

福島第一原子力発電所事故について (1号機)

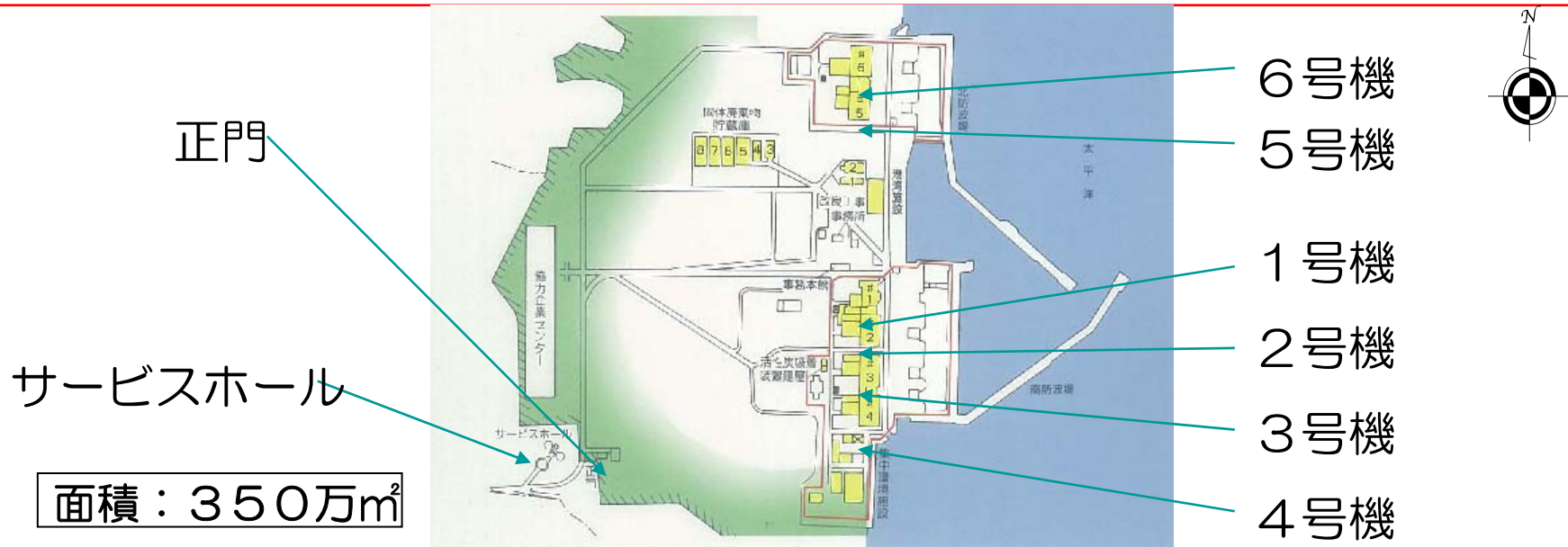
平成24年5月8日

東京電力(株)原子力品質・安全部原子力安全グループ
宮田 浩一

①地震・津波の影響

福島第一原子力発電所の概要

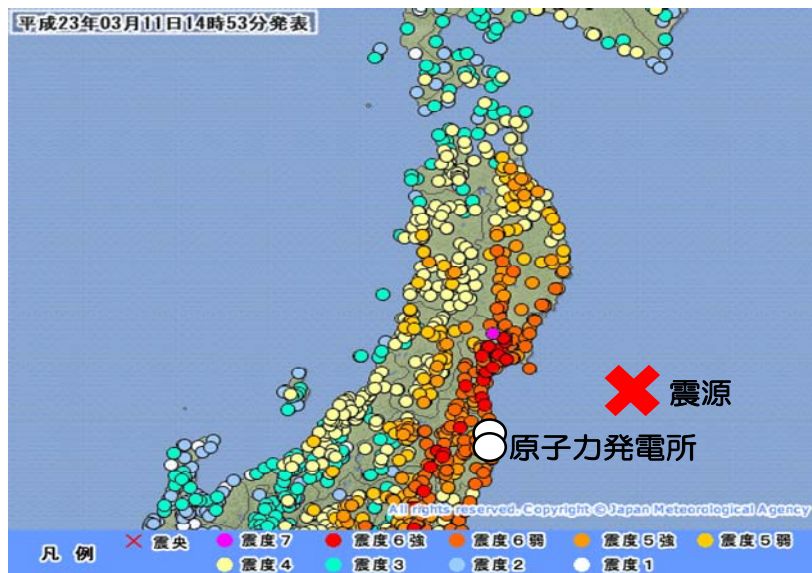
①津波・地震の影響



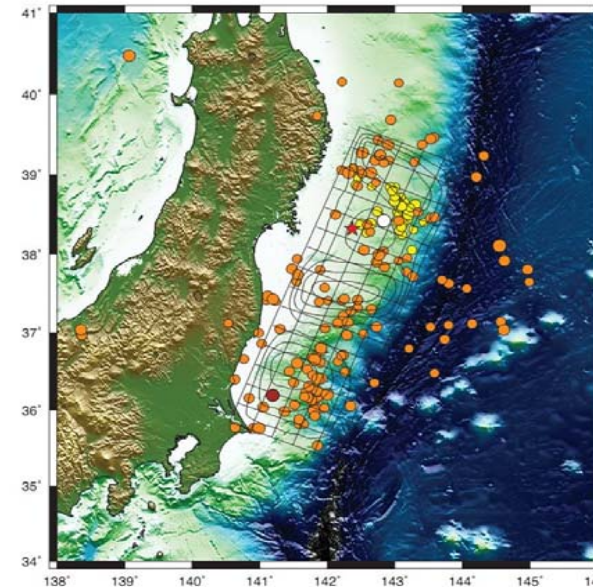
所在地	号機	運転開始	型式	出力(万kW)	主契約者	地震発生時の状況
大熊町	1号機	S46.3	BWR-3	46.0	GE	定格電気出力運転中
	2号機	S49.7	BWR-4	78.4	GE/東芝	定格熱出力運転中
	3号機	S51.3	BWR-4	78.4	東芝	
	4号機	S53.10	BWR-4	78.4	日立	定期検査中 全燃料取出、プールゲート閉 (シュラウド交換作業中)
双葉町	5号機	S53.4	BWR-4	78.4	東芝	原子炉圧力容器上蓋閉
	6号機	S54.10	BWR-5	110	GE/東芝	

地震及び津波の規模

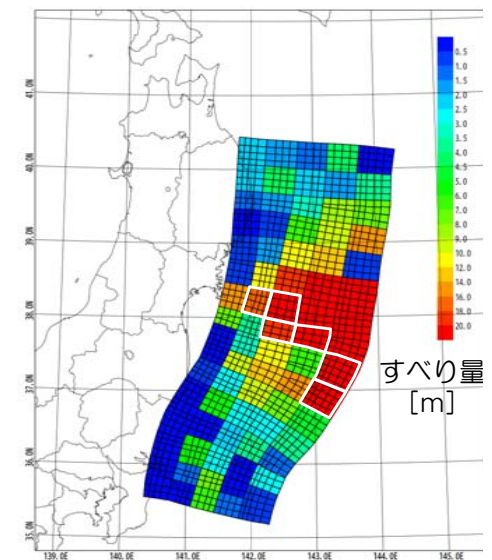
- 発震日時：2011年3月11日（金）午後2時46分頃
- 発生場所：三陸沖（北緯38度、東経142.9度）、震源深さ24km、マグニチュード9.0
- 各地の震度：震度7 宮城県栗原市
- 震度6強 福島県楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町
- 震度6弱 宮城県石巻市、女川町、茨城県東海村



今回の地震の震度分布



今回の地震の震源域
(東京大学地震研究所作成)



今回の津波の波源
(東京電力作成)

- ・「宮城県沖」、「三陸沖南部海溝寄り」、「福島県沖」、「茨城県沖」等の複数領域が連動して発生した巨大地震（マグニチュード9.0は世界の観測史上4番目の規模）
- ・国の地震調査研究推進本部も、過去事例のある個別領域の地震・津波は評価していたが、連動は考慮せず。

発電所を襲った地震の大きさ

①津波・地震の影響

地震観測記録と基準地震動Ssに対する応答値との比較

単位:ガル

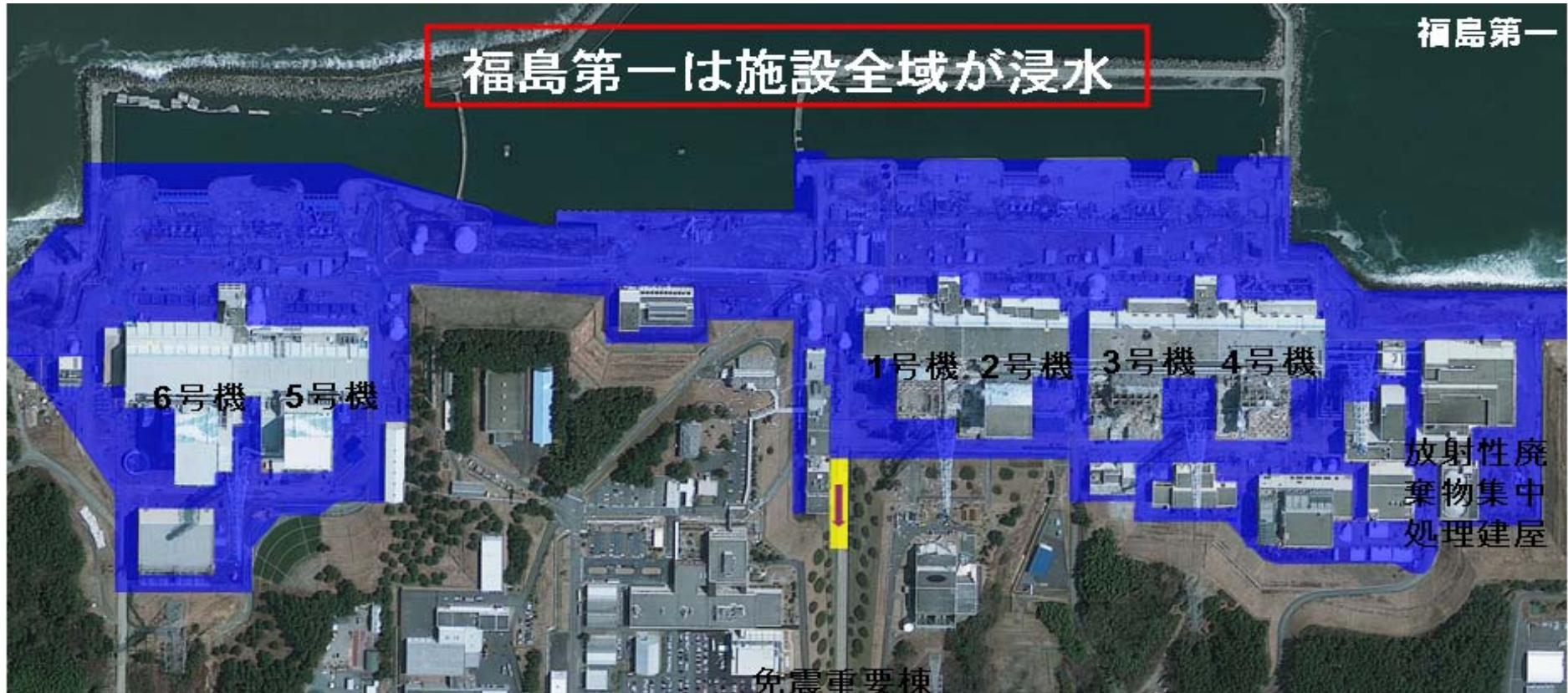
観測点 (原子炉建屋最地下階)		観測記録 最大加速度値			基準地震動Ssに対する 最大応答加速度値		
		南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	上下方向
福島第一	1号機	460*1	447*1	258*1	487	489	412
	2号機	348*1	550*1	302*1	441	438	420
	3号機	322*1	507*1	231*1	449	441	429
	4号機	281*1	319*1	200*1	447	445	422
	5号機	311*1	548*1	256*1	452	452	427
	6号機	298*1	444*1	244	445	448	415
福島第二	1号機	254	230*1	305	434	434	512
	2号機	243	196*1	232*1	428	429	504
	3号機	277*1	216*1	208*1	428	430	504
	4号機	210*1	205*1	288*1	415	415	504

