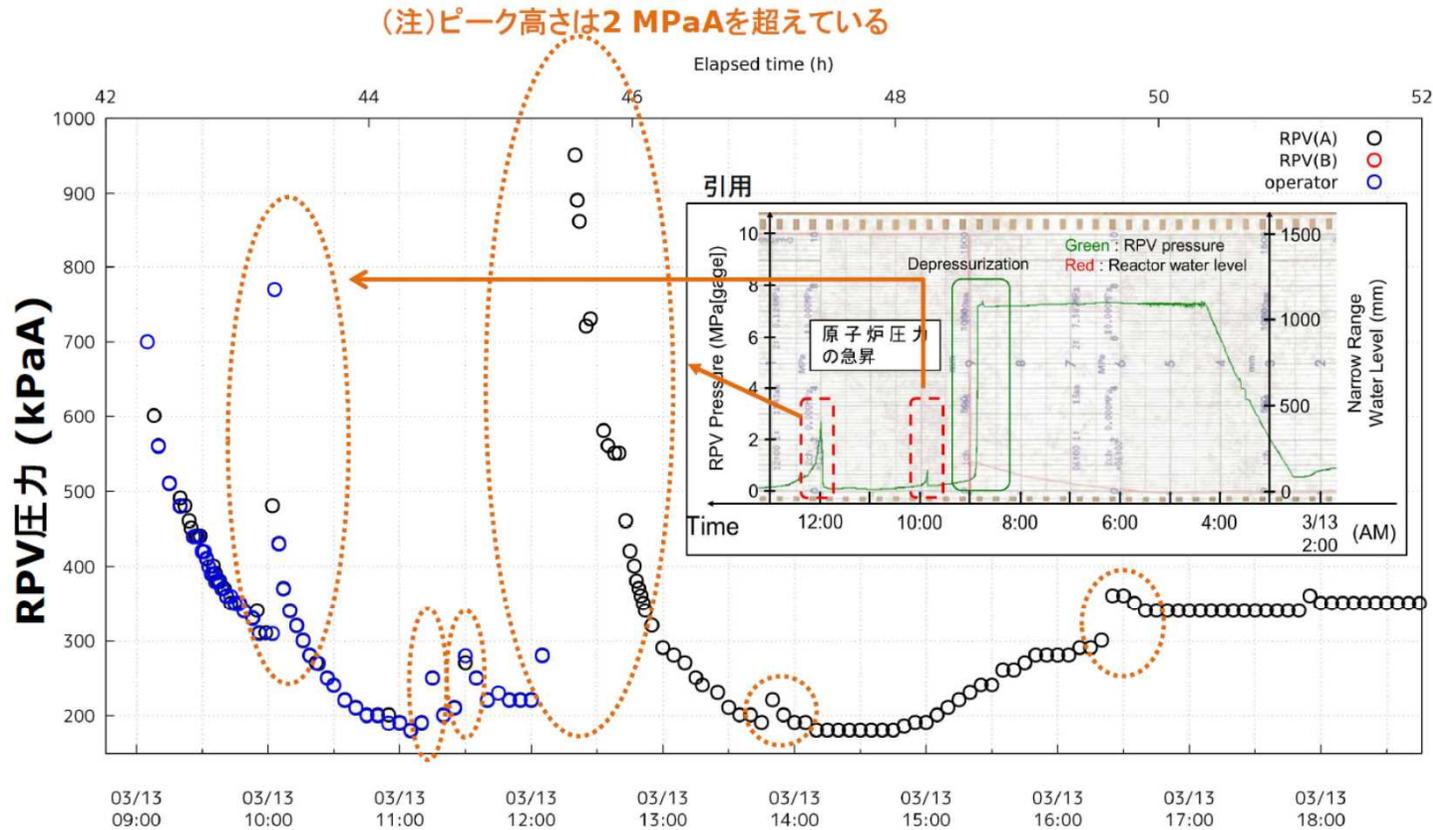


5. ①-1 3号機ベント実施以前の原子炉圧力容器からドライウェルへの漏えい(2/3)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



RPV圧力



大小の圧カスパイクが発生している

引用: 東京電力ホールディングス株式会社、「福島第一原子力発電所1~3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第5回進捗報告」、平成29年12月25日

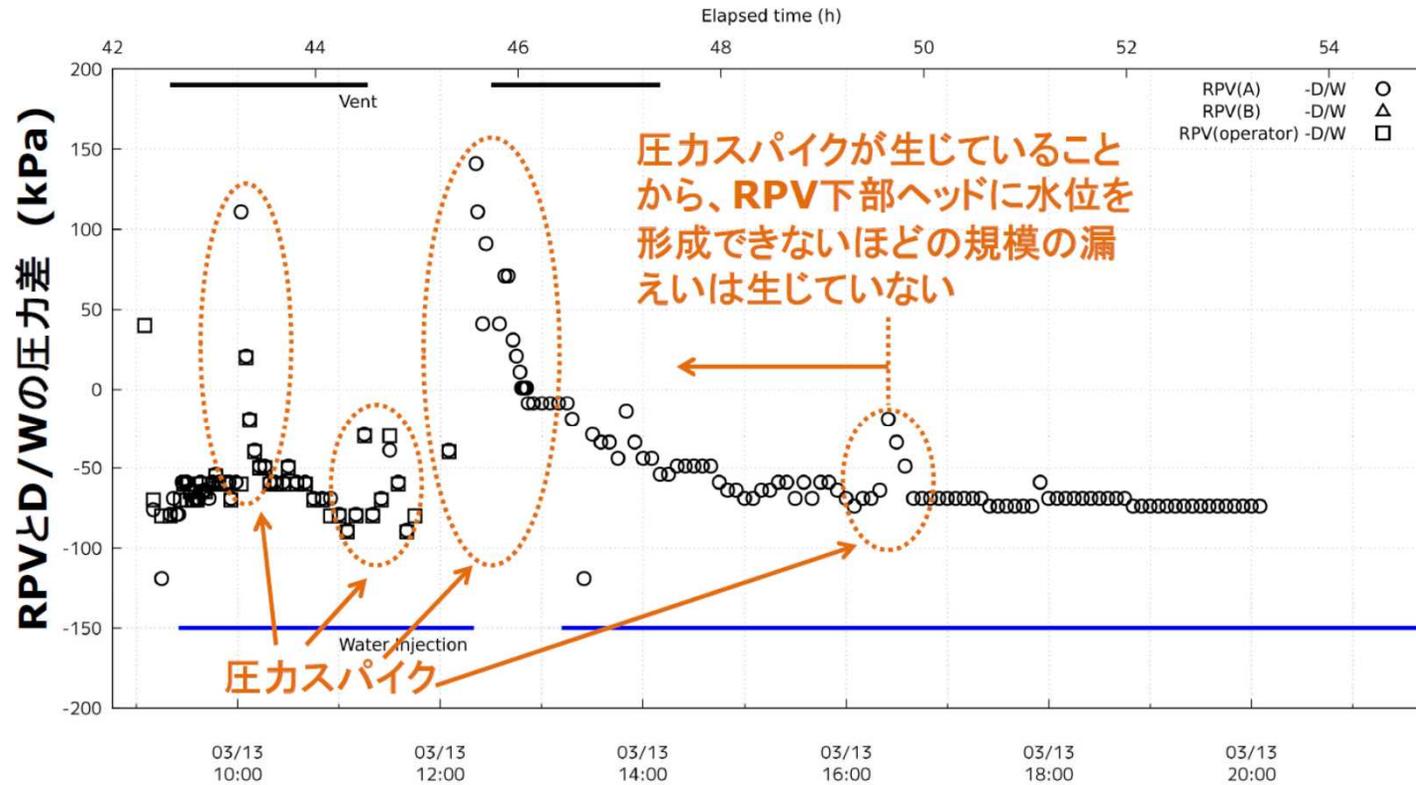
5. ①-1 3号機ベント実施以前の原子炉圧力容器からドライウェルへの漏えい(3/3)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



