

# 福島第一原子力発電所事故の 教訓と対策

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

技師長 守屋 公三明

2012年6月21日

# 内 容

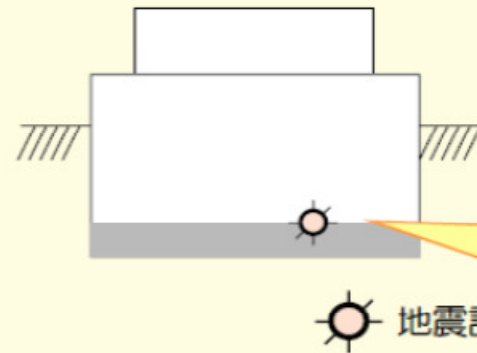
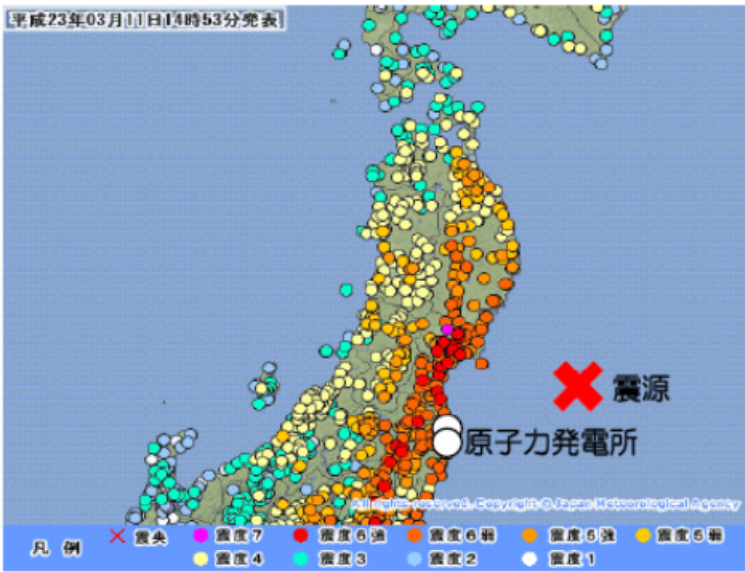
1. 福島第一原子力発電所事故の概要
2. 事故収束に向けた対応
3. 福島の教訓と対策
4. まとめ

# 1. 福島第一原子力発電所事故の概要

- 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 福島県楡葉町、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
  - 震度5弱 新潟県刈羽村
  - 震度4 青森県六ヶ所村、東通村、むつ市、大間町、新潟県柏崎市

## 【震源との関係】

平成23年03月11日14時53分発表



現在確認できている揺れの最大値は、福島第一2号機の  
水平：550ガル  
上下：302ガル

ガル(Gal)とは、地震による地盤や建物等の揺れの大きさを表す加速度の単位( $\text{cm}/\text{sec}^2$ )で、建物等にとどの程度力加わるのかを示します。(重力の加速度1Gは980Gal)

# 地震と津波の規模

## 地震／津波の規模

観測史上有数の規模の地震／津波である

地震マグニチュード：観測史上4番目

順位	発生年	地震名	マグニチュード
1	1960	Chile	9.5
2	1964	Alaska	9.2
3	2004	Sumatra	9.1
<b>4</b>	<b>2011</b>	<b>東北地方太平洋沖</b>	<b>9.0</b>
4	1952	Kamchatka	9.0

津波マグニチュード\*：観測史上4番目

順位	発生年	地震名	マグニチュード
1	1960	Chile	9.4
2	1837	Valdivia, Chile	9.3
2	1946	Aleutians	9.3
<b>4</b>	<b>2011</b>	<b>東北地方太平洋沖</b>	<b>9.1</b>
4	1964	Alaska	9.1
5	2004	Sumatra 他	9.0

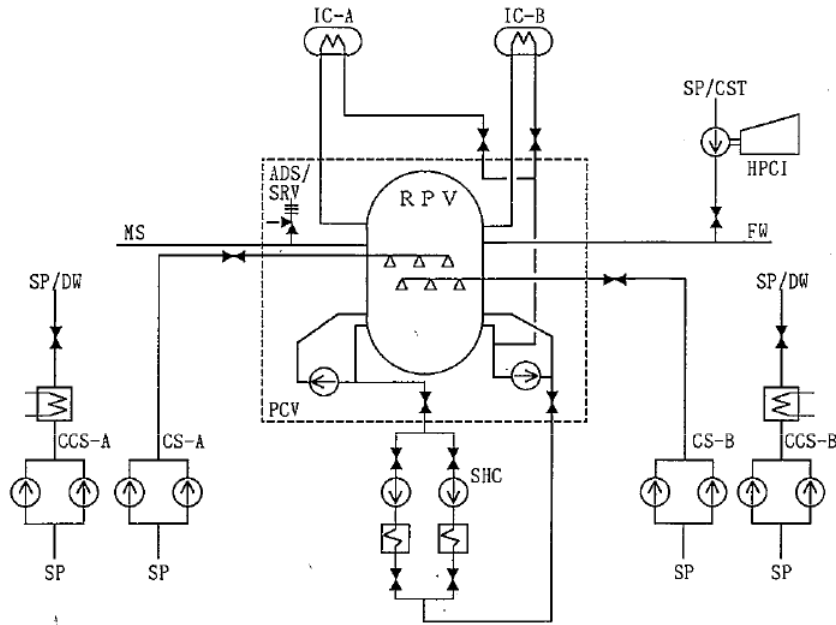
\* 地震で生じた津波の大きさから求めるマグニチュード

# 福島第一原子力発電所のプラント設備

		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
電気出力(万kW)		46.0	78.4	78.4	78.4	78.4	110.0
営業運転開始		1971/3	1974/7	1976/3	1978/1 0	1978/4	1979/10
原子炉型式		BWR3	BWR4			BWR5	
格納容器型式		マークI				マークII	
炉心燃料集合体数 (本)		400	548	548	548	548	764
冷却 設備	原子炉隔離時	IC(2)	RCIC				
	ECCS	HPCI(1) ADS CS(2)	HPCI(1) ADS CS(2) LPCI(2)			HPCS(1) ADS LPCS(1) LPCI(3)	
地震発生時の状況		定格出力運転中			定期検査中		

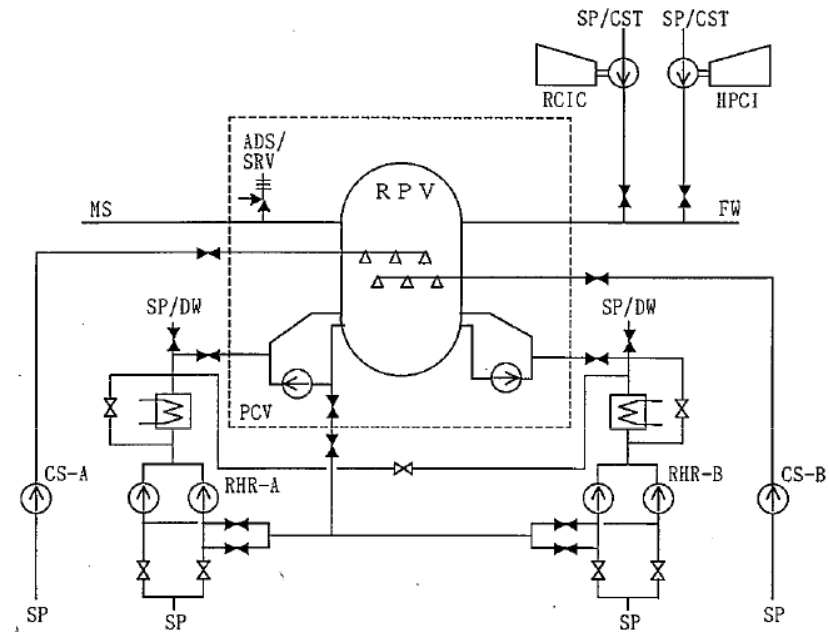
# 福島第一サイトのプラント設備の概要

## BWR-3



過渡事象 : IC(2系統)  
 冷却材喪失事故 : HPCI(1系統)  
                   ADS  
                   CS(2系統)  
 崩壊熱除去 : SHC(2系統)