※1：記録開始から約130～150秒程度で記録が終了

発電所を襲った津波の大きさ（福島第一）

①津波・地震の影響

福島第一原子力発電所 浸水箇所



(C)GeoEye

発電所を襲った津波の大きさ（福島第一）

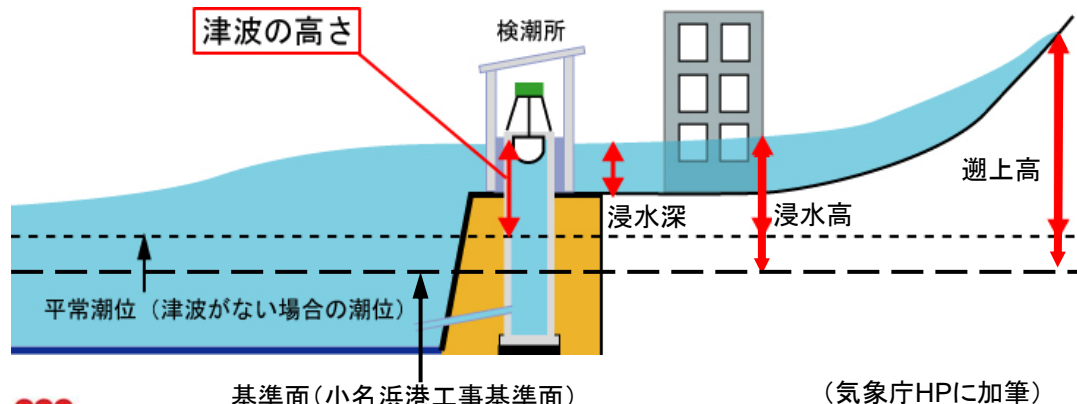
①津波・地震の影響

	主要建屋敷地エリア (1～4号機側)	主要建屋敷地エリア (5号、6号機側)
◇敷地高【a】	O.P.+10m	O.P.+13m
◇浸水高【b】	O.P.約+11.5～約+15.5m※1	O.P.約+13～約+14.5m
◇浸水深【b-a】	約1.5～約5.5m	約1.5m以下
◇浸水域	海側エリア及び主要建屋敷地エリアほぼ全域	
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今回の津波高さ(津波再現計算による推定); 約13m※2 ・ 土木学会手法による評価値(最新評価値); O.P.+5.4～6.1m 	

※1 : 当該エリア南西部では局所的にO. P. 約+16約+17m(浸水深 約6～7m)

※2 : 検潮所設置位置付近

注 : 地震による地盤変動量は反映していない

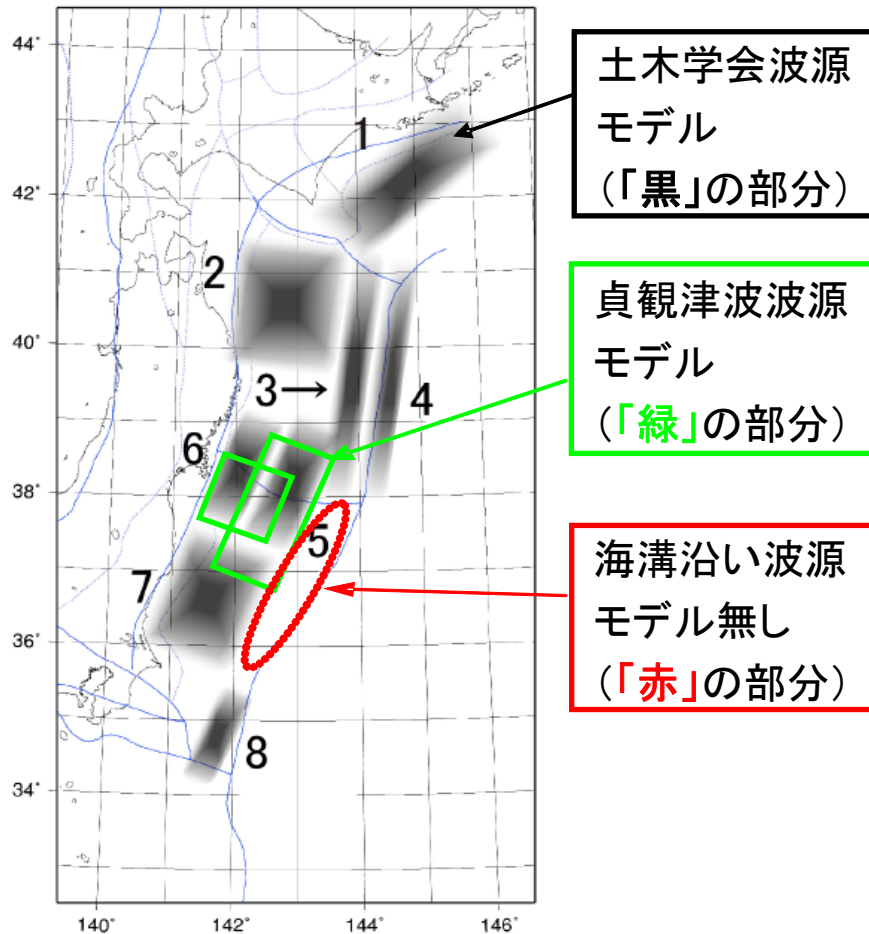


【用語の定義】

- ・ 津波高 : 平常潮位と、津波による海面上昇高さの差
- ・ 浸水高 : 建物などの津波痕跡と、基準面からの高さの差
- ・ 浸水深 : 建物などの津波痕跡と、地表面からの高さの差
- ・ 浸水域 : 津波によって浸水した範囲
- ・ 遡上高 : 津波かけ上がり痕跡と、基準面からの高さの差

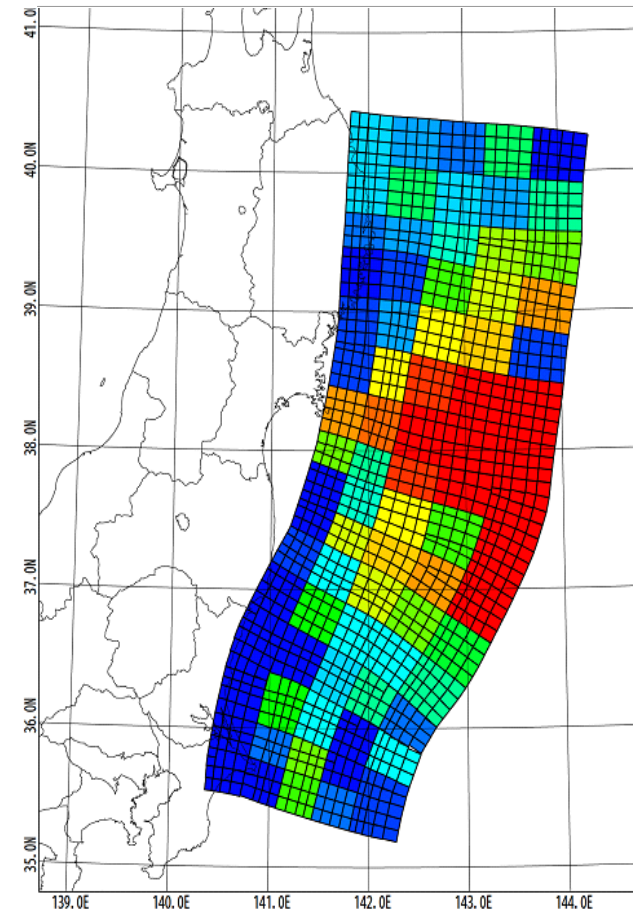
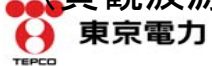
津波評価について

本地震は、「地震調査研究推進本部の見解に基づく地震」でも、「佐竹氏により提案された貞観地震」でもない、より広範囲を震源域とする巨大な地震。



土木学会の波源、貞観津波の波源

(貞観波源は「佐竹ほか、2008」に基づき作成)



今回の津波の波源

(東京電力作成)

福島第一・第二原子力発電所の被害状況

①津波・地震の影響

福島第一1～4号機は、外部電源喪失、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、電源盤の機能喪失に加え、直流電源も喪失し、さらに海水ポンプによる熱除去機能も喪失するという厳しい状況となりました。

		福島第一原子力発電所						福島第二原子力発電所			
		1F-1	1F-2	1F-3	1F-4	1F-5	1F-6	2F-1	2F-2	2F-3	2F-4
外部電源		×						○			
非常用ディーゼル 発電機 (*:空冷式)	A	×	×	×	×	△	△	×	△	△	△
	B	×	△*	×	△*	△	○*	×	△	○	△
	H	—	—	—	—	—	△	×	△	○	○
非常用高圧電源盤(M/C)		×	×	×	×	×	○	1/3	○	○	○
常用高圧電源盤(M/C)		×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
非常用低圧電源盤(P/C) ()内は工事中系統数		×	2/3	×	1/2 (1)	×	○	1/4	2/4	3/4	2/4
常用低圧電源盤(P/C) ()内は工事中系統数		×	2/4	×	1/1 (1)	2/7	×	○	○	○	○
直流電源		×	×	○ → ×	×	○	○	3/4	○	○	○
海水ポンプ		×	×	×	×	×	×	×	×	1/2	×

