

# 東京電力福島第一原子力発電所の 事故分析に関する調査・分析項目の概要

## (1) 放射性物質の放出経路

- ① ベントラインの汚染メカニズムの解明
- ② 1～3号機シールドプラグの汚染量の確定
- ③ 核種放出のタイミングとメカニズムの分析

## (2) 水素爆発等

- ④ 水素燃焼の物理・化学的検証

## (3) AM策等の機器の設計方針等

- ⑤ 耐圧強化ベントによる原子炉格納容器（PCV）破損防止の設計確認
- ⑥ 1号機非常用復水器（IC）の運用変更の確認

## (4) その他

- ⑦ 現場情報のアーカイブ化

## ① ベントラインの汚染メカニズムの解明(1/4)

### 背景・趣旨

- 1/2号機SGTS配管(ベントライン)は、1号機の耐圧強化ベントの実施によって、汚染の程度が高いことが確認されたが、ベントに成功していない2号機側の方がベントに成功した1号機側よりも汚染の程度が高く、1/2号機共用排気筒の基部も高い線量率の汚染状況が確認された。
- 2020年度に日本原子力研究開発機構(JAEA)が行ったSGTS配管系及び共用排気筒内におけるベントガスの挙動に関するシミュレーションでは、この汚染状況のメカニズムを十分に理解することはできなかった。

### 目的



格納容器ベントによるベントラインの汚染メカニズムは、重大事故等(SA)時の放射性物質の挙動把握に資するため、ベントガス中の放射性核種の挙動や濃度、配管内の流動解析を進める。

- [分析等] がれき、サンプル水等の試料分析
- [解析] SGTS配管内流動解析・FP沈着検討
- [現場調査] 1/2号機SGTSフィルタレイン等の汚染状況調査等

### 論点等

- 試料分析では、どのような試料の分析が必要か。また、何を測定するか。
- 熱流動解析等では、汚染状況の再現は可能か。また、その条件設定は何か。
- 汚染状況調査等では、空間線量率が高い1号機SGTS室内の調査手法をどのようにするか。等

① ベントラインの汚染メカニズムの解明(2/4)

□ [分析等] がれき、サンプル水等の試料分析



令和2年10月8日原子力規制庁撮影

令和3年度分析試料

(2号機原子炉建屋内スミア)

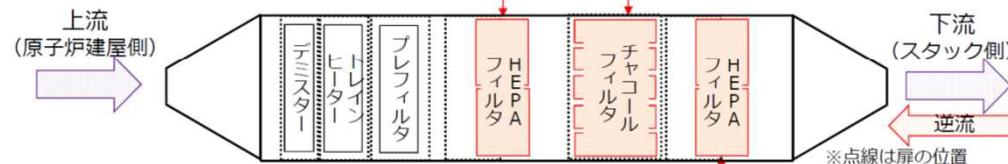
〔 2号機原子炉建屋内のスミア試料(18サンプル)等の分析を実施する。 〕

論点等

- 東京電力が採取した3号機SGTSフィルタトレイン内のスミア試料の分析を行う。
- 2号機原子炉建屋の各階で放射性核種、濃度、同位体比等の違いはあるか。

5. 3号機SGTSフィルタトレインB系内部② (11/16撮影)

TEPCO



測定箇所	表面線量当量率 (mSv/h)			
	11/16測定 (フィルタ表面)		8/19測定時 (扉表面)	
	γ	β+γ	γ	β+γ
高性能フィルタ (No.3)	4.0	12.0	0.90	0.90
チャコールフィルタ	0.9	0.9	1.6	1.6
高性能フィルタ (No.1)	1.8	2.5	1.3	1.5

事故分析検討会第16回会合資料4-1 1-4号機SGTS室調査の進捗について (東京電力ホールディングス株式会社)より抜粋

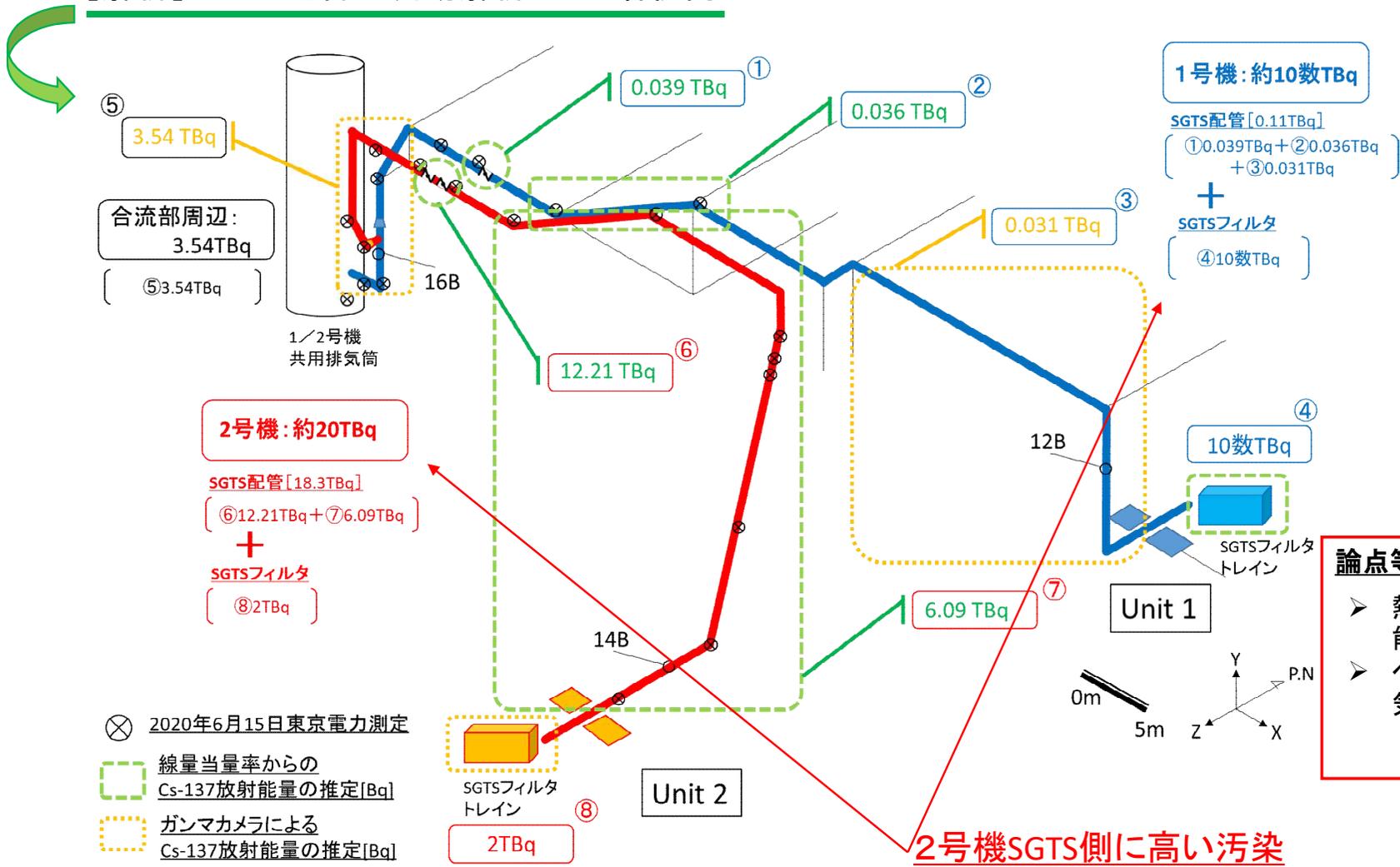
令和3年度分析試料(東京電力採取)