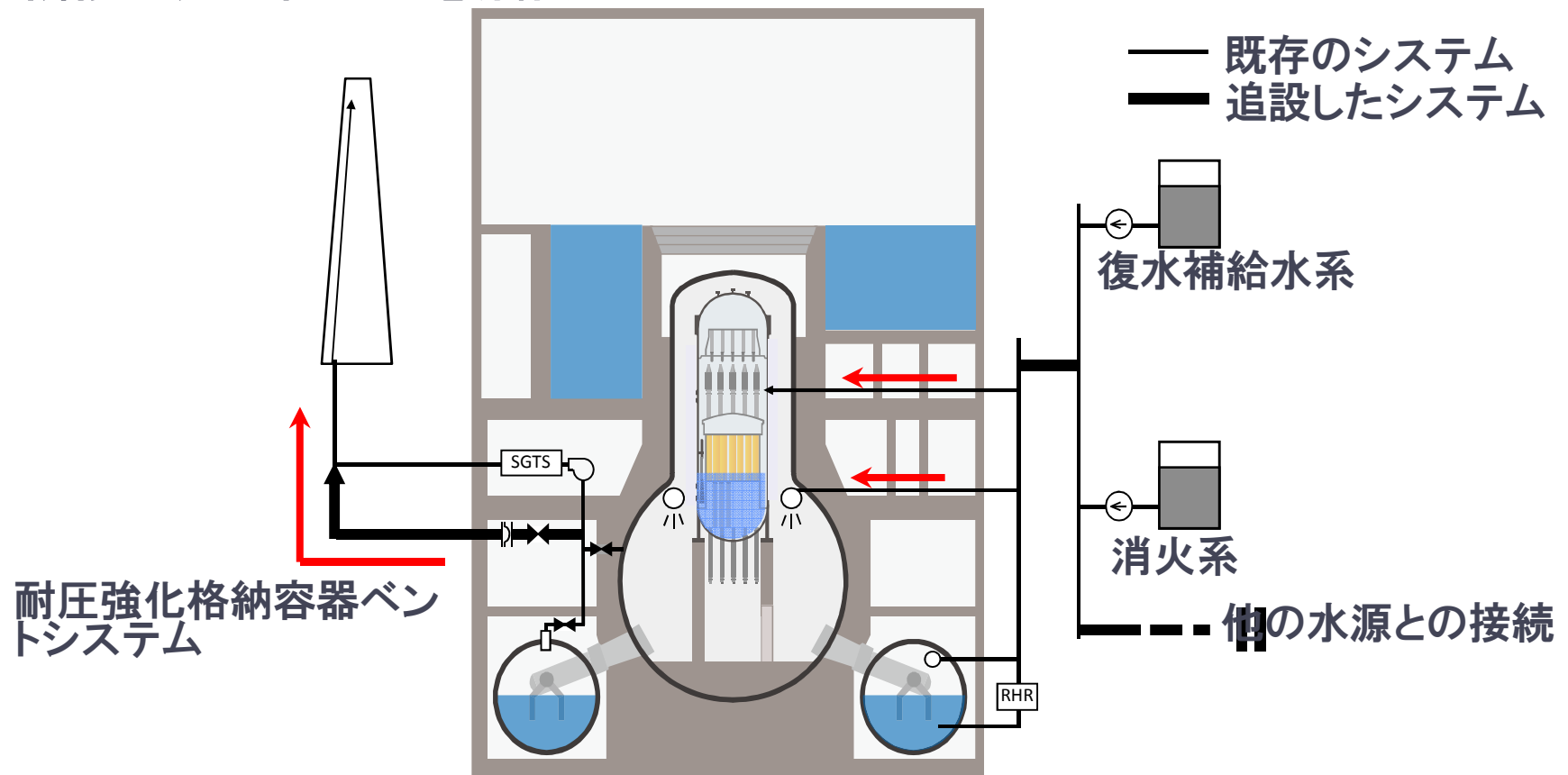
## BWR-4



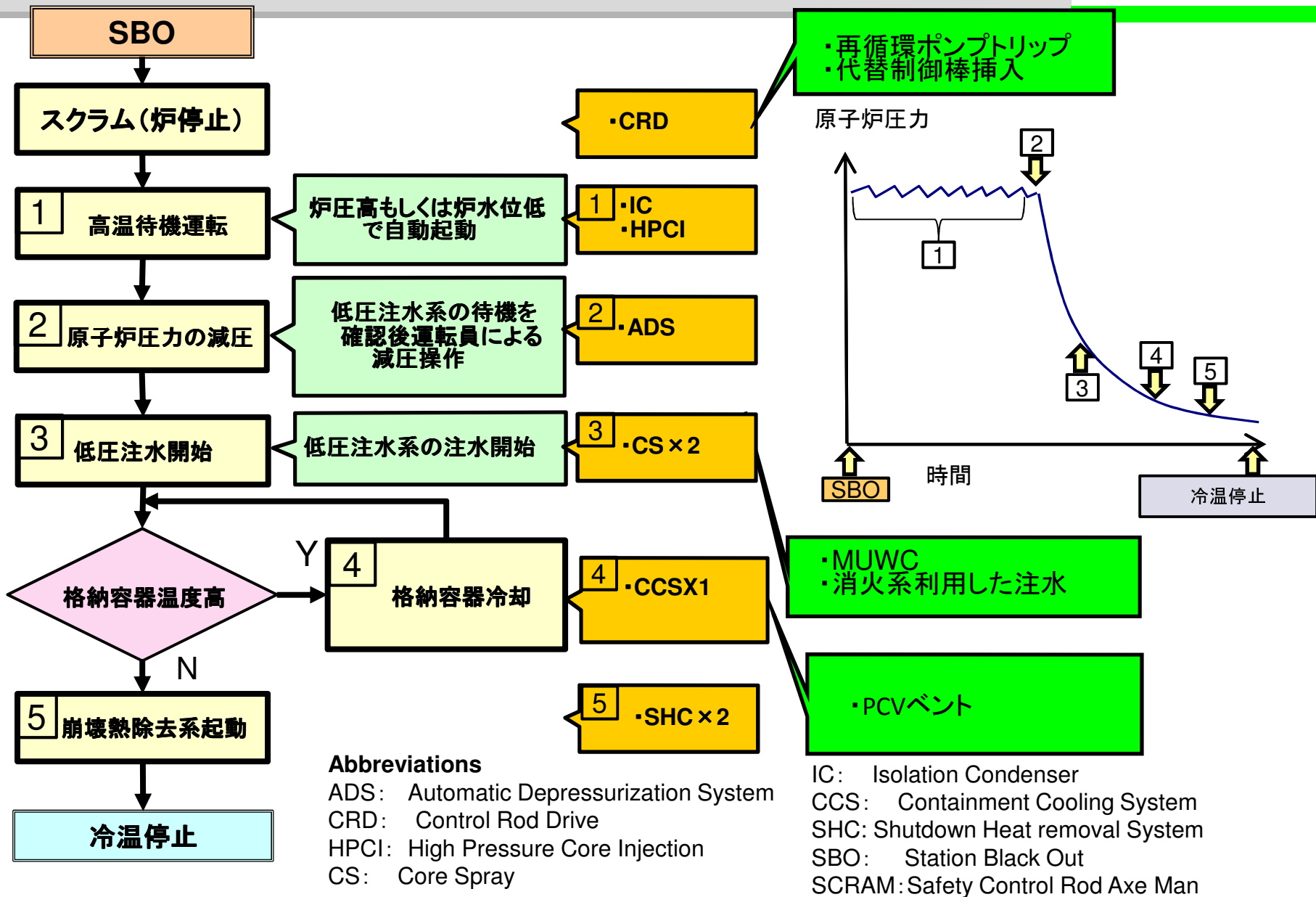
RCIC(1系統)  
 同左  
 同左  
 同左  
 LPCI(2系統)  
 RHR(2系統)

