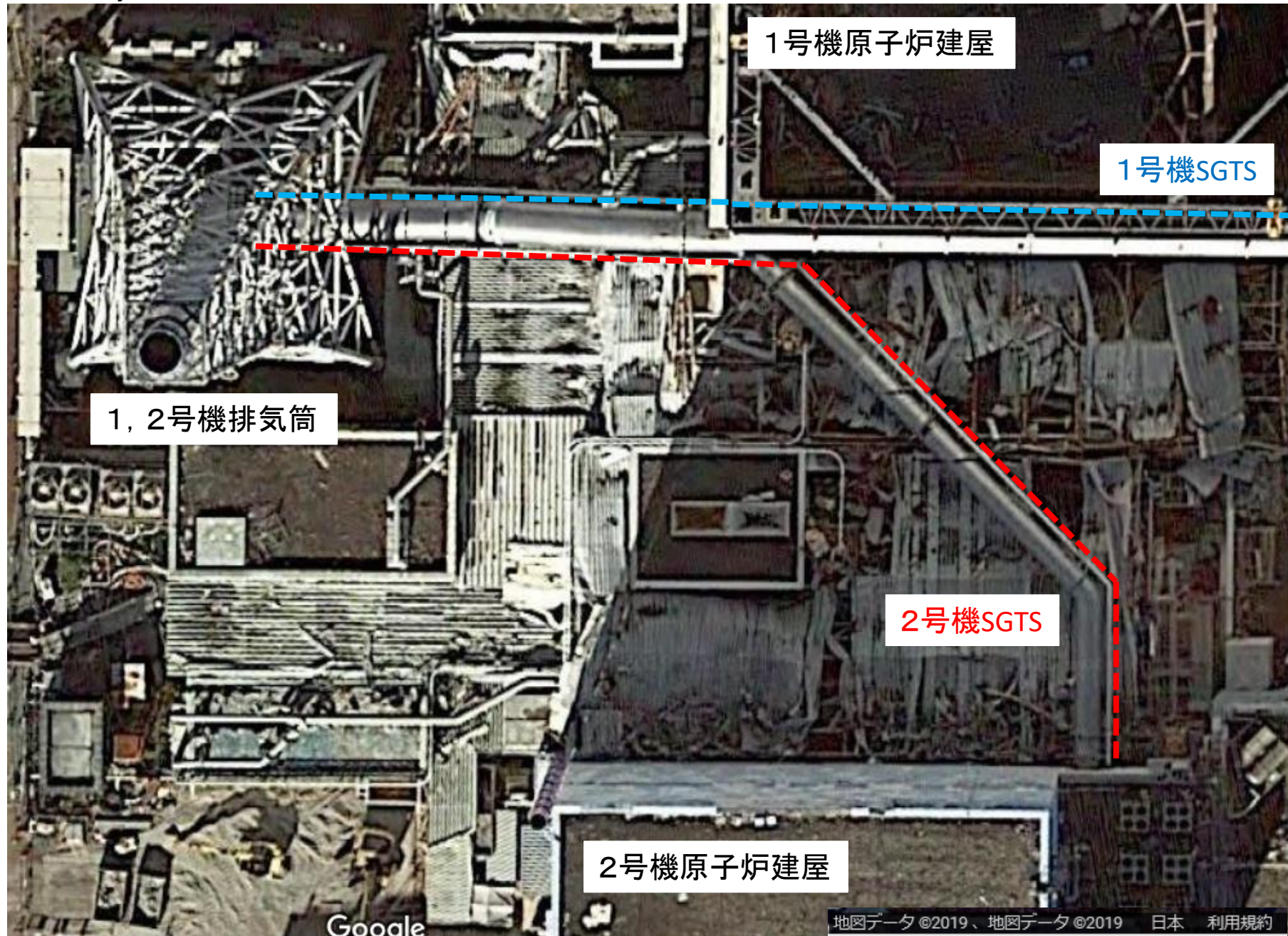
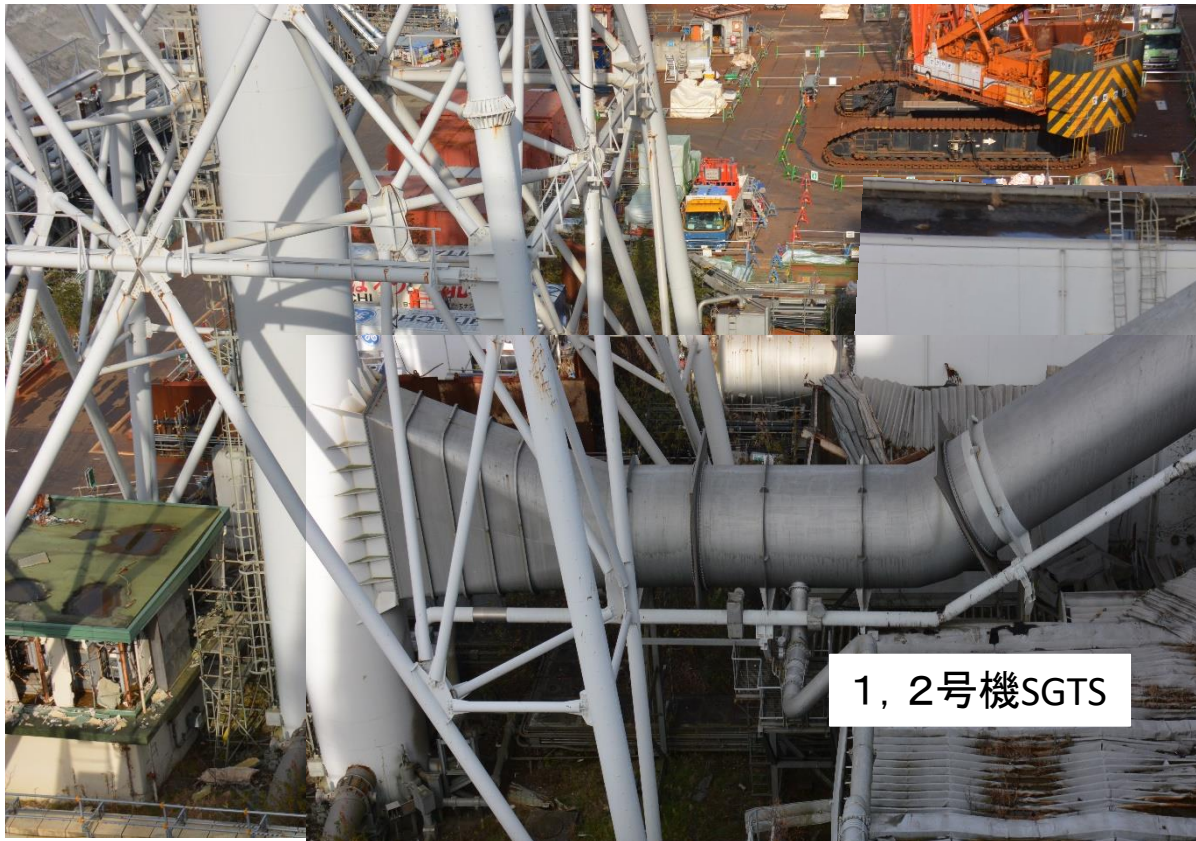


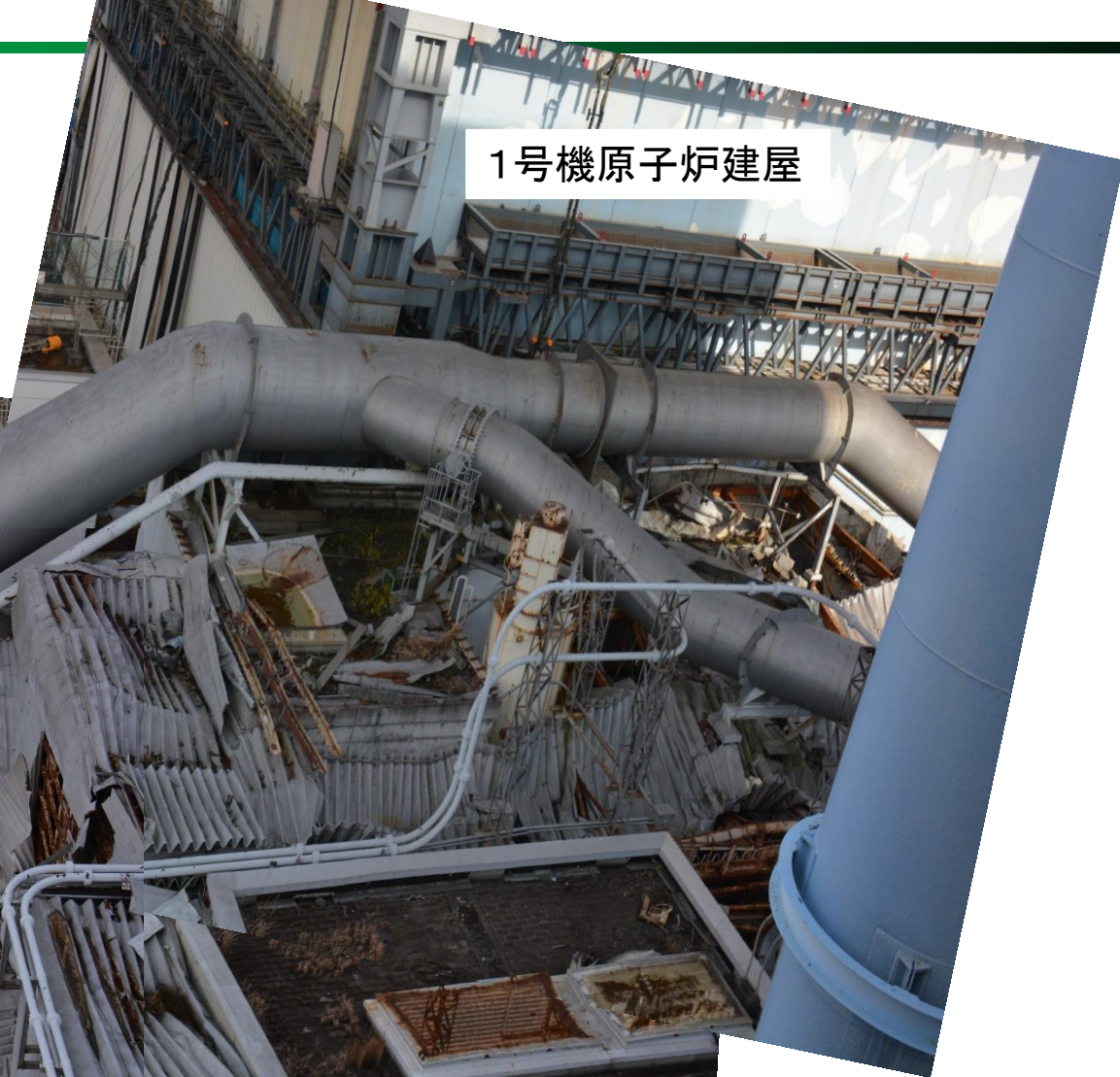
参考資料等 (写真・設計図書等)







1, 2号機SGTS



1号機原子炉建屋

1, 2号機主排気筒



1号機データ

1号機 現場対処及び計装機器が示す指示値の推移

12日 15:36頃
R/Bで水素ガス爆発発生

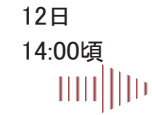
注水



注水ラインが構成され、消防ポンプが作動していた可能性があることを意味する。
なお、実際に、原子炉に注水されたことまで意味するものではない。

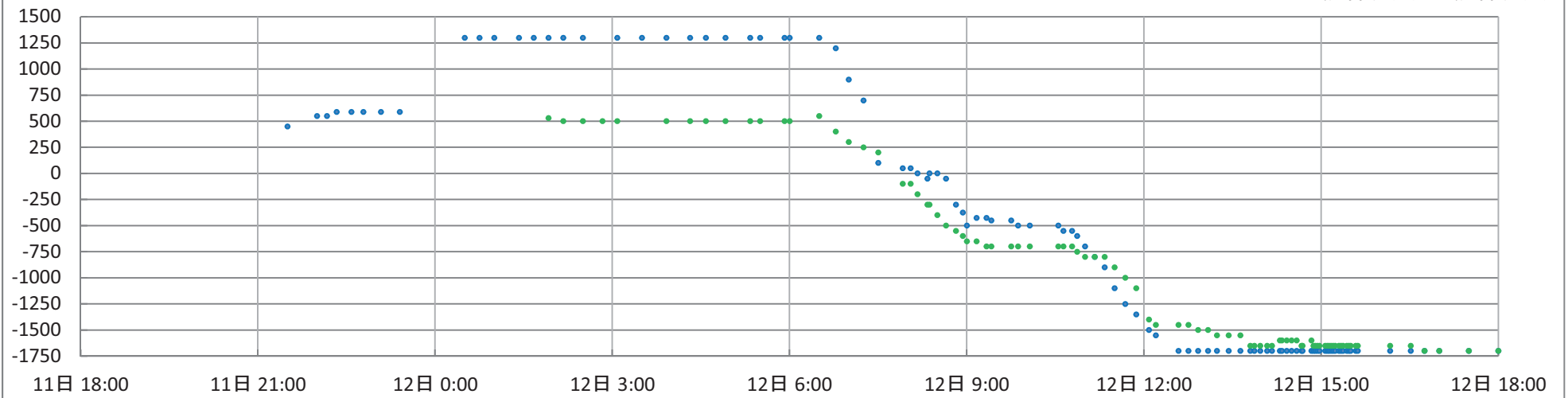
SR弁の 手動開操作

格納容器ベント弁の 手動開操作

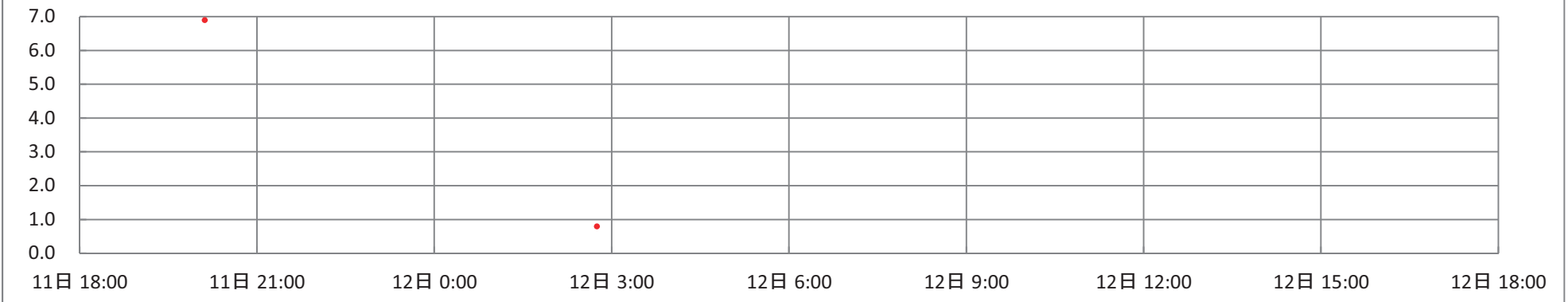


格納容器ベントに必要な弁の開操作を行った可能性があることを意味する。
なお、格納容器ベントの実施には、ベント弁の開操作に加え、弁の開状態が維持され、ラプチャーディスクが破壊される必要がある。

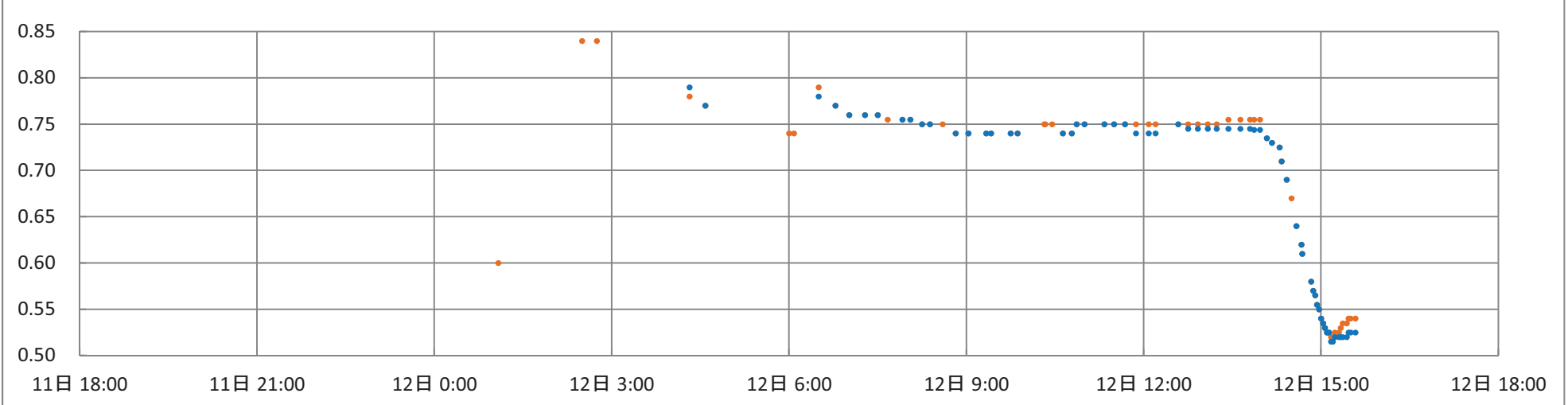
原子炉水位計(燃料域)の指示値(mm)



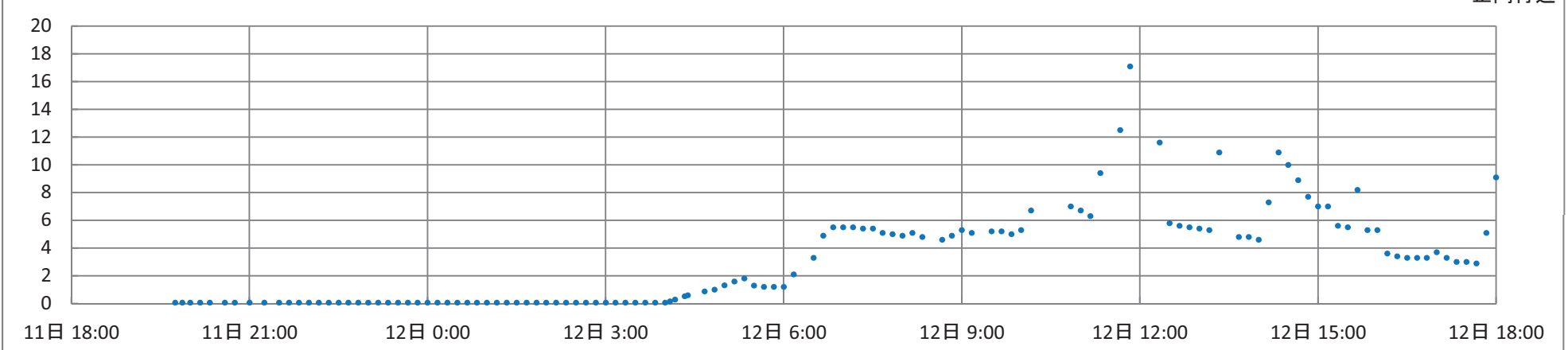
原子炉圧力計の指示値(MPa gage)



D/W圧力計・S/C圧力計の各指示値(MPa abs)



モニタリングポスト線量(μSv/h)