(3号機SGTSフィルタトレイン内スミア等)

〔 3号機SGTSフィルタトレイン内のスミア試料等(24サンプル)の分析を実施する。 〕

① ベントラインの汚染メカニズムの解明(3/4)

□ [解析] SGTS配管内流動解析・FP沈着検討



**論点等**

- 熱流動解析で汚染状況の再現は可能か。
- ベントガスのCs-水素-水蒸気の混合気体の影響はあるか。

2号機SGTS側に高い汚染

① ベントラインの汚染メカニズムの解明(4/4)

□ [現場調査] 1/2号機SGTSフィルタ  
トレイン等の汚染状況調査等



線量率の最大値: 約180(mSv/h)  
(竿の先端部分)

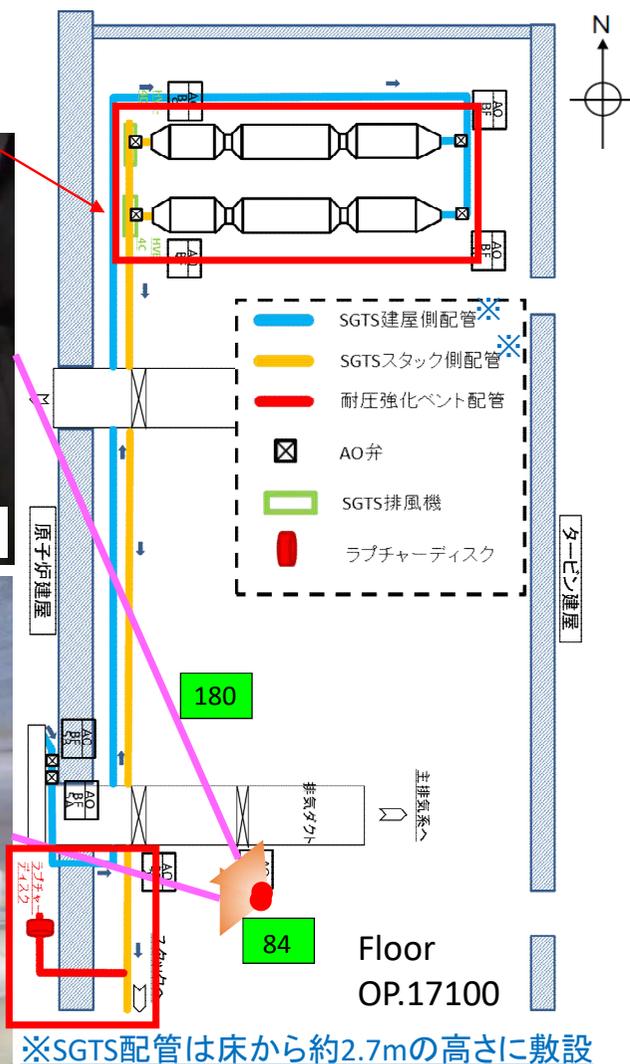


竿の先端に取り付けた線量計にて室内の空間線量率を測定



写真は、令和2年10月9日  
原子力規制庁撮影

1号機SGTS室内の汚染状況



論点等

- 1号機SGTS室内は高い空間線量率。
- 1号機SGTSフィルタトレイン、耐圧強化ベントの接続箇所等の線量率の測定は十分に行われていない。
- 汚染状況の調査が必要。

原子力規制庁による測定結果(令和2年10月9日)  
mSv/h

1号機SGTS室内概要図

## ② 1～3号機シールドプラグの汚染量の確定(1/3)

### 背景・趣旨

- 2, 3号機では、3層構造のシールドプラグの1層目(頂部カバー)の裏面に大量のセシウム(数十PBq)が存在していると推定した。
- 一方、シールドプラグ1層目より下層(中間カバー、底部カバー)のセシウム付着の可能性、原子炉ウエルの汚染状況等は不明であり、シールドプラグ及び原子炉ウエルの汚染量の確定が必要である。
- 汚染状況の調査として、オペレーションフロアからの線量率の測定、シールドプラグのコアサンプルの採取・分析、配管を經由した原子炉ウエル内調査等が考えられる。

### 目的



原子炉格納容器からの放射性物質の放出・漏えいの主たる経路と考えられるため、シールドプラグ及び原子炉ウエルの汚染状況を調査し、放射性物質の付着メカニズムの検討、付着量(汚染量)の確定を行う。