○:使用可(分数の場合は、使用可能な系統数を表示)
 △:D/G本体は被水していないが、M/C・関連機器等の水没により使用不可
 ×:使用不可 ー:設備なし

厳しい環境下での現場対応（注水作業）

①津波・地震の影響

現場の証言：

「相当大きな余震があり、全面マスク着用のまま死に物狂いで、高台へ走って行かざるを得ないことも多かった。」

「暗闇の中、ケーブル敷設のための貫通部を見つけたり、端末処理を行う必要もある。水たまりの中での作業で、感電の恐怖すらあった。」



大きく開口し通行を阻んだ数多くの地割れ



消防車と散乱した漂流物



津波で流されて道を塞ぐ重油タンク

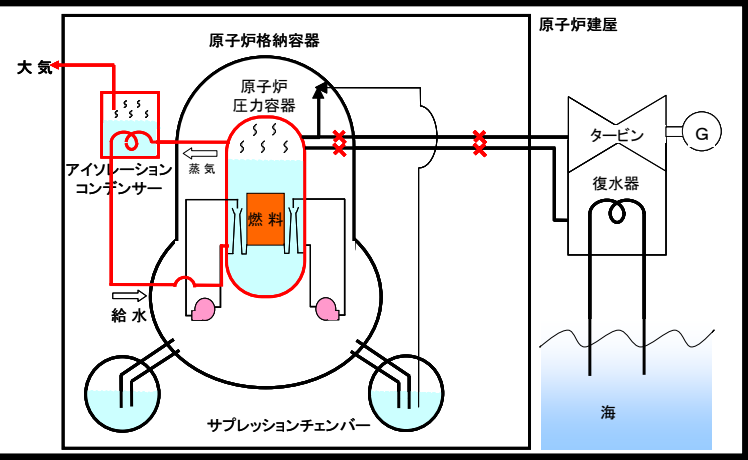
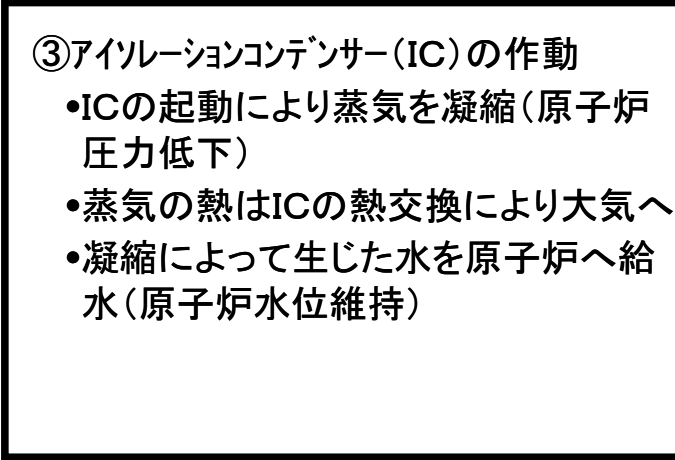
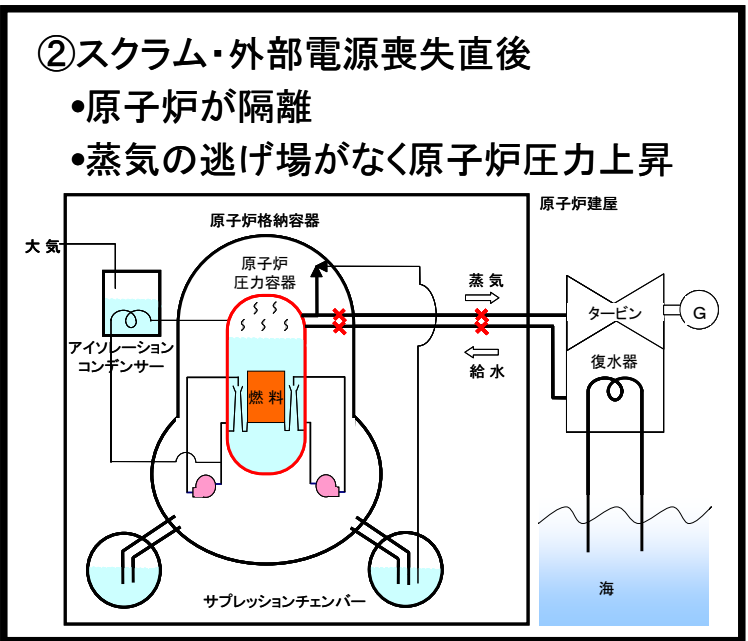
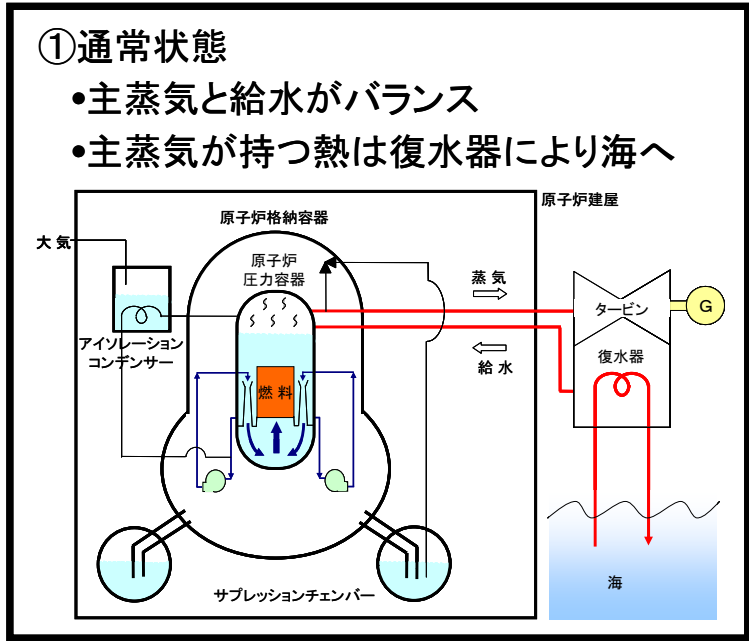


東京電力

② 1号機のプラント挙動

福島第一1号機の事象進展イメージ(1/2)

②1号機挙動

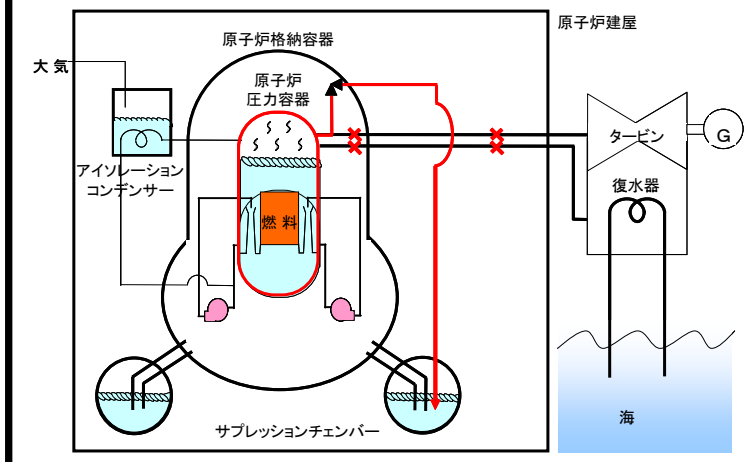


福島第一1号機の事象進展イメージ(2/2)

