

---

# 福島第一原子力発電所事故について (2, 3号機)

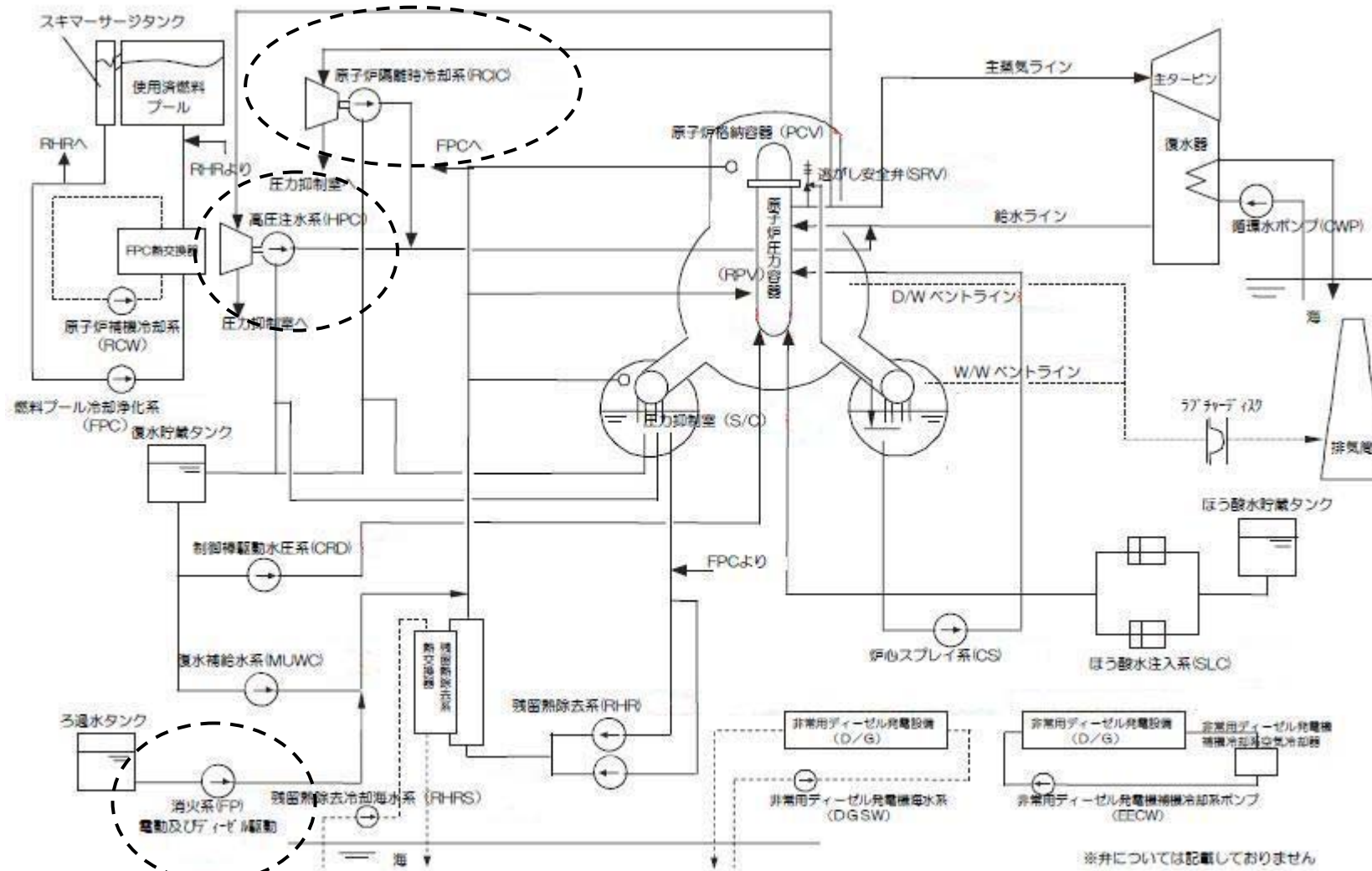
平成24年6月26日

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

---

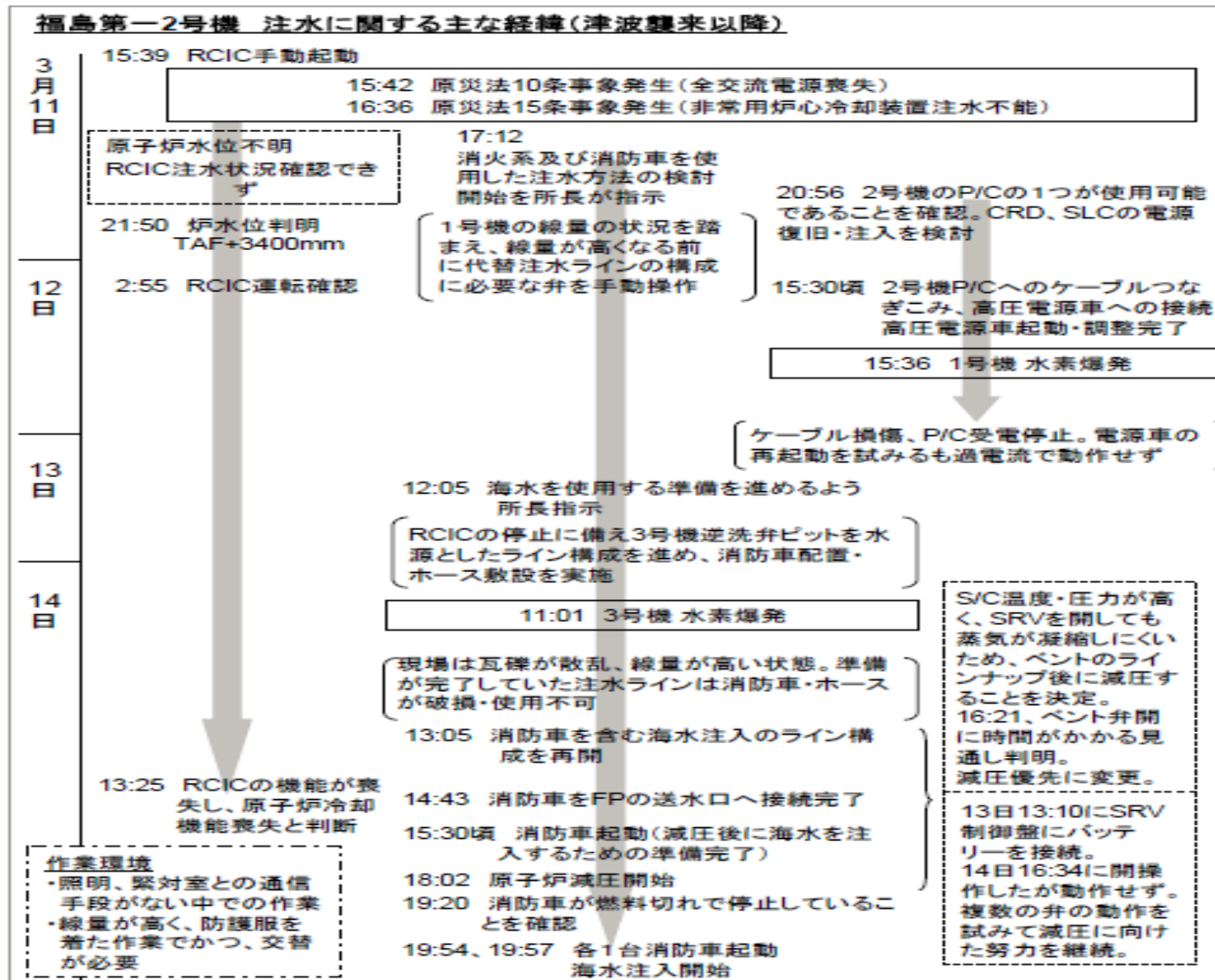
# ① 2号機のプラント挙動

# BWR 4の設備構成



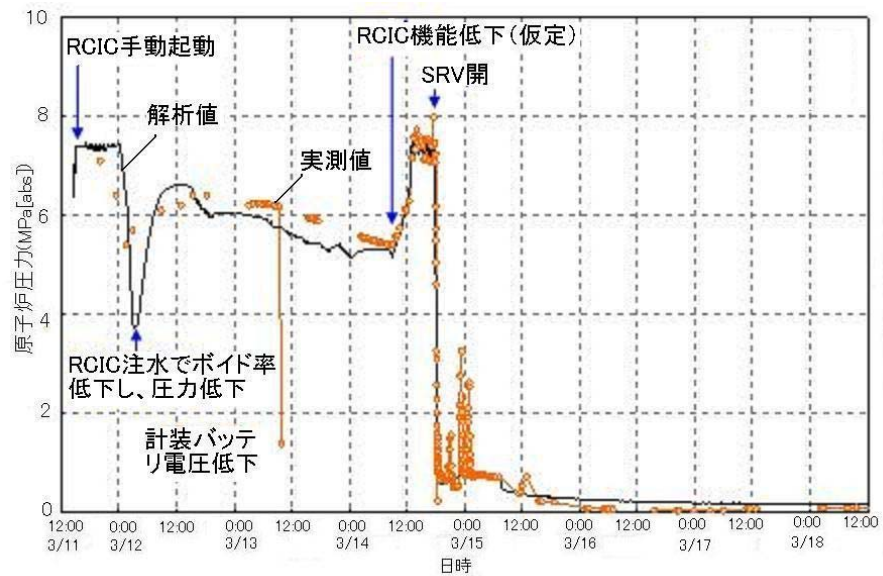
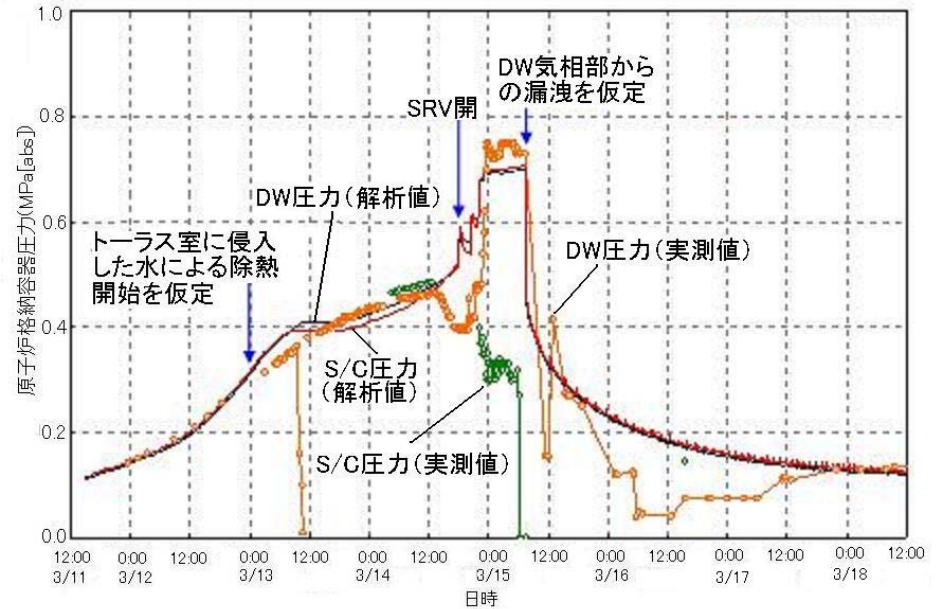
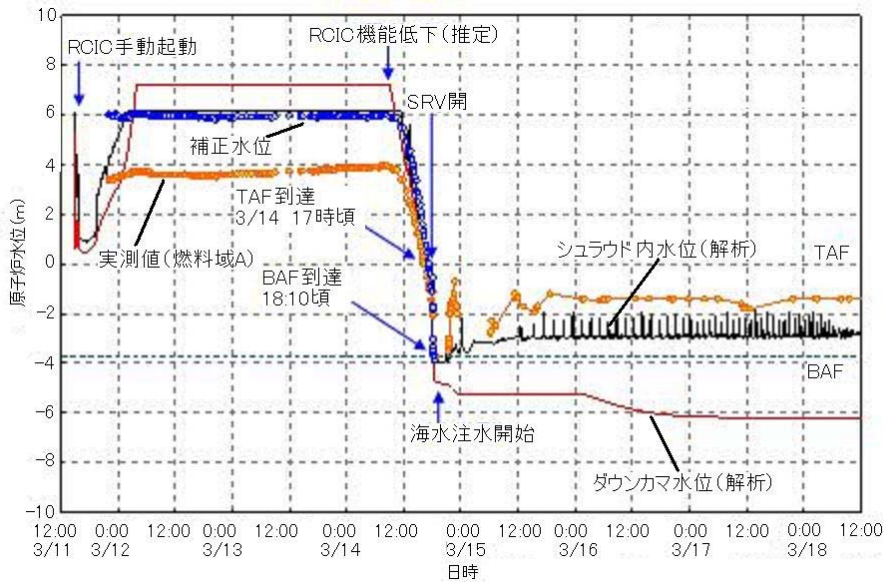
福島第一原子力発電所2～5号炉の設備構成の概要

## 2号機の注水の経緯



# 2号機の炉心の状態 (1 / 2)

①2号機

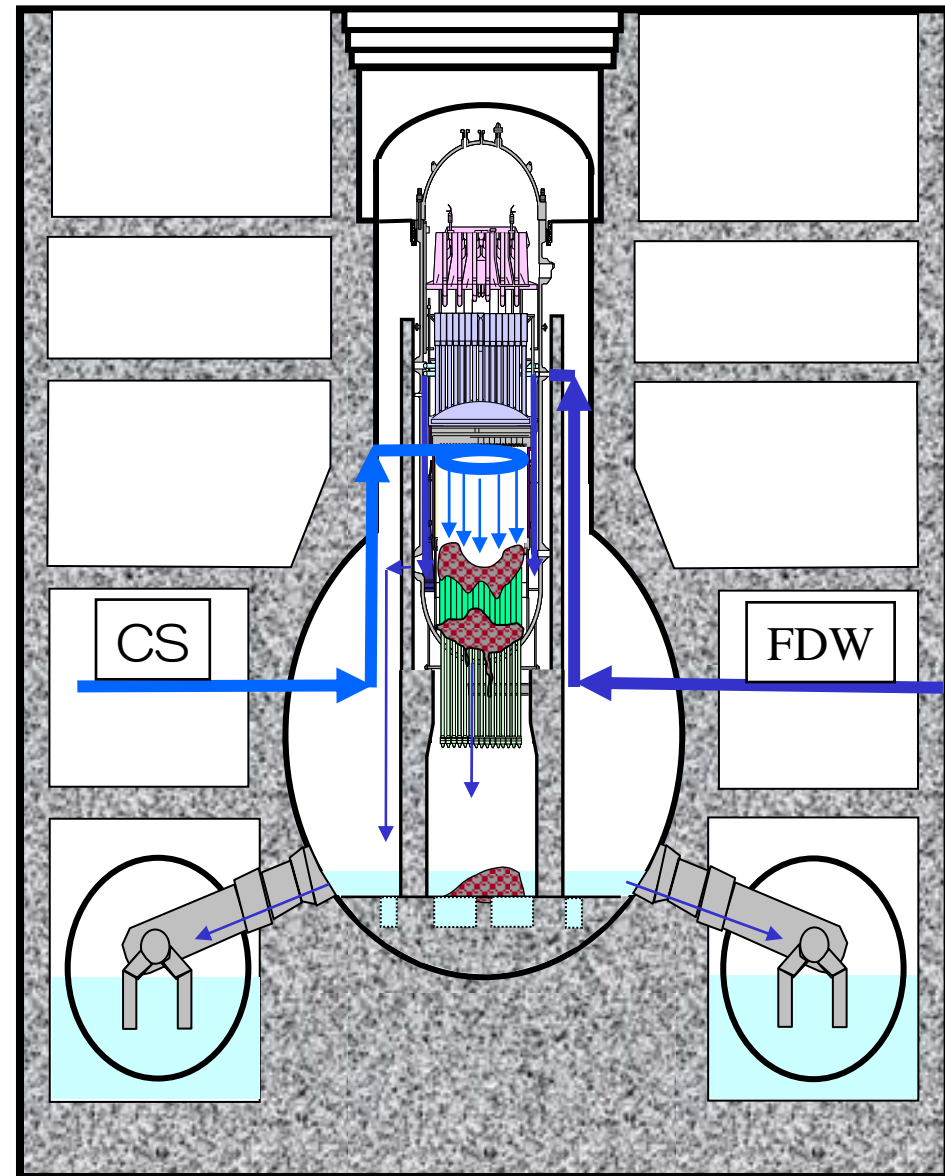


- 津波による全電源喪失  
⇒プラント状態の把握不能
- RCICが電源無しで約3日注水  
(二相流駆動で崩壊熱バランス)
- RCIC停止後、SR弁開で原子炉減圧・水位低下  
(3号爆発の影響でSR弁動作不安定)
- 消防車による注水が十分ではなく炉心損傷
- DW圧力が低めに推移したのは、トラス室に水が進入したものと推定
- 3号機爆発の影響で格納容器ベント成功せず