- [現場調査] 1～3号機シールドプラグ裏面、原子炉ウエル等の  
汚染状況調査 等

### 論点等

- 2号機オペフロにおける廃炉作業との調整が必要か。
- 汚染状況の調査は、どのような調査手法が可能か。等

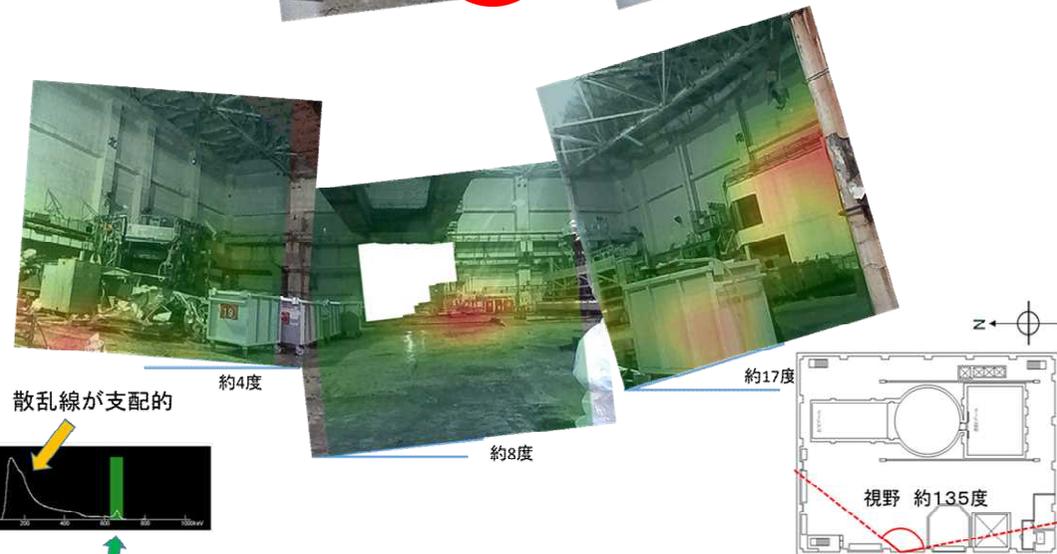
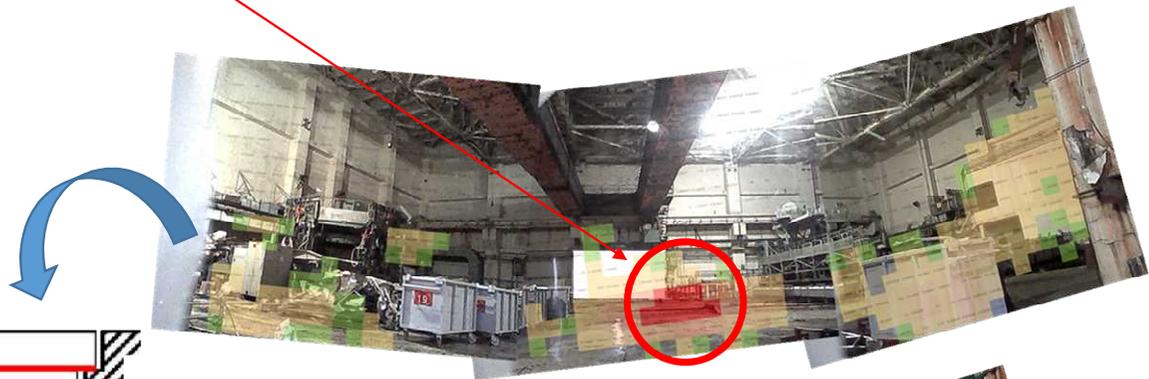
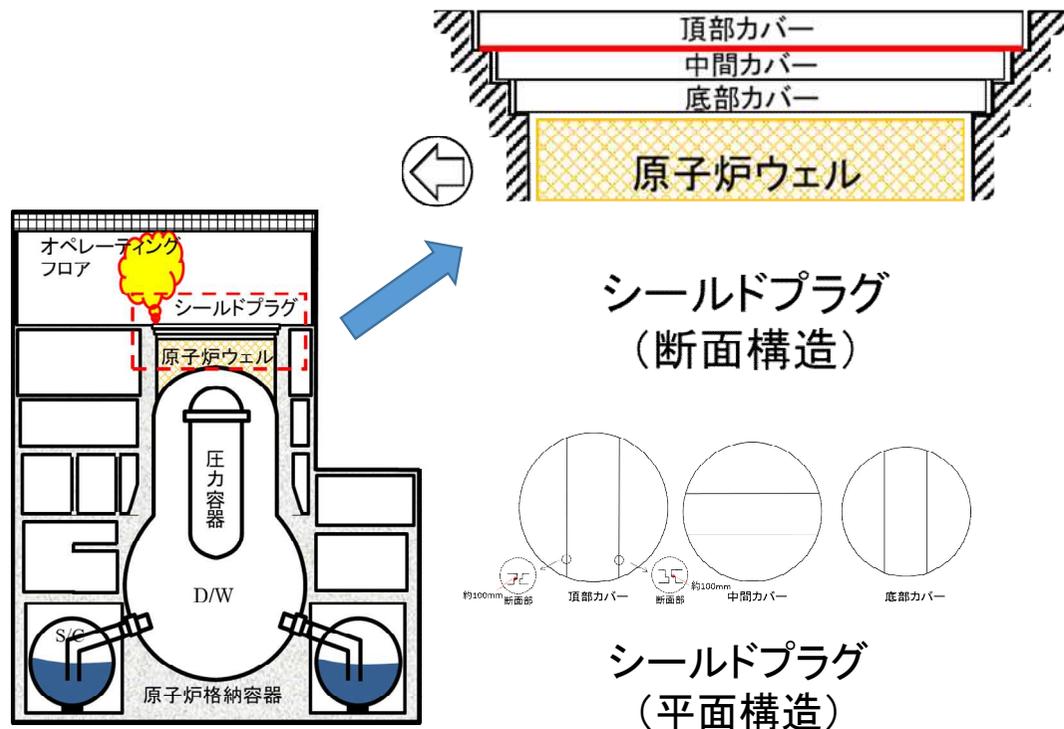
② 1～3号機シールドプラグの汚染量の確定(2/3)

□ [現場調査] 1～3号機シールドプラグ裏面、  
原子炉ウェル等の汚染状況調査

論点等

- 2号機オペフロからの線量率測定、コアサンプル採取・分析は可能か。

ガンマカメラ及び線量率測定等からシールドプラグの頂部カバーの下面に大量の放射性物質の存在を確認。



セシウム137 直接線

令和2年1月30日原子力規制庁撮影、一部加工

図 ガンマカメラ測定 (2号機原子炉建屋5階オペフロ)