# 福島サイトのシビアアクシデント対策

- 代替注水系は既存のシステム(残留熱除去系(RHR)/低圧注水系(LPCI)、復水補給水系(MUWC)、消火系(FP))と複数の水源を用いてRPVもしくはPCVに冷却水を供給
- 耐圧強化格納容器ベントシステムはS/CもしくはD/Wから、崩壊熱を除去
- 隣接プラント間での電源融通



# AMの操作手順の整備





# 地震の発電所に及ぼした影響

地震観測記録と基準地震動 $S_s$ に対する応答値との比較

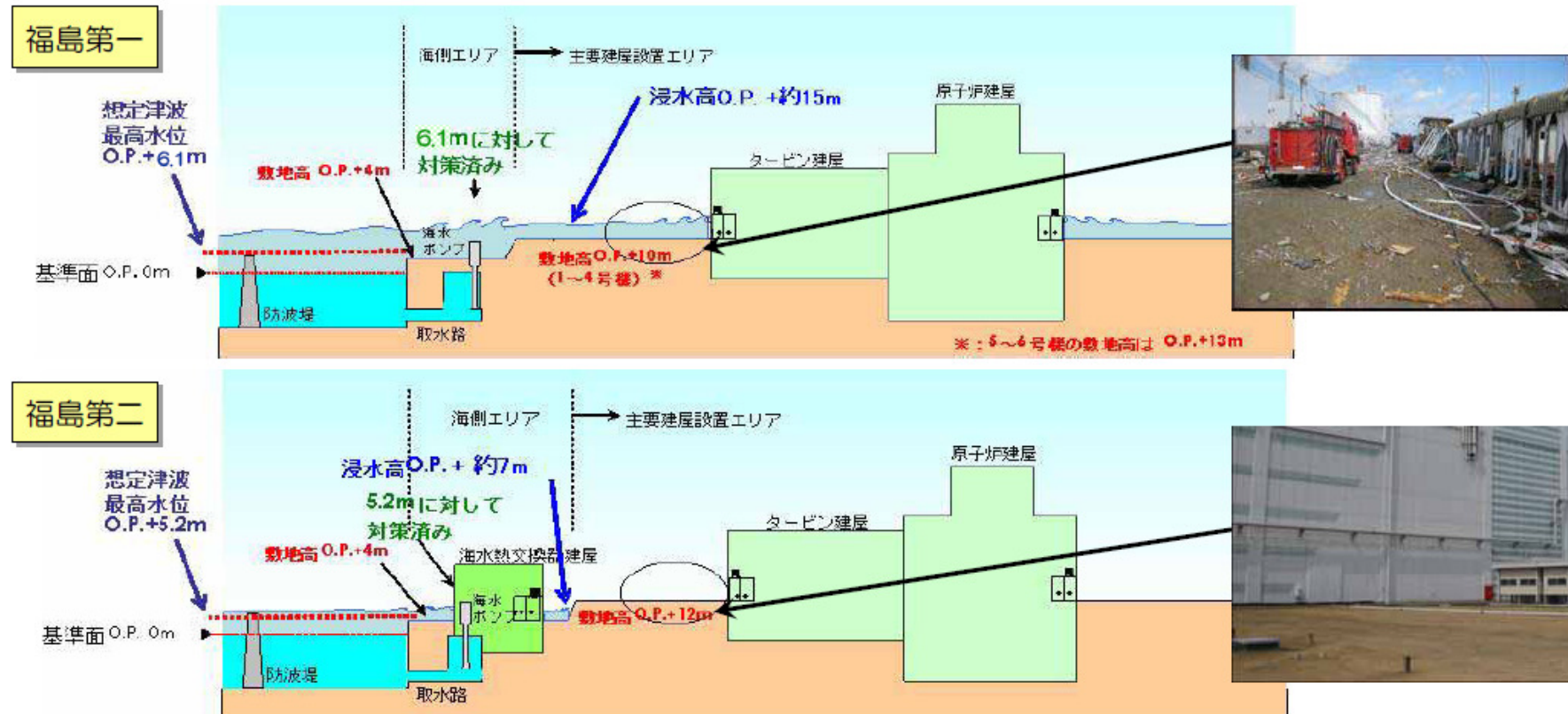
観測点 (原子炉建屋最地下階)		観測記録			基準地震動 $S_s$ に対する 最大応答加速度値 (ガル)		
		最大加速度値 (ガル)			南北方向	東西方向	上下方向
		南北方向	東西方向	上下方向			
福島第一	1号機	460	447	258	487	489	412
	2号機	348	550	302	441	438	420
	3号機	322	507	231	449	441	429
	4号機	281	319	200	447	445	422
	5号機	311	548	256	452	452	427
	6号機	298	444	244	445	448	415
福島第二	1号機	254	230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



設計加速度以上の加速度

# 津波が発電所に及ぼした影響

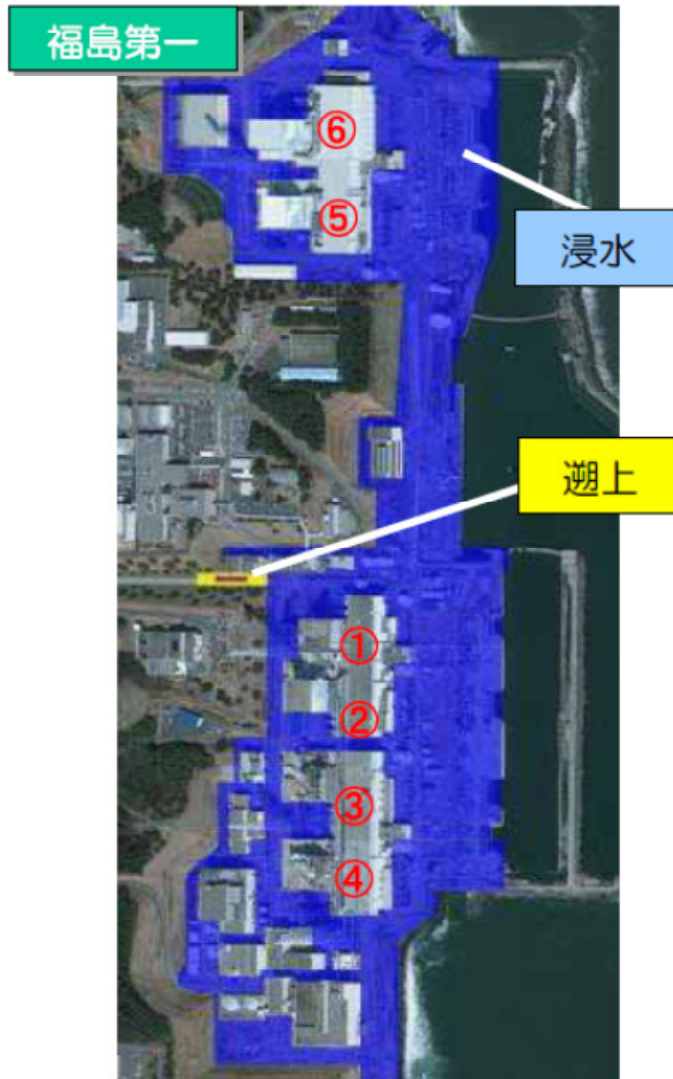
- 平成21年に最新の海底地形データ等を用いて評価を行い、基準面（O.P.）に対し、**6.1m**（福島第一）、**5.2m**（福島第二）の高さの津波への対策を講じていました。
- 福島第一では基準水面に対し**約15m**、福島第二では基準水面に対し**約7m**浸水しました。
- 福島第一への津波の影響（水位及び浸水域）は、福島第二のものに比べ、大きかったことが確認されています。