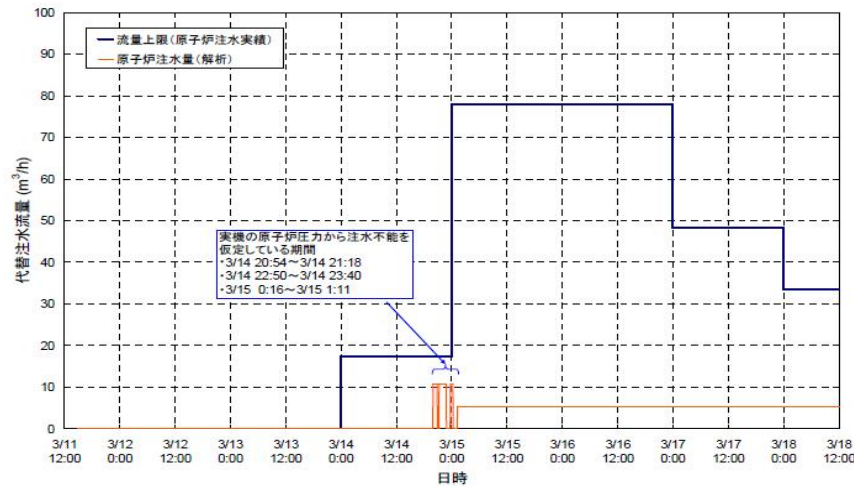
## 2号機の炉心の状態（2/2）

①2号機

- 燃料は損傷したものの、多量の燃料が格納容器の底部に落下するような圧力容器の大きな損傷は生じていないと推定。  
【水位計指示値による推定】  
【注水実績に基づく熱バランスによる推定】  
【温度計指示値による評価】 等
- 評価結果は、「地震発生前に燃料があった位置にほぼ残っている状況」から「損傷燃料の一部が格納容器底部に滴下」まで推定の幅がある。  
【MAAPによる解析】
- 現在、連続的に注水実施中であり、格納容器内の各箇所温度は100℃以下で安定。
- よって、いずれに移動した燃料も注水により概ね水に接する状態で冷却されているものと評価。



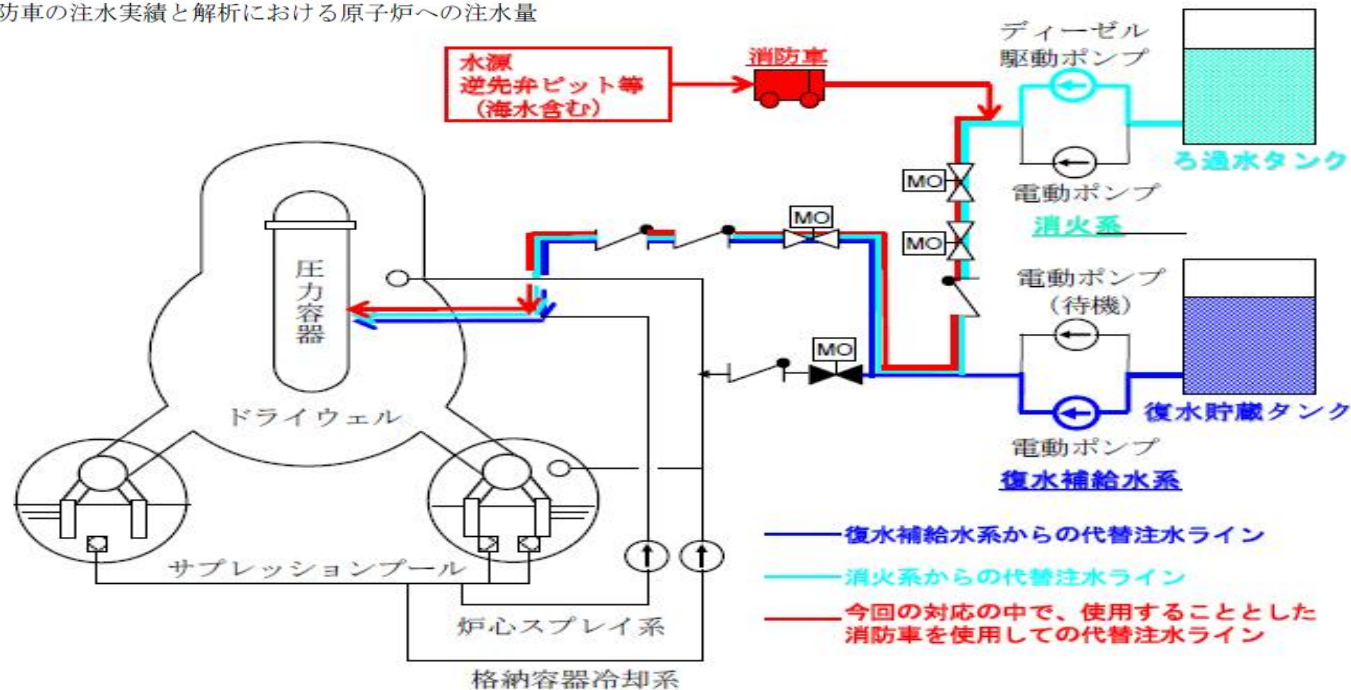
# 2号機における消防車による注水



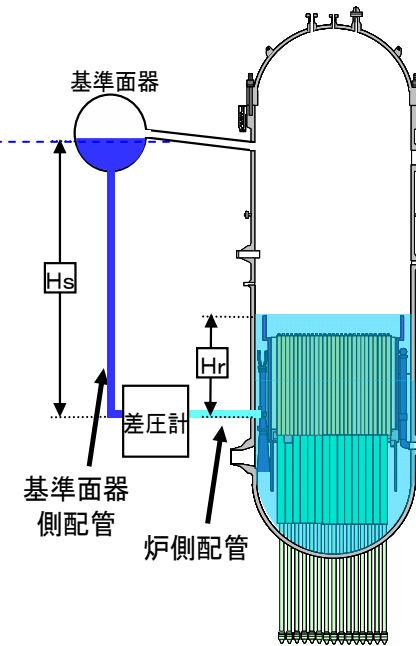
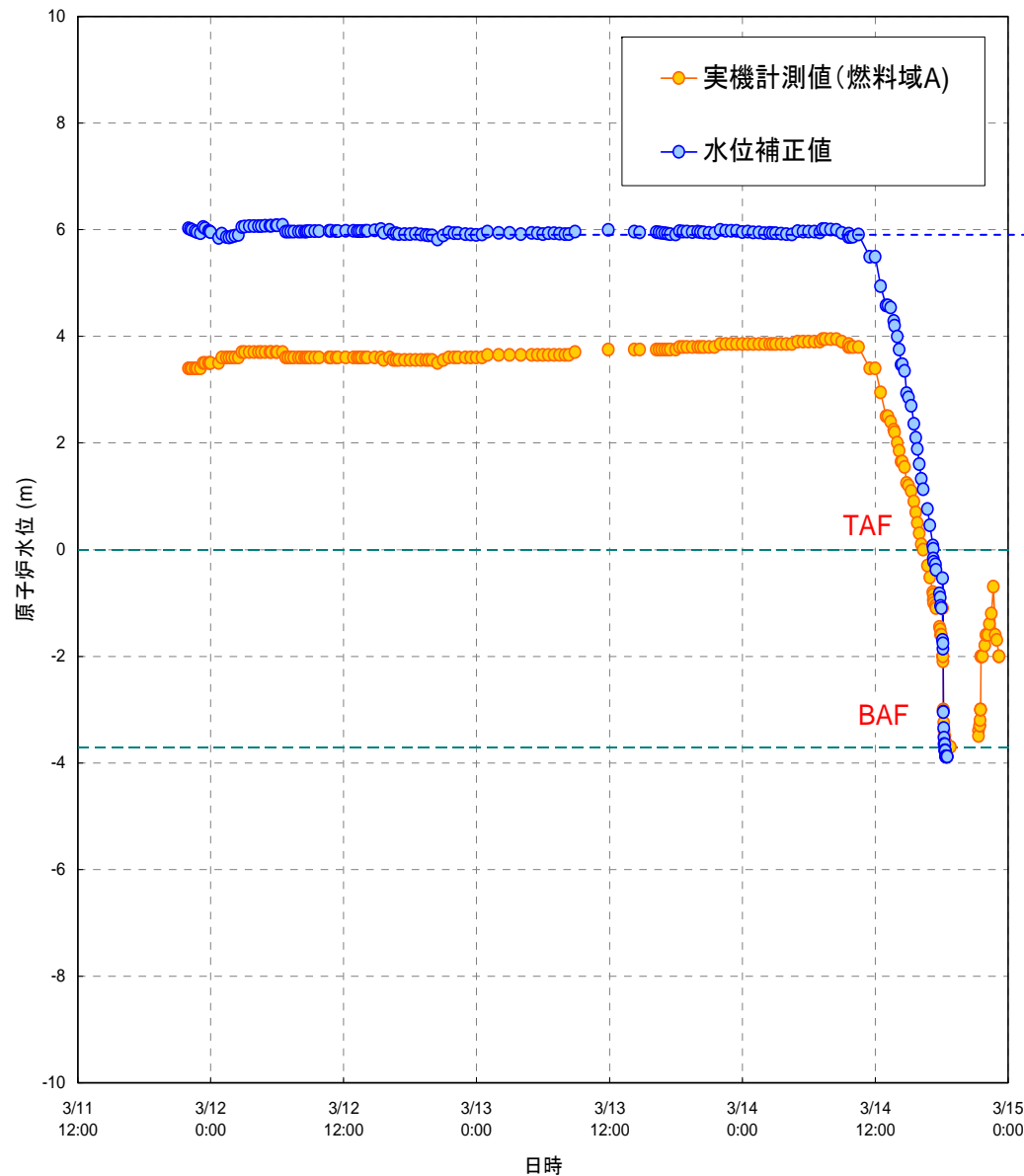
## 【条件設定】

- 操作実績に基づく平均注水流量内
- 原子炉圧力が吐出圧約1MPa(gage)を越えた時点で注水ゼロと模擬

消防車の注水実績と解析における原子炉への注水量



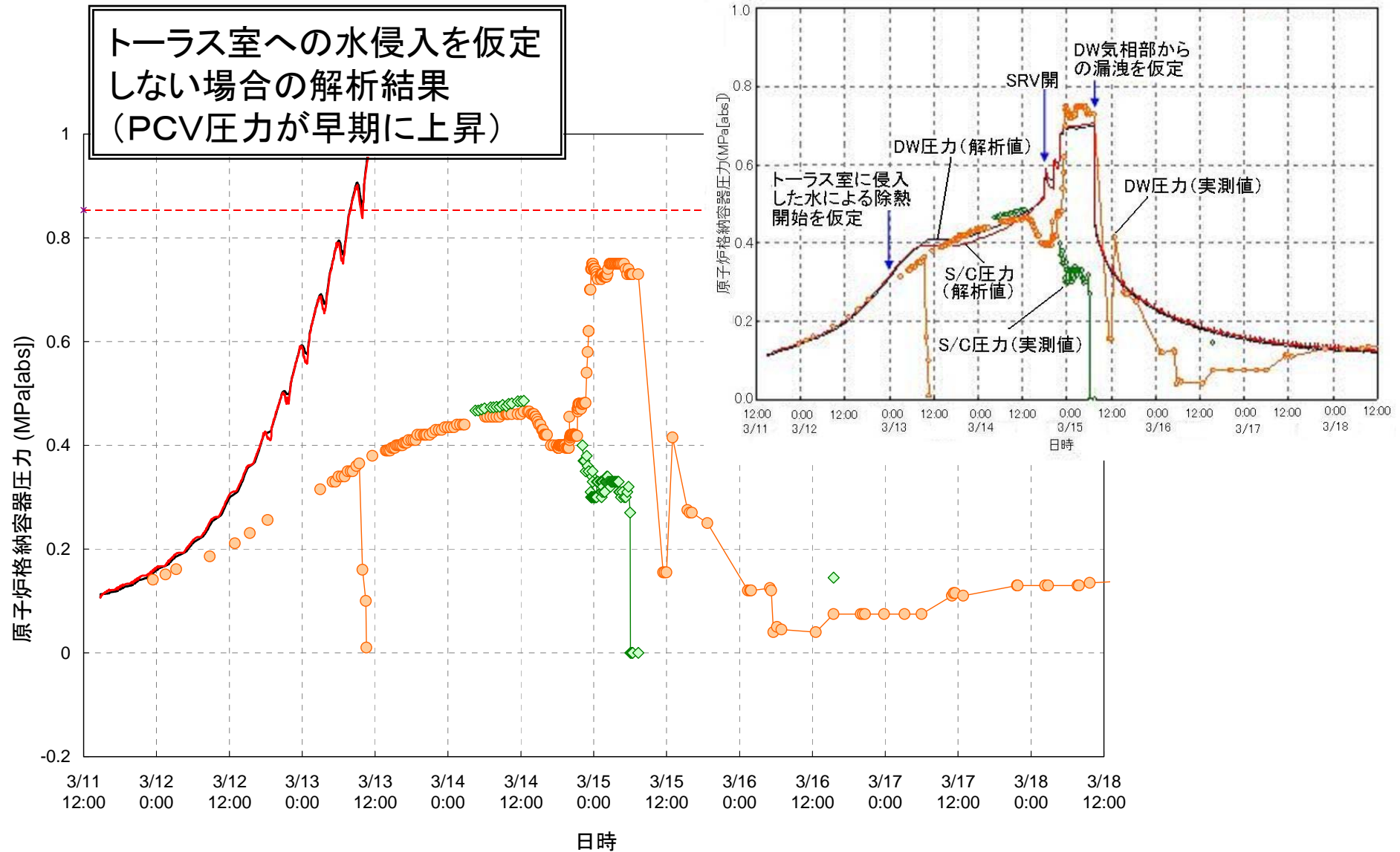
## 2号機のRCICの運転状態



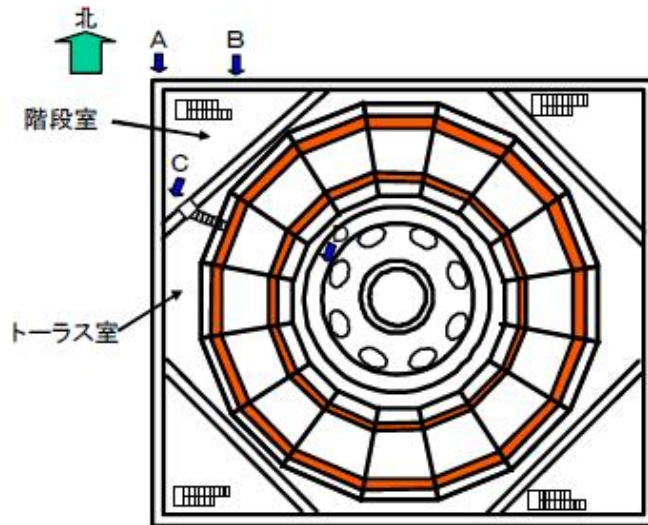
- 燃料域水位計は大気圧(飽和)で校正  
(校正が必要であることは手順書に)
- 補正水位は、基準面器水面と一致
- 実際の水位はより高い位置にあった  
可能性が高く、RCICタービンへ  
二相流が流れ込む状態と推定