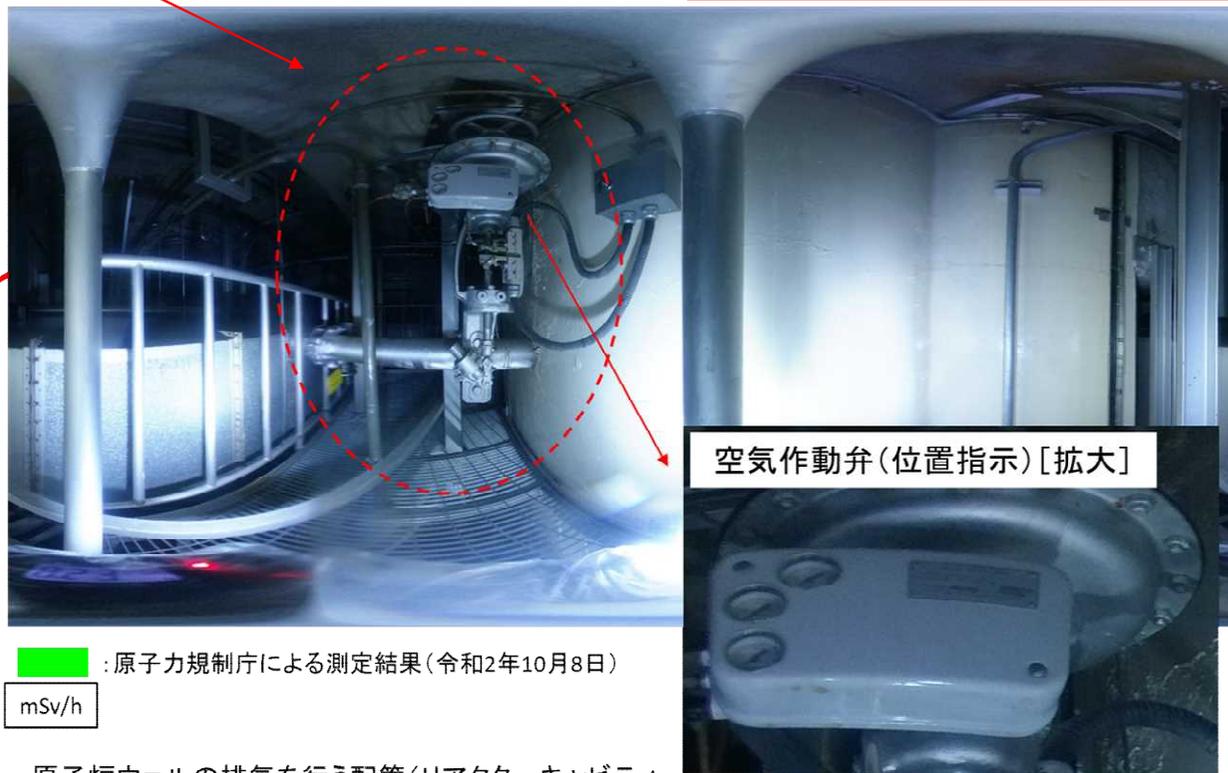
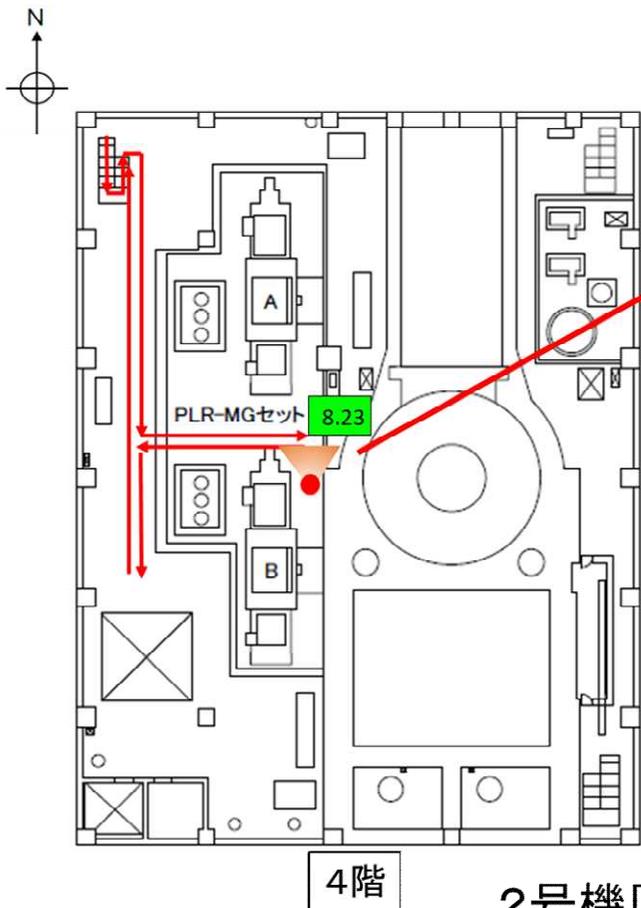
② 1～3号機シールドプラグの汚染量の確定(3/3)

□ [現場調査] 1～3号機シールドプラグ裏面、  
原子炉ウェル等の汚染状況調査

原子炉ウェルに繋がる配管。  
周辺の線量率は低い。

論点等

- 空気作動弁の開閉状態はどうなっているか。(弁の位置指示計、弁体の状態の確認等)
- 原子炉ウェルからの漏えい経路の可能性はあるか。汚染状況、損傷状況はどうか。熱、放射線影響を受けているか。



■ : 原子力規制庁による測定結果(令和2年10月8日)  
mSv/h

原子炉ウェルの排気を行う配管(リアクターキャビティ差圧調整ダクト)及び空気作動弁



空気作動弁(位置指示)[拡大]

写真は、令和2年10月8日  
原子力規制庁撮影

2号機原子炉建屋4階

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 核種放出のタイミングとメカニズムの分析(1/5)

#### 背景・趣旨

- 福島第一原子力発電所の敷地内外のモニタリングポスト、プロセスモニタ、エリアモニタ等で空間線量率が測定されている。
- これらの測定データには、いくつかの空間線量率のピークがあり、福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出・漏えいを示している。
- バックグラウンドの低い3月12日前後のデータと1号機の事象進展との比較及び空間線量率の高いピークのある3月15, 20, 24日等のデータの比較を行う。また、敷地内のデータとして、6号機のプロセスモニタのデータを利用する。

#### 目的



原子炉格納容器から放出・漏えいした放射性物質が測定されたものであり、放射性核種の放出挙動を明らかにするため、モニタリングポスト等の空間線量率の測定データを基に核種放出の時期、メカニズム等の分析を進める。

□ [分析等] モニタリングポスト等のデータに基づく核種放出挙動の分析

□ [分析等] セシウム等の核種の化学形態、移行挙動の検討 等

#### 論点等

- 空間線量率のデータは、放射性物質の直接線、スカイシャイン線、クラウドシャイン線等の変動例を考慮する。
- 核種放出の時期は、セシウム等の核種、化学形態、移行挙動等の影響を受けるか。 等



③ 核種放出のタイミングとメカニズムの分析(3/5)

□ [分析等] モニタリングポスト等のデータに基づく核種放出挙動の分析

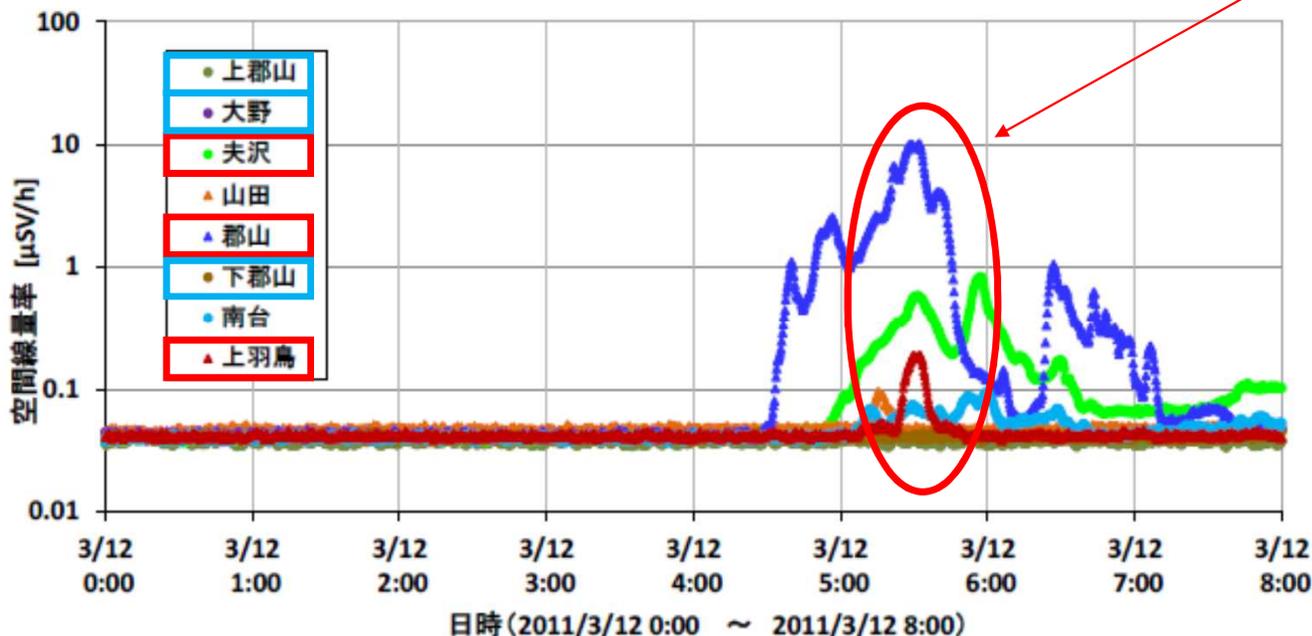


図2 発電所敷地外の空間線量率モニタリングデータ[2]