OP：小名浜港工事基準面

# 津波の遡上の影響

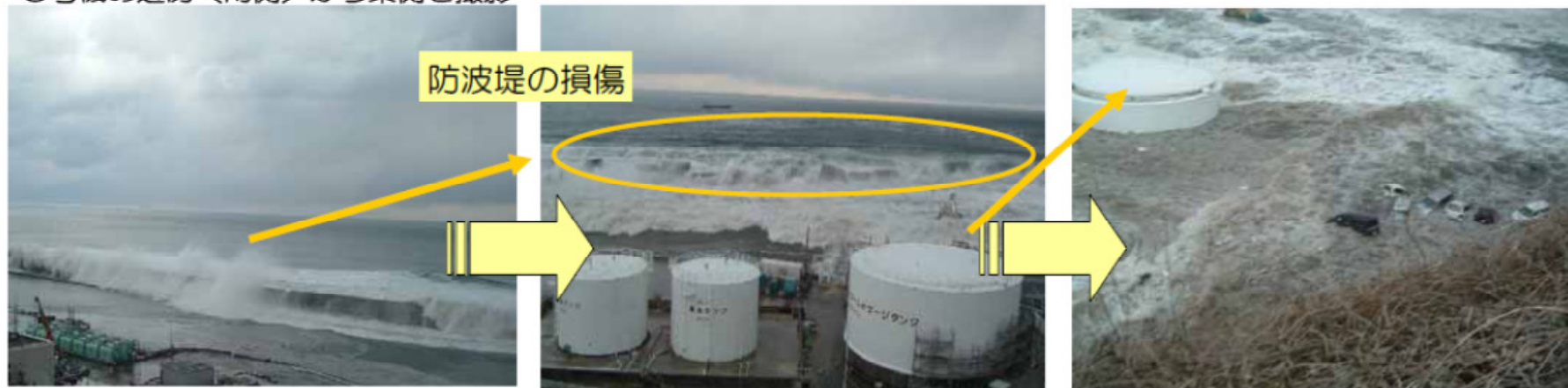
1F、2Fサイトともに津波がサイト全体に襲来



# 津波による被害の例

津波により建屋が水没、扉、ルーバーから侵入した海水が1階から地下に落水

5号機の近傍（南側）から東側を撮影



廃棄物処理建屋4階から北側を撮影  
タンク  
高さ約5.5m（敷地高O.P.+10m）



# 津波による被害の例

サイト全体に被害が及んだため、プラントへのアクセスが困難を極めた

3号機海水ポンプエリア近傍を撮影



5・6号機取水設備周辺を撮影



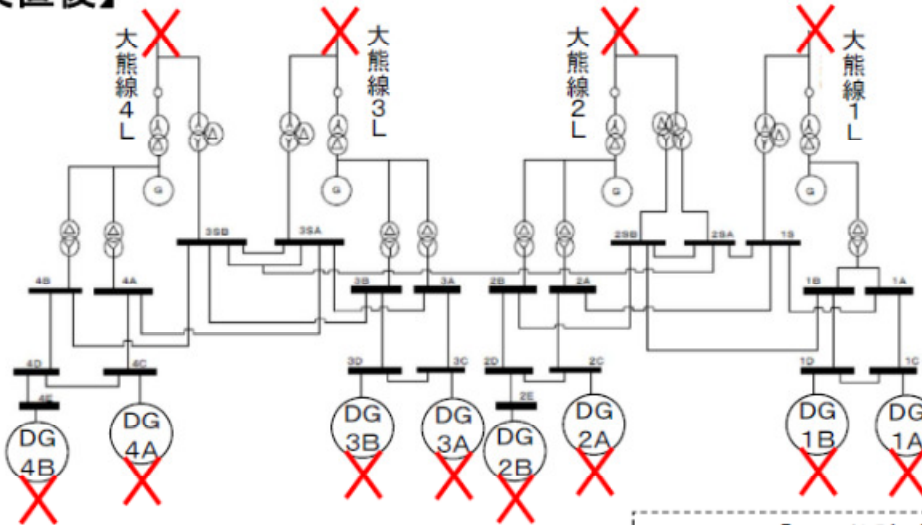
# 福島第一サイトの電源喪失の状況

## 【福島第一の電源：津波被災直後】

福島第一1～4号機

生き残った電源なし

大熊線1L、2L  
地震時に受電遮断器損傷  
大熊線3L  
改造工事中  
大熊線4L  
停止した原因を調査中

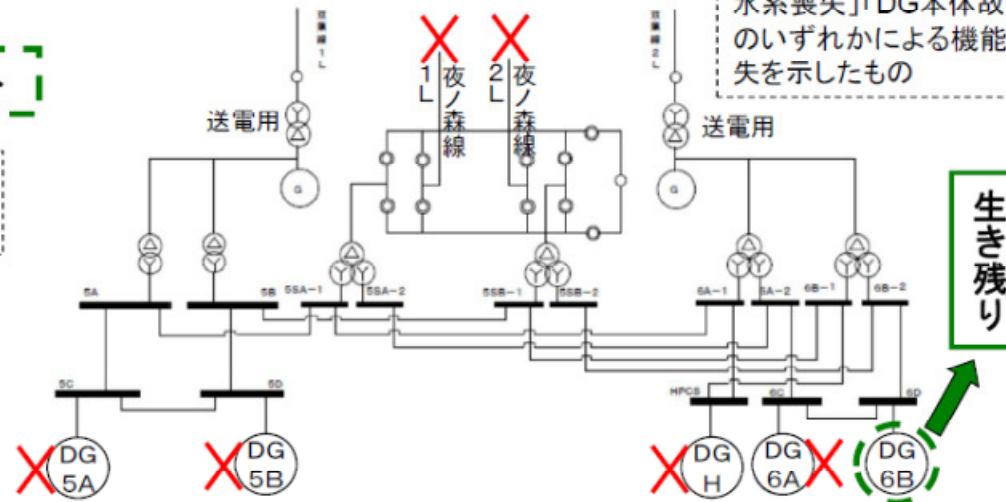


DGの×は「M/C故障」「海水系喪失」「DG本体故障」のいずれかによる機能喪失を示したもの

福島第一5～6号機

生き残りはDG6Bのみ

夜ノ森線1L、2L  
鉄塔が一部倒壊

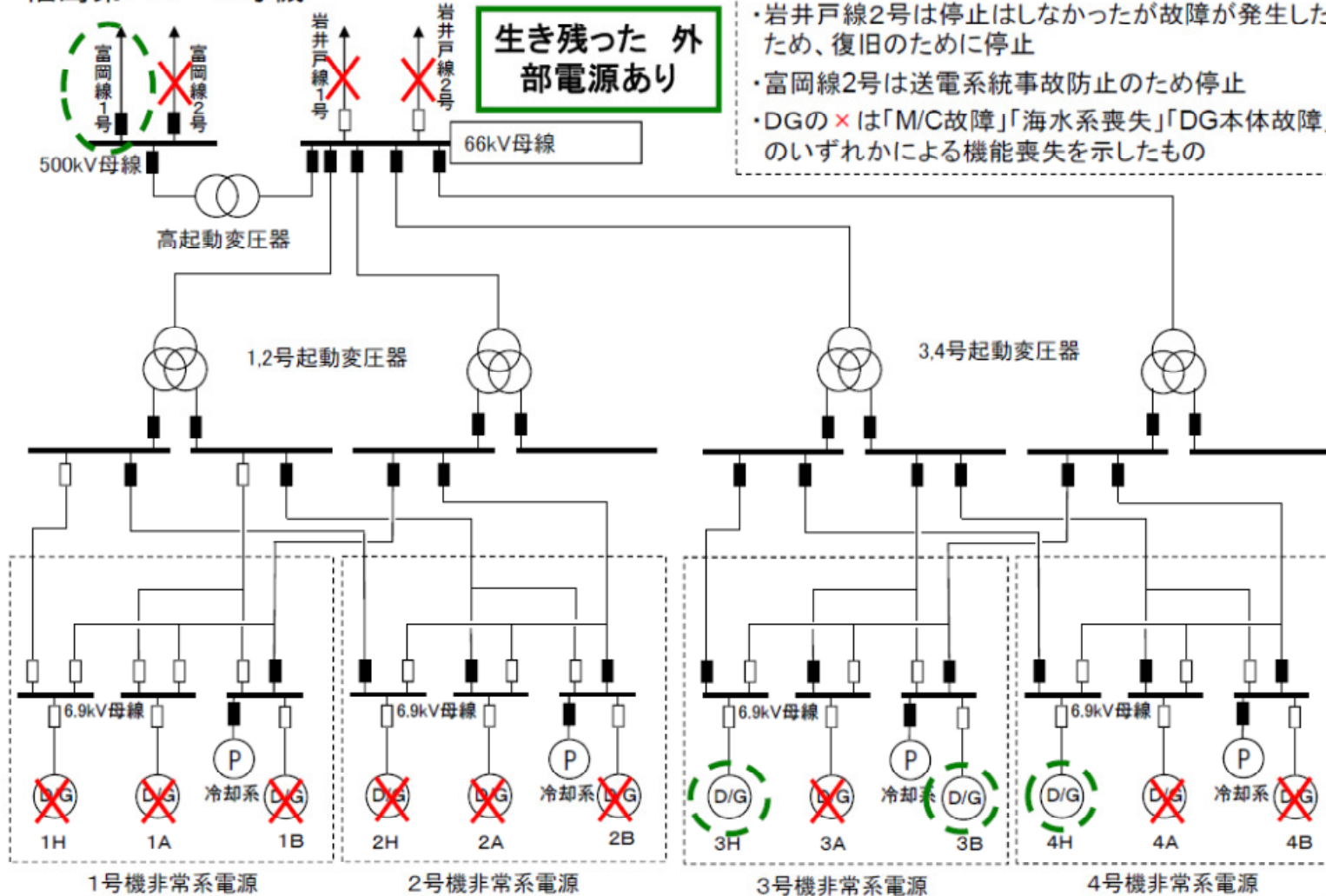


生き残り

# 福島第二サイトの電源喪失の状況

## 【福島第二の電源：津波被災直後】

福島第二1～4号機



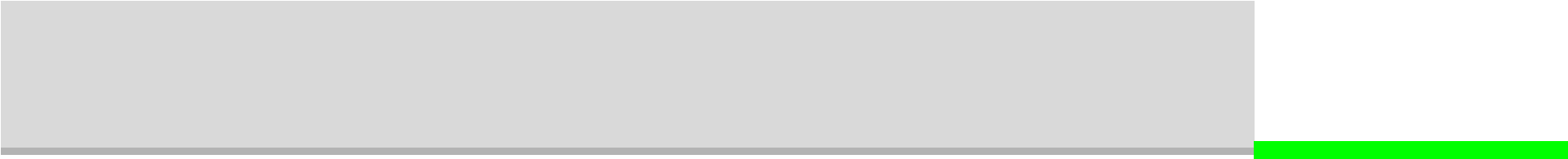
- ・岩井戸線1号は地震前から点検停止中
- ・岩井戸線2号は停止はしなかったが故障が発生したため、復旧のために停止
- ・富岡線2号は送電系統事故防止のため停止
- ・DGの×は「M/C故障」「海水系喪失」「DG本体故障」のいずれかによる機能喪失を示したもの