## 2号機格納容器圧力の変化

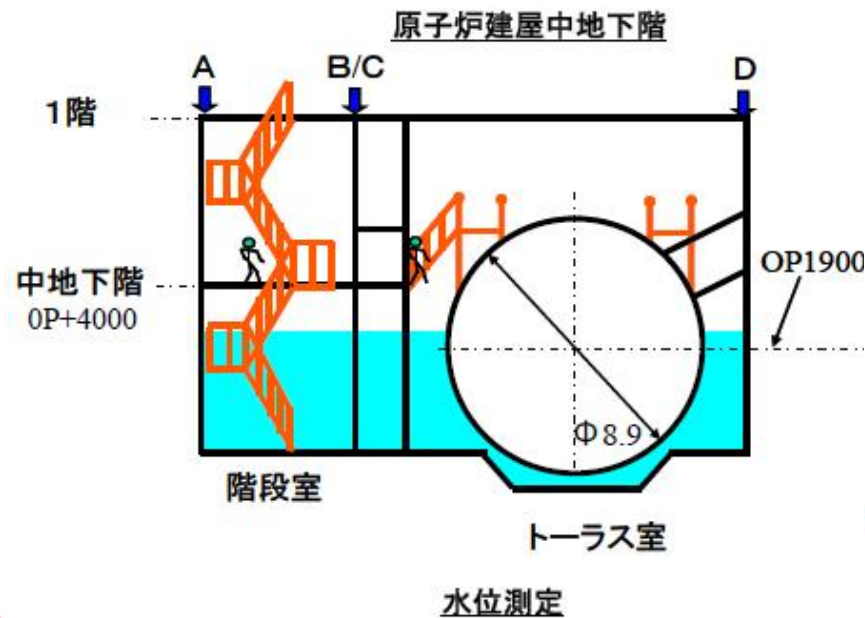


## 2号機格納容器トラス室の状態

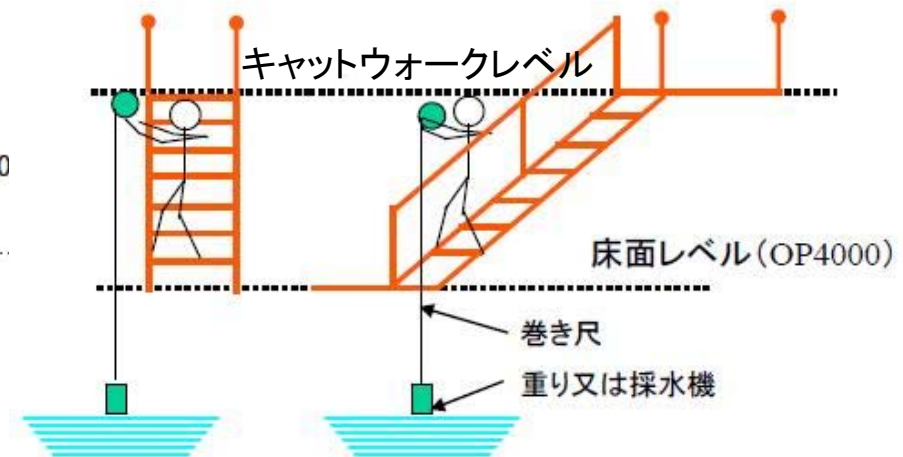


S/Cに移行した熱が、S/Cの壁を介してトラス室に浸水した水に与えられるという熱伝達経路を仮定。

2号機のトラス室の現状の水位はOP3270と確認。

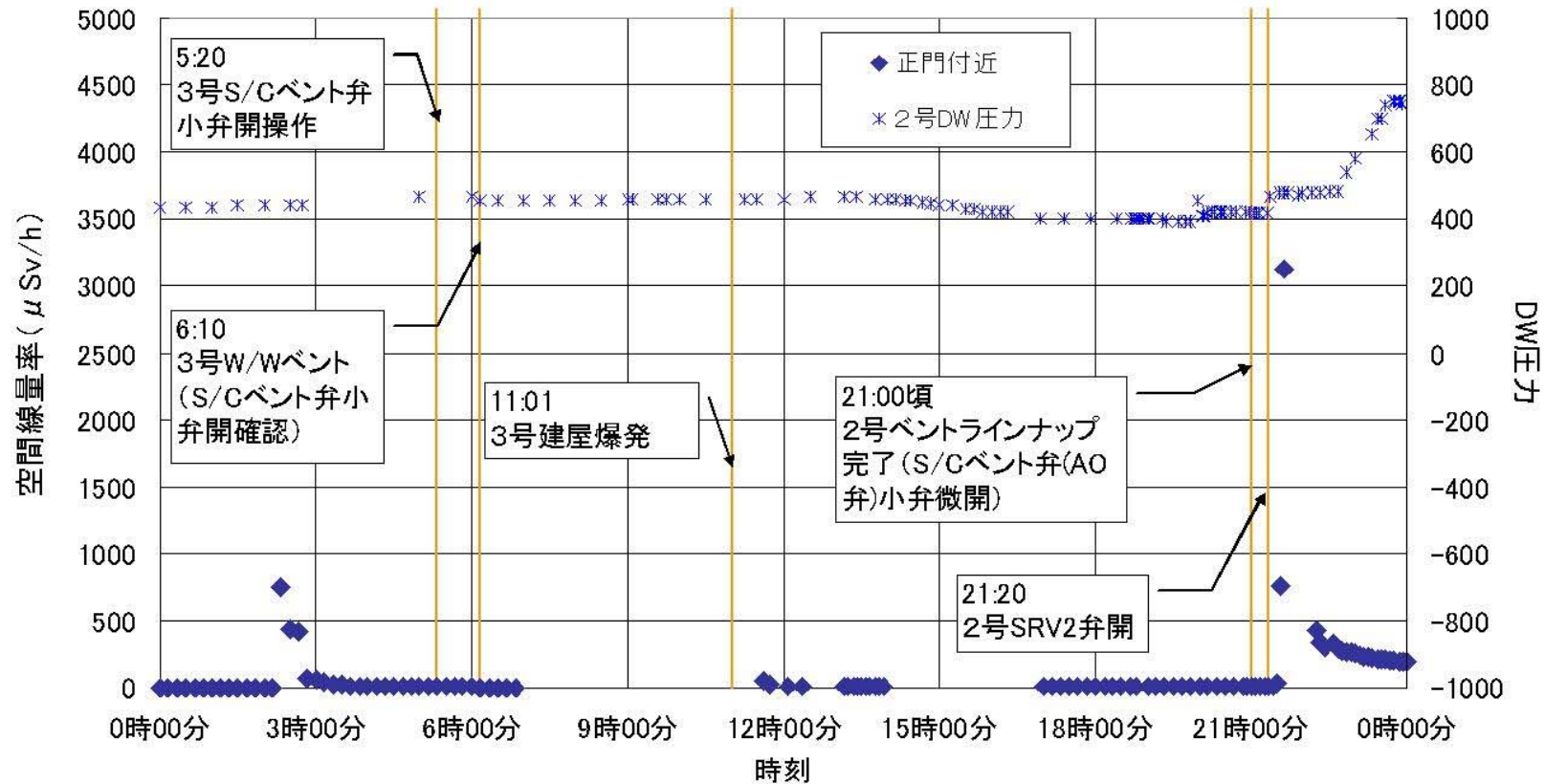


トラス室からの水位測定および採水方法



# 2号機における格納容器ベント

①2号機



## 【3/14 21時頃のS/C小弁開放】

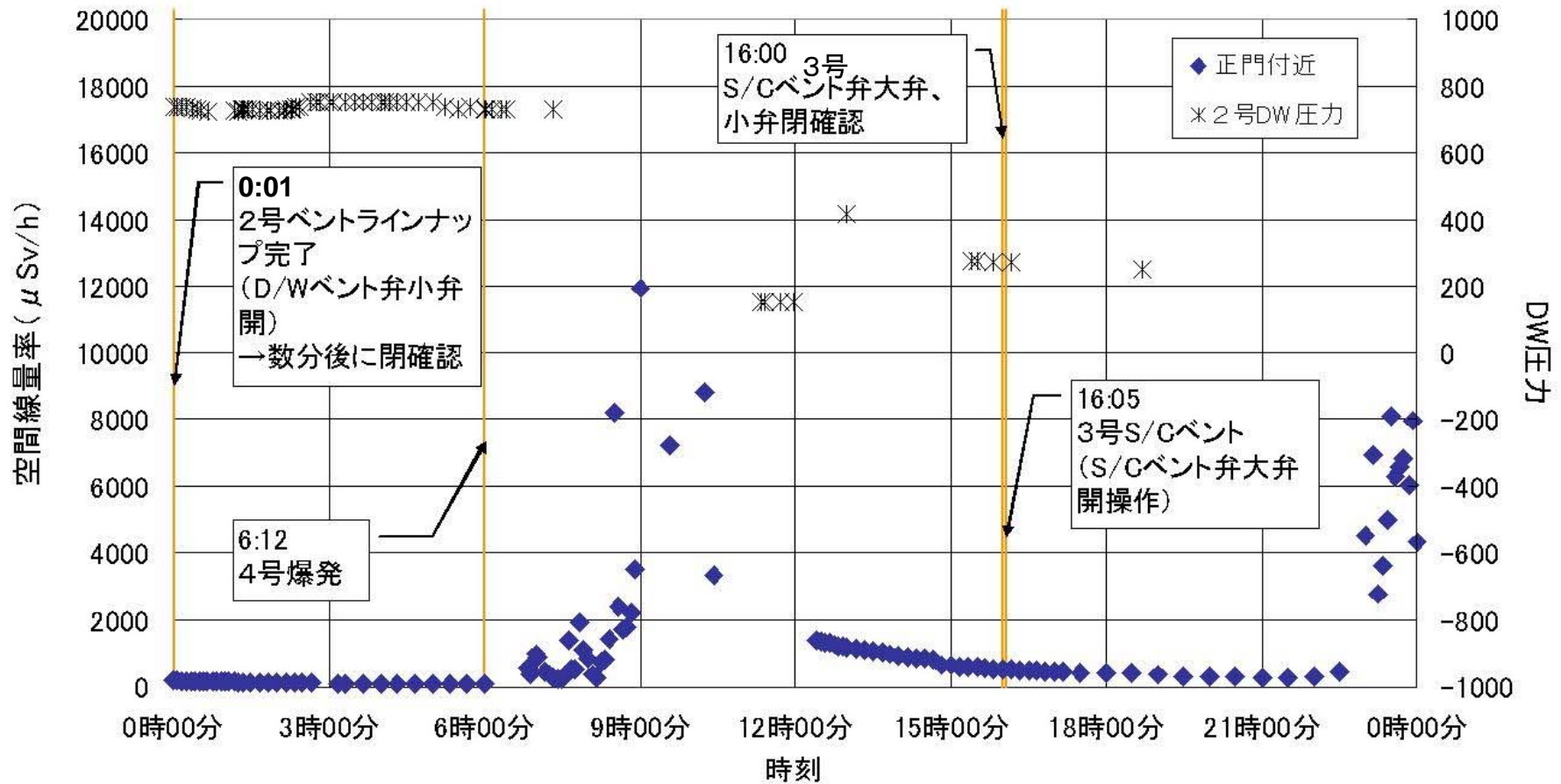
- D/W圧力低下せず
- 21:20のSR弁開操作でD/W圧力が上昇
- DW圧力は低下せずも、正門モニタ上昇
- 大きな汚染は生じていない

## 【3/15 0:01のD/W小弁開放】

- 数分後に弁閉であることを確認
- D/W圧力低下せず
- 正門モニタ反応せず

# 2号機における格納容器圧力低下

①2号機



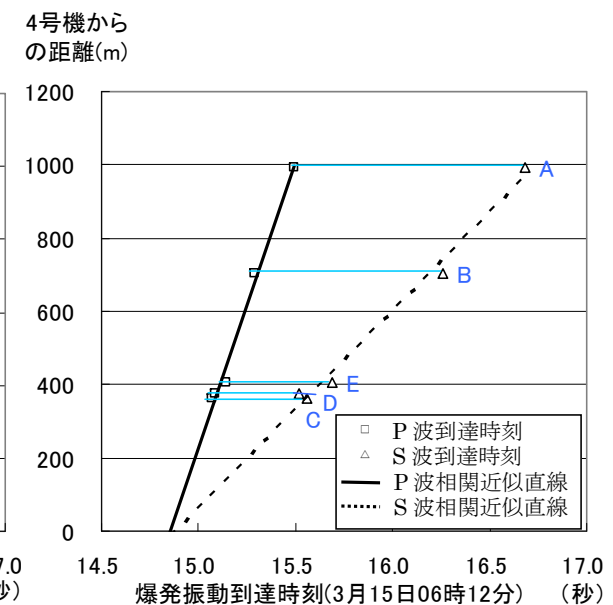
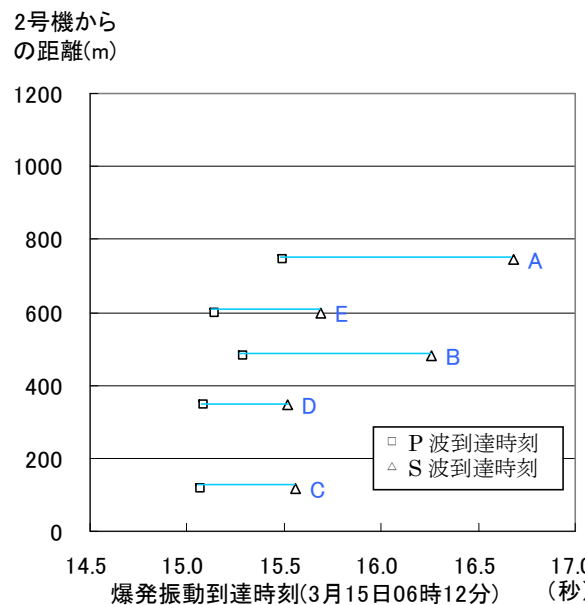
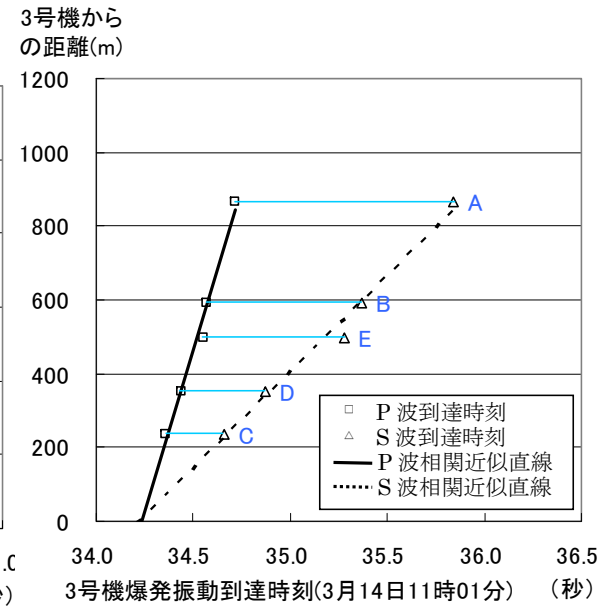
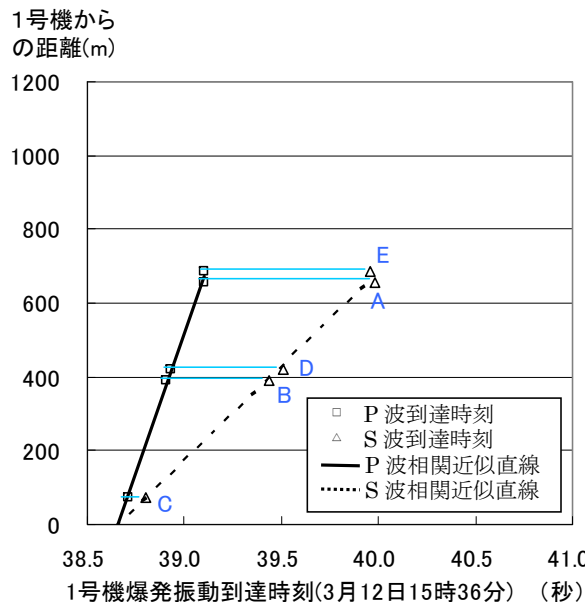
- 2号機DW圧力が3月15日7時頃から11時頃までの間に減少
- 3月15日10時頃には2号機付近から大量の蒸気放出
- 同じ頃、正門付近の線量が急上昇