参考文献

- [1] 東京電力株式会社, “福島第一原子力発電所における放射性物質の大気中への放出量の推定について”, 平成 24 年 5 月.
- [2] 福島県, “平成 23 年 3 月 11 日～3 月 31 日 (東日本大震災発生以降) にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について”, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/post-oshirase.html>.

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,” 2017年12月25日より抜粋、一部加工

異なる箇所(モニタリングポスト)で同じ時期にピークが観測されている。



論点等

- 異なる方向のモニタリングポスト(郡山、夫沢、上羽鳥等)でピークが一致している。
- 一方、一部のモニタリングポスト(上郡山、下郡山、大野)ではピークが観測されていない。
- モニタリングポストの空間線量率の測定間隔を整理する必要がある。

③ 核種放出のタイミングとメカニズムの分析(4/5)

□ [分析等] モニタリングポスト等のデータに基づく核種放出挙動の分析

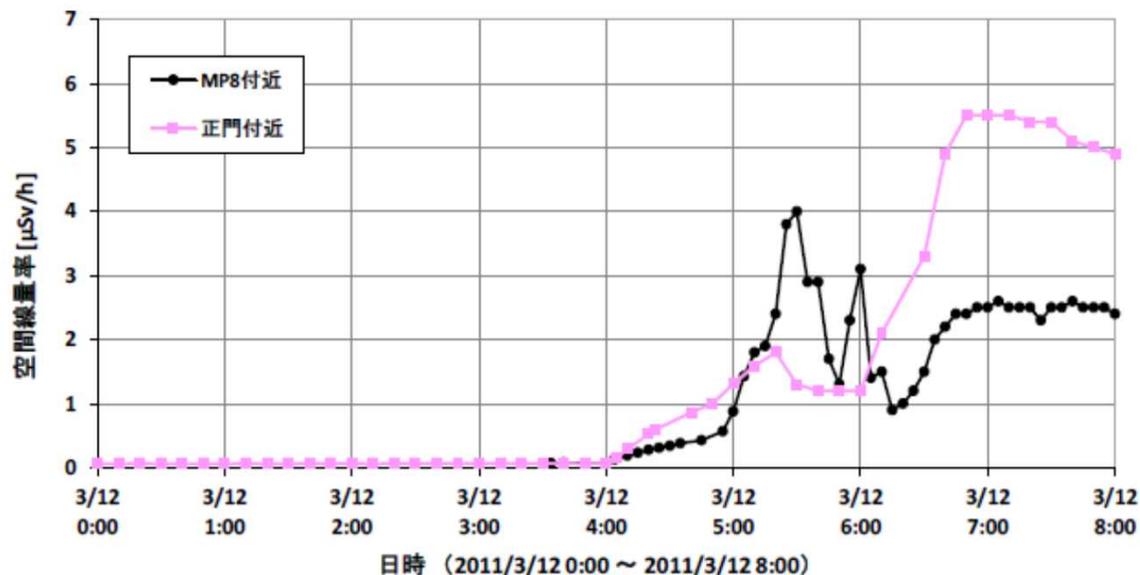


図1 発電所敷地内の空間線量率モニタリングデータ[1]



福島第一原子力発電所  
6号機のプロセスモニタ等  
の線量率データを精査。

- ・発電所敷地外の空間線量率モニタリングデータ
- ・発電所敷地周辺のモニタリングデータ (MP8付近及び正門付近)
- ・6号機非常用ガス処理系プロセスモニタの線量率データ等の比較を検討

参考文献

- [1] 東京電力株式会社, “福島第一原子力発電所における放射性物質の大気中への放出量の推定について”, 平成 24 年 5 月.
- [2] 福島県, “平成 23 年 3 月 11 日~3 月 31 日 (東日本大震災発生以降) にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について”, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/post-oshirase.html>.

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,” 2017年12月25日より抜粋、一部加工

論点等

- 6号機非常用ガス処理系プロセスモニタの線量率データは利用可能か。
- 空間線量率は、直接線、スカイシャイン線、クラウドシャイン線等により、変動が異なるため、線量率データの精査が必要。

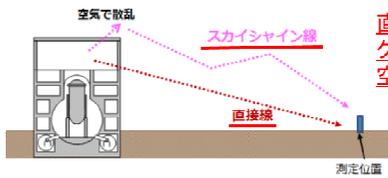
③ 核種放出のタイミングとメカニズムの分析(5/5)

□ [分析等] モニタリングポスト等のデータに基づく核種放出挙動の分析

○6号機非常用  
ガス処理系排ガス  
放射線モニタ  
(2011.3.12~)



6号機 非常用ガス処理系排ガス  
放射線モニタA,Bを一部加工



直接線、スカイシャイン線、  
クラウドシャイン線により  
空間線量率の変動が異なる。

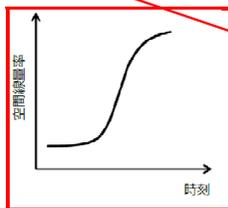


図3 (A)直接線・スカイシャイン線のイメージと直接線・スカイシャイン線による空間線量率の変動例

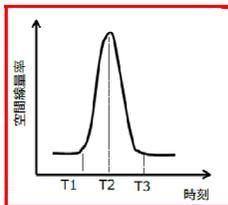
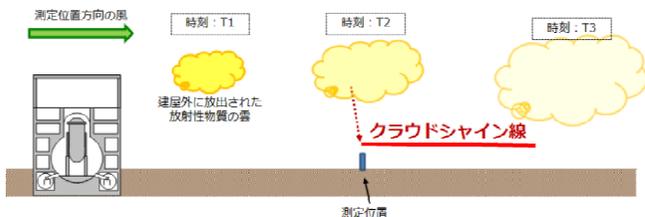


図4 (B)クラウドシャイン線のイメージとクラウドシャイン線による空間線量率の変動例

6号機のプロセスモニタ(非常  
用ガス処理系排ガス放射線モ  
ニタ)の線量率データに複数の  
ピーク。

△ 1号機水素爆発  
(3.12 15:36)  
△ 1号機ベント  
(3.12 14:30頃)