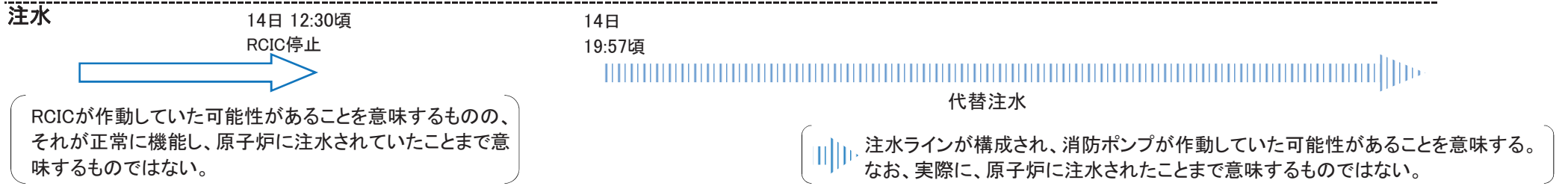


※次の線量も正門付近で計測されている。

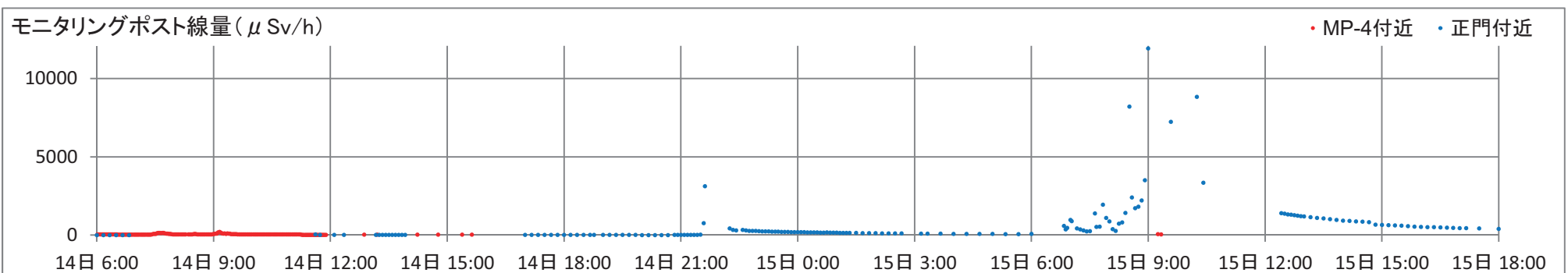
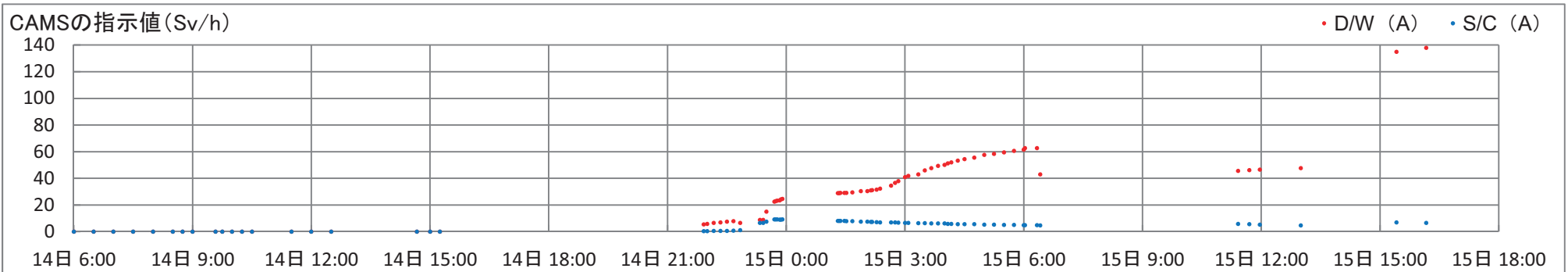
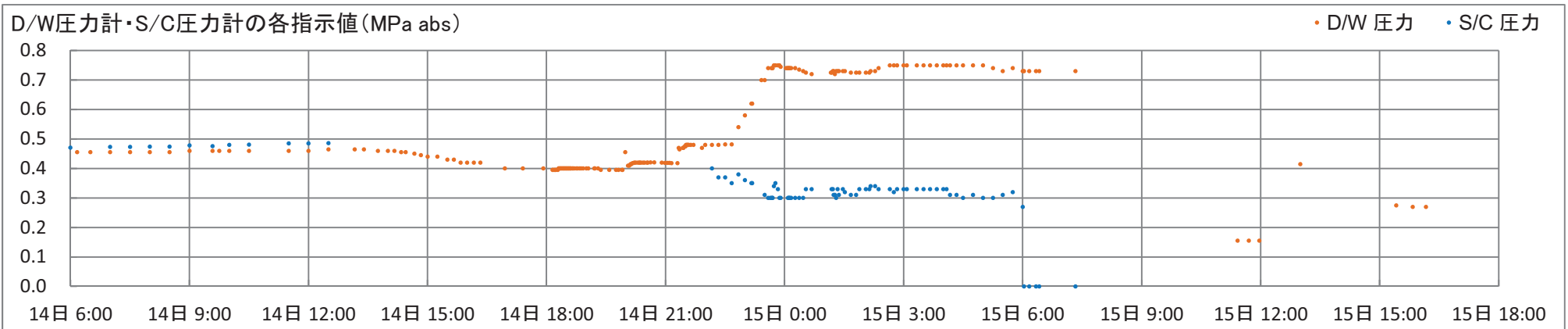
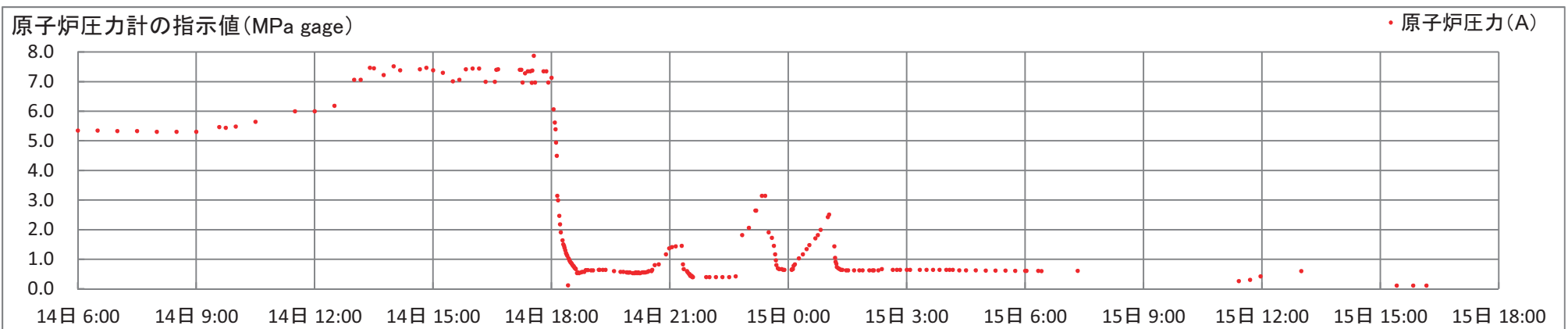
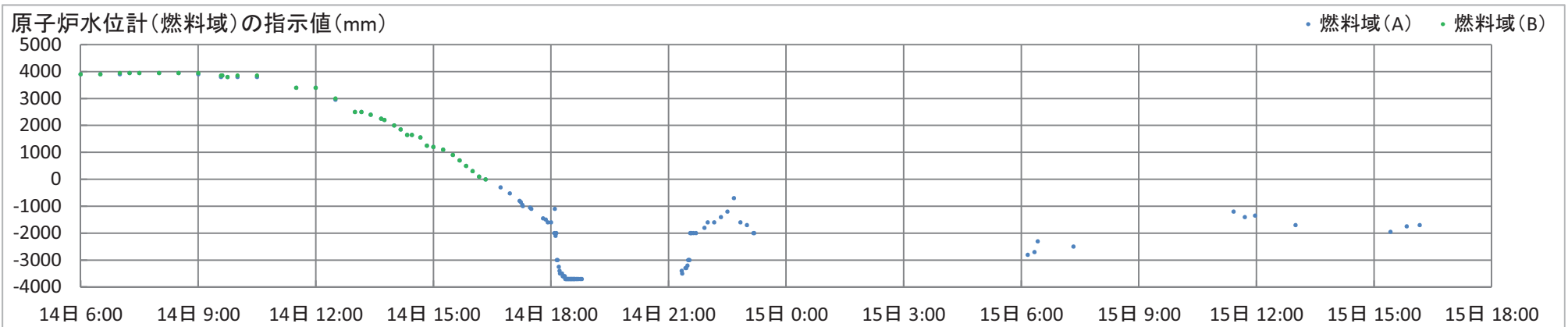
3月12日 10:20 180.2、10:30 385.5、10:40 162.9、11:30 35.8、12:00 23.2、12:10 48.2(単位: μSv/h)

2号機データ

2号機 現場対処及び計装機器が示す指示値の推移



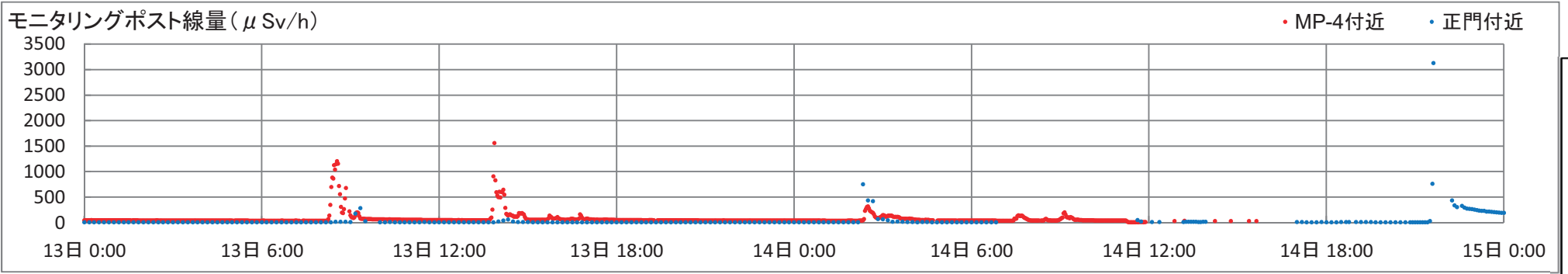
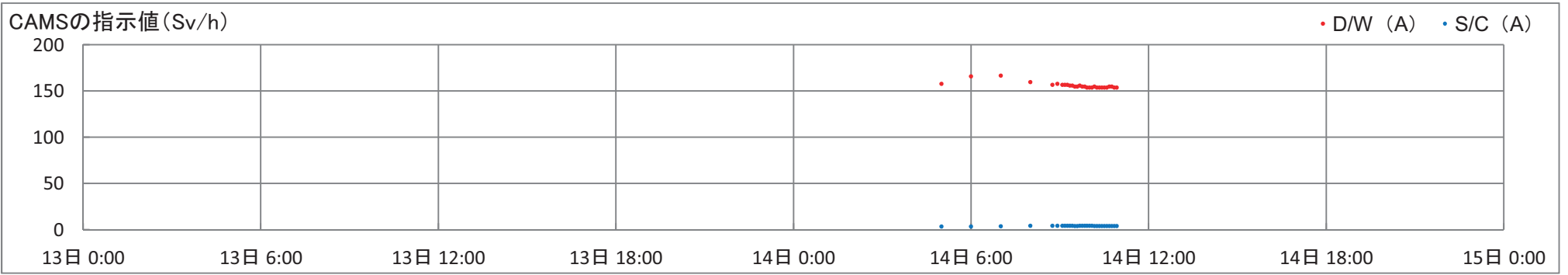
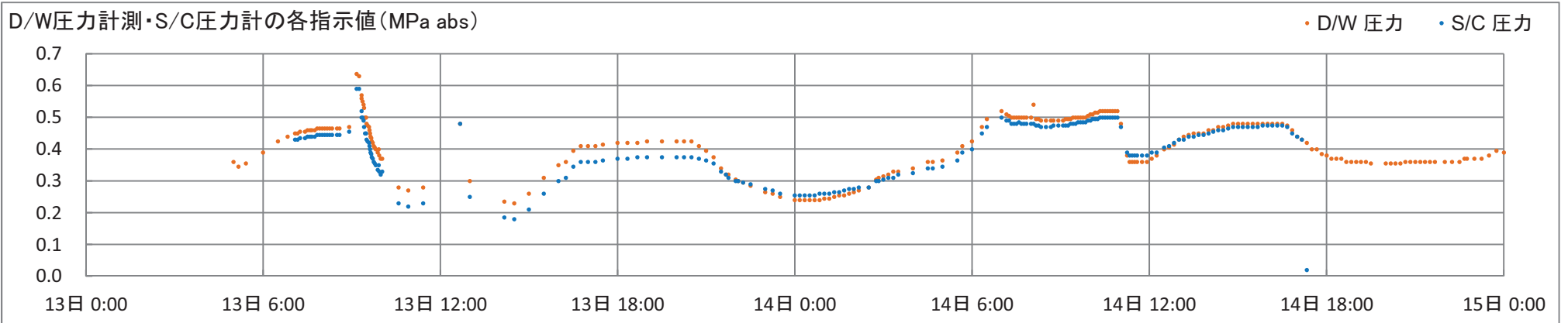
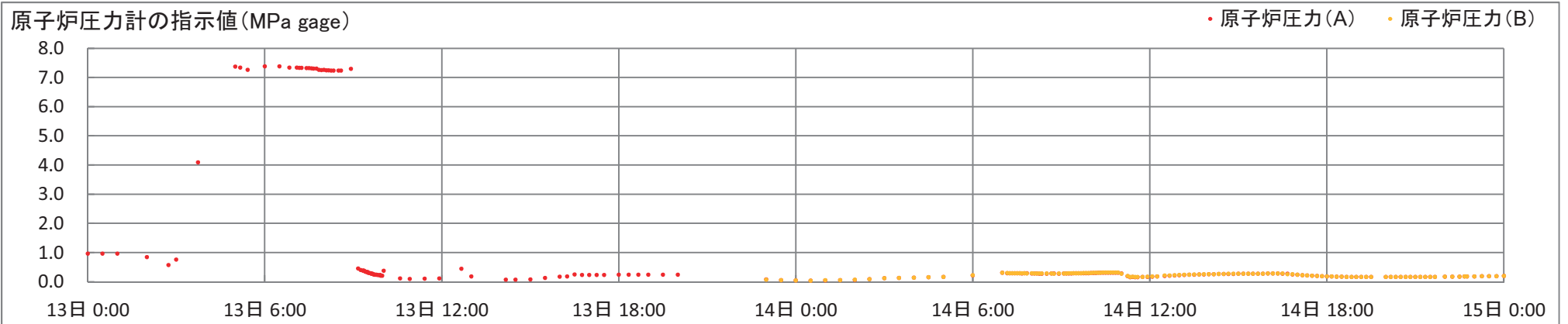
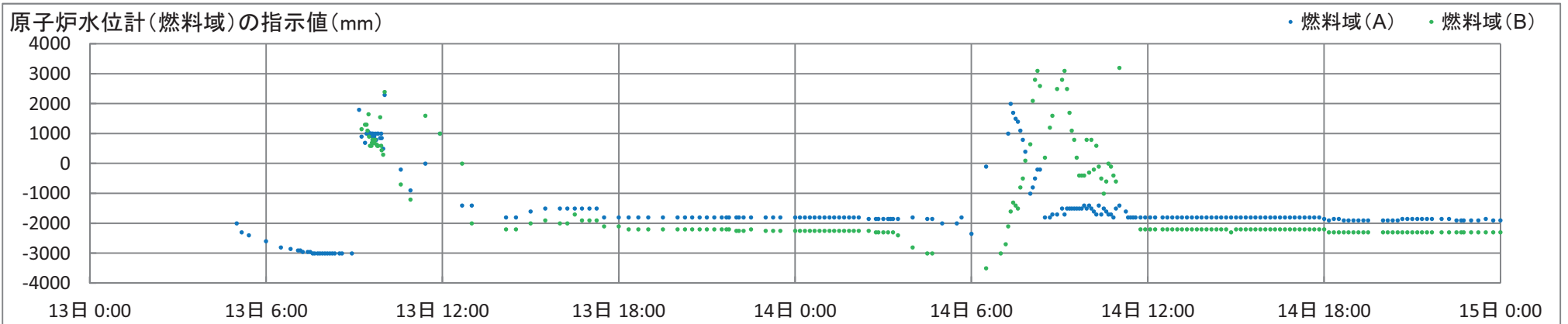
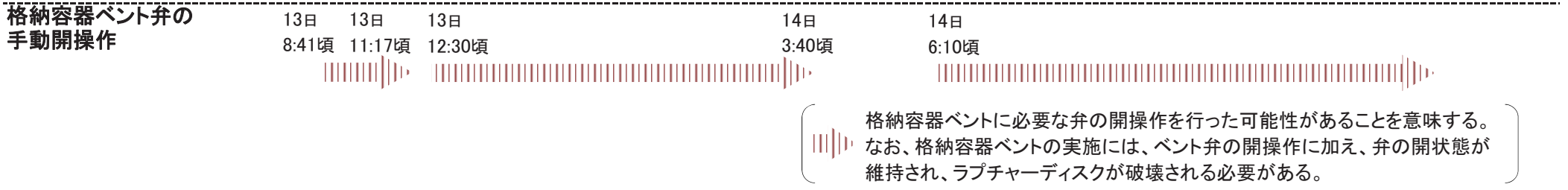
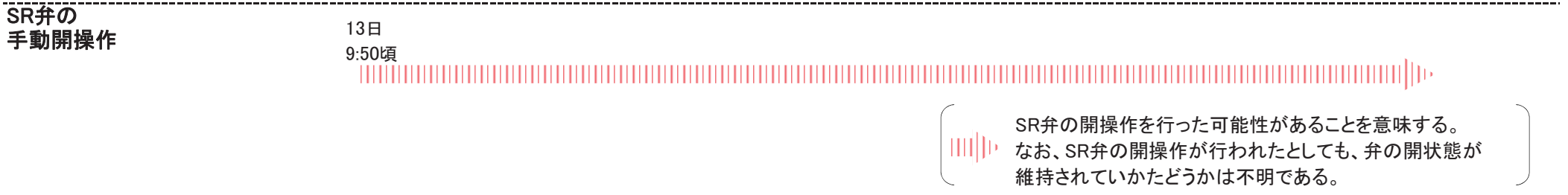
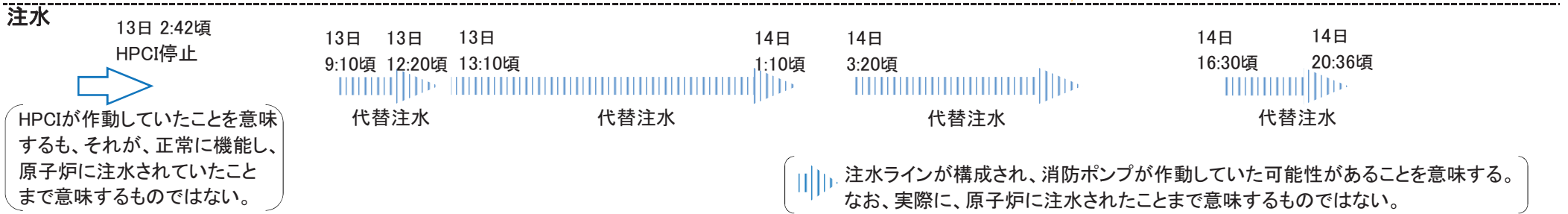
**格納容器ベント弁の
手動開操作**



3号機データ

3号機 現場対処及び計装機器が示す指示値の推移

14日 11:01頃
R/Bで水素ガス爆発発生



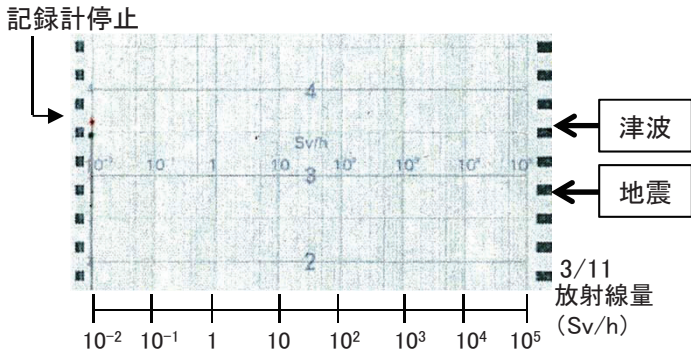
東京電力「プラント関連パラメータ」(平成23年5月)等を基に作成

1～3号機 格納容器雰囲気監視系放射線モニタ(CAMS)