# 仮設地震計による水素爆発発生位置の考察

①2号機

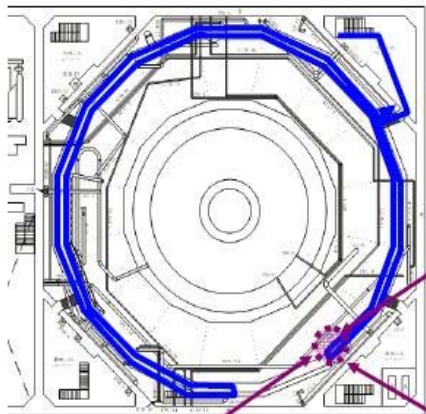
- 爆発に伴うP波及びS波の各観測点への到達時間差を評価。
- 1, 3号機の爆発では、距離と時刻との相関有り。
- 一方、3月15日の6時12分に観測された爆発波は、距離と時刻の相関から、4号機で発生したものと推定(2号機は距離と時刻に相関なし)。

注) グラフ中のA~Eは、仮設地震計の観測地点。



# 2号機サプレッションチェンバー(S/C)の状態

①2号機



PCV方向



南東S/Cマンホール上方



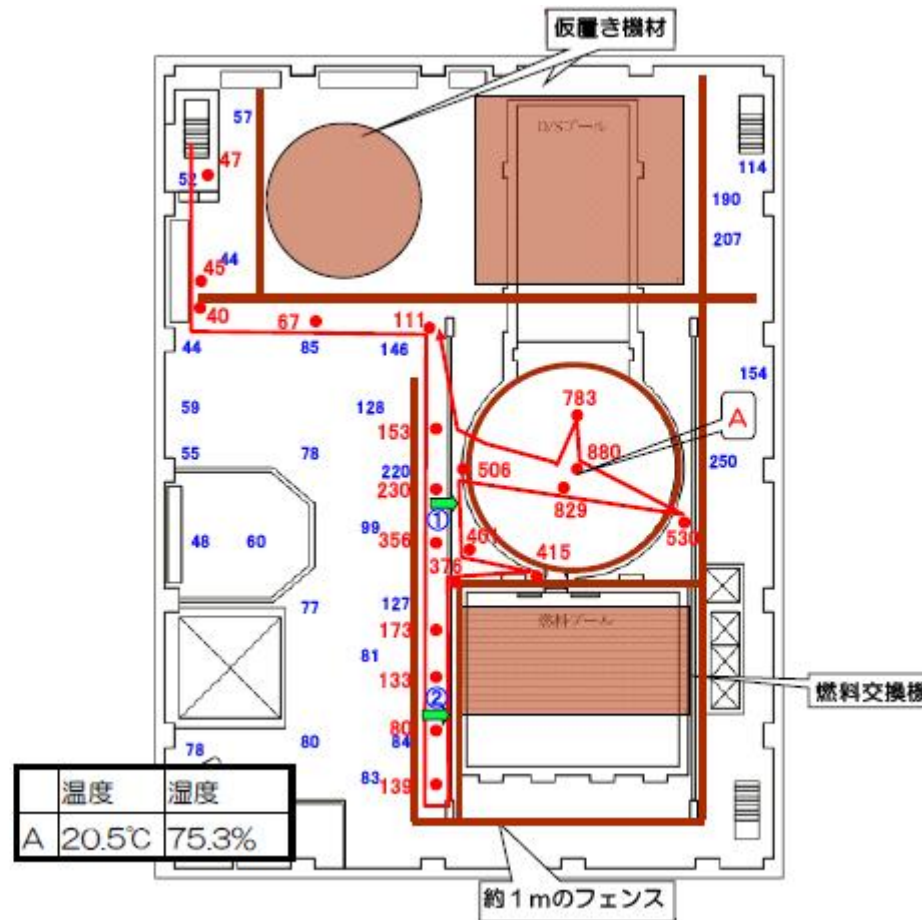
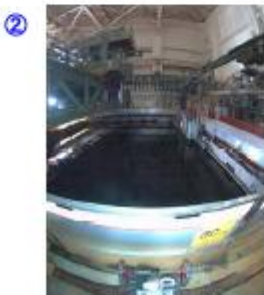
南東S/Cマンホール

○外観上S/Cの損傷は見られない(爆発の形跡なし)

○マンホールからの漏洩も確認されず

## 2号機原子炉建屋オペフロの線量測定結果

【凡例】  
2月27日までに測定した  
雰囲気線量率  
6月13日測定  
単位：mSv/h



○他のフロア  
に比べて、全  
体的に数十か  
ら数百mSv/h  
と高い線量

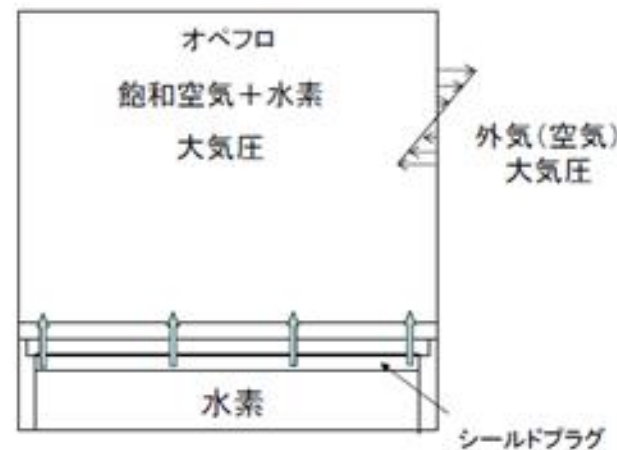
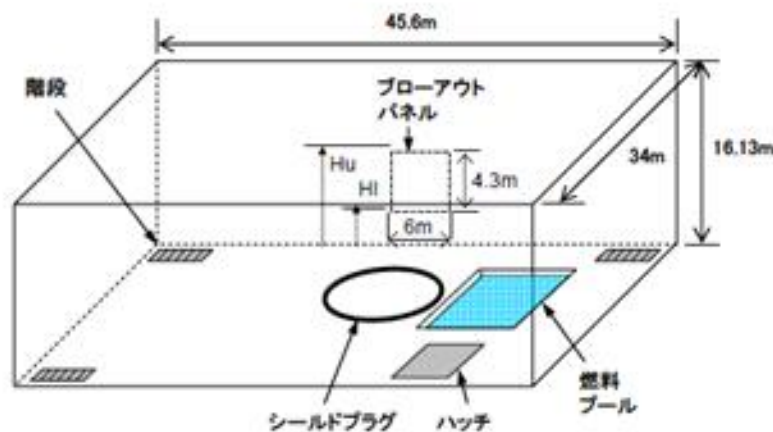
○シールドプ  
ラグ上で最大  
880mSv/h

⇒漏洩パスの  
可能性

# 2号機では水素爆発せず



- 1号機の爆発の影響で、2号機のブローアウトパネル(BOP)が開放
- 1, 3号と同様に2号機も炉心損傷し、相当量の水素が格納容器内に蓄積
- 3月15日午前にDW圧力が大きく低下し、水素を含むガスが原子炉建屋に放出
- BOPから水素を含むガスが放出され、原子炉建屋内の水素濃度が高くなり、爆発しなかったと推定



## BOP換気モデル

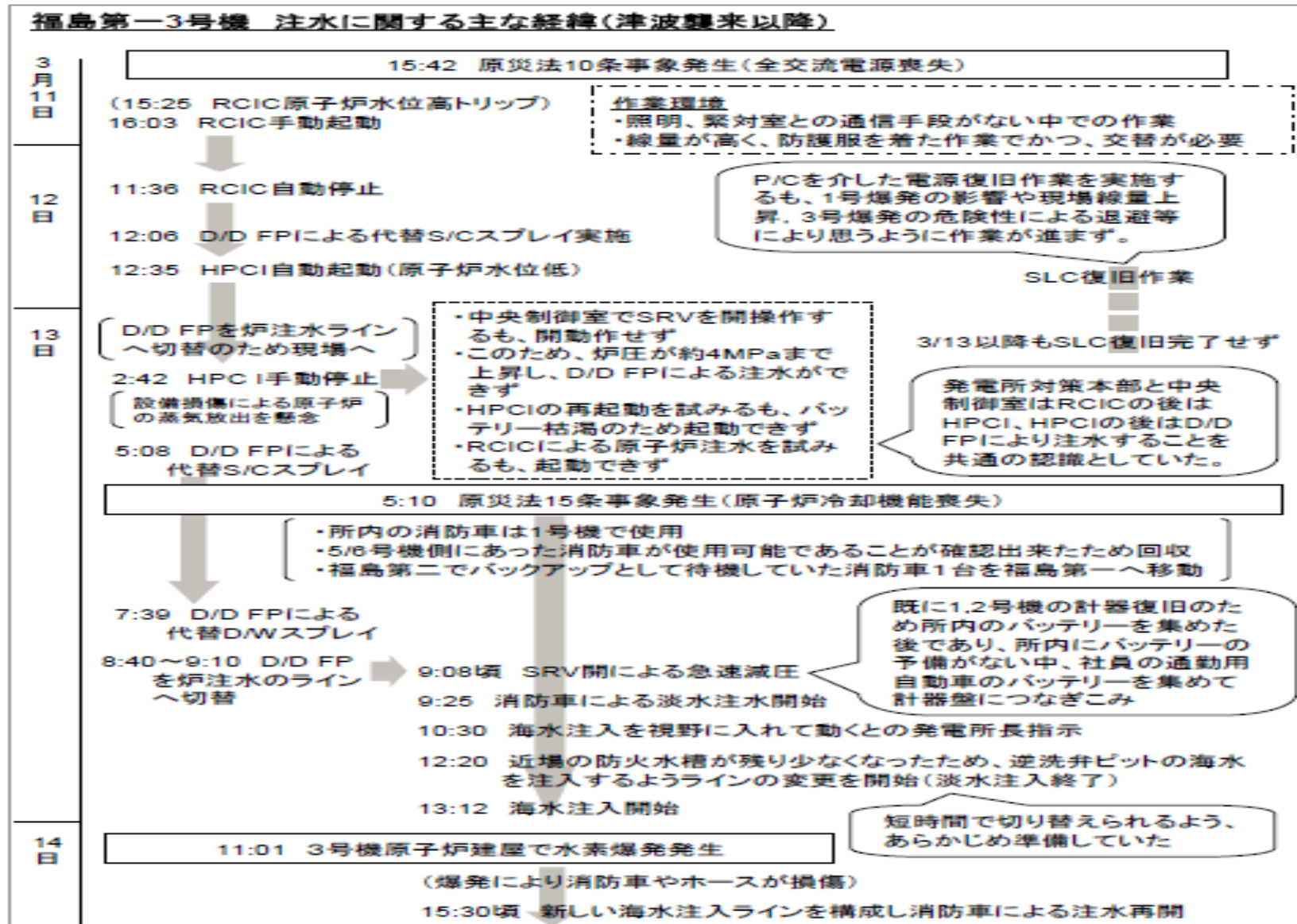
- 建屋内高温ガスがBOP上部から流出
- 低温外気がBOP下部から流入



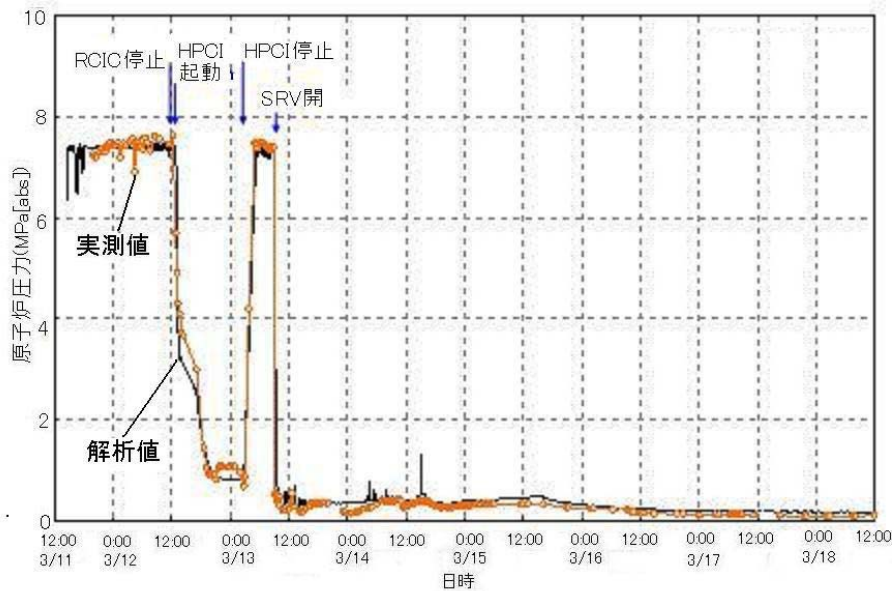
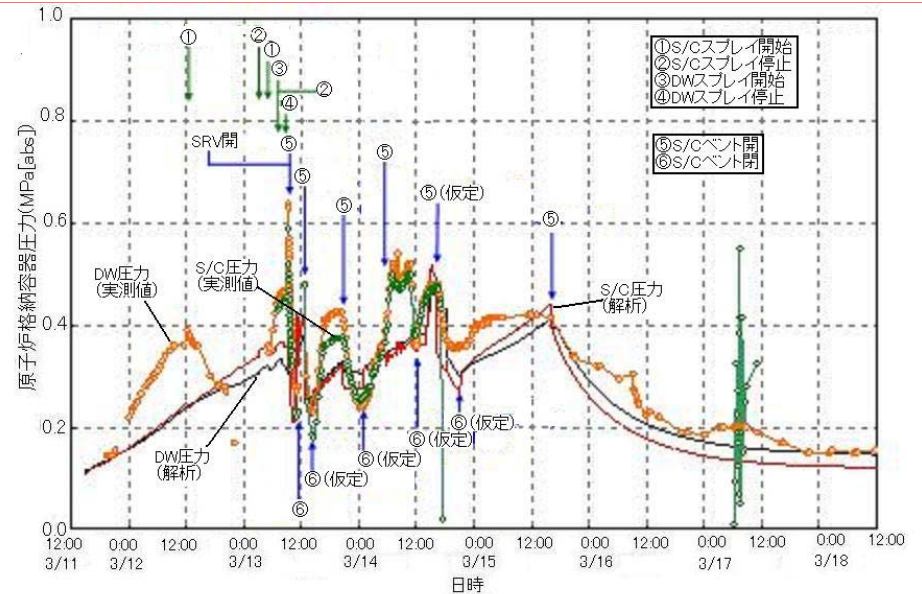
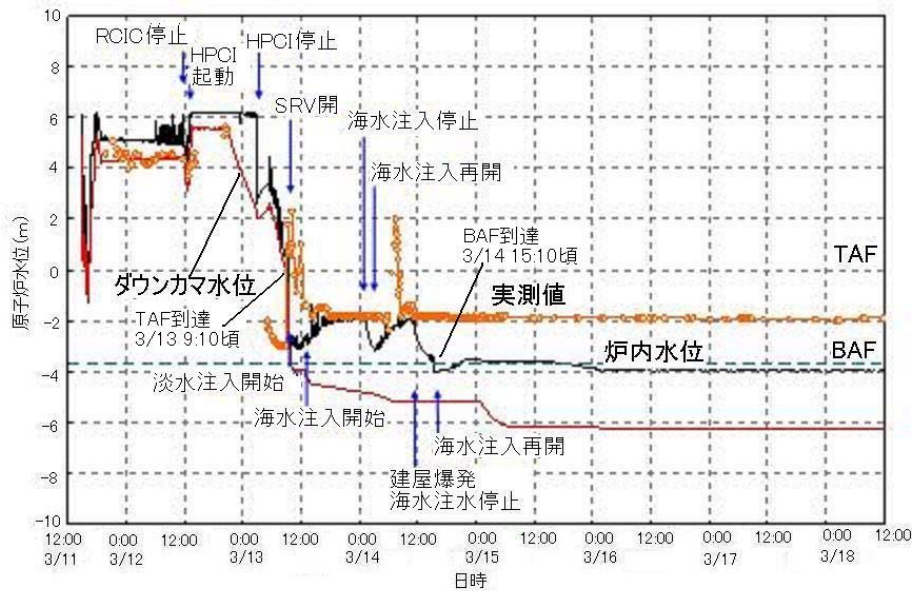
---

