

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9回会合

議事次第

1. 日 時 令和元年12月26日(木) 13:30 ~ 17:30
2. 場 所 原子力規制委員会 13階会議室A
3. 議 題
 - (1) 3号機原子炉建屋3階の調査結果について
 - (2) 1~4号機非常用ガス処理系のベントガス逆流について
 - (3) その他
4. 配布資料
 - 資料1：議事次第
 - 資料2：3号機原子炉建屋3階の調査結果について(令和元年12月12日等現地調査結果)
 - 資料2-1：3号機原子炉建屋内の現地調査時の動画(令和元年12月12日原子力規制庁撮影)
 - 資料3：前回会合(11月28日)における論点の整理案 ~1, 2号機及び3, 4号機ベント配管の汚染~
 - 資料4：参考資料等
 - ・現地調査等の概要 ~耐圧強化ベントラインにおける汚染状況~
 - 資料5：3号機ベントガスのうち4号機原子炉建屋へ流入した割合の評価(未解明問題に関する検討第5回進捗報告)[東京電力ホールディングス株式会社]

3号機原子炉建屋3階の調査結果について

～令和元年12月12日等現地調査結果～

3号機原子炉建屋3階の現地調査等の実施概要

(1) 目的

原子力規制庁が行ったガンマカメラによる原子炉建屋等の線量測定の結果から3号機の原子炉建屋4階付近には、高放射線源が確認されている。1号機及び2号機の原子炉建屋ではこのような高放射線源は確認されておらず、原子炉建屋4階の当該箇所周辺には高放射線源の原因となる設備等は確認されていない。また、3号機原子炉建屋の水素爆発による損傷状況についてこれまで空間線量率が高く十分な調査ができていなかった。

このため、空間線量率はまだ高い現場ではあるものの減衰の結果、人のアクセスが可能となりつつある3号機原子炉建屋3階付近の現地調査を行った。

(2) 調査日時等

- | | |
|--------------------|--|
| ① 令和元年11月 1日(金) | 3号機原子炉建屋(R/B)内 【予備調査】 |
| ② 12月12日(木)～13日(金) | 3号機原子炉建屋(R/B)内、3号機タービン建屋(T/B)内【予備調査】
4号機SGTS配管等 |

3号機原子炉建屋3階の現地調査等の実施概要

(3) 調査実施者

原子力規制庁職員 6名（実況説明・照明・現場指揮：安井、照明：上之内、小型カメラ(GoPro)：竹内、
電離箱・小型カメラ(GoPro)：岩永、カメラ：羽賀、照明・テレテクター：川崎)

※11月1日の3号機R/Bの予備調査は、4名。12月13日の3号機T/B等の予備調査は、3名。

(4) 被ばく線量

①令和元年11月 1日(金)	最大：3.09mSv、最小：2.53mSv (3号機R/B) 4名
② 12月12日(木)	最大：3.72mSv、最小：3.24mSv (3号機R/B) 6名
12月13日(金)	最大：0.33mSv、最小：0.29mSv (3号機T/B等) 3名

※3号機R/Bの調査(11/1、12/12)については、計画線量5mSv、警報線量4mSv、APD(警報)0.8mSv毎に設定。

※被ばく線量[mSv]の最大、最小は、調査実施者[名]のうち、最も被ばく線量の高い人の値と低い人の値を示した。
また、現地調査で主に調査を行った建屋等を()で並記した。

3号機原子炉建屋3階の現地調査等の実施概要

(5) 調査資機材等

- | | |
|--------------------|---|
| ① 令和元年11月 1日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、テレテクター(GM計数管) |
| ② 12月12日(木)～13日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、テレテクター(GM計数管)
日立製ガンマカメラ(HDG-E1500)、RayMon(CZT結晶) |

※その他、撮影機材(撮影カメラ、小型カメラ(GoPro))、照明(フラット、マグライト)を使用。



テレテクター(GM計数管)

3号機原子炉建屋3階の現地調査等の実施概要

(6) 装備

アノラック、タイベック3枚、ゴム手袋3枚、全面マスクを着用。

※3号機原子炉建屋の管理区域への入域退域にあたっては、東京電力ホールディングス株式会社(以下「東京電力」という。)の放射線管理部門の装備支援、汚染検査等の協力を得て、調査を実施した。

R zone
(アノラックエリア)

全面マスク



カバーオールの上にアノラック



R zoneの装備の例

東京電力のホームページ(福島第一原子力発電所の作業環境)より引用

<http://www.tepco.co.jp/decommission/progress/environment/>

3号機原子炉建屋3階の現地調査等の実施概要

(6) 調査結果

- 3号機原子炉建屋2階東側壁側の不活性ガス系配管(AC配管)の線量を測定した。
- 3号機原子炉建屋内調査として、原子炉建屋3階の線量測定及び3階天井部分の損壊状況を確認した。
(令和元年12月12日の調査結果は、動画及びp.11,12参照。11月1日の予備調査結果等は、p.16～18参照)
- 3号機タービン建屋内の予備調査として、建屋内の高線量瓦礫の散在箇所を確認を行った。

現地調査箇所
(令和元年12月12日)

3号機原子炉建屋

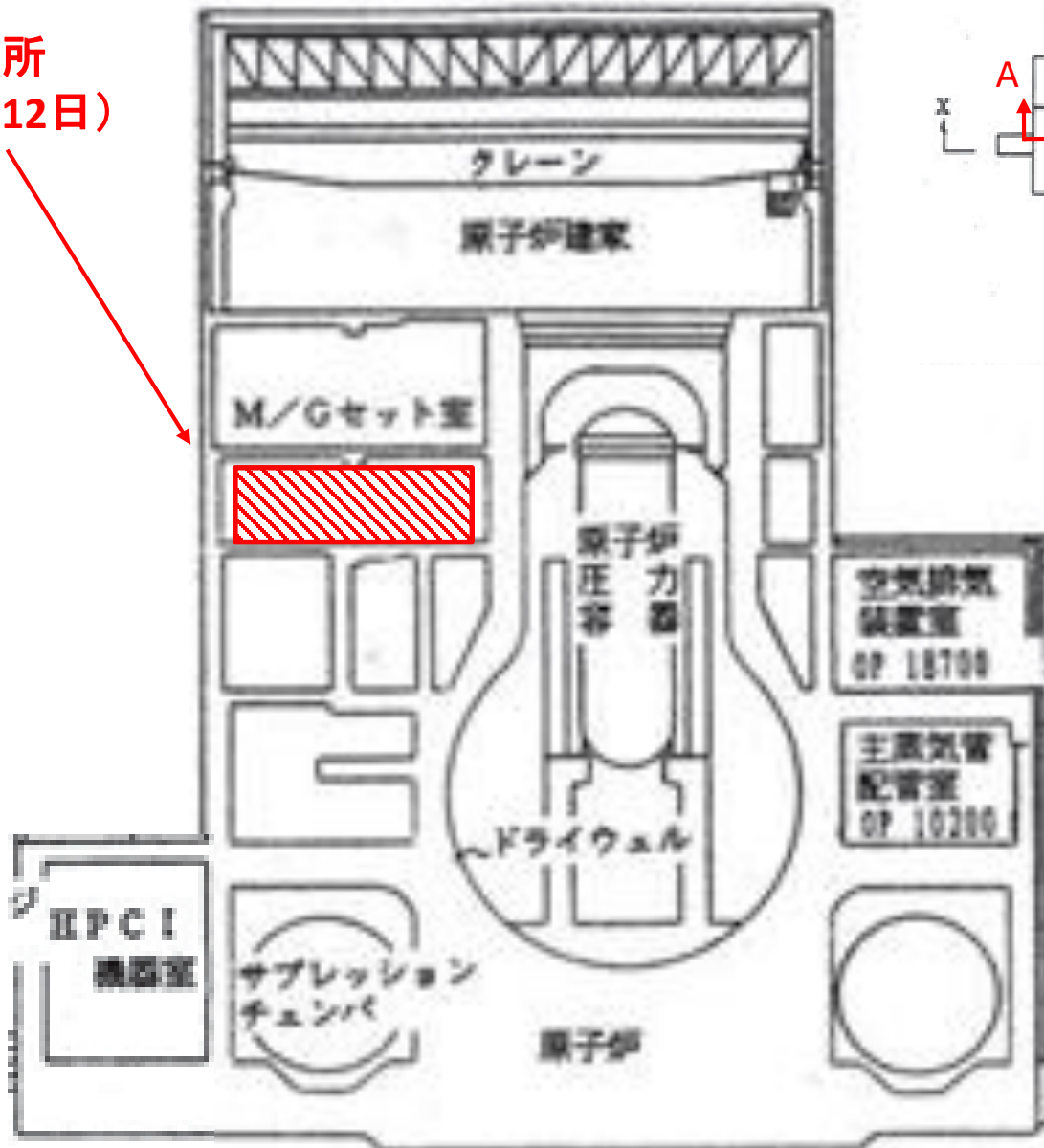
5階

4階

3階

2階

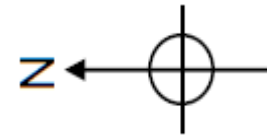
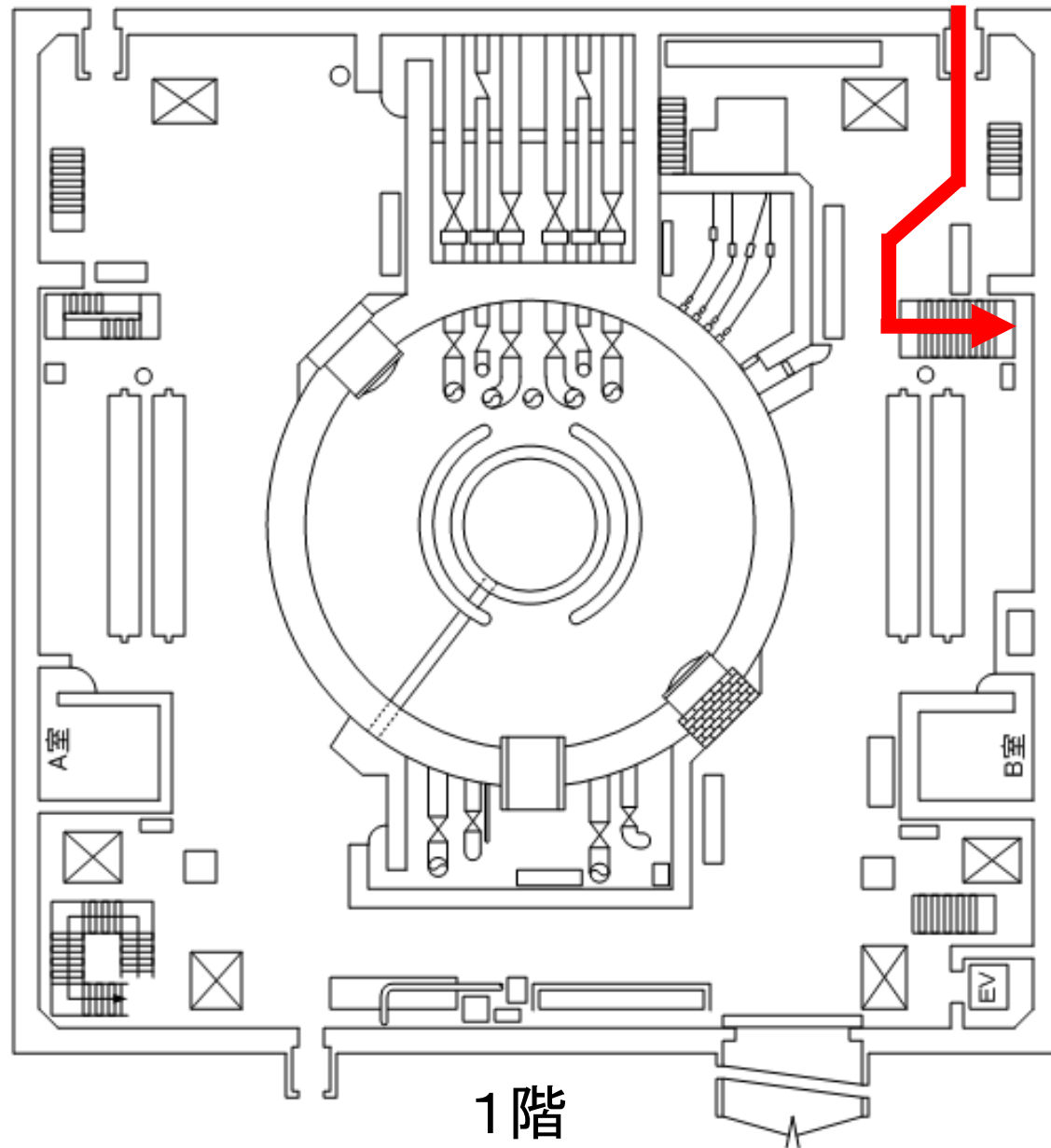
1階



3号機原子炉建屋 A-A 断面

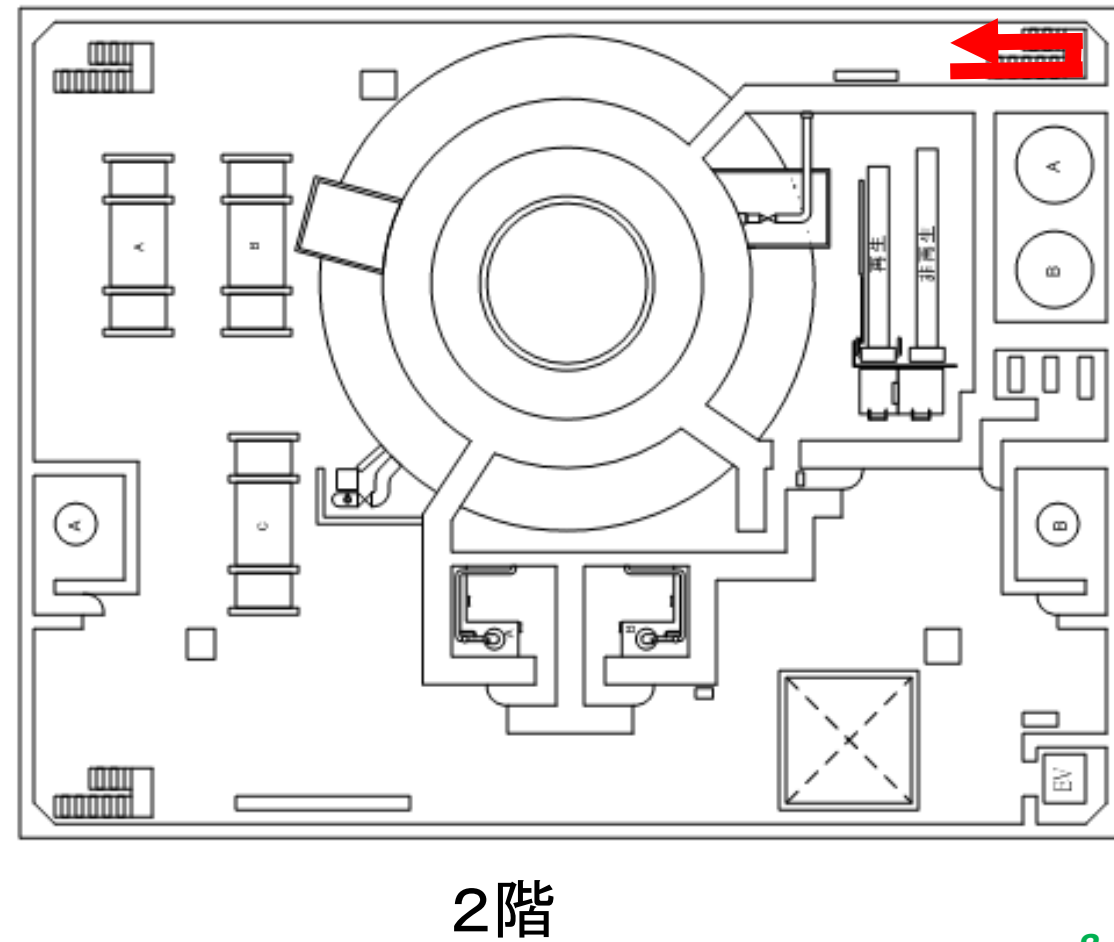
東京電力「福島第一原子力発電所
原子炉設置変更許可申請書」
(平成15年6月現在)を基に作成

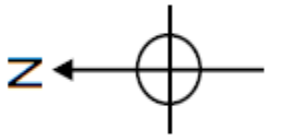
3号機原子炉建屋(平面図)



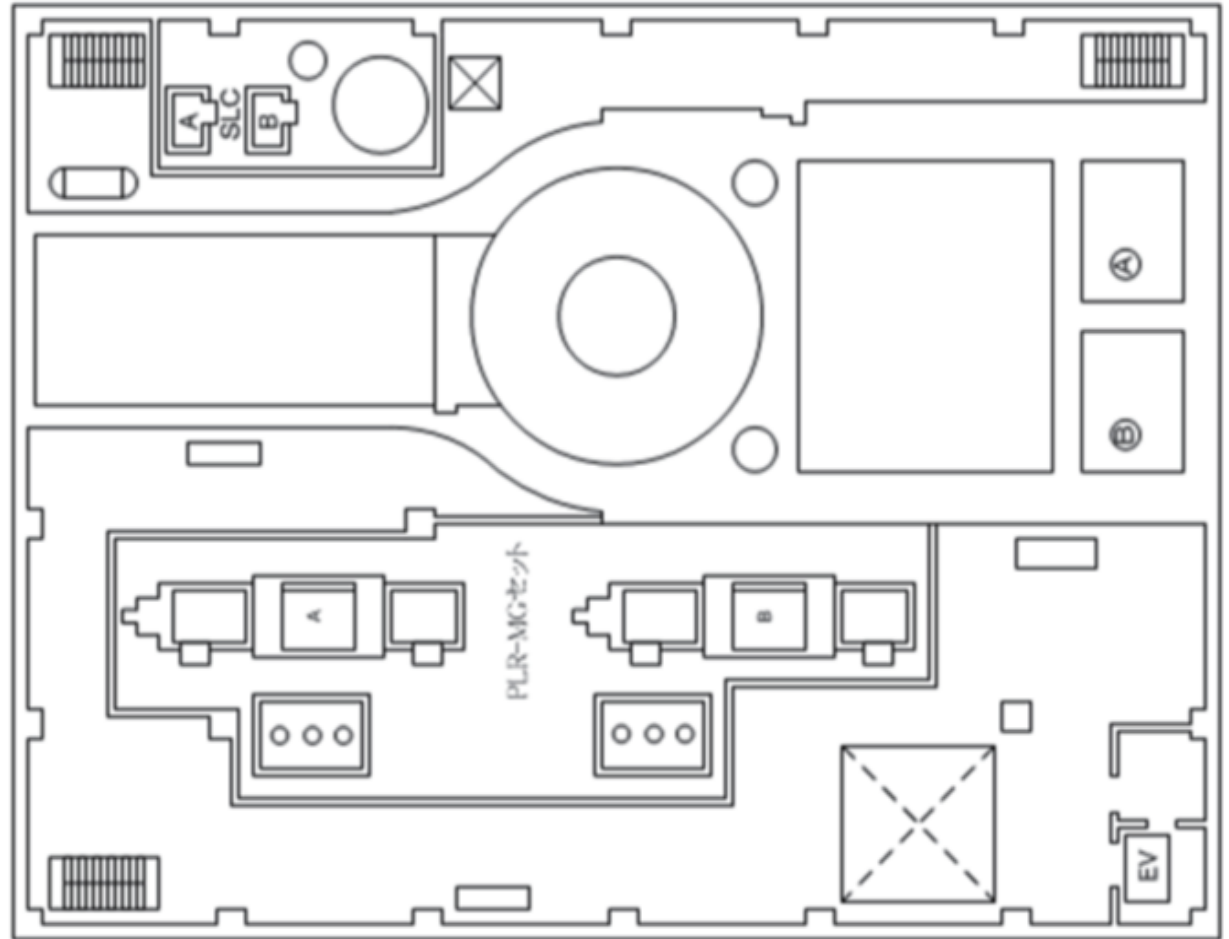
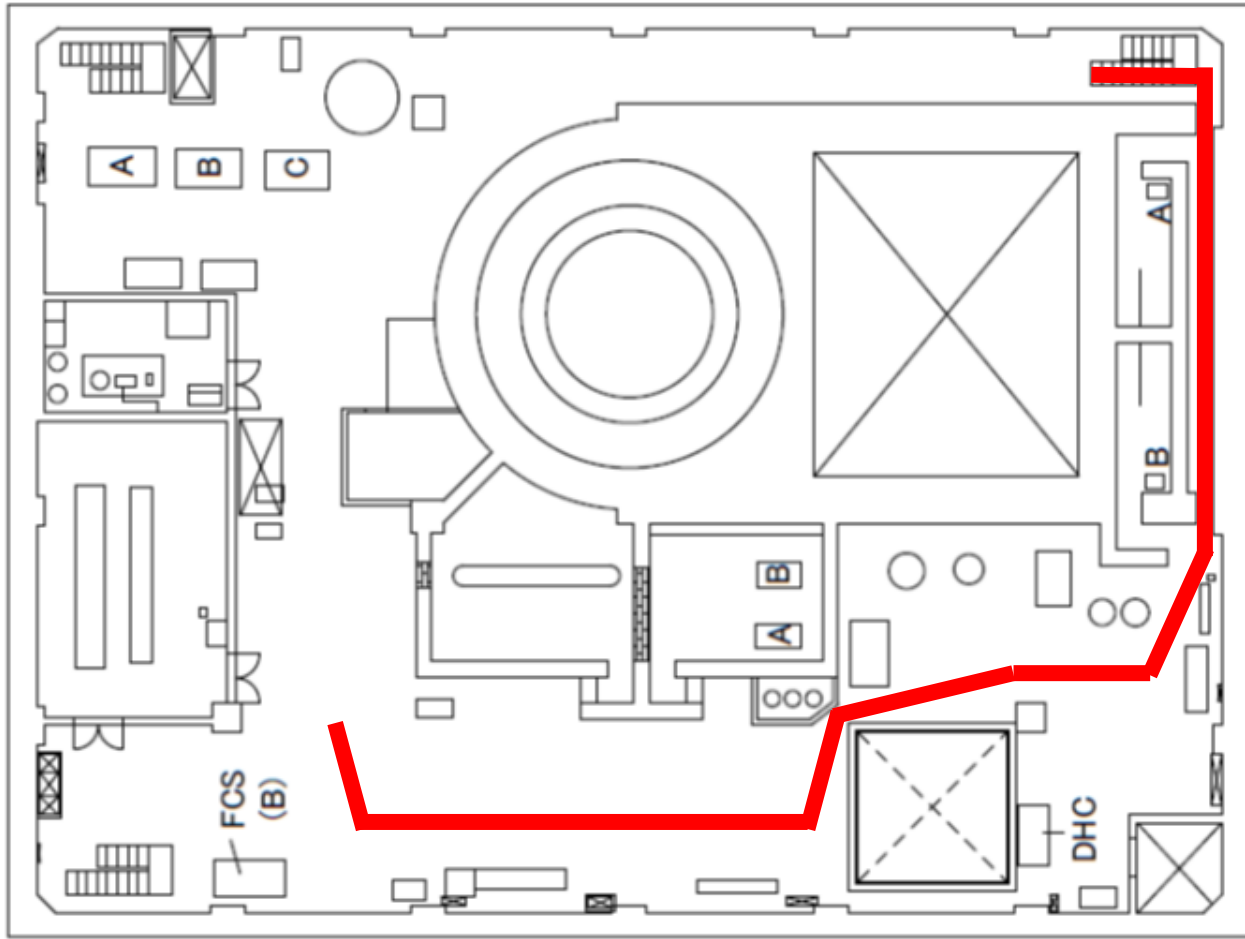
— 現地調査ルート
(令和元年12月12日)


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号機原子炉建屋(平面図)



 現地調査ルート
(令和元年12月12日)

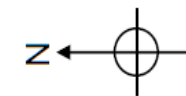
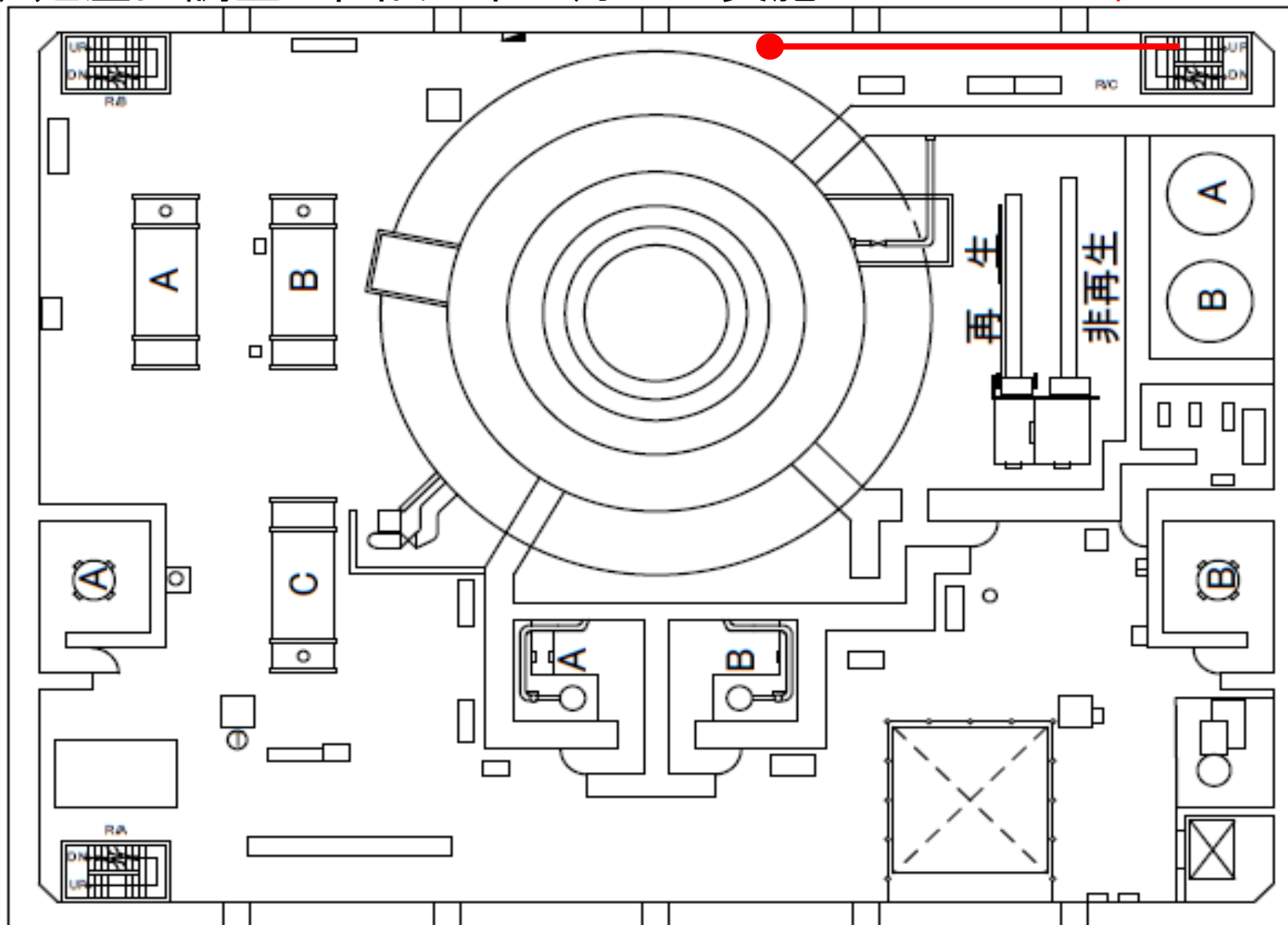
3階

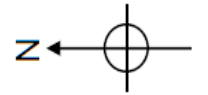
4階

東京電力資料及び政府事故調報告書より
抜粋一部加工

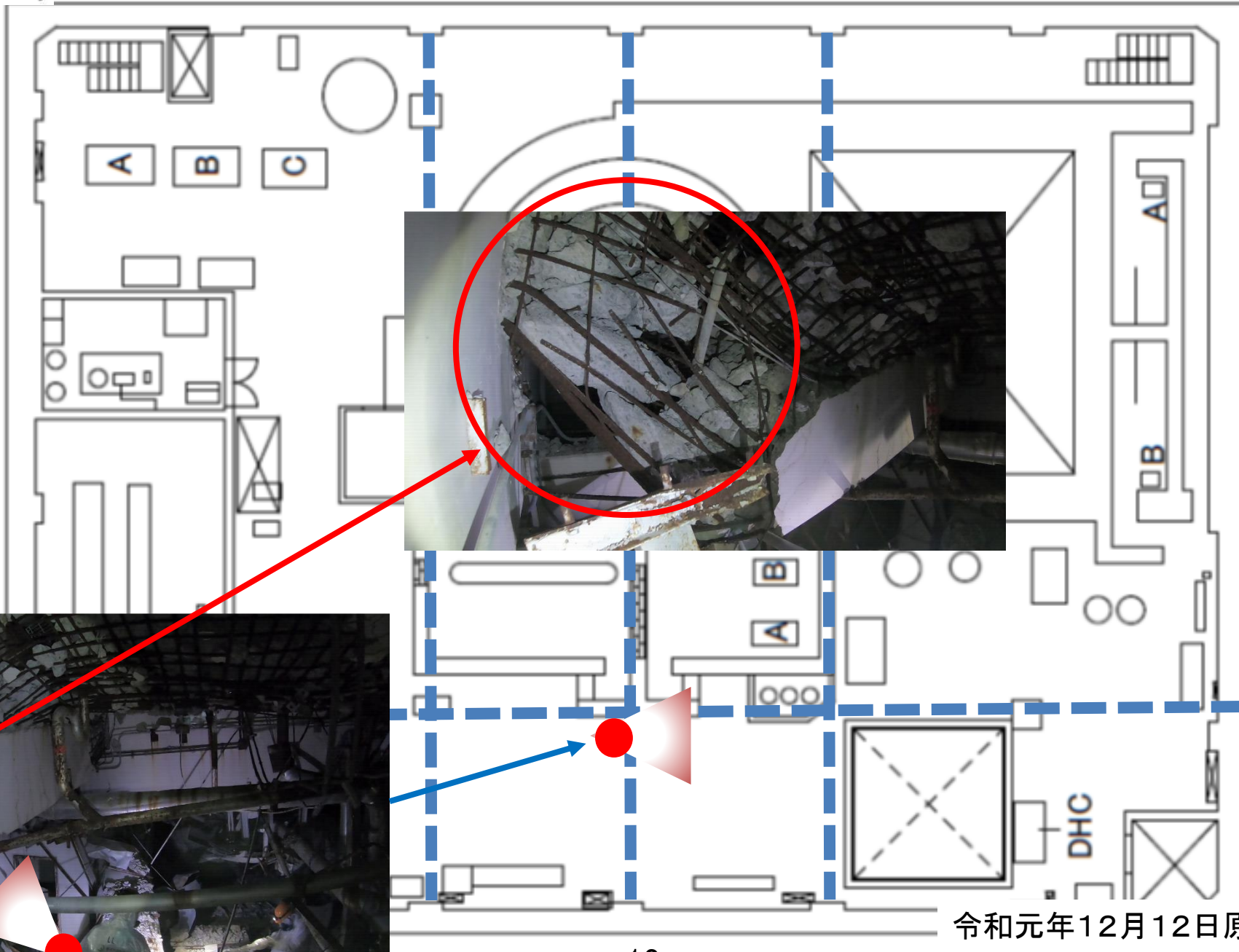
○ 3号機原子炉建屋内調査 令和元年12月12日実施 AC配管 150mSv/h

3号機原子炉
建屋 2階





3号機原子炉 建屋 3階



— — 梁

※12/26の検討会において撮影箇所を修正しました。

令和元年12月12日原子力規制庁撮影



・14mSv/h z ← ⊙

3号機原子炉
建屋 3階



2mSv/h

5mSv/h



・50mSv/h

床から3m 40mSv/h

・45mSv/h

・30mSv/h

・35mSv/h

・25mSv/h

・20mSv/h



令和元年12月12日原子力規制庁撮影

3号機原子炉建屋 3階



令和元年12月12日原子力規制庁撮影



令和元年12月12日原子力規制庁撮影

3号機原子炉建屋 3階

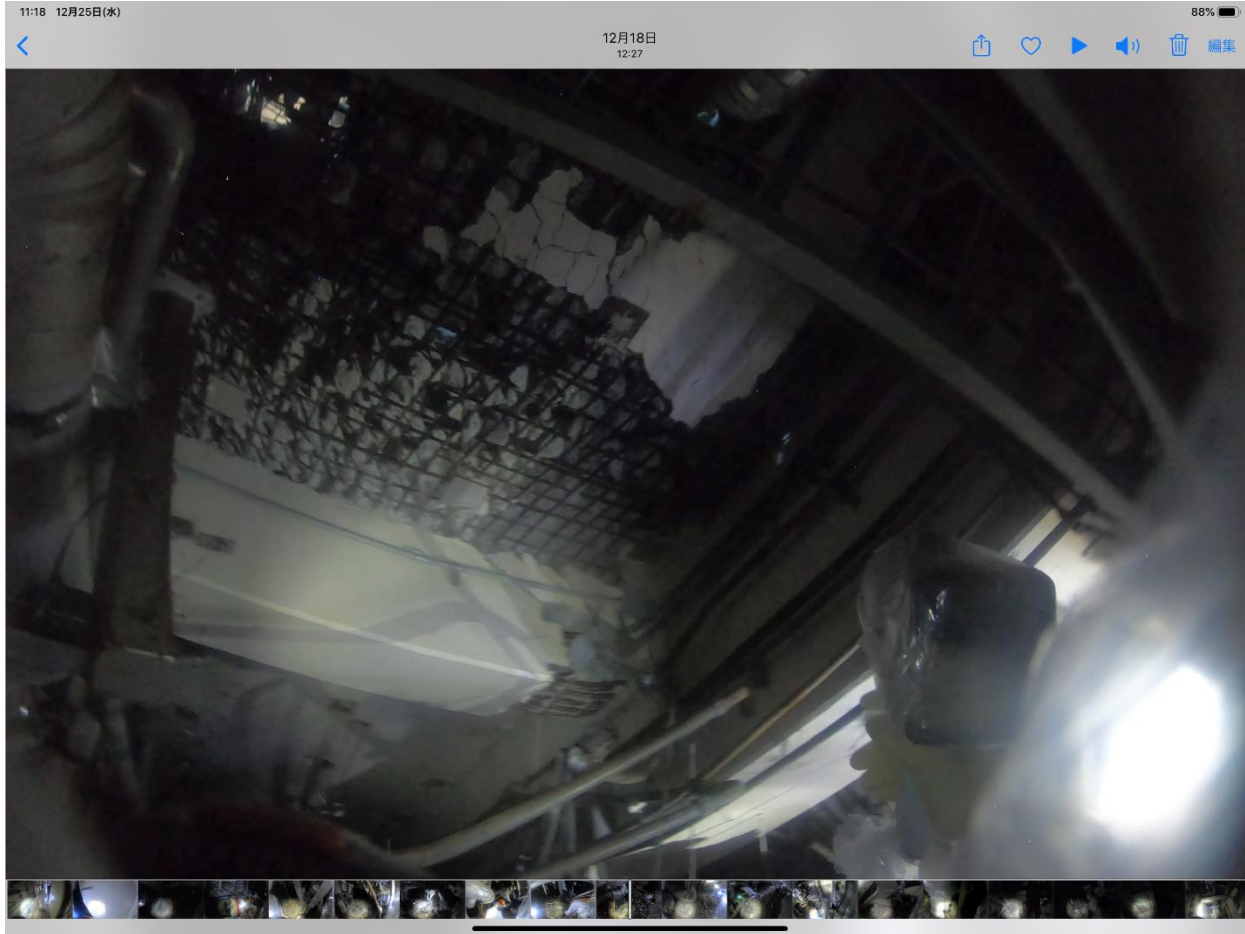


令和元年12月12日原子力規制庁撮影



令和元年12月12日原子力規制庁撮影

3号機原子炉建屋 3階



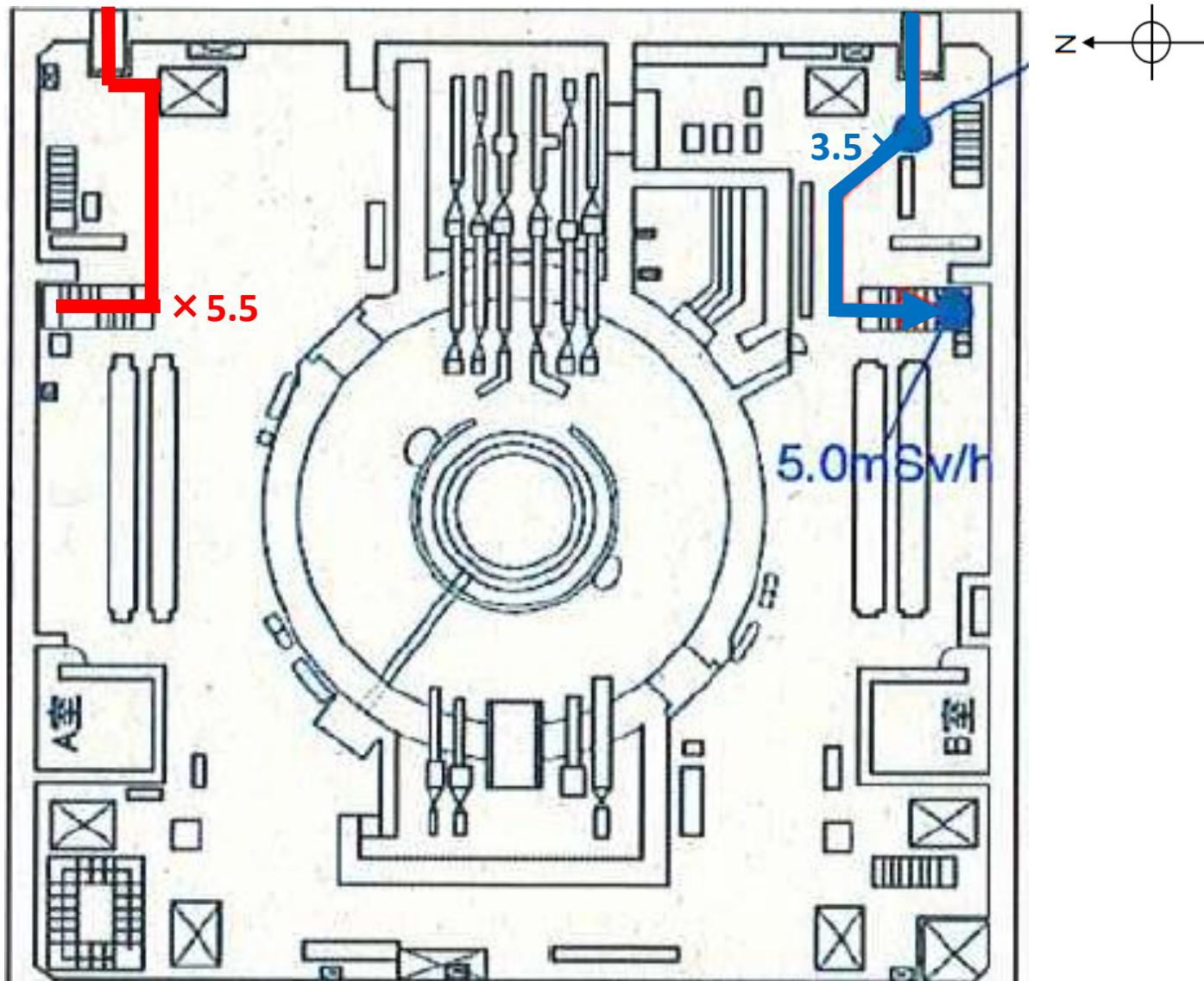
令和元年12月12日原子力規制庁撮影
※12/26の検討会後に撮影日時を修正しました。