②1号機挙動

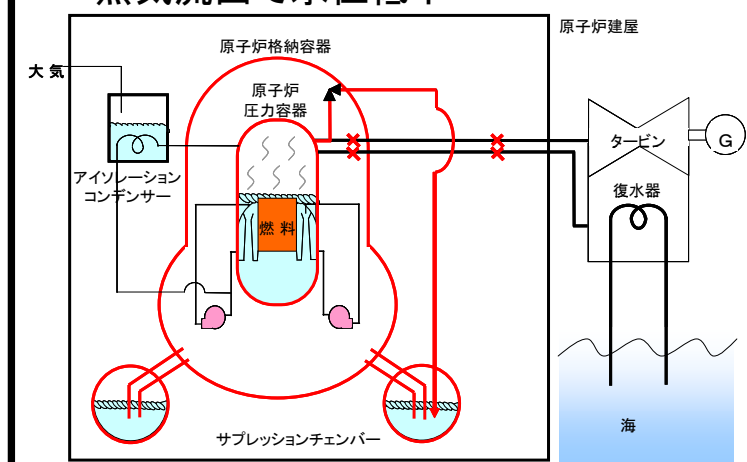
④アイソレーションコンデンサーの機能低下

- 原子炉圧力が上昇
- 主蒸気逃がし安全弁から蒸気流出



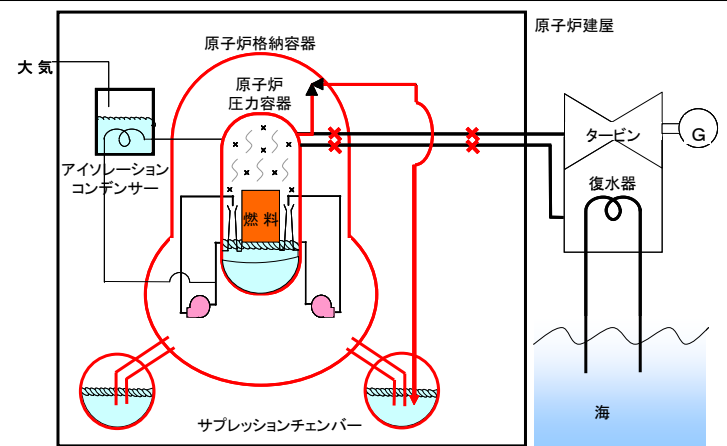
⑤原子炉の水位が低下

- 蒸気がS/Cへ逃げて格納容器圧力上昇
- 蒸気流出で水位低下

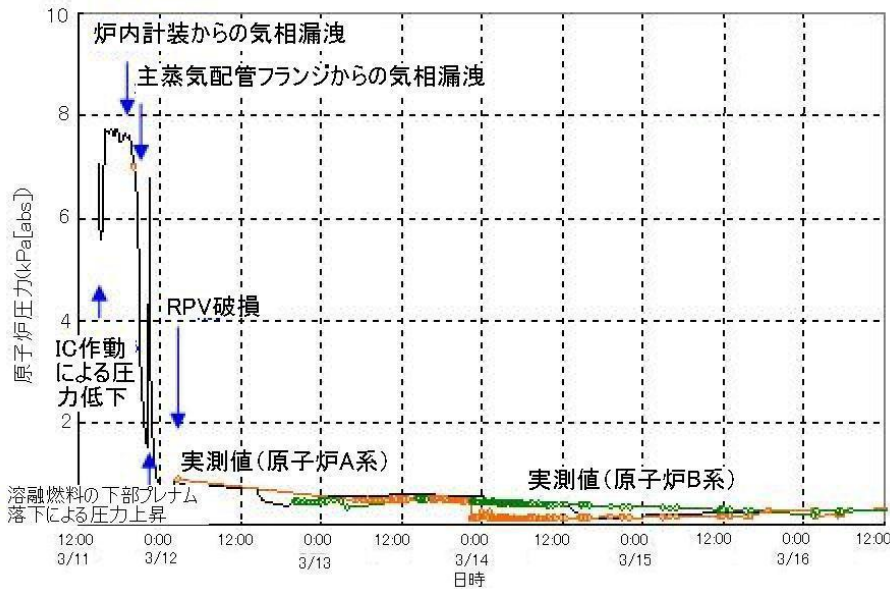
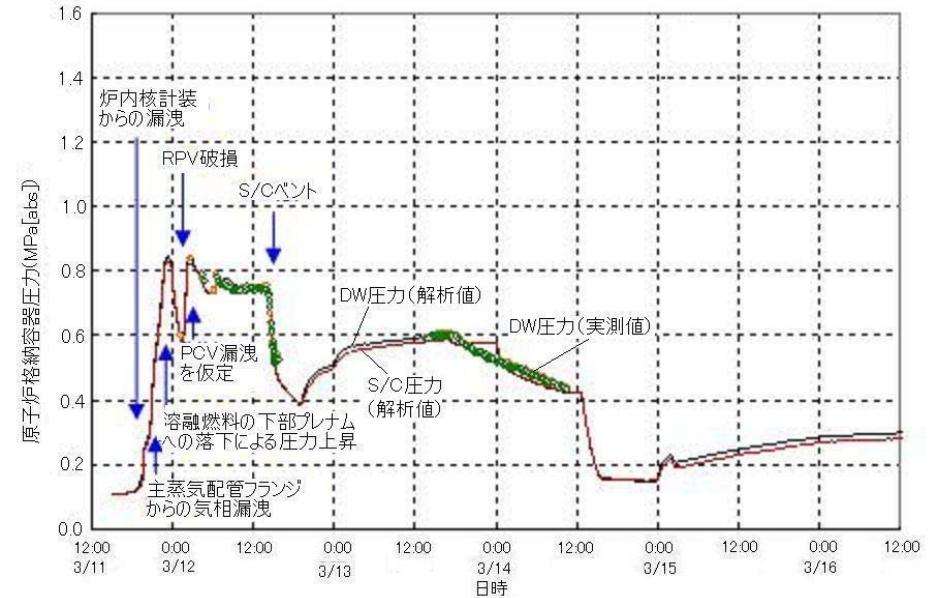
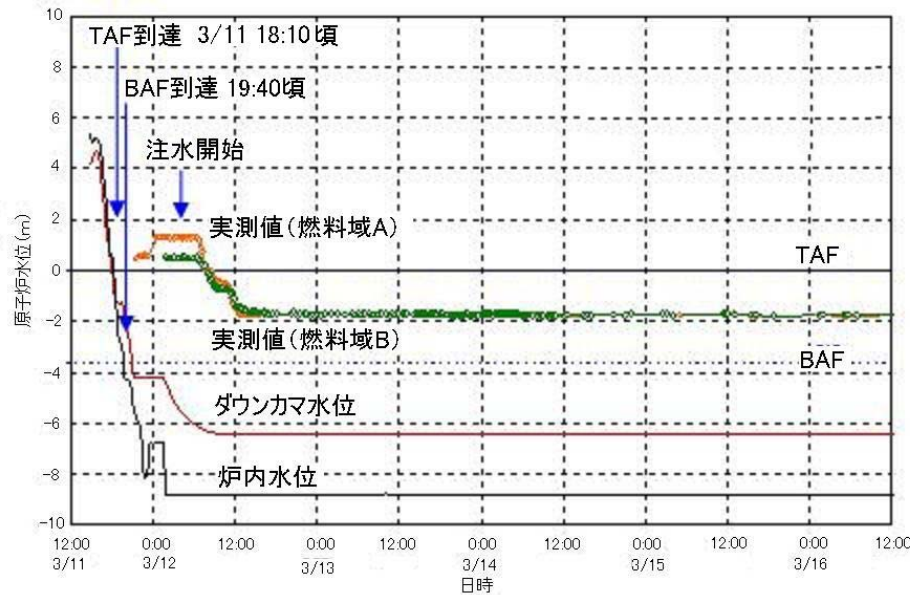


⑥燃料が気中に露出

- 気中に露出した燃料被覆管の温度が上昇
- 炉心(燃料)損傷
- PCV圧力が更に上昇



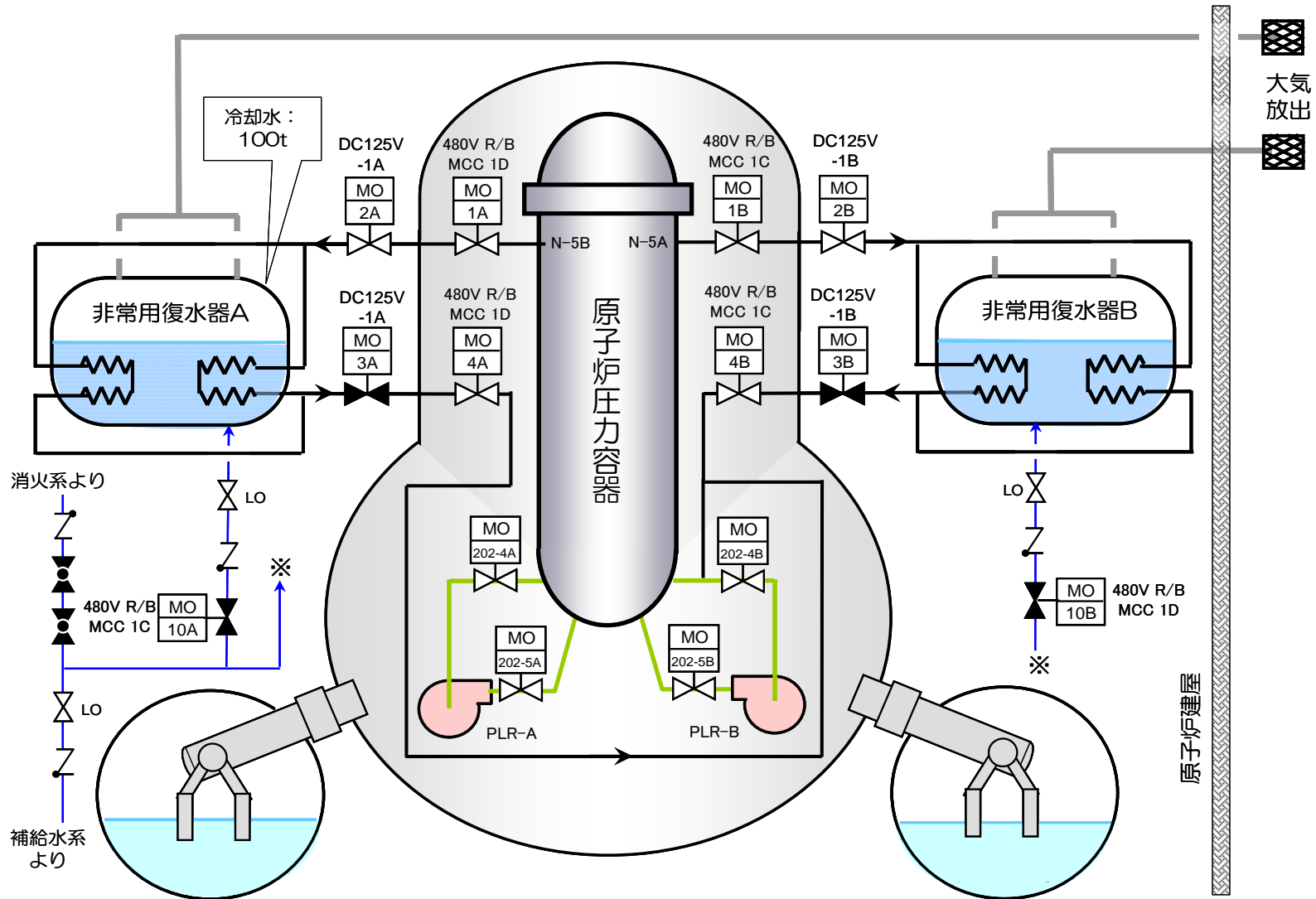
1号機の炉心の状態 (1 / 2)



- 津波による全電源喪失
⇒プラント状態の把握不能
かつ、ECCS、ICの機能喪失で炉心損傷
- 3/11 18時過ぎのIC操作も既にTAFに低下
- SR弁操作なしで原子炉減圧(炉心損傷で核計装配管の損傷やMSラインフランジリーク?)
- DW圧力と均圧し、12日0時頃にDW圧力が600kPa[abs](最高使用圧力427kPa[gage])
- 消防車による注水は、炉心が損傷した後であるが、MCCIの進展はある程度抑制

参考図 非常用復水器(IC)の操作

津波により電源を喪失し、格納容器内側、外側各隔離弁が自動閉鎖

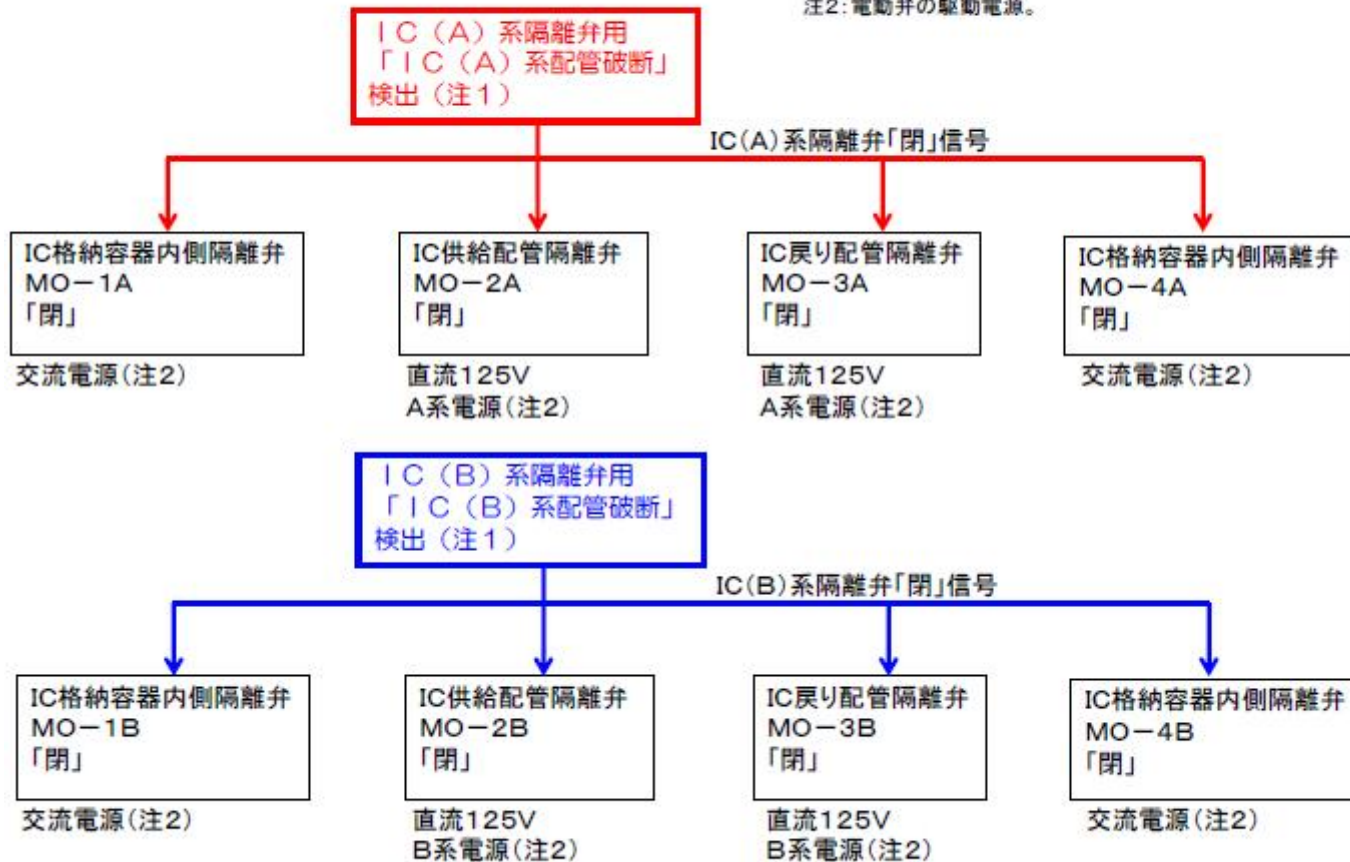


参考図 非常用復水器(IC)のインターロック

	直流125V A系	直流125V B系
IC (A) 系配管破断	検出回路 (A)	検出回路 (C)
IC (B) 系配管破断	検出回路 (B)	検出回路 (D)