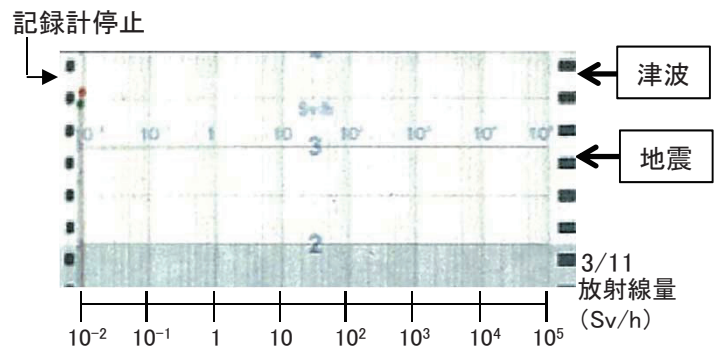
有意な放射線量の上昇は認められない。

<1号機>

(赤) 格納容器雰囲気監視系放射線モニタA(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気監視系放射線モニタC(S/C)

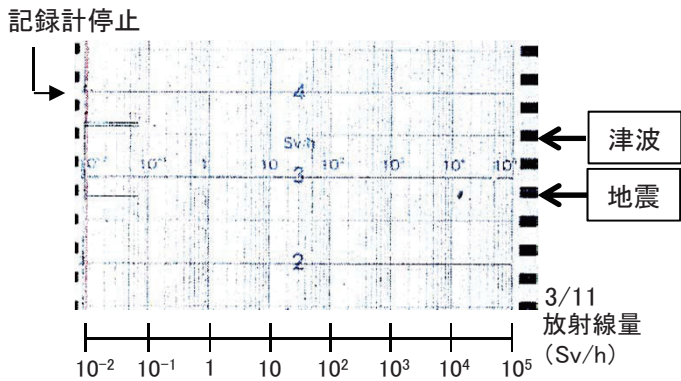


(赤) 格納容器雰囲気監視系放射線モニタB(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気監視系放射線モニタD(S/C)

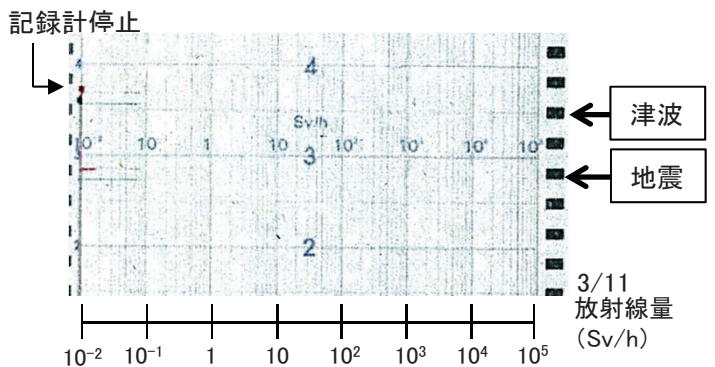


<2号機>

(赤) 格納容器雰囲気放射線モニタA(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気放射線モニタC(S/C)

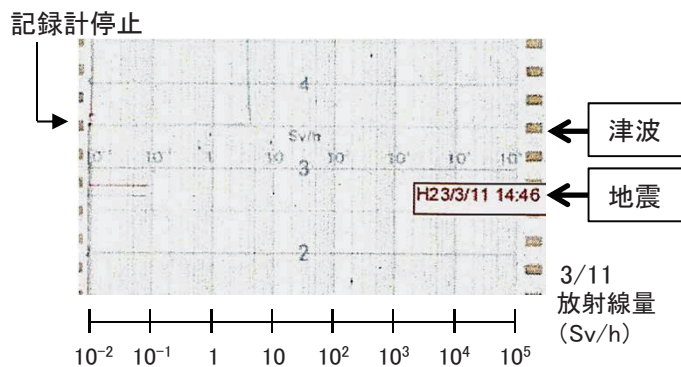


(赤) 格納容器雰囲気放射線モニタB(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気放射線モニタD(S/C)

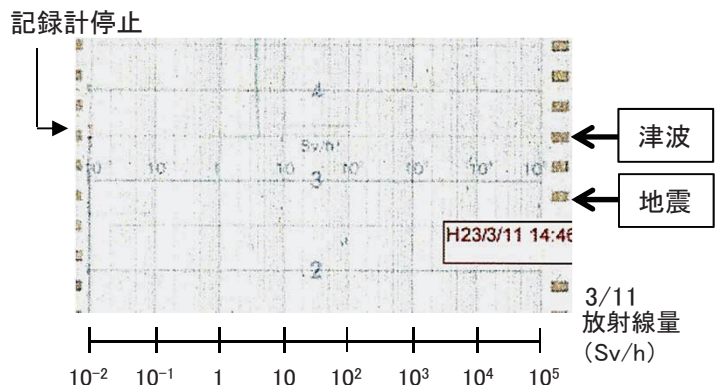


<3号機>

(赤) 格納容器雰囲気放射線モニタA(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気放射線モニタC(S/C)



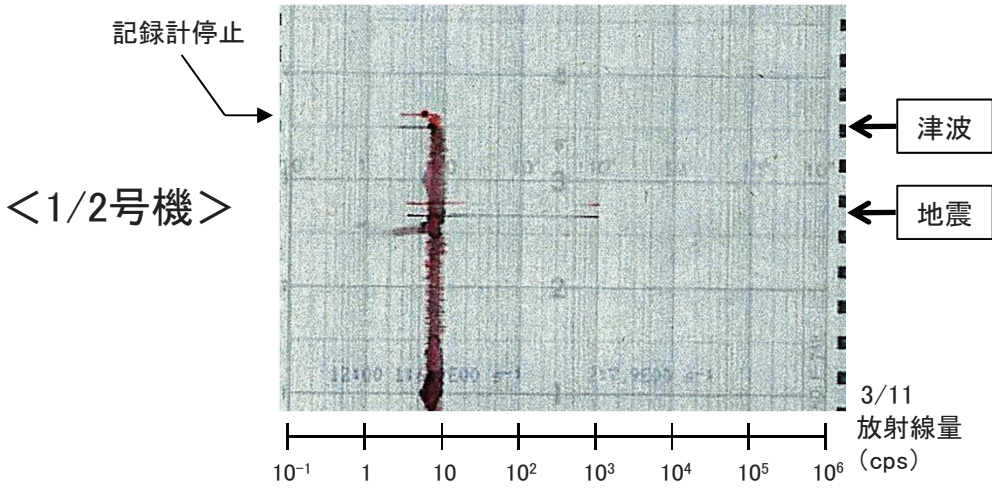
(赤) 格納容器雰囲気放射線モニタB(D/W)
(緑) 格納容器雰囲気放射線モニタD(S/C)



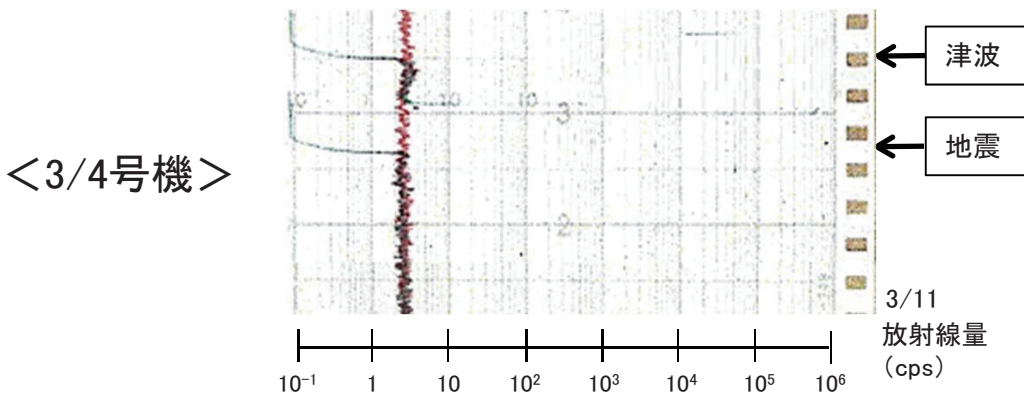
東京電力「記録計チャート」(平成23年5月)を基に作成

1～6号機 主排気筒放射線モニタ

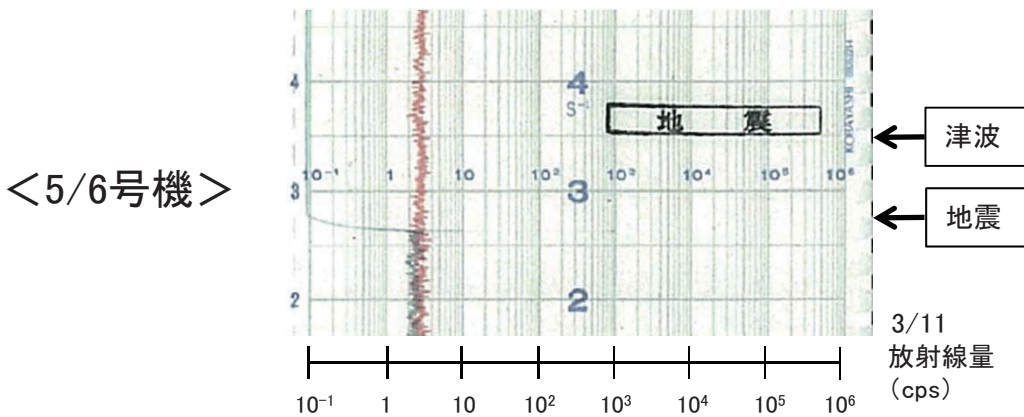
有意な放射線量の上昇は認められない。



(緑)排気筒放射線モニタA系
(赤)排気筒放射線モニタB系



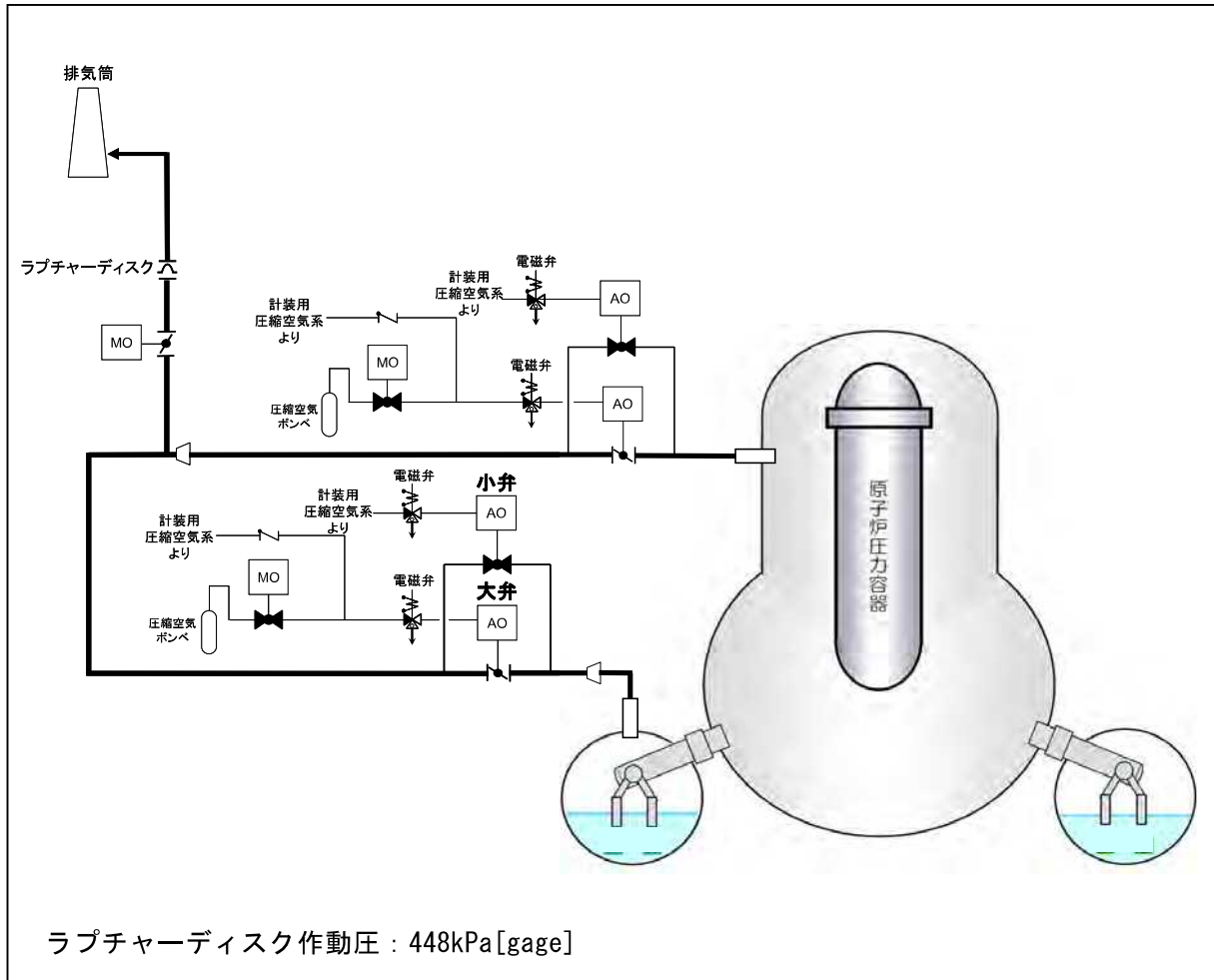
(赤)主排気筒放射線モニタ
(シンチレーション)A
(緑)主排気筒放射線モニタ
(シンチレーション)B



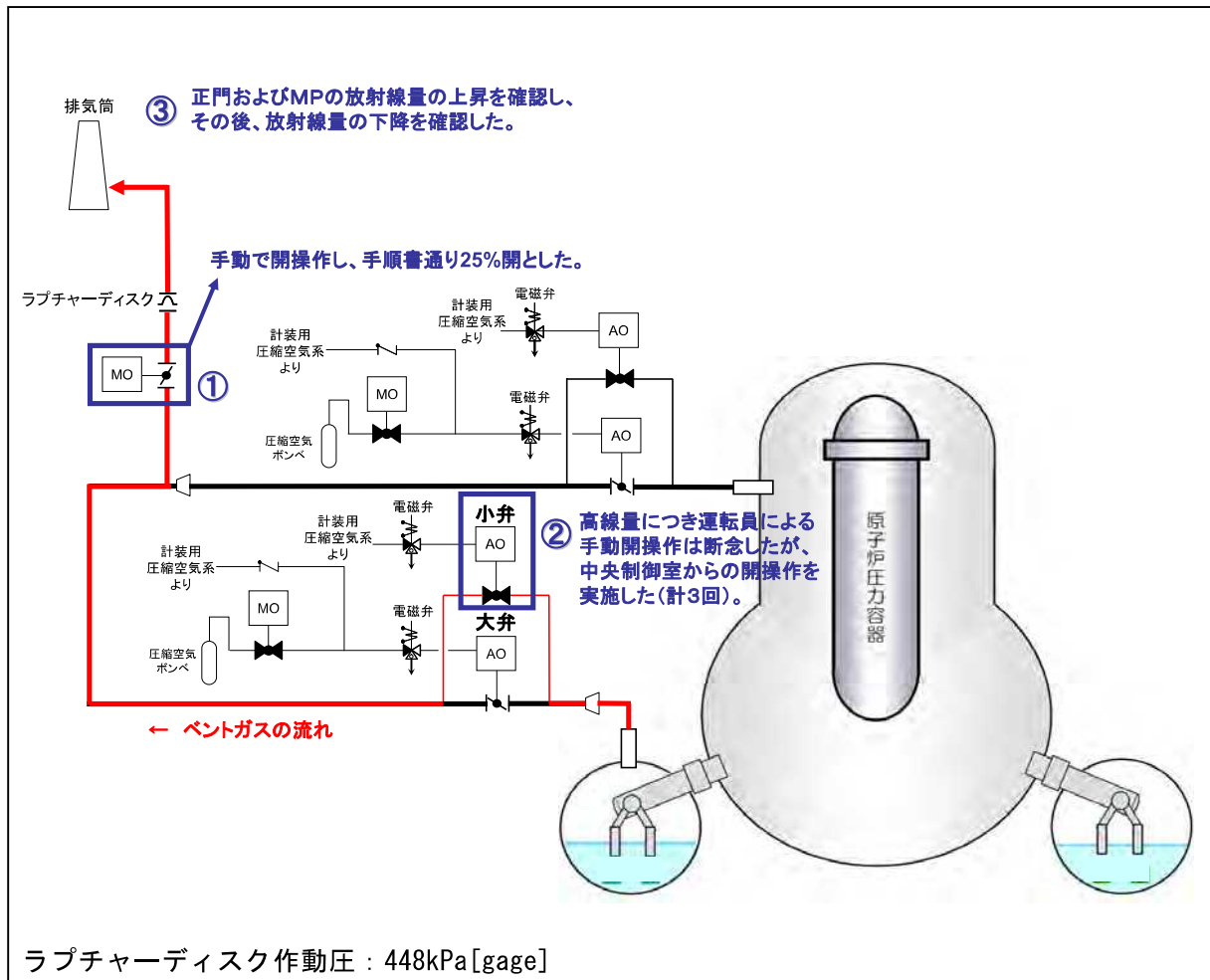
(赤)主排気筒放射線モニタ
(シンチレーション)A
(緑)主排気筒放射線モニタ
(シンチレーション)B

福島第一 1号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントについて

3月11日地震発生前



3月12日 10時40分 小弁使用時



【PCV ベント弁 (MO 弁) 及び S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁開操作】

① 3月12日9時15分

PCV ベント弁 (MO 弁) を手順通り 25%開とした。

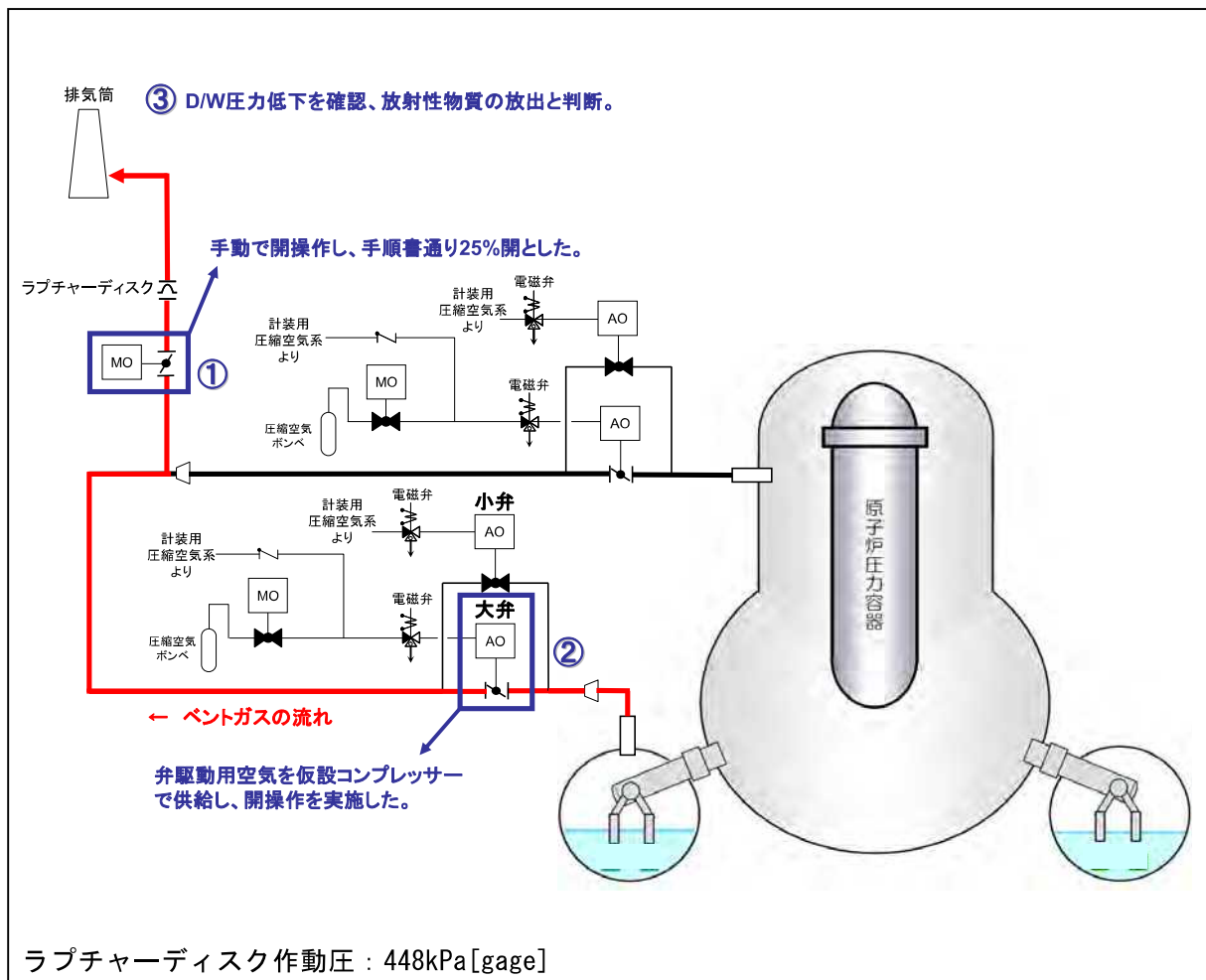
② 3月12日10時17分 (1回目)、10時23分 (2回目)、10時24分 (3回目)