令和元年11月1日原子力規制庁撮影

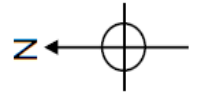
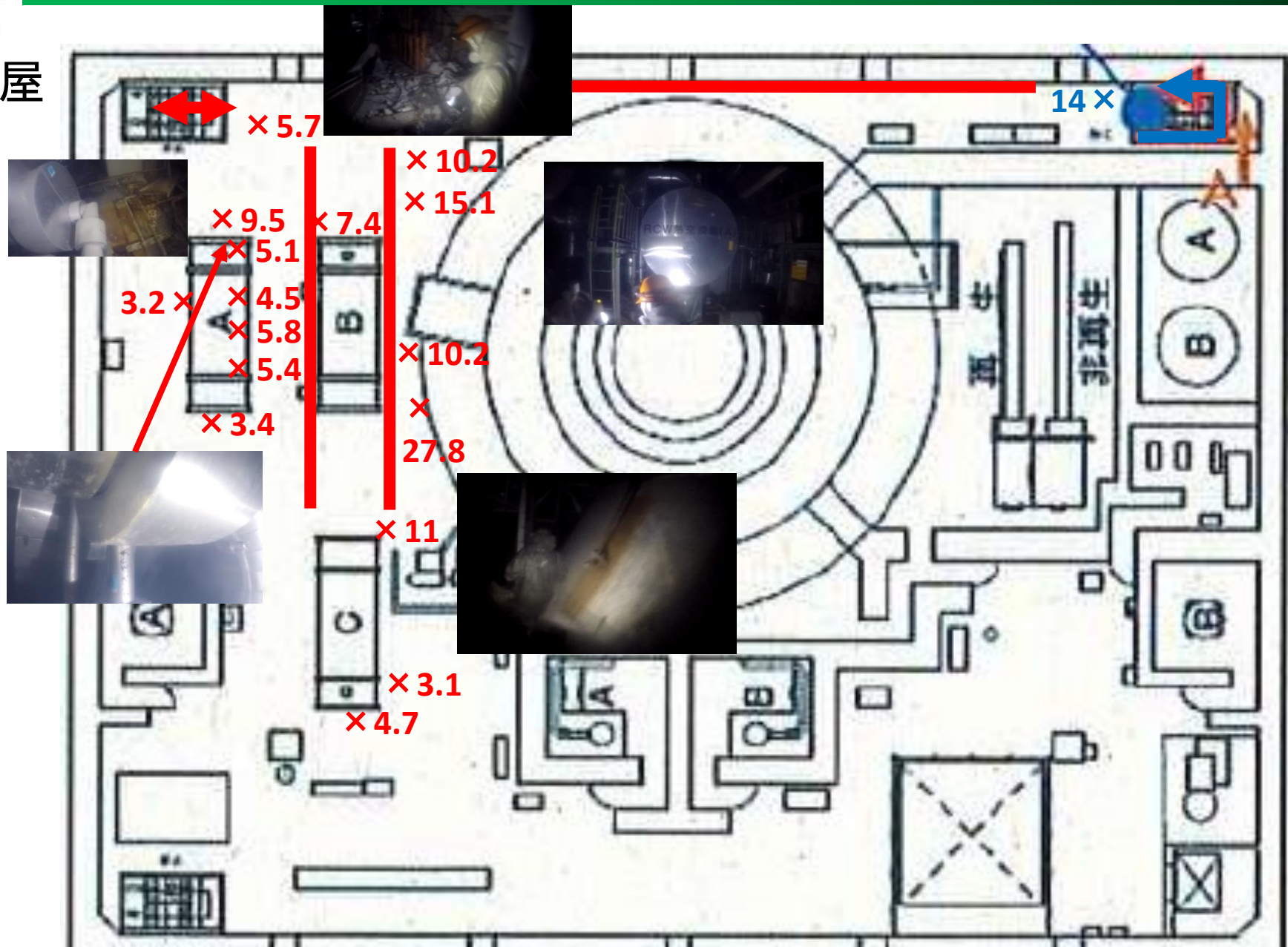
○ 3号機原子炉建屋内予備調査 令和元年11月1日実施

3号機原子炉建屋
1階



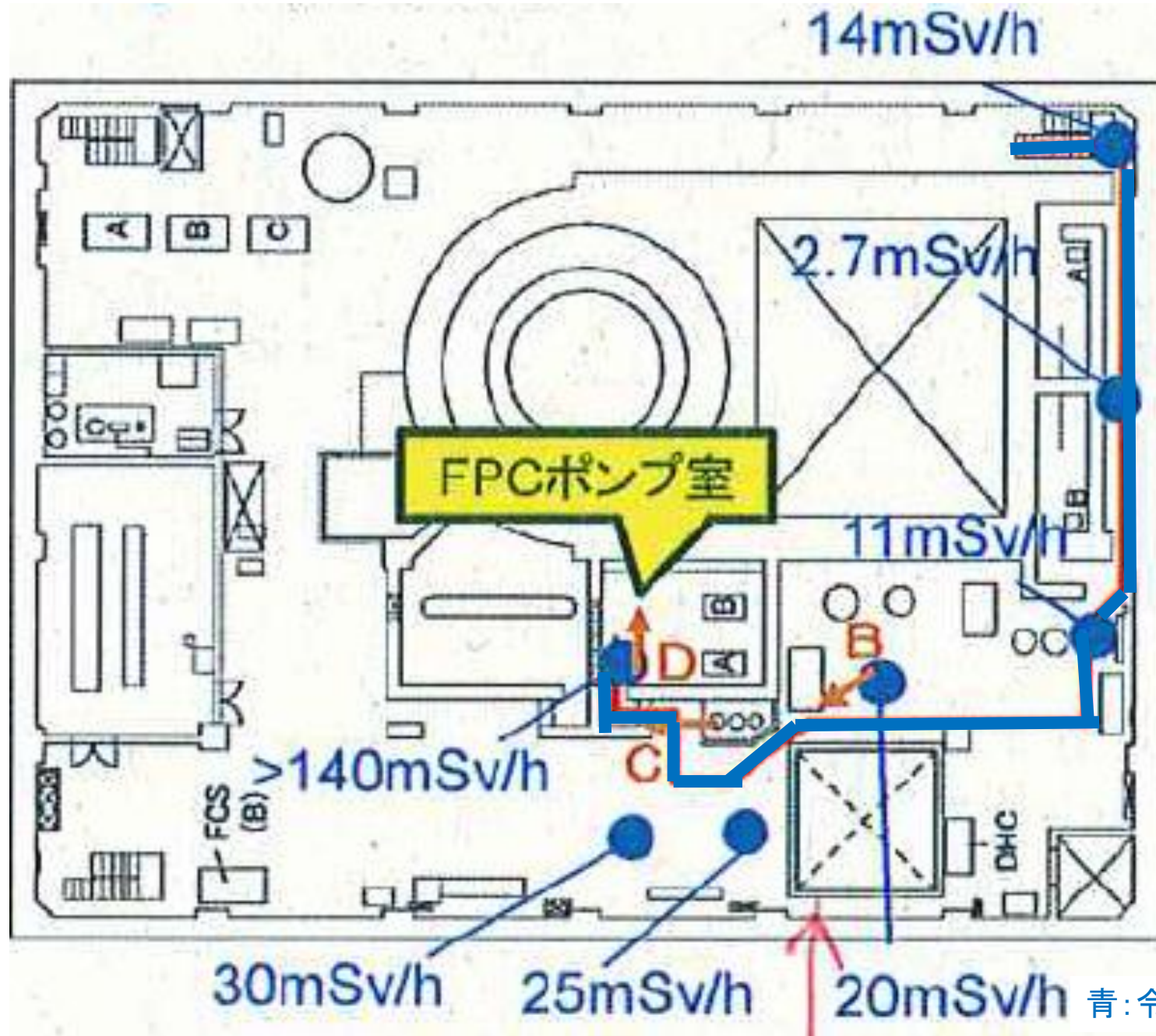
(mSv/h) 赤: 令和元年11月1日原子力規制庁 青: 令和元年5月28日東京電力

3号機原子炉建屋
2階



(mSv/h) 赤: 令和元年11月1日原子力規制庁 青: 令和元年5月28日東京電力

3号機原子炉建屋
3階



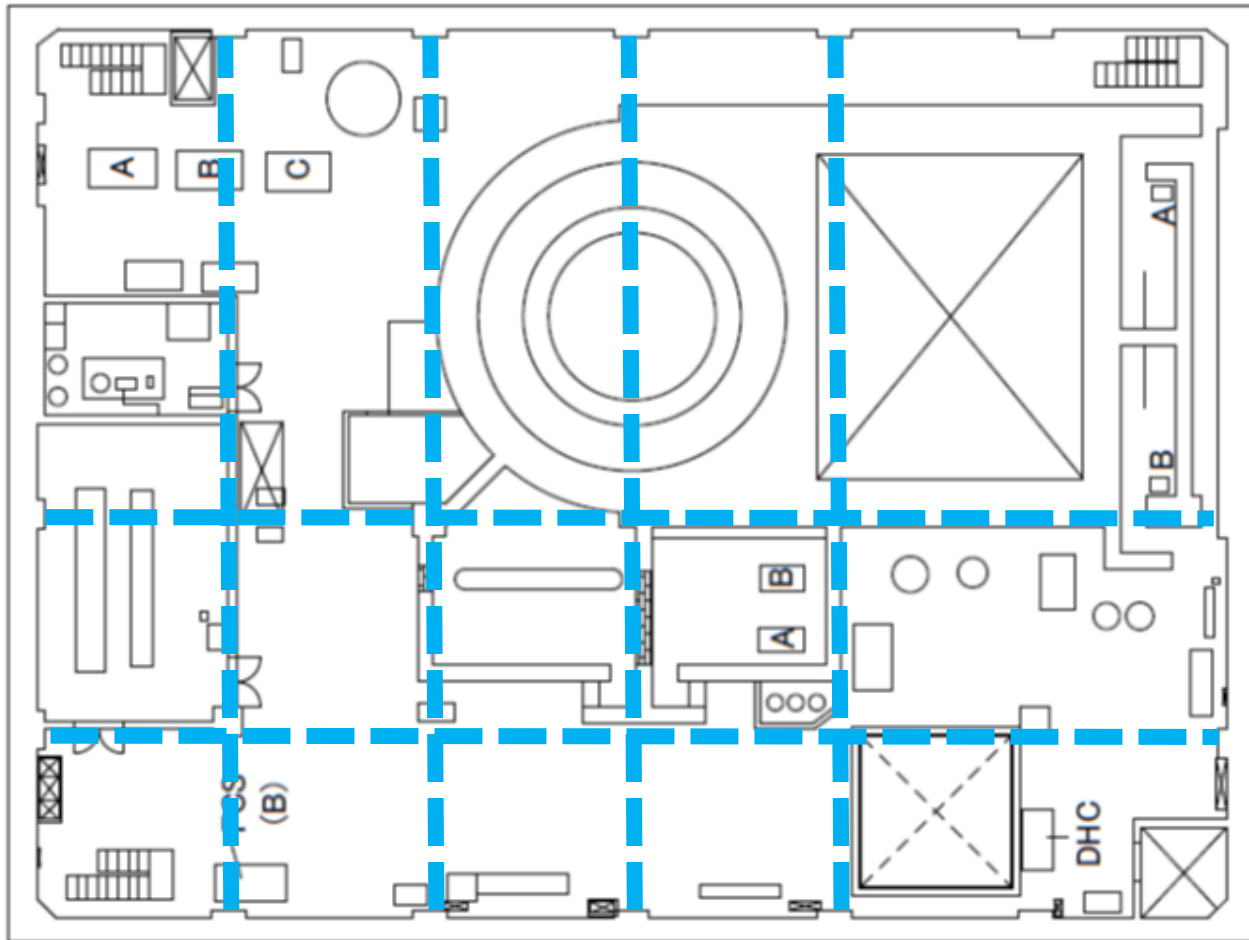
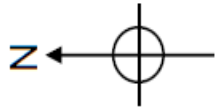
東京電力放射線サーベイ記録(3号機原子炉建屋3階)
[3号機SFPライナードレンゲートドレン現場状況把握サーベイ2019/5/28 10:00~10:30]よりデータを整理

青: 令和元年5月28日東京電力

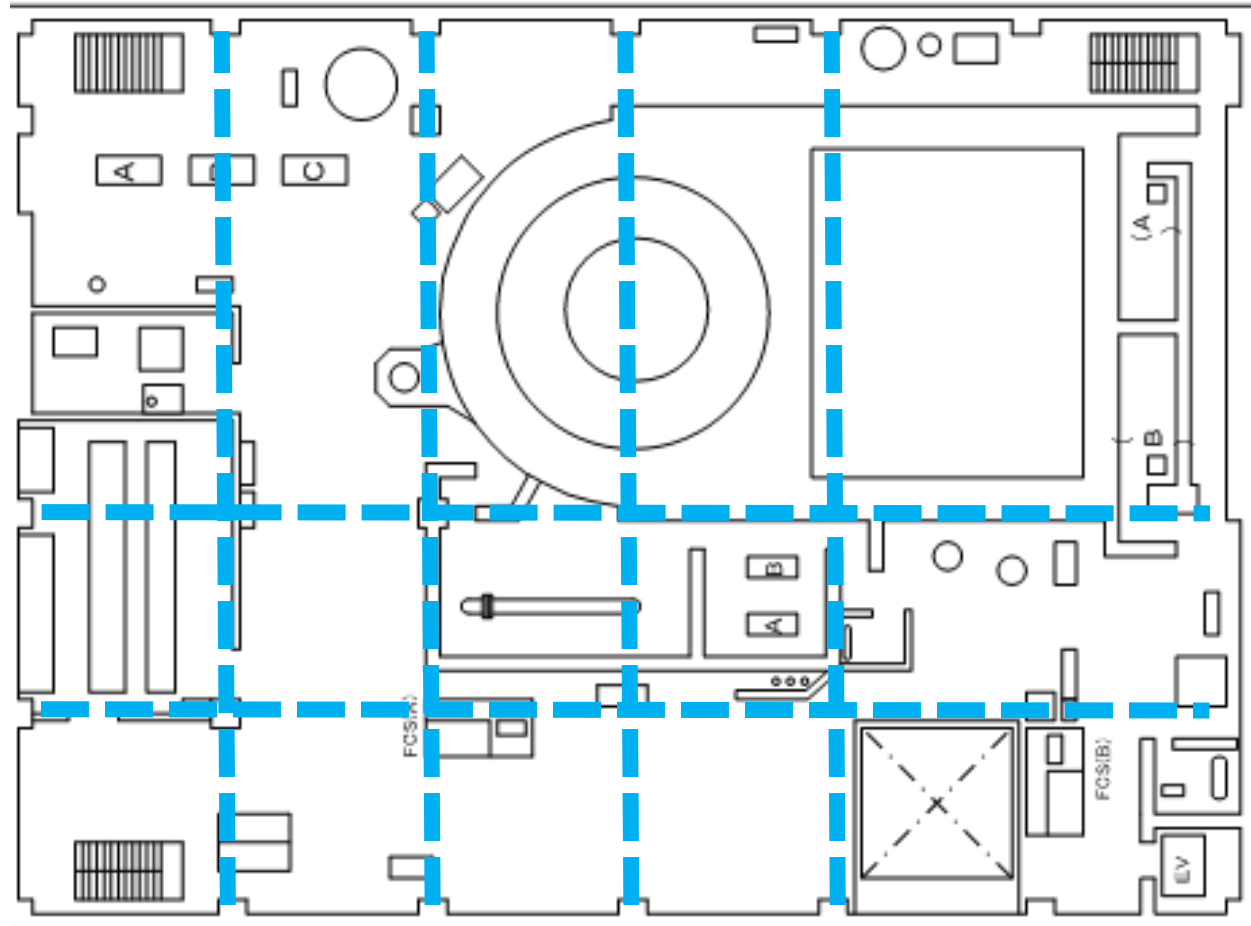
3号機及び4号機の原子炉建屋3階の損傷状況の比較

- 3号機原子炉建屋3階平面図及び4号機原子炉建屋3階平面図の比較
- 4号機原子炉建屋3階の損傷状況の概要

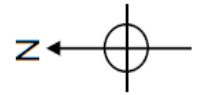
3号機原子炉建屋3階平面図及び4号機原子炉建屋3階平面図の比較



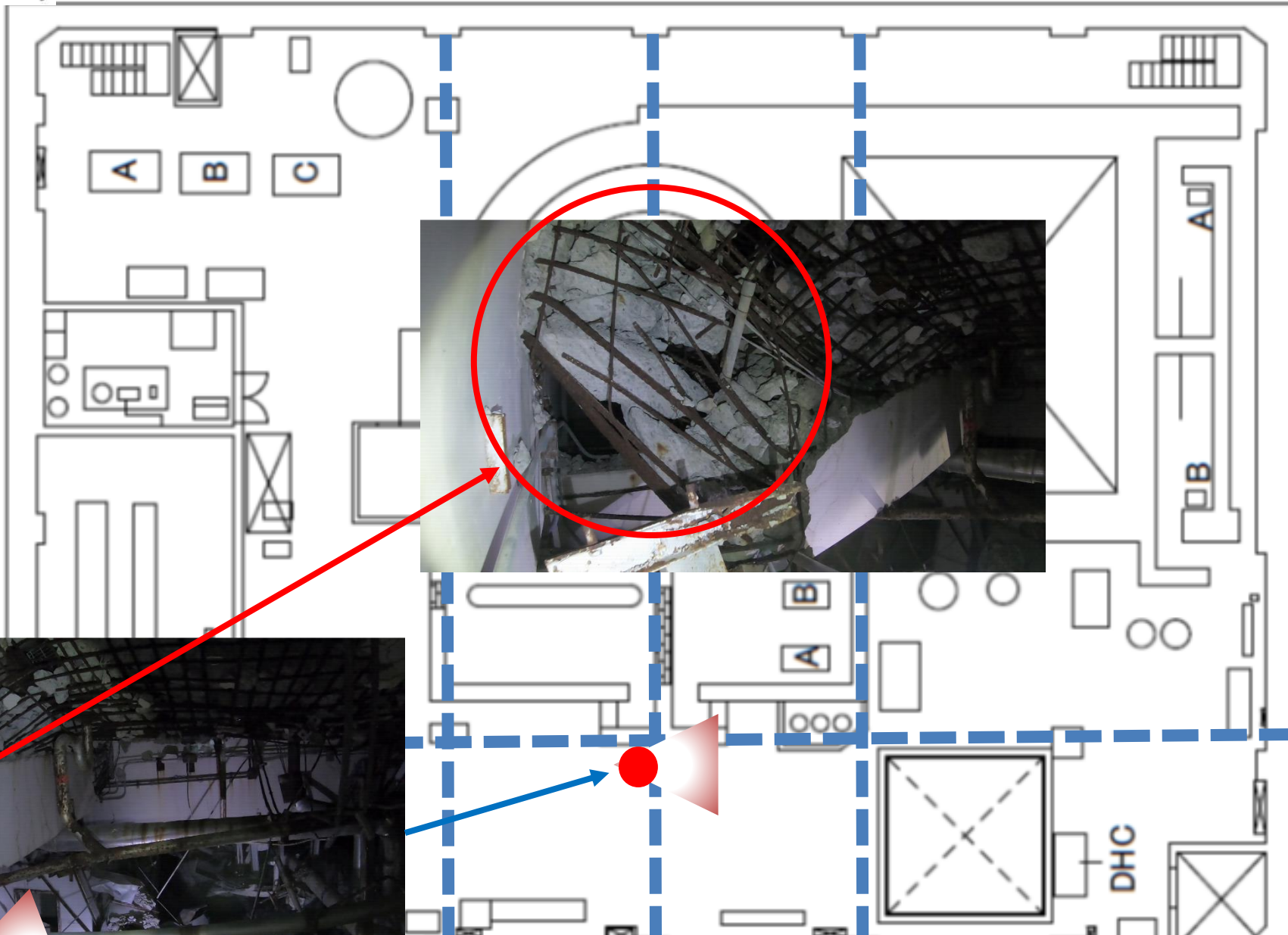
3号機R/B 3階



4号機R/B 3階



3号機原子炉 建屋 3階



※12/26の検討会において撮影箇所を修正しました。

令和元年12月12日原子力規制庁撮影



・14mSv/h z ← ⊙

3号機原子炉
建屋 3階



2mSv/h

5mSv/h



・50mSv/h

床から3m 40mSv/h

・45mSv/h

・30mSv/h

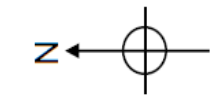
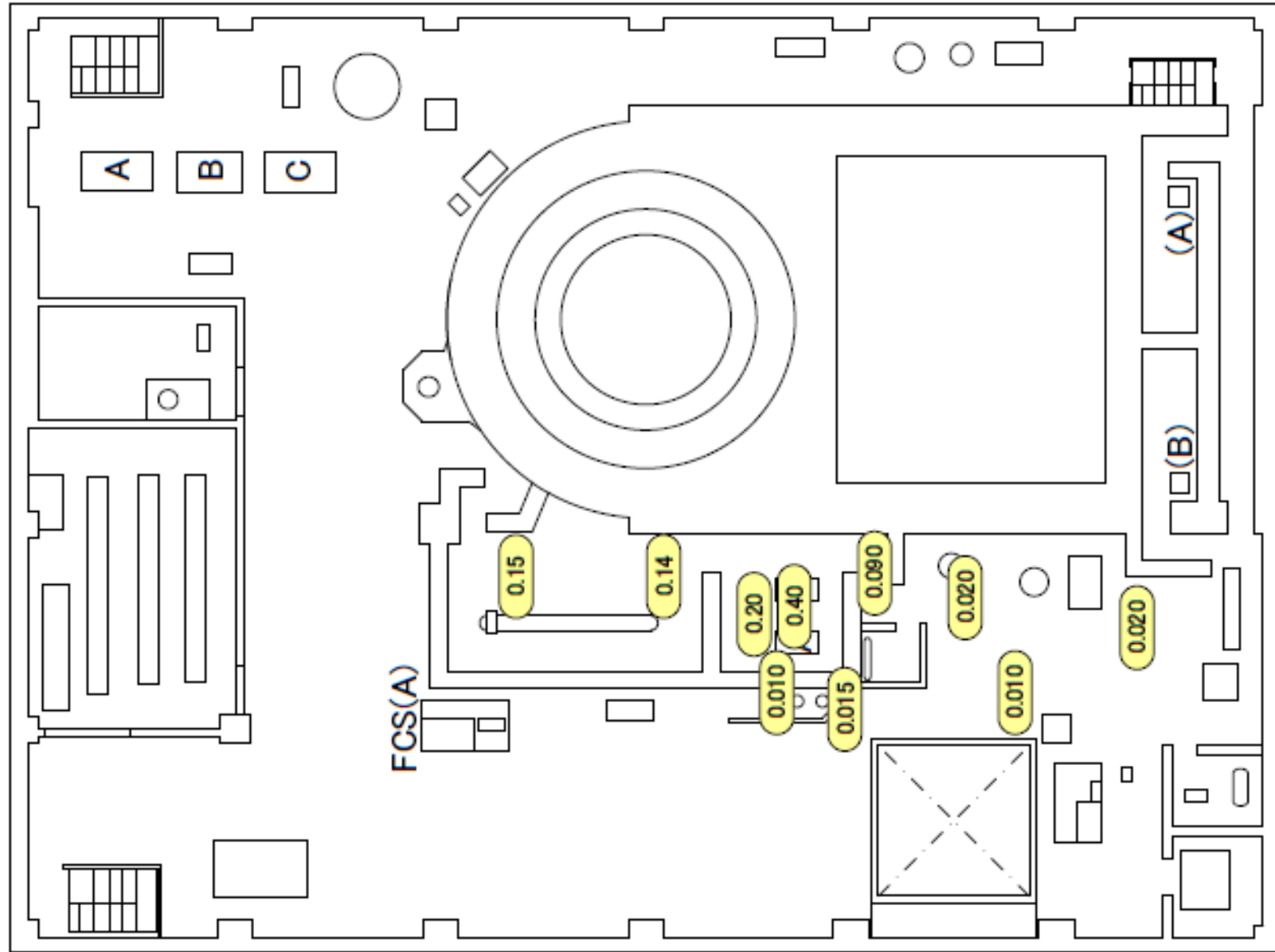
・35mSv/h

・25mSv/h

・20mSv/h

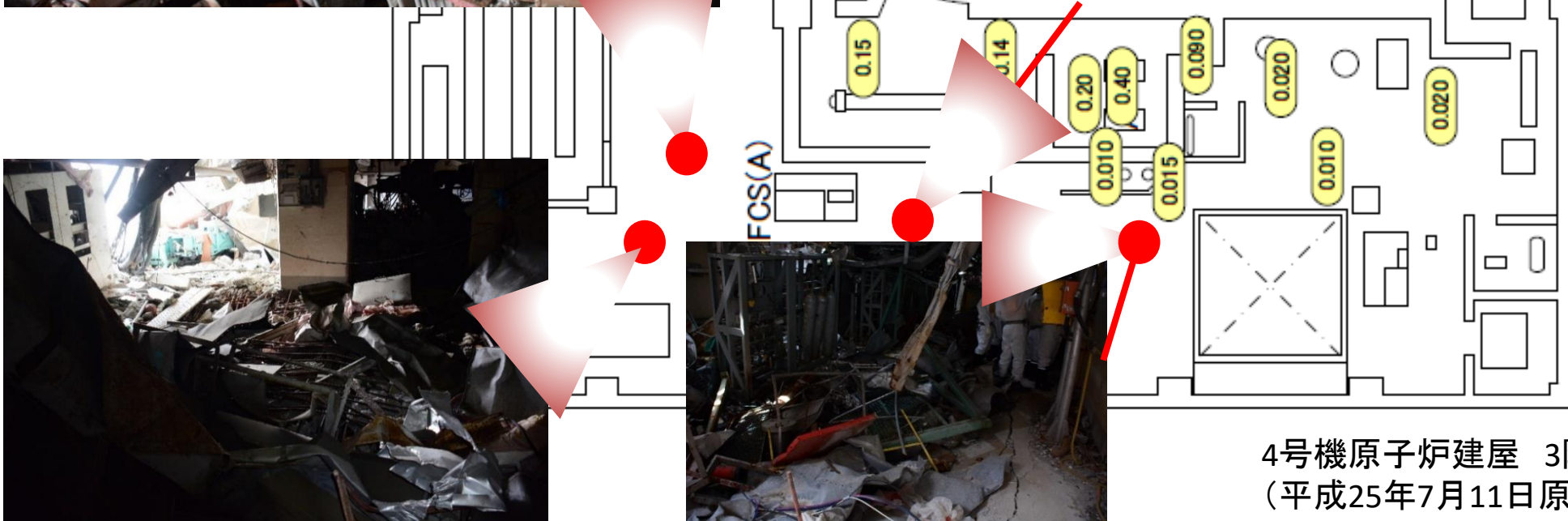
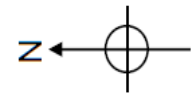


令和元年12月12日原子力規制庁撮影



4号機原子炉
建屋 3階

4号機原子炉建屋3階の損傷状況の概要

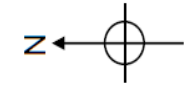


4号機原子炉建屋 3階
(平成25年7月11日原子力規制庁撮影)

令和元年12月20日原子力規制庁撮影

令和元年7月26日原子力規制庁撮影

令和元年7月26日原子力規制庁撮影



令和元年7月26日原子力規制庁撮影



平成25年7月11日原子力規制庁撮影

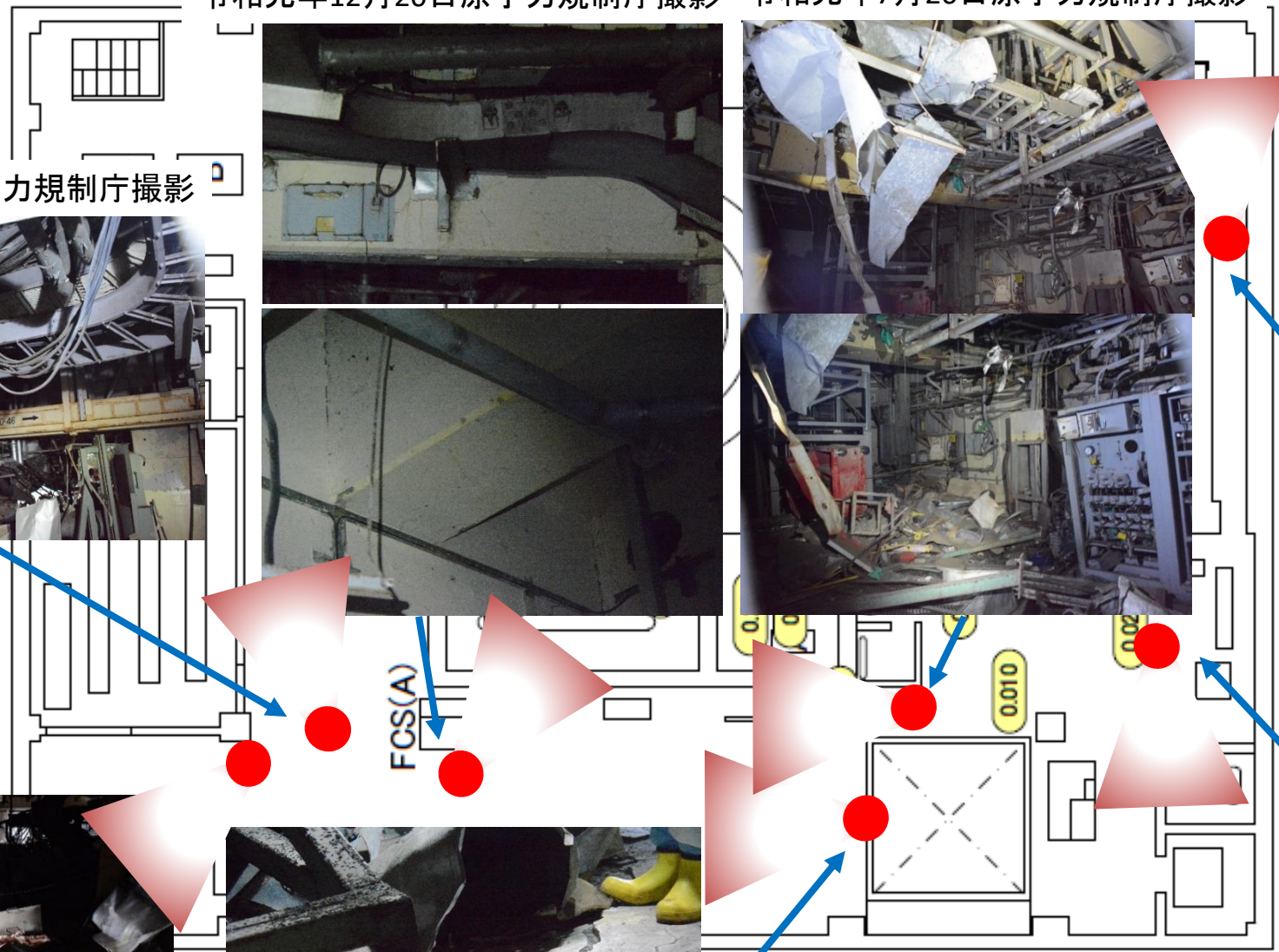


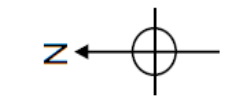
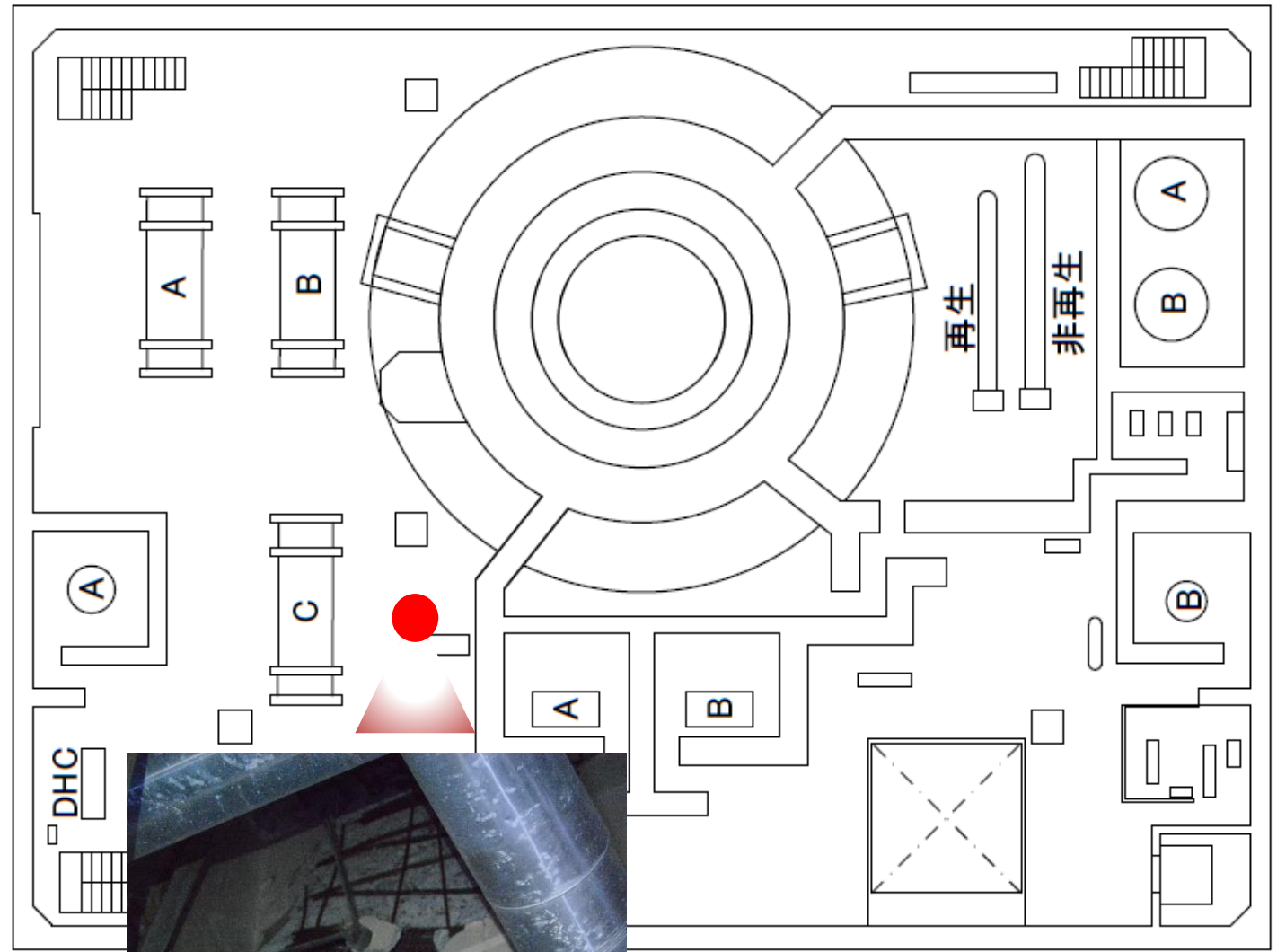
令和元年12月20日原子力規制庁撮影



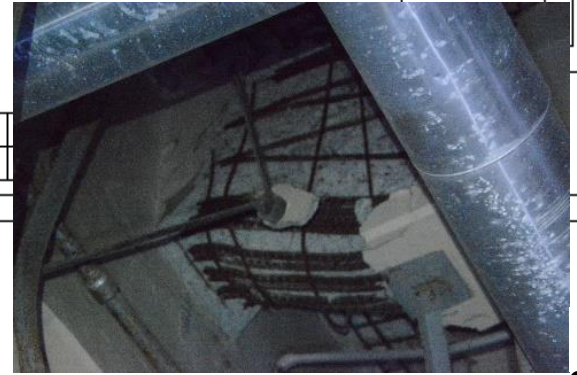
令和元年7月26日原子力規制庁撮影

4号機原子炉
建屋 3階





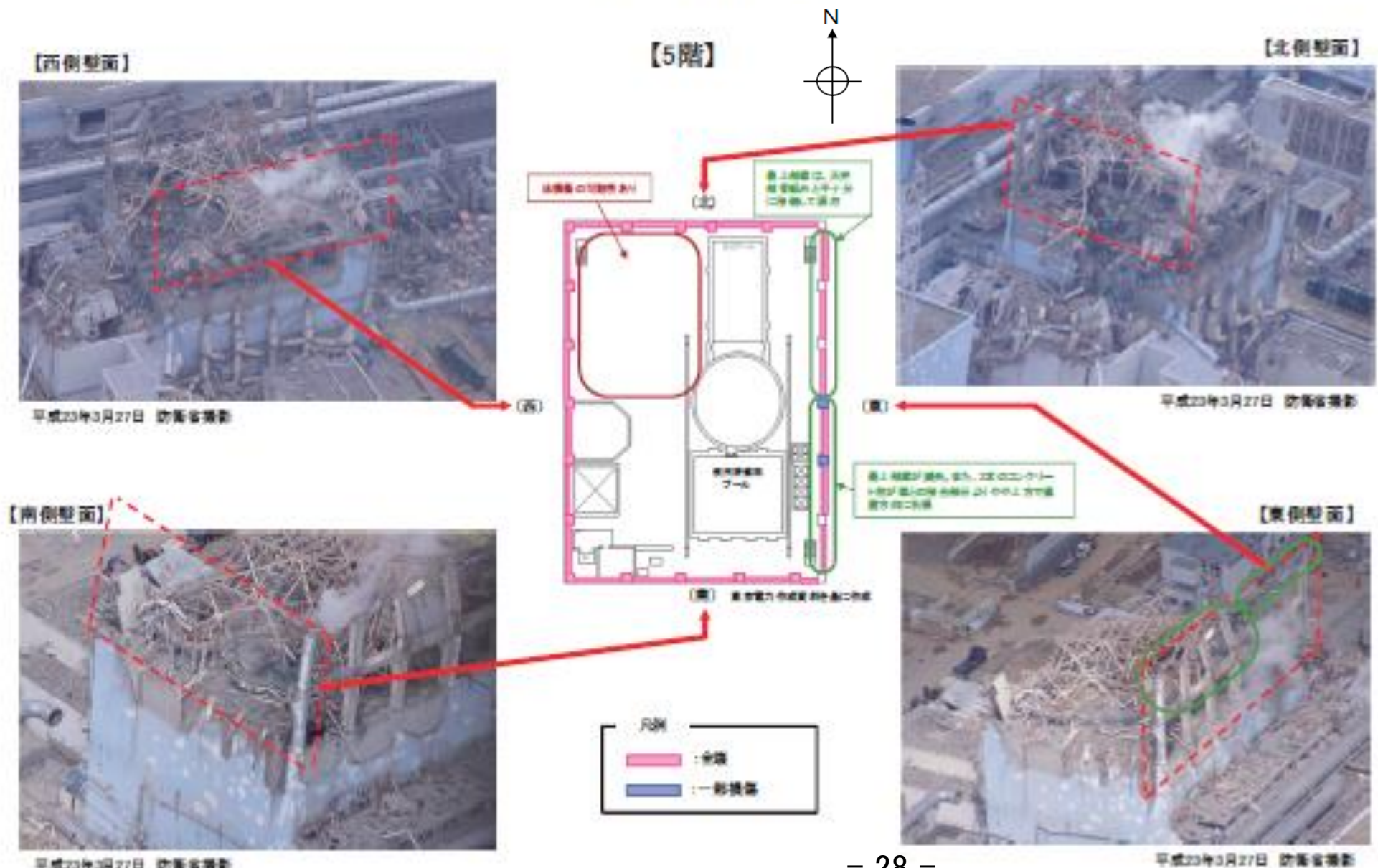
4号機原子炉 建屋 2階



令和元年12月20日原子力規制庁撮影

3号機R/Bの損傷状況

資料Ⅱ-2-8



3号機原子炉建屋
5階

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
最終報告書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編
資料Ⅱ-2-8より抜粋

3号機R/Bの損傷状況

【西側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【4階】



【北側壁面】



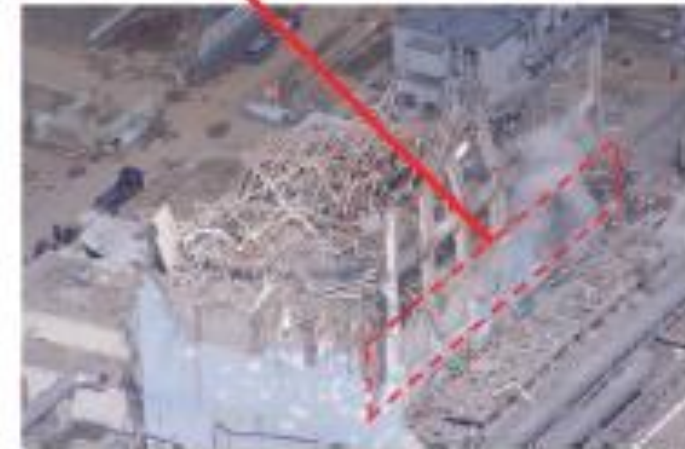
平成23年3月27日 防衛省撮影

【南側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【東側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

凡例

■	: 全壊
■	: 一部壊滅
■	: 一部損傷

3号機原子炉建屋
4階

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
最終報告書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編
資料Ⅱ-2-8より抜粋

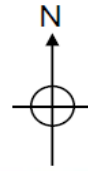
3号機R/Bの損傷状況

【西側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【3階】



【北側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【南側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【東側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影



3号機原子炉建屋
3階

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
最終報告書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編
資料Ⅱ-2-8より抜粋