注1:「IC(A系)配管破断」および「IC(B系)配管破断」を検出する回路は、A系とB系の125V直流電源両方を使用している。片系の直流電源が喪失した場合でも、両系の検出回路がフェールセーフ動作し、IC(A)系と(B)系のすべての隔離弁に閉信号を発信する。

注2:電動弁の駆動電源。



非常用復水器 電動弁インターロックブロック線図

参考図 非常用復水器(IC)の弁の状態

②1号機挙動

福島第一原子力発電所1号機 非常用復水器(IC)弁状態経緯

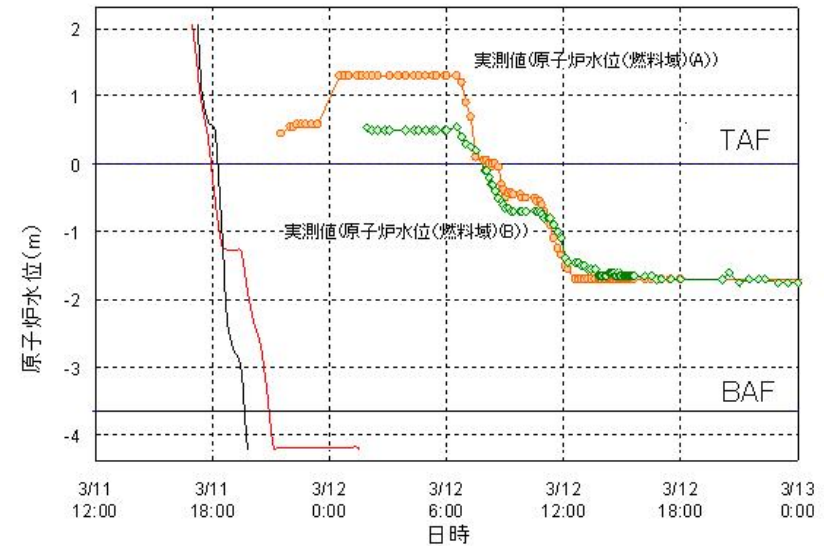
IC A系		3月11日								4月1日	10月18日
格納容器内側弁 (交流電源)	格納容器外側弁 (直流電源)	通常運転中	14:52 地震発生後の自動起動	15:03頃～ IC起動・停止	15:35頃 津波	……………	18:18	18:25	21:30	調査結果からの評価	調査結果からの評価
MO-1301-1A	-	○	○	○	○⇒	?				?	/
-	MO-1301-2A	○	○	○	○⇒	×	×	○	○	○	○
-	MO-1301-3A	×	×	○⇄	×	×	×	○	×	○	○
MO-1301-4A	-	○	○	○	○⇒	?				?	/
IC状態		待機	運転開始	炉圧制御	全弁自動閉の信号発生(隔離インターロックによる)	操作なし	運転操作	停止操作	運転操作	弁回路調査結果	現場調査結果

IC B系		3月11日					4月1日	10月18日
格納容器内側弁 (交流電源)	格納容器外側弁 (直流電源)	通常運転中	14:52 地震発生後の自動起動	15:03頃 停止	15:35頃 津波	……………	調査結果からの評価	調査結果からの評価
MO-1301-1B	-	○	○	○	○⇒	?	?	/
-	MO-1301-2B	○	○	○	○⇒	×	×	×
-	MO-1301-3B	×	×	○⇄	×	×	×	×
MO-1301-4B	-	○	○	○	○⇒	?	?	/
IC状態		待機	運転開始	停止操作	全弁自動閉の信号発生(隔離インターロックによる)	操作なし	弁回路調査結果	現場調査結果

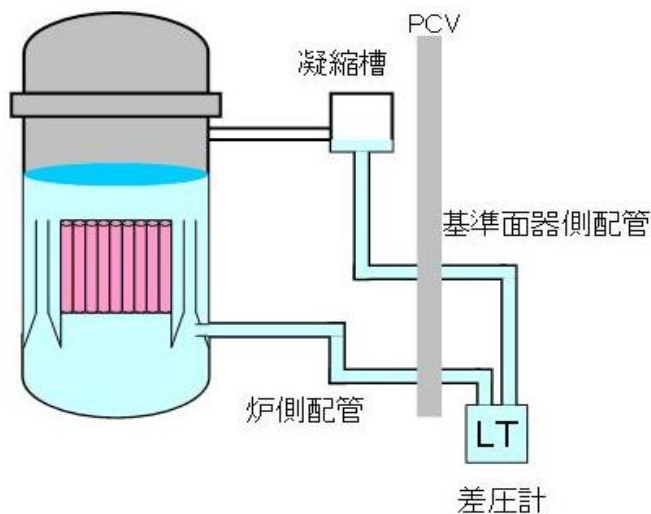
■ 電源喪失期間 ○:弁が開状態 ×:弁が閉状態 ? :閉鎖状態が不明

参考図 水位計の原理とSA時の挙動

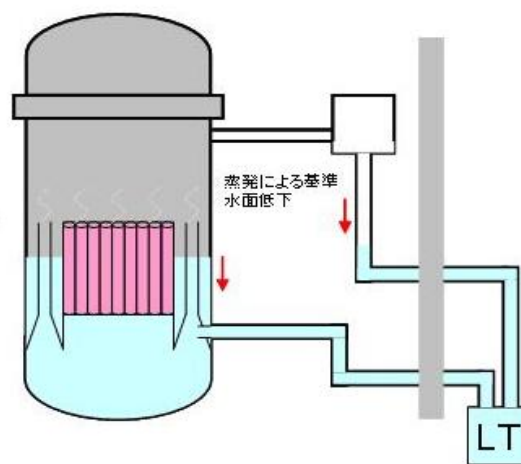
- ① BWRの原子炉水位計は、差圧を水位に換算
- ②シビアアクシデント時には、基準面器側の配管内水位が蒸発により低下することで、見かけの水位が上昇
- ③追って、炉側配管内水位が低下すると、見かけの水位が下降



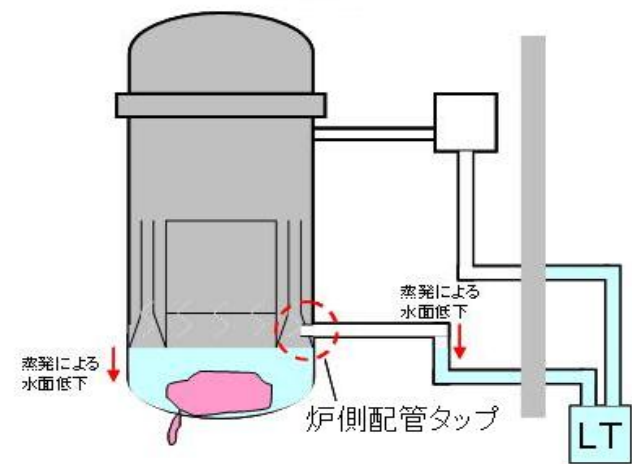
①通常状態



②基準面器側の水位低下



③炉側の水位低下

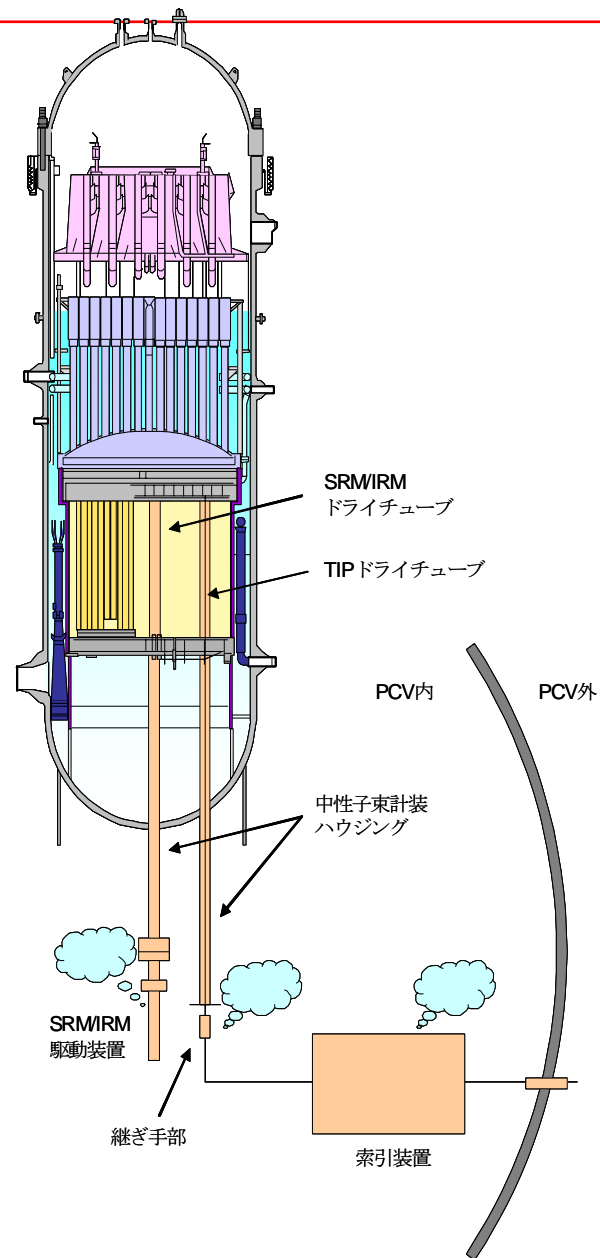


参考図 気相漏えいの発生部位（その1）

- 燃料が露出し、炉心部が高温になると、炉心部にある核計装配管が破損する可能性がある
- そのうち、炉外への取出し機構のある、SRM/IRM及びTIPのドライチューブが破損すると、原子炉内の気相部の蒸気がD/Wに漏えいする可能性がある



- 今回の解析では、炉心部の温度が727℃(1000K)に到達した時点で、漏えいが発生すると仮定
- (漏えい面積は0.000134m²)