中央制御室にて小型発電機を電源として S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁の電磁弁を励磁し、開操作を実施。開となったかは確認できなかった。

③ 3月12日10時40分

発電所正門付近及び発電所周辺のモニタリングポスト付近の放射線量が上昇していることが確認されたことから、発電所対策本部では、ベントにより放射性物質が放出された可能性が高いと考えたが、11時15分、放射線量が下がっていることから、ベントが十分効いていない可能性があることを確認。

3月12日 14時30分 大弁使用時



【S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁開操作の実施】

① 3月12日9時15分

PCV ベント弁 (MO 弁) を手順通り 25%開とした。

② 3月12日14時00分頃

S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁を動作させるため、仮設コンプレッサーを I A系に接続し加圧。

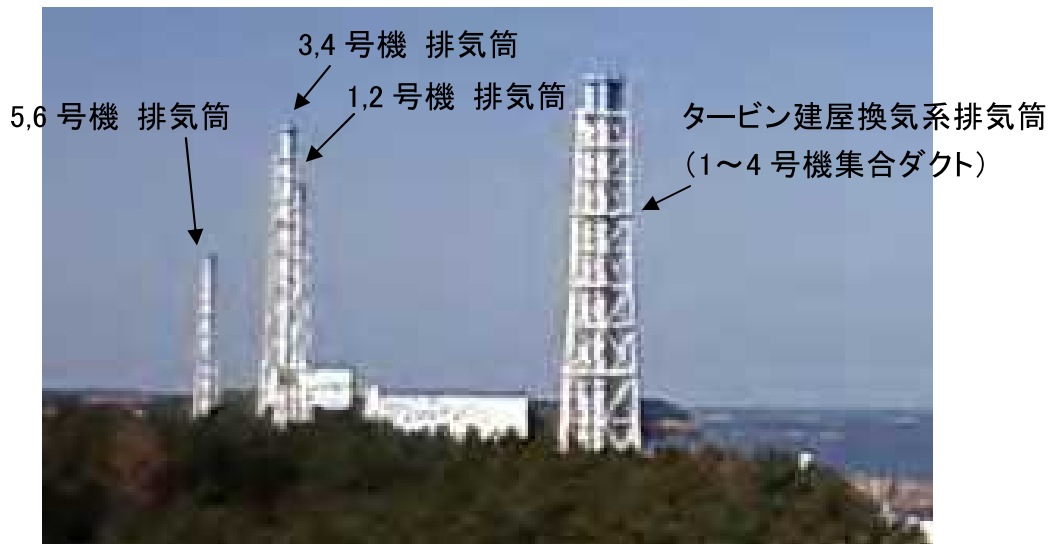
③ 3月12日14時30分

D/W 圧力が低下していることを確認し、ベントによる「放射性物質の放出」と判断。

(D/W 圧力 750kPa[abs]→580kPa[abs](14:50))

ふくいちライブカメラ写真による
福島第一 1 号機の原子炉格納容器（PCV）ベントの排気について

◆ 3 月 1 2 日 1 4 : 0 0 撮影



1 4 : 0 0 頃	S/C ベント弁（AO 弁）大弁を動作させるため、仮設のコンプレッサーを接続し加圧
1 4 : 3 0	D/W 圧力が低下していることを確認

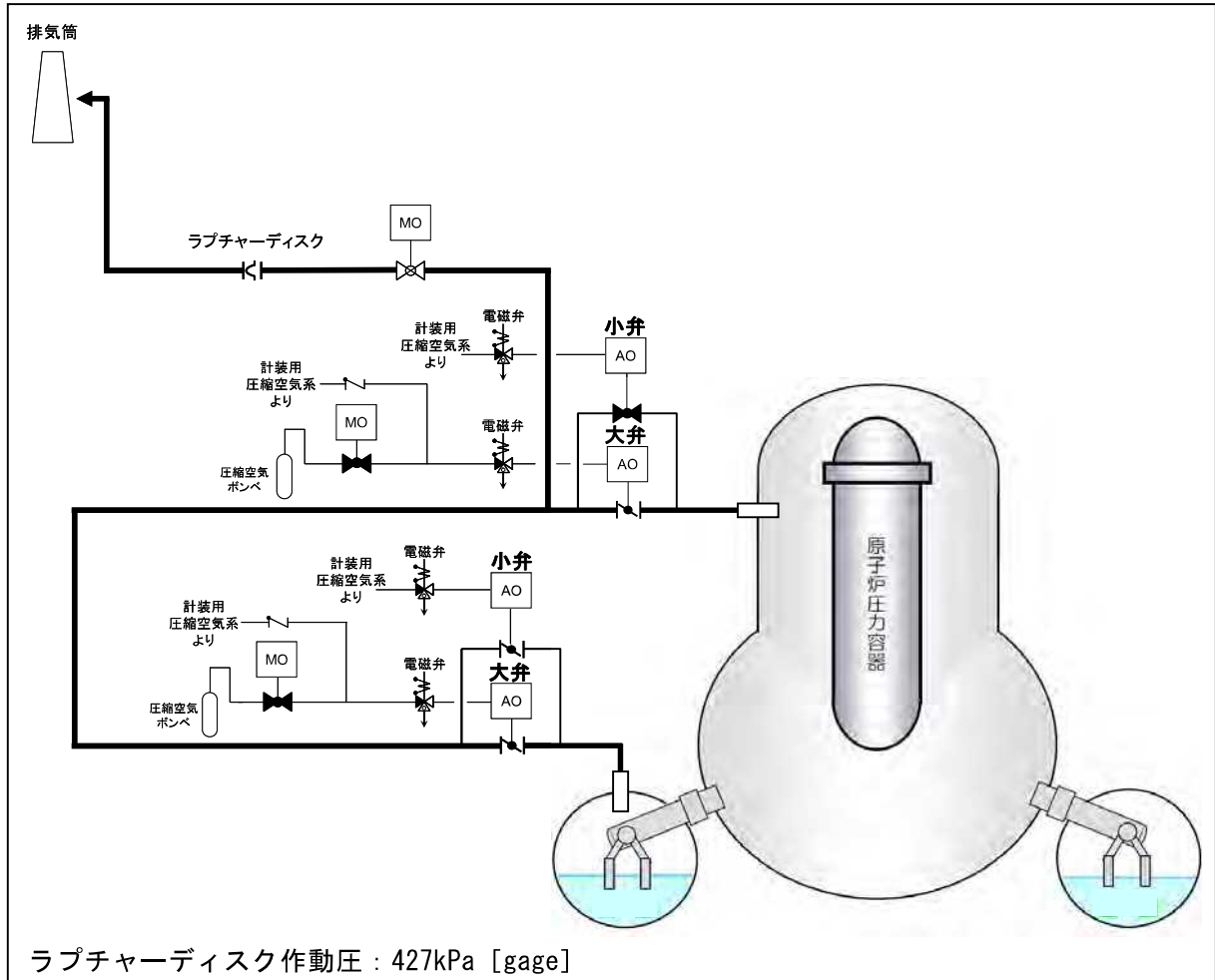
◆ 3 月 1 2 日 1 5 : 0 0 撮影



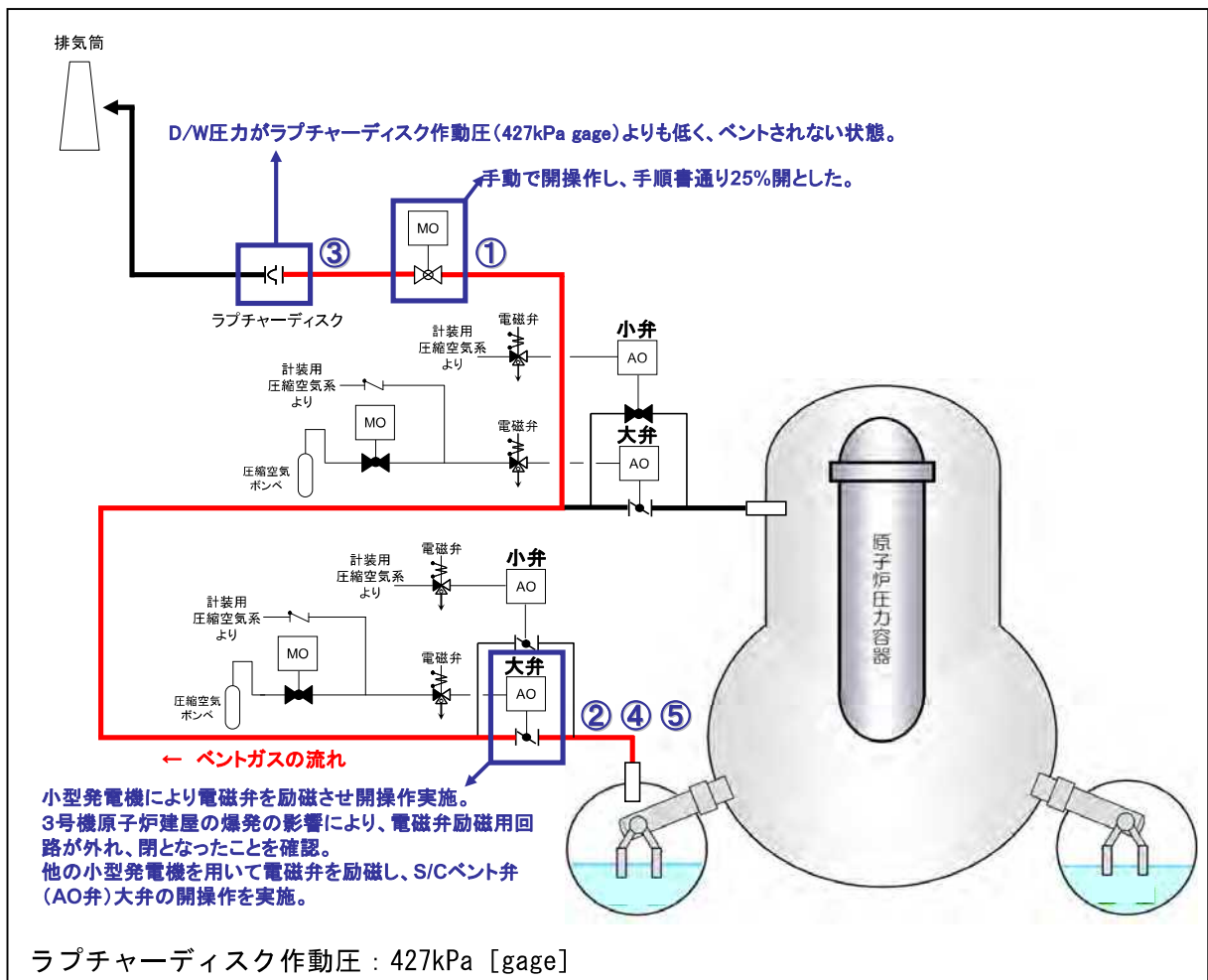
1、2 号機 排気筒から山側に蒸気のようなものが見える
(1 6 : 0 0 撮影以降の写真では確認できず)

福島第一 2号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントについて

3月11日地震発生前



3月13日 11時00分 S/C側大弁使用時



【PCV ベント弁 (MO 弁) 及び S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の開操作】

① 3月13日8時10分

PCV ベント弁 (MO 弁) を手順通り 25%開とした。

② 3月13日11時00分

小型発電機を電源として電磁弁を励磁し、S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の開操作を実施。
ラプチャーディスクを除くベントライン構成完了。

③その後

D/W 圧力がラプチャーディスク作動圧 (427kPa[gage]) よりも低く、ベントされない状態。ベント弁の開状態を保持し、D/W 圧力の監視を継続。

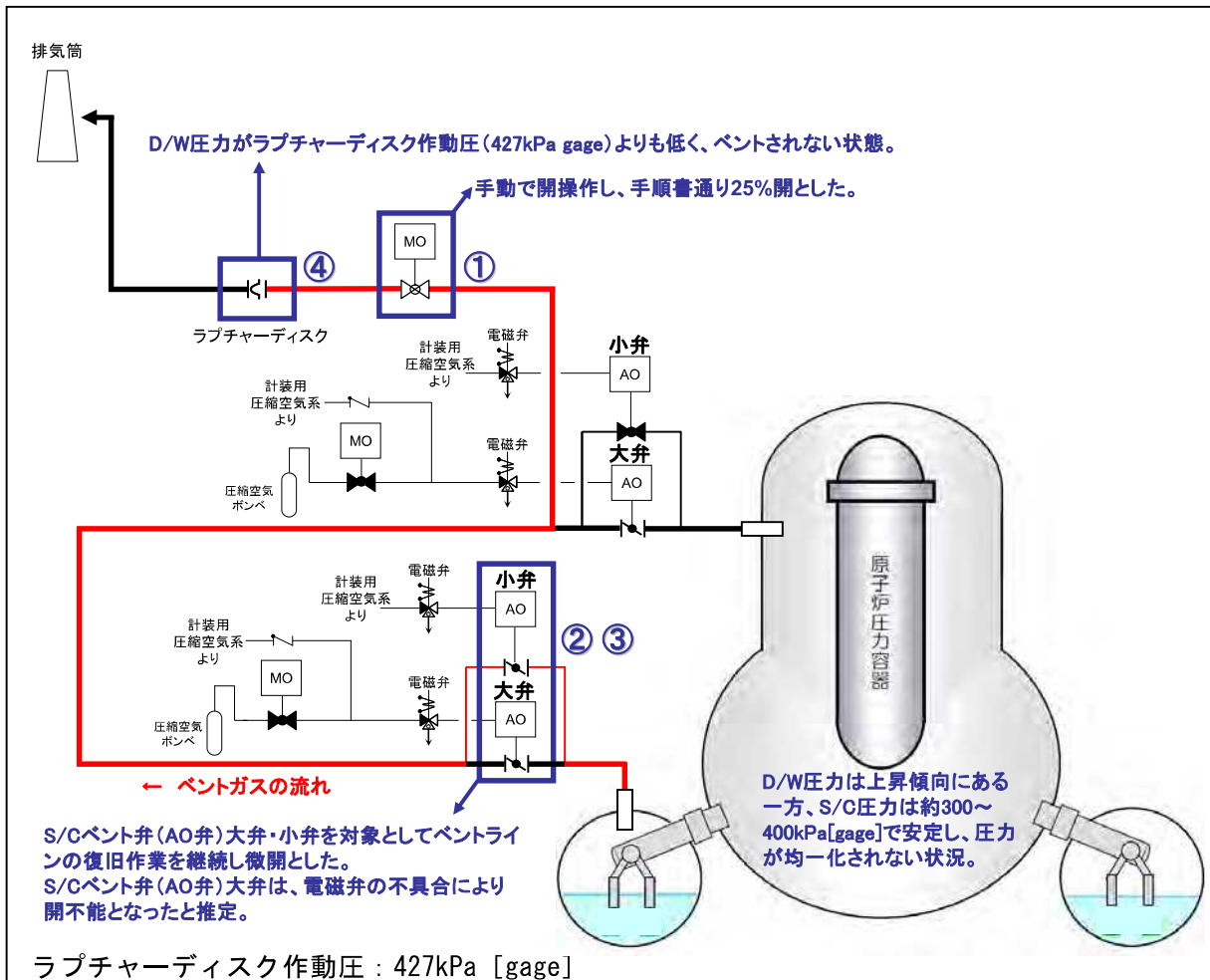
④ 3月14日12時50分

3号機原子炉建屋の爆発の影響により、S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の電磁弁励磁用回路が外れ、閉となったことを確認。

⑤ 3月14日16時00分頃

小型発電機が過電流により停止する不具合があったが、他の小型発電機を用いて電磁弁を励磁し、S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の開操作を実施。

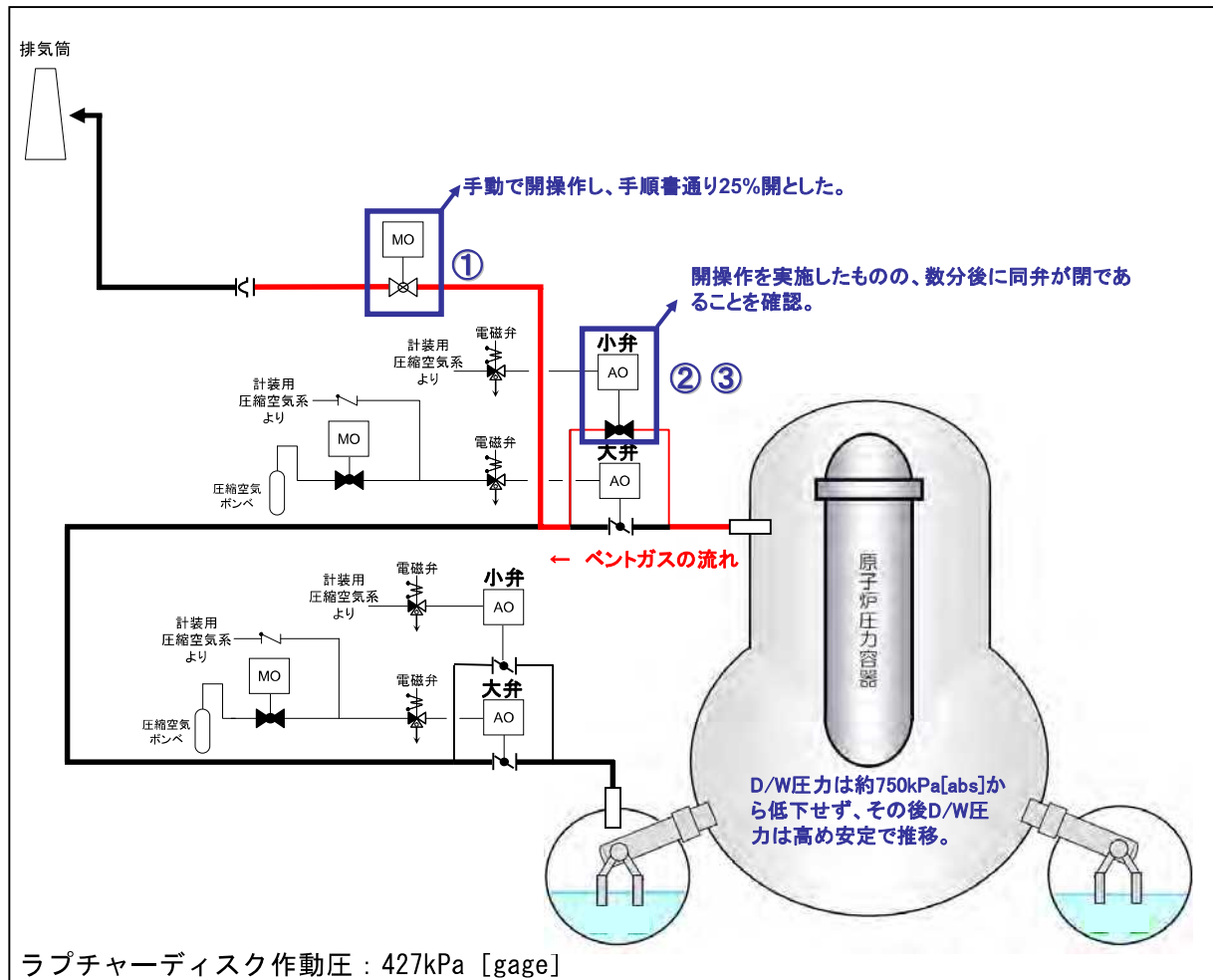
3月14日 21時00分頃 S/C側小弁使用時



【S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁の開操作】

- ① 3月13日8時10分
PCV ベント弁 (MO 弁) を手順通り 25%開とした。
- ② 3月14日18時35分
S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁だけでなく S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁を対象としてベントラインの復旧作業を継続。S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁は、電磁弁の不具合 (地絡) により開不能となったと推定した。
- ③ 3月14日21時00分頃
S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁が電磁弁の励磁により微開となり、ラプチャーディスクを除く、ベントライン構成完了。
- ④ その後
D/W 圧力がラプチャーディスク作動圧 (427kPa[gage]) よりも低く、ベントされない状態。ベント弁の開状態を保持し、D/W 圧力の監視を継続。