RPV下部ヘッドの損傷時期について

RPVでの突発的な圧力上昇は、溶融燃料が下部プレナムに落下することで生じていると考えられる
→ 下部プレナムに冷却材が存在

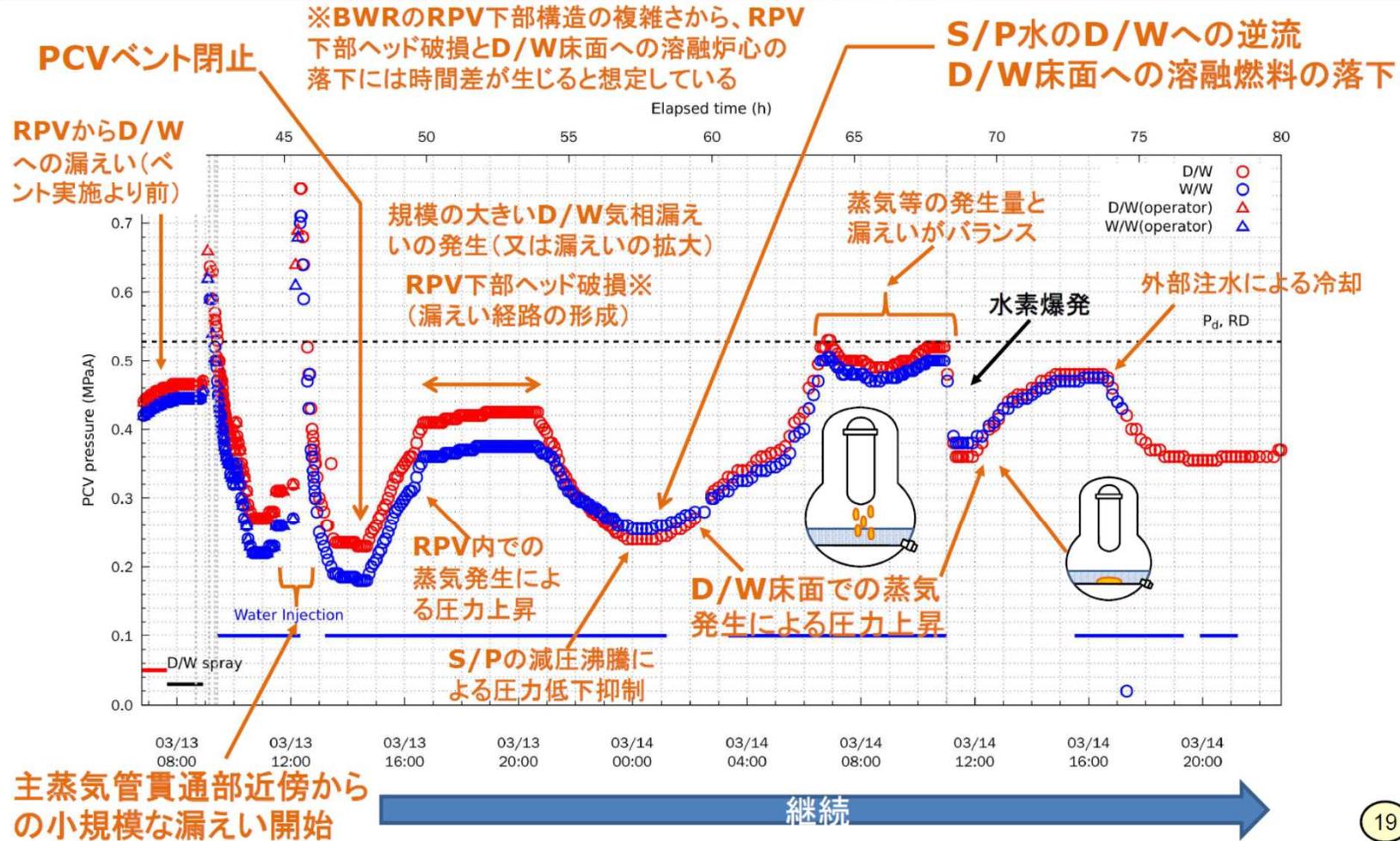


5. ①-2 ドライウェル床面における一定量の冷却材の存在(1/4)

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋

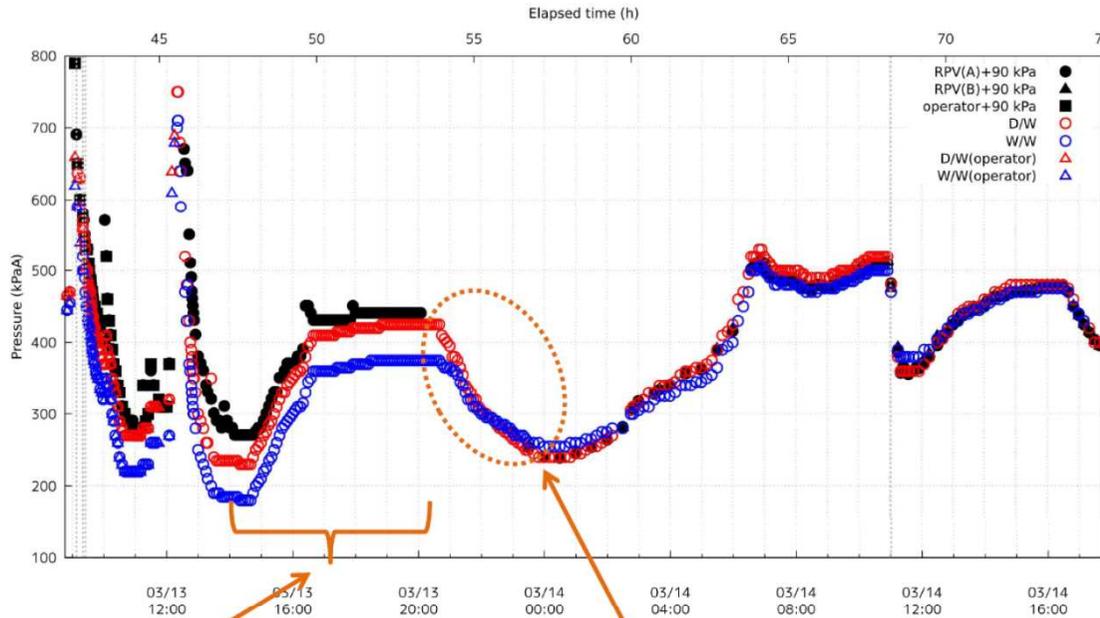


事故進展の推定



5. ①-2 ドライウェル床面における一定量の冷却材の存在(2/4)