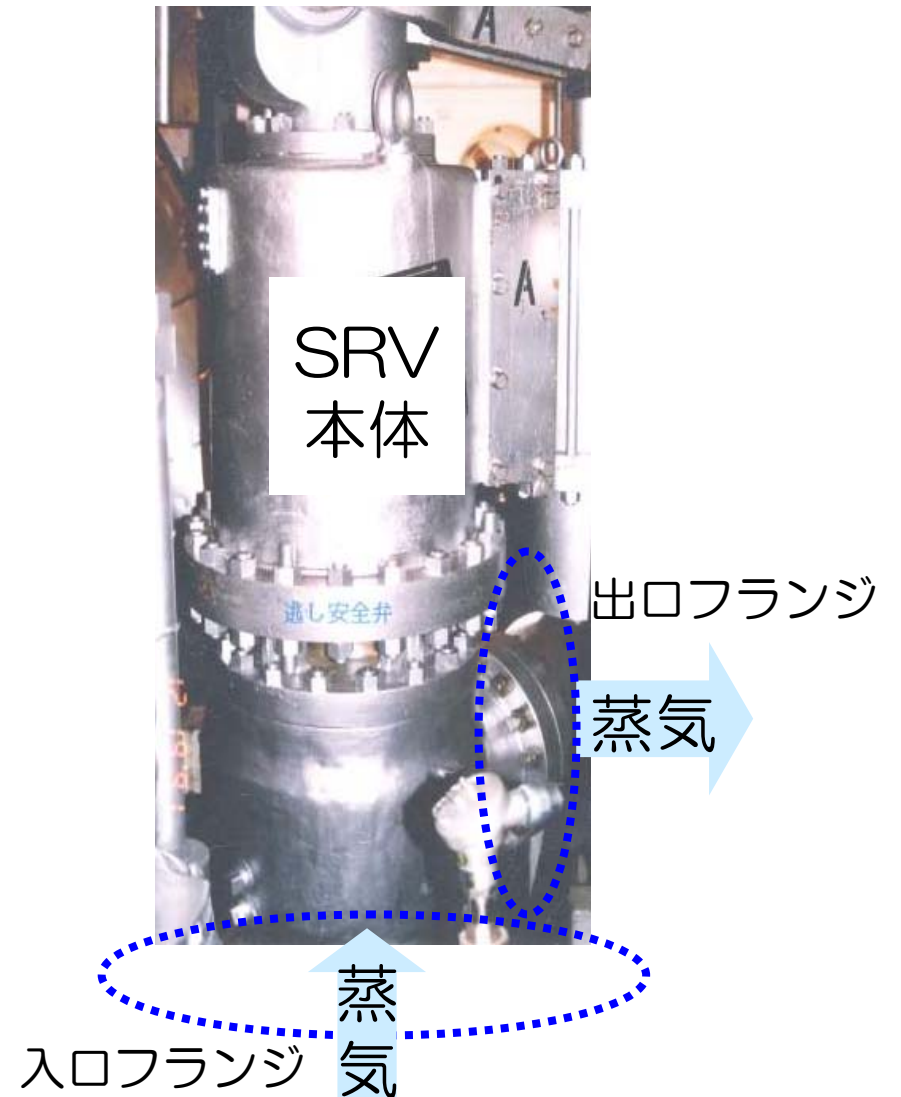


参考図 気相漏えいの発生部位（その2）

- 主蒸気配管のSRV 管台などのフランジ部に使用されているガスケットは、燃料が露出し、炉心部が高温になり、炉心部の気体(蒸気・水素)が高温になると、シール機能を喪失する可能性がある。
- 特に、膨張黒鉛ガスケットの耐熱温度は約450°C程度である。



- 今回の解析では、炉心部の気体温度が450°Cに
- 到達した時点で、漏えいが発生すると仮定
- (漏えい面積は0.00136m²)



現場における格納容器ベント操作

通常であれば中央制御室においてベントを行うことができますが、電源の喪失により、通常の手順を超えた対応を行う際に、問題点が生じました。

PCVベント弁（MO弁）の手動開操作

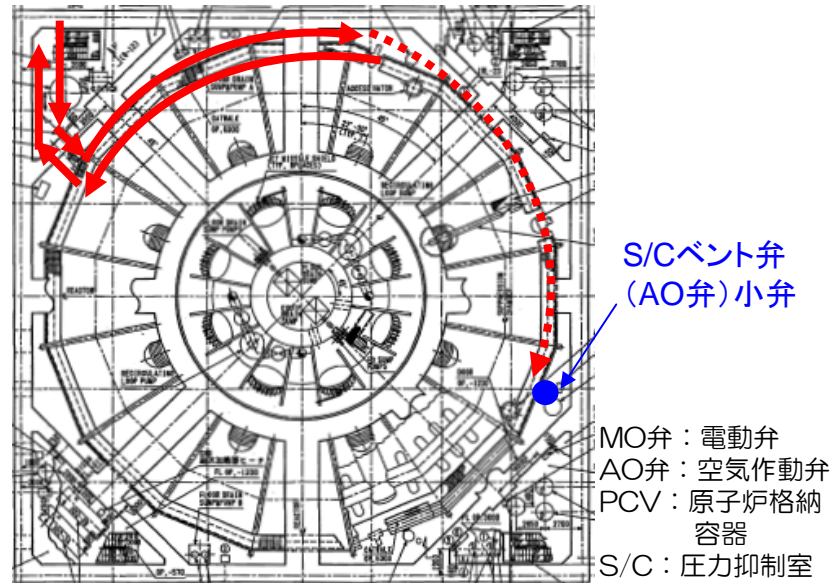
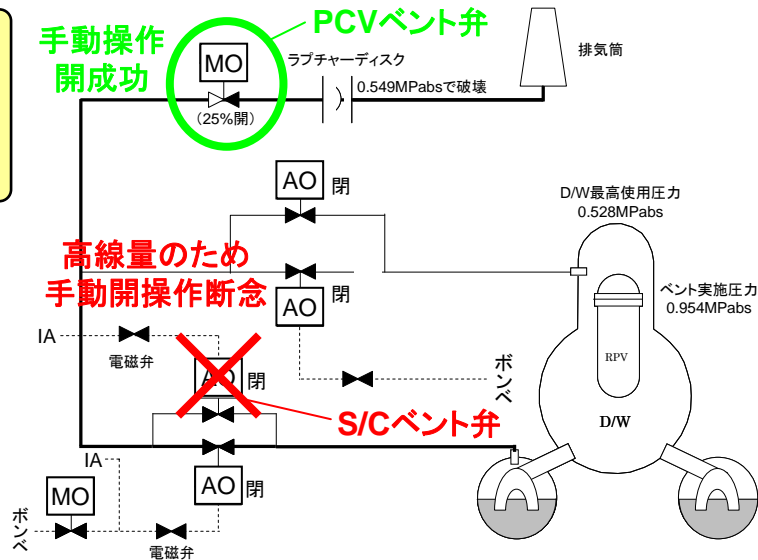
- 電源を失い、中央制御室から弁を動かすことができなかったことから、現場で手動で開操作することとした
- 第1班が原子炉建屋2階にあるPCVベント弁（MO弁）の操作に向かい、現場到着後、手動にて弁の開操作を実施

PCVベント弁（MO弁）の開操作成功

S/Cベント弁（AO弁）小弁の手動開操作

- 電源および作動空気圧を失い、中央制御室から弁を動かすことができなかったことから、現場で手動で開操作することとした
- 第2班の操作員がトラス室（原子炉建屋B1F）に入ったが、当該弁はトラス室に入った場所から見て180度方向にあった
- 途中でサーベーターが測定できる範囲を超過したため、操作員は引き返さざるを得なかった

ベント実施は手動操作を断念し、別の方策（可搬式コンプレッサーおよび小型発電機の接続等）を選択

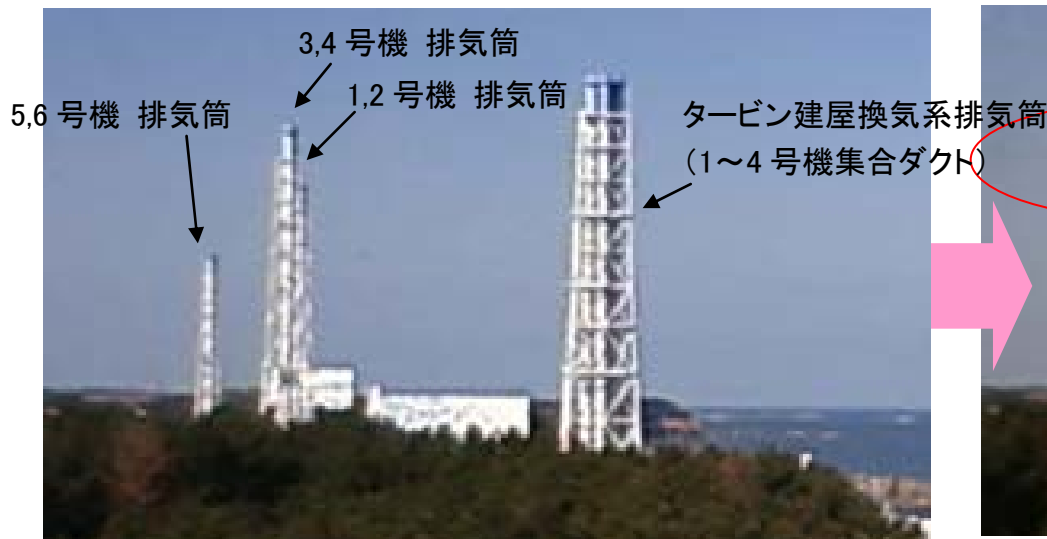


原子炉建屋地下1階
S/Cベント弁（AO弁）小弁へのアクセスルート

格納容器ベントの確認 (ふくいいちライブカメラ)

②1号機挙動

3月12日 14:00撮影



3月12日 15:00撮影



14:00頃 S/Cベント弁(AO弁)大弁を
動作させるため、仮設の空気
圧縮機を設置
14:30 D/W圧力が低下していること
を確認

1, 2号機 排気筒から山側に蒸気のようなものが見える
(16:00撮影以降の写真では確認できず)

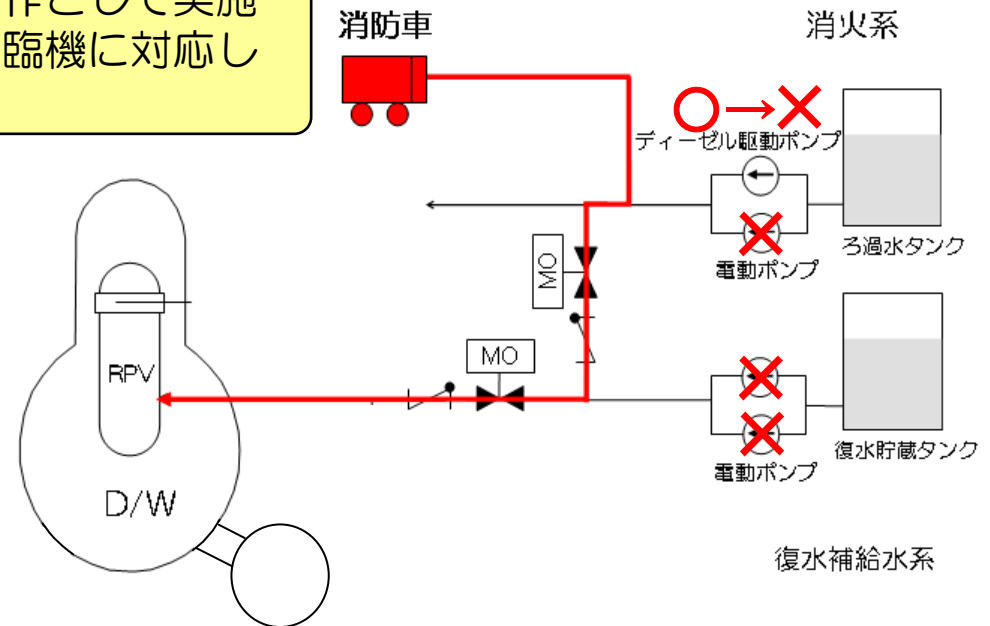
復旧要員による原子炉への注水操作

②1号機挙動

電源が喪失し、また電源がなくても作動するディーゼル駆動消火ポンプでの原子炉注水もできなかったため、中越沖地震対策で配備していた消防車による注水を応用動作として実施し、また水源も防火水槽（淡水）から海水へと臨機に対応しなくてはならない問題点が生じました。