資料Ⅱ-2-10

4号機R/Bの損傷状況



【西側壁面】



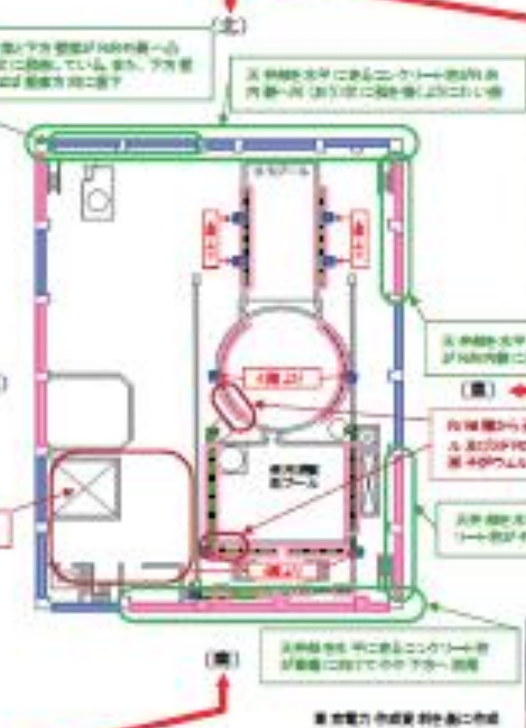
平成23年3月27日 防衛省撮影

【北側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【5階】



床面が大きく破砕し、構造がほぼ完全に崩壊

上層階より下層階に落下したコンクリート破片が壁面に散見し、一部は、壁が崩壊方向に倒す

天井部と天井にあるコンクリート破片が壁面に散見し、一部は壁面に倒壊している

天井部と天井にあるコンクリート破片が壁面に散見している

内層階から落下したコンクリート破片が壁面に散見し、一部は壁面に倒壊している

天井部と天井にあるコンクリート破片が壁面に散見している

【南側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【東側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

4号機原子炉建屋
5階

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書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編資料Ⅱ-2-10より抜粋

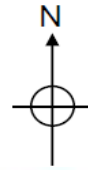
4号機R/Bの損傷状況

【西側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【4階】



3階のアスの損傷が大きい場所の直下
付近の床面が下方に沈み、換気ダクトの
漏れが確認された箇所が複数あり

換気ダクトが破損して漏れが確認されてお
り、4階の設備の周囲が汚染されています

【北側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【東側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【南側壁面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

凡例

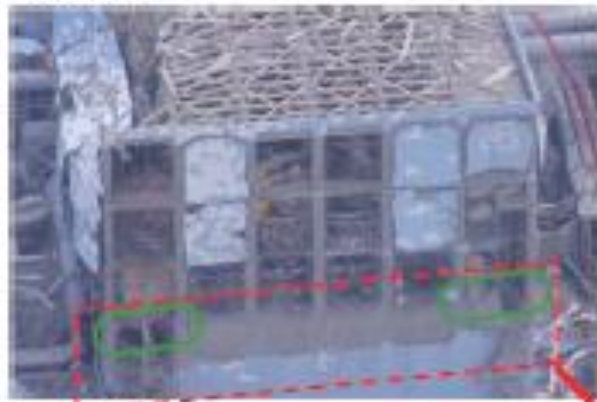
	全壊
	一部壊損
	全面壊損
	換気ダクト
	換気口
	下階との接続部
	上階との接続部

4号機原子炉建屋
4階

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
最終報告書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編
資料Ⅱ-2-10より抜粋

4号機R/Bの損傷状況

【西側型面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【北側型面】



平成23年3月27日 防衛省撮影

【南側型面】

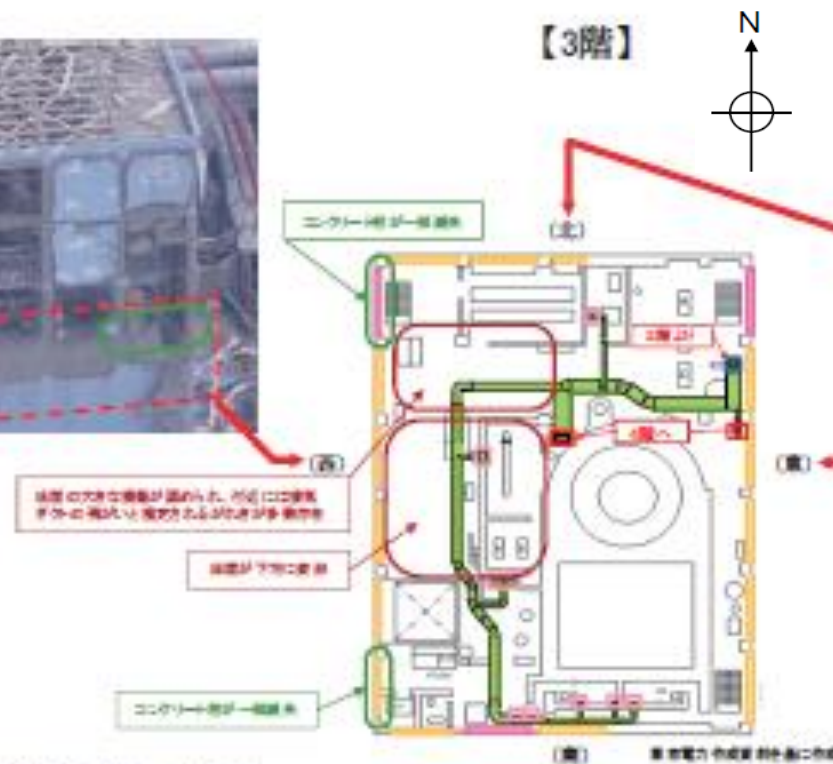


平成23年3月27日 防衛省撮影

【東側型面】



平成23年3月27日 防衛省撮影



この階の天井の損傷が認められ、その下に落下物
の恐れあり。復旧作業中のため撮影中

損傷が下部に波及

- 凡例
- 全壊
 - 喪失機器
 - 排気ダクト
 - 排気口
 - 下階との接続部
 - 上階との接続部

4号機原子炉建屋
3階

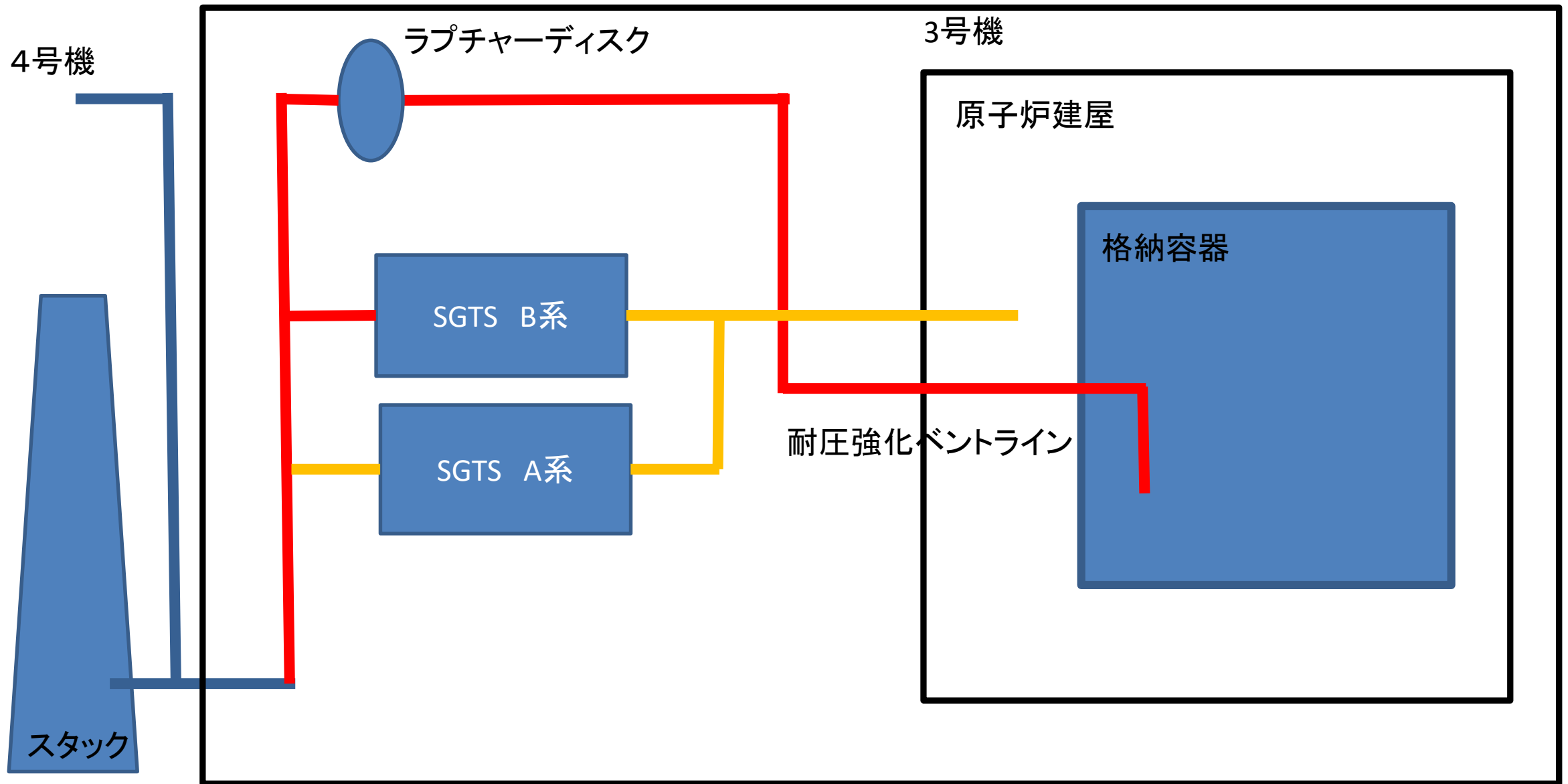
東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会
最終報告書(政府事故調報告書_平成24年7月23日)資料編
資料Ⅱ-2-10より抜粋

3号機耐圧強化ベントライン及びSGTSラインの線量調査

[令和元年8月22, 23日、8月1, 2日、6月19～21日現地調査等]

- ラプチャーディスクの線量当量率
- SGTSフィルターの線量当量率

3号機耐圧強化ベントライン及びSGTSラインの線量調査



3号機耐圧強化ベントライン
ラプチャーディスク

8000 μ Sv/h

5500 μ Sv/h

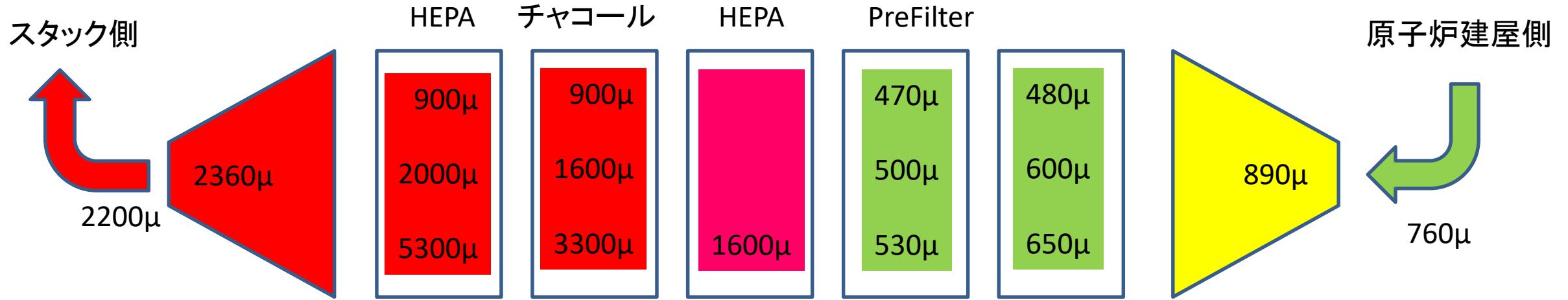
2500 μ Sv/h



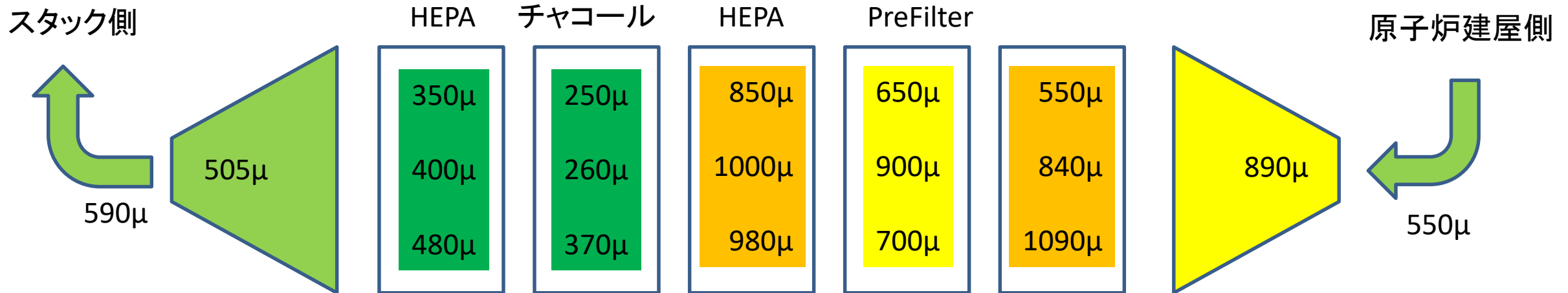
B.G. 100~150 μ Sv/h

令和元年7月8日原子力規制庁撮影

3号機SGTS B系



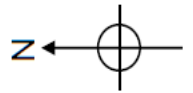
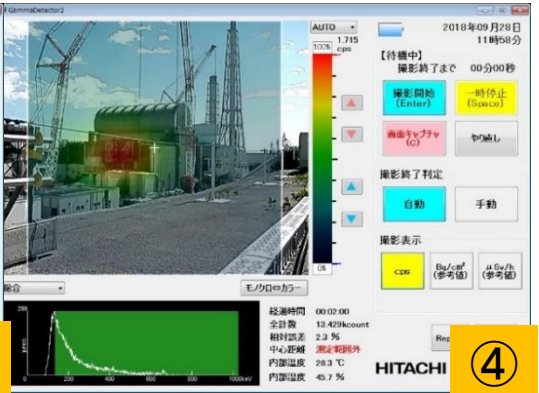
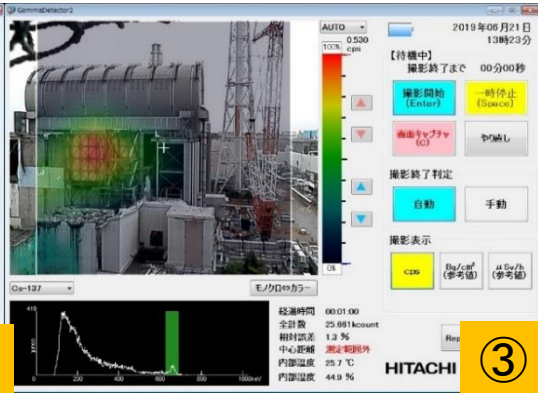
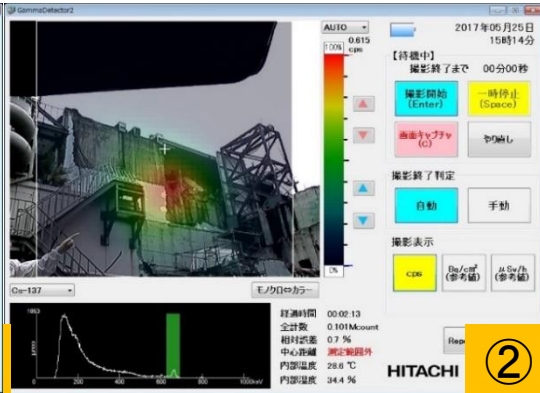
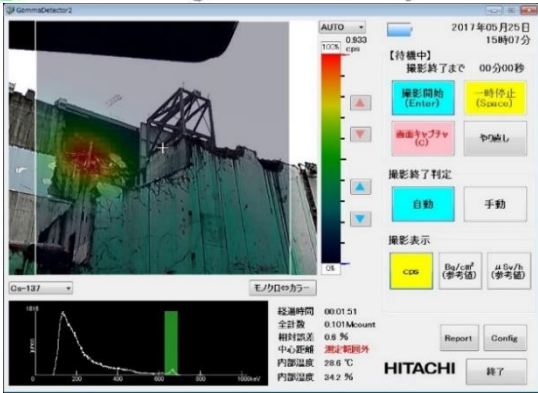
3号機SGTS A系



数値は線量当量率 (Sv/h) を表す 36

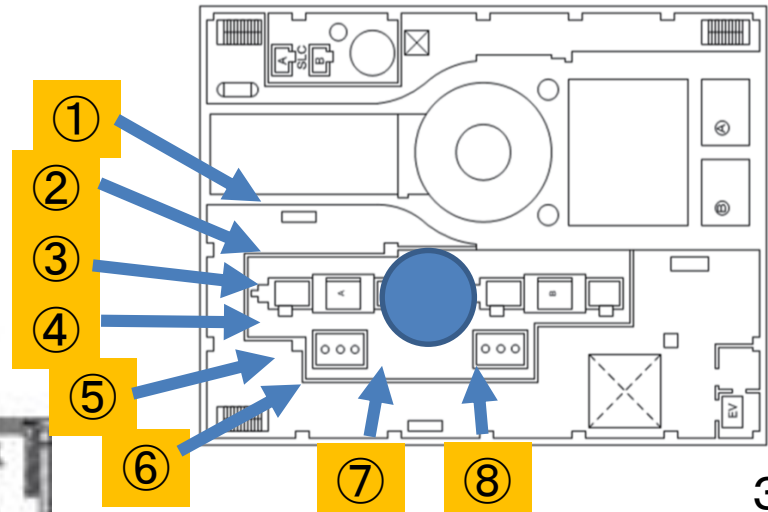
3号機原子炉建屋に関するこれまでの調査データ等

- 3号機原子炉建屋ガンマカメラ撮影(2017年3月24日、5月25日、2018年9月28日、2019年6月21日)
- 3号機原子炉建屋に係る防衛省の航空写真(2011年3月18日)
- 3号機原子炉建屋に係る防衛省の航空写真(赤外線写真)(2011年3月18日)
- 東京電力によるクレーンカメラ画像(2014年12月8日)
- 3号機原子炉建屋北西部の損傷状況
- 3号機原子炉建屋からの白煙(2011年3月18日、27日)

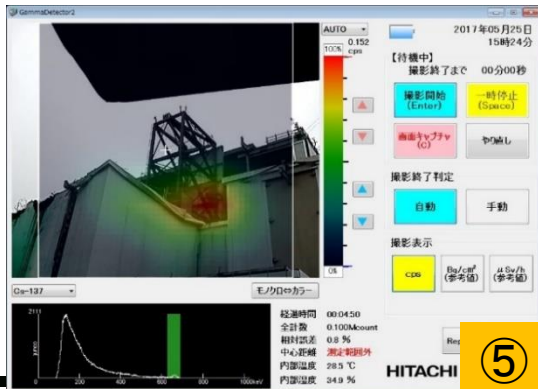


⑦

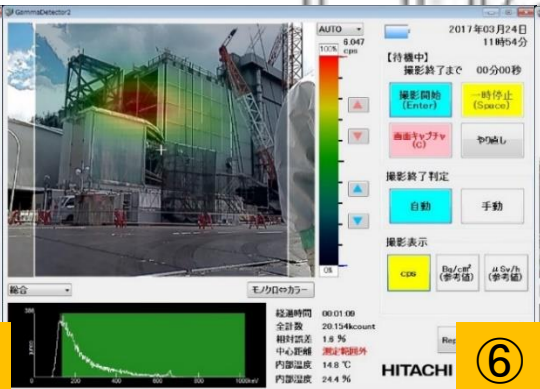
平成23年3月15日東京電力撮影



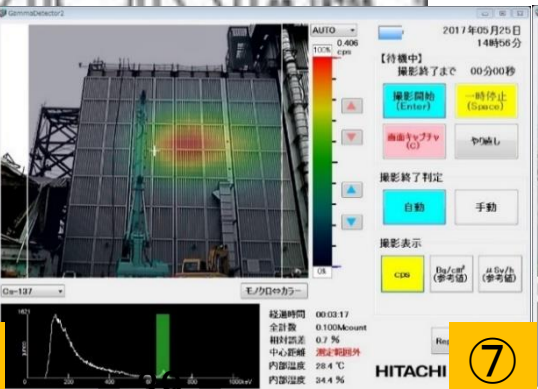
3号機原子炉
建屋 4階



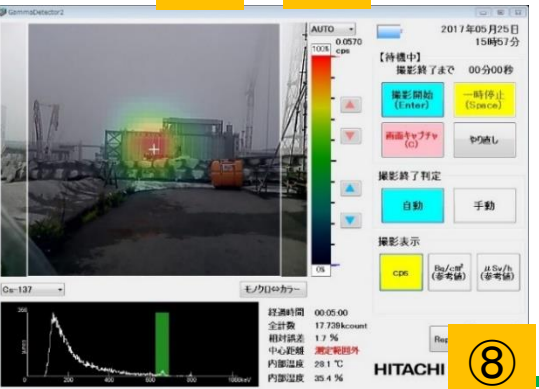
⑤



⑥



⑦




⑧

原子力規制庁
撮影

①

GammaDetector2



AUTO 0.933 cps

100% 0%

▲ ▼ ▲ ▼

2017年05月25日 15時07分

【待機中】
撮影終了まで 00分00秒

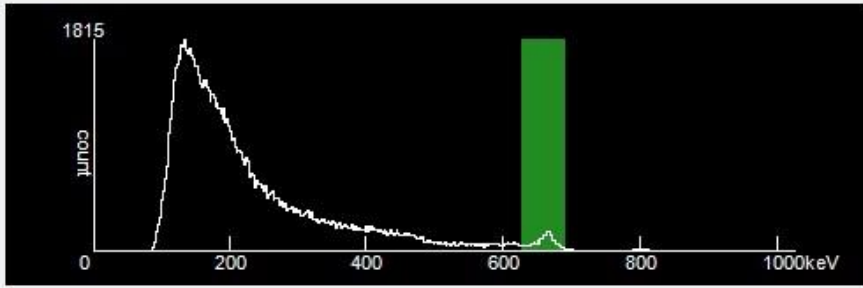
撮影開始 (Enter) 一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C) やり直し

撮影終了判定
自動 手動

撮影表示
cps Bq/cm² (参考値) μSv/h (参考値)

Cs-137 モノ口⇔カラー



経過時間 00:01:51
全計数 0.101Mcount
相対誤差 0.6 %
中心距離 測定範囲外
内部温度 28.6 °C
内部湿度 34.2 %

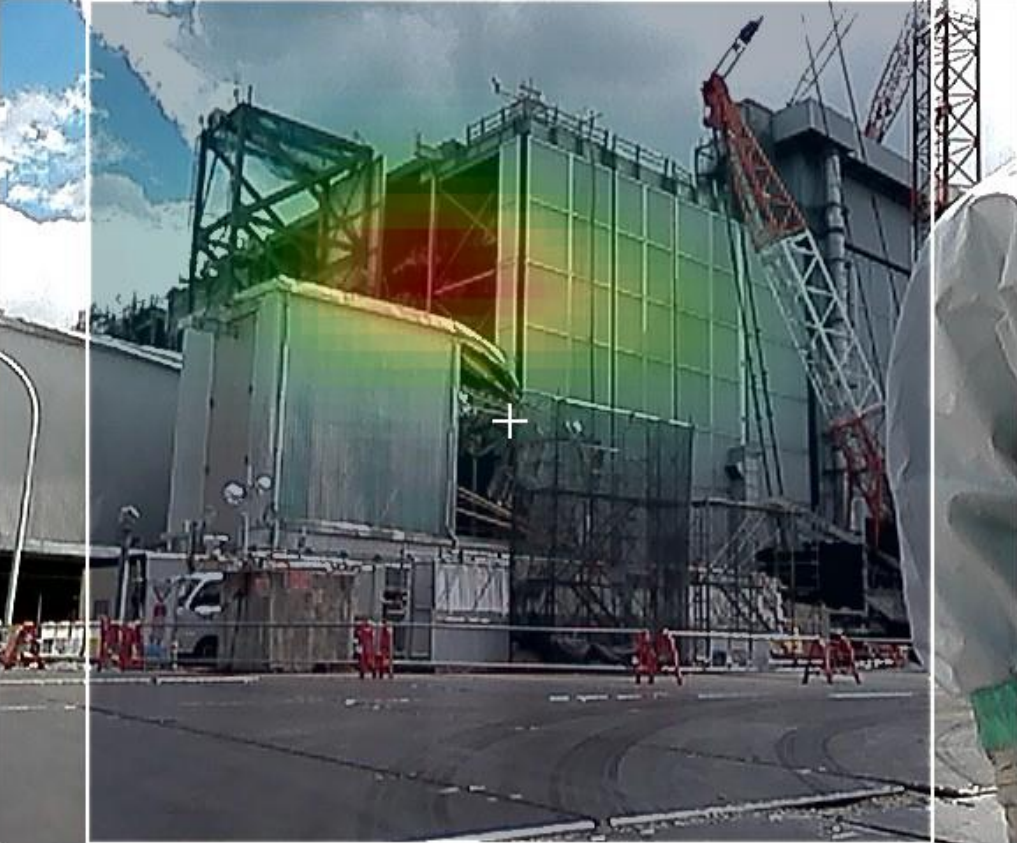
Report Config

HITACHI 終了

平成29年5月25日原子力規制庁撮影

⑥

GammaDetector2



AUTO 6.047 cps

100%

0%

2017年03月24日
11時54分

【待機中】
撮影終了まで 00分00秒

撮影開始 (Enter) 一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C) やり直し

撮影終了判定
自動 手動

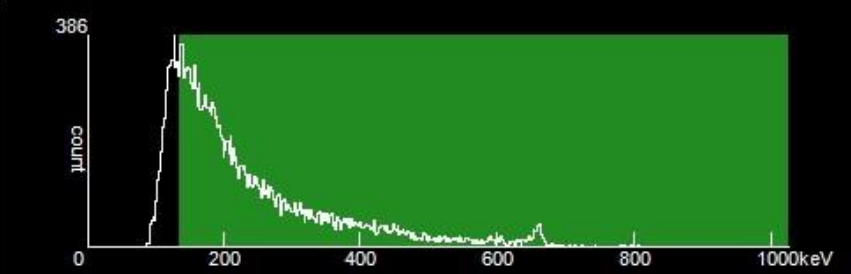
撮影表示
cps Bq/cm² (参考値) μSv/h (参考値)

Report Config

HITACHI 終了

総合

モノロ⇔カラー



経過時間 00:01:09
全計数 20.154kcount
相対誤差 1.6 %
中心距離 測定範囲外
内部温度 14.8 °C
内部湿度 24.4 %

平成29年3月24日原子力規制庁撮影

③

④

GammaDetector2
AUTO
2019年06月21日

AUTO

0.112 cps

2017年03月24日
12時50分

【待機中】
撮影終了まで 00分00秒

撮影開始 (Enter)

一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C)

やり直し

撮影終了判定

自動

手動

撮影表示

cps

Bq/cm² (参考値)

μSv/h (参考値)

Report

Config

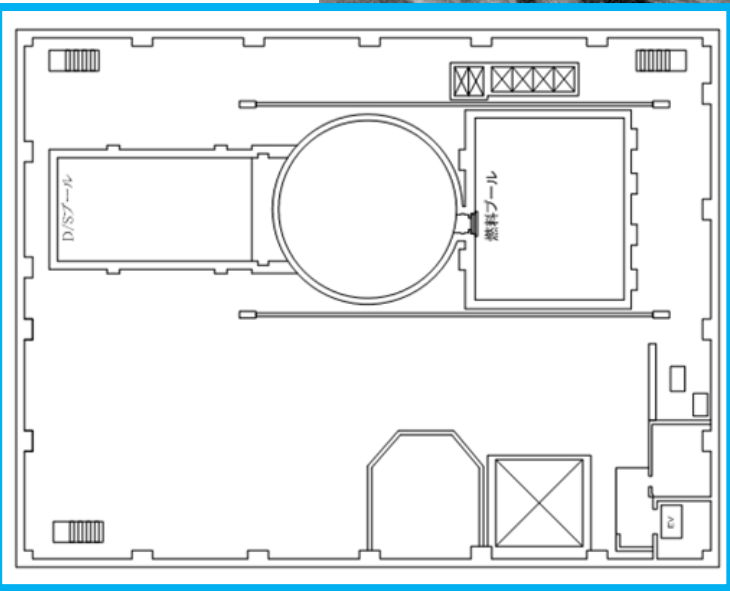
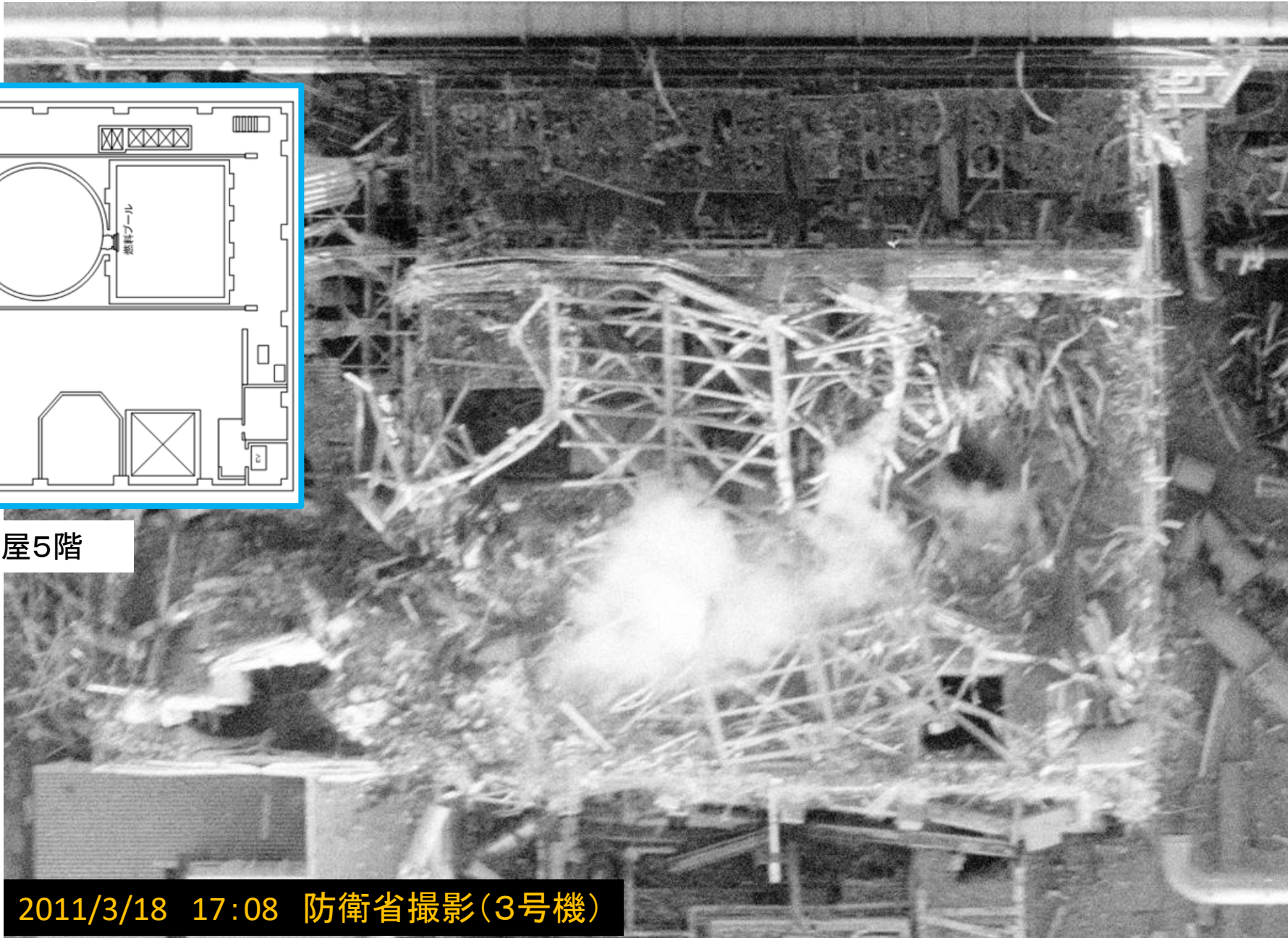
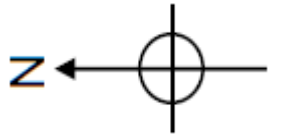
Cs-137

モノロ⇔カラー

Cs-137

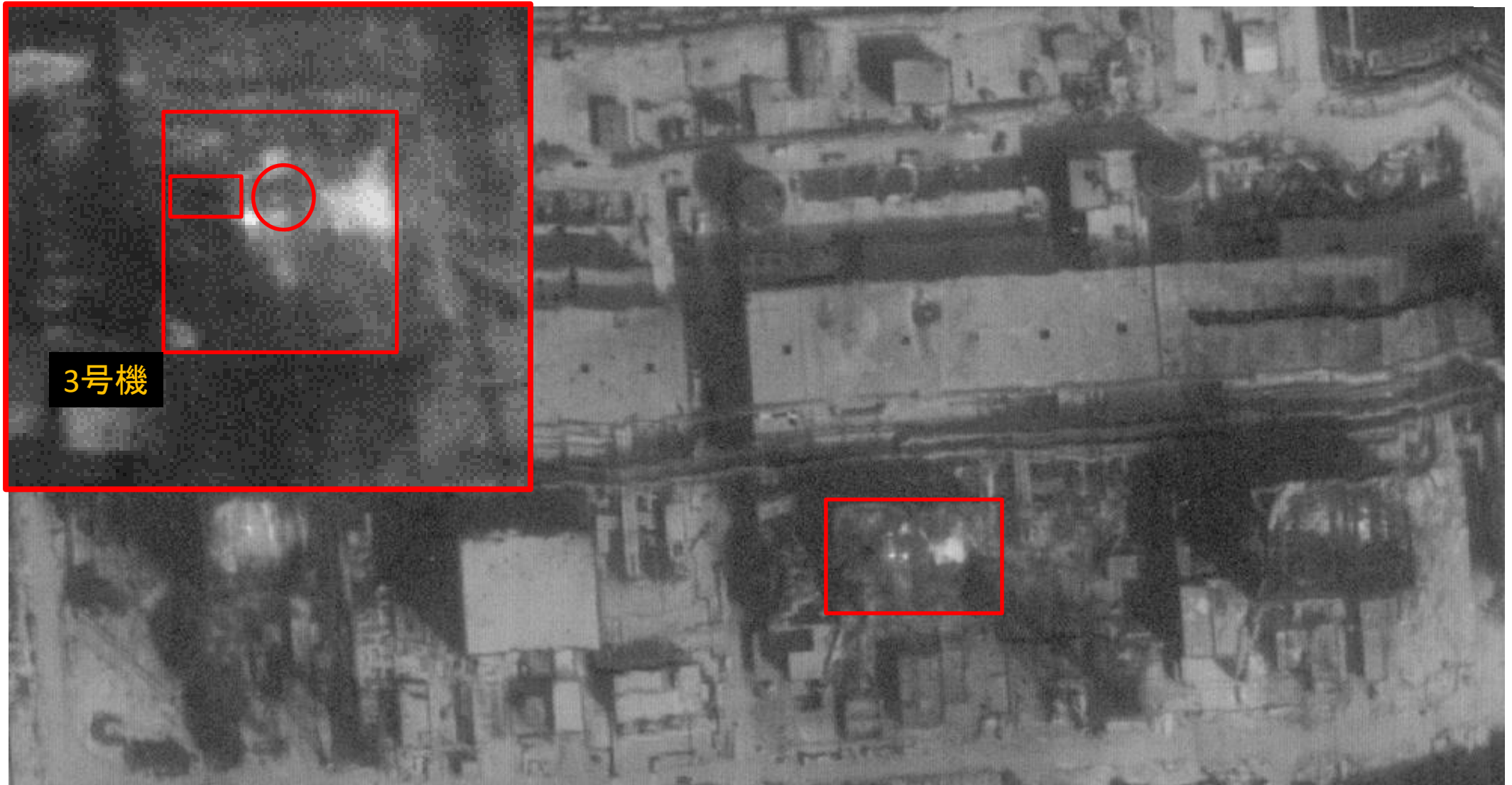
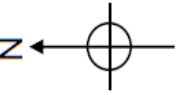
経過時間	00:01:56
全計数	20.156kcount
相対誤差	2.0 %
中心距離	測定範囲外
内部温度	18.2 °C
内部湿度	22.5 %

平成29年3月24日、令和元年6月21日
原子力規制庁撮影



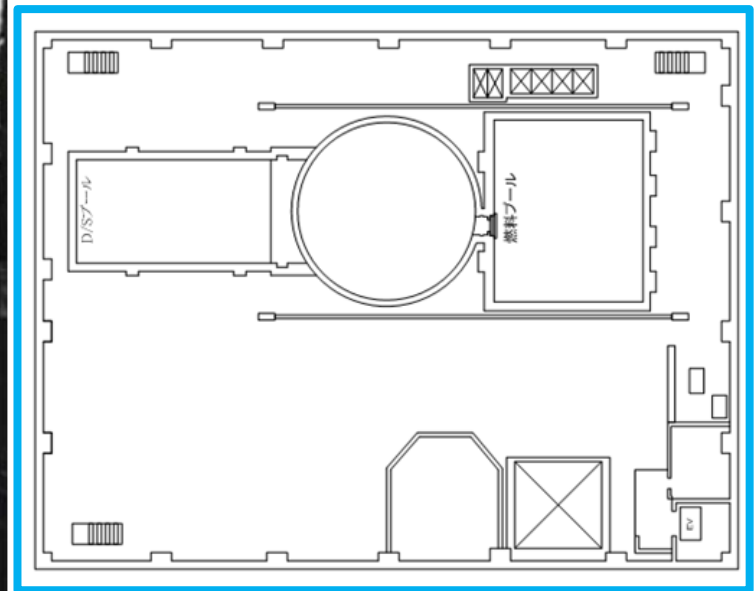
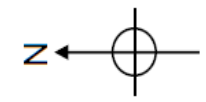
3号機原子炉建屋5階

2011/3/18 17:08 防衛省撮影(3号機)



3号機

2011/3/18 13:49 防衛省撮影(3号機 IR)



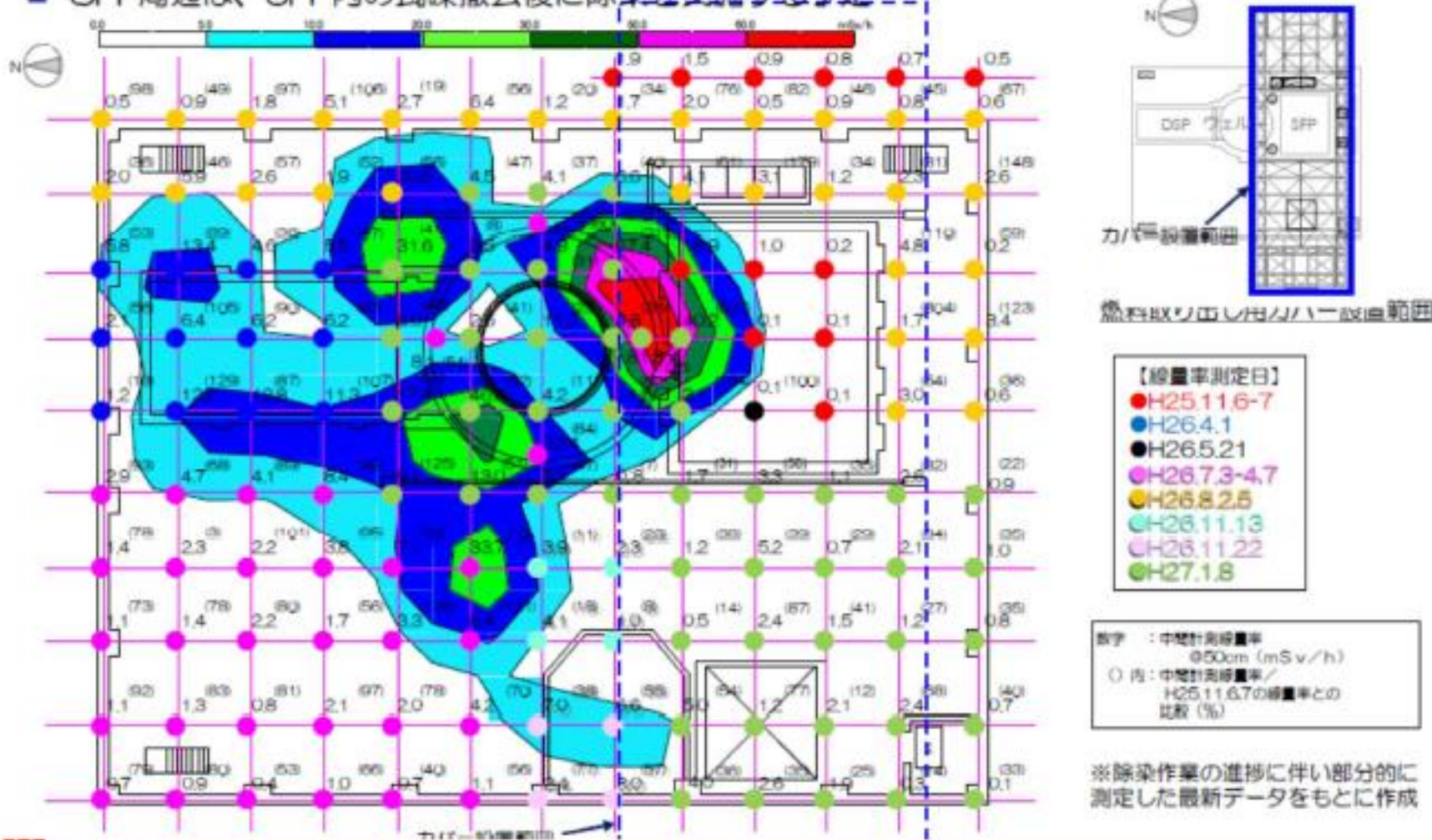
3号機原子炉建屋5階

2014/12/8 東電クレーンカメラ

FL+0.5m線量率(過去の測定結果)