## ② 3号機のプラント挙動

# 注水の経緯



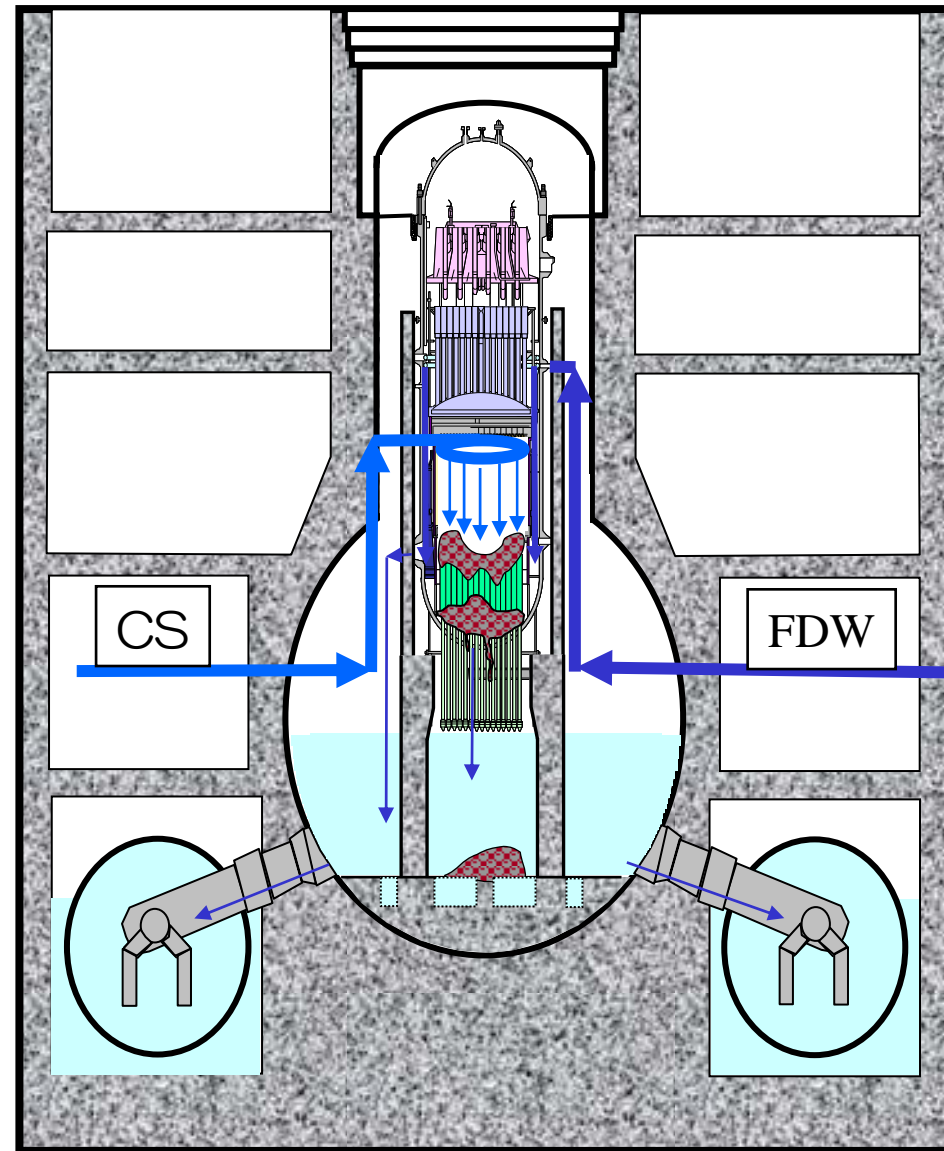
# 3号機の炉心の状態 (1 / 2)



- 津波による全交流電源喪失
- RCIC,HPCIで約2日間注水(直流負荷制限)  
(水位変動を抑制するためのHPCI流量調整に伴い原子炉圧力低下)
- HPCI停止後、SR弁作動で原子炉減圧
- 消防車による注水が十分ではなく炉心損傷
- その後、複数回の格納容器ベント操作

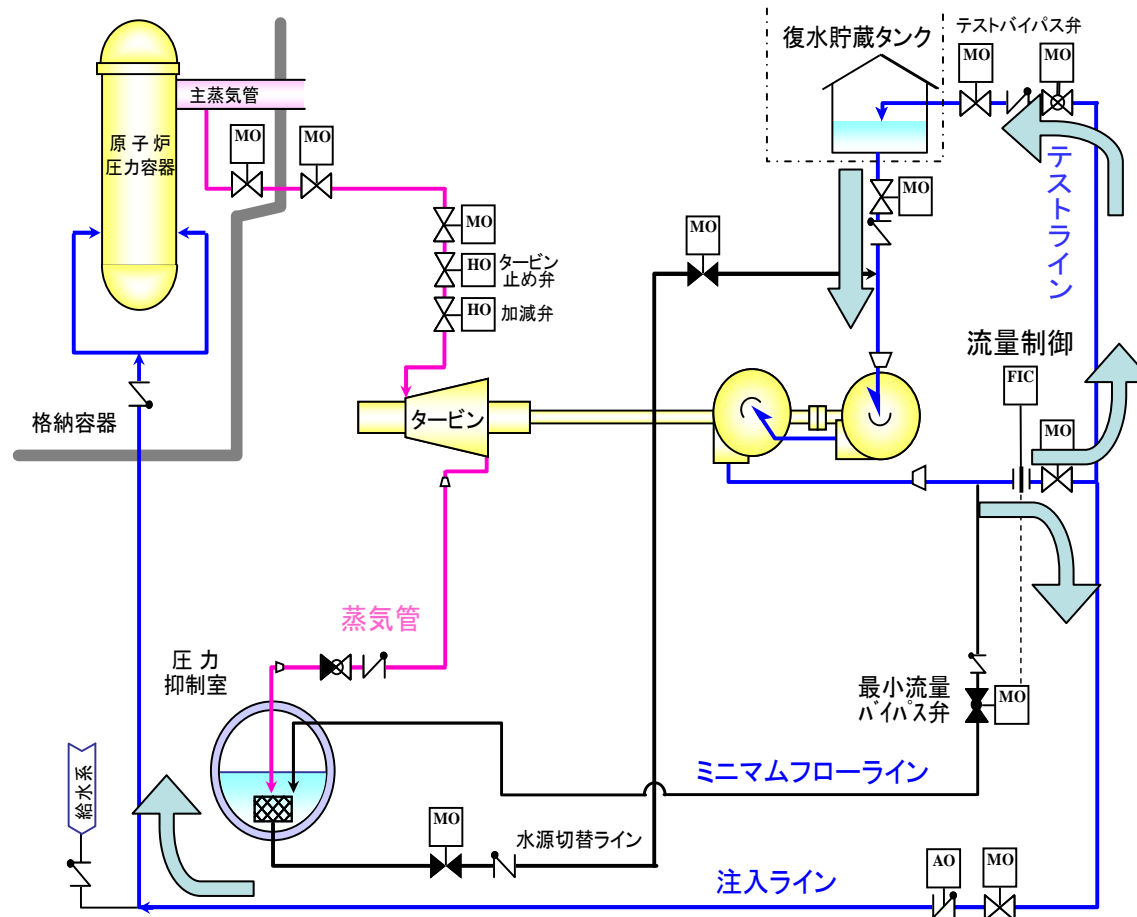
## 3号機の炉心の状態（2 / 2）：2号機と同様

- 燃料は損傷したものの、多量の燃料が格納容器の底部に落下するような圧力容器の大きな損傷は生じていないと推定。  
【水位計指示値による推定】  
【注水実績に基づく熱バランスによる推定】  
【温度計指示値による評価】 等
- 評価結果は、「地震発生前に燃料があった位置にほぼ残っている状況」から「損傷燃料の一部が格納容器底部に滴下」まで推定の幅がある。  
【MAAPによる解析】
- 現在、連続的に注水実施中であり、格納容器内の各箇所温度は100℃以下で安定。
- よって、いずれに移動した燃料も注水により概ね水に接する状態で冷却されているものと評価。



# HPCIの運転状態(1/2):運転員の操作

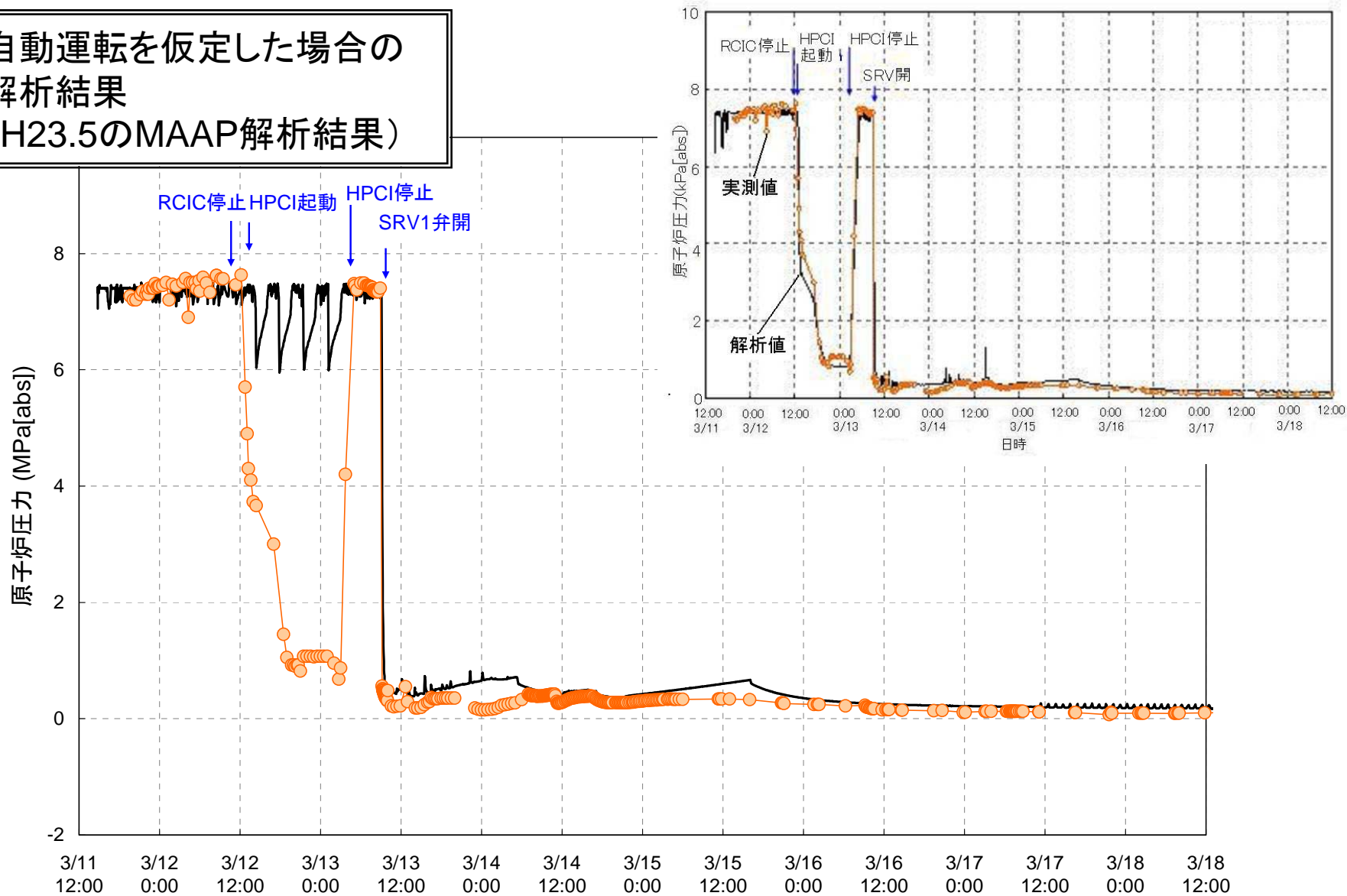
- HPCIテストラインを活用して、原子炉水位を調整
- S/C水位の上昇を懸念し、ミニмумフローラインを全閉
- 同時期にディーゼル駆動の消火ポンプによるS/Cへのスプレイ実施



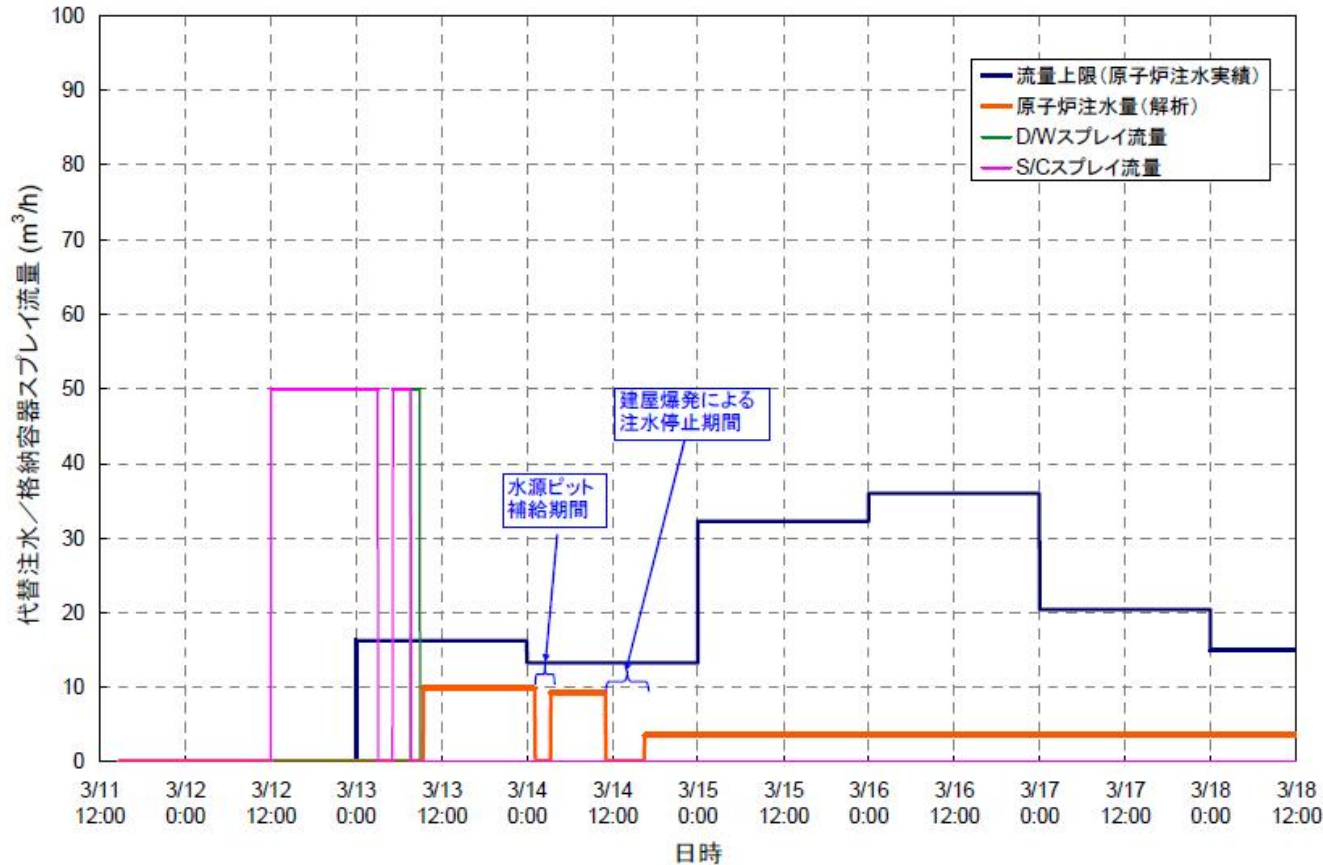
# HPCIの運転状態 (2 / 2) : MAAP解析

②3号機

自動運転を仮定した場合の  
解析結果  
(H23.5のMAAP解析結果)