使用可能であった消防車1台で注水を準備

- 注水口のある場所にたどり着くために、重機2台により、路上のガレキや門扉、散乱した車などを撤去
- 注水口付近のガレキを撤去し注水口を探索するが、なかなか発見できず
- 淡水注水を開始した後、現場の放射線量が高くなってきたため、一旦中断して、全面マスク着用で注水を再開



淡水がなくなってきたことから、発電所長は海水注水の実施を指示

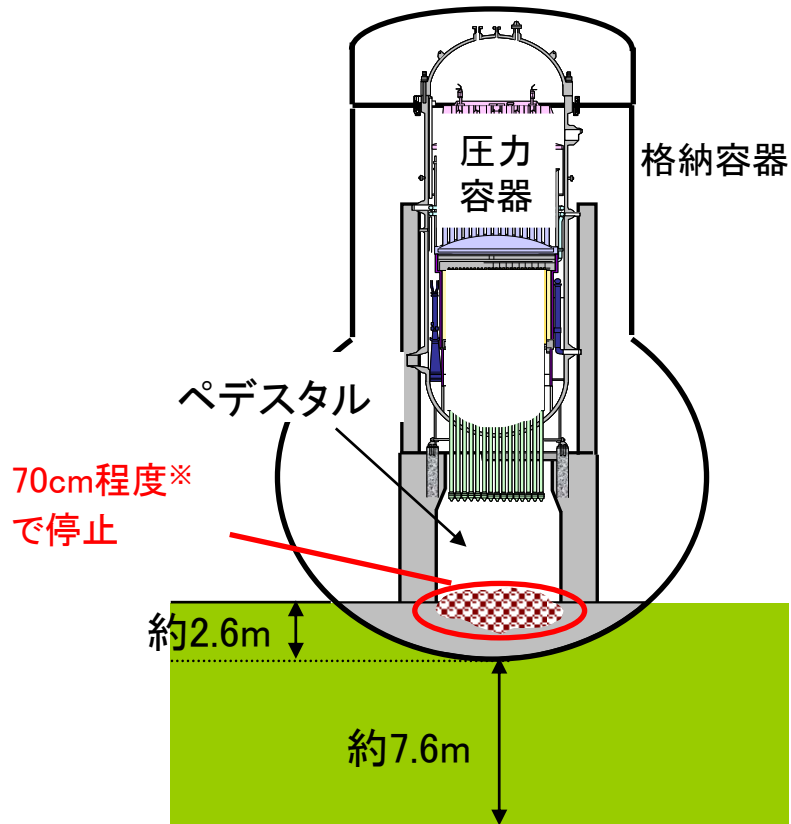
- 海水注入は3号機逆洗弁ピットを水源にし、到着した柏崎刈羽、自衛隊からの応援の消防車2台を用いて直列に3台つなぐ注水ラインで敷設作業を実施した
- 完了前に原子炉建屋が爆発、海水注入のためのホースが損傷し、使えない状態になった
- けが人を救護した後、ホースを屋外の消火栓より収集、敷設し直し、海水注入を開始*

*：海水注入に対し、総理大臣（災害対策本部長）の了解が得られておらず、本店は短時間の中断を発電所長に指示。発電所長は、注水の継続が重要との認識のもと、注水を継続。

1号機の炉心の状態 (2/2)

- 現実的と考えられる条件で1号機のコア・コンクリート反応による侵食を解析コード (DECOMP) で評価した結果、溶融した燃料による侵食は70cm程度※で止まるとの結果
- 格納容器内のガスサンプリング結果から、コア・コンクリート反応に起因すると考えられるガスは確認されておらず。現在は、コア・コンクリート反応が発生しているとは考えにくい

格納容器底部の侵食状況(イメージ)



評価条件

●堆積条件

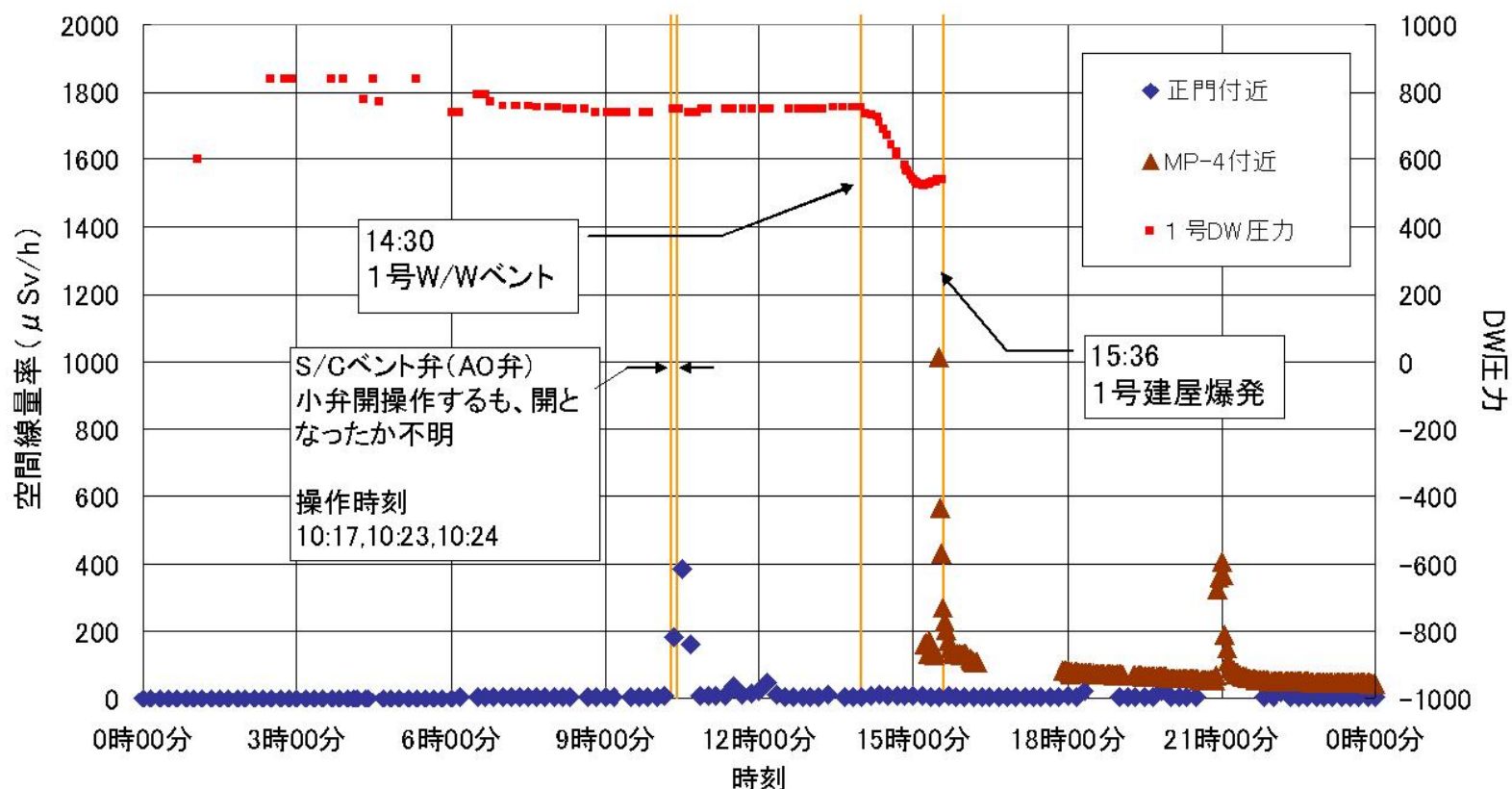
- ペDESTAL内部に落下した燃料デブリは、スリット(円筒状のペDESTALの切り欠き部分)を通して、ドライウェル床面(ペDESTAL外側)にも拡散。
- ペDESTALにある機器ドレンサンプ、床ドレンサンプへも一定量のデブリが堆積する。