# 津波後の電源設備及び海水系の被害状況

## 津波後の電源設備及び海水系の健全性

	福島第一										福島第二										
	1号機		2号機		3号機		4号機		5号機		6号機		1号機		2号機		3号機		4号機		
	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	
非常用 D/G	DG 1A	×	DG 2A	×	DG 3A	×	DG 4A	×	DG 5A	×	DG 6A	×	DG 1A	×	DG 2A	×	DG 3A	×	DG 4A	×	
	DG 1B	×	DG 2B	×	DG 3B	×	DG 4B	×	DG 5B	×	DG 6B	○	DG 1B	×	DG 2B	×	DG 3B	○	DG 4B	×	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HPCS DG	×	DG 1H	×	DG 2H	×	DG 3H	○	DG 4H	○	
M/C	非常用	M/C 1C	×	M/C 2C	×	M/C 3C	×	M/C 4C	×	M/C 5C	×	M/C 6C	○	M/C 1C	×	M/C 2C	○	M/C 3C	○	M/C 4C	○
		M/C 1D	×	M/C 2D	×	M/C 3D	×	M/C 4D	×	M/C 5D	×	M/C 6D	○	M/C 1D	○	M/C 2D	○	M/C 3D	○	M/C 4D	○
		-	-	M/C 2E	×	-	-	M/C 4E	×	-	-	HPCS DG M/C	○	M/C 1H	×	M/C 2H	○	M/C 3H	○	M/C 4H	○
	常用	M/C 1A	×	M/C 2A	×	M/C 3A	×	M/C 4A	×	M/C 5A	×	M/C 6A-1	×	M/C 1A-1	○	M/C 2A-1	○	M/C 3A-1	○	M/C 4A-1	○
											M/C 6A-2	×	M/C 1A-2	○	M/C 2A-2	○	M/C 3A-2	○	M/C 4A-2	○	
		M/C 1B	×	M/C 2B	×	M/C 3B	×	M/C 4B	×	M/C 5B	×	M/C 6B-1	×	M/C 1B-1	○	M/C 2B-1	○	M/C 3B-1	○	M/C 4B-1	○
											M/C 6B-2	×	M/C 1B-2	○	M/C 2B-2	○	M/C 3B-2	○	M/C 4B-2	○	
		M/C 1S	×	M/C 2SA	×	M/C 3SA	×	-	-	M/C 5SA-1	×	-	-	M/C 1SA-1	○	-	-	M/C 3SA-1	○	-	-
				M/C 2SB	×	M/C 3SB	×	-	-	M/C 5SA-2	×	-	-	M/C 1SA-2	○	-	-	M/C 3SA-2	○	-	-
										M/C 5SB-1	×	-	-	M/C 1SB-1	○	-	-	M/C 3SB-1	○	-	-
								M/C 5SB-2	×	-	-	M/C 1SB-2	○	-	-	M/C 3SB-2	○	-	-		
P/C	非常用	P/C 1C	×	P/C 2C	○	P/C 3C	×	P/C 4C	○	P/C 5C	×	P/C 6C	○	P/C 1C-1	×	P/C 2C-1	○	P/C 3C-1	○	P/C 4C-1	○
		P/C 1D	×	P/C 2D	○	P/C 3D	×	P/C 4D	○	P/C 5D	×	P/C 6D	○	P/C 1C-2	×	P/C 2C-2	×	P/C 3C-2	×	P/C 4C-2	×
		-	-	P/C 2E	×	-	-	-	-	-	-	P/C 6E	○	P/C 1D-1	○	P/C 2D-1	○	P/C 3D-1	○	P/C 4D-1	○
	常用	P/C 1A	×	P/C 2A	○	P/C 3A	×	P/C 4A	○	P/C 5A	×	P/C 6A-1	×	P/C 1A-1	○	P/C 2A-1	○	P/C 3A-1	○	P/C 4A-1	○
				P/C 2A-1	×	HVAG P/C 3A	△	HVAG P/C 4A	△	P/C 5A-1	○	P/C 6A-2	×	P/C 1A-2	○	P/C 2A-2	○	P/C 3A-2	○	P/C 4A-2	○
		P/C 1B	×	P/C 2B	○	P/C 3B	×	P/C 4B	○	P/C 5B	×	P/C 6B-1	×	P/C 1A-2	○	P/C 2A-2	○	P/C 3A-2	○	P/C 4A-2	○
						HVAG P/C 3B	△	HVAG P/C 4B	△	P/C 5B-1	○	P/C 6B-2	×	P/C 1B-1	○	P/C 2B-1	○	P/C 3B-1	○	P/C 4B-1	○
		P/C 1S	×	-	-	P/C 3SA	×	-	-	P/C 5SA	×	-	-	P/C 1B-2	○	P/C 2B-2	○	P/C 3B-2	○	P/C 4B-2	○
										P/C 5SA-1	×	-	-	P/C 1SA	○	-	-	P/C 3SA	○	-	-
										P/C 5SB	×	-	-	P/C 1SB	○	-	-	P/C 3SB	○	-	-
								-	-	-	-	取水設備 P/C	×	-	-	取水設備 P/C	×	-	-		
直流電源	DC125V 主母線盤A	×	DC125V P/C 2A	×	DC125V 主母線盤 3A	○	DC125V 主母線盤4A	×	DC125V P/C 5A	○	DC125V DIST CENTER 6A	○	DC125V 主母線盤A	○	DC125V 主母線盤A	○	DC125V 主母線盤A	○	DC125V 主母線盤A	○	
	DC125V 主母線盤B	×	DC125V P/C 2B	×	DC125V 主母線盤 3B	○	DC125V 主母線盤4B	×	DC125V P/C 5B	○	DC125V DIST CENTER 6B	○	DC125V 主母線盤B	○	DC125V 主母線盤B	○	DC125V 主母線盤B	○	DC125V 主母線盤B	○	
海水系	A	CCS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×
	B	CCS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	○	RHRS B	×