# 消防車による注水



消防車の注水実績と解析における原子炉への注水量/格納容器スプレイ流量

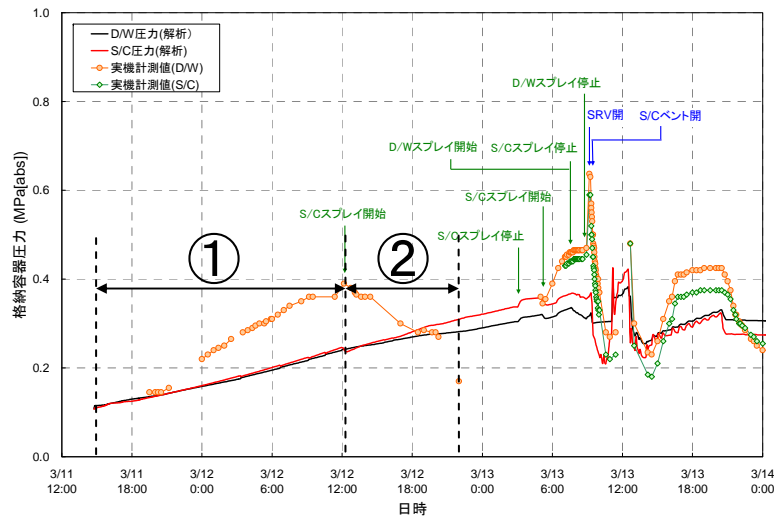
## 【条件設定】

○操作実績に基づく平均注水流量内

○水源補給等による注水中断を模擬

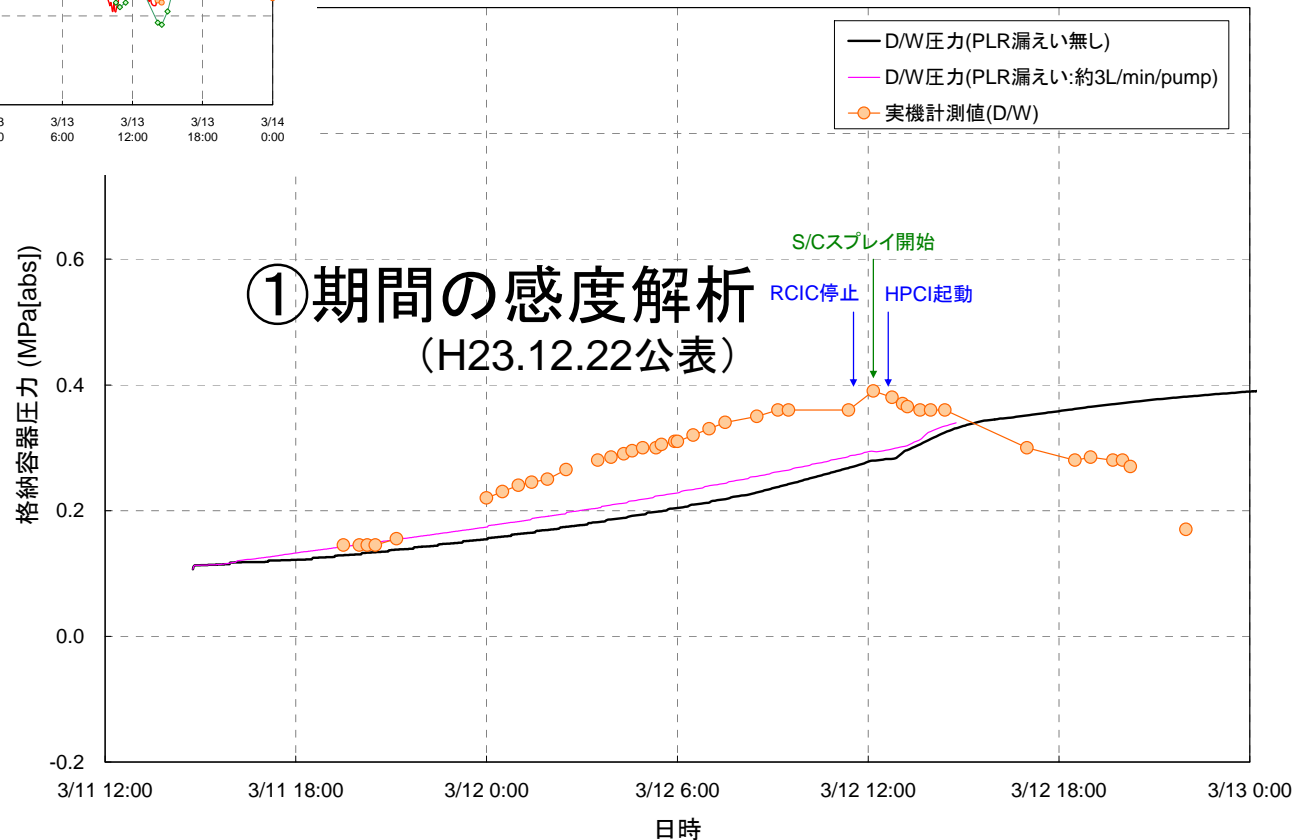
○格納容器スプレイは、DD-FPによる

# 格納容器圧力の再現解析



OCRDポンプからのシール水喪失に伴う炉水の漏洩を仮定

ODW圧力は若干増加するものの再現はできず

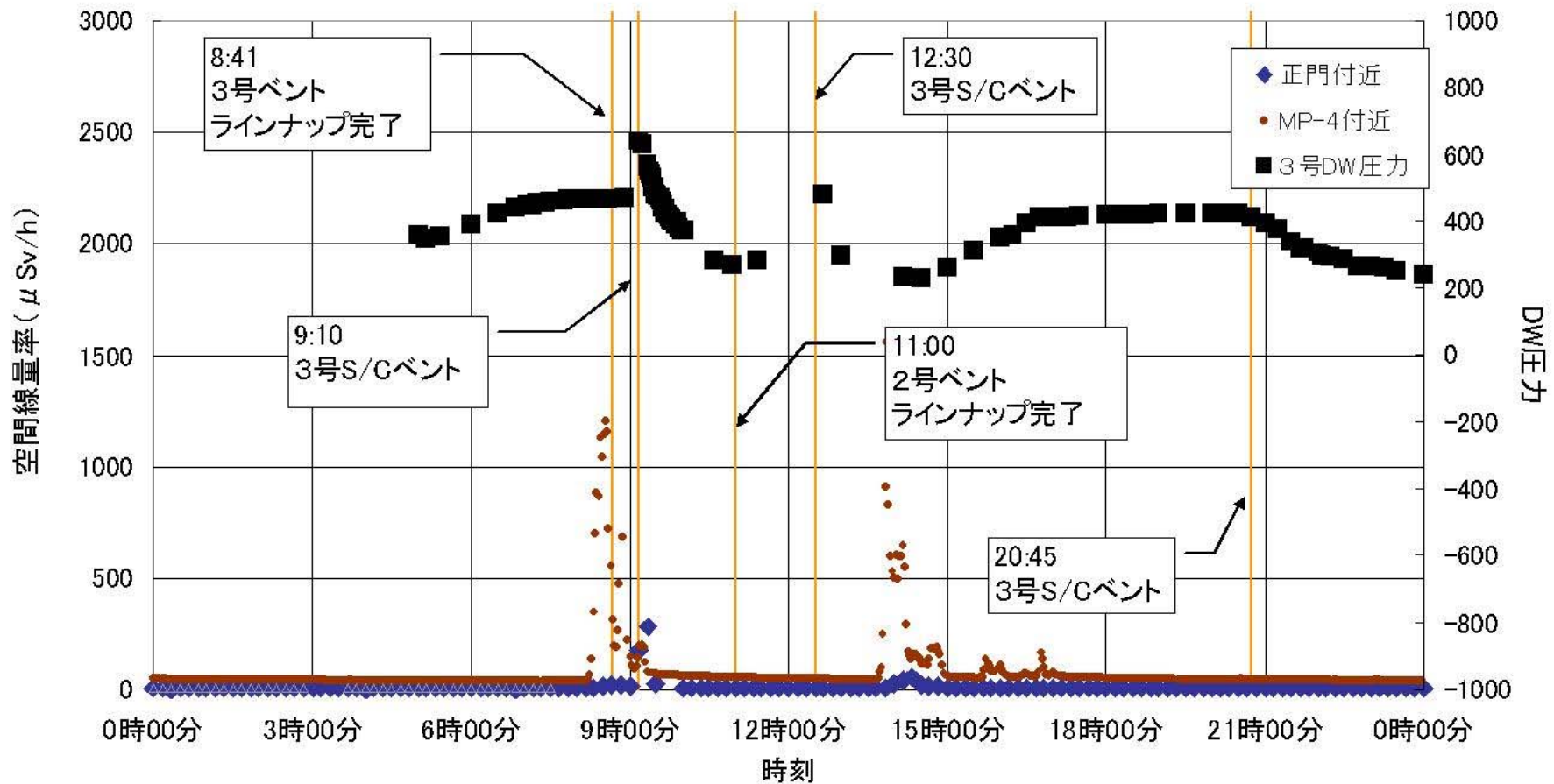


①期間の感度解析  
(H23.12.22公表)



# 3号機における格納容器ベント

②3号機



## 【3/13 9時頃のS/C大弁開放】

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

## 【3/13 12時過ぎのS/C大弁開放】

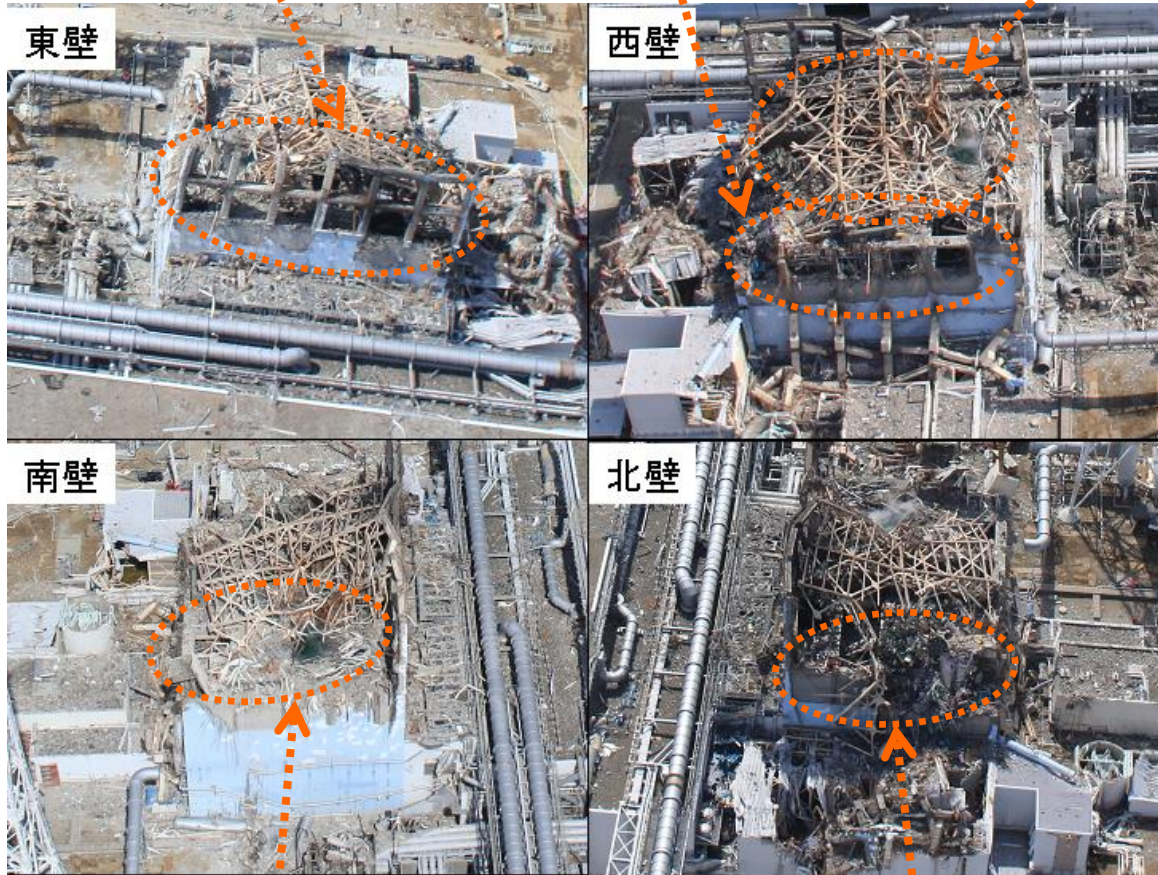
- OD/W圧力低下
- 正門モニター反応せず
- 大きな汚染は生じていない
- 以降のベント操作でも同様の傾向