**論点等**  
➤ 6号機非常用ガス処理系プロセスモニタの線量率データと比較。

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,” 2017年12月25日より引用

## ④ 水素燃焼の物理・化学的検証(1/2)

### 背景・趣旨

- 3号機の水素爆発時の映像では、火炎及び噴煙の状態から水素以外に可燃性ガスの存在が示唆される。
- 火炎の色や輝度、燃焼時間等から可燃性の有機化合物が相当量存在していたと考えられる。また、爆発直後の衛星写真ではシールドプラグ部分から激しく水蒸気が噴出しており原子炉建屋内部にも相当量の水蒸気が存在したと考えられる。
- これらの水素、可燃性有機化合物、水蒸気及び空気が混合した気体の燃焼条件や形成条件は十分に分かっていない。また、可燃性有機化合物の発生源の推定も必要である。

### 目的

原子炉建屋の水素爆発には、水素に加えて可燃性有機化合物の存在が影響していると考えられるため、  
水素、可燃性有機化合物、水蒸気及び空気の混合気体の燃焼実験など、物理的・化学的特性の検討を行う。

- [分析等] 水素爆発時のガス組成の検討
- [実験等] 水素－水蒸気－可燃性ガス混合気体の燃焼実験
- [分析等] 3号機原子炉建屋火災への可燃性ガスの影響分析
- [解析] 1号機シールドプラグ等のずれ、破損シミュレーション

### 論点等

- 水素爆発時点の原子炉建屋内の雰囲気はどのような状態か。
- 混合気体の供給可能量及び建屋内蓄積可能量はどの程度か。また、供給源は何か。等

④ 水素燃焼の物理・化学的  
検証(2/2)

- [分析等] 水素爆発時の  
ガス組成の検討
- [実験等] 水素－水蒸気  
－可燃性ガス混合気体の  
燃焼実験

3号機水素爆発時の映像

論点等

- 火炎の炎色(黄橙色)や輝度、噴煙の色(黒色)等から、可燃性有機化合物の燃焼か。その供給源は何か。
- 火炎の色や輝度、噴煙の色等は燃焼実験で再現可能か。
- 可燃性有機化合物の発生源は何か。

黒色の噴煙の  
上昇



映像処理後(60コマ/秒)  
0秒※

水素爆発(前駆爆発)による  
原子炉建屋の変形後、  
原子炉建屋南東部の屋根に  
発生した火炎(水素を含む可  
燃性ガスによるもの)

※映像処理前に火炎が最初に確認された  
時点を0秒としている。

黄橙色の火炎  
の発生



映像処理後(60コマ/秒)  
1秒

原子炉建屋中央天井部から  
火炎を取り込みつつ噴煙が  
上昇、破片を吹き上げ

本資料の画像は、東京電力福島第一原子力発電所  
における事故の分析のために、原子力規制委員会  
が株式会社福島中央テレビ及び日本テレビ放送網  
株式会社から提供を受けたものです。

本資料に掲載の画像を引用などで使用される場合  
は、福島中央テレビ及び日本テレビの両社クレジット  
を必ず記載し、また、原子力規制委員会の資料から  
の引用であることを明記する必要があります。

## ⑤ 耐圧強化ベントによる原子炉格納容器(PCV)破損防止の設計確認(1/2)

### 背景・趣旨

- 耐圧強化ベントの配管設計では、格納容器ベントの実施により、ベントガスの自号機SGTSへの逆流及び他号機への流入が生じて、原子炉建屋内への水素や核分裂生成物(FP)の拡散が生じたと考えられる。
- 耐圧強化ベントの追加設置は、当時の発電用原子炉設置者の自主的なアクシデントマネジメント策(AM策)として整備されたものだが、水素やFPへの設計上の考慮を確認する必要がある。