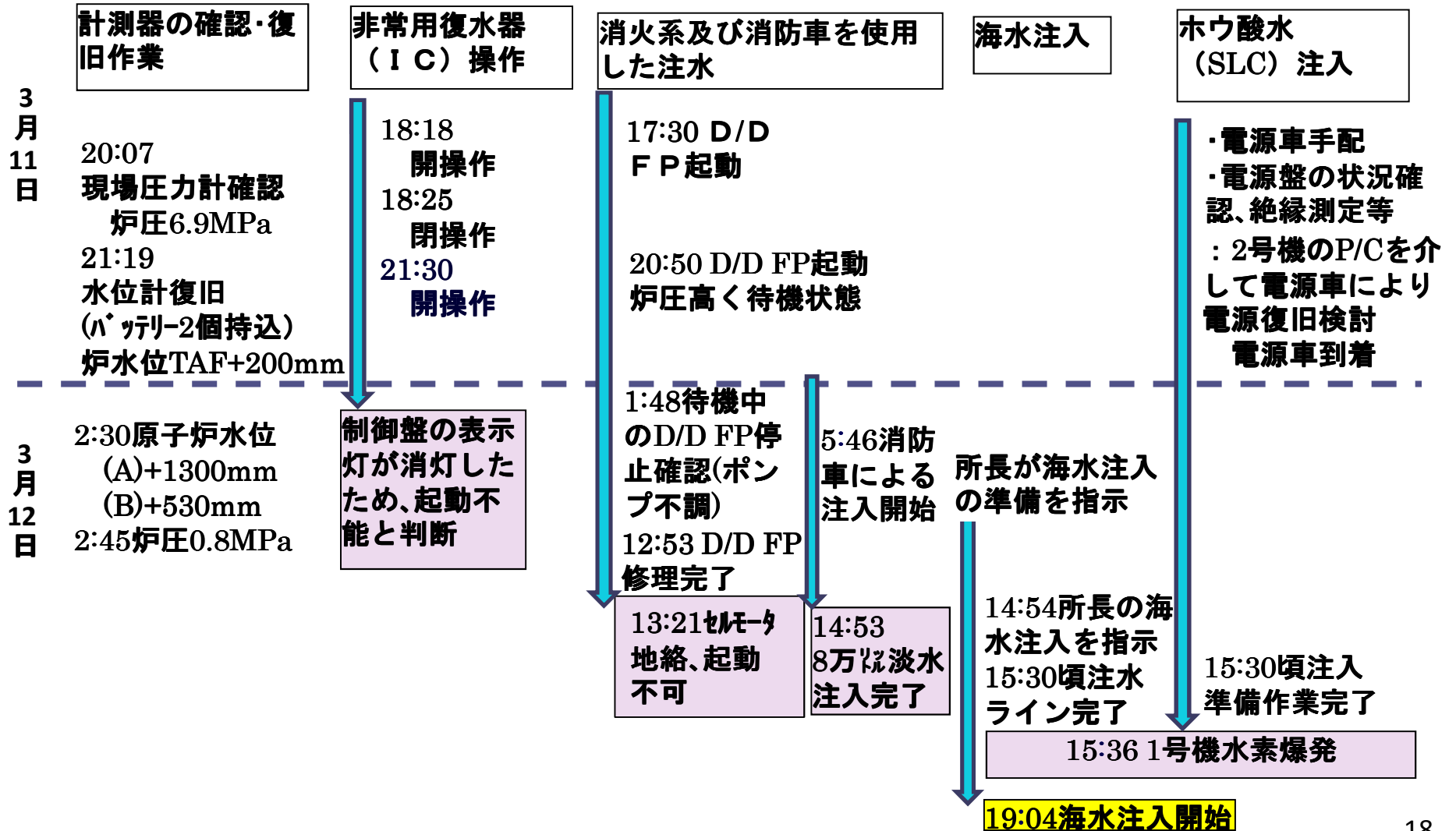




## 2.事故収束に向けた対応

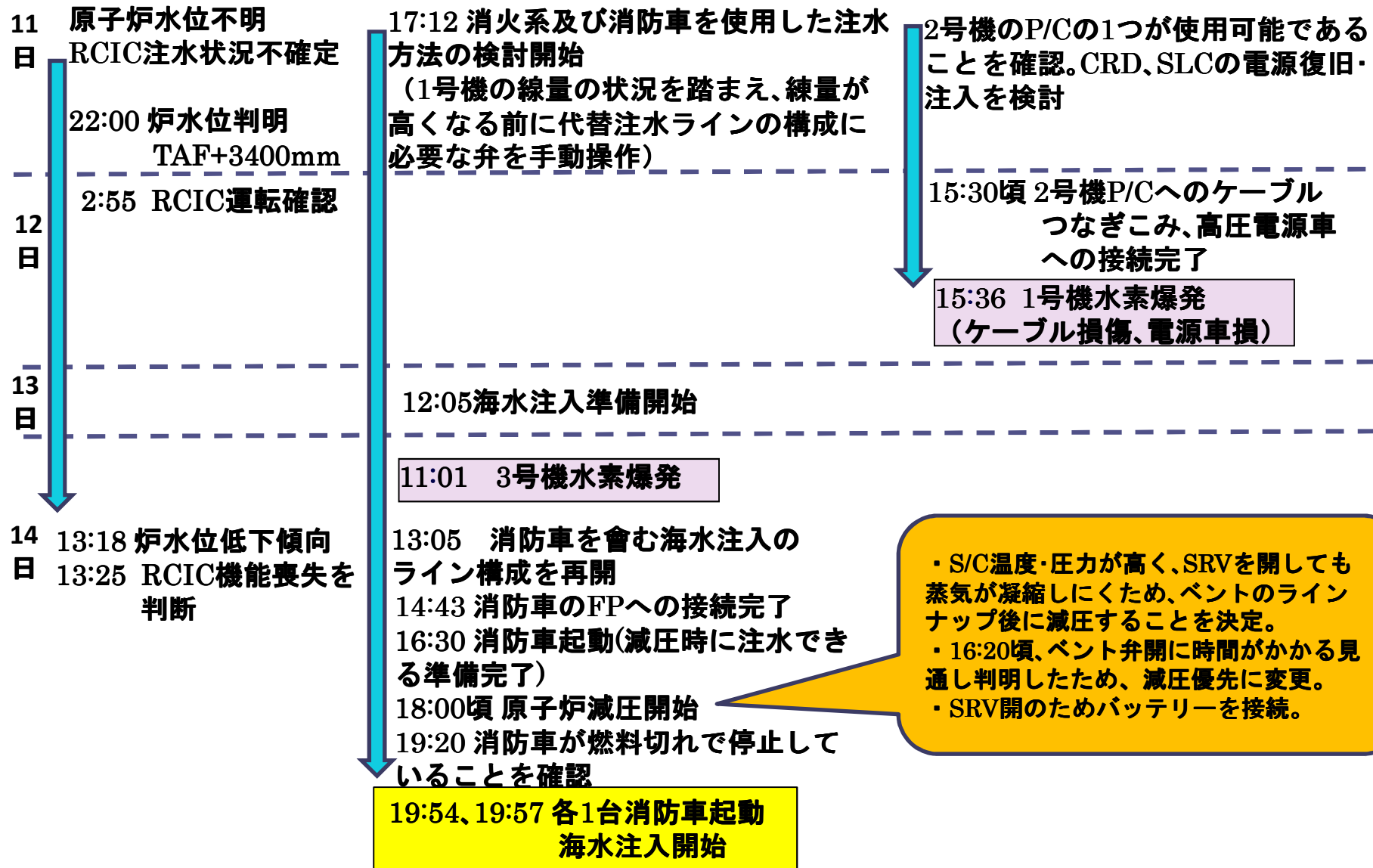
# 福島第一1号機の注水開始までの経緯（津波襲以降）

16:36原災法15条事象発生(原子炉水位不明のため、非常用炉心冷却装置注水不能)→16:45通報  
 16:45原子炉水位を確認→16:55原災法15条事象の解除を通報  
 17:07原子炉水位を再度確認できなくなる→17:12原災法15条通報



# 福島第一2号機の注水開始までの経緯(津波襲来以降)

16:36原子力災害対策特別措置法15条事象発生(非常用炉心冷却装置注水不能)



# 福島第一3号機の注水開始までの経緯(津波襲来以降)

15:42 原子力災害対策特別措置法10条事象発生(全交流電源喪失)

11日 (15:25 RCC原子炉水位高トリップ)  
16:03 RCIC手動起動

12日 11:36 RCICトリップ  
12:35 HPCI自動起動(原子炉水位低)

13日 2:42 HPC停止

・D/D FPによる注水を試みたが、炉圧が約4MPaまで上昇し注入不可  
・HPCIの再起動を試みたが、バッテリー枯渇のため起動不可  
・RCICによる原子炉注水を試みたが、起動不可

SLC復旧作業

SLC復旧完了せず

5:10 原子力災害対策特別措置法15条事象発生(原子炉冷却機能喪失)

9:08頃 SRV強制開による急速減圧

9:25 消防車による淡水注水開始

12:20 近場の防火水槽が枯渇したため、逆洗弁ピットの海水注入するようラインの変更を開始

13:12海水注入開始

既に1,2号機の計器復旧のため所内のバッテリーを集めた後であり、所内にバッテリーの予備がない中、社員の通勤用自動車のバッテリーを集めて計器盤につなぎこみ

・所内の消防車は1号機で使用  
・道路損傷や津波の瓦礫の影響で5/6号機側と分断されていた道路の往来を可能にし、5/6号機側にあつた消防車を回収  
・福島第二でバックアップとして待機していた消防車1台を福島第一へ移動

# 事故収束に向けたロードマップ(12月16日版)

平成23年12月16日  
原子力災害対策本部  
政府・東京電力統合対策室

資料1-3

東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋 当面の取組のロードマップ(ステップ2完了)

☆印:報告徴収済、緑色は達成した目標