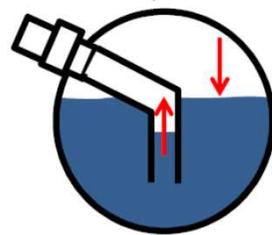
3号機: 2回目ベント後のPCV圧力挙動



2回目のベント後はD/W
圧力>S/C圧力となるの
で、主たる加圧源は
D/W側にある



静水頭分だけD/W圧力がS/C
圧力より高い



D/W圧力が低下す
るとベント管内の水
位が上昇し、S/Cの
水位は低下する

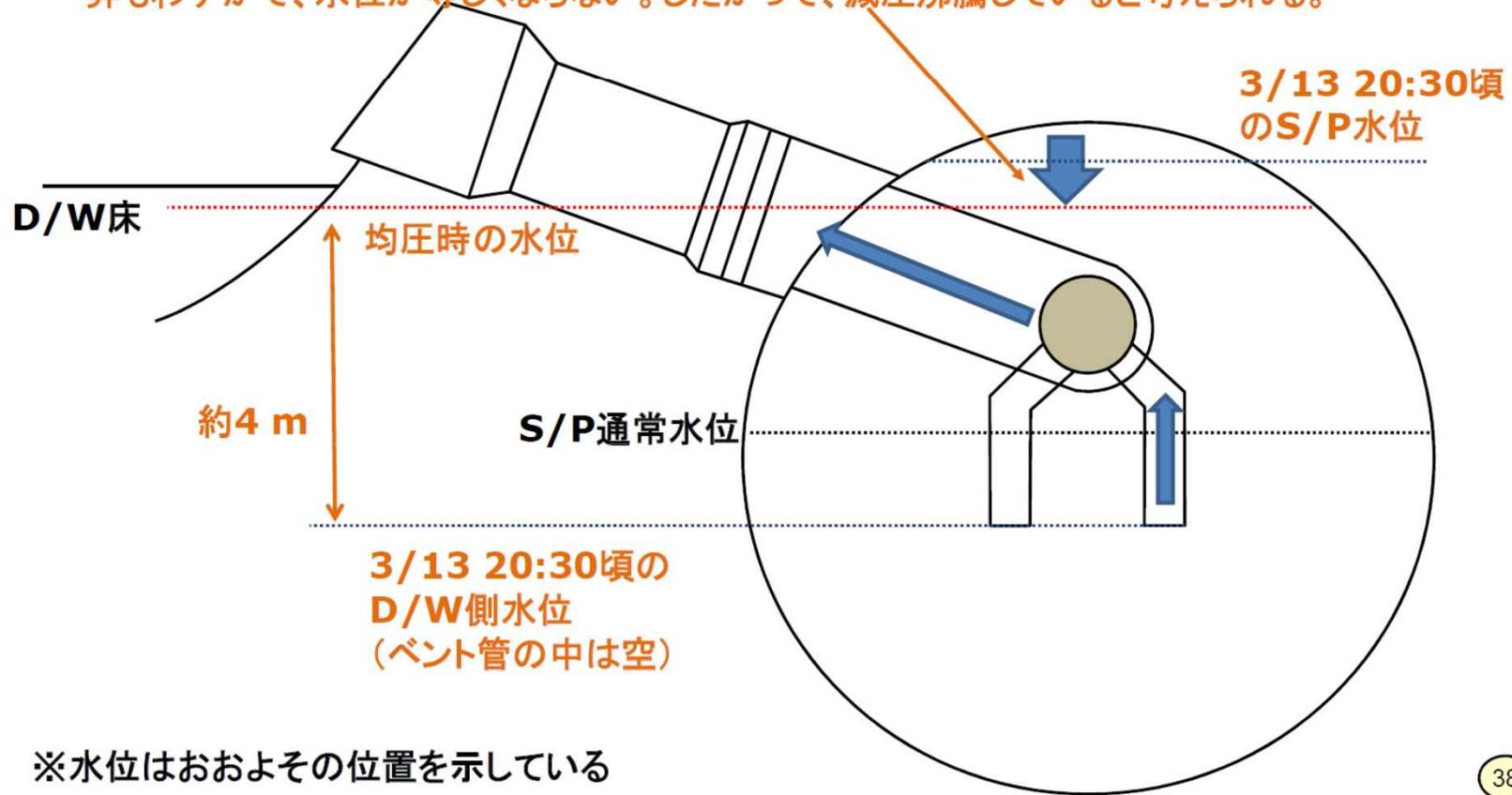
5. ①-2 ドライウェル床面における一定量の冷却材の存在(3/4)

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



D/WとS/Cが均圧するまでの水位

均圧まで、S/Cはわずかに75 kPaの低下。後ろで示すS/P水位が正しければ、等温の場合、40 m³程度しか体積が増えない(水位低下は10 cm程度)。その場合、ベント管内の水位上昇もわずかで、水位が等しくならない。したがって、減圧沸騰していると考えられる。