3月15日0時01分 D/W側小弁使用時

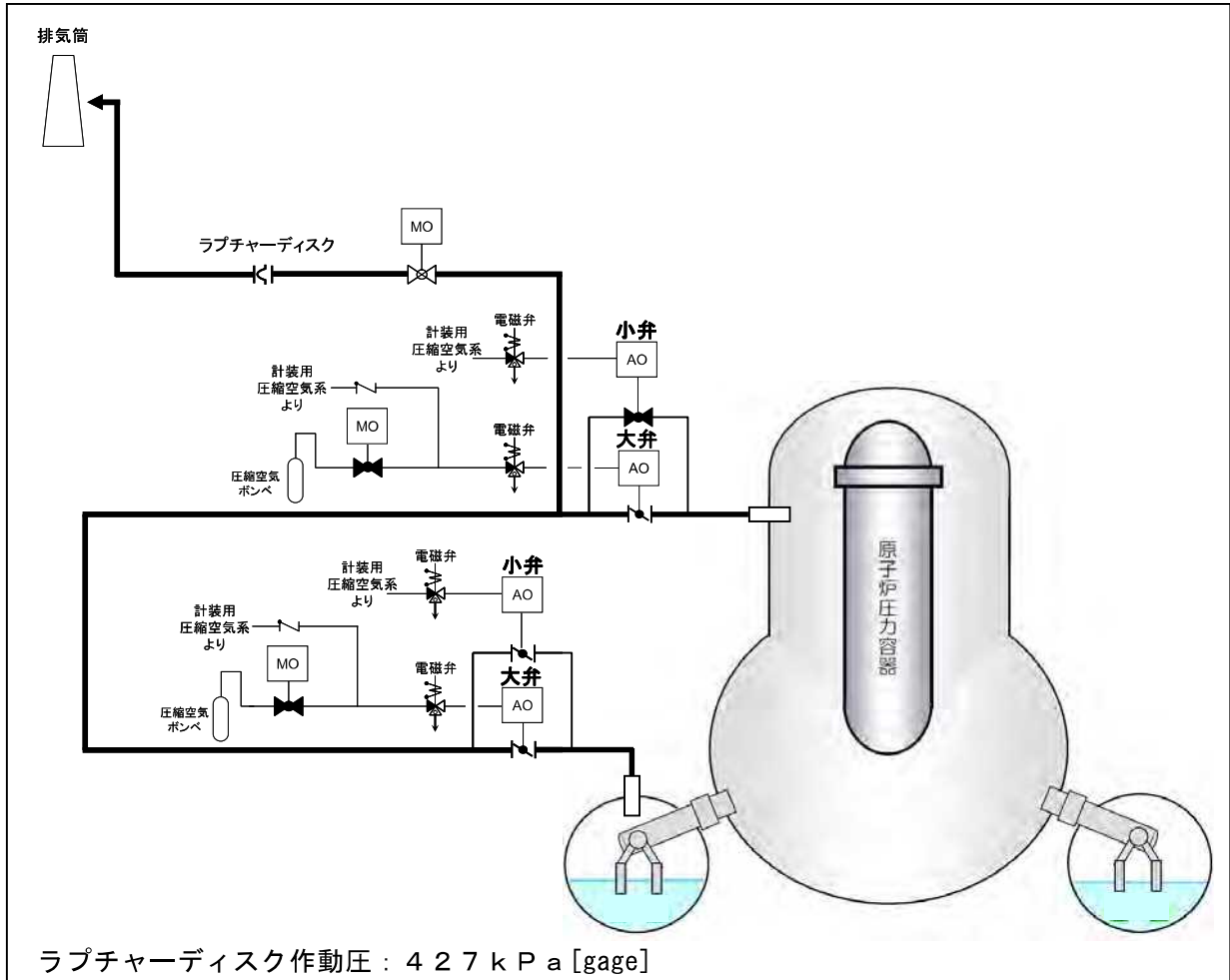


【D/W ベント弁小弁の開操作 (D/W 圧力のみ上昇開始)】

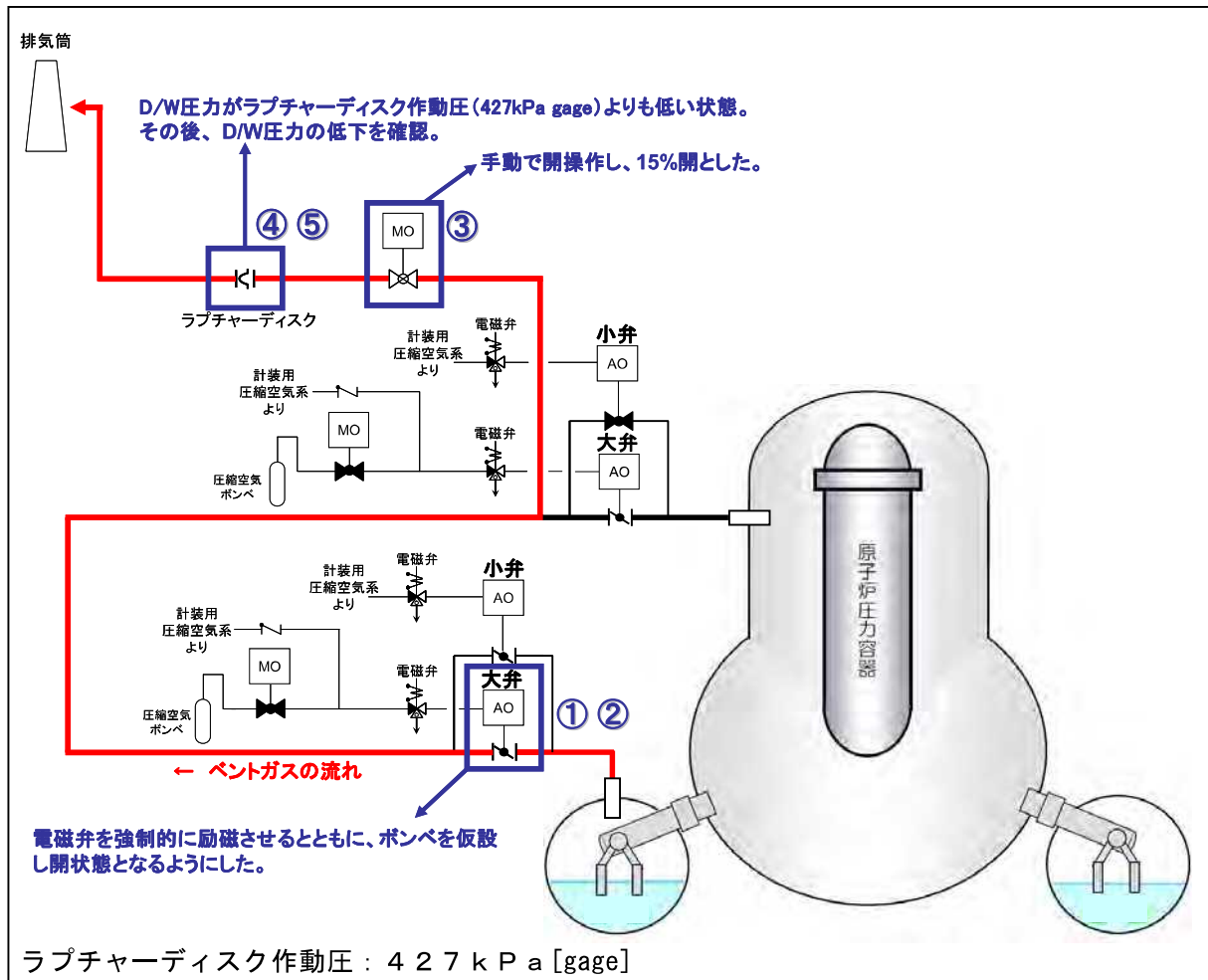
- ① 3月13日8時10分
PCV ベント弁 (MO 弁) を手順通り 25%開とした。
- ② 3月14日23時35分
S/C ベント弁 (AO 弁) 小弁が開いていなかったことを確認。D/W 側の圧力が上昇していることから、D/W ベント弁 (AO 弁) 小弁を開けることによりベントを実施する方針を決定。
- ③ 3月15日00時01分
D/W ベント弁 (AO 弁) 小弁の電磁弁を励磁して開操作したが、数分後に閉であることを確認。

福島第一 3号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントについて

3月11日地震発生前



3月13日8時41分 PCVベントライン構成時



【ベントのラインナップ完成作業実施】

① 3月13日4時52分

S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁を開けるために、小型発電機を用いて、電磁弁を強制的に励磁させたが、開度表示が閉であり、S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁駆動用空気ポンペの充填圧力が0であった。

② 3月13日5時23分

S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の復旧作業開始。D/W 酸素濃度計の校正用ポンペを AO 弁駆動用空気のポンペと交換、健全であることを確認した。

③ 3月13日8時35分

ベント弁 (MO 弁) を手で開操作し、15%開とした。

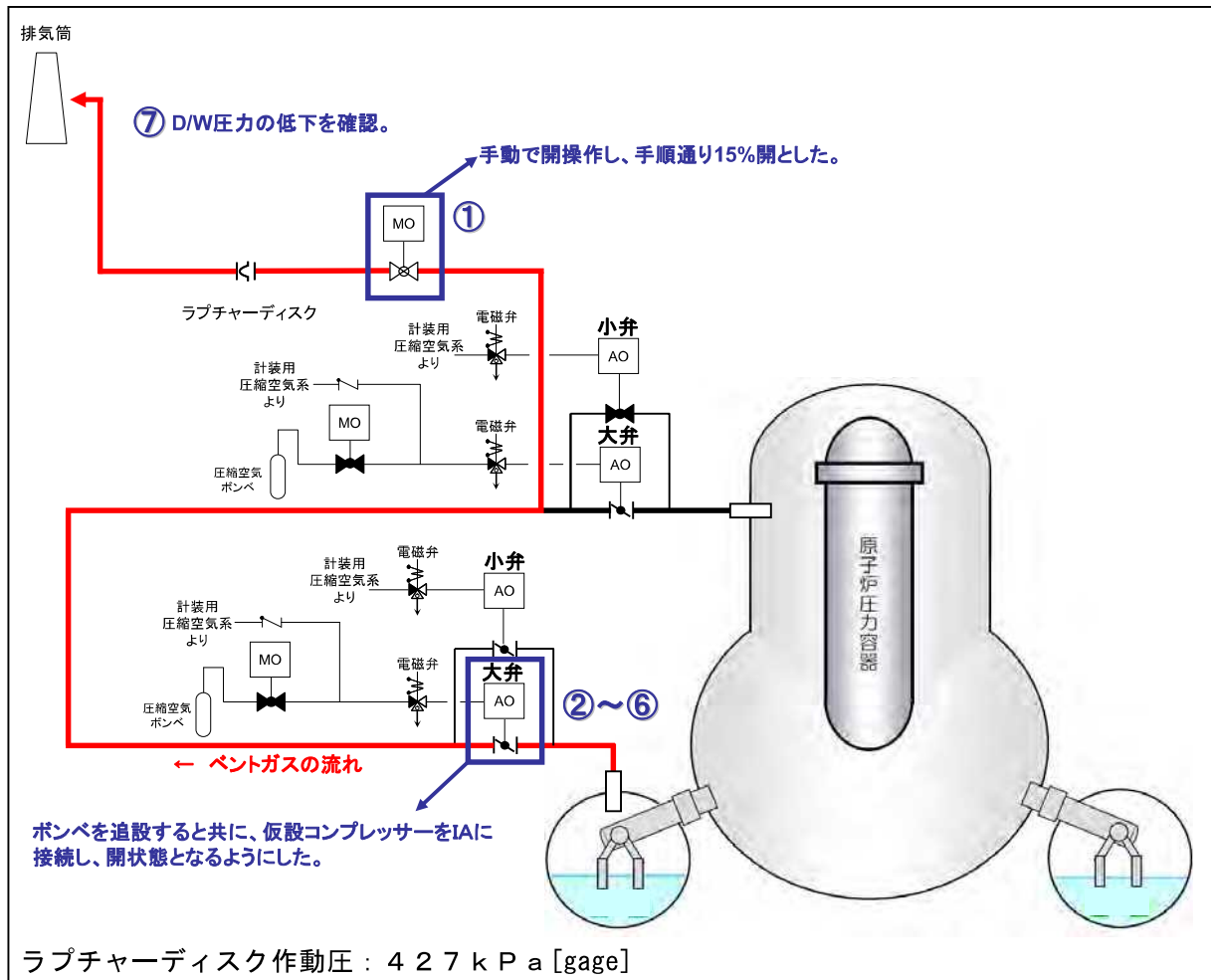
④ 3月13日8時41分

ベントラインの構成が完了したことが発電所対策本部に報告され、ラブチャーディスク破裂待ちとなった。

⑤ 3月13日9時24分

D/W 圧力が 637kPa[abs] (9:10) に上昇後、540kPa[abs] (9:24) まで減圧されたことを確認、発電所対策本部は 9:20 頃にベントが実施されたと判断した。

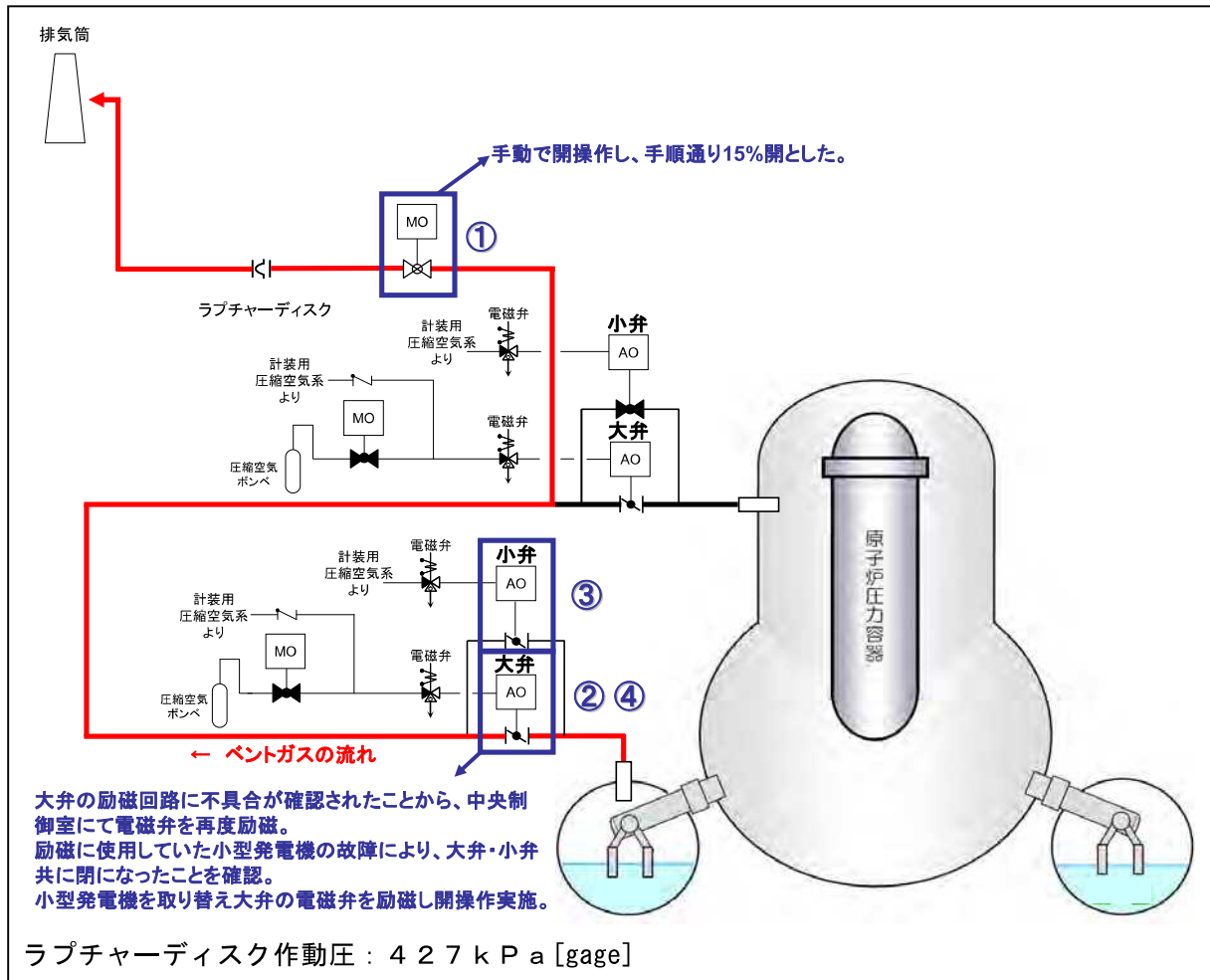
3月13日21時10分 PCVベントラインの維持継続



【ベントラインの維持継続】

- ① 3月13日8時35分
ベント弁 (MO 弁) を手動で開操作し、15%開とした。
- ② 3月13日9時28分
D/W 圧力に一旦上昇傾向が認められた。S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の駆動用空気ポンベの状況確認を行ったところ、接続部からリークが確認されたことから修理を実施。
- ③ 3月13日11時17分
ポンベ圧力抜けにより S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁が閉となったことから開操作を開始。
D/W 酸素濃度計校正用ポンベへ駆動用ポンベを交換。
- ④ 3月13日12時30分
S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁の開を確認。その後、D/W 圧力が低下し始めた。(480kPa[abs] (12:40) →300kPa[abs] (13:00))
- ⑤ 3月13日15時05分
D/W 圧力が再度上昇 (230kPa[abs] (14:30) →260kPa[abs] (15:00)) したため、仮設コンプレッサーを設置することとした。
- ⑥ 3月13日19時00分頃
仮設コンプレッサーを IA ラインに接続して起動。
- ⑦ 3月13日21時10分
D/W 圧力低下 により S/C ベント弁 (AO 弁) 大弁が開となったと判断した。

3月14日5時20分 S/C側小弁及び大弁使用時



【ベントラインの追加】

- ① 3月13日8時35分
ベント弁（MO弁）を手動で開操作し、15%開とした。
- ② 3月14日3時40分
S/C ベント弁（AO弁）大弁の励磁回路に不具合が確認されたことから、中央制御室にて電磁弁を再度励磁させた。
- ③ 3月14日5時20分
S/C ベント弁（AO弁）小弁を開とするために電磁弁の励磁操作を開始。その後、6:10に開操作完了。
- ④ 3月15日16時00分
S/C ベント弁（AO弁）大弁、小弁の電磁弁の励磁に用いていた小型発電機の故障により、同弁が閉になったことを確認。その後、16:05、小型発電機を取替え、S/C ベント弁（AO弁）大弁の電磁弁を励磁し、開操作実施。