H27.7.1監視・評価検討会資料より抜粋

- 現在のオペフロ+50cm高さでのコリメート付き線量測定装置による測定値は以下の通り
- SFP周辺は、SFP内の瓦礫撤去後に除染を実施する予定



【線量率測定日】

- H25.11.6-7
- H26.4.1
- H26.5.21
- H26.7.3-4.7
- H26.8.2.5
- H26.11.13
- H26.11.22
- H27.1.8

数字 : 中層計測線量率
@50cm (mSv/h)
○内: 中層計測線量率/
H25.11.6.7の線量率との
比較 (%)

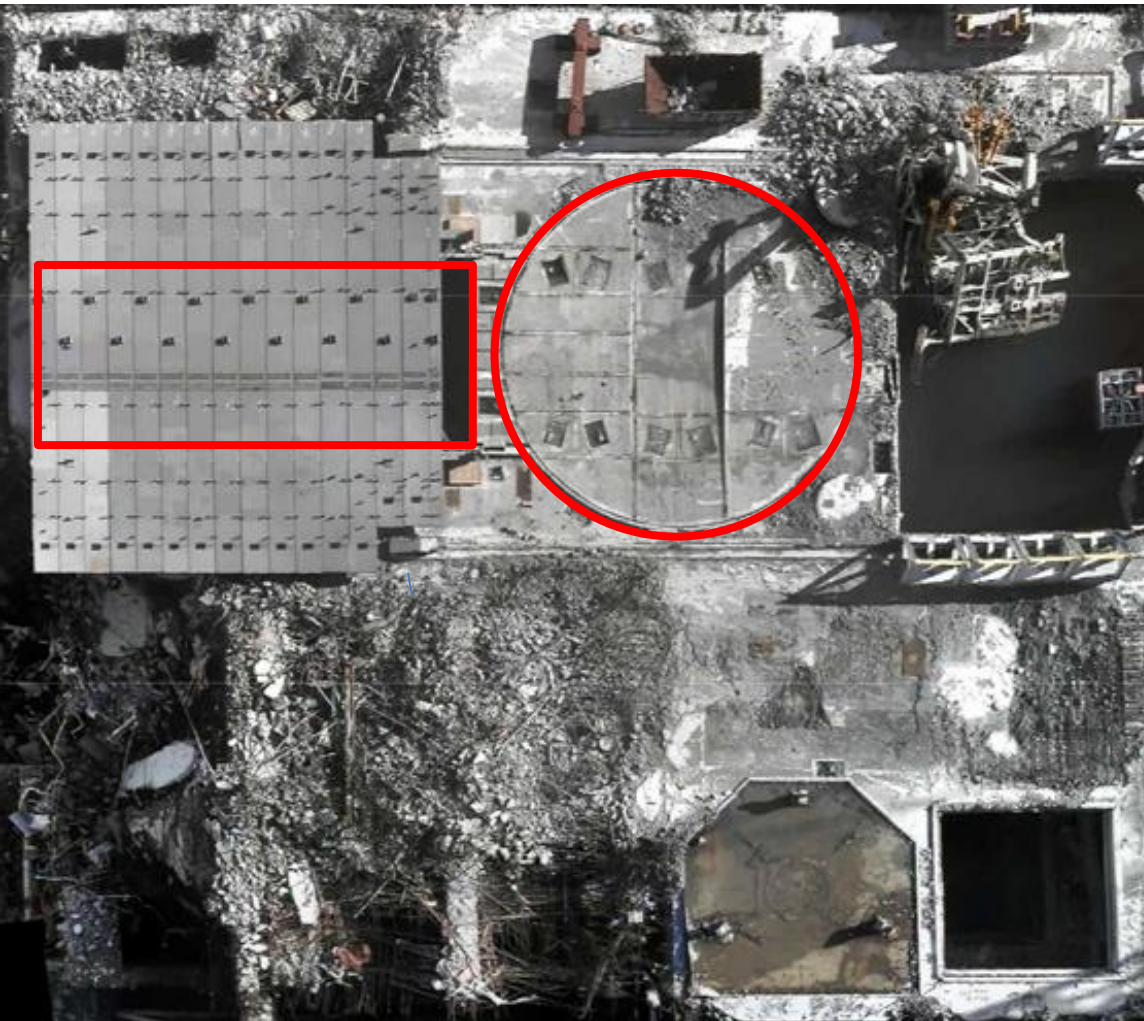
※除染作業の進捗に伴い部分的に
測定した最新データをもとに作成

福島第一原子力発電所
3号機原子炉建屋オペ
レーティングフロアの
線量低減状況について
2016年3月31日
東京電力株式会社 より抜粋

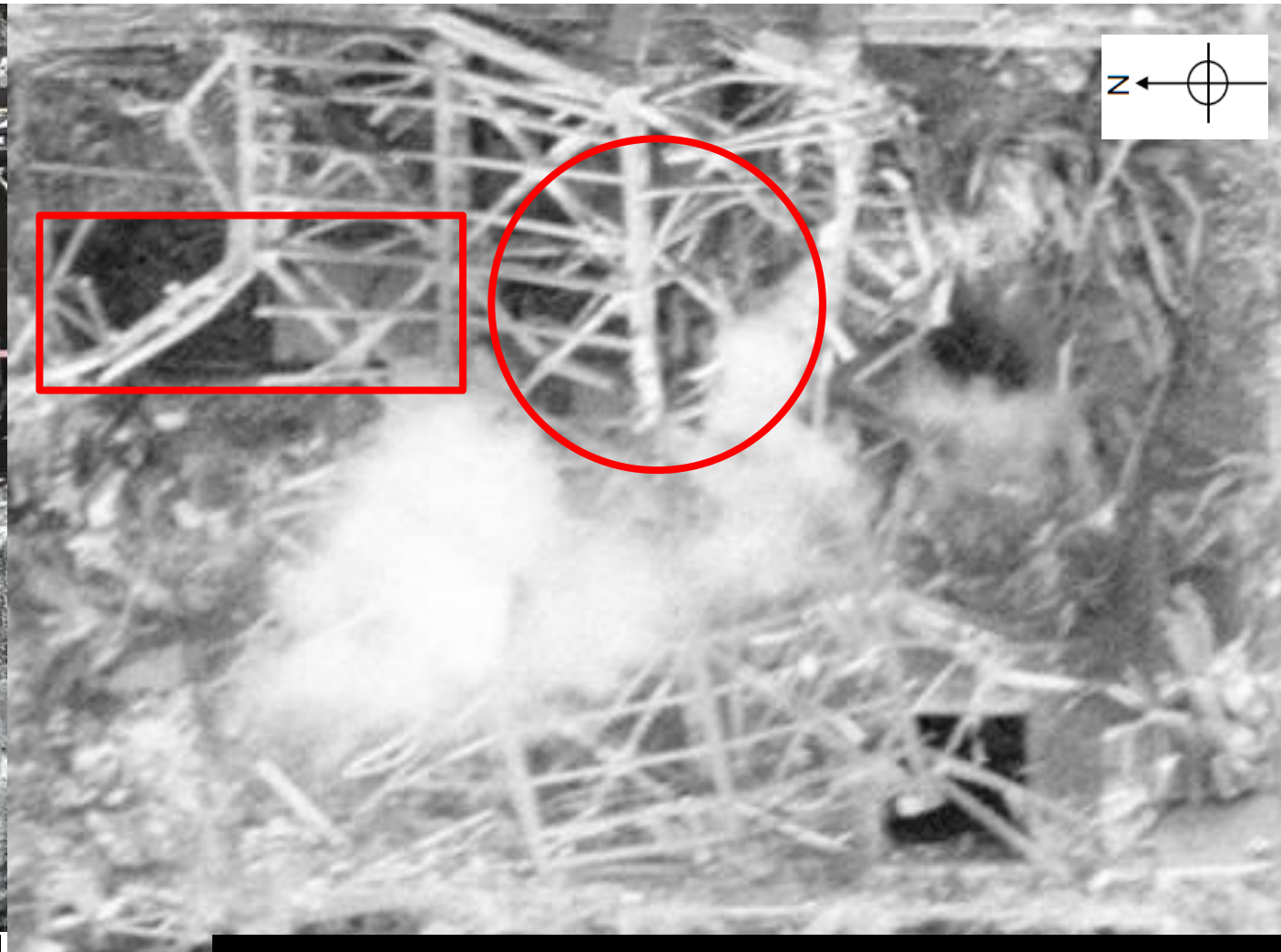
3号機原子炉建屋北西部の損傷状況



平成23年3月15日東京電力撮影を一部加工



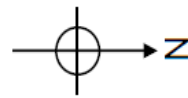
2014/12/8 東電クレーンカメラ



2011/3/18 17:08 防衛省撮影

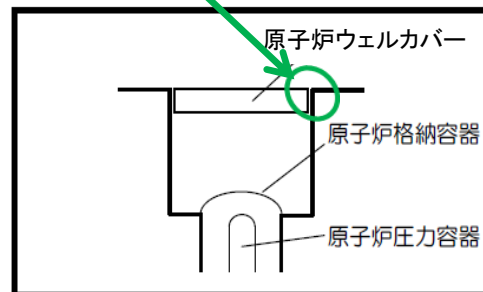
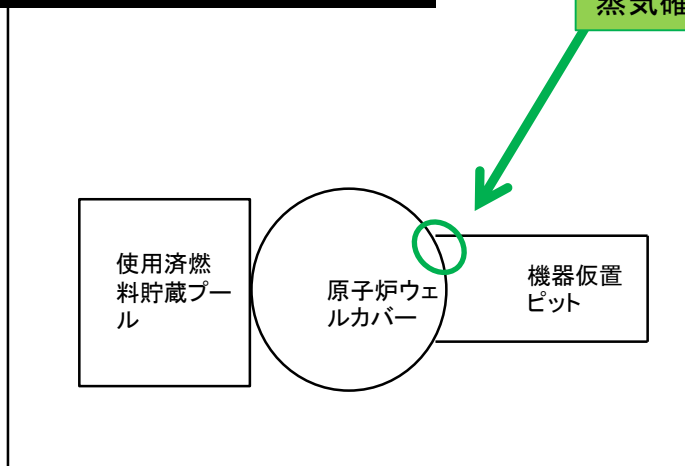


2011年3月27日防衛省撮影



2011年8月24日東電撮影を一部加工

蒸気確認位置



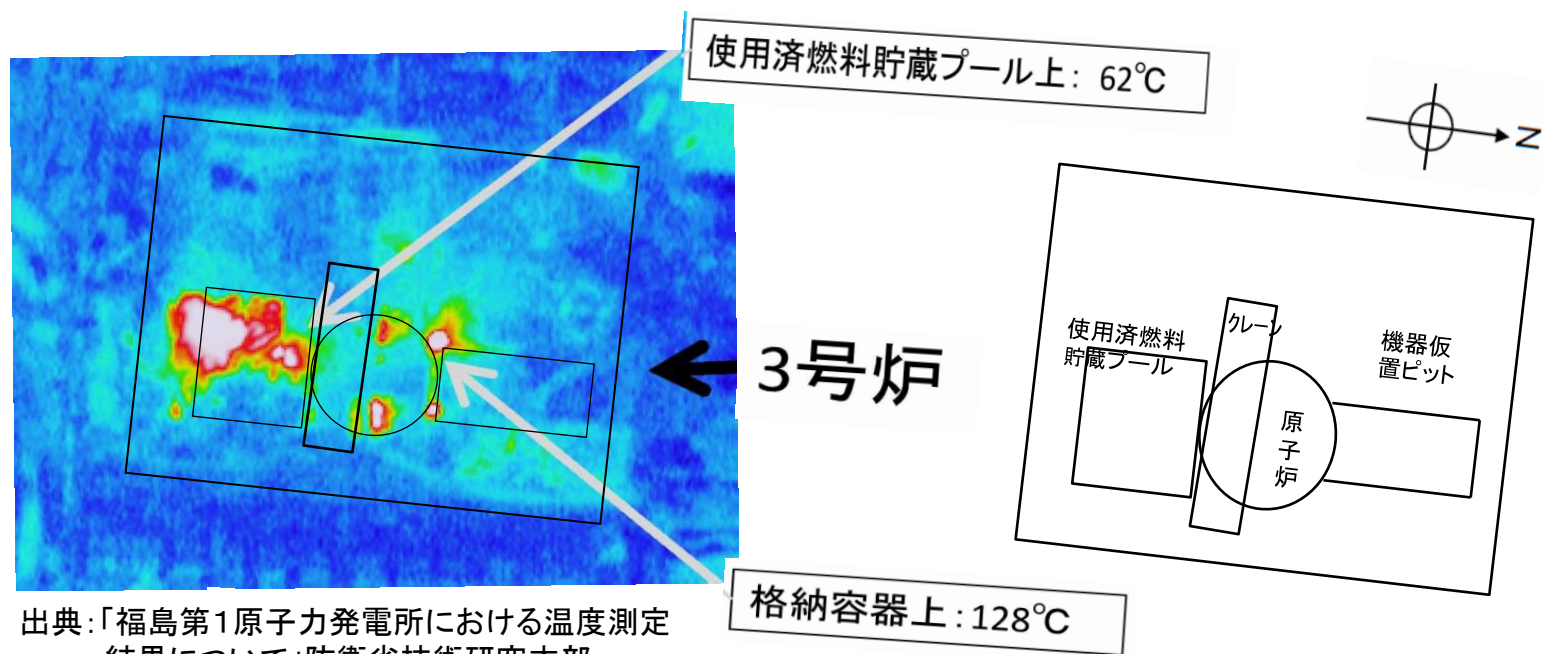
【3号機ウェル周辺 断面イメージ】



2014年1月31日東電撮影を一部加工

(4) 白煙の発生(B) (2)

- 防衛省による温度測定結果に、3号機5階部分の簡易的な図面を重ね合わせたところ、燃料貯蔵プールは約60度と白煙(大量の水蒸気)を発生させるほどの温度ではない。
- 他方、原子炉格納容器上と考えられる場所は、100度を超える温度となっており、白煙(大量の水蒸気)が発生する可能性がある。



出典:「福島第1原子力発電所における温度測定結果について」防衛省技術研究本部
 (平成23年3月20日)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3回会合)(平成25年8月30日)資料2より抜粋

前回会合(11月28日)における論点の整理案

～1, 2号機及び3, 4号機ベント配管の汚染～

1, 2号機及び3, 4号機ベント配管の汚染状況

1, 2号機と3, 4号機の汚染レベルの差

- 1, 2号機と3, 4号機は、体系的に「相似」の関係
- 格納容器内のCs濃度と排出総量の差に依存
- 1号機は、ドライで高温なベントガス。3号機は、ウェットで低温なベントガス。
- スクラビングは、サブクールや減圧沸騰の有無より水深がDF効果に影響する
- 1, 3号機の炉心損傷の経緯
- PCVからの漏えい箇所、時期
- 配管等における蒸気凝縮の影響
- 1号機ベントは1回成立
- 3号機ベントは2回成立

⇒ 検討会(次々回以降)

2, 3, 4号機のSGTSフィルタの汚染状況と逆流経路

- 2号機RDの汚染状況と作動の関係
- FP及び水素の逆流経路、汚染レベルの差
- GDのベント時の逆流防止機能

⇒ 検討会(今回、次回)

1号機S/C内の真空破壊弁周辺に高い汚染

- 1号機ベントは真空破壊弁を通じてスクラビングなしの可能性
- 真空破壊弁の構造、機能
- 1, 2号機SGTS配管の高温履歴とベントの関連性

⇒ 検討会(次々回以降)

スタック下部に高線量箇所

- スタック内部の構造が影響
- スタックの構造、機能及び汚染状況

⇒ 検討会(次回)

■ 現地調査等により確認された事項
■ 主な論点

調査・分析項目等

第8回会合(R1.11.28)における論点整理(案)

1) 耐圧強化ベント(AM対策)

【1/4】

- ① 1,2号機ベント配管の汚染
- ② 1～3号機耐圧強化ベント
- ③ SGTS逆流汚染
- ④ RDの動作

内容・論点

- ✓ 1,2号機ベント配管の高い汚染
- ✓ S/CにおけるDFの効果、蒸気凝縮の影響、真空破壊装置の機能維持
- ✓ 1～3号機のベント成立性

2号機はベントに成功しなかったのではないかと示唆あり。

2号機RDは結果として作動していない。
2号機ベントは成立していない。

各号機のSGTS系の汚染状況から1,2号機と3,4号機は体系的に相似の関係と考えられる。

1,2号機と3,4号機のベント系の汚染は相似しており、FPと水素は1号機または3号機から供給された。

GDは、ベント時に自号機への逆流および他号機への供給が生じている可能性があるため、逆流防止の性能確認が必要。(⇒ 次回議論)

2,4号機へのFP及び水素の逆流の経路、2,4号機の汚染の程度の差は更に確認が必要。(⇒ 次回議論)

1, 2号機スタック下部の高線量化の原因として、スタック内部の構造の影響が考えられる。

スタックへの配管接続方法が異なることからその構造の確認が必要。(⇒ 次回議論)

調査・分析項目等	第8回会合(R1.11.28)における論点整理(案)	
<p>1) 耐圧強化ベント(AM対策) 【2/4】</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 1,2号機ベント配管の汚染 ② 1～3号機耐圧強化ベント ③ SGTS逆流汚染 ④ RDの動作 <p>内容・論点</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1,2号機ベント配管の高い汚染 ✓ S/CにおけるDFの効果、蒸気凝縮の影響、真空破壊装置の機能維持 ✓ 1～3号機のベント成立性 	<p>1号機及び3号機の汚染状況から、数百倍の汚染レベルの相違がある。汚染の相違は、格納容器内のCs濃度と排出総量の差に依存していると考えられる。 ➡</p>	<p><u>1,3号機の炉心損傷の経緯、格納容器からの漏えい箇所、時期については更に検証が必要。(⇒ 次々回以降議論)</u></p>
	<p>汚染状況は、1号機と3号機の放出量について、平成24年5月の「福島第一原子力発電所事故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」(東京電力HD株式会社)と相違がある。 ➡</p>	<p>東京電力から、平成24年5月の報告書は、環境の放射能汚染の状況を再現するような放出量を設定し、拡散評価するバックワード解析を基にしており、事故進展の挙動を反映しきれていない旨の回答があった。</p>

調査・分析項目等

第8回会合(R1.11.28)における論点整理(案)

1) 耐圧強化ベント(AM対策)

【3/4】

- ① 1,2号機ベント配管の汚染
- ② 1～3号機耐圧強化ベント
- ③ SGTS逆流汚染
- ④ RDの動作

内容・論点

- ✓ 1,2号機ベント配管の高い汚染
- ✓ S/CにおけるDFの効果、蒸気凝縮の影響、真空破壊装置の機能維持
- ✓ 1～3号機のベント成立性

配管等における蒸気凝縮の影響。

ベント時の排気は非常に水蒸気濃度の高い排気となっていると考えられ、水蒸気の凝縮がCsの配管への付着に大きく影響していると考えられる。



1号機は、ドライなガスが高温で放出、3号機は、低い温度の水蒸気を多く含んだウェットなガスが放出されたと考えられる。

(⇒ 次々回以降議論)

1, 2号機SGTS配管の高温履歴の確認とベントガスとの関連性を確認することが必要。(⇒ 次々回以降議論)

ベント時の排気系の汚染程度を算出するシミュレーションと観測結果の比較検討を行う。(⇒ 次々回以降議論)

3号機は、原子炉圧力、D/W圧力、S/C圧力の推移から2回のベントが成功、1号機は、1回のベントが成功したと考えられる。(⇒ 次々回以降議論)

3号機の原子炉圧力の急速な低下(13日午前9時頃)については、サンディア研究所等の仮説を確認することが必要。(⇒ 次々回以降議論)

調査・分析項目等	第8回会合(R1.11.28)における論点整理(案)	
<p>1) 耐圧強化ベント(AM対策) 【4/4】</p> <p>①1,2号機ベント配管の汚染 ②1～3号機耐圧強化ベント ③SGTS逆流汚染 ④RDの動作</p> <p>内容・論点</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1,2号機ベント配管の高い汚染 ✓ S/CにおけるDFの効果、蒸気凝縮の影響、真空破壊装置の機能維持 ✓ 1～3号機のベント成立性 	<p>S/C水のサブクール度や減圧沸騰の有無によるDF効果への影響はあるのか。</p> <p style="text-align: right;">➡</p>	<p><u>スクラビングの効果は、サブクールや減圧沸騰の有無よりも水深がDFの効果に影響すると考えられる。(⇒ 次々回以降議論)</u></p> <hr/> <p><u>スクラビングによるDF効果について幾つかの研究成果があり、議論が必要。(⇒ 次々回以降議論)</u></p>
	<p>1号機S/C内の真空破壊弁周辺に高い汚染が確認されている。</p> <p style="text-align: right;">➡</p>	<p><u>1号機ベントは、S/Cの真空破壊弁を通じたスクラビングされていないベントガス放出の可能性。更なる確認が必要。(⇒ 次々回以降議論)</u></p>

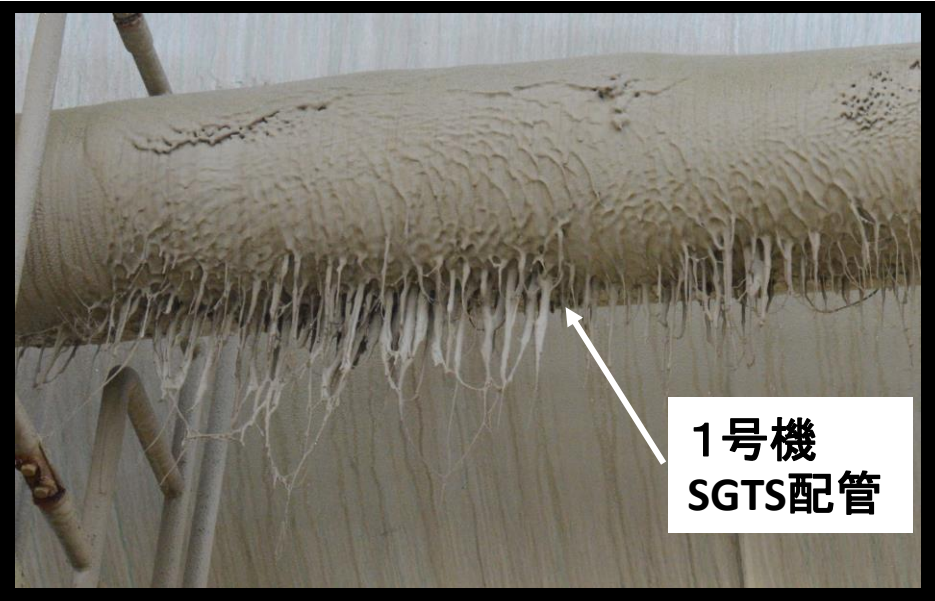
追加確認事項

- 1～3号機のベントについて、ライブカメラによるスタック頂部の映像に関しては、外気温をあわせて提示すること。
- 3, 4号機のSGTS系のバックグラウンドの線量について、オーダーレベルで構わないので周辺の状態を提示すること。
- 1号機の真空破壊弁の構造から見て、ある程度閉まらなくなった状態での減圧量、及びその流量を基にした汚染の程度が実測値(CAMSでは100～150Sv/hのレベル)と整合するのか、定量的な議論が必要。
- 1, 2号機スタック下部の線量については、今回のデータのみではなく、平成23年～25年等の東京電力の測定データも含めて、測定場所や測定方法の確認が必要。
- 1, 2号機のSGTSからスタック下部、頂部にかけての線量のデータについては、事故に近い時期の測定データも含めて提示すること。
- 1, 2号機及び3, 4号機のスタックの構造、並びに真空破壊弁の構造等については、図面を基にした議論が必要。
- 事故分析検討会の議論に必要な図書等については、整理して必要なリストを提示し、東京電力に提供を依頼する。
- スクラビングについては、電共研やJAEA等の研究成果を開示してもらい、DFの効果についてデータを基にした議論が必要。

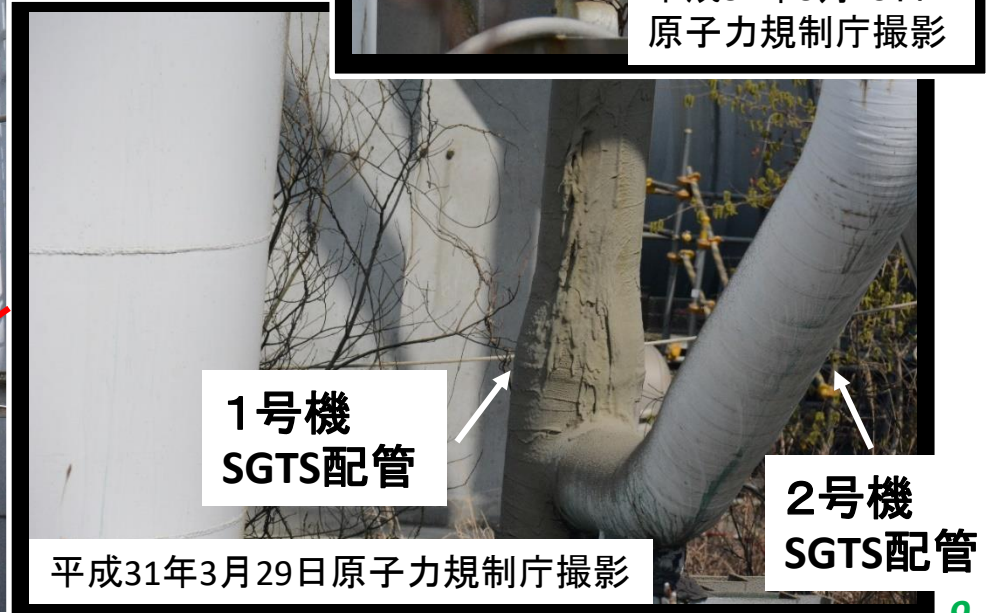
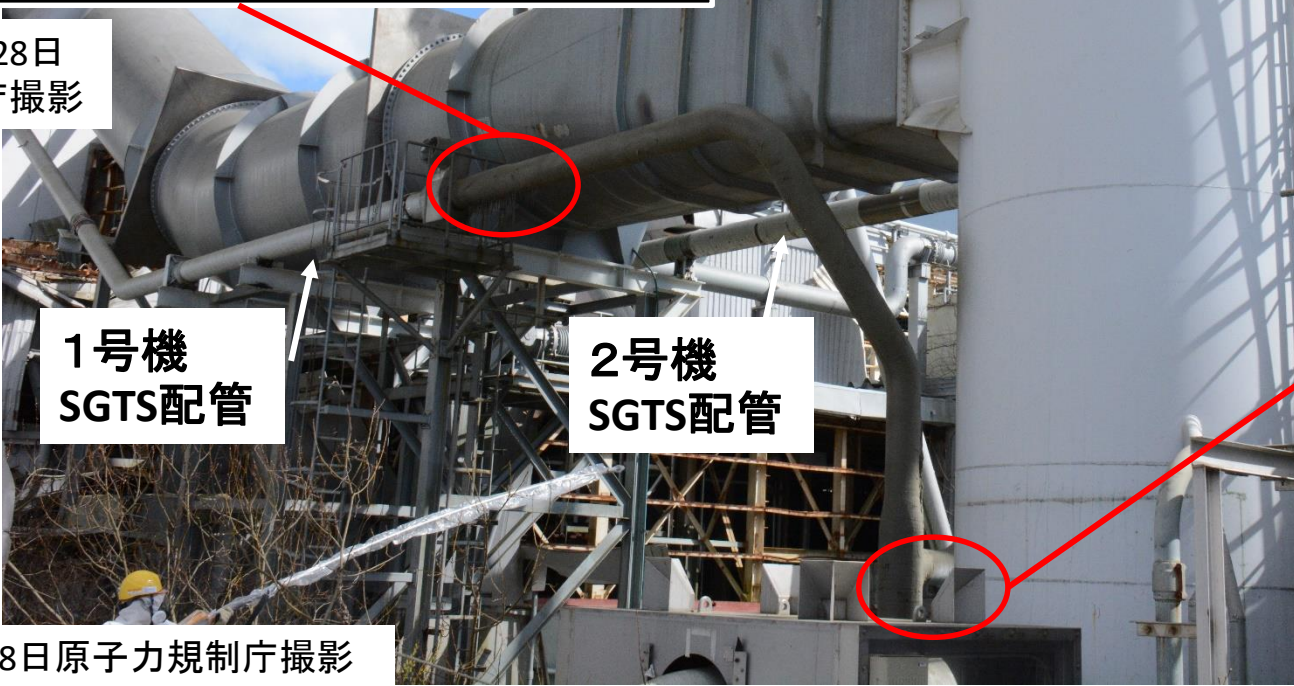
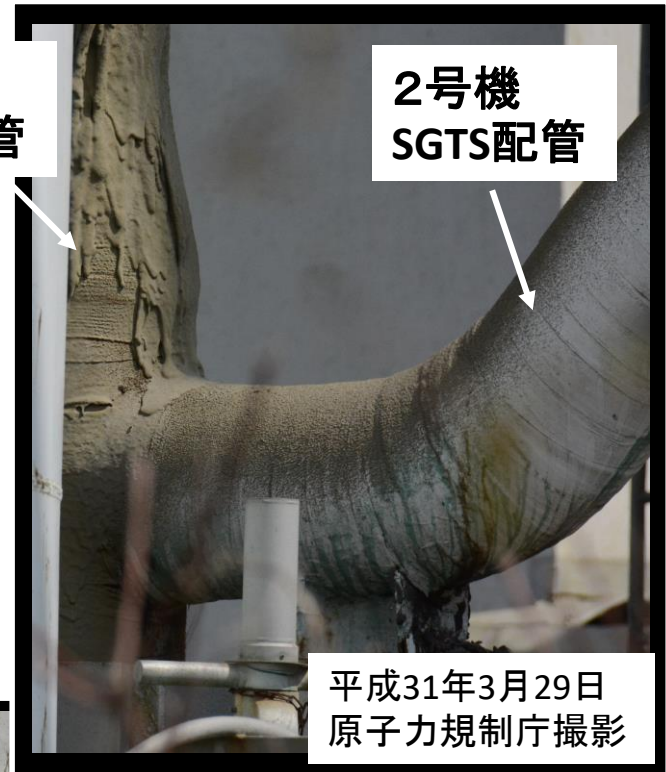
追加説明資料

- 1号機SGTS配管部の熱損傷状況
(平成31年3月28, 29日現地調査結果)

- 1, 2号機SGTS配管部の汚染状況
(平成31年3月28, 29日現地調査結果)



平成31年3月28日
原子力規制庁撮影



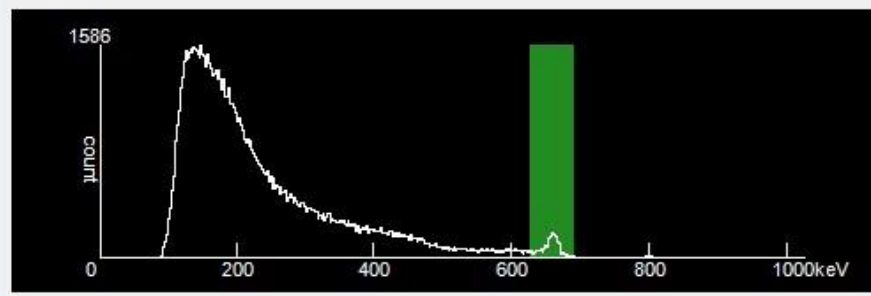
GammaDetector2

AUTO 1.612 2019年03月29日 11時17分



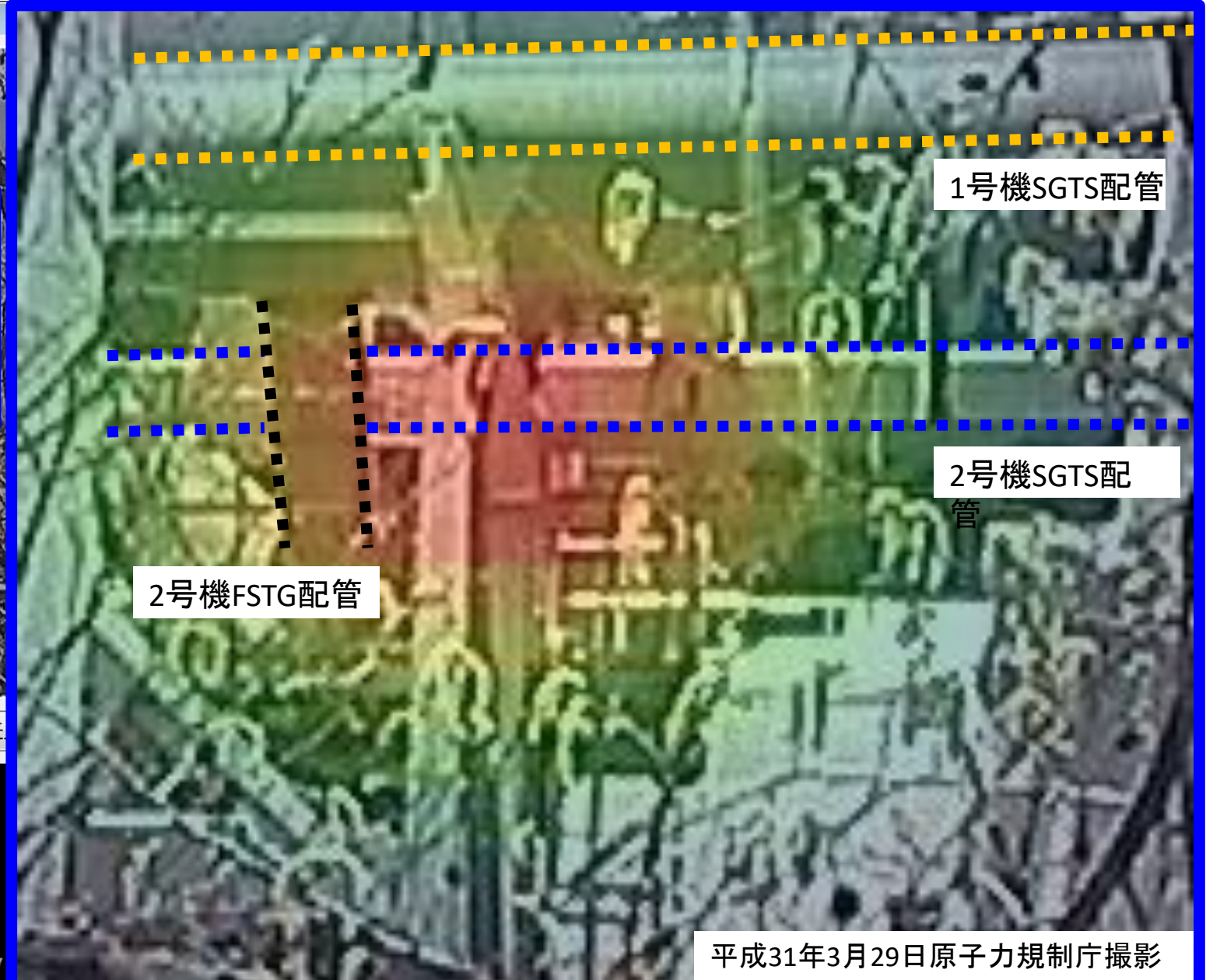
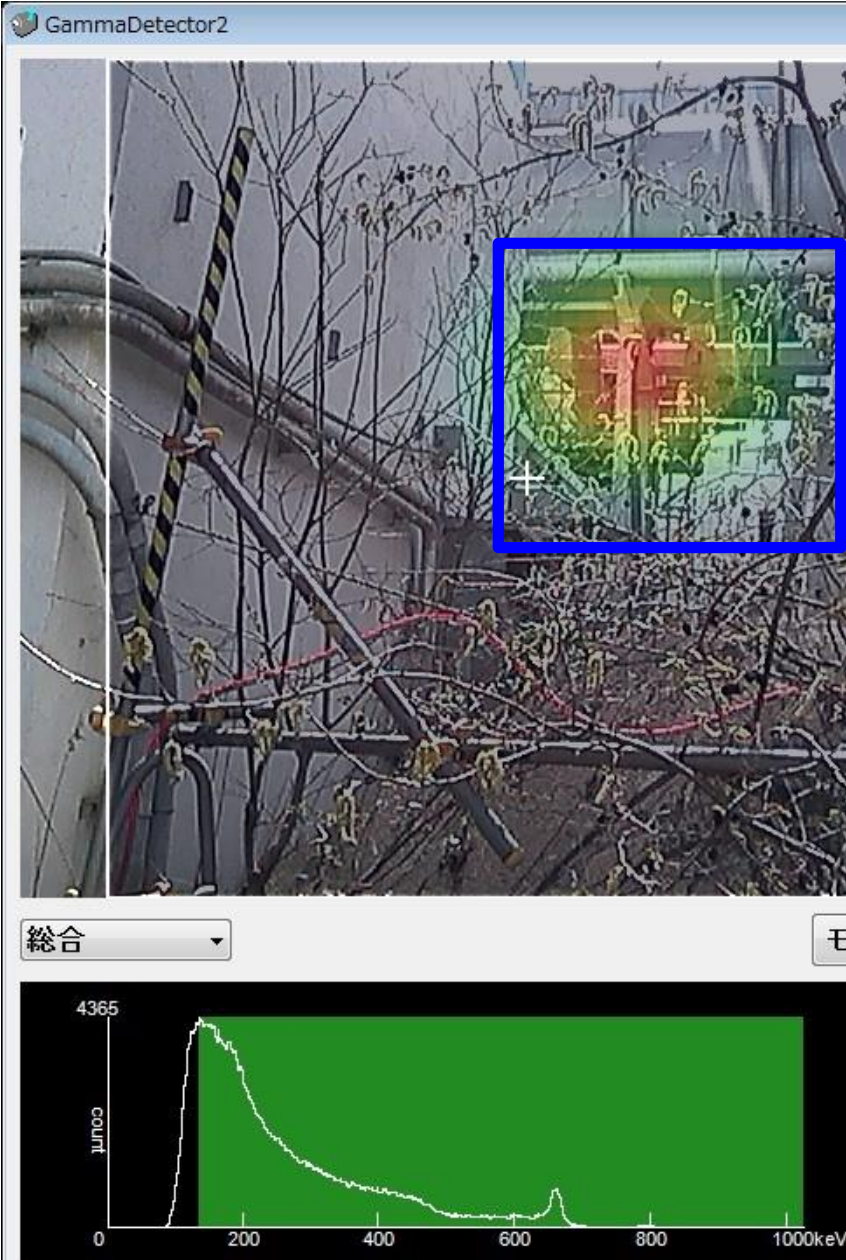
Cs-137

モノクロ⇄カラ



経過時
全計数
相対誤
中心距
内部温
内部湿

平成31年3月29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

現地調査等の概要

～耐圧強化ベントラインにおける汚染状況～

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(1) 目的

1～4号機の耐圧強化ベントラインについては、原子炉格納容器内のサプレッション・チェンバ(S/C)のベントガスを非常用ガス処理系(SGTS)配管を經由して主排気筒から大気へ放出しているが、これらのSGTSライン及び主排気筒の線量測定から放射性物質による高い汚染が確認されている。

これは、耐圧強化ベントによって、原子炉格納容器内の放射性物質を含む高温・高圧の蒸気が耐圧強化ベントライン及びSGTSラインを經由し主排気筒から放出される際に、放出経路となった配管等を汚染したものと考えられるが、汚染の程度は各号機によって異なっている。これらは、汚染源となる放射性物質を含む蒸気の状態、配管圧損や水蒸気凝縮の程度が重要な要因となっていると考えられる。

そのため、1～4号機のSGTS配管等及び主排気筒について、ガンマカメラ測定によるCs-137放射能の推定、電離箱等による周辺線量当量率の測定、鉛コリメータ付きCdZnTeによる波高分布測定等を行った。