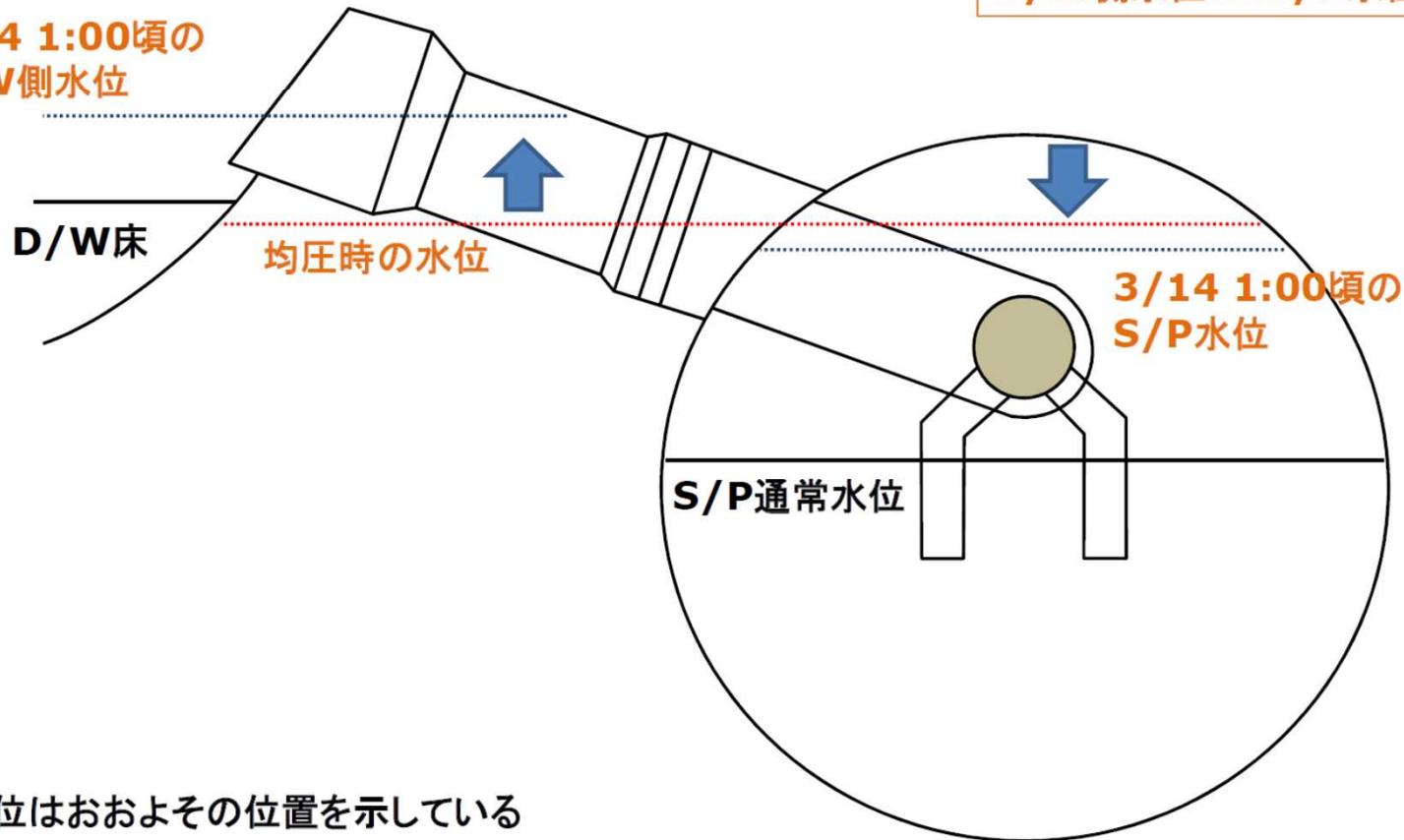
※水位はおおよその位置を示している

D/WとS/Cが均圧した後の水位

D/W床の高さ程度までベント管内の水位が上昇する

水位が逆転
D/W側水位 > S/P水位

3/14 1:00頃の
D/W側水位



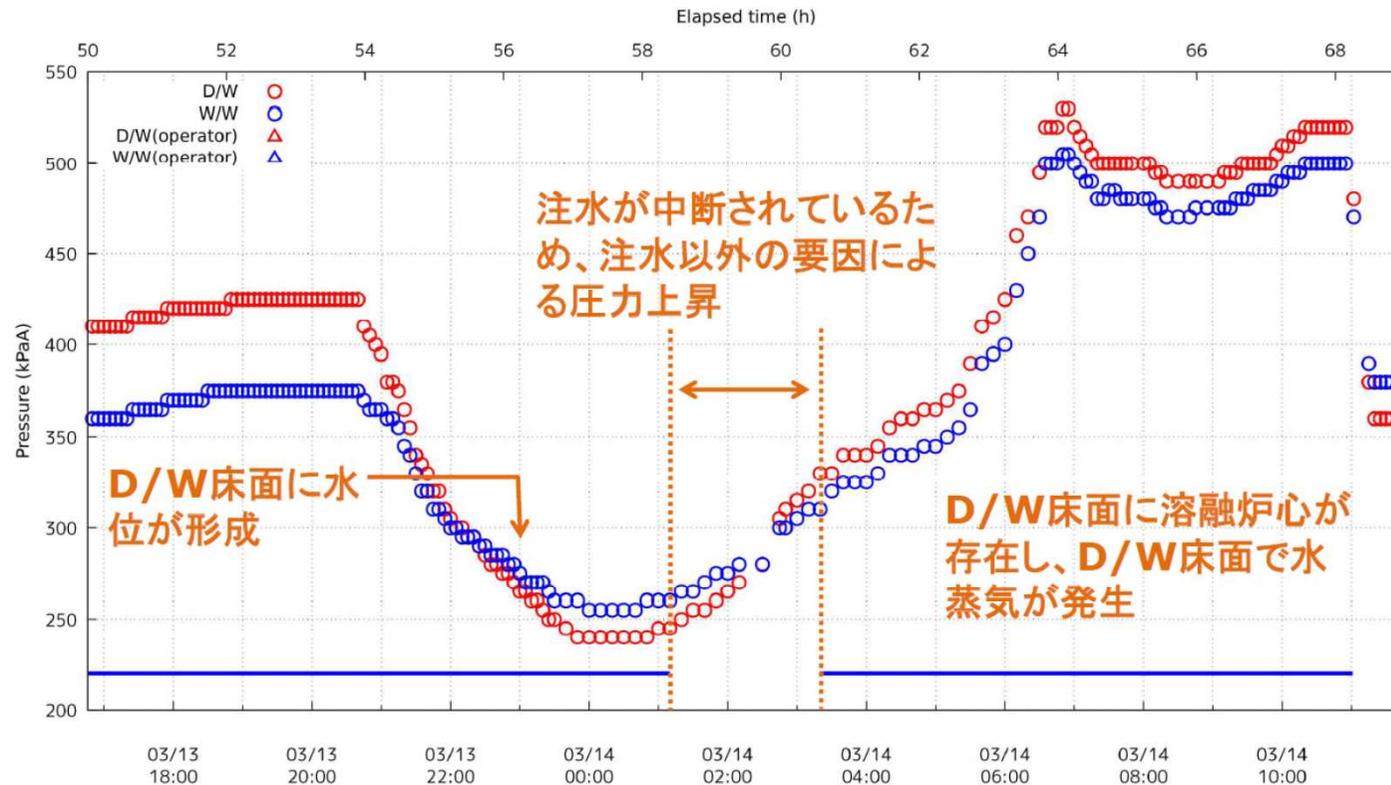
※水位はおおよその位置を示している

5. ①-3 溶融炉心のドライウェルへの移行

第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋



D/Wでの水位形成後の圧力上昇



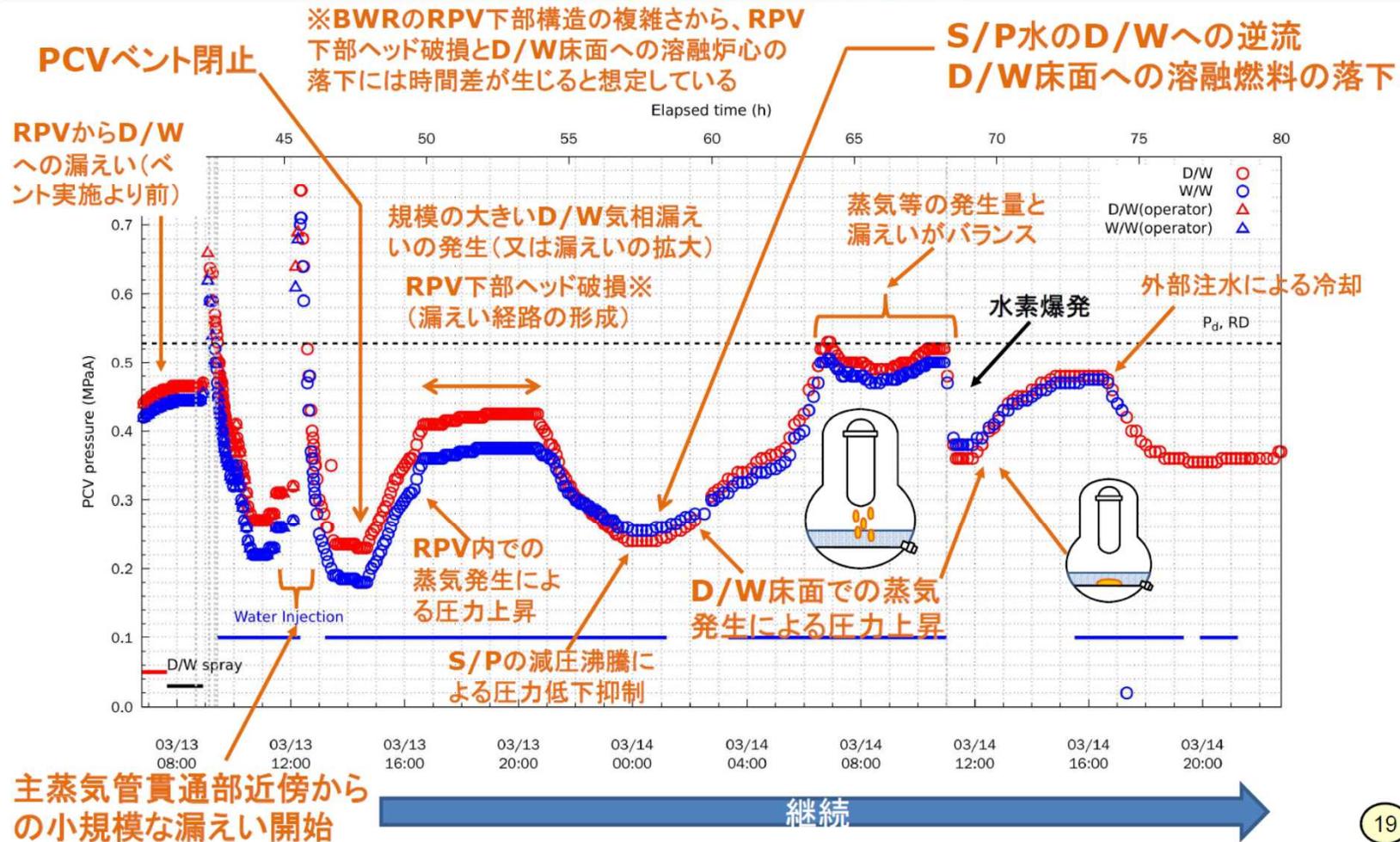