# 3号機における水素爆発（1 / 2）

柱を残し5階の壁が全面で損傷、4階は表面剥離

5階は全面、4階は南側壁と柱以外損傷

天井は大きく損傷



5階のほぼ全面で損傷、4階は主に表面剥離

5階全面、4階の西側で大きな損傷

○原子炉建屋5階(オペフロ)の壁の全面及び4階部分にも損傷

○鉄筋コンクリート造の壁が広範囲に損傷したことで、黒い煙が生じたと考えられ、大きな爆発力が生じたものと推定

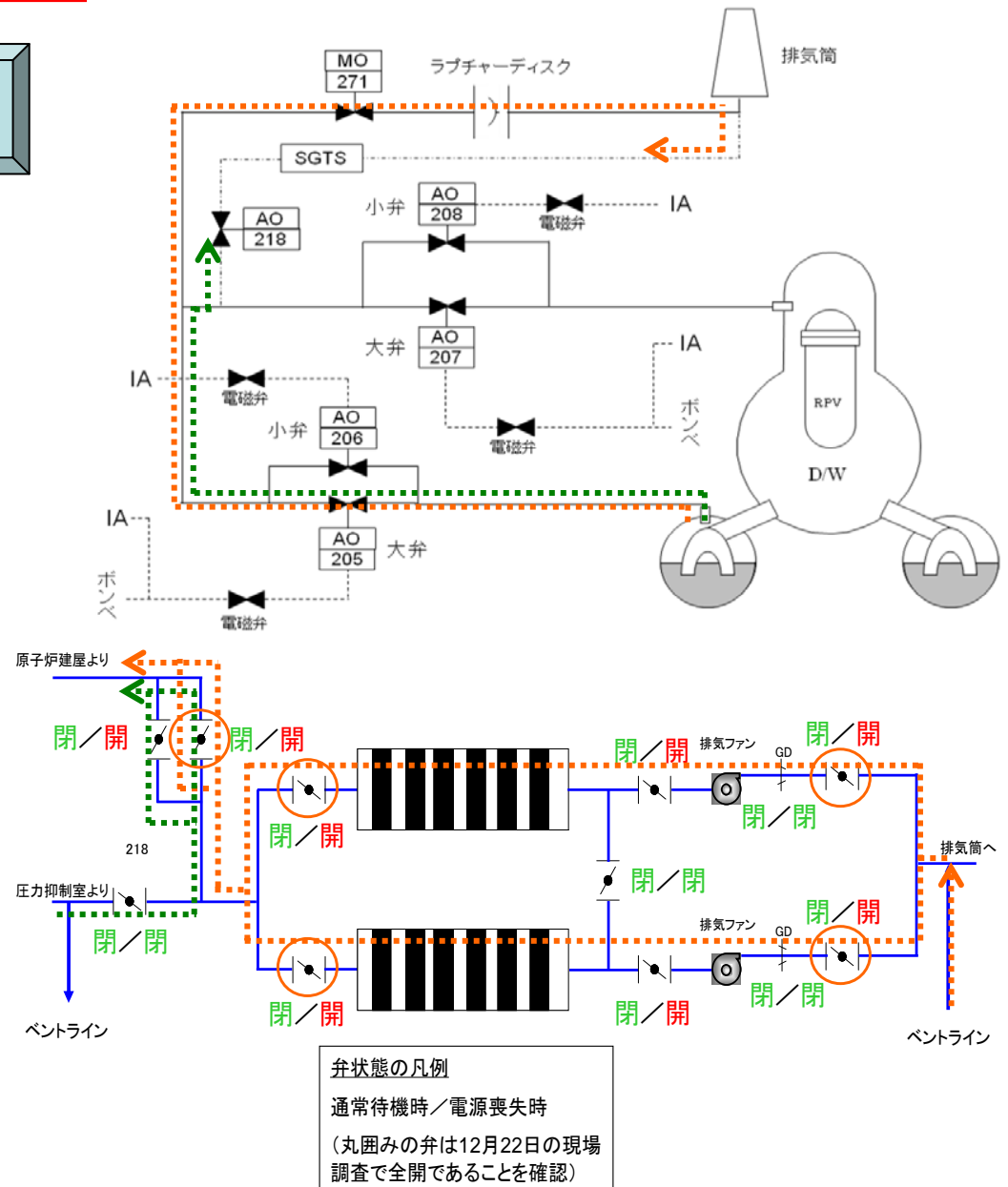
○爆発物質は、炉心損傷時に生じた水-ジルコニウム反応等による水素と推定  
(SFPにおける水の放射線分解で発生し得る水素は少量)

○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)

# 3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
- 出口側はグラビティダンパで逆流防止
- ただし、グラビティダンパで、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
- フィルタレインの線量調査の結果は、高々数mSv/hで大量のFPが通過したとは考えられない

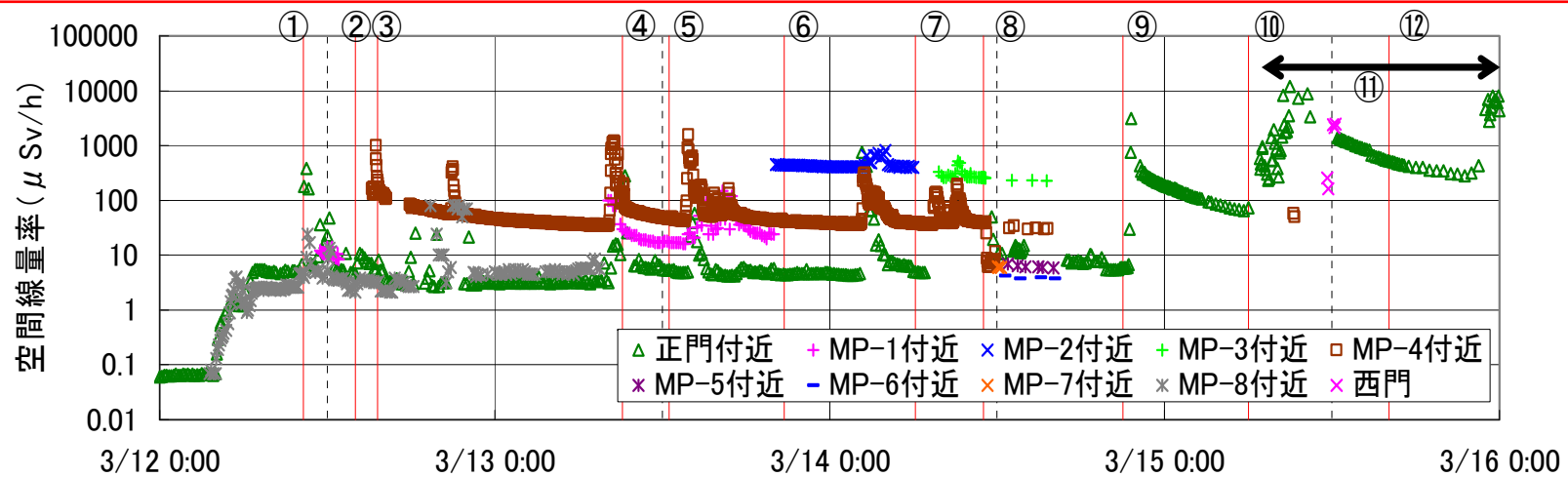


---

# ③大気放出量評価

# モニタリングデータと事象毎の放出量

## ③放出量

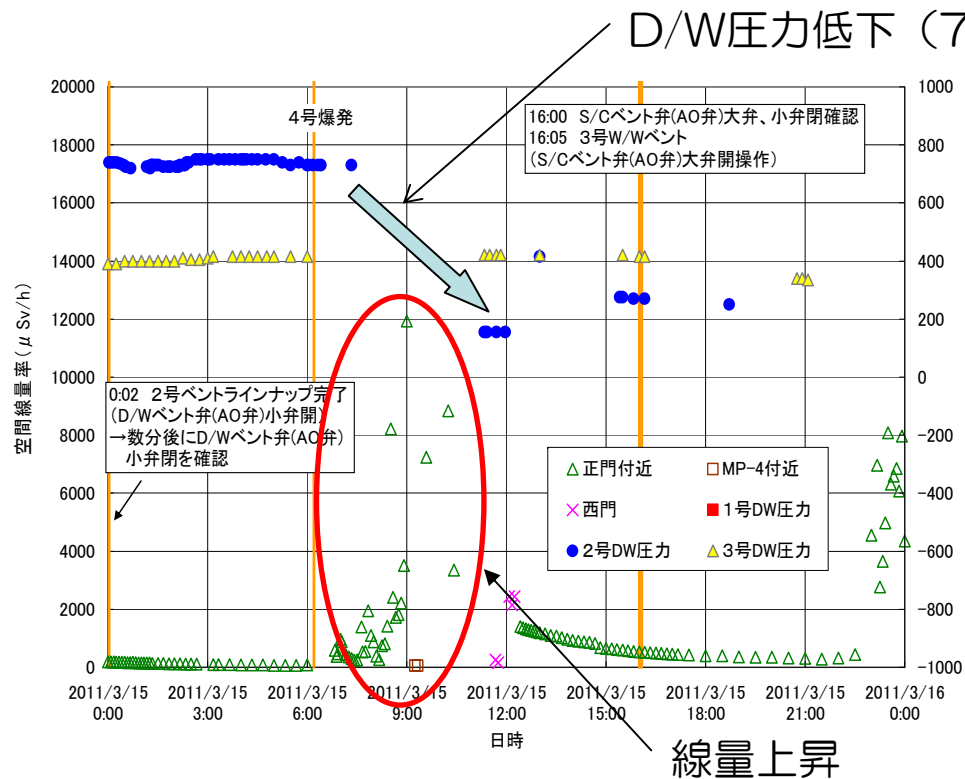


整理番号	日時	号機	事象	放出量(PBq)			
				希ガス	<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
①	3/12 10時過ぎ	1	不明	3	0.5	0.01	0.008
②	3/12 14時過ぎ	1	S/Cベント	4	0.7	0.01	0.01
③	3/12 15:36	1	建屋爆発	10	3	0.05	0.04
④	3/13 9時過ぎ	3	S/Cベント	1	0.3	0.005	0.003
⑤	3/13 12時過ぎ	3	S/Cベント	0~0.04	0~0.009	0~0.0002	0~0.0001
⑥	3/13 20時過ぎ	3	S/Cベント	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
⑦	3/14 6時過ぎ	3	S/Cベント	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
⑧	3/14 11:01	3	建屋爆発	1	0.7	0.01	0.009
⑨	3/14 21時過ぎ	2	不明	60	40	0.9	0.6
⑩	3/15 6:12	4	建屋爆発	—	—	—	—
⑪	3/15 7時過ぎ	2	建屋放出	100	100	2	2
⑫	3/15 16時過ぎ	3	S/Cベント	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
総放出量(事象を同定しない放出量も含む)				約500	約500	約10	約10

3月15日の放出が支配的

ベント放出は総放出量に比べて少ない  
(汚染の主要因ではない)

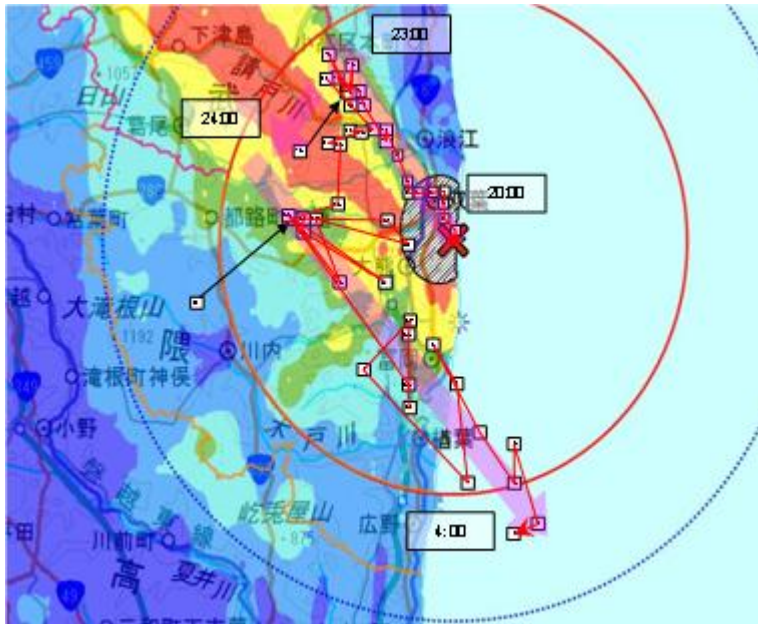
## 2号機の挙動と北西方向の汚染(1/2)



- ベントによる圧力抑制に成功せず、D/W圧力は約700kPa [gage] を維持
- 3/15 7時~11時の間にD/W圧力が低下
- 同時間帯に線量上昇 (10,000  $\mu\text{Sv/h}$ 以上)
- D/W圧力変化, 2号機からの白い煙の確認情報等から, 2号機建屋から放出があったものと推定

## 2号機の挙動と北西方向の汚染(2/2)

③放出量



3/15 20時に2号機建屋から放出されたプルームの軌跡



3/15 23時頃の雨雲レーダー図

- 2号機建屋から放出されたプルームは、南南東の風に乗って北北西の方向へ移動
- 同日23時頃の降雨により北西地域の上空のプルームに含まれるFPが落下（沈着）



**1Fからみて北西方向の地域の土壌汚染の主要因は  
3/15の2号機建屋からの放出と推定**

---

御清聴ありがとうございました

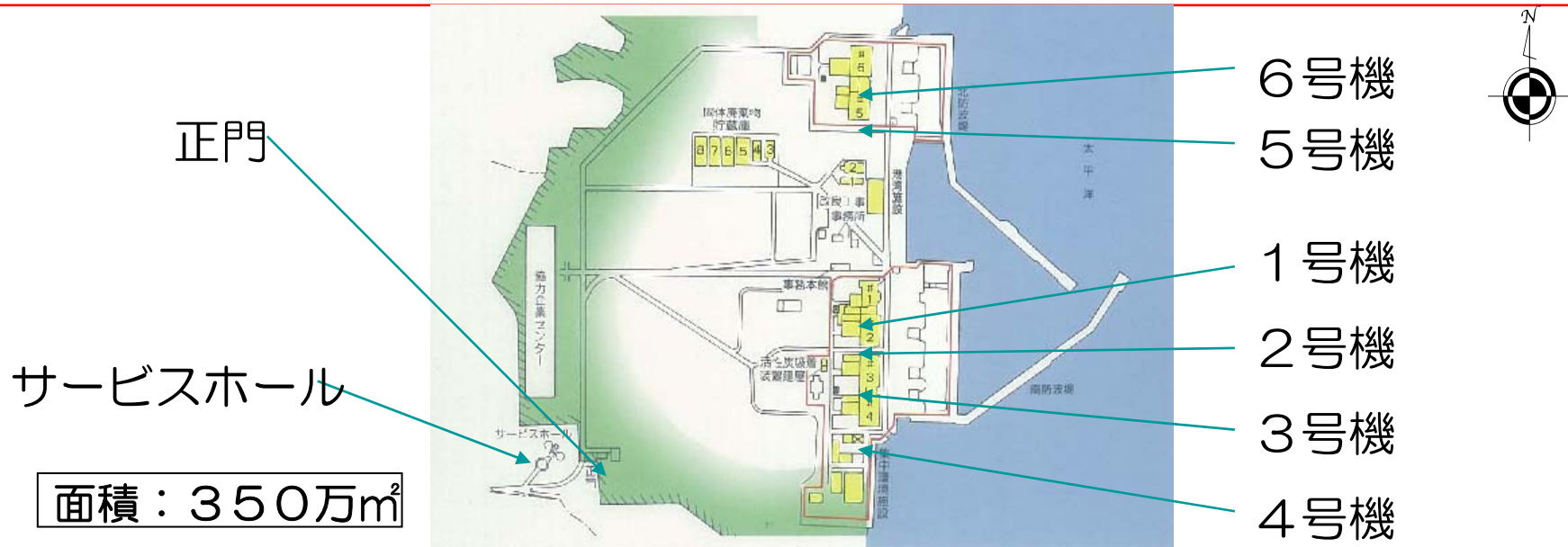


---

# 【参考】 地震・津波の影響

# 福島第一原子力発電所の概要

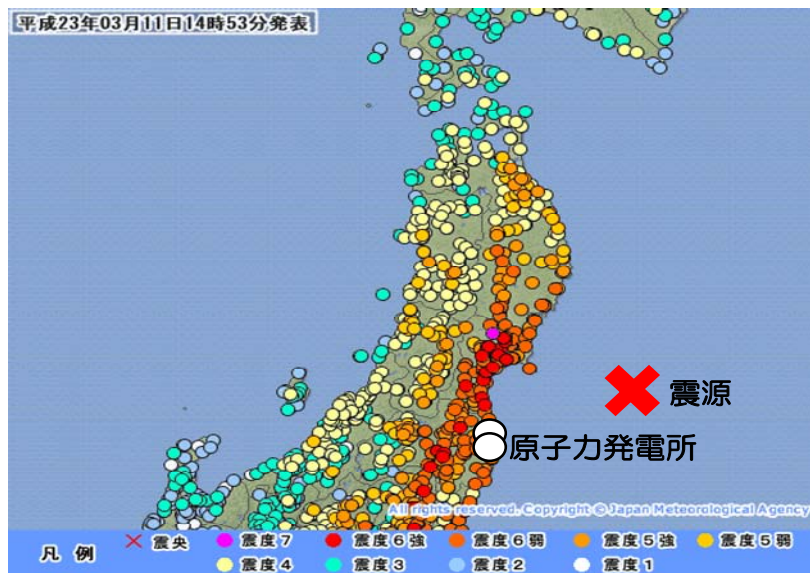
津波・地震の影響



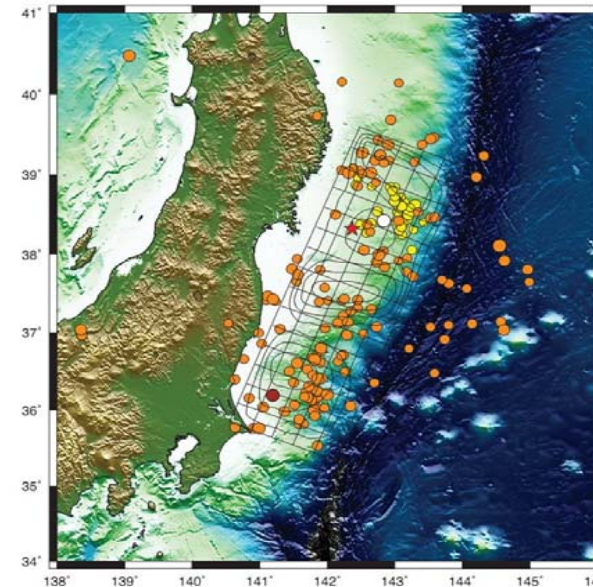
所在地	号機	運転開始	型式	出力(万kW)	主契約者	地震発生時の状況
大熊町	1号機	S46.3	BWR-3	46.0	GE	定格電気出力運転中
	2号機	S49.7	BWR-4	78.4	GE/東芝	定格熱出力運転中
	3号機	S51.3	BWR-4	78.4	東芝	
	4号機	S53.10	BWR-4	78.4	日立	定期検査中 全燃料取出、プールゲート閉 (シュラウド交換作業中)
双葉町	5号機	S53.4	BWR-4	78.4	東芝	
	6号機	S54.10	BWR-5	110	GE/東芝	