### 目的



耐圧強化ベントの系統構成に係る設計と実際の運用を確認し、PCV破損防止におけるベントの作動条件及び動作状態を明らかにする。

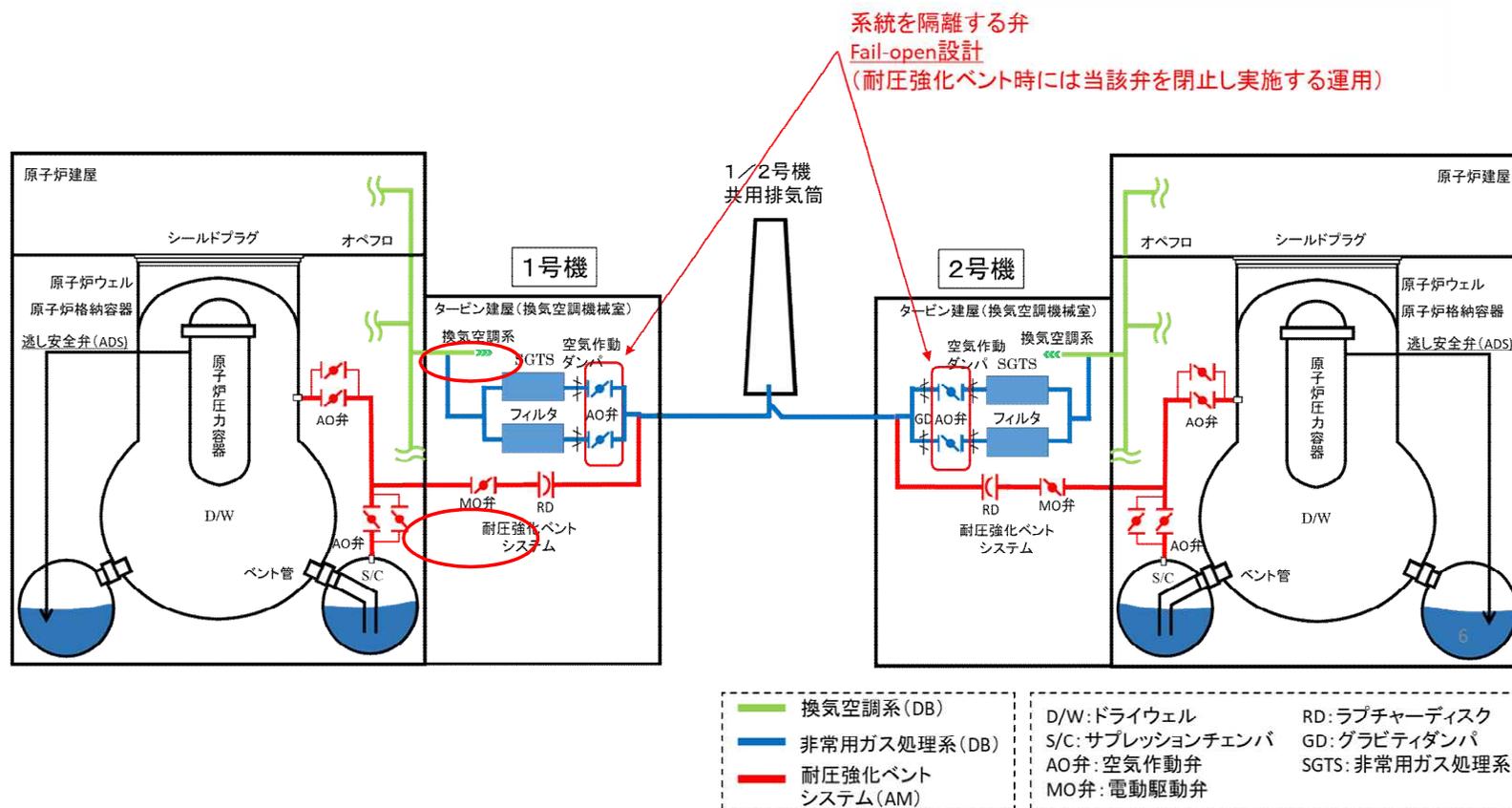
### □ [分析等] 耐圧強化ベントの系統構成に係る設計確認 等

#### 論点等

- 設計時に格納容器ベントの水素及びFPはどの程度考慮されていたのか。
- プラントによる系統構成や運用の違いは何か。等

⑤ 耐圧強化ベントによる原子炉格納容器(PCV)破損防止の設計確認(2/2)

□ [分析等] 耐圧強化ベントの系統構成に係る設計確認



耐圧強化ベントシステムの系統概要

## ⑥ 1号機非常用復水器(IC)の運用変更の確認(1/2)

### 背景・趣旨

- 1号機非常用復水器(IC)は、地震による原子炉スクラム後、主蒸気隔離弁の閉止による原子炉圧力の上昇によって、自動起動し、津波襲来までの期間、運転員により開閉操作が行われた。
- しかし、1号機の事故時運転手順書や同様のICが設置されていた日本原子力発電株式会社の敦賀原子力発電所1号機における操作手順とも異なる操作が行われている。

### 目的



事故当時、1号機の原子炉圧力の操作は、ICによって行われており、1号機の事象進展の主要因であることから、1号機におけるICの機能要求と設計・運用の変更の経緯を確認する。

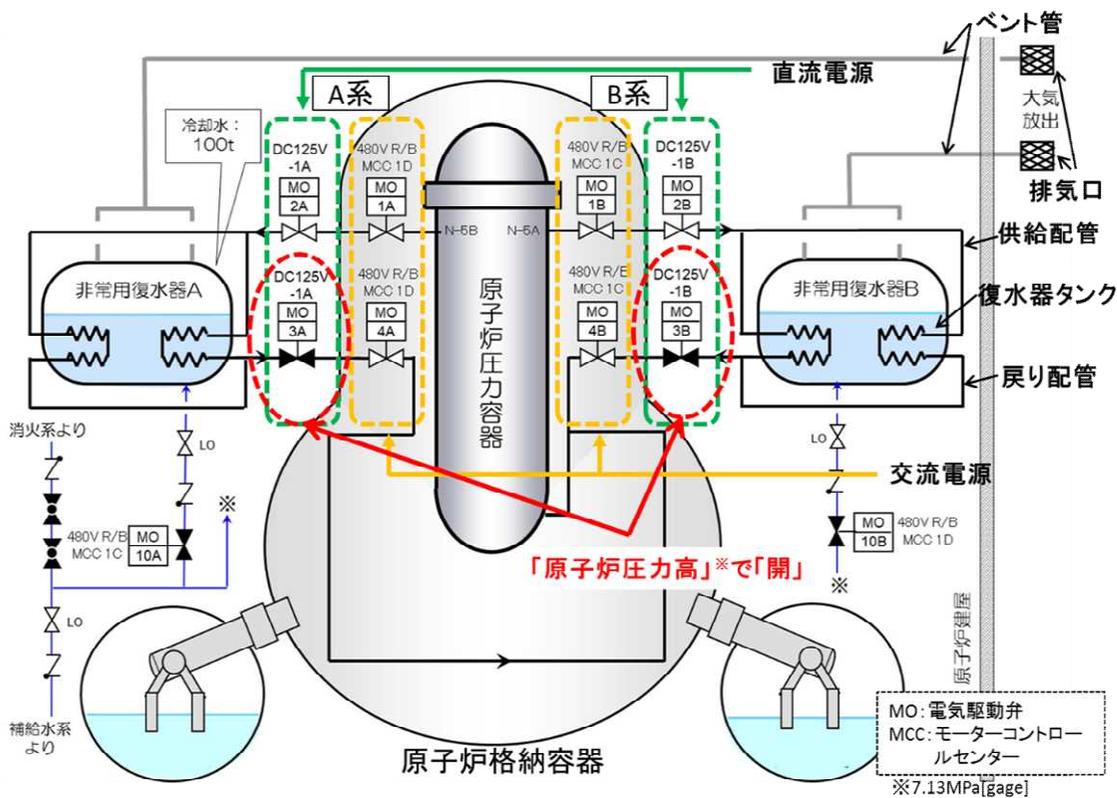
### □ [分析等] 1号機ICの設計・運用等の確認 等

#### 論点等

- ICの設定圧は、平成22年に変更されており、事故時運転手順書の改訂等が行われている。その影響はあるか。
- 運転手順書の訓練等はどのように行われていたのか。等

⑥ 1号機非常用復水器(IC)の運用変更の確認(2/2)

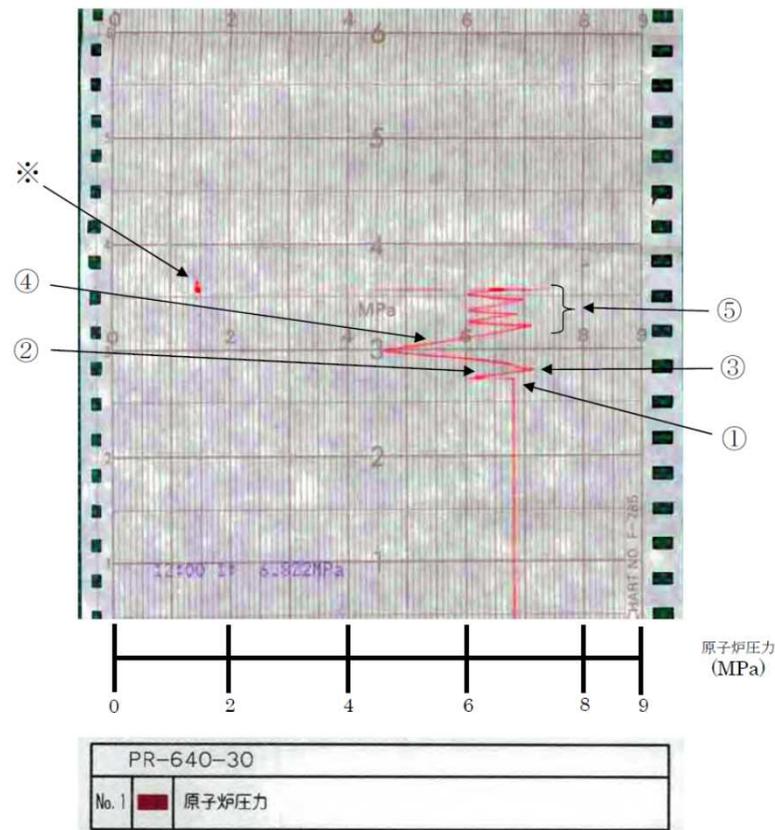
□ [分析等] 1号機ICの設計・運用等の確認 等



出典：福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について(平成23年9月9日、9月28日一部訂正、東京電力)に加筆