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(2) 調査日時等

- | | | |
|---|-----------------------|--|
| ① | 令和元年11月15日(金) | 1,2号機R/B建屋外、4号機R/B建屋内 【※2】 |
| ② | 8月22日(木)～23日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内 |
| ③ | 8月 1日(木)～ 2日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内 【※1, 9】 |
| ④ | 6月19日(水)～21日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内、4号機SGTS室内 【※4, 6, 7】 |
| ⑤ | 平成31年 3月28日(木)～29日(金) | 1, 2号機主排気筒周辺 【※8】 |
| ⑥ | 2月22日(金) | 1, 2号機主排気筒周辺(主排気筒基部) 【※3】 |

※8月23日、8月1日、6月19日は、現地調査に係る事前準備等を実施。

※【 】は、第8回会合の資料2(別紙)の表中の番号を示す。(p.19参照)

(3) 調査実施者

原子力規制庁職員 3名～7名

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(4) 被ばく線量

①	令和元年11月15日(金)	最大:0.27mSv、最小:0.14mSv (屋外、4号機R/B)	4名
②	8月22日(木)	最大:1.47mSv、最小:0.19mSv (2号機R/B、3号機R/B)	7名
③	8月 2日(金)	最大:1.58mSv、最小:1.16mSv (2号機R/B、3号機R/B)	3名
④	6月20日(木)	最大:0.43mSv、最小:0.32mSv (3号機R/B)	6名
	6月21日(金)	最大:0.24mSv、最小:0.16mSv (2号機R/B)	6名
⑤	平成31年 3月28日(木)	最大:0.37mSv、最小:0.19mSv (屋外)	4名
	3月29日(金)	最大:0.45mSv、最小:0.18mSv (屋外)	4名
⑥	2月22日(金)	最大:0.19mSv、最小:0.15mSv (屋外)	4名

※被ばく線量[mSv]の最大、最小は、調査実施者[名]のうち、最も被ばく線量の高い人の値と低い人の値を示した。
また、現地調査で主に調査を行った建屋等を()で並記した。

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(5) 調査資機材等

- | | | |
|---|-----------------------|---|
| ① | 令和元年11月15日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、日立製ガンマカメラ(HDG-E1500) |
| ② | 8月22日(木)～23日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、日立製ガンマカメラ(HDG-E1500) |
| ③ | 8月 1日(木)～ 2日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、日立製ガンマカメラ(HDG-E1500)
テレテクター(GM計数管)、 |
| ④ | 6月19日(水)～21日(金) | アロカ製電離箱(ICS-323C)、日立製ガンマカメラ(HDG-E1500)
テレテクター(GM計数管)、RayMon(CZT結晶) |
| ⑤ | 平成31年 3月28日(木)～29日(金) | 日立製ガンマカメラ(HDG-E1500) |
| ⑥ | 2月22日(金) | 日立製ガンマカメラ(HDG-E1500) |

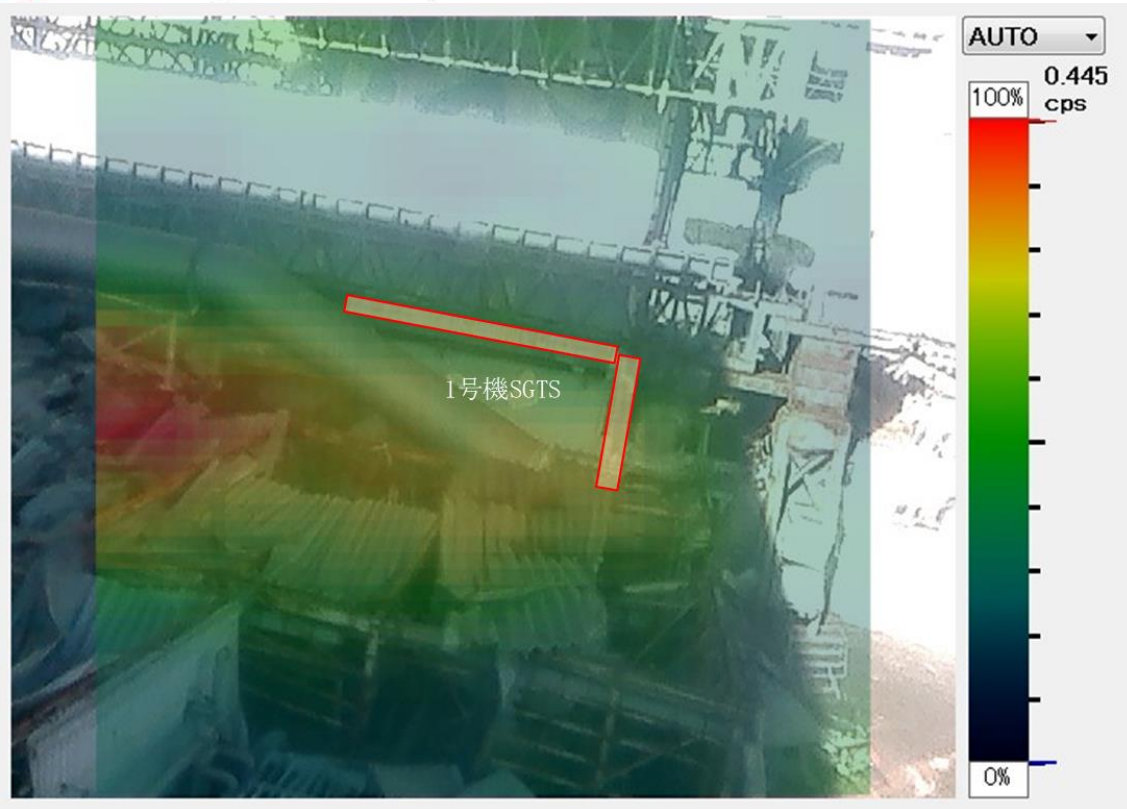
※その他、撮影機材、照明を使用するとともに、現地調査に必要な防護装備を着用している。

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(6) 調査結果

① 令和元年11月15日(金)

1,2号機R/B建屋外、4号機R/B建屋内



令和元年11月15日原子力規制庁撮影

第1図 Cs-137全エネルギー吸収モードによる測定画像

		Cs-137 peak cps															
i		j															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		0.217	0.150	0.167	0.200	0.300	0.133	0.217	0.150	0.200	0.233	0.233	0.117	0.183	0.150	0.117	0.033
2		0.083	0.100	0.117	0.133	0.183	0.150	0.100	0.050	0.200	0.033	0.167	0.133	0.150	0.133	0.117	0.167
3		0.100	0.017	0.067	0.067	0.083	0.067	0.117	0.083	0.083	0.050	0.167	0.183	0.167	0.083	0.083	0.083
4		0.067	0.083	0.083	0.117	0.117	0.100	0.033	0.117	0.117	0.067	0.150	0.117	0.183	0.183	0.050	0.150
5		0.083	0.083	0.117	0.100	0.183	0.167	0.050	0.083	0.050	0.133	0.083	0.050	0.083	0.100	0.100	0.067
6		0.250	0.167	0.217	0.150	0.233	0.167	0.133	0.233	0.183	0.233	0.067	0.117	0.100	0.083	0.100	0.083
7		0.333	0.233	0.233	0.333	0.250	0.267	0.300	0.333	0.183	0.167	0.217	0.200	0.117	0.083	0.150	0.017
8		0.467	0.367	0.417	0.400	0.350	0.283	0.250	0.300	0.283	0.250	0.200	0.217	0.117	0.250	0.067	0.100
9		0.233	0.367	0.500	0.250	0.367	0.433	0.283	0.350	0.283	0.367	0.367	0.183	0.150	0.150	0.083	0.067
10		0.383	0.417	0.317	0.267	0.350	0.333	0.317	0.383	0.300	0.450	0.383	0.433	0.233	0.133	0.083	0.100
11		0.233	0.283	0.300	0.250	0.350	0.283	0.367	0.300	0.417	0.283	0.167	0.317	0.200	0.150	0.183	0.167
12		0.200	0.300	0.200	0.200	0.233	0.250	0.233	0.283	0.350	0.183	0.217	0.183	0.167	0.167	0.100	0.133
13		0.083	0.167	0.100	0.183	0.267	0.150	0.167	0.183	0.217	0.100	0.133	0.217	0.167	0.067	0.050	0.083
14		0.100	0.133	0.150	0.167	0.117	0.133	0.117	0.150	0.133	0.100	0.167	0.200	0.067	0.083	0.100	0.117
15		0.150	0.067	0.100	0.100	0.100	0.183	0.033	0.117	0.117	0.117	0.167	0.117	0.133	0.133	0.100	0.167
16		0.117	0.050	0.083	0.083	0.083	0.117	0.100	0.117	0.133	0.183	0.067	0.117	0.100	0.133	0.083	0.217

第2図 ピクセル毎のCs-137全エネルギー吸収ピーク計数率

		GBq															
i		j															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7						7.1E+00	7.4E+00	7.2E+00	8.1E+00	4.5E+00	4.0E+00	6.1E+00	5.7E+00				
8											6.7E+00	6.1E+00	6.6E+00				
9												1.1E+01	5.7E+00				
10																	
11																	

第3図 1号機SGTSに対応したピクセル毎のCs-137放射能 (GBq)



令和元年11月15日原子力規制庁撮影

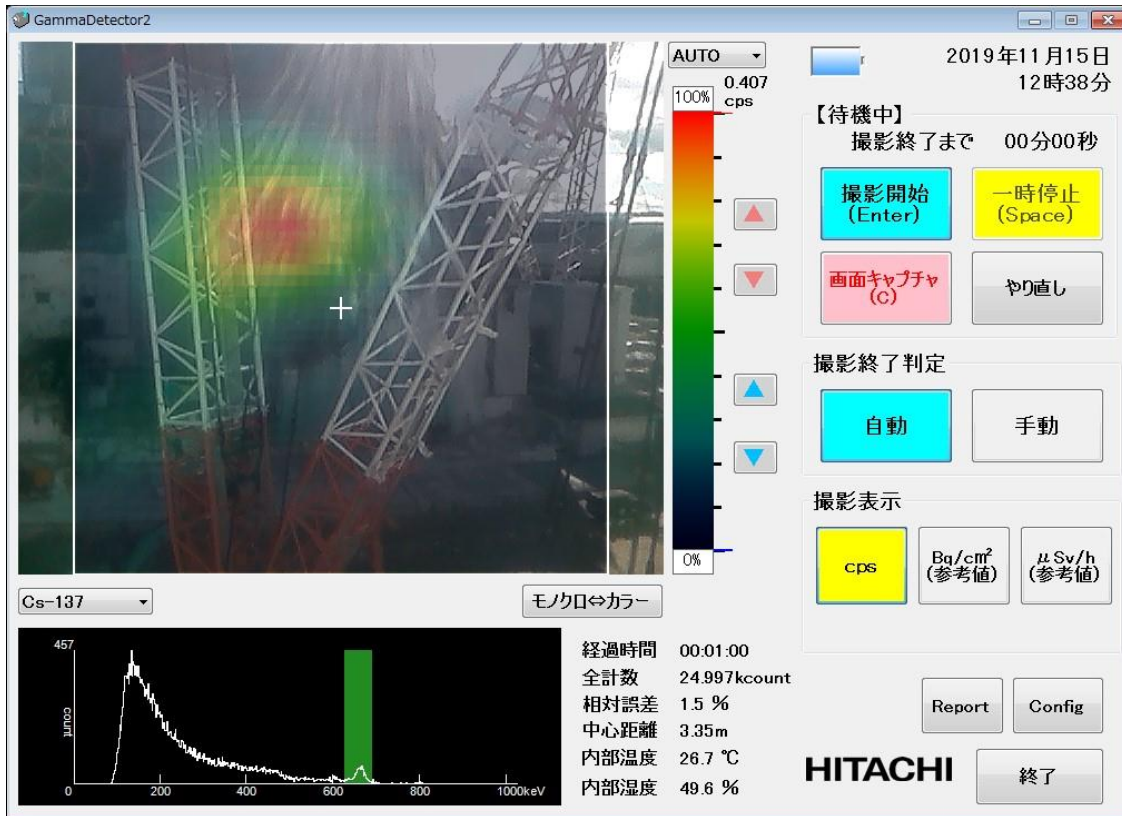
第4図 Cs-137全エネルギー吸収モードによる測定画像

i	j															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.067	0.083	0.100	0.083	0.083	0.033	0.000	0.000	0.050	0.033	0.017	0.050	0.017	0.033	0.033	0.033
2	0.000	0.050	0.100	0.033	0.033	0.083	0.050	0.050	0.067	0.067	0.017	0.000	0.100	0.017	0.033	0.050
3	0.033	0.017	0.067	0.067	0.017	0.083	0.100	0.033	0.017	0.033	0.017	0.017	0.000	0.017	0.033	0.017
4	0.183	0.083	0.050	0.017	0.083	0.100	0.033	0.067	0.000	0.033	0.017	0.067	0.050	0.083	0.067	0.067
5	0.083	0.067	0.117	0.050	0.117	0.100	0.050	0.100	0.050	0.033	0.067	0.000	0.033	0.033	0.017	0.017
6	0.150	0.117	0.100	0.083	0.100	0.167	0.117	0.083	0.067	0.067	0.100	0.083	0.000	0.000	0.000	0.083
7	0.150	0.133	0.133	0.083	0.150	0.083	0.200	0.083	0.117	0.067	0.083	0.033	0.067	0.050	0.083	0.100
8	0.017	0.050	0.050	0.100	0.050	0.117	0.050	0.133	0.083	0.067	0.050	0.050	0.050	0.050	0.067	0.067
9	0.083	0.050	0.083	0.117	0.117	0.133	0.183	0.167	0.083	0.033	0.050	0.050	0.133	0.100	0.133	0.100
10	0.017	0.133	0.050	0.067	0.117	0.050	0.083	0.117	0.100	0.133	0.067	0.200	0.150	0.150	0.117	0.067
11	0.050	0.083	0.083	0.083	0.017	0.167	0.083	0.233	0.100	0.050	0.133	0.133	0.133	0.083	0.117	0.067
12	0.117	0.017	0.133	0.083	0.050	0.150	0.083	0.167	0.167	0.300	0.233	0.383	0.383	0.283	0.383	0.433
13	0.083	0.050	0.050	0.100	0.150	0.050	0.100	0.200	0.233	0.350	0.467	0.483	0.483	0.383	0.450	0.500
14	0.083	0.033	0.133	0.067	0.133	0.167	0.050	0.233	0.150	0.300	0.450	0.350	0.450	0.533	0.700	0.650
15	0.050	0.067	0.133	0.033	0.100	0.200	0.150	0.100	0.200	0.167	0.167	0.200	0.150	0.167	0.167	0.167
16	0.000	0.033	0.083	0.083	0.083	0.083	0.050	0.033	0.100	0.133	0.100	0.067	0.017	0.067	0.033	0.017

第5図 ピクセル毎のCs-137全エネルギー吸収ピーク計数率

i	j																GBq
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
9																	
10																	
11																	
12																	
13		4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	4.8E-01	
14		3.1E-01	1.2E+00	5.7E-01	9.6E-01	1.2E+00	3.5E-01	1.5E+00	1.0E+00	2.0E+00	3.4E+00	2.6E+00	3.5E+00	4.3E+00	6.1E+00	6.0E+00	
15																	
16																	

第6図 2号機SGTSに対応したピクセル毎のCs-137放射能 (GBq)



令和元年11月15日原子力規制庁撮影

第7図 Cs-137全エネルギー吸収モードによる測定画像

i	j															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.033	0.017	0.000	0.017	0.017	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.017	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.033	0.050	0.033	0.000	0.017	0.017	0.017	0.017	0.000	0.017	0.050	0.017	0.000	0.000
3	0.000	0.017	0.067	0.033	0.067	0.017	0.083	0.100	0.050	0.033	0.000	0.017	0.017	0.017	0.017	0.000
4	0.000	0.017	0.050	0.150	0.233	0.183	0.233	0.100	0.033	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.017	0.067	0.017	0.133	0.217	0.417	0.250	0.267	0.217	0.133	0.067	0.033	0.033	0.017	0.000	0.000
6	0.050	0.083	0.067	0.233	0.417	0.467	0.583	0.550	0.300	0.183	0.100	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.033	0.100	0.183	0.383	0.300	0.433	0.367	0.333	0.167	0.083	0.050	0.017	0.000	0.000	0.017	0.000
8	0.033	0.033	0.067	0.300	0.217	0.200	0.183	0.150	0.133	0.017	0.033	0.017	0.017	0.017	0.000	0.000
9	0.033	0.017	0.000	0.133	0.183	0.100	0.067	0.050	0.017	0.083	0.050	0.000	0.000	0.033	0.017	0.000
10	0.017	0.067	0.067	0.150	0.200	0.050	0.033	0.083	0.050	0.067	0.017	0.017	0.033	0.000	0.017	0.017
11	0.017	0.133	0.133	0.100	0.133	0.067	0.050	0.050	0.017	0.017	0.017	0.033	0.017	0.017	0.000	0.017
12	0.100	0.100	0.150	0.167	0.117	0.033	0.017	0.017	0.017	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.017
13	0.100	0.083	0.050	0.083	0.033	0.067	0.017	0.067	0.000	0.017	0.000	0.033	0.033	0.017	0.000	0.033
14	0.050	0.067	0.050	0.033	0.083	0.017	0.033	0.000	0.000	0.017	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
15	0.000	0.017	0.017	0.000	0.017	0.000	0.033	0.000	0.000	0.033	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.017	0.017	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000

第8図 ピクセル毎のCs-137全エネルギー吸収ピーク計数率

i	j																GBq
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1																	
2																	
3																	
4				3.8E+01	5.2E+01	4.2E+01	4.5E+01	2.0E+01									
5				3.2E+01	4.5E+01	8.8E+01	4.6E+01	4.8E+01	4.8E+01	2.4E+01							
6			1.5E+01	4.8E+01	7.8E+01	8.8E+01	9.7E+01	9.1E+01	4.8E+01	3.1E+01							
7			4.3E+01	7.4E+01	5.5E+01	7.8E+01	5.7E+01	5.2E+01	2.7E+01	1.3E+01							
8				6.5E+01	4.7E+01	4.2E+01	3.1E+01	2.6E+01	2.1E+01								
9				3.1E+01	3.6E+01	1.9E+01	1.3E+01	8.5E+00									
10				3.1E+01	3.7E+01	9.2E+00	5.6E+00	1.4E+01									
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	

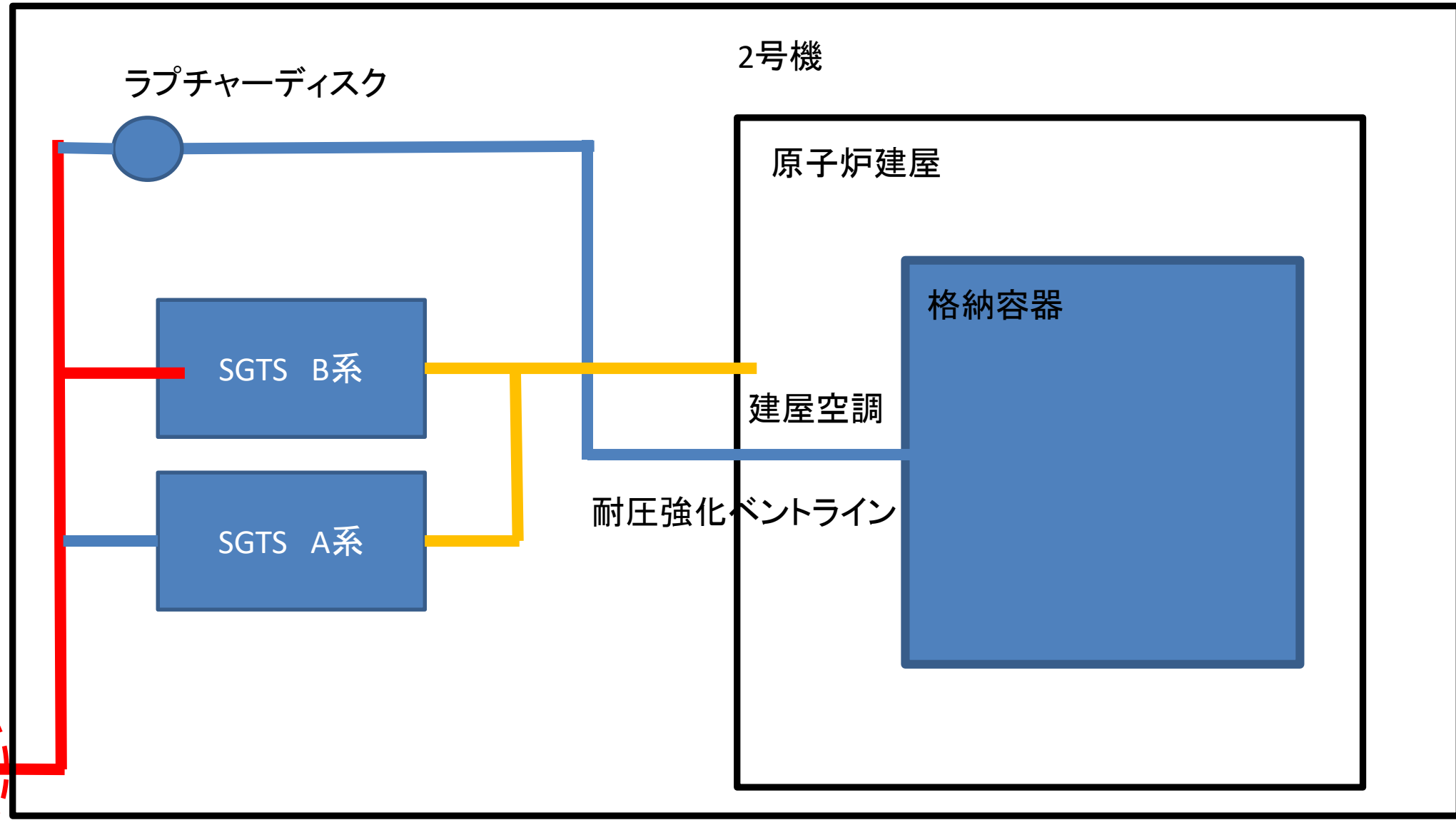
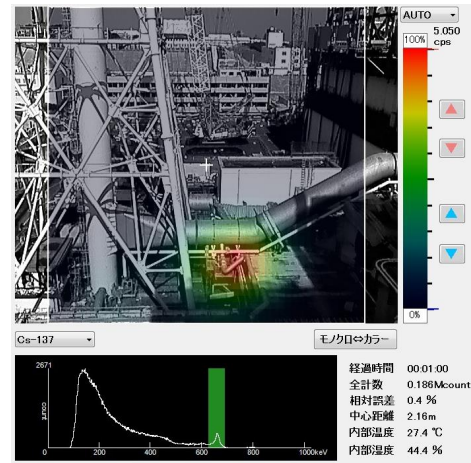
第9図 3号機4階の汚染領域に対応したピクセル毎のCs-137放射能 (GBq)

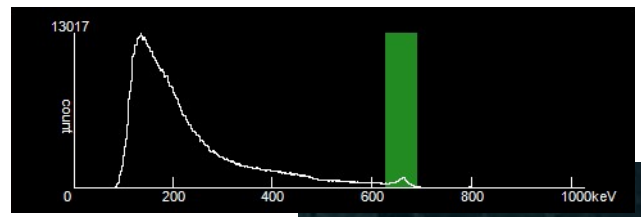
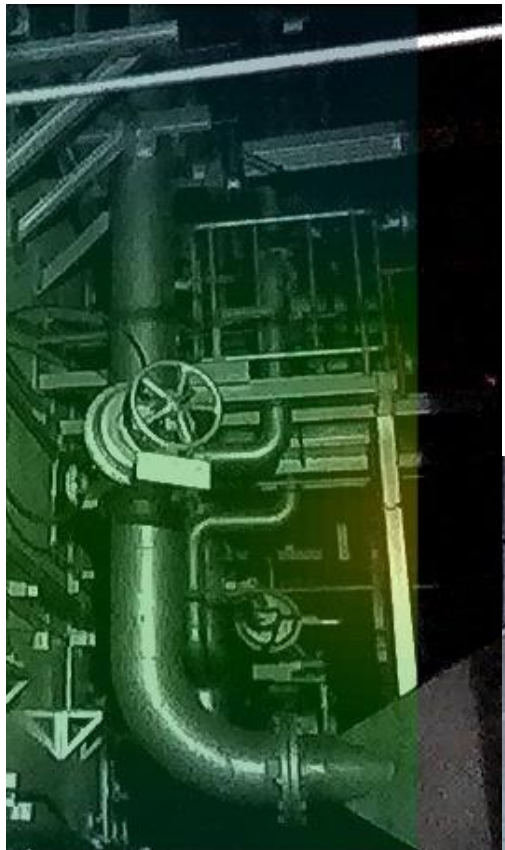
耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(6) 調査結果

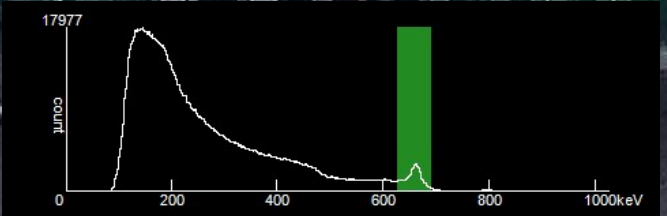
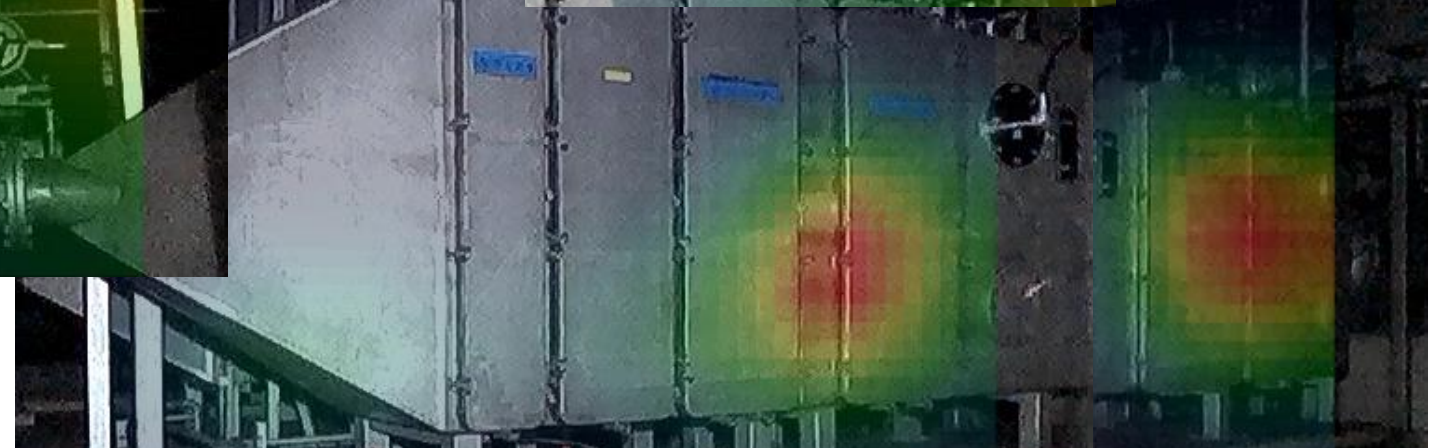
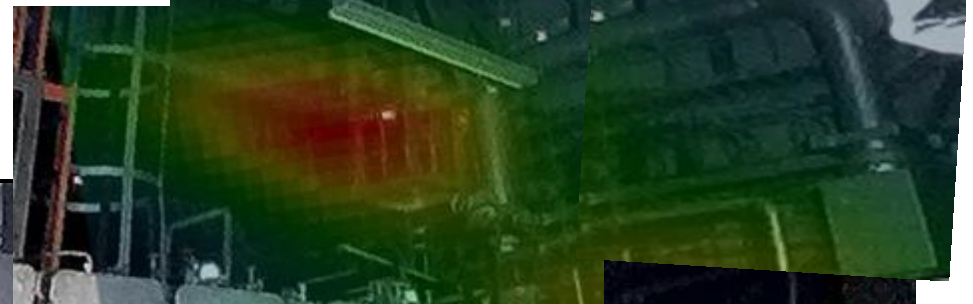
- | | | |
|---|---------------------|-------------------------------|
| ② | 令和元年8月22日(木)～23日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内 |
| ③ | 8月 1日(木)～ 2日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内 |
| ④ | 6月19日(水)～21日(金) | 2号機SGTS室内、3号機SGTS室内、4号機SGTS室内 |

2号機耐圧強化ベントライン及びSGTSラインの線量調査

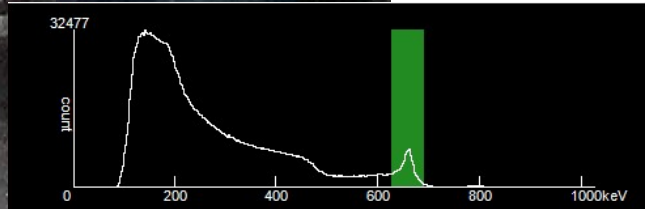




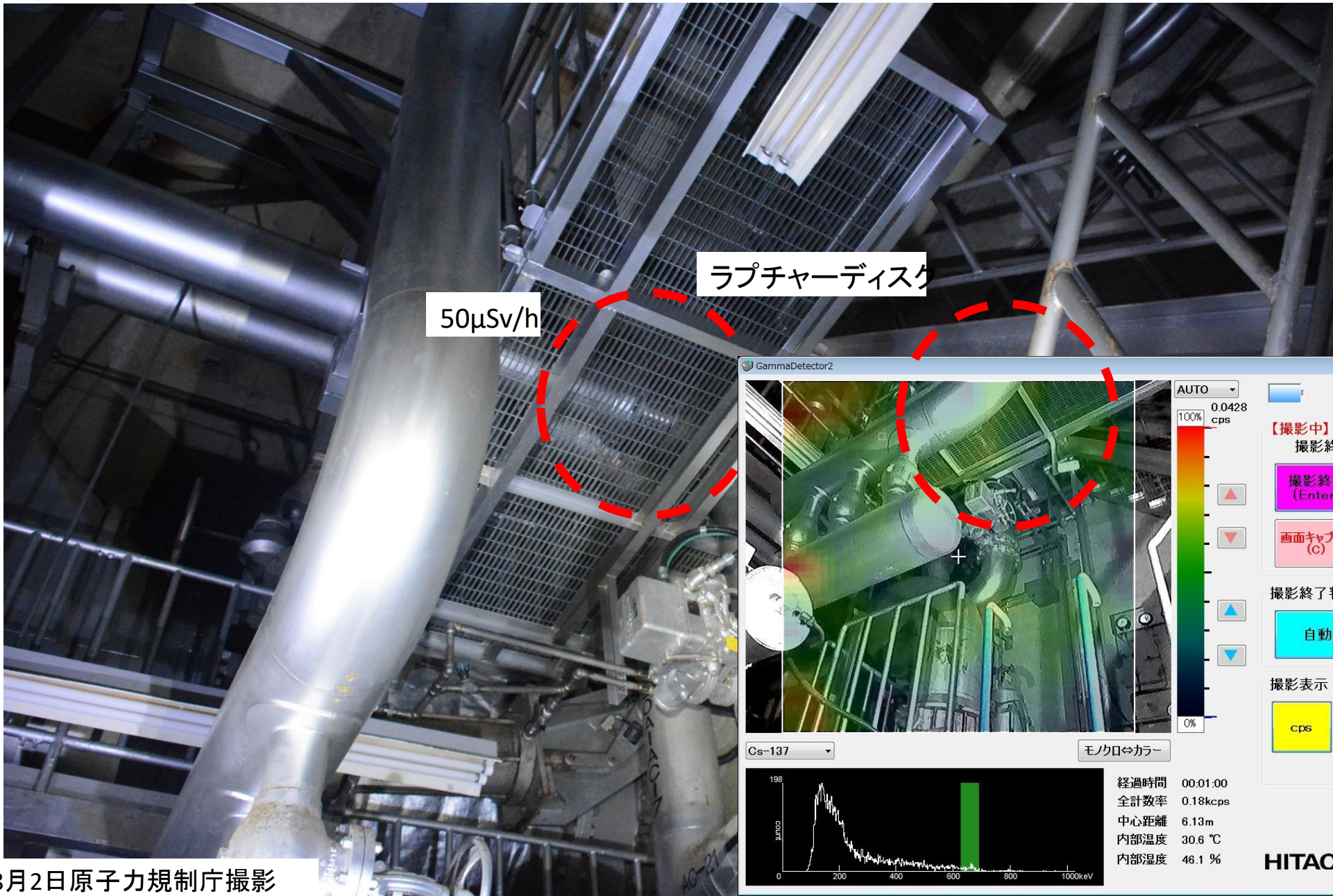
100mSv/h程度



100mSv/h程度



600mSv/h以上



ラプチャーディスク

50μSv/h

GammaDetector2

0.0428 cps

2019年08月02日 11時43分

【撮影中】
撮影終了まで 00分00秒

撮影終了 (Enter) 一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C) やり直し

撮影終了判定
自動 手動

撮影表示
cps Bq/cm² (参考値) μSv/h (参考値)

Cs-137

モノロ⇔カラー

経過時間 00:01:00
全計数率 0.18kcps
中心距離 6.13m
内部温度 30.6 °C
内部湿度 46.1 %

HITACHI 終了

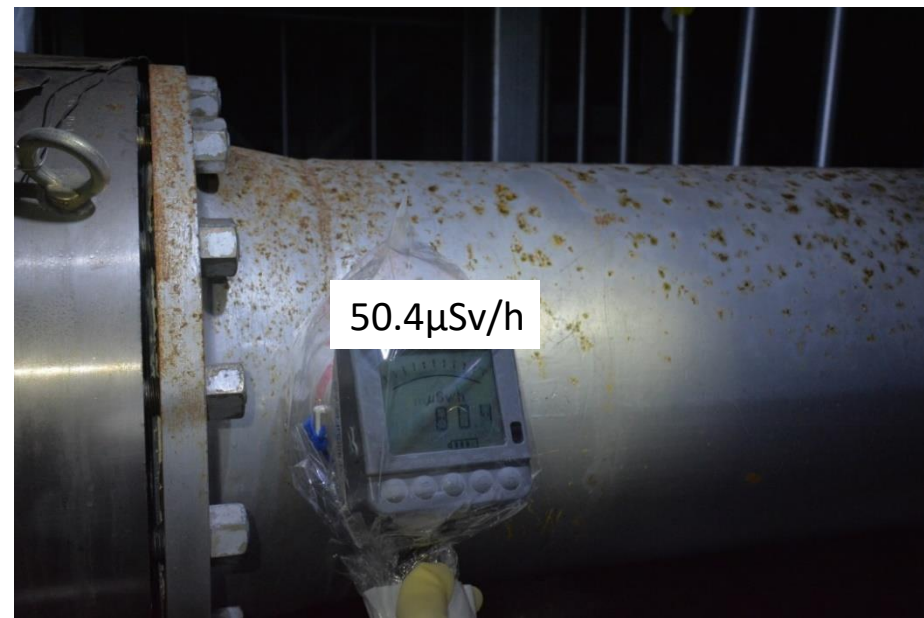
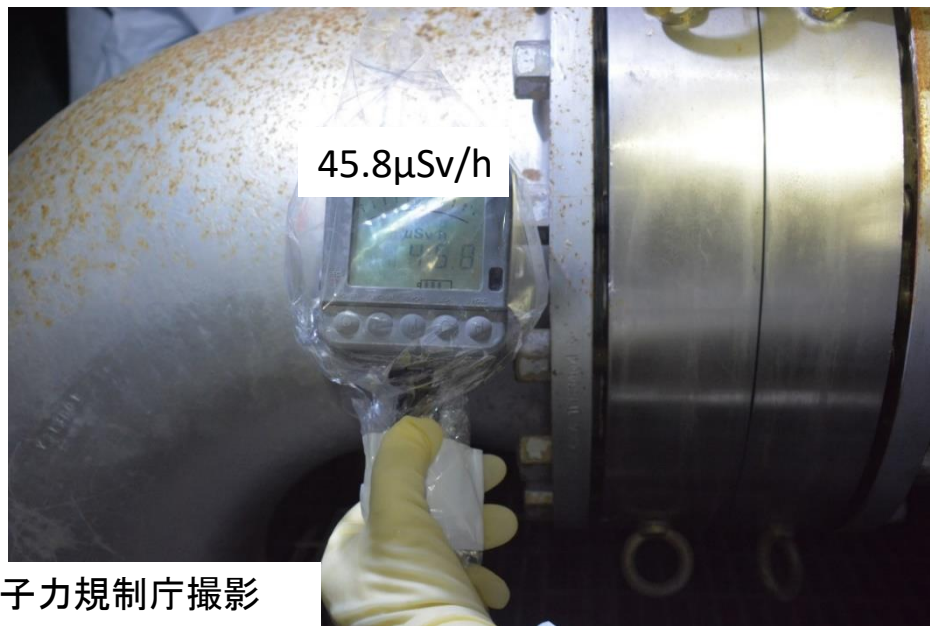
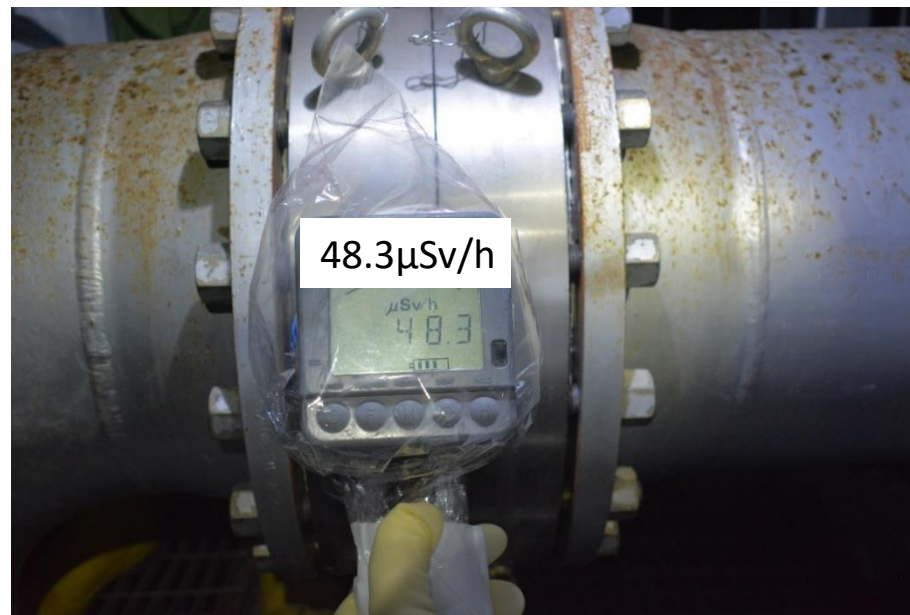
198
cps
0 200 400 600 800 1000keV