【その後のPCVベント実施】

以降も、S/C ベント弁 (A0 弁) 大弁、小弁駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題から開状態維持が難しく、開操作が複数回実施された。

【S/C ベント弁 (A0 弁) 大弁】

3月17日	21時00分	閉確認	→	同日	21時30分頃	開操作
3月18日	5時30分	閉確認	→	同日	5時30分頃	開操作
3月19日	11時30分	閉確認	→	3月20日	11時25分頃	開操作
4月8日	18時30分頃	閉確認				

【S/C ベント弁 (A0 弁) 小弁】

3月16日	1時55分	開操作				
4月8日	18時30分頃	閉確認				

ふくいちライブカメラ写真による
福島第一 3 号機の原子炉格納容器 (P C V) ベントの排気について

◆ 3 月 1 3 日 9 : 0 0 撮影



8 : 4 1 ラプチャーディスクを除く PCV ベントライン
構成完了
9 : 2 4 D/W 圧力が低下していることを確認

◆ 3 月 1 3 日 1 0 : 0 0 撮影



3, 4 号機 排気筒から海側にうっすらと蒸気のようなものが見える
(1 1 : 0 0 、 1 2 : 0 0 撮影の写真では確認できず)



11:17	ポンベ圧力抜けによる S/C ベント弁（大弁）の閉を確認。駆動用ポンベを交換し、開操作実施
12:30	S/C ベント弁（AO 弁）大弁の開を確認

◆ 3月13日 13:00 撮影



3, 4号機 排気筒から海側にうっすらと蒸気のようなものが見える

◆ 3月13日 14:00 撮影



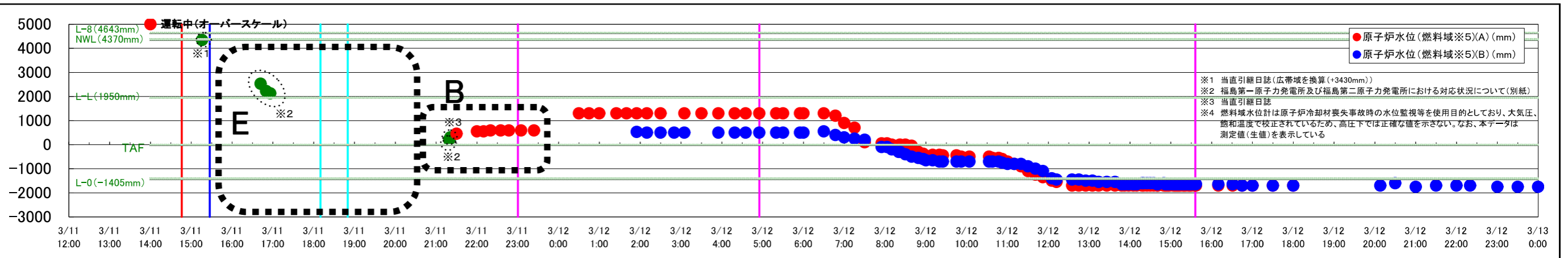
3, 4号機 排気筒から山側にうっすらと蒸気のようなものが見える
(15:00 撮影以降の写真では確認できず)

福島第一1号機 プラントデータ推移

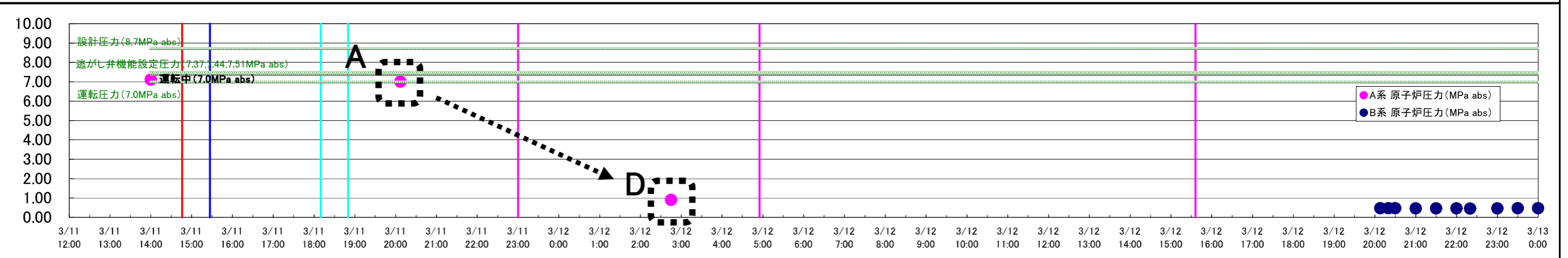
添付8-5

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8回会合
資料5

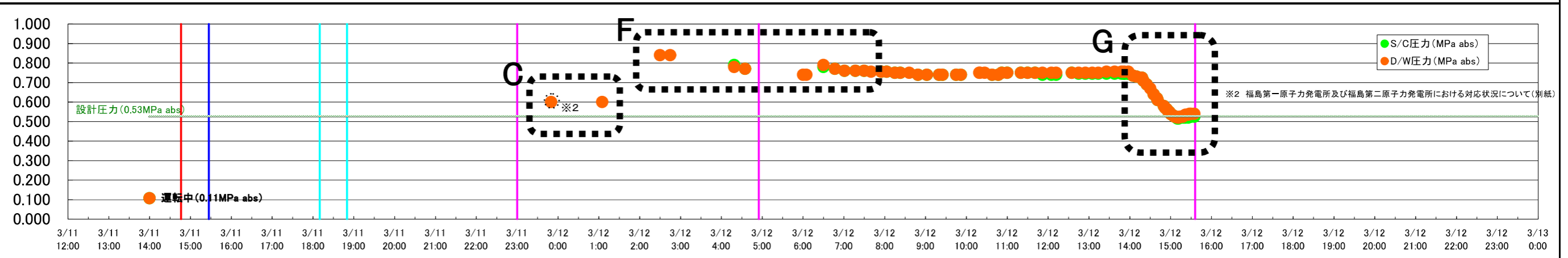
原子炉水位
[mm]



原子炉圧力
[MPa abs]



D/S / W/C
圧力
[MPa abs]



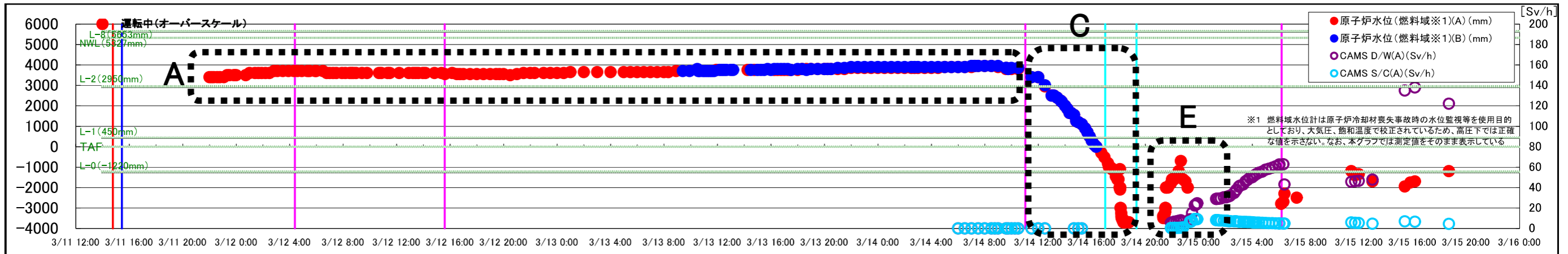
原子炉冷却	IC	自動起動 A系 (14:52) B系 (15:03) 自停止後、A系に切り替わり圧力制御を開始 (18:03) MO-3A、2A 開操作 (18:18) MO-3A 閉操作 (18:25) MO-3A 開操作 (21:30) 蒸気発生確認 (18:25) 蒸気発生確認 (21:30)
高圧注水	HPCI	起動なし(地震以降から全交流電源喪失に至るまで原子炉水位が自動起動レベルまで低下しておらず、手動起動を含めて記録なし)
減圧	SRV	操作なし
低圧注水	FP/DDFP・消防車	DDFPの現場確認を開始 (16:55) 所長注水方法自動起動後検討指示 (17:12) DDFP代注水停止 (17:30) DDFP代注水ライン構成を開始 (18:35) DDFP代注水完了現場で確認 (20:30頃) (20:50) DDFP消防車停止を確認 (1:48) (2:03) 消防車で原子炉へ淡水注水完了 (4:00頃) 消防車で原子炉へ淡水注水再開 (4:22) (5:46) 消防車で原子炉へ淡水注水再開 (5:46) 注水完了 (累計約80t) (14:53) 所長海水注水指示 (14:54) 原子炉へ海水注水開始 (19:04) ほう酸を原子炉内へ注入開始 (20:45)
格納容器ベント		所長ベント準備指示 (0:06) 所長大熊町ベント操作指示 (8:03) 大熊町ベント実施確認 (9:02) ベントのため現場出発 (9:04) S/C現場での開操作 (9:15) S/C小弁現場での開操作 (9:32) S/C小弁現場での開操作 (10:17~24) 仮設コンプレッサ起動 (14:00頃) D/W圧力低下確認 (14:30)

福島第一2号機 プラントデータ推移

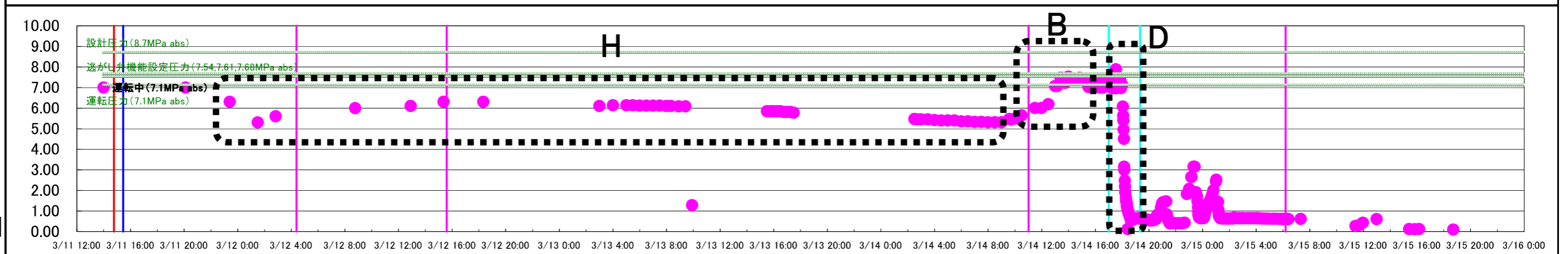
添付8-1.2
東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会 第8回会合
資料5

第一波 地震発生 (14:46) 津波襲来 (15:27)
発電所構内 線量上昇 (4:23)
1号機 原子炉建屋 爆発 (15:36)
3号機 原子炉建屋 爆発 (11:01)
4号機 原子炉建屋 爆発 (6:14頃) ※地震計による観測記録から6:12と判断
<MAAP解析> 炉心損傷開始 TAF到達 [水素発生開始] 地震発生後 <地震発生後約74時間> 約77時間> (17:00頃) (19:20頃)

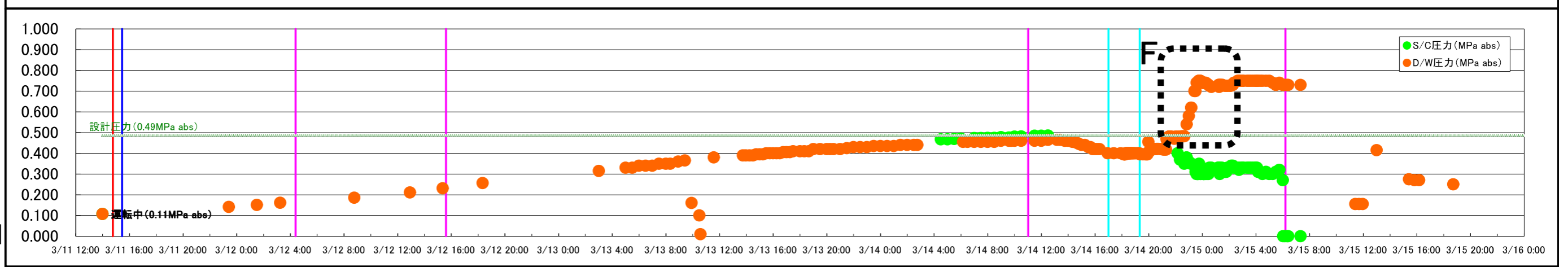
原子炉水位 [mm]



原子炉圧力 [MPa abs]



D S / / W C 圧圧 力力 [MPa abs]



高圧注水	RCIC	手動起動 (14:50) 自動停止 (14:51) 手動起動 (15:02) 自動停止 (15:28) 手動起動 (15:39) 運転中 (2:55) 水源切替を開始 (4:20) 水源切替を完了 (5:00) 運転中 (21:00頃) 運転中 (10:40) 運転中 (13:50) 機能喪失判断 (13:25)
	HPCI	起動なし(地震以降から全交流電源喪失に至るまで原子炉水位が自動起動レベルまで低下しておらず、手動起動を含めて記録なし)
減圧	SRV	バッテリーを制御盤に接続 (13:10) 減圧操作開始 (16:34) 減圧開始 (18:02) SRV2弁開し水位回復確認 (21:20) SRV開操作開始 (23:00) SRV開操作開始 (1:10)
低圧注水	FP/消防車	所長注水方法検討指示 (17:12) 注水ライン構成開始 (21:00頃) 注水ライン構成完了 (11日中) DDFP停止を確認 (1:20) 所長海水使用準備指示 (12:05) 仮設コンプレッサー設置 (3:00頃) 海水注入ライン構成再開 (13:05) 海水注入のため消防車起動 (15:30頃) 消防車のための燃料切止る海水停止確認 (19:20) 注水開始 (19:54)
格納容器ベント		所長ベント準備指示 (17:30) MO弁開実施 (8:10) 所長ベント実施指示 (10:15) ベントライン構成完了 (11:00) 仮設コンプレッサー設置 (3:00頃) S/C大弁開確認 (12:50) S/C大弁開操作 (16:00頃) S/C小弁開操作・ライン構成完成 (21:00頃) D/W小弁開操作※ (0:01) ※数分後に閉であることを確認

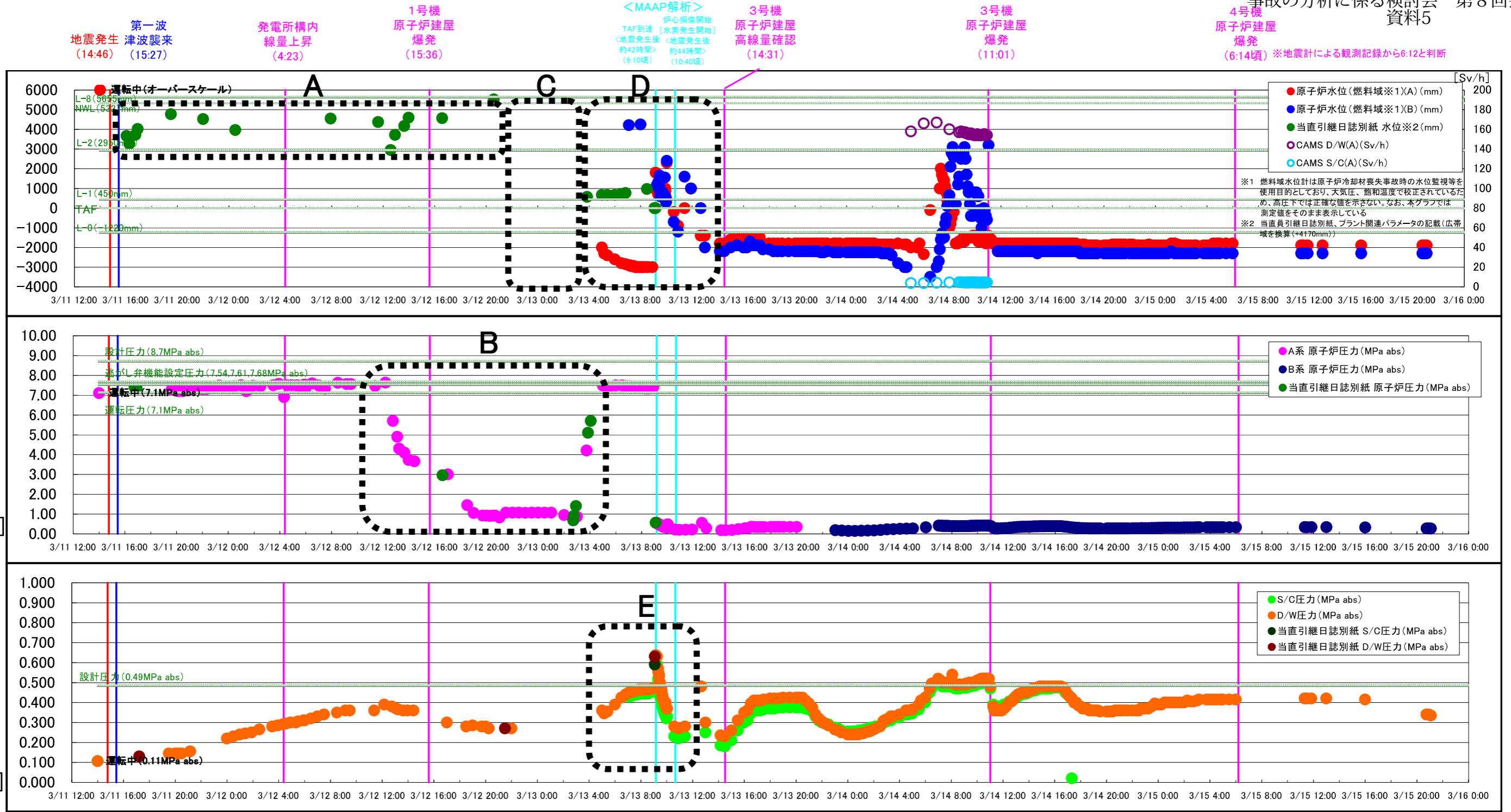
福島第一3号機 プラントデータ推移

添付8-15
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8回会合
資料5

原子炉水位
[mm]

原子炉圧力
[MPa abs]

D S / / W C 圧圧 力力
[MPa abs]