1号機非常用復水器の系統概要

【1号機 原子炉圧力】



- ① 14時46分 地震によるスクラム
  - ② MS I V閉止に伴う圧力上昇
  - ③ 14時52分 IC作動とそれに伴う減圧
  - ④ IC停止に伴う圧力上昇
  - ⑤ ICによると思われる圧力変動
- ※ 15時30分過ぎに津波が到来したと想定される。津波の影響によると思われる記録終了。

東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について」, 2011年9月より引用

## ⑨ 現場情報のアーカイブ化(1/2)

### 背景・趣旨

- 現地調査では、廃炉の進捗による現場の改変や建屋の経年劣化等が確認されている。
- これらの廃炉の進捗や経年劣化等による事故情報の喪失を防ぐため、損傷状況や汚染状況を調査・集約し、アーカイブ化を進めることが必要。
- 今後の事故分析に活用できる情報・データとして、必要な範囲、精度等をカバーしているか確認が必要。

### 目的



損傷状況や汚染状況を調査・集約し、アーカイブ化を進めるため、継続的に3Dレーザースキャナー、ガンマカメラ、スミア等による測定を実施し、経年的な変化も含めたデータ整備を図る。

- [現場調査] 3Dレーザースキャナーによる損傷状況調査
- [現場調査] スミア・ガンマカメラ等による原子炉建屋内の  
汚染状況調査 等

### 論点等

- レーザースキャナー等のデータ精度はどの程度必要か。
- 必要な情報の範囲、精度は明確か。 等

⑨ 現場情報のアーカイブ化(2/2)

- [現場調査] 3Dレーザースキャナーによる損傷状況調査
- [現場調査] スミア・ガンマカメラ等による原子炉建屋内の汚染状況調査

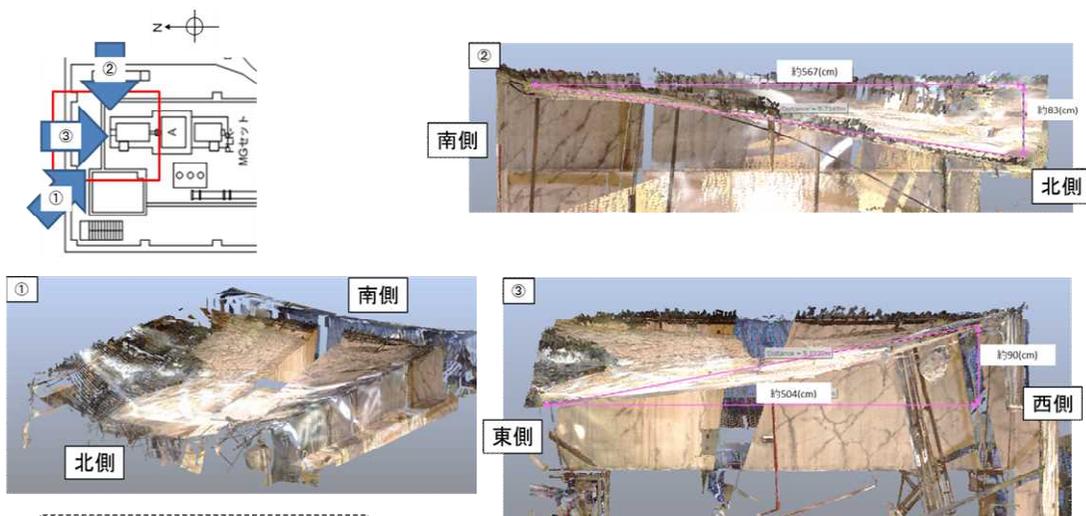
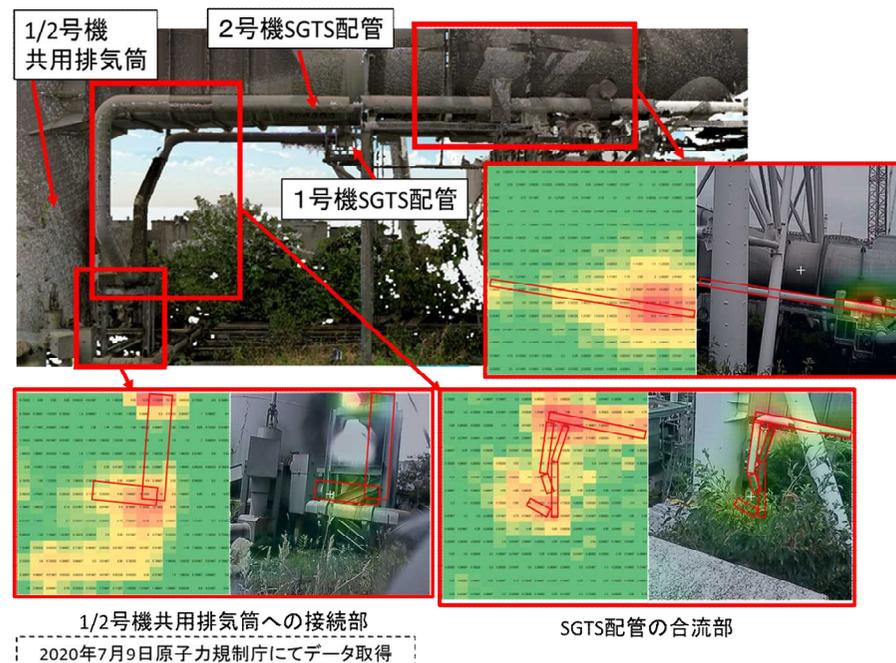
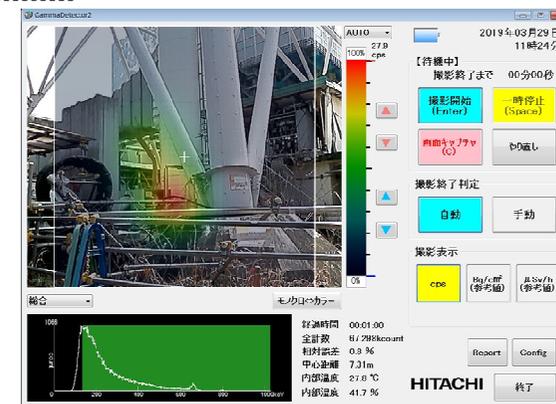


図 3Dレーザースキャン測定(4号機原子炉建屋4階北西側天井)



1/2号機共用排気筒への接続部  
2020年7月9日原子力規制庁にてデータ取得

SGTS配管の合流部



平成31年3月29日原子力規制庁撮影

図 ガンマカメラ測定(1/2号機共用排気筒及びSGTS配管)