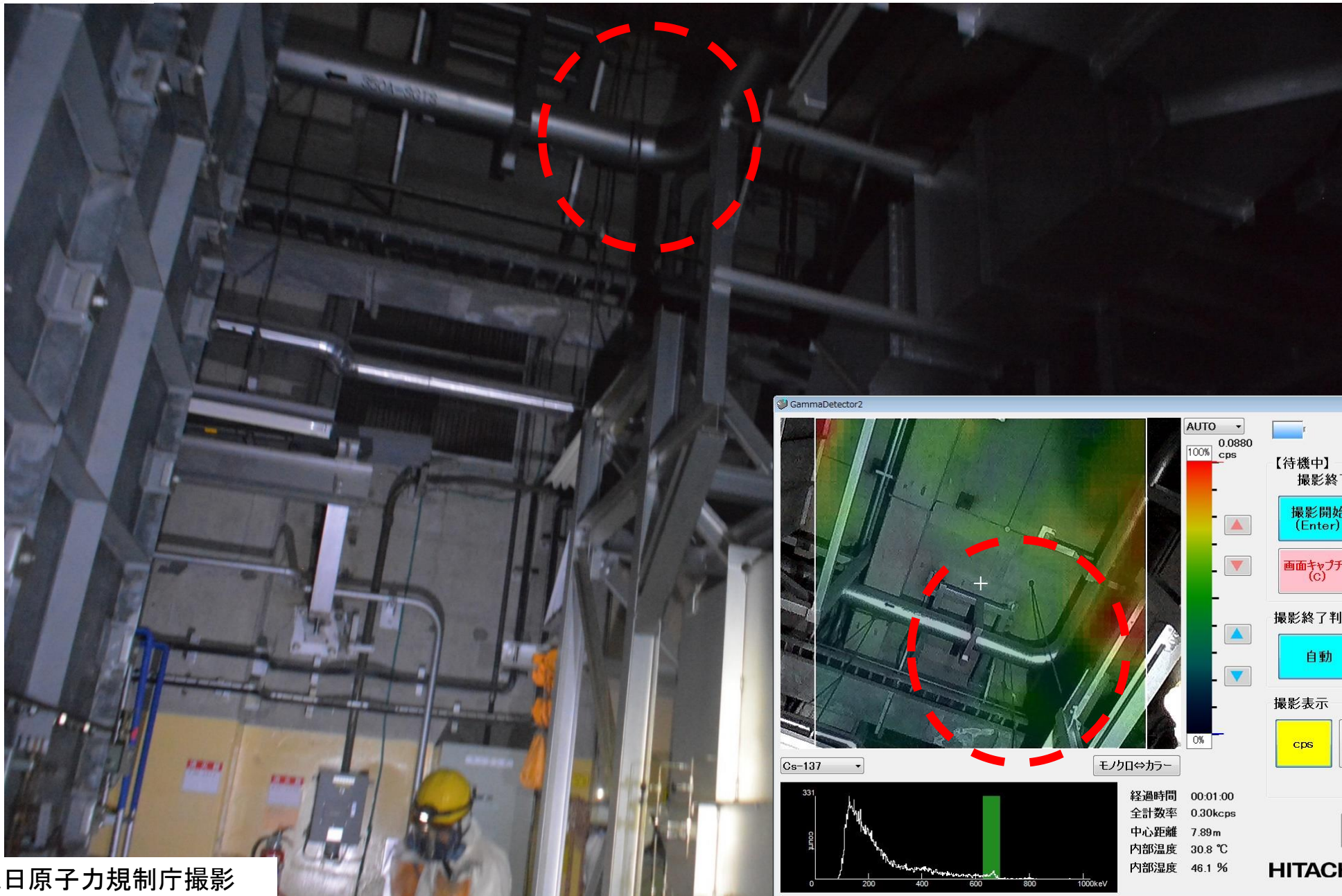
令和元年8月2日原子力規制庁撮影

2号機耐圧強化ベントライン ラプチャーディスク



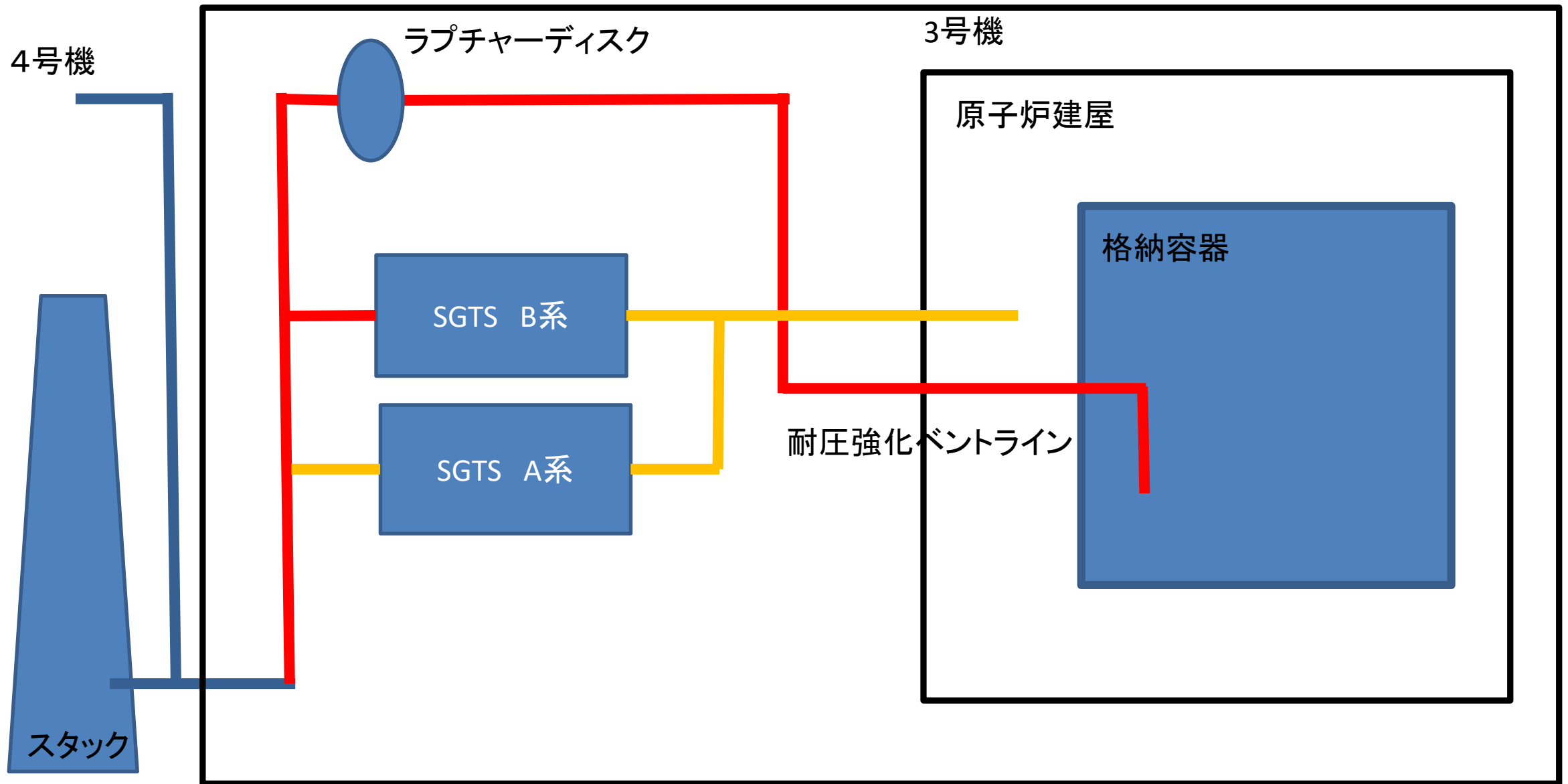
B.G. 120~150 μ Sv/h



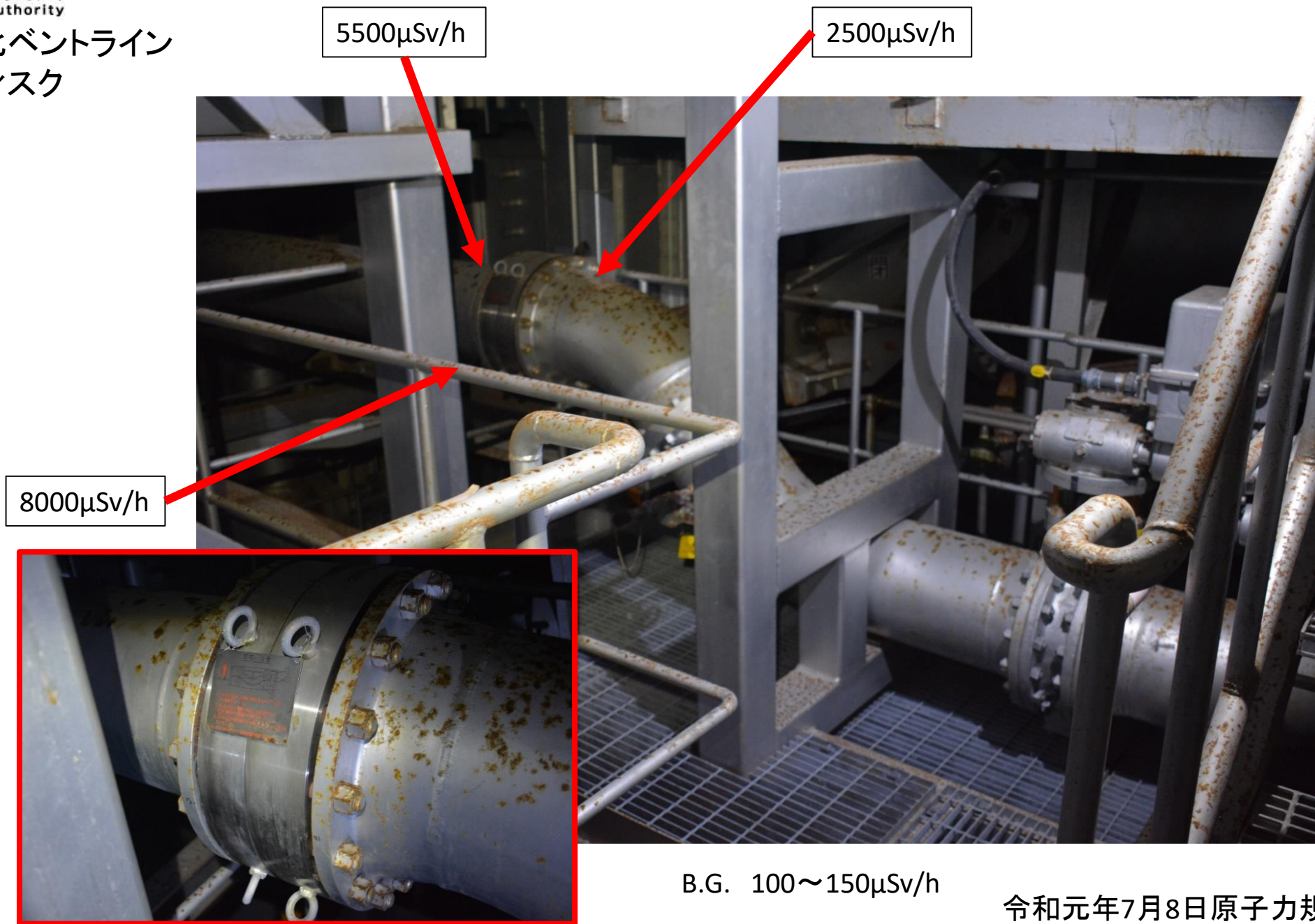


令和元年8月2日原子力規制庁撮影

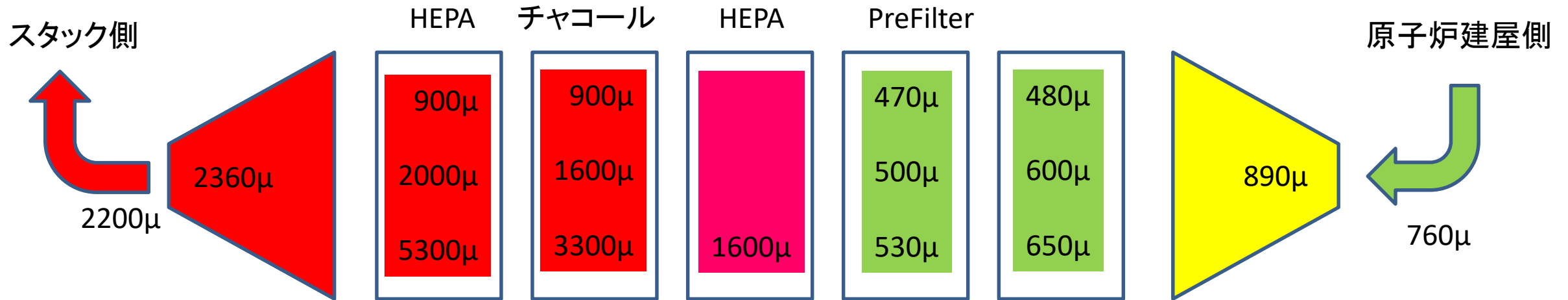
3号機耐圧強化ベントライン及びSGTSラインの線量調査



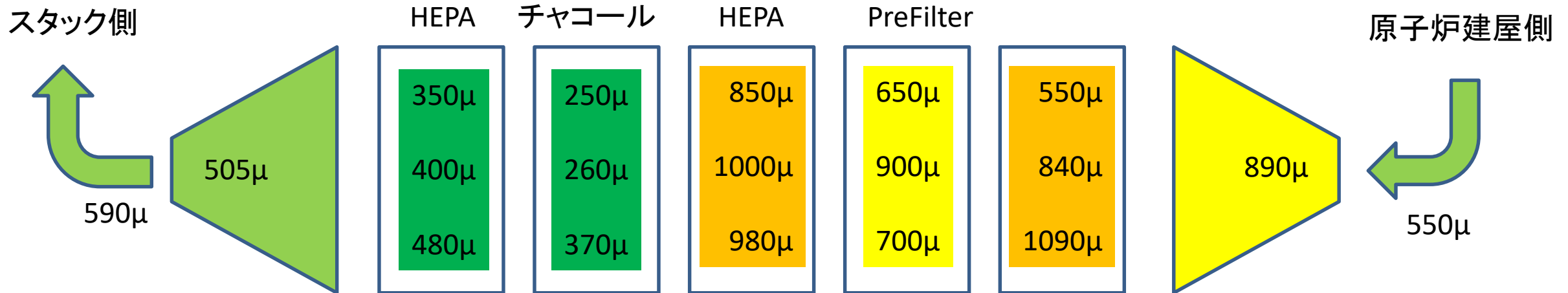
3号機耐圧強化ベントライン
ラプチャーディスク



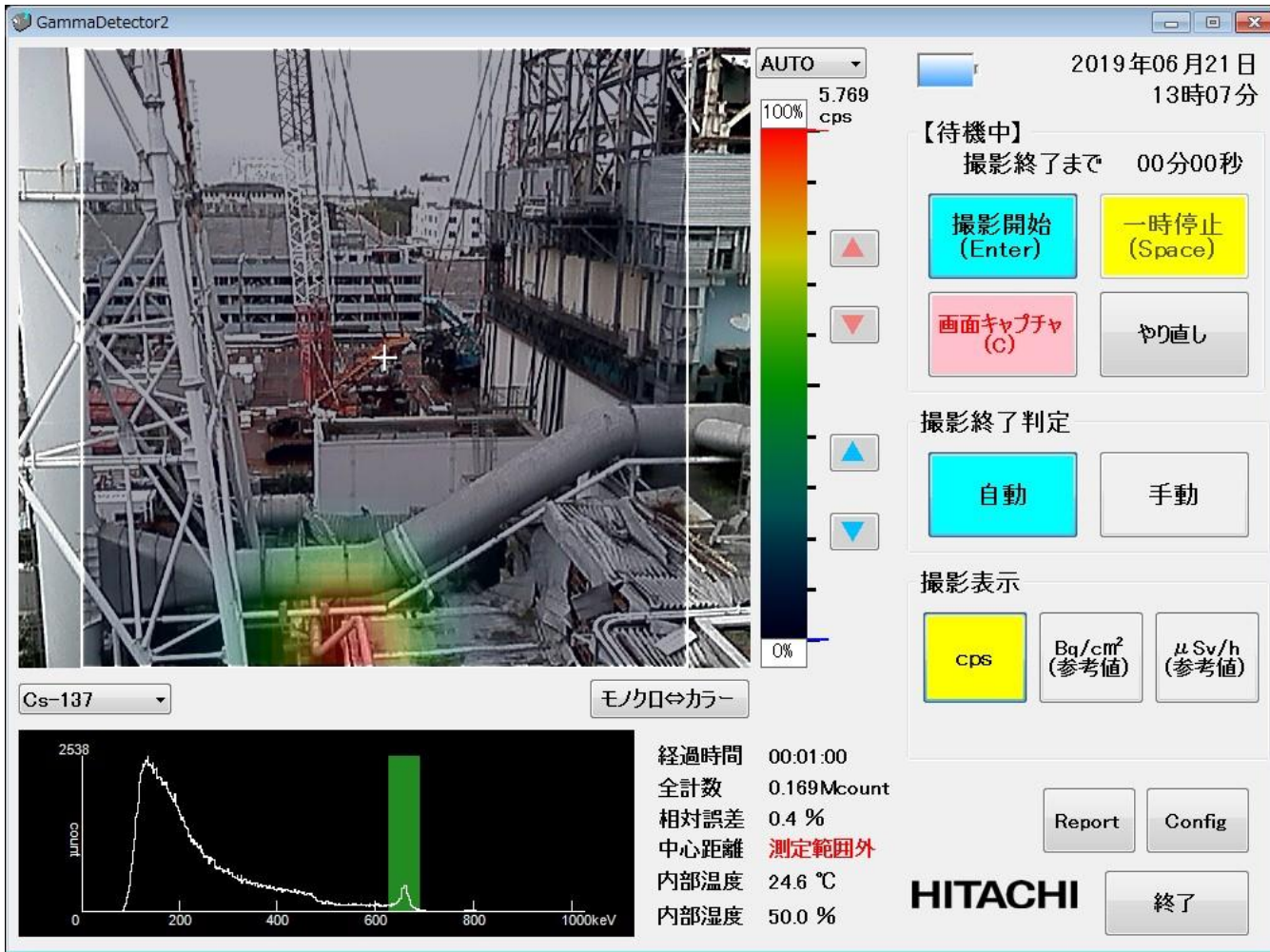
3号機SGTS B系



3号機SGTS A系



数値は線量当量率 (Sv/h) を表す 18



令和元年6月21日原子力規制庁撮影

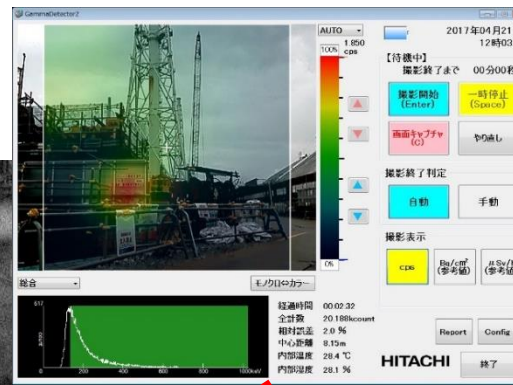
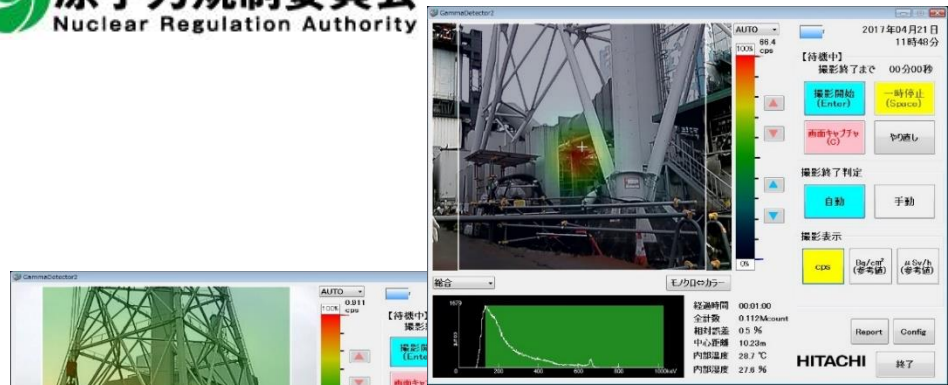
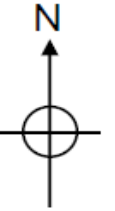
第1図 2号機オペフロ前室周回部からの測定結果

0.033	0.050	0.000	0.017	0.017	0.033	0.083	0.000	0.033	0.000	0.050	0.017	0.033	0.117	0.150	0.083
0.033	0.033	0.067	0.017	0.033	0.050	0.050	0.050	0.050	0.017	0.067	0.067	0.033	0.067	0.200	0.083
0.083	0.017	0.050	0.017	0.033	0.000	0.000	0.100	0.017	0.017	0.067	0.017	0.067	0.133	0.100	0.117
0.000	0.017	0.017	0.000	0.050	0.083	0.033	0.017	0.017	0.067	0.033	0.067	0.117	0.200	0.217	0.250
0.017	0.050	0.067	0.033	0.050	0.067	0.017	0.050	0.017	0.050	0.100	0.067	0.067	0.217	0.150	0.333
0.050	0.083	0.017	0.017	0.050	0.083	0.050	0.050	0.067	0.033	0.117	0.050	0.100	0.100	0.133	0.133
0.017	0.033	0.083	0.050	0.050	0.067	0.083	0.067	0.033	0.017	0.067	0.000	0.083	0.067	0.050	0.100
0.050	0.033	0.017	0.083	0.100	0.133	0.067	0.067	0.100	0.100	0.067	0.050	0.117	0.100	0.117	0.050
0.017	0.050	0.033	0.050	0.117	0.083	0.083	0.067	0.100	0.083	0.067	0.117	0.133	0.083	0.083	0.117
0.050	0.117	0.083	0.067	0.167	0.117	0.167	0.183	0.117	0.117	0.067	0.067	0.133	0.133	0.283	0.133
0.017	0.017	0.167	0.133	0.167	0.233	0.217	0.150	0.300	0.167	0.233	0.100	0.150	0.233	0.250	0.267
0.083	0.083	0.100	0.133	0.283	0.217	0.383	0.083	0.317	0.283	0.267	0.233	0.200	0.200	0.283	0.167
0.083	0.200	0.200	0.350	0.433	0.567	0.950	0.967	0.600	0.267	0.400	0.383	0.317	0.133	0.167	0.133
0.217	0.467	0.300	0.550	1.750	3.350	4.033	4.933	3.117	1.167	0.317	0.317	0.117	0.067	0.100	0.183
0.383	0.317	0.417	0.933	2.550	4.750	6.400	6.900	4.483	1.600	0.267	0.200	0.150	0.067	0.050	0.050
0.350	0.400	0.417	0.533	1.967	3.117	5.367	5.633	3.950	1.100	0.167	0.150	0.117	0.100	0.017	0.033

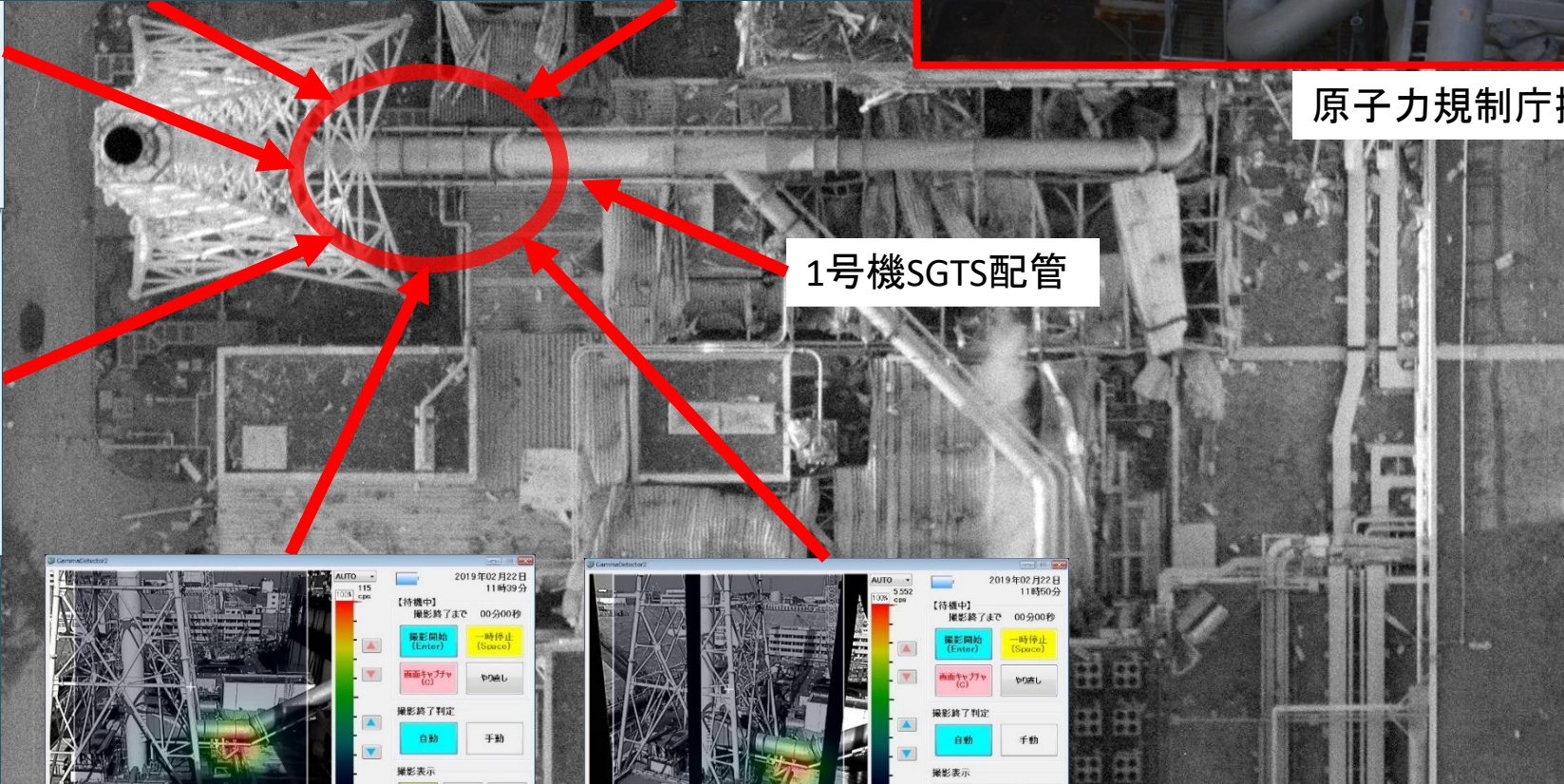
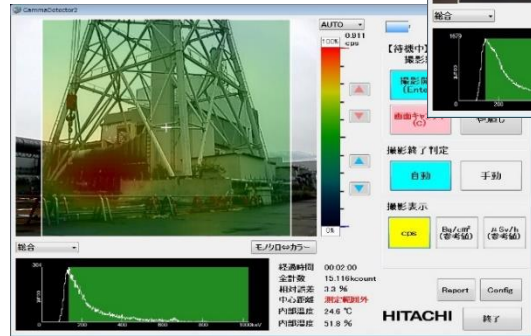
第2図 2号機オペフロ前室周回部北西角からの2号機SGTS配管測定 HDG-R1500ガンマカメラの各ピクセル(16×16)のCs-137γ線 全エネルギー吸収ピーク計数率(平坦化補正前のcps)



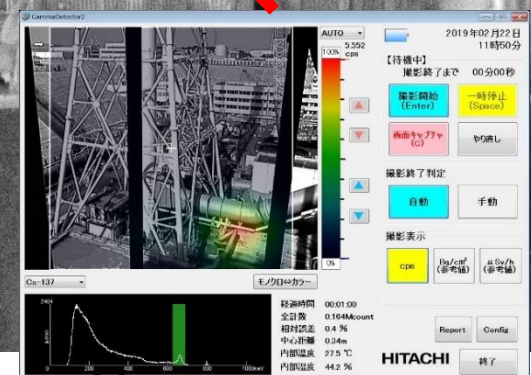
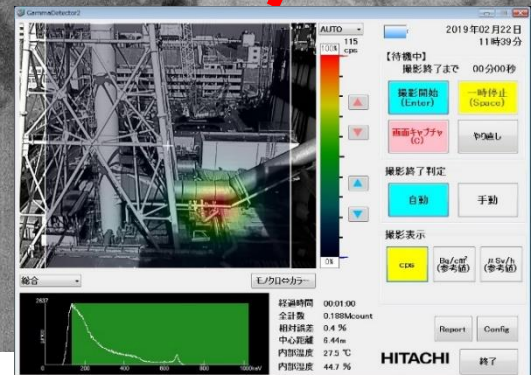
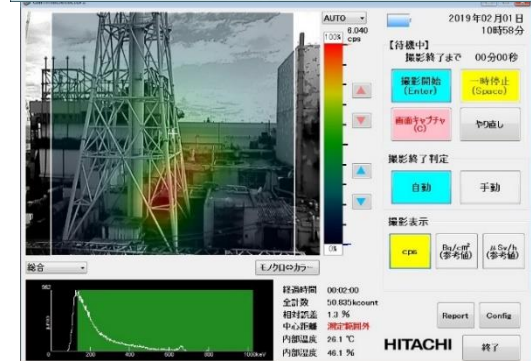
2011/3/18 17:08 防衛省撮影(1, 2号機)



原子力規制庁撮影



1号機SGTS配管



2011/3/18 17:08 防衛省撮影
(1, 2号機)を一部加工

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(6) 調査結果

⑤平成31年 3月28日(木)～29日(金) 1, 2号機主排気筒周辺

1,2号機主排気筒周辺のガンマカメラ撮影結果。

GammaDetector2

AUTO 2019年03月29日 10時54分

61.2 cps

100% 【待機中】

総合

count

1418

0 200 400 600 800 1000keV

平成31年3月29日原子力規制庁撮影

GammaDetector2

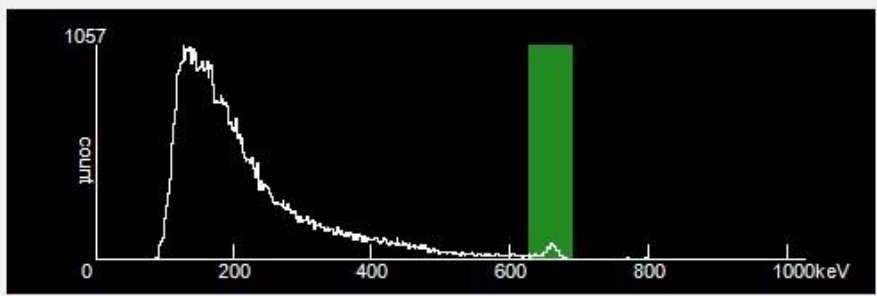


AUTO 2019年03月29日 11時10分



Cs-137

モノクロ⇔カラー



経過時間	00:0
全計数	59.4
相対誤差	0.8
中心距離	3.83
内部温度	27.8
内部湿度	41.3

平成31年3月29日原子力規制庁撮影

GammaDetector2

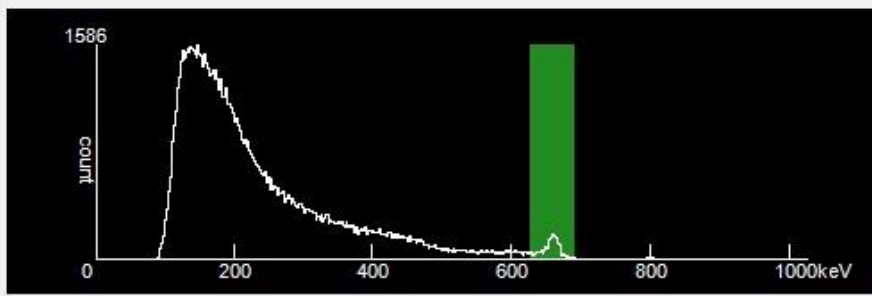


AUTO
1.612
100%
2019年03月29日
11時17分



Cs-137

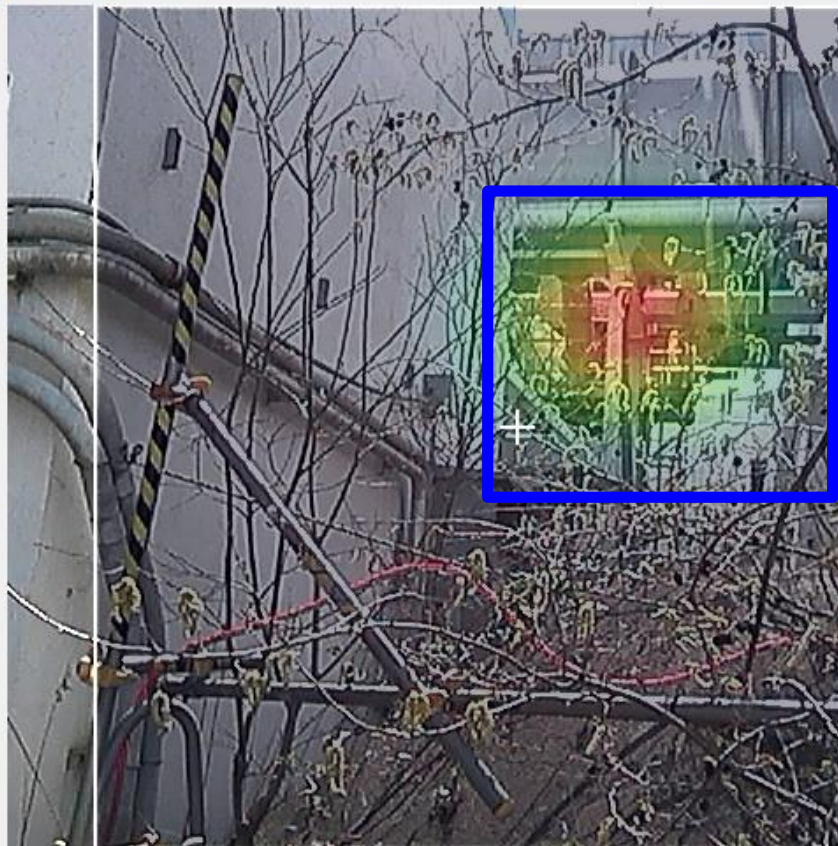
モノクロ⇄カラ



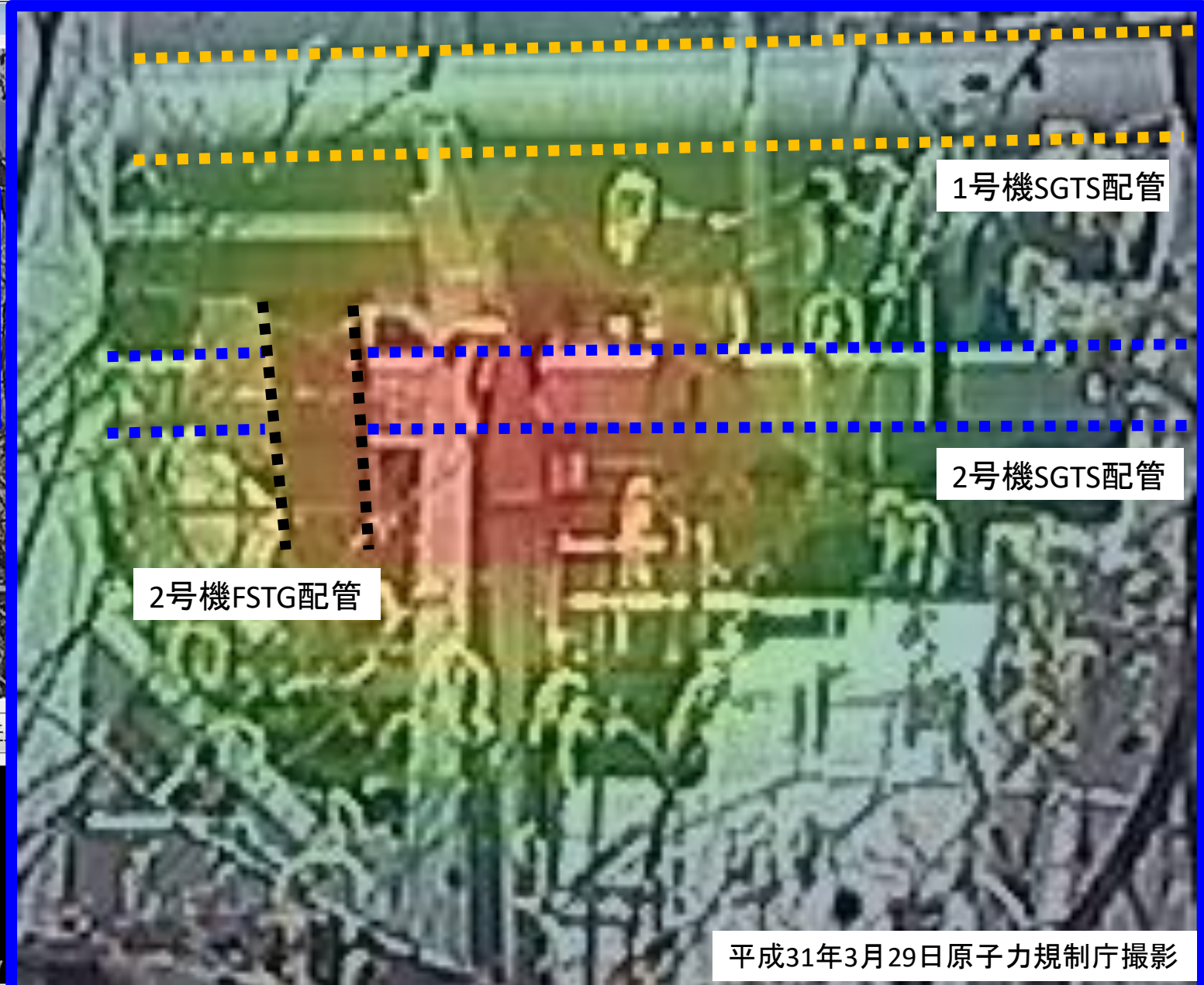
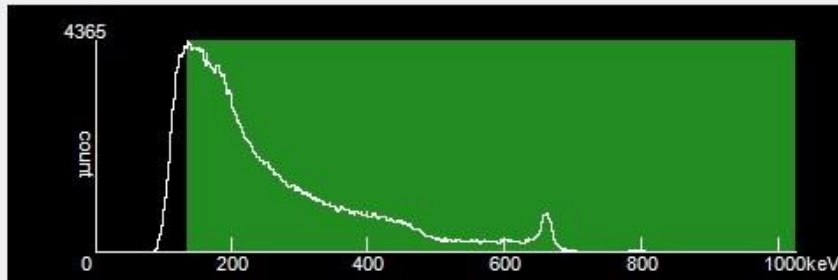
経過時
全計数
相対誤
中心距
内部温
内部湿

平成31年3月29日原子力規制庁撮影

GammaDetector2



総合




平成31年3月29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

GammaDetector2



AUTO 0.723 cps

100%

0%

2019年03月29日
11時22分

【待機中】
撮影終了まで 00分00秒

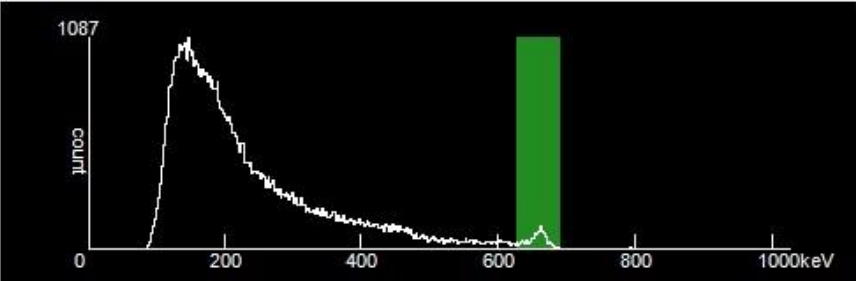
撮影開始 (Enter) 一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C) やり直し

撮影終了判定
自動 手動

撮影表示
cps Bq/cm² (参考値) μSv/h (参考値)

Cs-137 モノクロ⇄カラー




経過時間 00:01:00
全計数 68.033kcount
相対誤差 0.8 %
中心距離 7.32m
内部温度 27.9 °C
内部湿度 41.7 %

Report Config

HITACHI 終了

GammaDetector2



AUTO 27.9 cps

100%

0%

2019年03月29日
11時24分

【待機中】
撮影終了まで 00分00秒

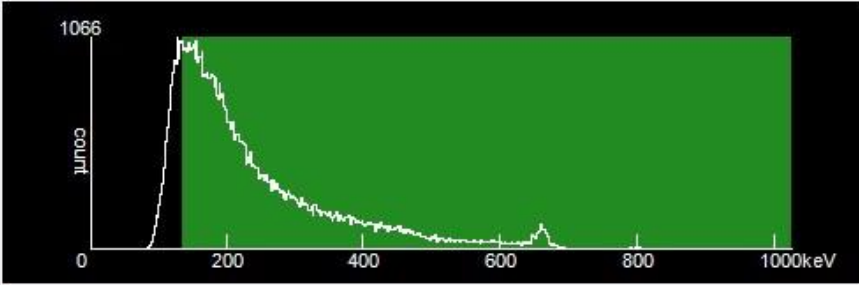
撮影開始 (Enter) 一時停止 (Space)

画面キャプチャ (C) やり直し

撮影終了判定
自動 手動

撮影表示
cps Bq/cm² (参考値) μSv/h (参考値)