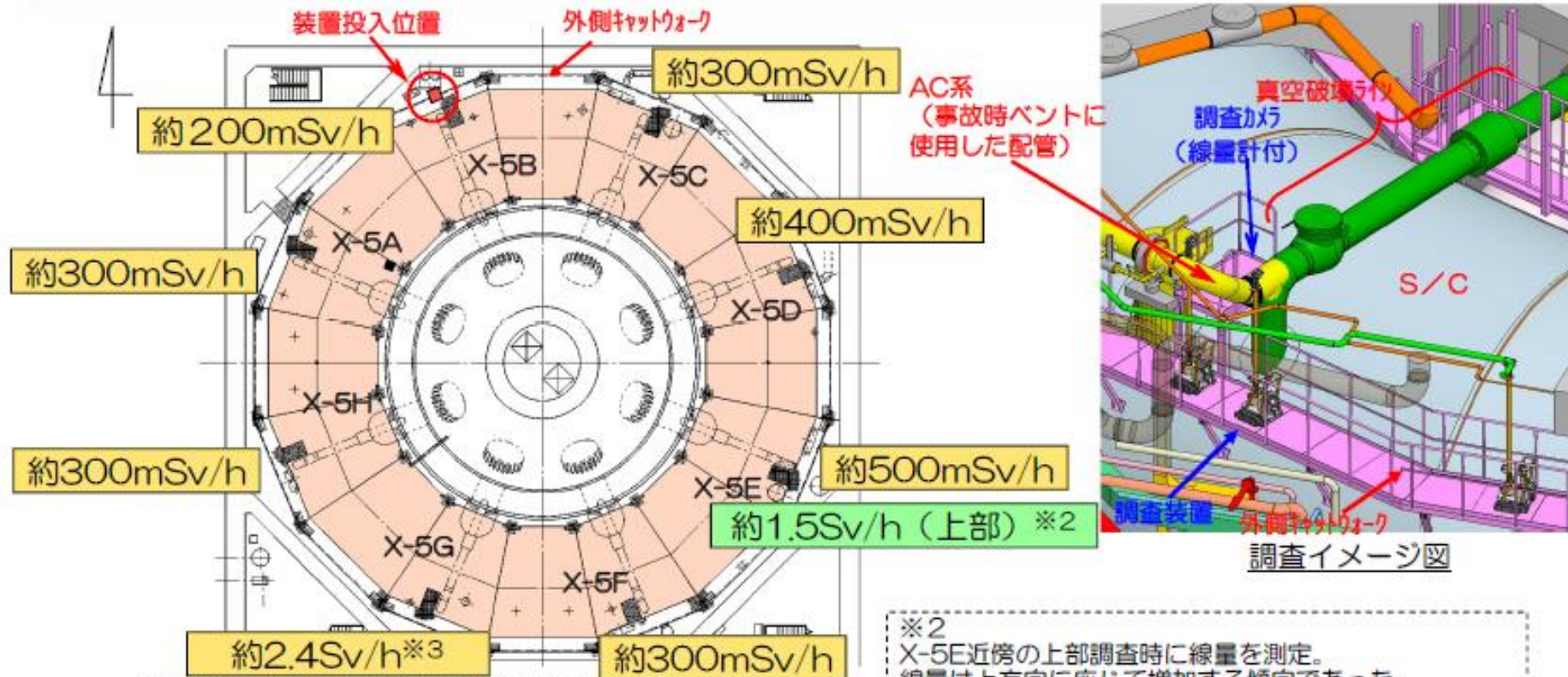
高圧注水	RCIC	手動 自動 手動 起動 停止 起動 (15:05) (15:25) (16:03)	自動 停止 (11:36)									
	HPCI		自動 起動 (12:35)	手動 停止 (2:42)								
減圧	SRV		SRV急速 減圧開始 SRVを開操作し減圧を維持 (9:08頃)									
低圧注水	FP/DDFP	自動 手動 起動 停止 (11:13) (11:36)	S/C大弁開 開始 (5:08)	S/C大弁 停止 (7:43)	D/W大弁開 開始 (7:39)	D/W大弁 停止 (8:40~9:10)						
	FP/消防車	所長 検計指示 (17:12)	注水ライン 構成完了報告 (3:05)	ほう膜入り 淡水注水 開始 (9:25)	淡水注水 停止 (12:20)	海水注水 開始 (13:12)	海水注水 停止 (1:10)	海水注水 再開 (3:20)	海水注水 再開 (15:30頃)			
格納容器バント		所長 バント準備 指示 (17:30)	所長 バントライン 開操作 完了指示 (5:15)	S/C大弁開 MO弁 バントライン 開操作 完了指示 (8:35)	D/W大弁 圧力 確認 (8:41)	S/C大弁 開確認 (11:17)	S/C大弁 開確認 (12:30)	仮設 D/W圧力低下 開確認 (19:00頃)	S/C大弁 開操作 (21:10)	S/C 大弁・小弁 開操作 (18:00)	S/C 大弁 開操作 (16:05)	以降、開操作を複数回実施 以降、開操作を複数回実施

東京電力ホールディングス株式会社 による1号機S/C内の汚染調査の結果

1-3 調査結果-3

■ トーラス室内線量分布（キャットウォークでの測定※1）

※1 調査装置の調査カメラに設置した線量計により、キャットウォーク上では走行しながら調査カメラを最低位置の状態にて測定。（測定位置：キャットウォーク上から約460mm高さ）



※3 調査カメラ（線量計）を上方向（約1m）に延伸しても線量の増加傾向は確認されなかった。

※2 X-5E近傍の上部調査時に線量を測定。線量は上方向に応じて増加する傾向であった。（調査カメラを上方向に延伸）
測定位置：キャットウォーク上から約1400mm高さ



研究開発「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」にて開発中のS/C(圧力抑制室)上部調査装置の実証試験における1号機S/C上部調査結果(続報)およびトーラス室壁面調査結果について(2014年6月27日東京電力株式会社)より抜粋

汚染調査における計測方法

～ピンホール型ガンマカメラによるCs-137汚染量の推定～

汚染調査における計測方法

～ピンホール型ガンマカメラによるCs-137汚染量の推定～

- 原子力規制庁における耐圧強化ベントラインにおける汚染状況の調査については、ガンマ線全エネルギー吸収ピーク計数率が測定できるピンホール型ガンマカメラ（下図参照）を用いている。
- 測定にあたっては、線源からの距離と解析的に計算できる途中の物質による減衰を考慮した直接線情報から汚染量を推定している。



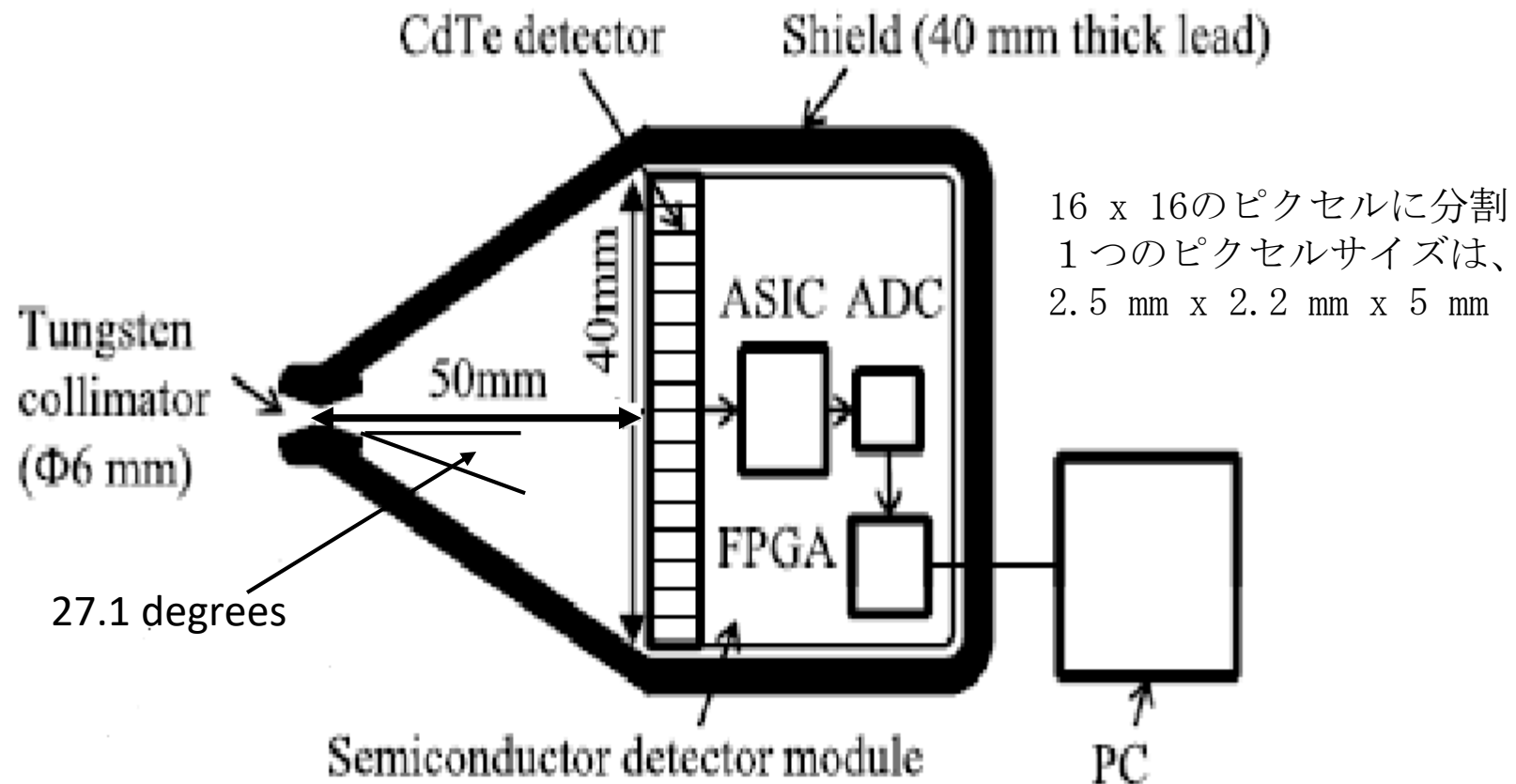
HDG-E1500

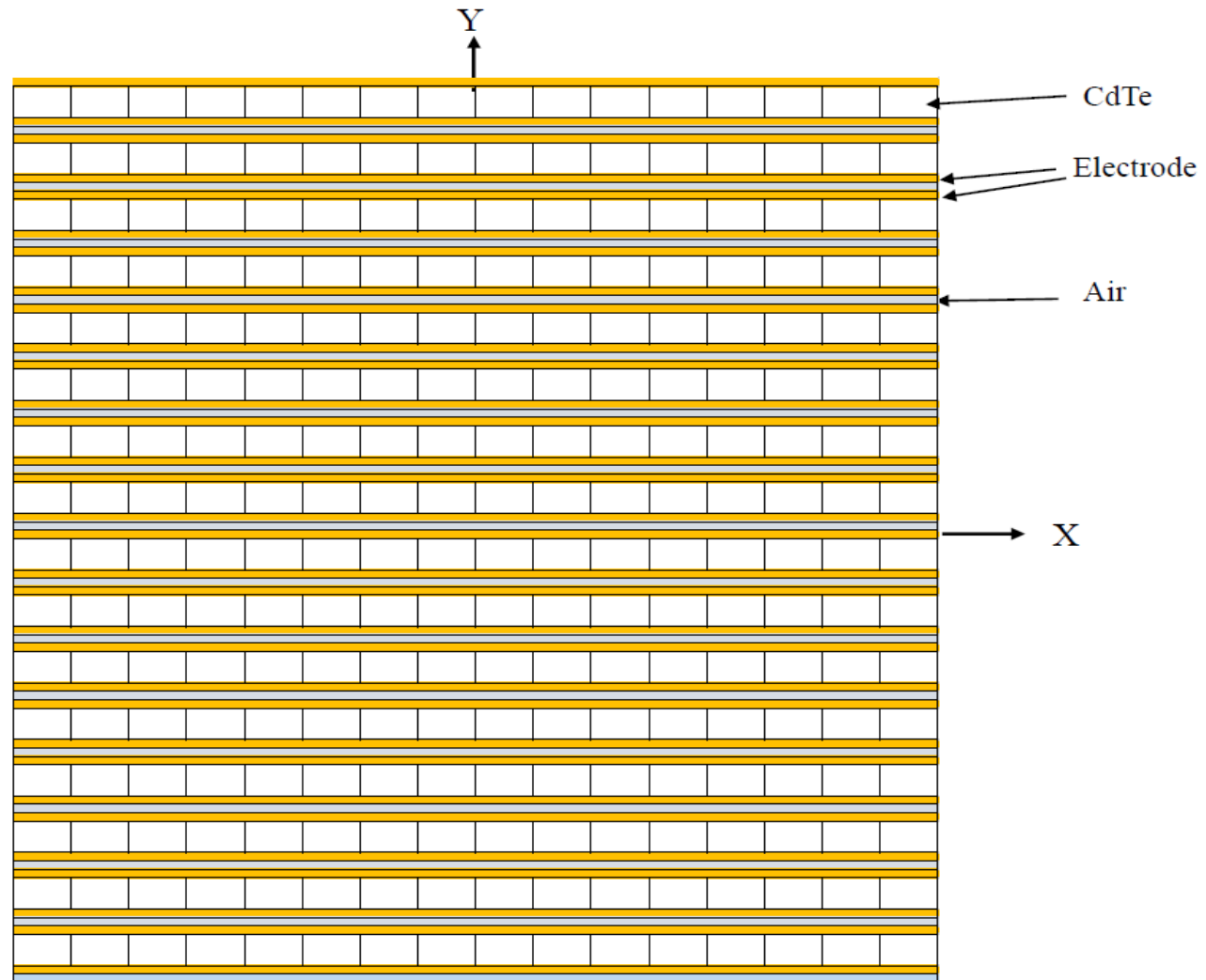
<https://www.hitachi.co.jp/products/healthcare/products-support/radiation/gammacamera/gammacamera/index.html> より

汚染調査における計測方法

～ピンホール型ガンマカメラによるCs-137汚染量の推定～

HDG-E1500の検出部





CdTe検出器の模式図

全エネルギー吸収ピーク計数率から Cs-137汚染量の算出方法

- Cs-137汚染量： Q (Bq)
- Cs-137から崩壊当たりに放出される0.662 MeV γ 線数： f (=0.851)
- 線源とガンマカメラの距離： d (cm)
- 線源とガンマカメラの間の空気を含む物質の0.662 MeV γ 線に対する平均自由行程： t (mfp)
- 実効ピンホール半径： r_{eff} (cm)
- ピクセルに入射した0.662 MeV γ 線全エネルギー吸収ピーク計数検出効率： ε
- ガンマカメラの0.662 MeV γ 線全エネルギー吸収ピーク計数率： P (cps)

検出器に入射する直接線束：
$$\phi = \frac{\exp(-t) f Q \times \pi r_{eff}^2}{4\pi d^2}$$

ピーク計数率：
$$P \text{ (cps)} = \frac{\exp(-t) \varepsilon f Q \pi r_{eff}^2}{4\pi d^2} = \frac{\exp(-t) \varepsilon f Q r_{eff}^2}{4d^2}$$

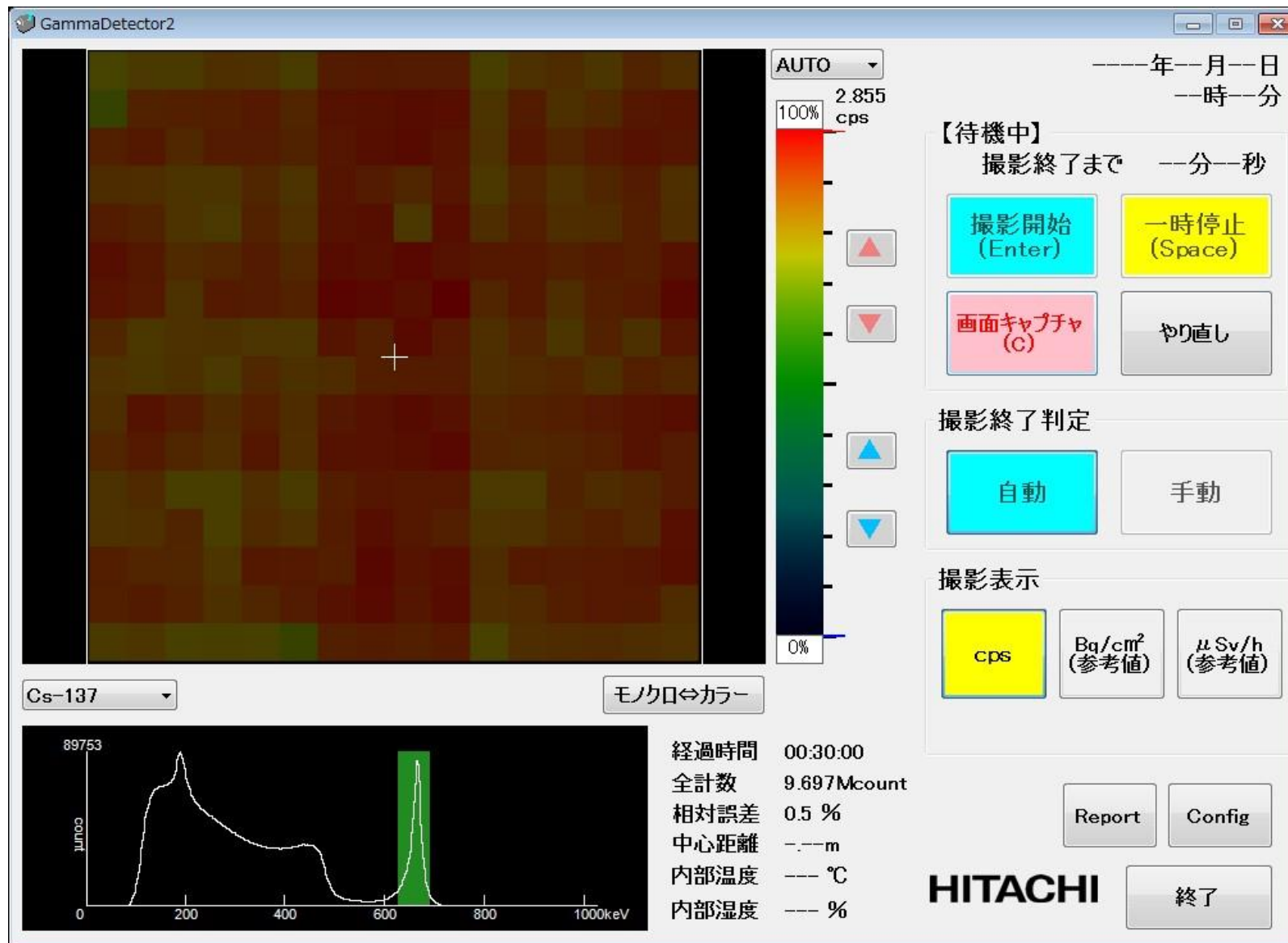
従って、
$$Q \text{ (Bq)} = \frac{4d^2 P}{\exp(-t) \varepsilon f r_{eff}^2}$$

汚染量推定に使用するピーク検出効率

- egs5の計算では、CdTe中に付与されたエネルギーに比例した出力が得られると仮定
- 実際に使用するCdTe検出器では、エネルギー付与の結果生じた電荷の一部が消滅したり、電子と正孔の移動度の違いで計測エネルギーを全て収集出来ないことがあり、ピーク検出効率が低下する
- CdTeから5 cmのピンホール位置に1.013 MBqの線源をおいて行った測定データに基づいた全エネルギー吸収ピーク検出効率を求め、推定に使用
 - 全ピクセルのCs-137の0.662 MeV γ 線の全エネルギー吸収ピーク計数率の平均は2.34 cps (最小は1.46 cpsで最大は2.91 cps)

$$\varepsilon = \frac{4\pi d^2 P}{0.244 \times 0.221 \times fQ} = \frac{4\pi \times 5^2 \times 2.34}{0.244 \times 0.221 \times 0.851 \times 1.013 \times 10^6} = 0.0158$$

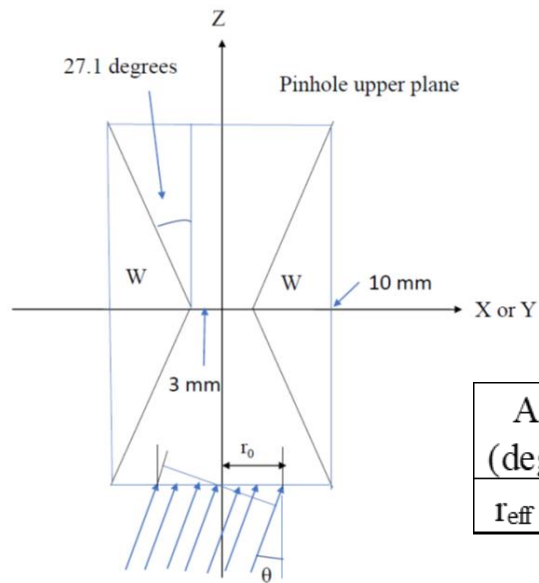
ピクセルサイズは、実測の2.44 mm x 2.21 mmを使用
 計算結果 0.0238の66 % (2.5 mm x 2.2 mmピクセル)