引用:原子力災害対策本部、「国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書 -東京電力福島原子力発電所の事故について- (第2報)」、平成23年9月

14日1時10分に逆洗弁ピット内の海水が残り少なくなったことから、一旦消防車を停止し、消防車を逆洗弁ピットに寄せてホースの吸い込み位置を深くするなど取水位置の調整を行ったところ、海水を引くことができ、14日3時20分に海水注入を再開した。

5. ①-4 2回目ベント以降のPCV圧力の挙動(1/2)

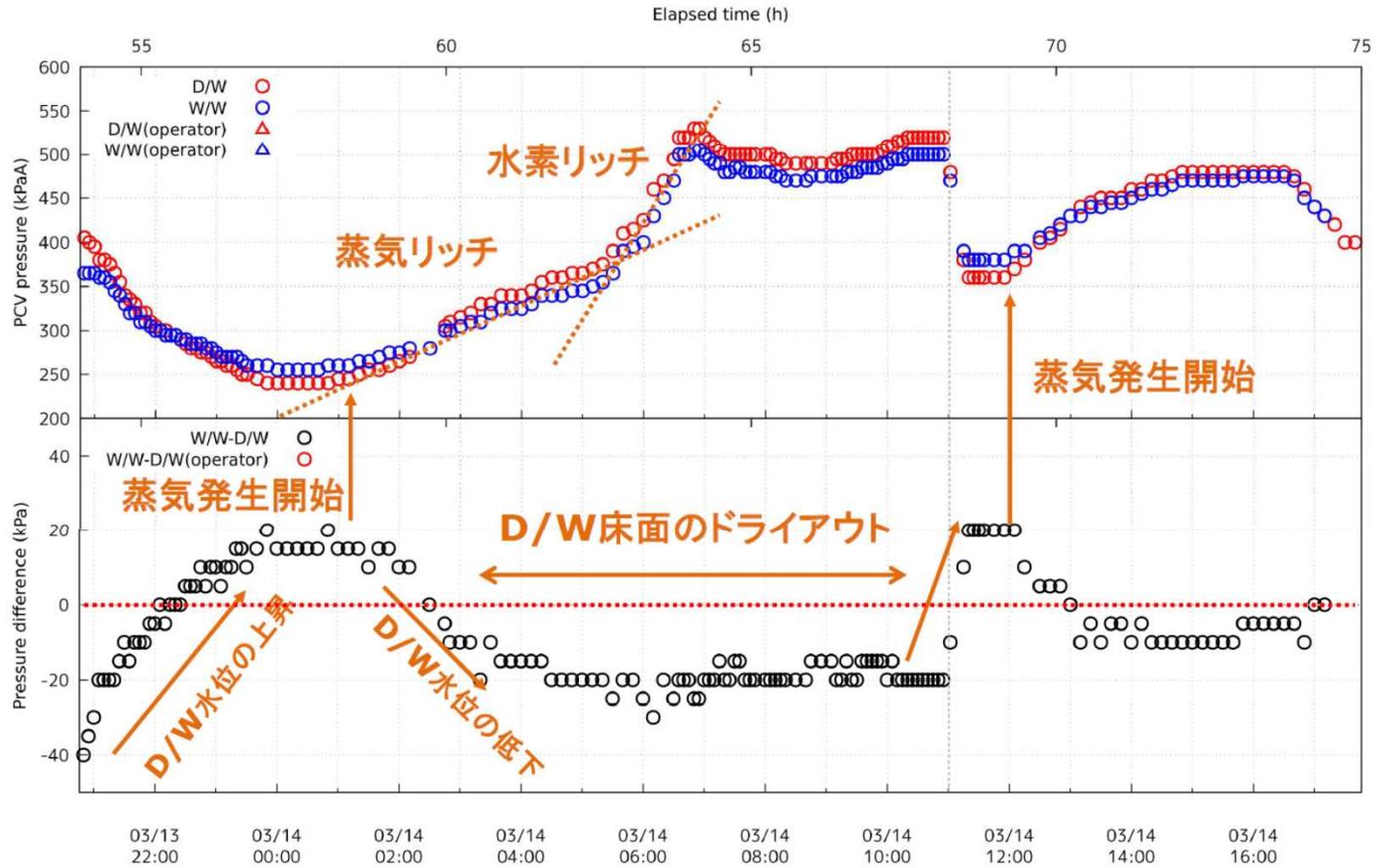
第14回会合(令和2年10月16日)資料2-3より抜粋

事故進展の推定



5. ①-4 2回目ベント以降のPCV圧力の挙動(2/2)