総合 モノクロ⇄カラー



経過時間 00:01:00
全計数 67.298kcount
相対誤差 0.8 %
中心距離 7.31m
内部温度 27.8 °C
内部湿度 41.7 %

Report Config

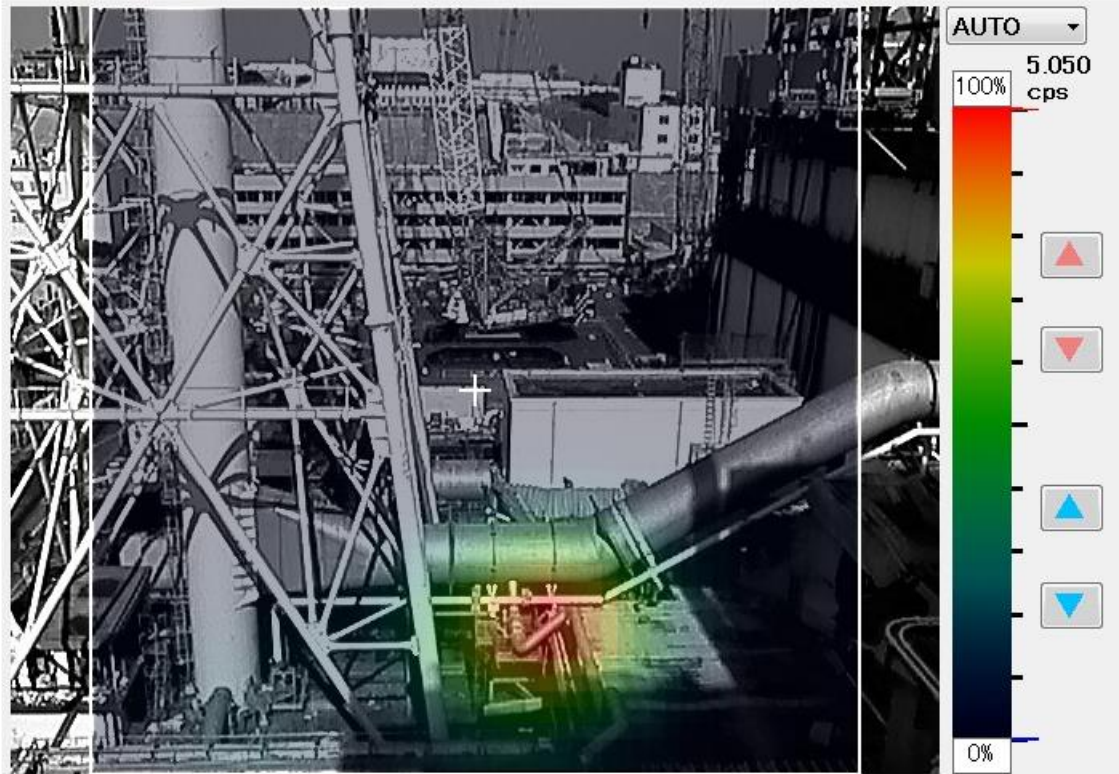
HITACHI 終了

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

(6) 調査結果

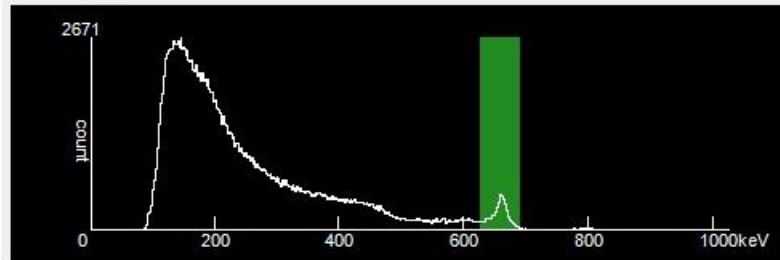
⑥ 平成31年 2月22日(金) 1, 2号機主排気筒周辺(主排気筒基部)

1,2号機主排気筒周辺のガンマカメラ撮影結果。



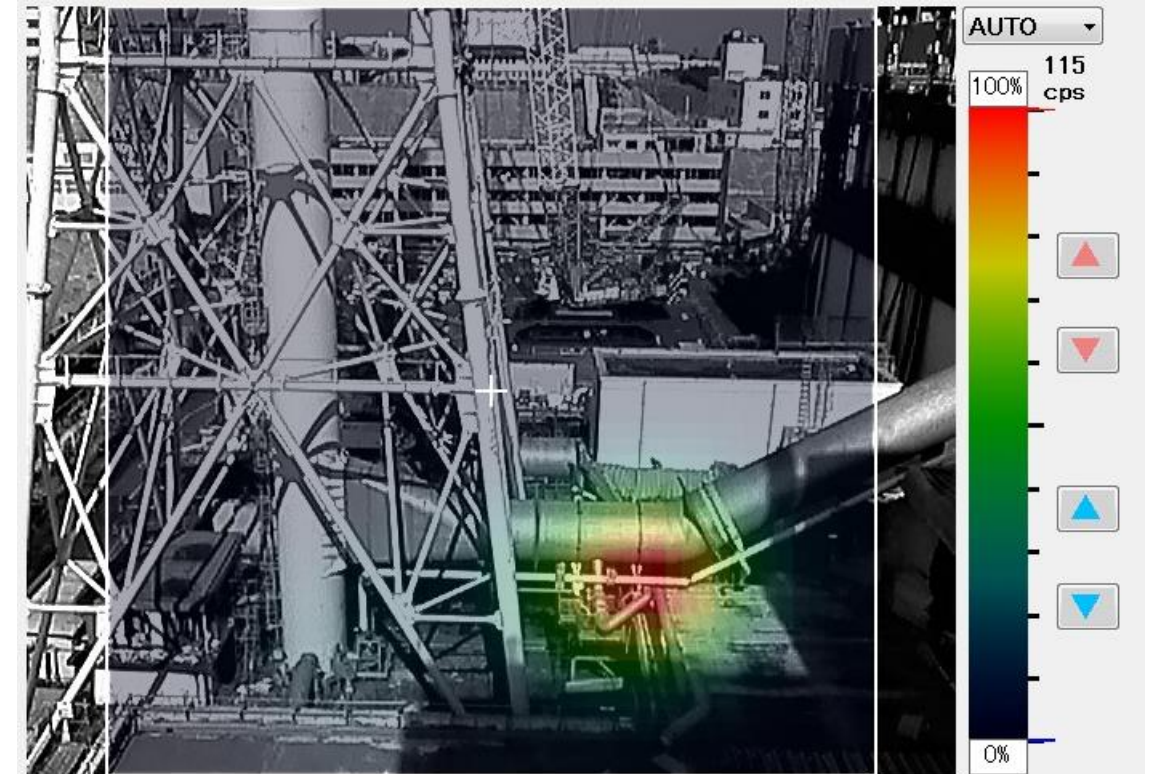
Cs-137

モノクロ⇄カラー



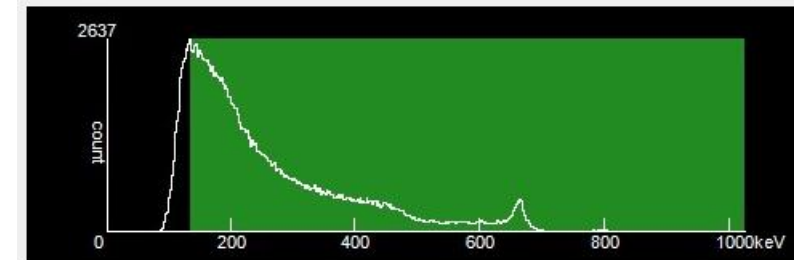
経過時間 00:01:00
全計数 0.186Mcount
相対誤差 0.4 %
中心距離 2.16m
内部温度 27.4 °C
内部湿度 44.4 %

ガンマ線計数比 最大最小で約120



総合

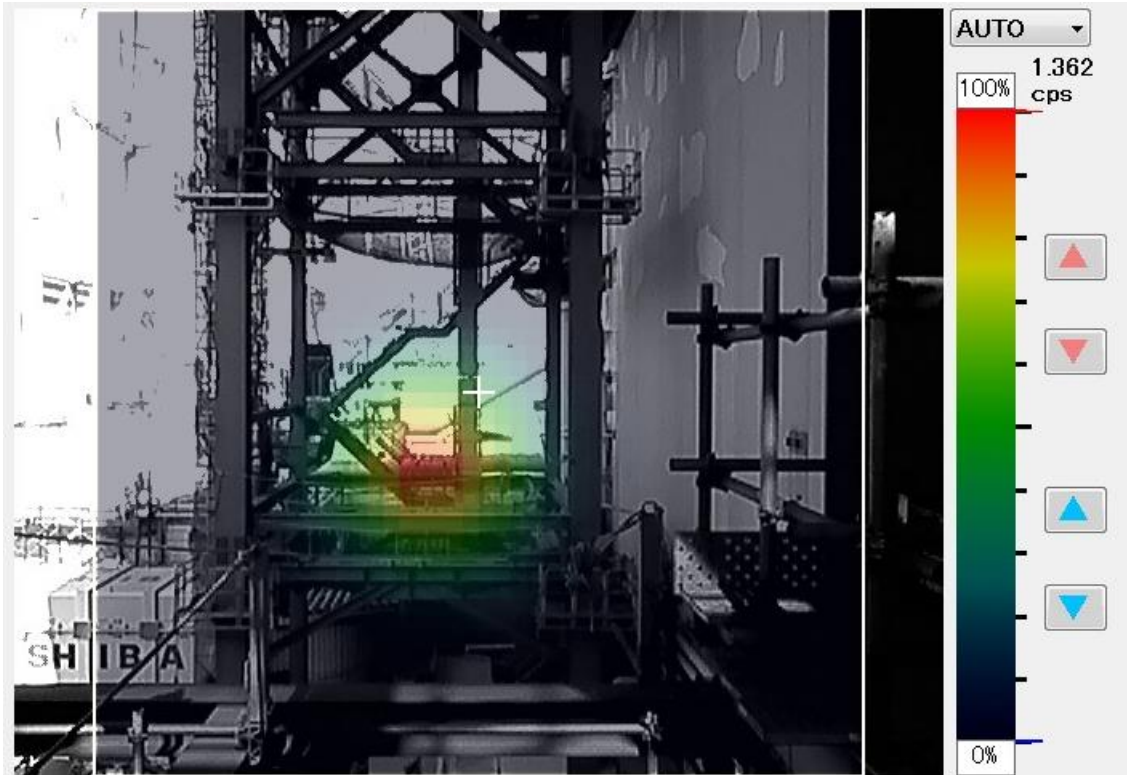
モノクロ⇄カラー



経過時間 00:01:00
全計数 0.188Mcount
相対誤差 0.4 %
中心距離 6.44m
内部温度 27.5 °C
内部湿度 44.7 %

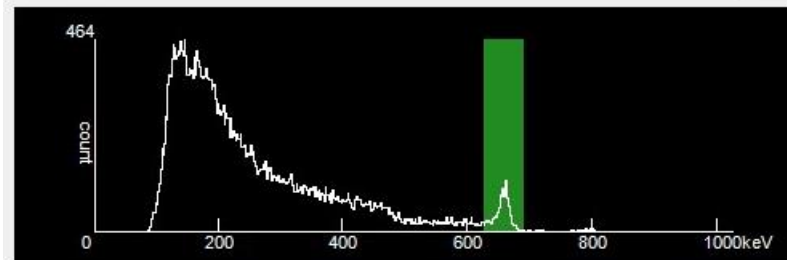
ガンマ線計数比 最大最小で約90

平成31年2月22日原子力規制庁撮影

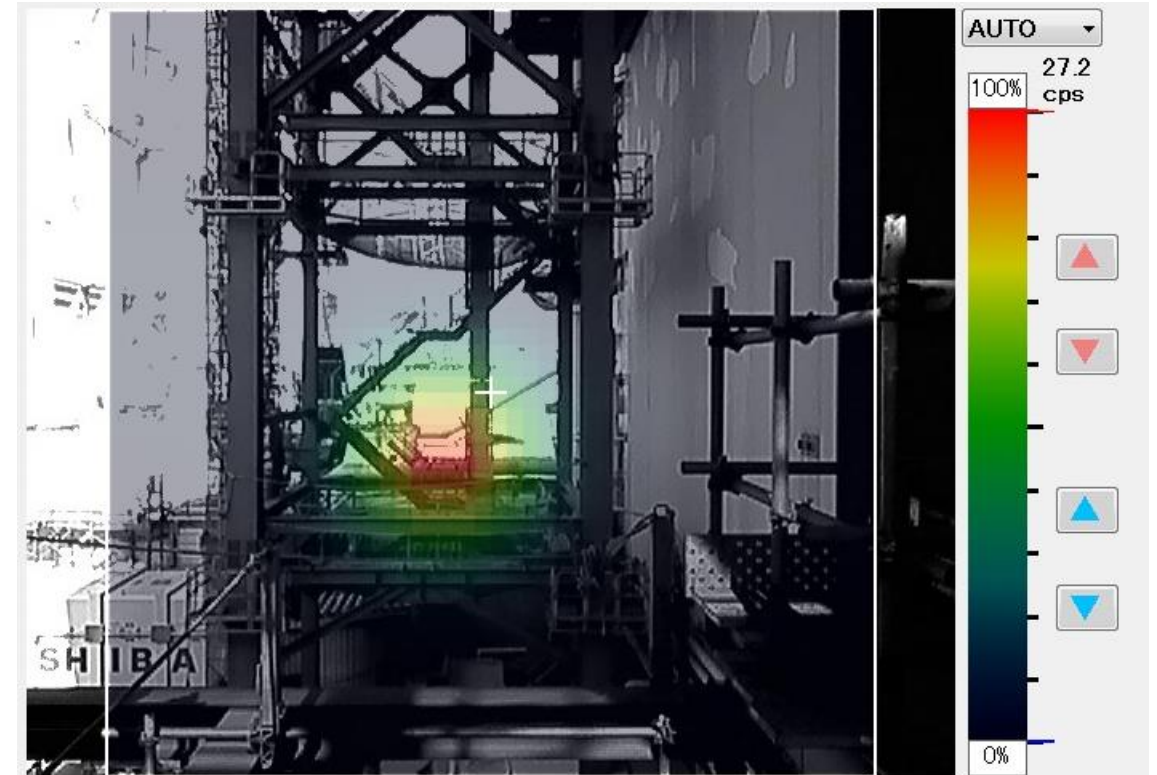


Cs-137

モノクロ⇄カラー

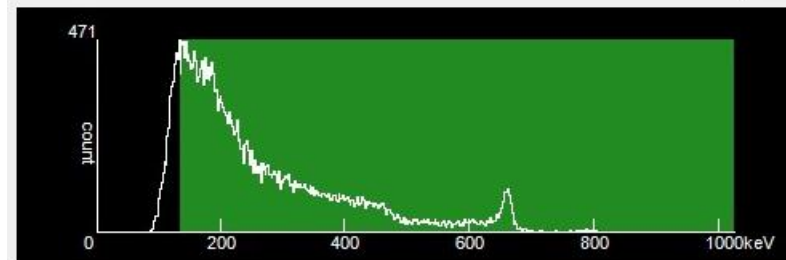


経過時間 00:01:00
全計数 33.053kcount
相対誤差 0.8 %
中心距離 7.28m
内部温度 26.1 °C
内部湿度 46.4 %

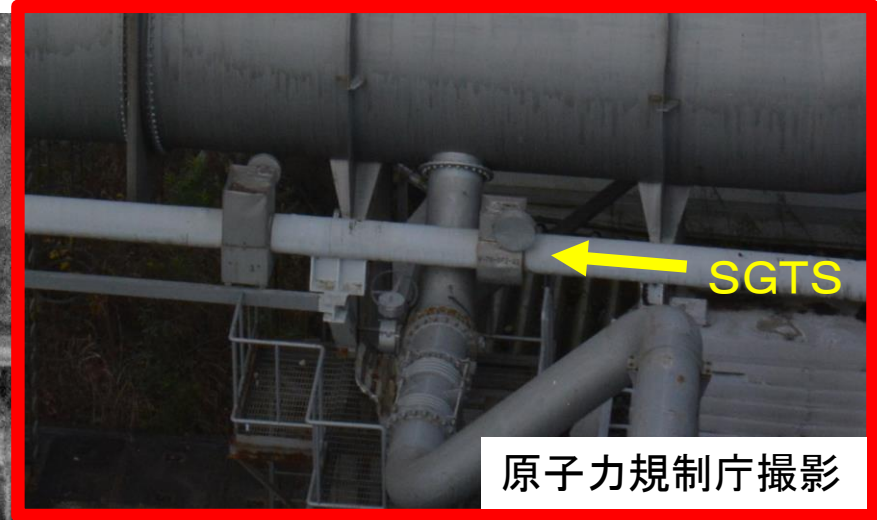
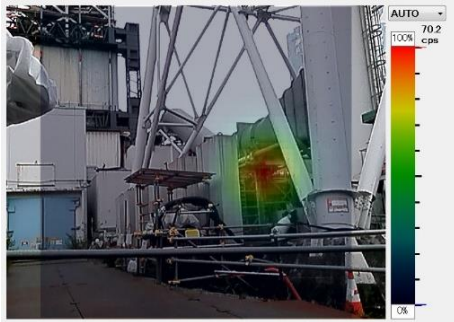


総合

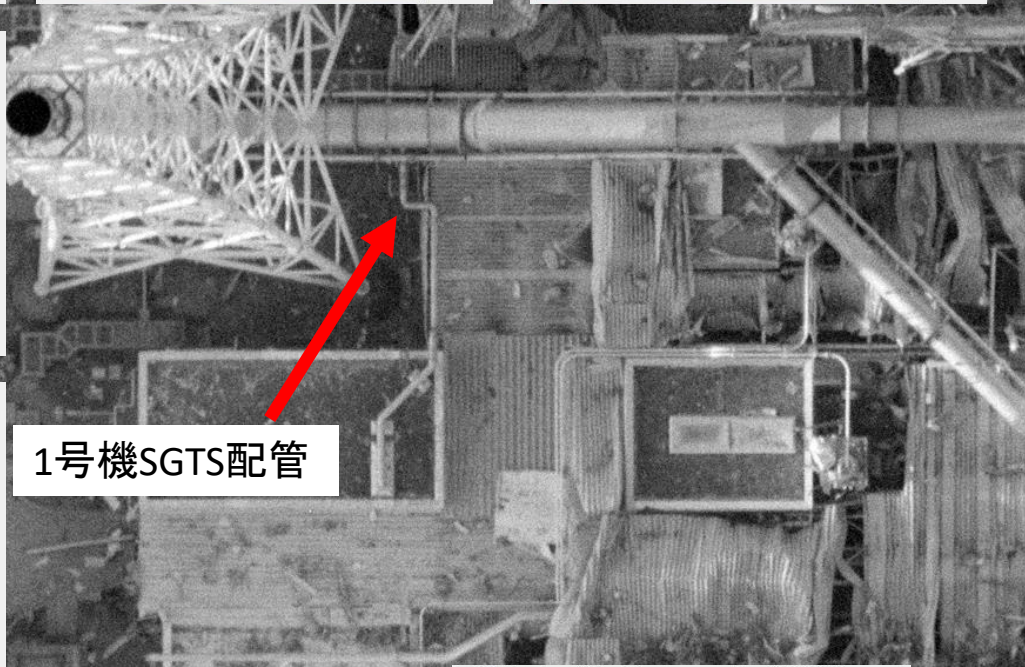
モノクロ⇄カラー



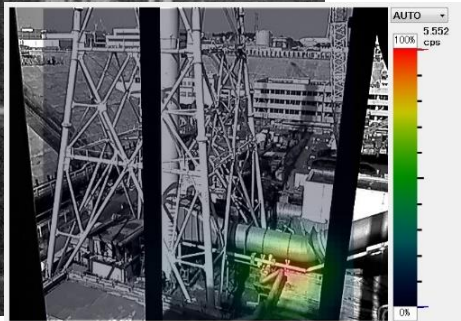
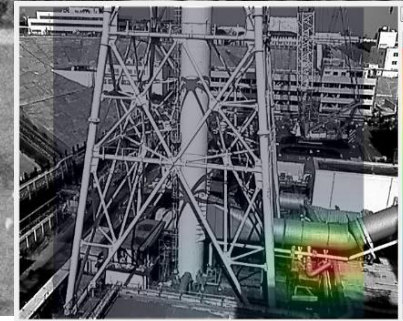
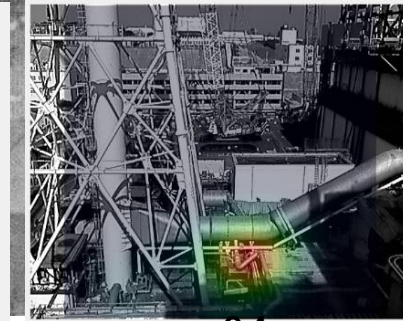
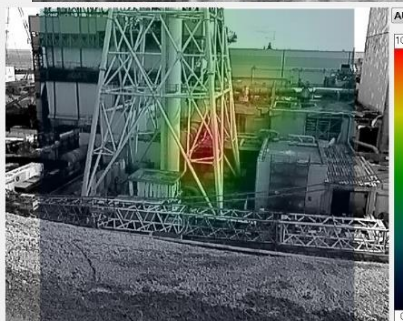
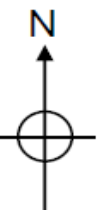
経過時間 00:01:00
全計数 33.521kcount
相対誤差 0.8 %
中心距離 5.23m
内部温度 26.4 °C
内部湿度 46.4 %



原子力規制庁撮影



1号機SGTS配管



2011/3/18 17:08 防衛省
(1, 2号機)を一部加工

1) 耐圧強化ベント(AM対策) 【調査・分析事項】

① 1, 2号機ベント配管の汚染

- ✓ スタック下部のドレン水サンプル 【試料要求、分析】
- ✓ スタック内高度別汚染分布 【試料要求、分析】
- ✓ シミュレーションによる汚染分布再現 【解析】
- ✓ S/CにおけるDF 【実験or文献調査】

② 1～3号機耐圧強化ベント

- ✓ ベントの成立性の検討
- ✓ 設計時のベント使用条件と事故時条件の比較
- ✓ ベント時の手順(ベント等の操作マニュアルも含む。)
- ◆ ベント時の系統構成(MO弁、AO弁、真空破壊装置等の状態・設計も含む。)
- ◆ ベントラインの汚染分布測定(①を除く) ガンマカメラ
- ◆ ベントによる格納容器加温破損防止の可能性確認
- ◆ 有効ベント回数 の推定
- ✓ ベント時の排気挙動シミュレーション 【解析】

③ SGTS逆流汚染 (他号機及び自号機)

- ◆ 自号機・他号機の汚染状況の確認(⑦と同じ) ガンマカメラ
- ◆ SGTS逆流箇所 の汚染分布 ガンマカメラ
- ✓ ベント時の自号機、他号機への排気比率のシミュレーション 【解析】
- ◆ GDの逆流機能の確認・実験 【実験】

④ RD動作

- ✓ RD設置時の動作設定圧力とAM対策との関係整理(東電・他電力(ATENA))
- ✓ RD破壊圧力と格納容器破損モードのシミュレーション 【解析】
- ✓ RD破壊試験 【実験】

⑬ 設計、運転記録等の基礎情報

- ◆ 設計図面、運転記録等の確認(旧事務本館、情報棟)

◆: 現地調査

2)放射性物質の放出経路【調査・分析事項】

⑤ 3号機R/B 4階付近の汚染

- ◆ 原子炉建屋の汚染分布・核種確認【試料採取、分析】
- ◆ 破損箇所の特定制
- ◆ 高線量箇所の直接放射線測定

⑧ 建屋DF

- ◆ 3号機のシールドプラグ裏面汚染分布確認
- ◆ 2号機オペフロの汚染分布確認 ガンマカメラ

⑥ 3号機のPCVフランジヘッド

- ◆ THFの外観・表面の観察(塗料劣化、温度履歴確認)
- ◆ オペフロ or SFPゲートからの直接観察
- ✓ THFの漏えいとオペフロ破損の関係性
- ✓ THFの事故時温度、FP付着シミュレーション【解析】

⑨ 1号機R/Bオペフロウェルプラグ

- ✓ シールドプラグのずれに関するデータ確定【記録要求】
- ✓ シールドプラグの汚染データ取得【試料要求、分析】
- ◆ 必要水素量の評価と供給箇所の特定制
- ✓ 水素爆発位置におけるずれ及び爆発痕・破損シミュレーション【解析】

⑦ 各号機漏えい(PCVペネ、THF)

- ◆ 汚染分布の測定・分析(③と同じ) ガンマカメラ
- ✓ MP観測データにおけるピークとの関係性

⑬ 設計、運転記録等の基礎情報

- ◆ 設計図面、運転記録等の確認(旧事務本館、情報棟)

◆:現地調査

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

～次ページ以降に平成25年11月21、22日に東京電力が測定した資料の抜粋を添付～

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

訂正版

< 参考配布 >
平成25年12月6日
東京電力株式会社

福島第一原子力発電所1 / 2号機排気筒の
下部線量測定について



耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

線量測定計画

1

■目的

1 / 2号機排気筒は、望遠カメラで撮影した写真の点検結果から、排気筒の斜材の一部に損傷が確認された。

今後、排気筒の解体・補強等の計画にあたり、排気筒底部の非常用ガス処理系（以下、SGTS）配管接合部付近で高い線量が確認されていること、排気筒上部の線量分布が未確認であることから、SGTS配管付近の線量および排気筒の高さ方向の線量分布を調査する。

■測定箇所

- 排気筒下部：SGTS配管付近の5ポイントを測定（11/21・22実施）
- 排気筒上部：地上から約50mの間の約10m毎に測定（詳細の測定計画と実施時期を調整中）

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

線量測定概要

2

- 測定実施日 平成25年11月21日、22日
- 測定ポイント
 - (1) SGTS配管と排気筒の接合部 (測定ポイント① GL約0.8m)
 - (2) SGTS配管の立上り部分 (測定ポイント② GL約4m)
 - (3) SGTS配管の水平部分3箇所 (測定ポイント③④⑤ GL約7m)
- 測定方法
 - ・1/2号機排気筒北側に線量計を先端に付けた測定用ポール付きトラックを据え付ける。
 - ・線量計を付けた測定ポールを使用して雰囲気線量を測定する。



測定ポイント図



測定実施状況写真

平成25年12月6日東京電力資料から引用

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

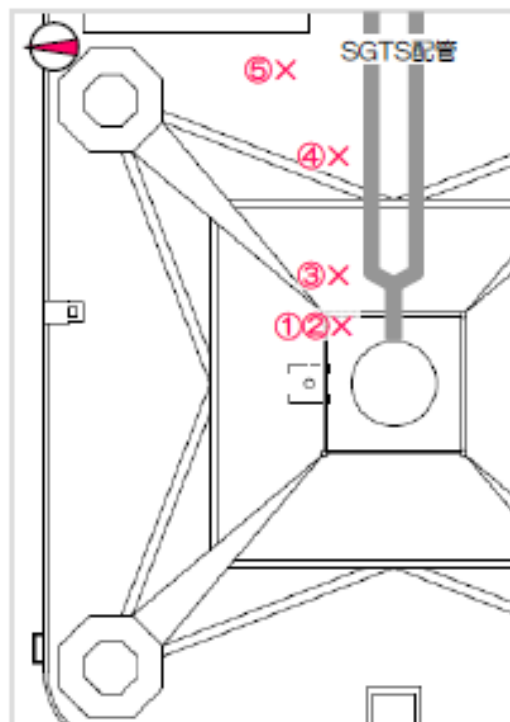
6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

線量率測定結果

3

測定値の最大値は、測定ポイント①から1.5mの距離で95mSv/h

ポイント番号	ポイント名称	測定位置 配管からの距離	測定位置の 雰囲気線量
①	SGTS配管接合部※1	1.5m	95 mSv/h
		2.8m	59 mSv/h
		2.9m	46 mSv/h
		3.9m	22 mSv/h
②	SGTS配管立上り部	1.6m	48 mSv/h
③	SGTS配管水平部(1)	0.5m	47 mSv/h
④	SGTS配管水平部(2)	0.6m	54 mSv/h
⑤	SGTS配管水平部(3)	2.7m	19 mSv/h



※1：測定ポイント①は複数回計測（H23.8に10Sv/h超を確認した場所）

□安全対策として、1/2号機排気筒の底部はロープ、バリケードで立ち入り禁止エリアにしている。

□今後、準備が出来次第、排気筒上部の線量測定を実施し、排気筒の補強・解体等について検討する。

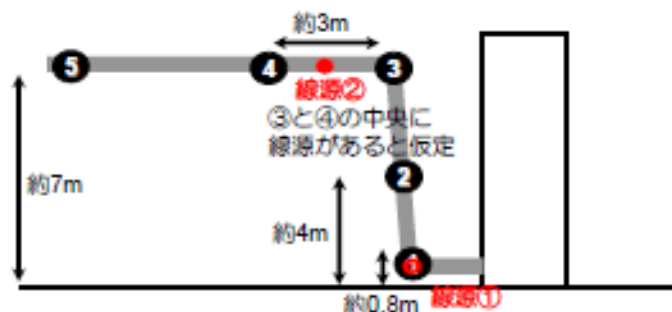
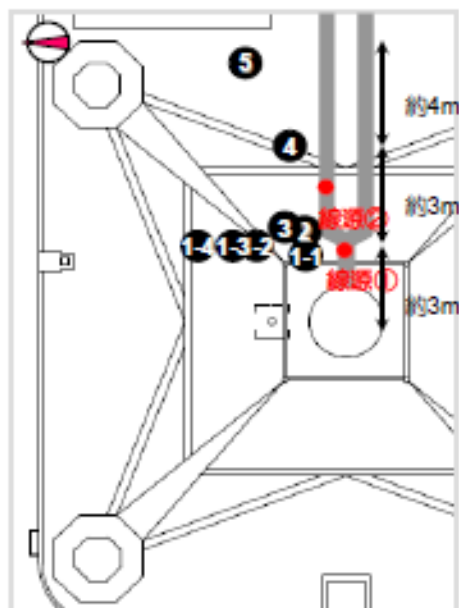
耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

6) 平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定【※5】

線源位置における線量率の推定

4

- 平成23年8月に公表したSGTS配管付近の当時の測定結果およびカメラの画像から、SGTS配管接続部と水平部、排気筒ドレン配管が高線量箇所であることが示唆されている。
- このうち、今回測定した雰囲気線量率の線源はSGTS配管接続部（線源①）と水平部（線源②）のものと仮定して、表面付近における線量率の評価をこれらの2カ所を点線源と仮定して評価した。
- その結果、線源①の表面付近では約25Sv/h、線源②の表面付近は約15Sv/hの線量率が存在する可能性があるとして推定した。



	線源①からの距離(m)	線源②からの距離(m)
①-1	1.5	6.7
①-2	2.8	7.1
①-3	2.9	7.1
①-4	3.9	7.6
②	3.6	3.9
③	6.2	2.1
④	6.9	1.2
⑤	8.2	2.9

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等の実施概要

7) 第3回現場調査【平成25年8月30日第3回会合で報告】【※10】

～次ページ以降に平成25年8月30日第3回会合の資料の抜粋を添付～

1. 現地調査実施概要

(1) 目的

国会事故調報告書において指摘を受けた4号機における水素爆発に関して、原子炉建屋の床・天井・壁の損傷状況及び給排気ダクトの損傷状況を調査し、爆発の位置や規模の推定に資する情報を得る。

また、3号機から4号機への水素逆流経路であると指摘されている非常用ガス処理系(SGTS)配管等の線量率測定を実施し、水素の流入経路の検討に資する情報を得る。

(2) 調査日時

平成25年7月10日(水)～12日(金)

8月 6日(火)～ 7日(水)

(3) 調査実施者

原子力規制庁 山形安全規制管理官(BWR担当) 他5名

※7月11、12日には、爆発の専門家などの外部有識者3名が同行

(4) 被ばく線量

8月6、7日 最大:0.71mSv、最小:0.45mSv

7月10～12日 最大:0.43mSv、最小:0.37mSv

※計画線量を2mSv、目標線量を1mSv、アラームを0.8mSvに設定。

1. 現地調査実施概要

(5) 調査箇所

① SGTS配管等の放射線量率測定

放射性物質を除去する複数のフィルタと加熱ヒータ等から構成されるSGTSトレイン(A系、B系)や配管の表面線量率及び3号機／4号機共用主排気筒周辺にあるSGTS配管合流部の表面線量率を測定した。

② 給排気ダクトの損傷状況確認

3号機から水素ガスが逆流したとされるSGTS配管に繋がる排気ダクト及び原子炉建屋内で損傷が確認された給気ダクトの損傷状況を確認するため、各階のダクト配置図をもとに損傷状況を撮影・記録した。

③ 原子炉建屋の床・天井・壁部の損傷状況確認

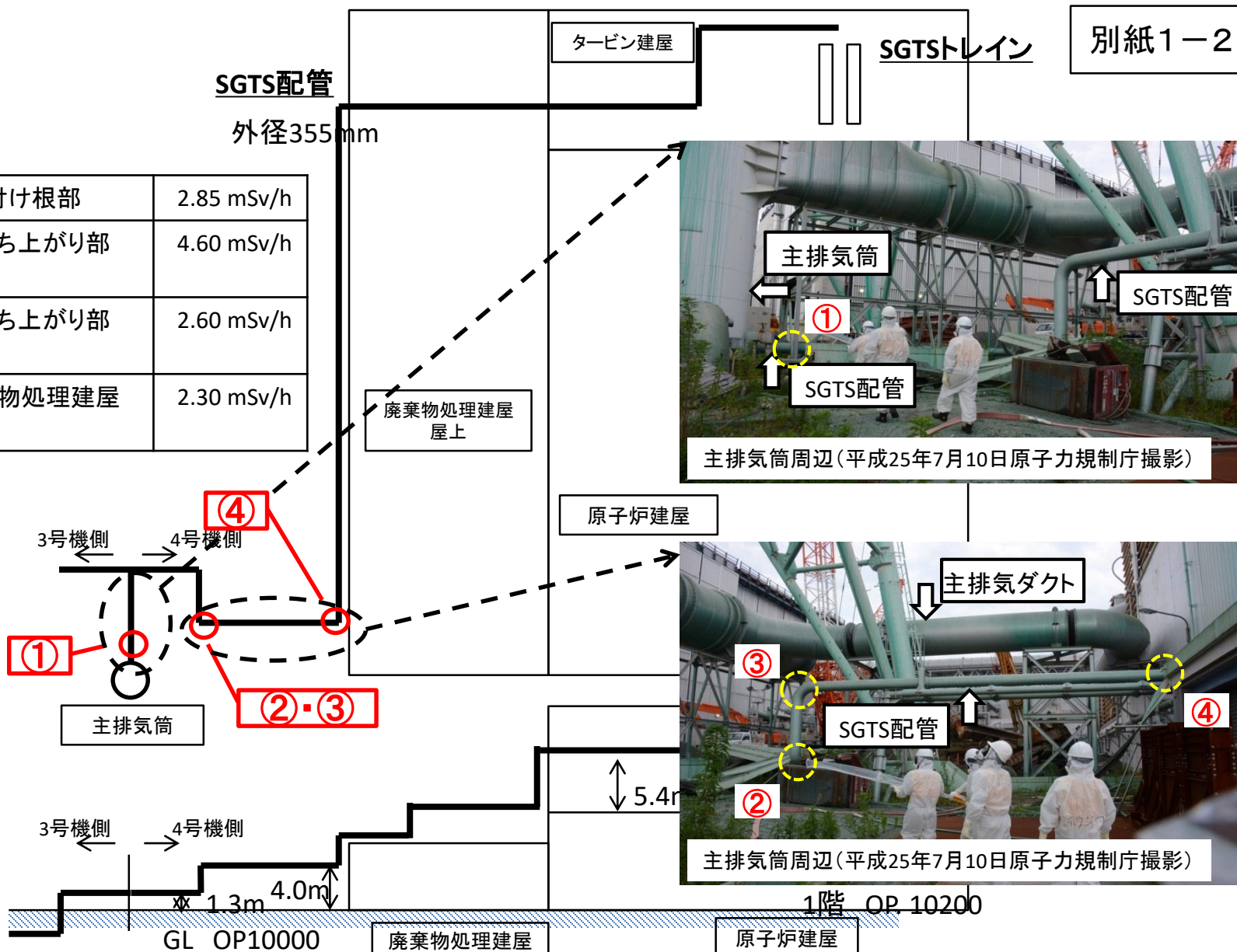
原子炉建屋の床・天井・壁部について、梁や柱で囲まれたブロック単位で床面とその裏面(下階の天井部)の損傷状況を撮影・記録した。

○3号機／4号機SGTS配管合流部(主排気筒周辺)放射線量率測定結果(概要)

平面図

①	主排気筒付け根部	2.85 mSv/h
②	4号機側立ち上がり部 下部	4.60 mSv/h
③	4号機側立ち上がり部 上部	2.60 mSv/h
④	4号機廃棄物処理建屋 壁面側	2.30 mSv/h

○ 測定箇所



○耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等について【1/2】

番号	現地調査等	実施日	調査内容等
※1	2号機SGTS B系のガンマカメラ測定	令和元年8月2日	2号機でのガンマカメラ測定によるCs-137放射能の推定
※2	1,2号機SGTS配管のガンマカメラ測定	令和元年11月15日	建屋付け根部の1, 2号機SGTS配管のガンマカメラ測定によるCs-137放射能の推定
※3	1,2号機主排気筒基部等のガンマカメラ測定	平成31年2月22日	1,2号機主排気筒基部等のガンマカメラ測定によるCs-137放射能の推定
※4	2号機SGTS配管部のガンマカメラ測定	令和元年6月20,21日	2号機SGTS配管部のガンマカメラ測定によるCs-137放射能の推定
※5	平成31年2月22日の測定結果からの周辺線量当量率の推定	(平成25年11月21,22日東電測定)	ガンマカメラ測定(※3)から推定した線源位置と強度を基に1,2号機主排気筒基部の周辺線量当量率の推定
※6	3号機及び4号機SGTSフィルター表面の周辺線量当量率の測定	令和元年6月20,21日	3号機及び4号機SGTS装置フィルター表面の周辺線量当量率を電離箱で測定
※7	3号機及び4号機SGTSフィルター表面の周辺線量当量率の測定	令和元年6月20,21日	3号機及び4号機SGTS装置フィルター表面の鉛コリメータ付CdZnTeによる波高分布測定
※8	1,2号機排気筒周辺での主要な汚染箇所の設定と汚染量の推定	平成31年3月28,29日	1,2号機主排気筒周辺のガンマカメラによる測定及び東電による排気筒点検等の測定を基にした汚染量の推定
※9	2号機及び3号機のSGTS室周辺配管の調査	令和元年8月2日	2号機及び3号機SGTS室内のラプチャーディスク周辺の線量を測定
※10	第3回現場調査【平成25年8月30日第3回会合で報告】	平成25年8月6,7日	4号機SGTS及び3号機／4号機SGTS配管合流部(主排気筒周辺)の線量を調査

○耐圧強化ベントラインにおける汚染状況に関する現地調査等について【2/2】

※東電HD

以下の東京電力ホールディングス株式会社（東電HD）による調査資料等による。

参考文献

1. 東京電力株式会社、“福島第一原子力発電所1 / 2号機排気筒の下部線量測定について”、＜参考配布＞平成25年12月6日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_131206_04-j.pdf
2. 東京電力株式会社、“福島第一原子力発電所1 / 2号機排気筒点検の実施について”、＜参考資料＞2015年9月17日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_150917_10-j.pdf
3. 東京電力株式会社、“福島第一原子力発電所1 / 2号機排気筒点検結果について”、＜参考資料＞2015年10月26日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_151026_04-j.pdf
4. 東京電力株式会社、“福島第一原子力発電所1 / 2号機排気筒と下部線量測定について”、＜参考配布＞2015年12月6日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_131206_04-j.pdf
5. 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1/2号機排気筒周辺における線量調査結果について”、2016年10月27日
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/10/4-01-01.pdf>

添付資料 3-10

3号機ベントガスのうち4号機原子炉建屋へ流入した割合の評価

1. はじめに

2011年3月15日に福島第一原子力発電所4号機原子炉建屋で発生した水素爆発は、3号機格納容器ベント時に、水素を含むベントガスの一部が4号機の非常用ガス処理系（SGTS）配管を逆流して4号機原子炉建屋に流入したために生じたと推定している。

従来の評価[1][2][3]では、ベントガスのうち4号機へ流れ込んだ割合は、条件にもよるが、概ね25%～29%と評価されている。ただし、上記の従来評価では、ベント配管中の圧力損失を計算する際に摩擦圧力損失係数の流速依存性を考慮していない[1][2]、配管全体をモデル化していない[3]などの相違点がある。また、4号機に流れ込んだ水素量は、事故解析コードで得られたベント時の3号機格納容器内の水素量に上記の割合を乗じることで概算できるが、現状の事故解析コードの解析結果にはばらつきが大きい [4]。

4号機が水素爆発に至ったメカニズムの理解に役立てるため、設計情報に基づいてベント配管等の流路全体をモデル化し、ベントガスの流速の変化による配管中の圧力損失の変化の影響を考慮できる熱流動解析コードによってベントガスのうち4号機に流れ込んだ割合を評価した。また、解析の初期条件となるベント時の3号機格納容器内の水素量等の状態は、事故解析コードの結果を用いず、当時のプラントパラメータに基づいて推定した。

2. ベントガスの流路について

図1に3号機格納容器から4号機原子炉建屋へのベントガスの流入経路を示す。3号機のベントガスが4号機の原子炉建屋に流れ込んだ理由としては以下が挙げられる。

- ① アクシデントマネジメント対策として、ベントラインは既存のSGTS系統（4号機側の建屋内空調ダクトと繋がっており、建屋内に開口部がある）の大部分を利用する形で、建設時から改造されていたこと。
- ② 3号機と4号機のSGTS系統は排気筒の手前で合流しており、共用の排気筒に接続されていたこと。
- ③ 4号機のSGTS系統中の弁が、全交流電源喪失により全て開いていたこと（フェイルオープン設計）。