●崩壊熱

- 揮発性の核分裂生成物に関しては、コア・コンクリート反応時には既に揮発済みとして、考慮しない。

1号機における格納容器ベント

②1号機挙動



【3/12 10時過ぎのS/C小弁開放】

- OD/W圧力低下せず
- 正門モニター一時的に上昇
- 大きな汚染は生じていない

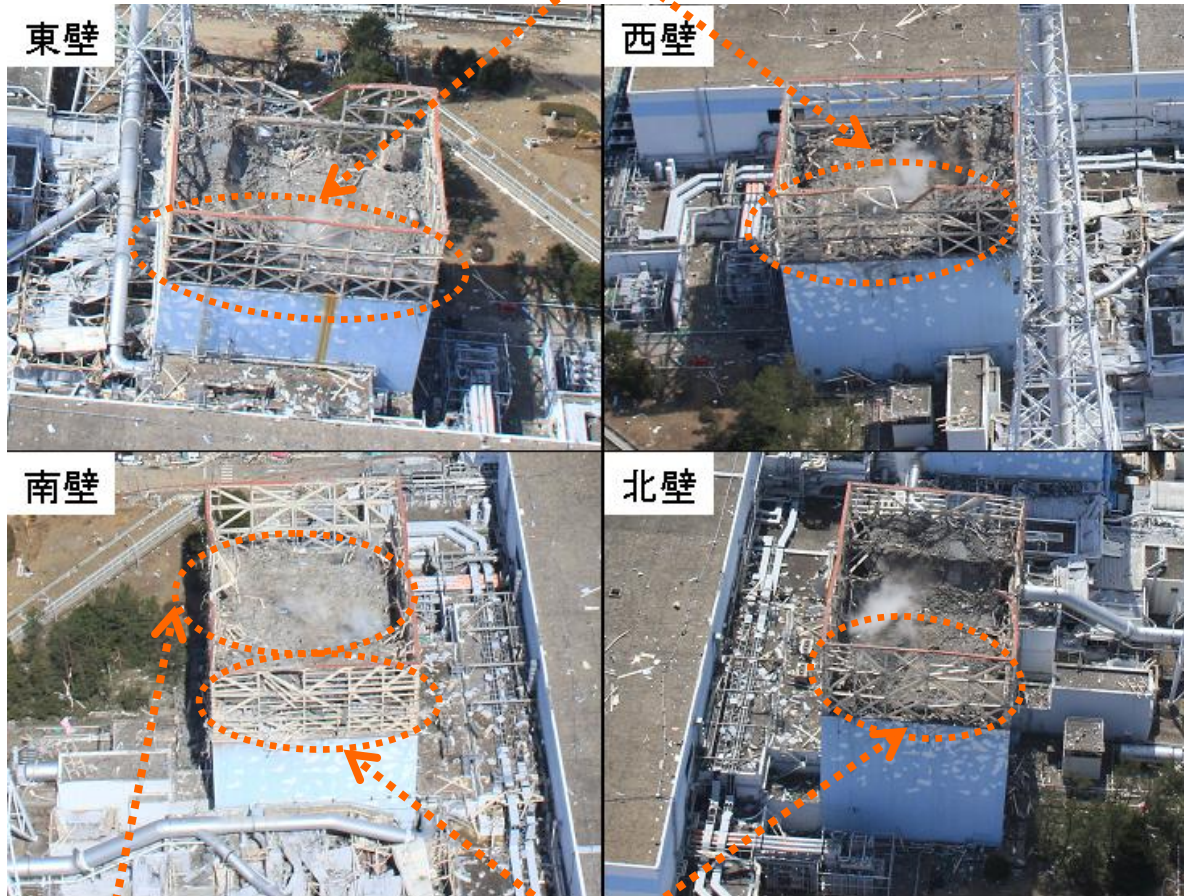
【3/12 14時過ぎのS/C大弁開放】

- OD/W圧力低下⇒ベント成功
- 正門モニター反応せず
- 大きな汚染は生じていない

1号機における水素爆発（1 / 2）

②1号機挙動

全面にわたる損傷



天井の崩落

全面にわたる損傷

○原子炉建屋5階(オペフロ)の壁(鉄骨造)の全周が均等に損傷

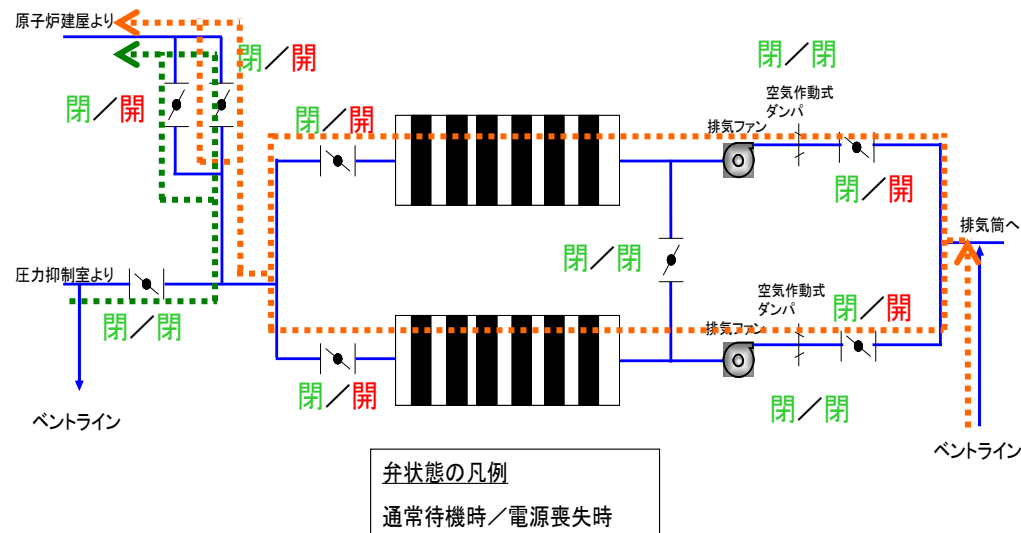
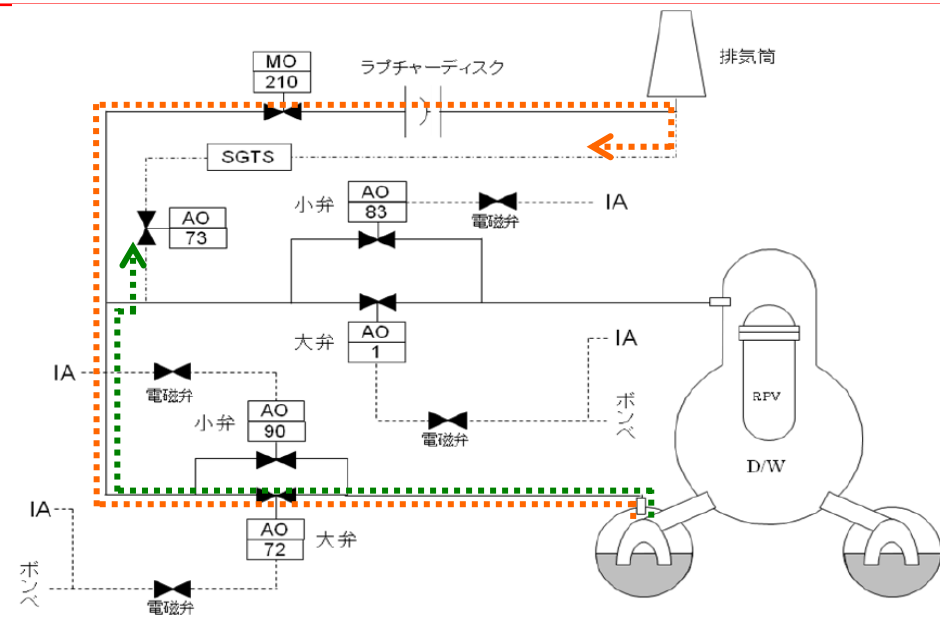
○爆発物質は、炉心損傷時に生じた水-ジルコニウム反応による水素と推定
(SFPにおける水の放射線分解で発生し得る水素は少量)

○格納容器内の水素が原子炉建屋に漏洩
(PCVヘッドフランジのシール部などが考えられる)

1号機における水素爆発（2/2）

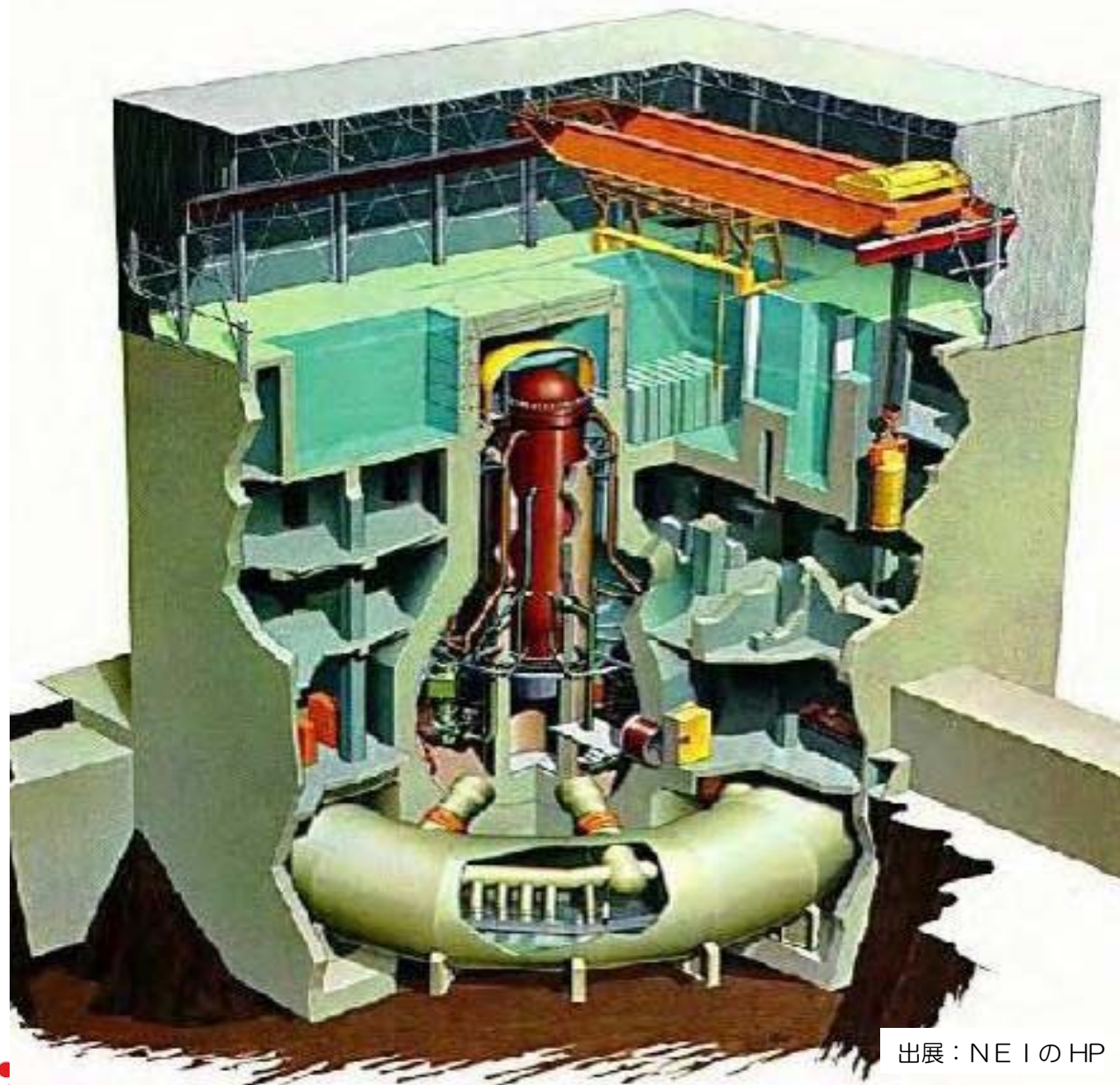
SGTS逆流の寄与は小

- SGTS入口側は格納容器隔離弁で隔離
- 出口側は電源喪失時閉の流量調整ダンパ
- ただし、流量調整ダンパはSGTSTレイン間の逆流防止機能はあるが、ベント流を完全に阻止できるかは不明
- 仮にSGTS逆流が原子炉建屋に蓄積した水素の主たる経路であるならば、随伴した放射性物質はSGTSフィルタで捕捉されるので、建屋の大規模汚染にはつながらない



御清聴ありがとうございました

参考図 原子炉建屋の鳥瞰図



出展：NEIのHP

主要寸法等

- 福島第一 1号機の例 -

原子炉建屋

- ・高 さ：約59m
- ・断 面：約42×42m

格納容器（ドライウエル）

- ・高 さ：約32m
- ・円筒部径：約10m
- ・下部球径：約18m

格納容器（ウェットウエル）

- ・円環中心径：約30m
- ・円環断面径：約 8m

圧力容器

- ・高 さ：約 20m
- ・内 径：約 4.8m
- ・厚 さ：約 16cm
- ・重 量：約 440t