課題	初回(4/17)時点	ステップ1(3ヶ月程度)	ステップ2(年内)		中期的課題 (~3年程度)	
			現時点(12/16)	現時点(12/16)		
I. 冷却	(1) 原子炉 燃料プール	最小限の注水による燃料冷却(注水冷却)	循環注水☆ 冷却(開始)	安定的な冷却	冷温停止状態	冷温停止状態の維持継続
		滞留水再利用の検討/準備	窒素充填☆ 作業環境改善☆	循環注水冷却(継続) 窒素充填(継続)	冷温停止状態 より安定的な冷却	窒素充填 構造材の腐食破損防止(※一部削減)
II. 抑制	(3) 滞留水	放射性レベルの高い水の移動	保管/処理施設の設置☆	施設拡充☆/本格水処理施設検討 除染/塩分処理(再利用)等 廃スラッジ等の保管☆管理	滞留水全体量を減少	本格水処理施設の設置 滞留水の処理継続 廃スラッジ等の保管/管理 廃スラッジ等の処理の研究
		放射性レベルの低い水の保管	保管施設の設置/除染処理	海洋汚染拡大防止	海洋汚染 拡大防止	海洋汚染拡大防止
	(4) 地下水	地下水の汚染拡大防止 遮水壁の方式検討	(保管/処理施設拡充計画にあわせてサブレンボンを復旧) / 遮水壁の設計・着手	地下水の汚染拡大防止 遮水壁の構築	地下水の汚染拡大防止 遮水壁の構築	
	(5) 大気土壌	飛散防止剤の散布	飛散防止剤の散布(継続)	飛散抑制	飛散抑制	飛散防止剤の散布
		瓦礫の撤去・管理	瓦礫の撤去・管理(継続) 原子炉建屋カバーの設置(1号機)☆ 瓦礫撤去(3,4号機原子炉建屋上部) 原子炉建屋コンテナの検討 格納容器ガス管理システム設置	瓦礫の撤去/カバーの設置(3,4号機) 原子炉建屋コンテナの設置作業開始 格納容器ガス管理システム設置	瓦礫の撤去・管理	
III. 除染	(6) 低減・公表	発電所内外の放射線量のモニタリング拡大・充実、公表	本格的除染の検討・開始	除染	環境モニタリングの継続 除染の継続	
IV. 対策等	(7) 他	余震・津波対策の拡充、多様な放射線遮へい対策の準備 (4号機燃料プール)支持構造物の設置☆	各号機の補強工事の検討☆	放射線 拡大防止	多様な遮へい対策の継続 各号機の補強工事	
V. 環境改善	(8) 生活・医療	作業員の生活・職場環境の改善	放射線管理・医療体制の改善	作業員の生活・職場環境改善	放射線管理・医療体制改善	
		要員の計画的育成・配置の実施	要員の計画的育成・配置の実施	要員の計画的育成・配置の実施		
中長期的課題への対応			中期的安全確保の考え方 中期的安全確保に基づく施設運営計画の策定 中長期ロードマップ作成		施設運営計画に基づく対応	