D/Wの水位の変動と蒸気の発生



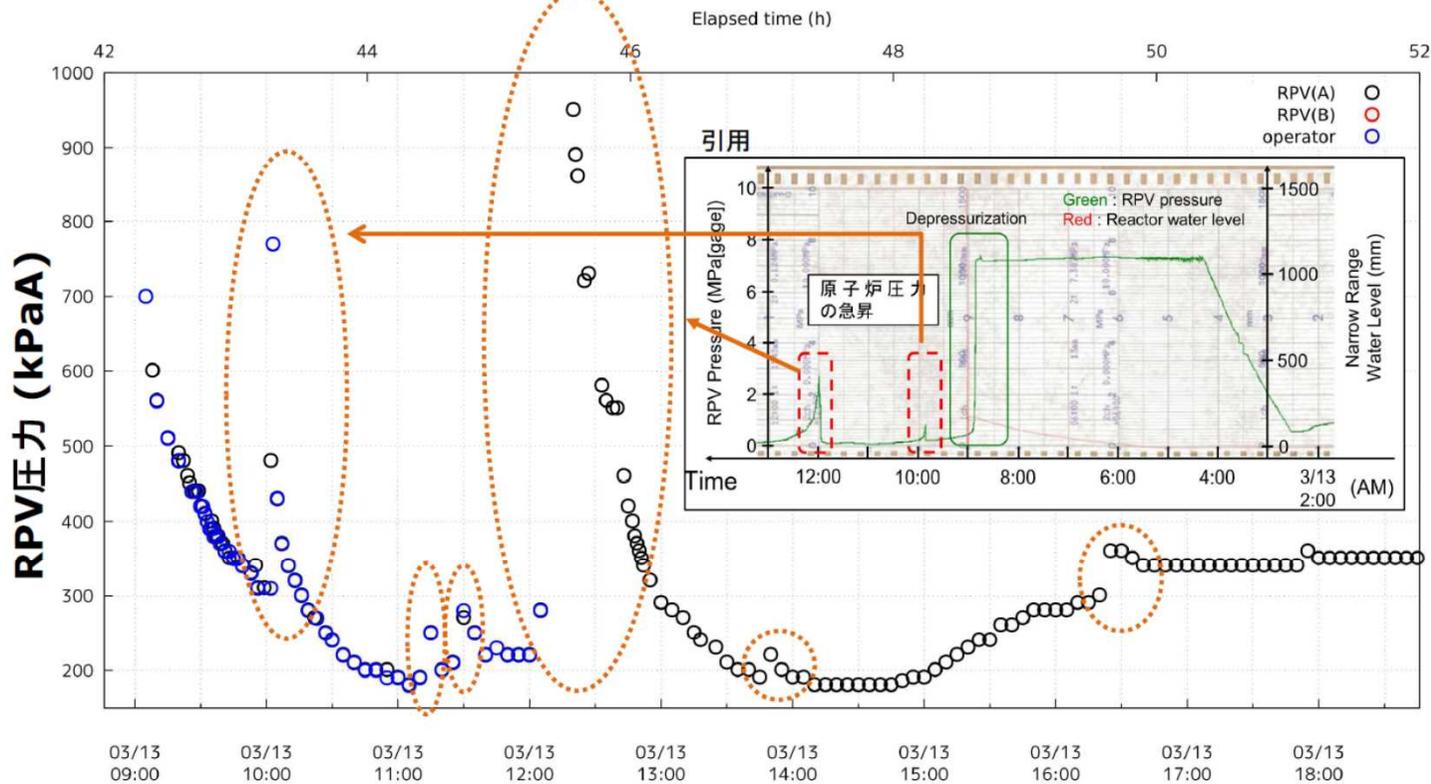
5. ②RPV下部ヘッドの損傷(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



RPV圧力

(注)ピーク高さは2 MPaAを超えている



大小の圧カスパイクが発生している

引用: 東京電力ホールディングス株式会社、「福島第一原子力発電所1~3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第5回進捗報告」、平成29年12月25日

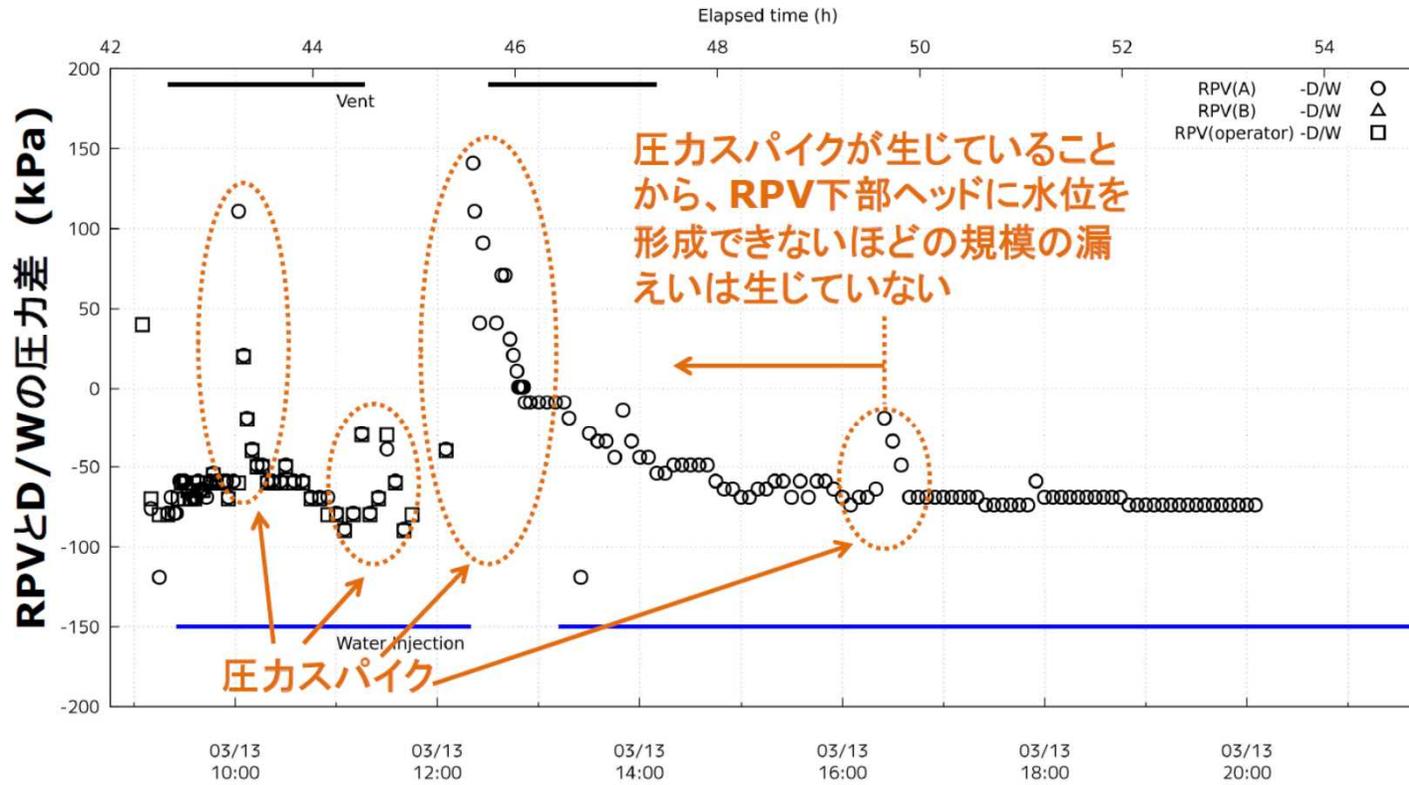
5. ②RPV下部ヘッドの損傷(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