# 地震及び津波の規模

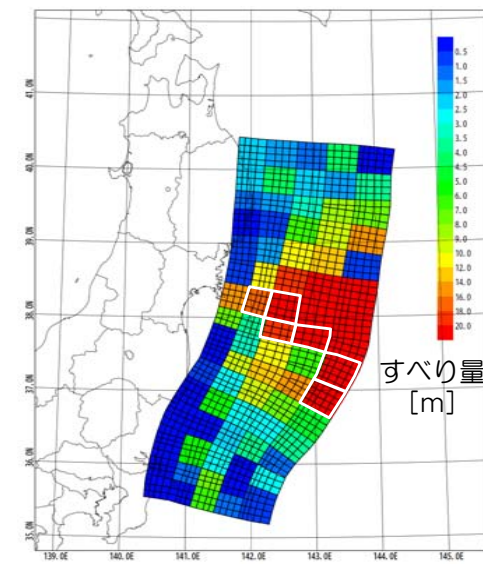
- 発震日時：2011年3月11日（金）午後2時46分頃
- 発生場所：三陸沖（北緯38度、東経142.9度）、震源深さ24km、マグニチュード9.0
- 各地の震度：震度7 宮城県栗原市
- 震度6強 福島県楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町
- 震度6弱 宮城県石巻市、女川町、茨城県東海村



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

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

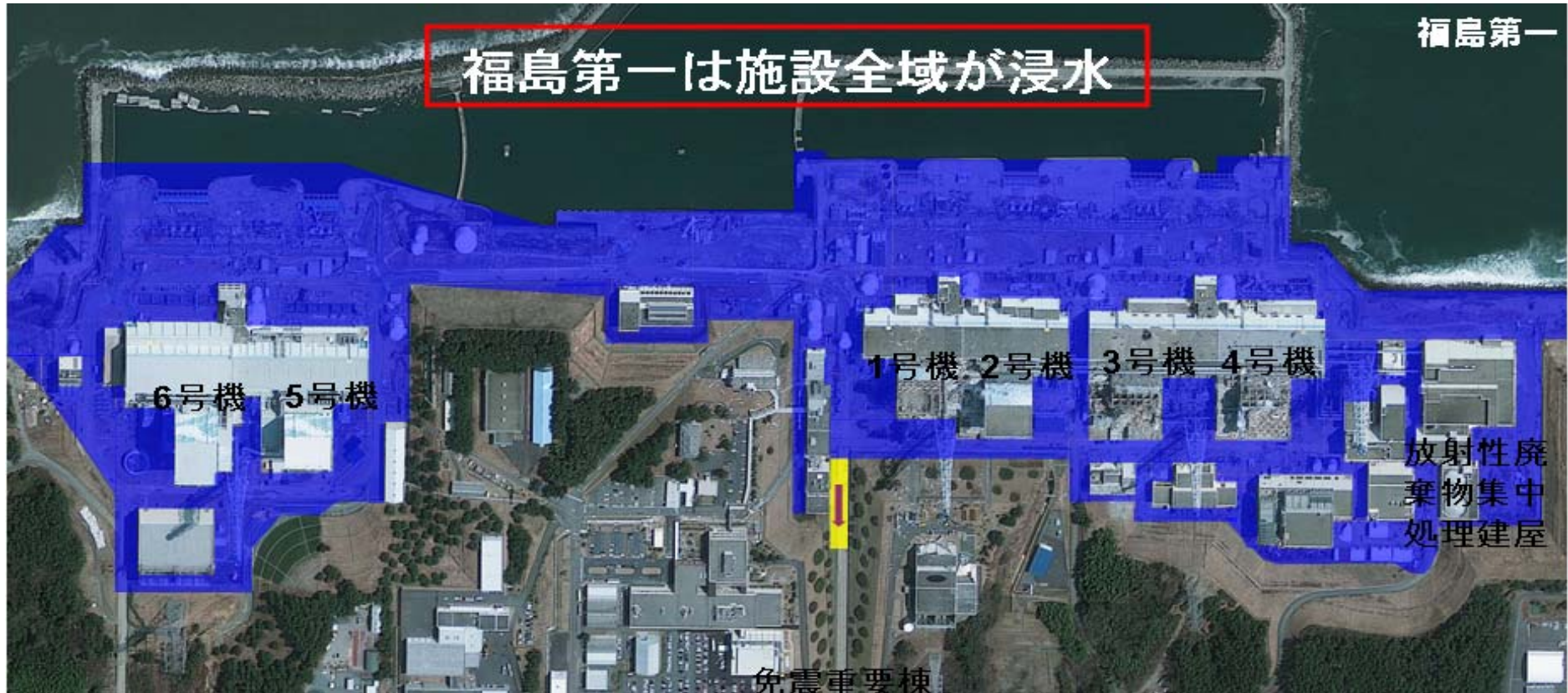
観測点 (原子炉建屋最地下階)		観測記録 最大加速度値			基準地震動Ssに対する 最大応答加速度値		
		南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	上下方向
福島第一	1号機	460*1	447*1	258*1	487	489	412
	2号機	348*1	550*1	302*1	441	438	420
	3号機	322*1	507*1	231*1	449	441	429
	4号機	281*1	319*1	200*1	447	445	422
	5号機	311*1	548*1	256*1	452	452	427
	6号機	298*1	444*1	244	445	448	415
福島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

津波・地震の影響

## 福島第一原子力発電所 浸水箇所



(C)GeoEye

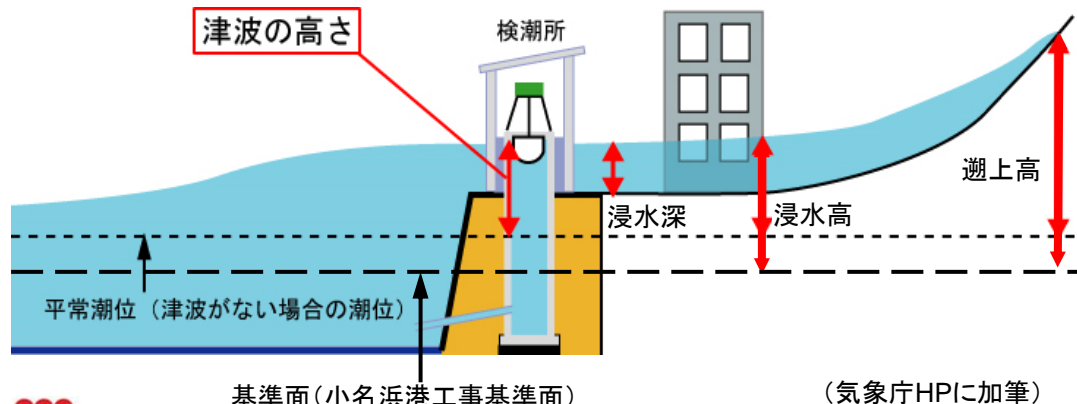
# 発電所を襲った津波の大きさ（福島第一）

	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 <sup>※1</sup>	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"> <li>・ 今回の津波高さ(津波再現計算による推定); 約13m<sup>※2</sup></li> <li>・ 土木学会手法による評価値(最新評価値); O.P.+5.4～6.1m</li> </ul>	

※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

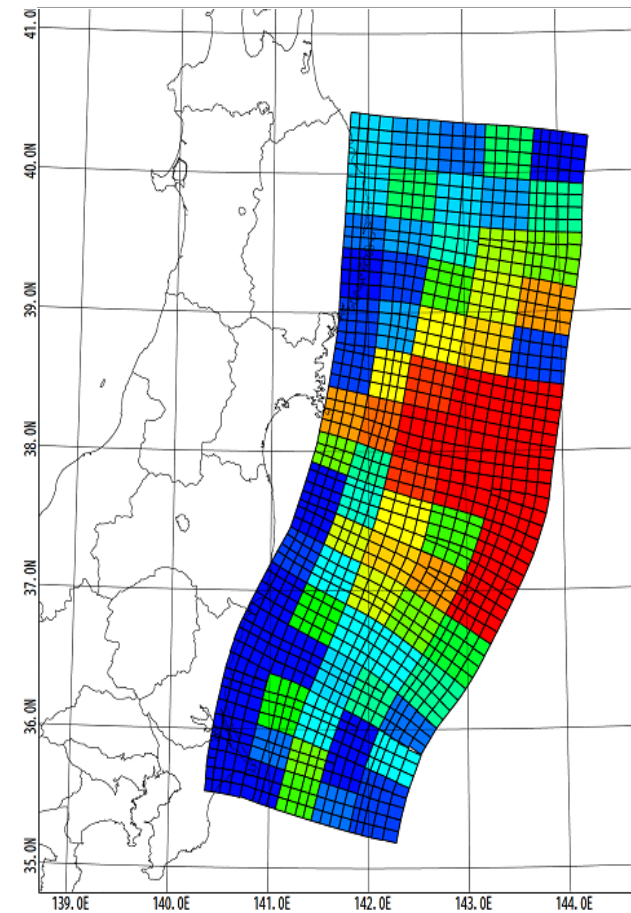
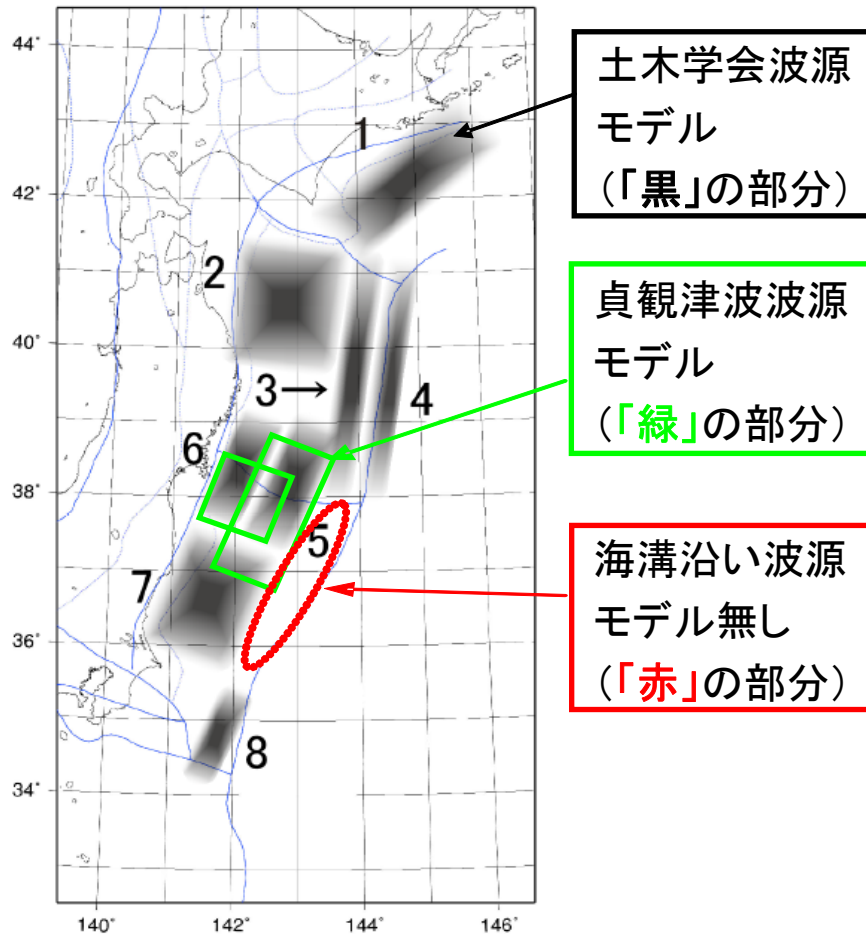


## 【用語の定義】

- ・ 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）



東京電力

# 福島第一・第二原子力発電所の被害状況

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    —:設備なし



## 厳しい環境下での現場対応（注水作業）

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



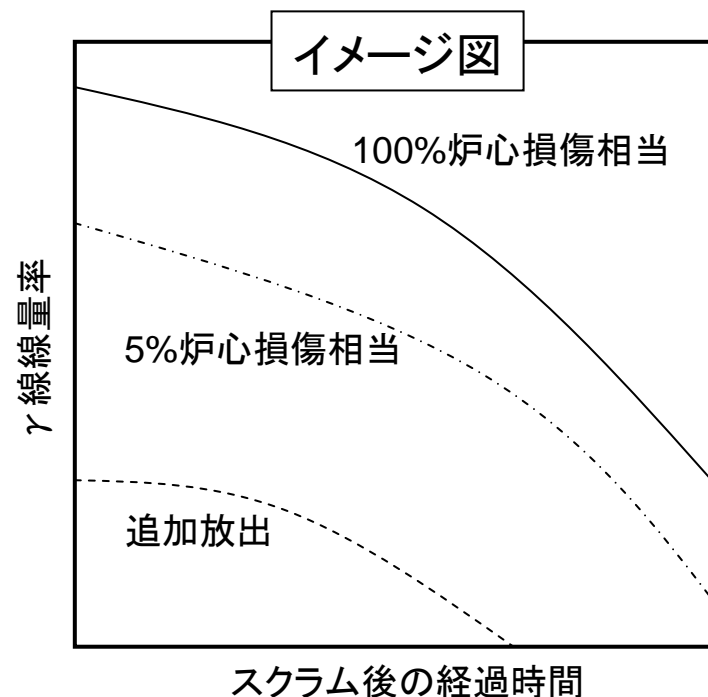
# 運転操作におけるCAMSの活用

- PCV内 $\gamma$ 線線量率
  - －雰囲気状況の把握
  - －炉心損傷状態の把握

⇒シビアアクシデント時の手順書への導入条件  
(追加放出の10倍:右図)

- PCV内の水素濃度・酸素濃度
  - －可燃性ガス濃度の把握

⇒FCSの運転判断



「炉心損傷相当」とは、希ガスの炉内内蔵量に対する比を表しており、実際の炉心損傷状態とは必ずしも一致しない