なお、4号機のSGTSフィルタトレイン出口には逆流防止用のダンパが設置されていない。ダンパは逆流を完全に防止できるものではないが、仮に設

置されていれば建屋への流入量は相応に抑制されたと考えられる。

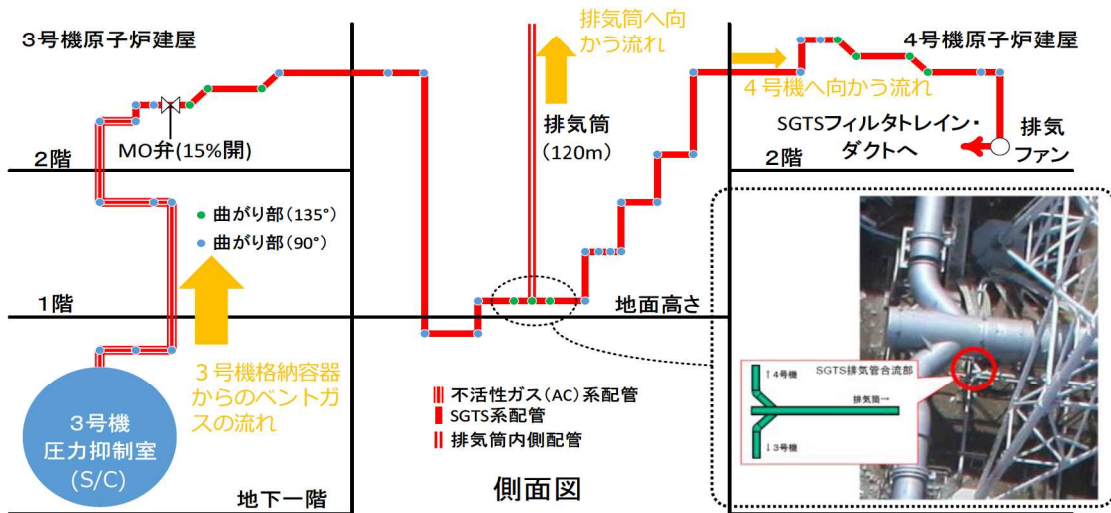


図1 3号機格納容器から4号機原子炉建屋へのベントガスの流入経路

3. ベントガスのうち4号機原子炉建屋へ流入した割合の評価

ベントガスのうち4号機原子炉建屋に流れ込んだ割合を評価するため、当時のプラントパラメータの実測値に基づいてベント時の3号機格納容器内の水素量などの状態を推定し、その結果を初期条件としてベント時の4号機へのベントガスの流入量を解析によって評価した。

3.1 実測値に基づくベント時の3号機格納容器内の状態の推定

図2に3号機ベント前後のプラントパラメータの実測値を示す。

3号機のプラントデータとしては、図2に記載したデータの外、運転員採取データがあり、若干数値が異なるものの、本検討では図2に示すデータを用いて検討した。なお、本添付資料については、圧力は全て絶対圧で記載している。

3月13日8:55時点で470kPa[abs]だったD/W圧力は、9:10時点で637kPa[abs]となり、その後9:15時点では630kPa[abs]と低下傾向となったことから、9:15までにベントが実施されたと考えられる。ここでは、実測値が得られている9:10をベント開始時刻と仮定した。

ベント開始時刻と仮定した9:10における格納容器内の状態（圧力、温度、ガスの組成）を、D/WとS/Cそれぞれについて、以下の手順で推定した。

- 実測値に基づいて圧力を推定する。
- 実測値に基づいて雰囲気温度を推定する。
- 推定した圧力と雰囲気温度から、ガスの分圧を推定する。

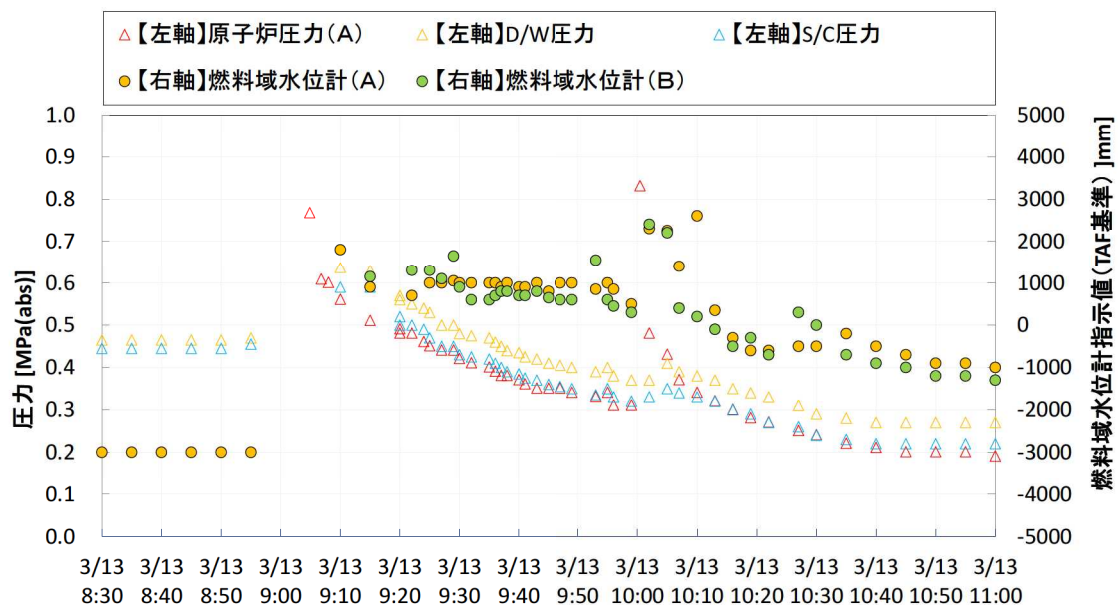


図2 3号機ベント前後のプラントパラメータの実測値

なお、ベント開始時点では、格納容器内の気相部には運転中から封入されている窒素、及び、事故の進展に伴って発生した水蒸気と水素が存在するものと想定した。ベント開始時点の格納容器内の状態の推定結果を表1に示す。また、その推定の根拠をD/WとS/Cそれぞれについて後述する。

表1 ベント開始時点の格納容器内の状態の推定結果

D/W内	圧力	637kPa[abs]
	雰囲気温度	135℃
	ガス分圧（全圧に対する割合）	窒素：約35% 水蒸気：約50% 水素：約15%
S/C内	圧力	637kPa[abs]
	雰囲気温度	130℃
	ガス分圧（全圧に対する割合）	窒素：0% 水蒸気：0%～約42% 水素：約58%～100%

(1) D/W内の状態の推定根拠

a. 圧力の推定

D/W圧力は9:10の実測値637kPa[abs]と推定した。D/W圧力計の絶対値の信頼性について議論の余地はある（添付資料3-7参照）ものの、本検討に

おける影響は小さいと考え、実測値を採用した。

b. 雰囲気温度の推定

D/W の雰囲気温度は、燃料域水位計の指示値に基づいて推定した。図 2 より、燃料域水位計の指示値はベント開始後、10 時頃まではほぼ一定であり、それ以降は徐々に低下している。10 時頃以降に指示値の低下は、燃料域水位計の炉側配管内の水が減圧沸騰し、配管内の水位が低下したためと推定している（添付資料 3-9 参照）。したがって、10 時頃の炉側配管内の水温は、この時点の原子炉圧力の実測値 310kPa[abs]における飽和温度 135°Cと推定した。水位計配管には保温は施されていないため、配管内の水温は D/W の雰囲気温度と同等と見なし、この時点の D/W の雰囲気温度も 135°Cと推定した。また、ベント中に D/W 内の雰囲気温度が大きく変化することはないと仮定し、ベント開始時点の D/W 内の雰囲気温度も同様に 135°Cと推定した。

c. ガスの分圧の推定

D/W 内のガスのうち、窒素の分圧については、ベント時までの逃がし安全弁（SRV）の動作や、自動減圧系（ADS）の作動（添付資料 3-5 参照）によって、S/C 内に存在した窒素は全て D/W 内に移行していると仮定し、約 223kPa（全圧の約 35%）と推定した。水蒸気分圧は、上記で推定した D/W 雰囲気温度 135°Cにおける飽和水蒸気圧である約 318kPa（全圧の約 50%）と推定した。水素分圧は、D/W 圧力 637kPa[abs]から窒素、及び水蒸気分圧を除いた値として、約 96kPa（全圧の約 15%）と推定した。

(2) S/C 内の状態の推定根拠

a. 圧力の推定

前述の通り、ベント時までの SRV、及び ADS の作動によって、圧力容器から S/C にガスが流入した結果、真空破壊弁の作動を通じて S/C 側と D/W 側が均圧している状況を想定し、S/C 圧力は D/W 圧力と同値として 637kPa[abs]と推定した。

b. 雰囲気温度の推定

S/C の雰囲気温度は、格納容器圧力の実測値に基づいて推定した。図 2 より、格納容器圧力はベントにより 9:10 から低下し始め、10:00 前後にいったん上昇している。10:00 前後には原子炉圧力がスパイク状に上昇していることから、この時点で炉心部の溶融物の一部が下部プレナムに移行し、圧力容器内で水蒸気と水素が発生していたと考えられる（添付資料 3-3, 3-4, 3-9 参

照)。これらの発生ガスが格納容器側に移行し、格納容器圧力を一時的に上昇させたと考えられる。この一時的な圧力上昇により、格納容器圧力の低下はやや遅れるものの、その後単調に低下し、10:40以降はD/W圧力は270kPa[abs]、S/C圧力は220kPa[abs]で一定値を示している。圧力が一定値を示している原因としては、S/Cプールで減圧沸騰が始まった可能性、あるいは、ベントラインが閉じた可能性などが考えられる。仮にS/Cプールで減圧沸騰が始まったとすると、大量の水蒸気が発生するため、格納容器圧力の低下速度は緩慢となるはずだが、上記の一時的な圧力上昇を除いて、10:40までは実測値にそのような傾向が見られないことから、少なくとも10:40時点のS/Cプール水温は格納容器圧力における飽和温度以下であったと考えられる。

一方、11:17時点で駆動用空気圧の抜けによってベントライン中のAO弁（大弁）が閉となっていたことが確認されている[1]。AO弁（大弁）は10:40の時点で閉となっていた可能性があり、これによってS/Cプール水温にかかわらず圧力が一定となった可能性もある。このため、実測データから10:40時点のS/Cプール水温が飽和温度よりもどの程度低かったかを推定することはできない。

本検討では、S/C雰囲気温度を考えられる範囲で高めに見積もることとした。この観点から、10:40時点のD/W圧力（270kPa[abs]）における飽和温度130℃をS/Cプール水温と仮定し、S/Cの雰囲気温度も同様に130℃と推定した。また、ベント中にS/C内の雰囲気温度が大きく変化することはないと仮定し、ベント開始時点のS/C内の雰囲気温度も同様に130℃と推定した。

c. ガスの分圧の推定

図2に示すように、8:55から9:10までに、S/C圧力が445kPa[abs]から590kPa[abs]まで上昇している。8:55の時点では、原子炉水位は有効燃料下端（BAF）付近まで低下していると推定している（添付資料3-9参照）。原子炉水位の低下によって炉心部が高温となり、この時点で相当量の水素が発生していたと考えられる中、ADSの作動により圧力容器からS/Cに水素が流れ込んだことによって圧力が上昇したものと考えられる。その場合、図3に示すように、S/Cに流入した水素によって水蒸気がD/W側に押し出され、気液非平衡状態（水蒸気分圧<飽和水蒸気圧）となっていた可能性がある。

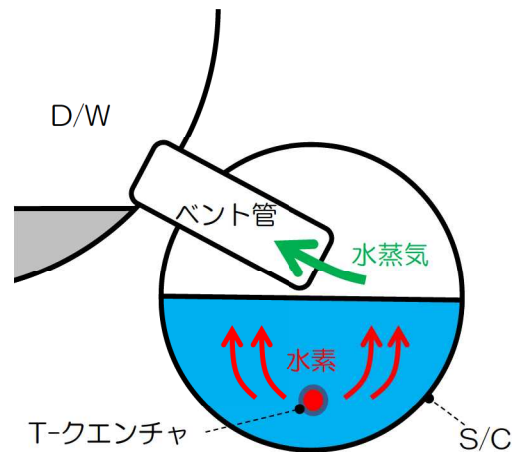


図3 水素流入時の S/C 内の蒸気の挙動

ベント開始時点で、水蒸気圧が飽和水蒸気圧と比べてどの程度低くなっているかは不明であるため、以下の2つの極端な状況を想定する。

ケース A： S/C 気液平衡ケース（水蒸気圧＝飽和水蒸気圧）

窒素は D/W に移行しているとして、窒素分圧は 0 と想定。水蒸気分圧は上記で推定した S/C 雰囲気温度 130℃における飽和水蒸気圧である約 270kPa（全圧の約 42%）が S/C 内にとどまっていたと想定。水素分圧は全圧から水蒸気分圧を除いた値として、約 367kPa（全圧の約 58%）と想定。

ケース B： S/C 気液非平衡ケース（水蒸気圧 0）

窒素は D/W に移行しているとして、窒素分圧は 0 と想定。水蒸気は水素によって全て D/W 側に押し出されていると仮定し、水蒸気分圧は 0 と想定。したがって、S/C 気相部は全て水素（637kPa）と想定。

なお、「(2) b. 雰囲気温度の推定」に示したように、10:00 頃に炉心部から一部の溶融物が下部プレナムに移行したことによって、压力容器内で水蒸気や水素の追加発生し、格納容器圧力の上昇の原因となったと考えられる。これらのガスの追加発生については 3.2 に示す解析では考慮していないが、後述するように、格納容器内のガスの体積割合がベントガスのうち 4 号機建屋に流れ込む割合に与える影響は小さいため、解析におけるガスの追加発生の考慮の有無は、本検討の結論に影響するものではないと考えている。

3.2 4号機原子炉建屋へのベントガス流入の解析

実機の配管長さ、配管径、曲がり部の影響等を考慮して、3号機ベントガスの4号機原子炉建屋への流入割合、及び、流入する水素量を、熱流動解析コードGOTHICを用いて解析した。

(1) 解析体系

解析では、3号機の格納容器、3号機と4号機のベント配管、排気筒を模擬した。GOTHICによる解析体系を図4に示す。

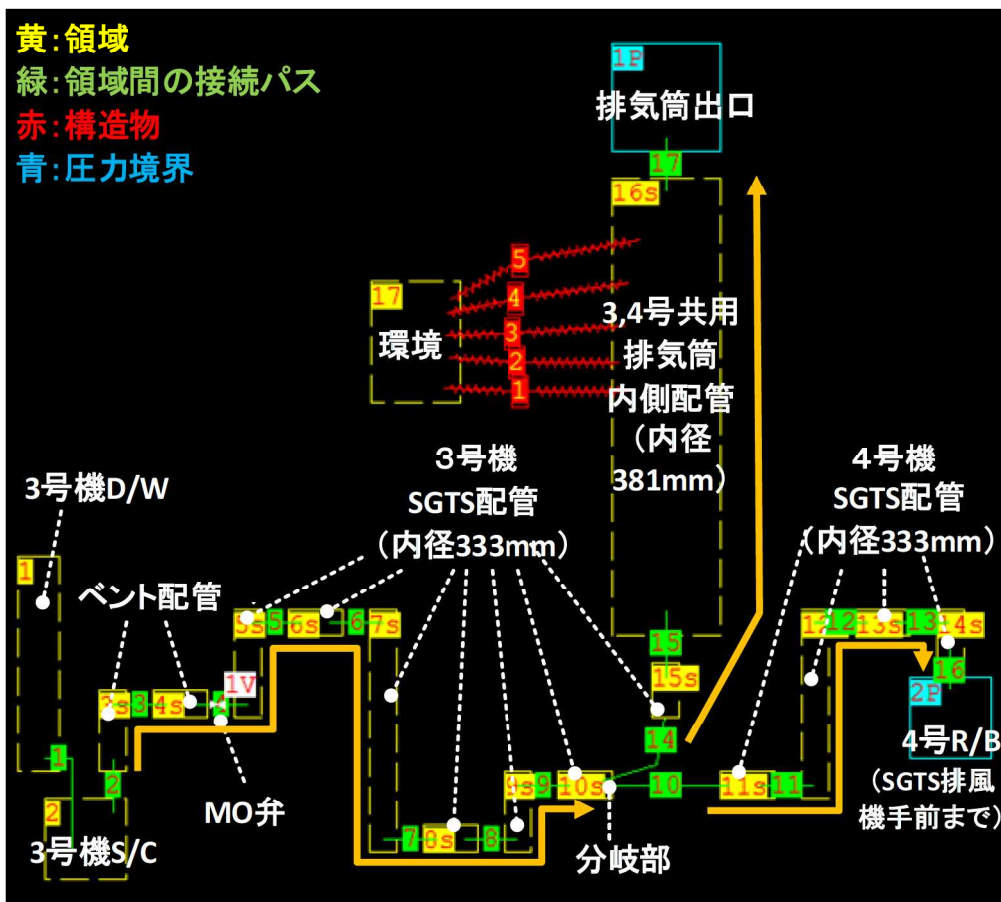


図4 GOTHIC解析体系

3号機のSGTSフィルタトレイン出口には逆止弁があり、3号機の原子炉建屋へのベントガスの逆流は限定的と考えられるため、解析では3号機原子炉建屋や、そこに逆流するパスは考慮していない。4号機原子炉建屋に流れこむ流路としては、SGTS配管の先にSGTSフィルタトレインがあり、その先は建屋内の空調ダクトと繋がっている。解析ではこのうちSGTSフィルタトレイン出口付近（SGTS排風機付近）までをモデル化した。

格納容器の体積、ベント配管や排気筒の配管径や配管長は設計データに基づいて設定した。実際のベント配管の取り回しは複雑だが、解析ではモデリングと計算時間を効率化するため、水平方向の配管と垂直方向の配管をまとめてモデル化した。

ベントガスのうち、排気筒側に流れる割合と、4号機側に流れる割合は、分岐部以降の配管中の圧力損失によって決まる。配管中の圧力損失は、配管内壁とベントガスの摩擦によって生じる摩擦圧損と、配管の曲がり部や流路拡大・縮小部で生じる局所圧損に分けられる。このうち摩擦圧損については、流速の依存性を含めて正確に計算されるよう、配管径と配管長を設計情報に基づいてモデル化した。局所圧損については、配管内の曲がり部、及び流路面積が変化する部分の付近の流路に局所圧損係数として集約して設定することで模擬した。4号機SGTSフィルタ出口以降(SGTSフィルタトレイン、及び空調ダクト等)の圧力損失については、4号機原子炉建屋の圧力境界(SGTS排風機付近)の手前に局所圧損係数として換算・集約して設定した。

ベント弁(MO弁)の開度は、操作の記録[1]に基づいて15%開に設定した。圧力境界として、4号機原子炉建屋側には大気圧を、排気筒出口には排気筒の高さによる圧力低下を考慮した。

また、ベントガス中の水蒸気の凝縮による流れへの影響を確認するため、排気筒を熱構造物としてモデル化し、環境への放熱を考慮できるようにした。

(2) 解析条件

解析対象期間は、3号機の第1回ベント開始時から、圧力が低下してほぼ一定になるまでの期間として、3月13日9:10から11:00までとした。なお、同期間中にベントライン中のAO弁(大弁)は開であったものと仮定した。

主な解析条件を表2に示す。D/W、及びS/Cの初期状態については、3.1に示した推定に基づいて、圧力、雰囲気温度、ガス組成を設定した。ベント開始時のS/C内の水素量が少ない場合(ケースA)と多い場合(ケースB)についてそれぞれ解析した。

なお、ベント時のS/Cプール水量は不明であるため、本解析ではS/Cプールの水位をS/Cの半分の高さ(≒通常水位)と仮定した。S/Cプールの水位はS/C内の自由空間体積に影響し、S/C内の自由空間体積と3.1で推定したガスの分圧によってベント時の格納容器内のガスの量が決まる。このS/Cプール水位の仮定による解析結果への影響については「(3) g. 4号機原子炉建屋へ流入した水素量」にて後述する。

表2 解析条件

項目	解析条件	備考
解析対象期間	2011/3/13 9:10～11:00 (3号機第一回ベント時)	格納容器圧力が低下し始めてからほぼ一定となるまでの期間
D/W 初期状態	637kPa[abs] / 135℃ 窒素 35% / 水蒸気 50% / 水素 15% (水素量約 240kg)	3.1 (1) 参照
S/C 初期状態	637kPa[abs] / 130℃ / 水約 3000m ³ <u>ケース A : S/C 気液平衡ケース</u> 窒素 0% / 水蒸気 42% / 水素 58% (水素量 : S/C 内約 670kg、格納容器内約 910kg) <u>ケース B : S/C 気液非平衡ケース</u> 窒素 0% / 水蒸気 0% / 水素 100% (水素量 : S/C 内約 1170kg、格納容器内約 1410kg)	3.1 (2) 参照
その他の箇所の初期状態	大気圧 / 10℃ 空気 100%	排気筒出口の圧力境界では排気筒高さ分の圧力低下を考慮

(3) 解析結果

a. 格納容器、及びベント配管中の圧力

図5に、格納容器圧力の実測値と、格納容器およびベント配管中の圧力の解析結果を並べて示す。ケース A、B ともに、格納容器圧力の低下傾向と、期間中の圧力の下限值を再現している。ベント配管中の MO 弁（流路狭窄部）以降は圧力が急激に低下している。その結果、SGTS 配管合流部の圧力はほぼ大気圧近傍（概ね 120kPa 以下）となっている。

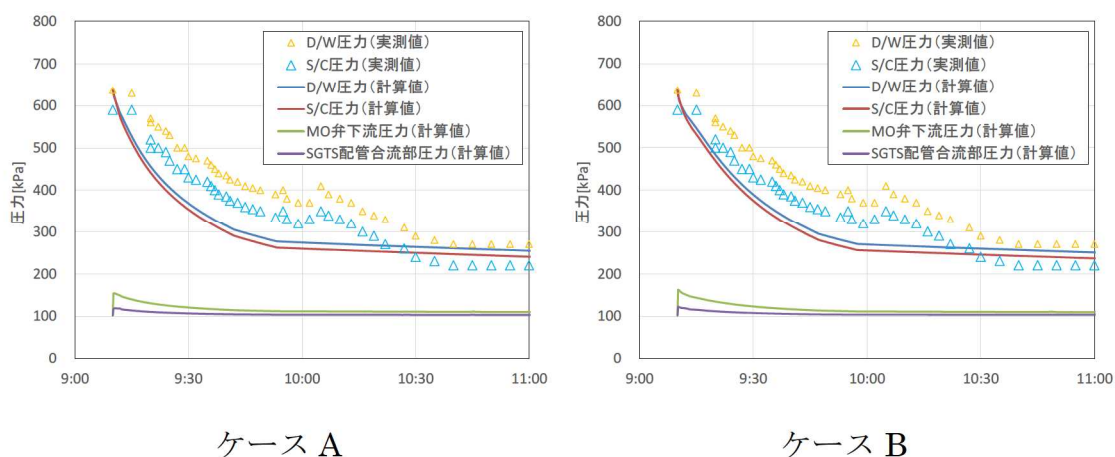


図5 格納容器圧力とベント配管中の圧力

b. ベントガスの流量

図6にベント配管中の各位置におけるベントガスの流量を示す。ベントガス流量のうち、4号機原子炉建屋に流入した割合についてはf.にて後述する。

なお、ケース A とケース B ではベント開始直後の流量の挙動が異なるが、初期状態としてケース A では S/C 内に水蒸気が含まれているのに対し、ケース B では S/C 内を比重の小さい水素が占めており、ベント開始直後の流量はケース A と比較して小さくなっている。その後は初期条件の違いにかかわらず、水素の流出に伴って水蒸気の割合が増加し、ケース A とケース B でガスの体積割合が同等となる（図8参照）ため、徐々にベントガスの比重が大きくなり、やがてケース A と同等の流量の挙動となったものと考えられる。

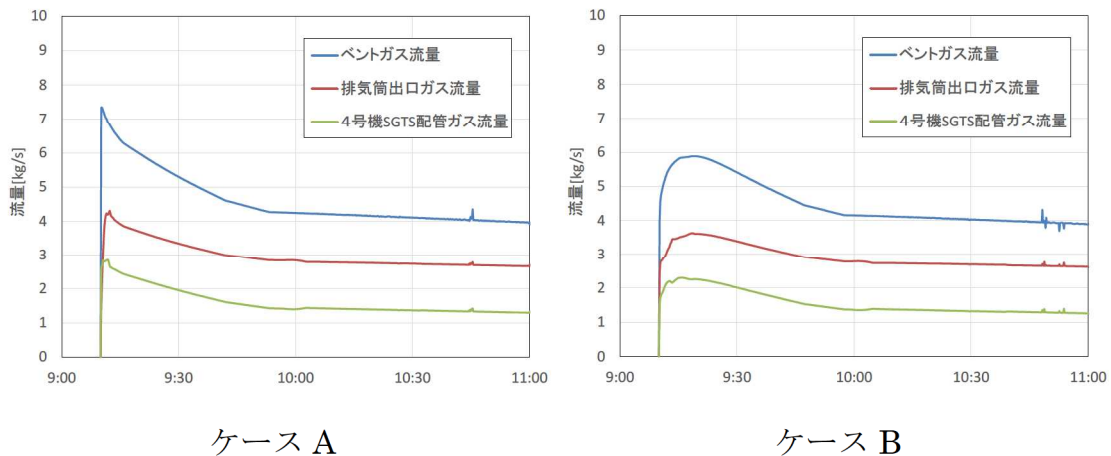


図6 ベント配管中の流量

c. D/W 内のガス体積割合

図7に D/W 内のガス体積割合を示す。両ケースともに、ベント中の D/W 内の水素割合に大きな変化は見られない。D/W 圧力自体は低下しているため、水素は圧力低下の割合分だけ S/C 経由でベントガスとして放出されている。

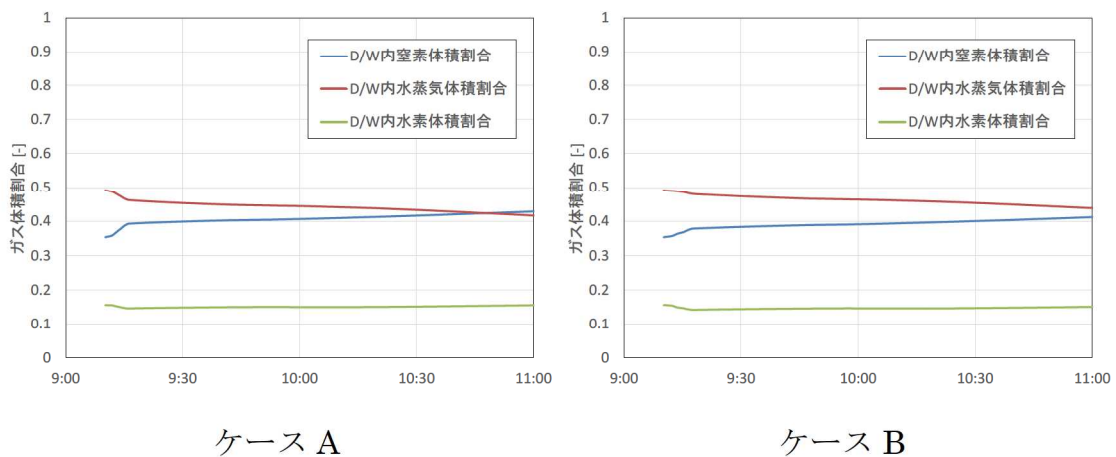


図7 D/W 内のガス体積割合

d. S/C 内のガス体積割合

図8に S/C 内のガス体積割合を示す。ベント中、D/W 内のガスは S/C 経由で放出されるため、D/W から流れ込んだ窒素の体積割合が一時的に増加するが、圧力の低下に伴って水素とともに排出されている。水蒸気の体積割合が増加しているのは、ベントにより圧力が低下する中でも、S/C 温度に応じた飽和水蒸気圧を維持しようと、S/C プールから水蒸気が発生しているためである。

結果として両ケースともに、11:00頃には水素がS/Cからほぼ排出されている。本解析ではベントライン中のAO弁（大弁）は開であったものと仮定しているが、仮に10:40頃にAO弁（大弁）が閉となっていたとしても、それまでにS/C内の水素はほぼ放出されていることになる。

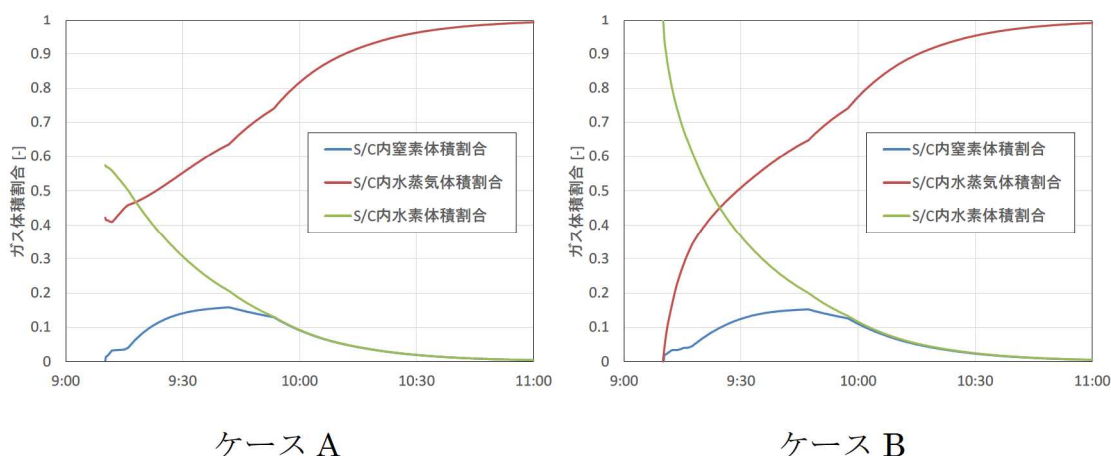


図8 S/C内のガス体積割合

e. 排気筒中の気相体積率

図9に排気筒中の気相体積率を示す。ベント開始直後に、ベントガスが排気筒構造物に放熱することで凝縮が生じるが、構造物が温まると放熱が小さくなり、ほとんど凝縮しなくなる。両ケースともに、排気筒内の気相体積率は常に99%以上であり、ベント中の凝縮によるベントガスの流れへの影響は無視できる。

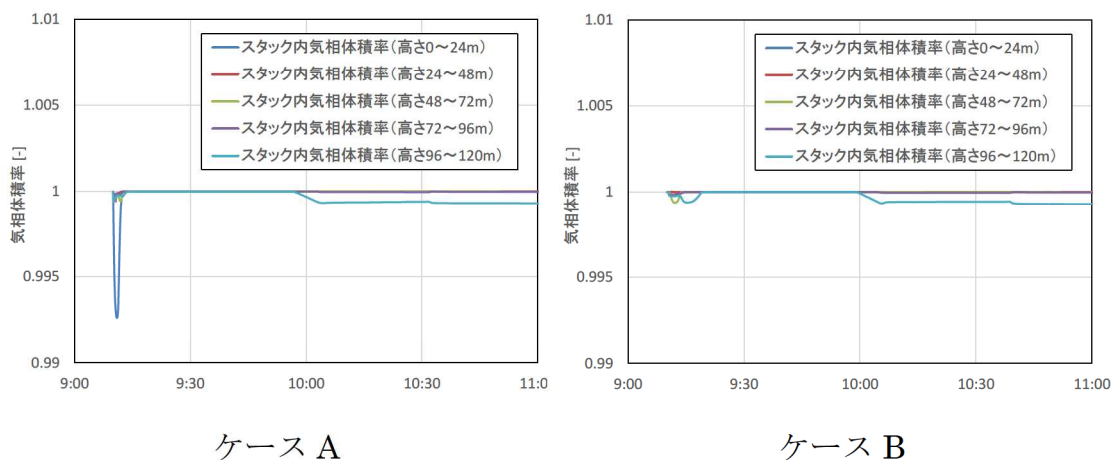


図9 排気筒中の気相体積率

f. ベントガスのうち4号機原子炉建屋に流入した割合

図 10 にベントガスのうち4号機原子炉建屋へ流入した割合を示す。流入割合は格納容器内のガス分圧によらず、両ケースとも 35%前後で同等となった。

なお、当社の既往の検討[1]では、ベントガス全体の約 29%が4号機側に流れ込むと評価している。本解析はこれと類似の結果ではあるものの、数%の差異がある。この差異は、主に配管の曲り部における圧力損失の取り扱いの違いによって生じていると考えられる。既往の検討では、配管の曲り部を図 11 (A) に示すようなエルボとして評価しているが、実際の配管は滑らかにカーブしていることから、本解析では曲り部を図 11 (B) に示すようなベンドとして評価している。その結果、本解析では既往の検討と比較して曲り部の圧力損失が小さくなっている。図 1 に示したように、4号機側の SGTS 配管中には多くの曲り部が存在するため、本解析では既往の検討と比較してベントガスが流れやすくなった結果、4号機側への流入割合が増加したものと考えている。

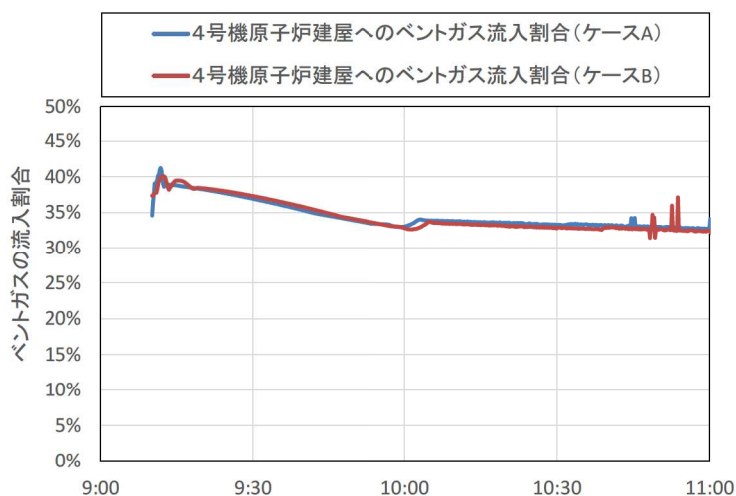


図 10 ベントガスのうち4号機原子炉建屋へ流入する割合



図 11 配管の曲り部のイメージ

g. 4号機原子炉建屋へ流入した水素量

図 12 に 4 号機原子炉建屋へ流入した水素量の積分値を示す。ケース A では約 300kg、ケース B では約 500kg という結果になるが、S/C の初期水蒸気割合はケース A とケース B の中間的な状態にあると考えられるため、4号機原子炉建屋へ流入した水素量もケース A とケース B の中間的な値であったと考えられる。

ただし、本解析ではベント時の S/C 水位を、S/C の半分の高さ（≒通常水位）と仮定したが、実際のベント時の水位はより高かった可能性がある。図 13 に示すように、3 月 12 日 20:00（ベントの約 13 時間前）までは、S/C 水位の実測値が得られている。最後に S/C 水位の実測値が得られて以降も、S/C スプレイを継続していたことや、圧力容器から流入した水蒸気が凝縮する効果なども考えると、ベント時の S/C 水位はさらに上昇していた可能性がある。一方で、S/C プール水温の低下や、格納容器からの気相漏えいの可能性も否定できず、水位が低下していた可能性もある。これを明らかにするためには、S/C 水位の実測値の信頼性や、格納容器圧力等の他のパラメータとの整合性等も合わせて検討し、その結果も踏まえて考えていく必要がある。

S/C 水位が変わると、S/C 空間体積が変わり、格納容器圧力の実測値を再現する水素量が変わるため、約 300～500kg という解析結果には不確かさがある。

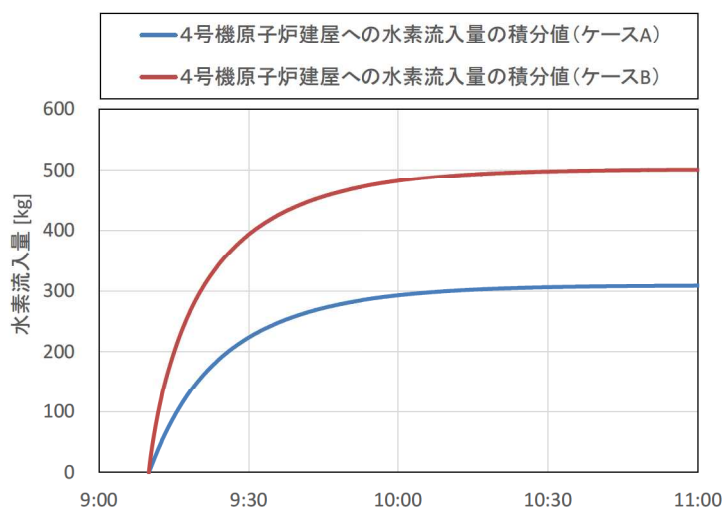


図 12 4号機原子炉建屋へ流入した水素量の積分値

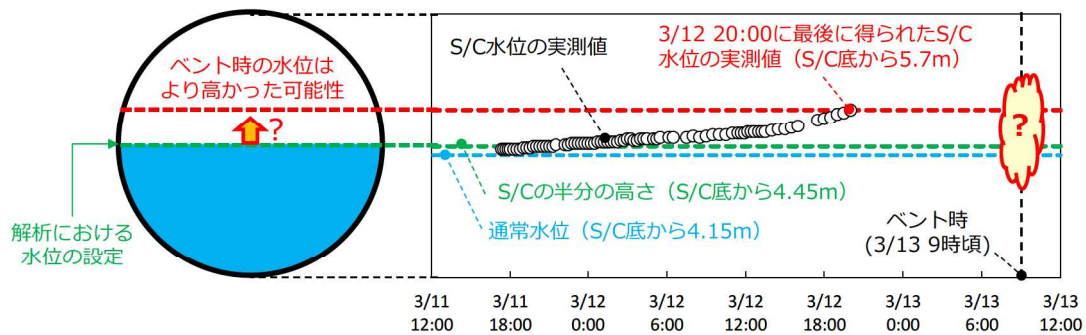


図 13 ベント時の S/C 水位について

4. まとめ

3号機の格納容器内の状態を実測値に基づいて推定した上で、熱流動解析コードによる3号機ベントガスの流動解析を行った。水素を大量に含むベントガスの約35%が4号機に流入する結果が得られ、この水素の流入が4号機原子炉建屋の爆発に繋がった可能性が高いことを改めて確認した。

5. 柏崎刈羽原子力発電所の安全対策との関係

本評価結果より、格納容器ベント時のガスが建屋に逆流しない対策（ベント配管の独立性の確保）が必要であることが改めて示唆された。

柏崎刈羽原子力発電所に新たに設置されるフィルタベントは、他号機と系統を共有しておらず、また、自号機内の他系統とも隔離する運用としている（図14）。このように、ベント配管の独立性を確保し、格納容器ベント時にベントガスが原子炉建屋へ流入することが無いよう対策を講じている。

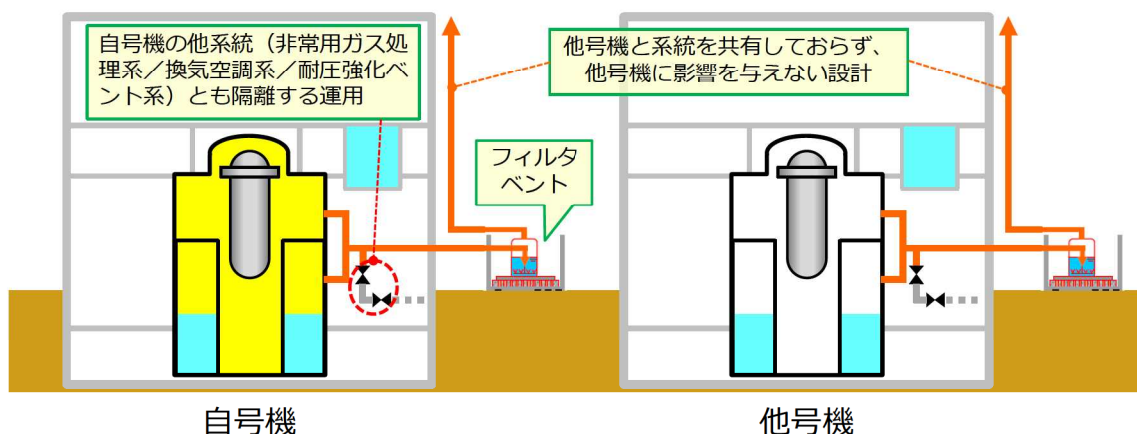


図 14 柏崎刈羽原子力発電所におけるベント配管

参考文献

- [1] 東京電力株式会社, “福島原子力事故調査報告書”, (2012/6/20)
- [2] 日本国政府, “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（政府事故調）最終報告”, (2012/7/23)
- [3] Masao Ogino (JNES), “Study on the Issues about Hydrogen Explosion at Fukushima Dai-ichi NPS”, Technical Workshop on TEPCO’s Fukushima Daiichi NPP Accident Handouts, Tokyo, Japan, (2012/7/24)
- [4] OECD/NEA, “Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (BSAF Project) – Phase I Summary Report”, (2015/3)