RPV下部ヘッドの損傷時期について

RPVでの突発的な圧力上昇は、溶融燃料が下部プレナムに落下することで生じていると考えられる
→ 下部プレナムに冷却材が存在



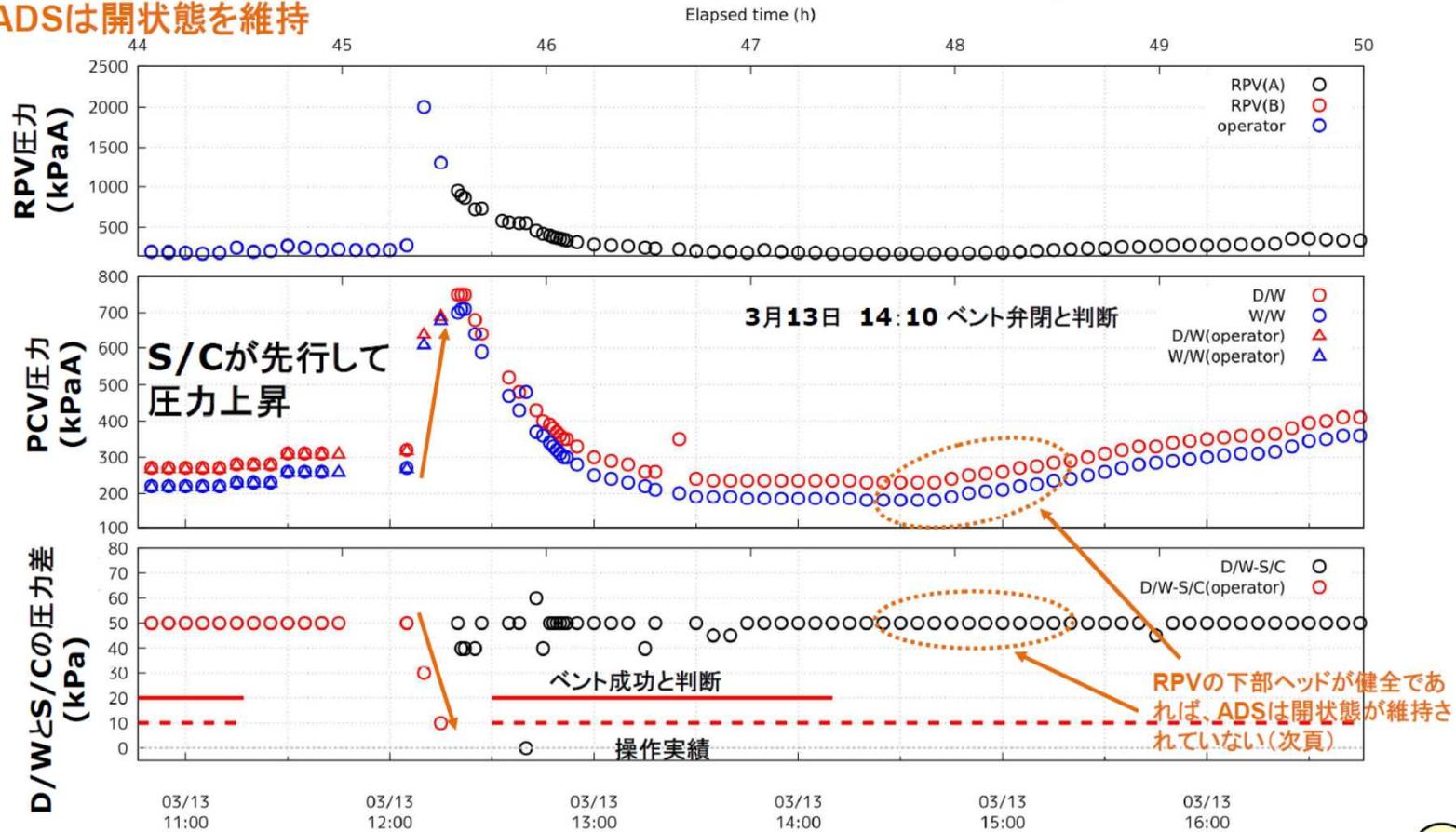
5. ③ADSの開状態の維持(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



ADSの開状態について

ベント弁が閉じた後にS/C圧力が先行して上昇していることから、蒸気がS/Cへ輸送されている
→ADSは開状態を維持



※3月13日 11:17 AO弁閉確認

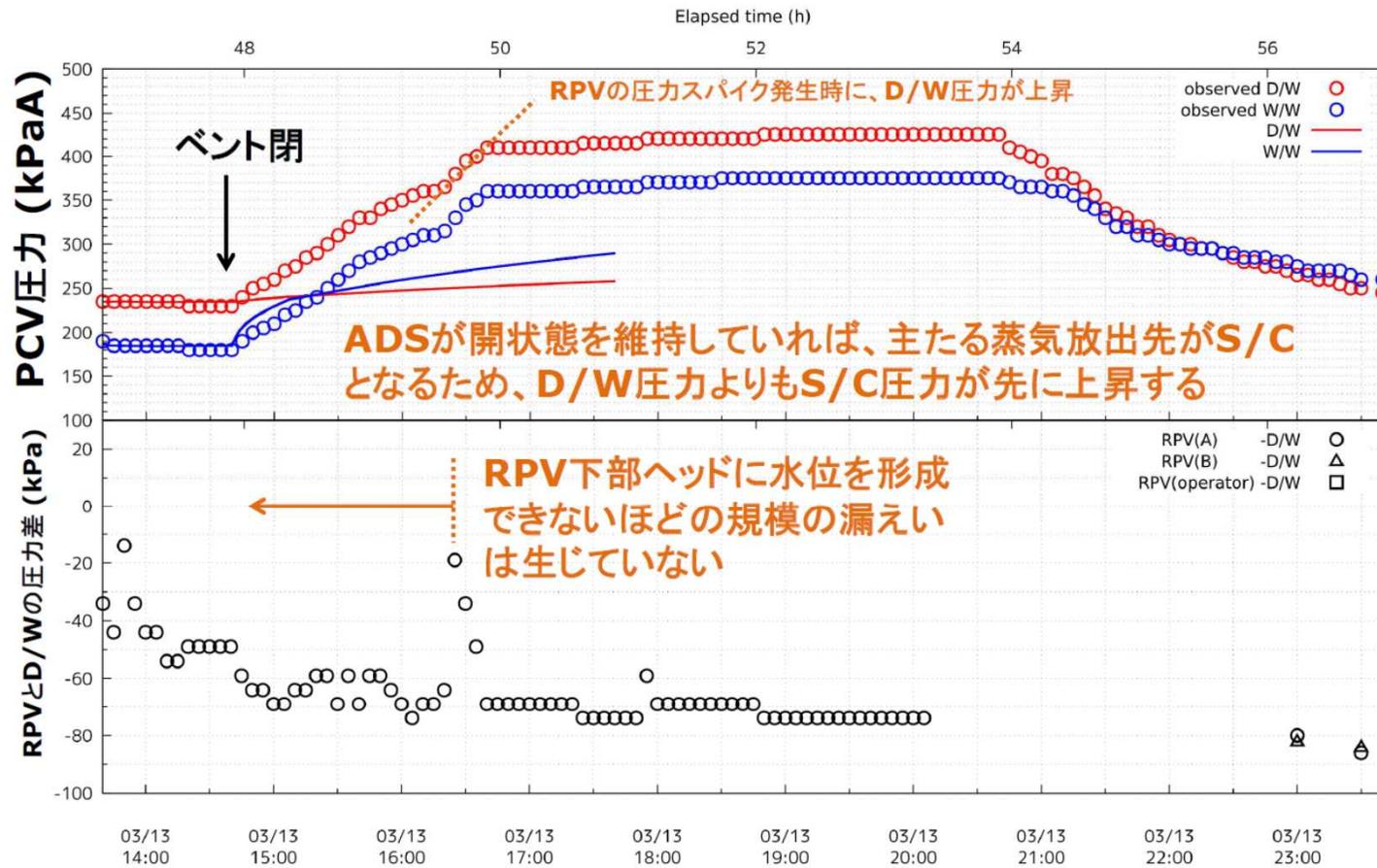
5. ③ADSの開状態の維持(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