ピンホール位置の置かれた1.013 MBqの校正線源による一様性補正データ測定画像

実効ピンホール半径

- ピンホールは、視野角に対応した傾斜を持った形状→ピンホールの先端部を透過してくる直接線により、実効ピンホールサイズは、実際のピンホールより大きくなる
- HDG-E1500の場合、材質はタングステンで、ピンホールの半径は3 mmでコリメータの角度は27.1度(実測値)
- 対象物は、ピンホールから十分離れた位置にあるので、ピンホールには角度 θ を持った平行ビームとして入射した場合の実効ピンホール半径を使用する



$$r_{eff} = r_0 \times \sqrt{n_p \times \cos\theta} \text{ (cm)}$$

垂直入射の場合の結果を実効ピンホール半径として使用→角度により実効ピンホール半径は小さくなるので、斜め入射の場合、推定結果は過小評価に（最大35%）

Angle (degrees)	0	5	10	15	20	21.5
r_{eff} (mm)	4.64	4.58	4.42	4.18	3.85	3.74

校正線源を用いた測定との比較検討

- ガンマカメラから214.3cm位置の451 MBq及び240.8 cm位置の5.60 GBqのCs-137線源を用いた測定
- 垂直入射の実効コリメータ半径(4.64 mm)と2 m位置の点等方線源に対する実効ピンホール半径(4.61 mm)を使用
- 空気による減衰は無いとする (t=0 mfp)

$$Q \text{ (Bq)} = 1380 \frac{d^2 P}{\exp(-t)} \quad (r_{\text{eff}}=4.64 \text{ mm}) \quad Q \text{ (Bq)} = 1400 \frac{d^2 P}{\exp(-t)} \quad (r_{\text{eff}}=4.61 \text{ mm})$$

451 MBq : P=6.34 cps

推定値 414 MBq ($r_{\text{eff}}=4.64 \text{ mm}$)又は420 MBq ($r_{\text{eff}}=4.61 \text{ mm}$)

使用線源の 92 % 又は 93 %

5.60 GBq : P=67.3 cps

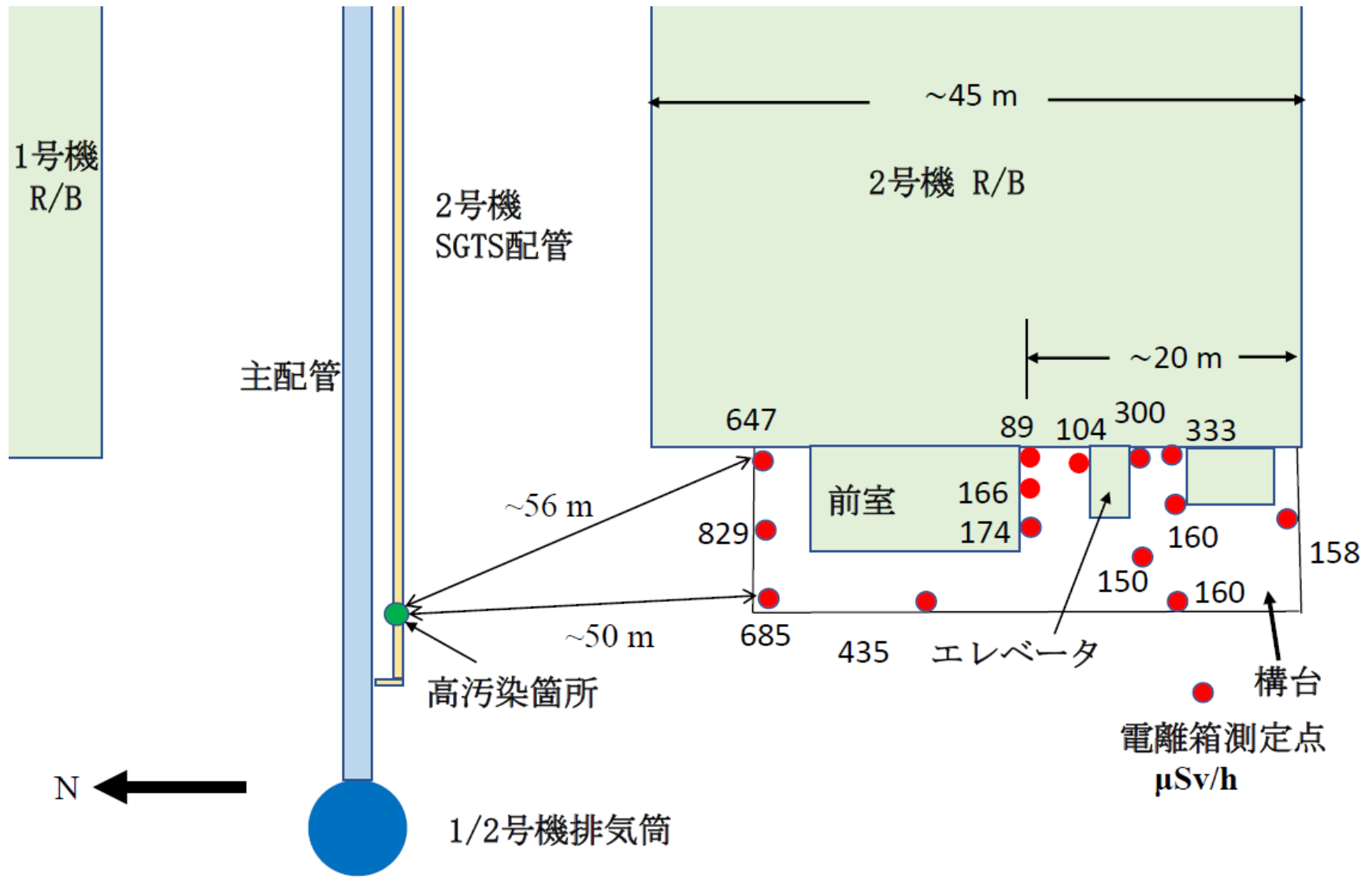
推定値 5.39 GBq ($r_{\text{eff}}=4.64 \text{ mm}$)又は5.46 GBq ($r_{\text{eff}}=4.61 \text{ mm}$)

使用線源の 96 % 又は 98 %

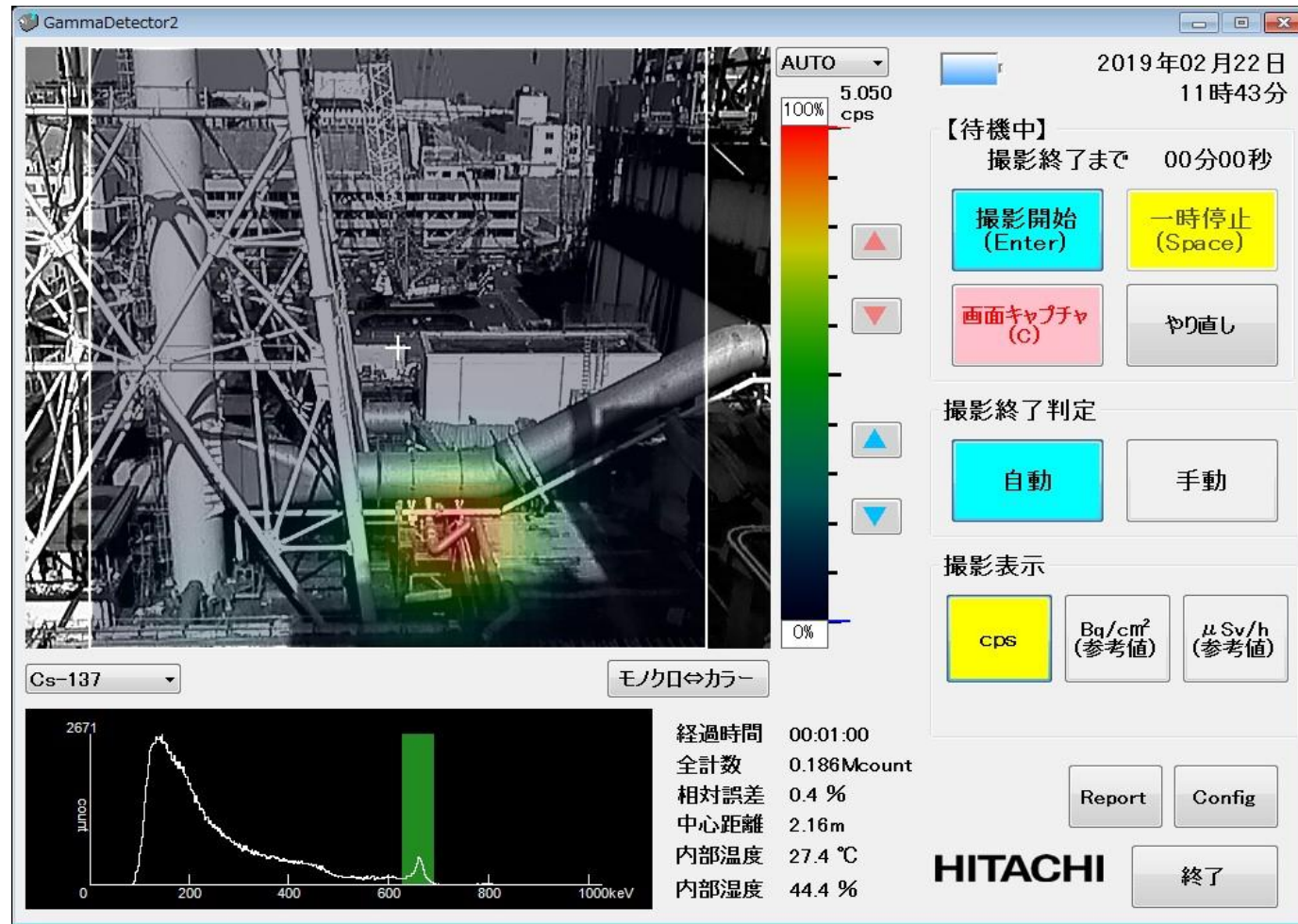
推定式で使用する「ピクセルの全エネルギー吸収ピーク検出効率」と実効ピンホール半径の妥当性を確認することが出来た

周辺線量当量率からの推定値との比較

- 事故直後から、屋外で周辺線量当量率が非常に高い場所（Sv/h以上）と認識されていた「1/2号機排気筒」周辺の汚染箇所について、ガンマカメラで調査した結果、主要な汚染箇所は「2号機SGTS配管の途中」であることが分った
- 福島第1原子力発電所2号機構台に設けられたオペレーションフロア前室の周回部からは、2号機SGTS配管を直視できる箇所がある
- できるだけ他の線源を受けない場所での周辺線量当量率の測定値からCs-137汚染量を推定



2号機SGTS配管部のCs-137汚染量の推定



事故直後から高線量率の場所として認識されていた1/2号機排気筒の主要な汚染箇所

周辺線量当量率からの推定との比較

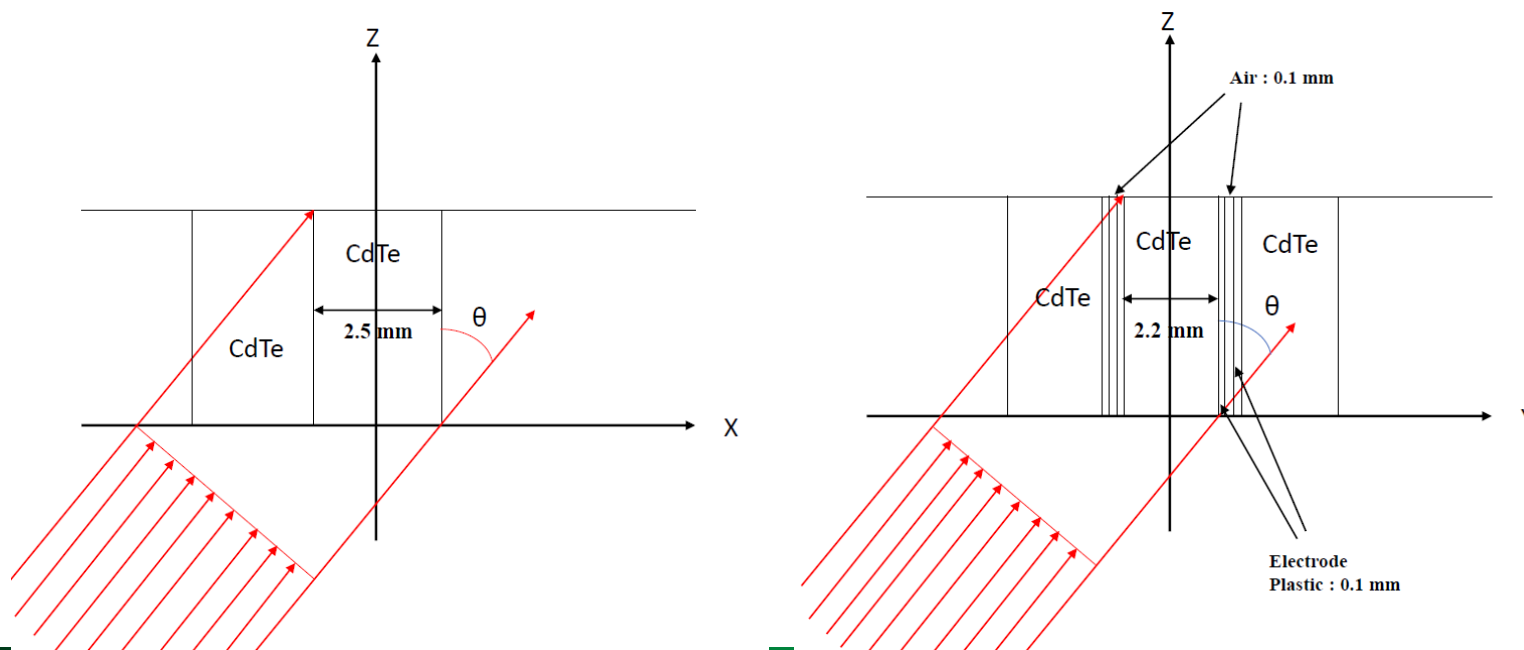
- 周辺線量当量率からの推定
 - 1号機オペレーションフロアが見えない北側周回路の東端（SGTS配管から約56 m）での周辺線量当量率（655 $\mu\text{Sv/h}$ ；2019年5月測定）から、オペレーションフロアからの寄与（SGTS配管が見えない南西部での線量率分布から200 $\mu\text{Sv/h}$ とする。）を差し引いた455 $\mu\text{Sv/h}$ を、SGTS配管の汚染による周辺線量当量率とする
 - Cs-137の0.662MeV γ 線の1cm線量当量率定数 $\Gamma_{1\text{cm}}=0.0908$ ($\mu\text{Sv/h per MBq at 1m}$)
 - SGTS配管(1 cmの鉄)と56 mの空気による0.662 MeV γ 線の平均自由工程 $t=1.09$ (mfp)
 - 1.09 mfpの空気の1cm線量当量ビルドアップ係数 $B(t)=2.68$
 - 点減衰核計算により、 $Q=455 \times 56^2/(0.0908 \times \exp(-1.09) \times 2.68)=1.74\text{E}+07 \text{ MBq}=17.4 \text{ TBq}$ となる
- ガンマカメラによる測定
 - 北西角（2号機SGTS配管から約50 m）で行った測定によるSGTS配管部に対応したピクセルの全エネルギー吸収ピーク計数率の合計は、70.6 cps
 - $Q \text{ (Bq)}=1380 \times \frac{5000^2 \times 70.6}{\exp(-1.03)} = 6.82 \times 10^{12}$
 - Cs-137の汚染量の推定量は、**6.82 TBq**
- 周辺線量当量率からの推定では、背後の2号機オペフロ内部の寄与推定に不確定性があり、SGTS配管部以外の汚染箇所からの散乱線の寄与が含まれている可能性がある
- ガンマカメラの測定で、SGTS配管部が中心部からずれていることから、推定値は過小評価となっている可能性がある
- この様な状況を考慮すると、両者は、ほぼ対応しており、汚染量としては、ガンマカメラの推定値に近いと考えられる。

0.02	0.03	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.02	0.03	0	0.02	0.02	0.07	0.08	0.03	0.07
0.03	0.07	0.03	0	0.02	0.07	0.03	0.03	0	0.07	0.05	0.02	0.02	0.07	0.07	0.03
0.07	0.05	0.02	0.07	0.07	0.07	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.08	0.08	0.05
0.05	0	0.02	0.02	0.03	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.07	0.05	0.08
0.02	0.07	0.07	0.02	0.07	0.05	0.03	0.03	0.07	0.07	0.1	0.1	0.02	0.03	0.07	0.02
0.02	0.03	0.02	0.08	0.1	0.05	0.1	0.02	0.05	0.02	0.07	0.13	0.05	0.07	0.03	0.07
0.03	0.08	0.08	0.05	0.1	0.13	0.07	0.08	0.03	0.08	0.18	0.08	0.05	0.07	0.1	0.02
0.02	0.03	0.08	0.07	0.17	0.1	0.07	0.05	0.13	0.08	0.07	0.05	0.12	0.22	0.08	0.02
0.02	0.05	0.05	0.05	0.2	0.13	0.1	0.17	0.22	0.17	0.15	0.1	0.13	0.1	0.1	0.1
0.07	0.08	0.05	0.07	0.2	0.2	0.13	0.2	0.32	0.37	0.25	0.22	0.08	0.28	0.23	0.22
0.03	0.05	0.17	0.23	0.3	0.22	0.43	0.4	0.42	0.83	0.77	0.57	0.23	0.3	0.3	0.18
0.12	0.15	0.22	0.27	0.28	0.48	0.57	1.22	3.07	3.05	2.75	1.18	0.65	0.28	0.18	0.17
0.08	0.17	0.32	0.68	0.7	0.6	1.18	3.38	4.93	6.12	5.37	3.13	1.08	0.32	0.17	0.15
0.15	0.48	0.7	0.68	0.6	0.8	1.48	3.08	5.13	6.95	5.78	2.87	0.58	0.2	0.13	0.1
0.17	0.62	1.07	1.25	0.75	0.53	0.75	1.32	2.78	2.6	2.25	0.98	0.23	0.1	0.02	0.08
0.1	0.42	0.8	1.02	0.58	0.2	0.47	0.83	0.93	0.77	0.28	0.22	0.1	0.08	0.1	0.03

HDG-E1500ガンマカメラの16 X 16の
 各ピクセルのCs-137 γ 線全エネルギー吸収ピーク計数率

全エネルギー吸収ピーク検出効率

- 角度を持って入射する場合には、ピクセル前面の入射する直接線数は少なくなるが、他のピクセルを通過して側面から入射する直接線の寄与が増える
- 電磁カスケードモンテカルロ計算コードegs5を用いて、入射角度による全エネルギー吸収ピーク検出効率を計算
- 側面から入射する寄与を含めたピーク検出効率は、入射角度に依存しない



X-Y平面でX-軸に角度を持つ平行なビームの場合

Angle θ	Peak efficiency per photon	Effective area	Effective peak efficiency	Ratio to 0 degree
degrees	ϵ	S (cm ²)	ϵS	
0	0.0238	0.0550	0.00131	1.00
5	0.0204	0.0644	0.00131	1.00
10	0.0178	0.0733	0.00130	0.996
15	0.0159	0.0816	0.00130	0.991
20	0.0146	0.0893	0.00130	0.996
25	0.0134	0.0963	0.00129	0.986
30	0.0125	0.103	0.00128	0.980

X-Y平面でY-軸に角度を持つ平行なビームの場合

Angle θ	Peak efficiency per photon	Effective area	Effective peak efficiency	Ratio to 0 degree
degrees	ϵ	S (cm ²)	ϵS	
0	0.0237	0.0550	0.00130	1.00
5	0.0200	0.0657	0.00131	1.01
10	0.0174	0.0759	0.00132	1.01
15	0.0154	0.0855	0.00132	1.01
20	0.0139	0.0944	0.00131	1.01
25	0.0127	0.103	0.00130	1.00
30	0.0118	0.110	0.00130	1.00