ADSの開状態維持について

2回目のベントが閉じた時点では、ADSは開状態を維持していない



5. ④3号機PCV漏えいの時期(1/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



建屋線量に関する情報

月日	時刻	3号機	4号機
3月13日	8:40~9:10	運転員は RHR 注入弁を手動にて開操作し、D/Wスプレイの弁を手動にて閉操作して原子炉代替注水ラインへ切り替えた。(ここまでは白いもやに関する記述無し)	<p>【ベント準備作業に関する記述】</p> <p>9時10分頃、(中略)具体的な時間は不明であるものの、遅くとも同日14時31分頃までの間に、3号機R/B1階南側で作業していた復旧班は、R/B内のいずれかから「シューツ」という音を聞き、周囲がそれまでよりも濃いモヤで包まれたため、慌ててR/B外に退避した。*2</p> <p>← 線量(APD警報)に関する記載なし</p>
	9:20	PCVベント(1回目)	
	9:28	この頃、原子炉建屋1階は、霧が充満したようにモヤモヤと白くなり、線量計の数値が上昇して来たため、現場から退避。*1	
	12:30	PCVベント(2回目)	
	14:31	原子炉建屋二重扉北側で300 mSv/h 以上(中は白いモヤモヤ状態)、南側100 mSv/hとの測定結果が報告された。*1	
3月14日	4:08		運転員は使用済燃料プール水温が84℃であることを確認した。*1
	10:30頃		3月14日に発電所対策本部復旧班が4号機使用済燃料プールを確認するため原子炉建屋最上階にあるオペレーティングフロアへ向かったが、原子炉建屋内の線量が高い状態にあり、オペレーティングフロアへたどり着くことができなかった。
	11:01	原子炉建屋爆発	原子炉建屋入域後、10~15秒で4 mSvのアラーム(APD)が鳴り退避。その後、再入域しようとして原子炉建屋への扉を開けたところ手持ち線量計の最大レンジ(1000 mSv)を振り切ったため入域を断念。*1

*1 東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書、平成24年6月20日

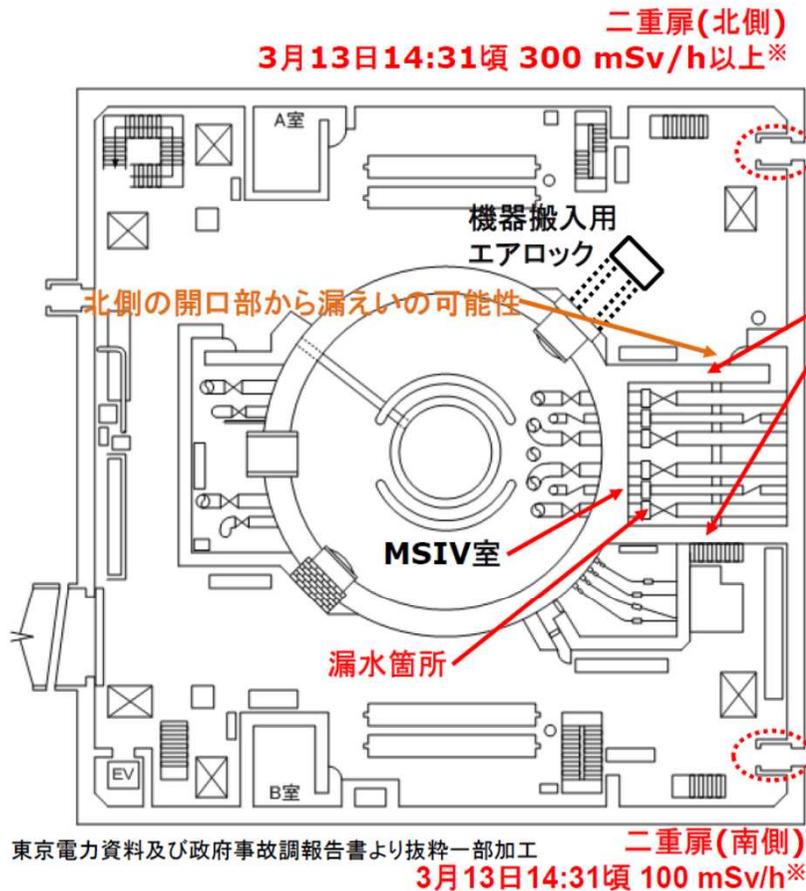
*2 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、最終報告、平成24年7月23日

5. ④3号機PCV漏えいの時期(2/2)

第15回会合(令和2年11月12日)資料3より抜粋



3号機格納容器からの漏えい



MSIV室の北側と南側上部にブローアウトパネルが設置されている

- 3号機で測定された建屋内線量は、1号機での測定結果と同程度であったが、他方、ベントガスが逆流した4号機での測定結果の数分の1程度でもあり、4号と同様にベントガスの逆流の可能性がある
- 当時の現場の状況からは、PCVからの漏えいが示唆されるが、ブローアウトパネルの状態確認等、3号機での追加調査が必要
- ただし、その後のPCV圧力の推移から、漏えいが発生したとしてもプラントの圧力挙動に影響を及ぼす規模ではなく、微小な漏えいと考えられる

※原子力災害対策本部、「国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書 - 東京電力福島原子力発電所の事故について- (第2報)」、平成23年9月