# 冷却の安定化に向けた道のり

## (1) 炉心冷却

### □ 海水から淡水への切り替え

- 坂下ダムから濾過水タンクまでの系統の復旧

### □ 冷却に有効な注入系統の試行錯誤・・・給水系、ECCS、CRDなど

- バイパス漏洩対策・・・弁操作、シュラウド内外の選択など
- アクセス可能な系統・・・高線量下(除染)、瓦礫、内側隔離弁の無い系統
- デブリ冷却の有効性・・・デブリの位置不確定、計測器の問題

### □ 格納容器への窒素充填系の設置

- 蒸気分圧低下に伴う水素分圧上昇抑制

### □ 汚染水処理システムの完成

- 注入水量に比例して汚染水が増加
- 地下水の浸入

## (2) 使用済み燃料プール

### □ コンクリート充填車によるプールへの放水

- 爆発と被曝のリスク下での放水作業

### □ 海水から淡水への切り替え

- RO膜による塩分除去

### □ 使用済み燃料プール冷却系の復旧

- 高線量下、瓦礫の中での作業

### □ 4号機プールの補強

# 放射性物質の系外放出抑制の道のり

## (1) 滯溜水(汚染水)の抑制

### □ 格納容器から流出する汚染水の閉じ込め

- 貯蔵タンクの増設
- 雨水の系外放出(1回だけの緊急措置)

### □ 汚染水処理システムの完成

- 処理後のスラッジの増加
- 地下水の浸入による汚染水増加・・・遮水

### □ 格納容器の止水対策

- 格納容器の漏洩箇所の特定と止水方法の検討・・・漏水場所の特定困難

## (2) 大気への漏洩・拡散の抑制

### □ 瓦礫からの飛散抑制

- 飛散防止剤の散布
- 瓦礫の片付け

### □ コンテナの設置

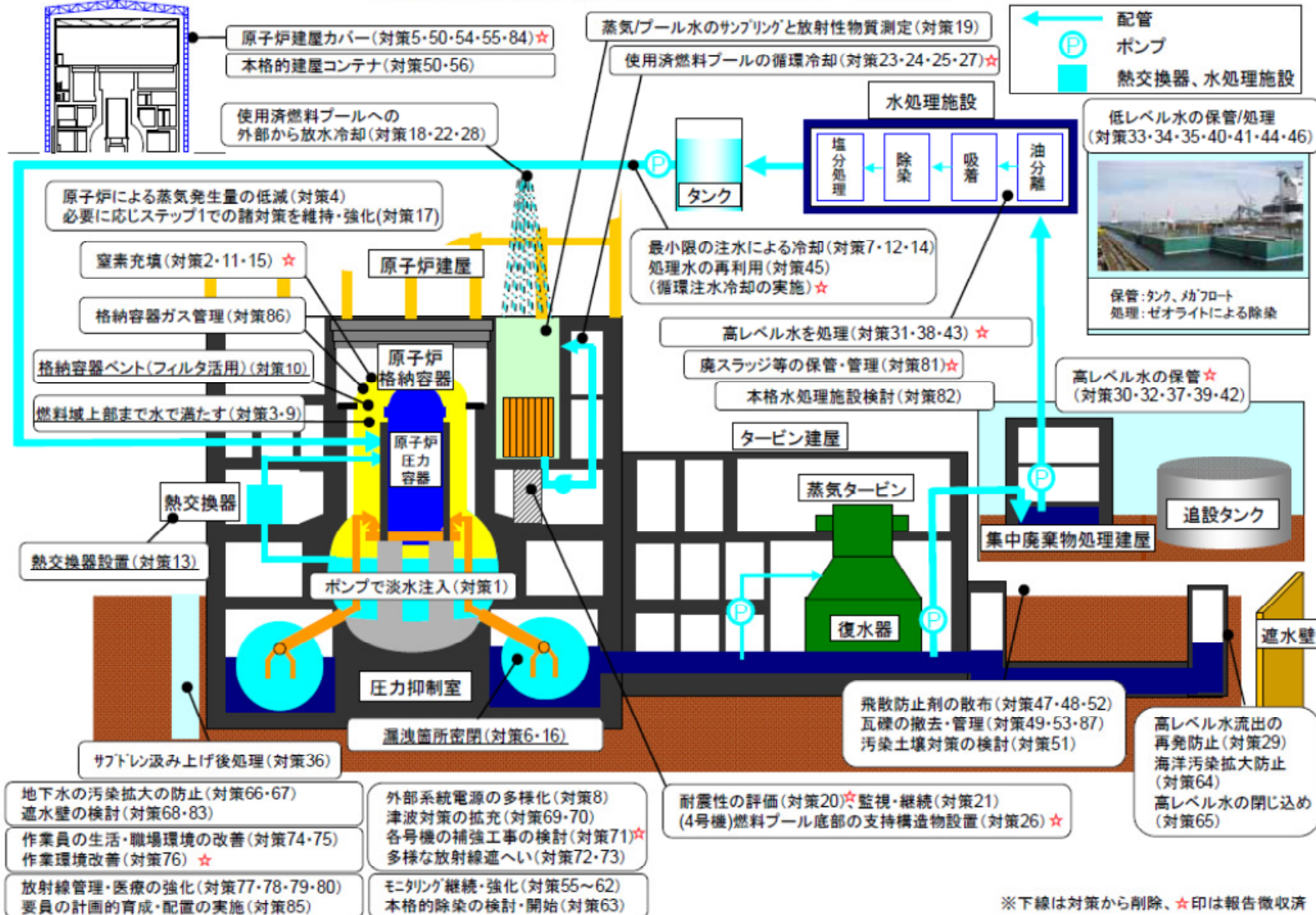
- 1号機は設置、2号機は原子炉建屋の復旧

### □ 格納容器の負圧システム

- フィルターを通して格納容器雰囲気気を排気することで漏洩をコントロール
- 格納容器内の雰囲気状態を確認・・・FP濃度、残留水素濃度

# プラント安定化の対策の概要

発電所内における主な対策の概要図 最終版



※下線は対策から削除、★印は報告徴収済





### 3. 福島の教訓と対策

# 福島事故の要約

- 福島第一発電所のプラントは、既にAM対策も整備されており、現時点で世界水準の安全レベルを達成していた。
- 今回の事故は、地震後約40分後に襲った設計想定を超えた津波により、全交流電源事象と最終ヒートシンク喪失を同時に引き起こしただけでなく、AM対策設備を含む多重、多様に用意していた設備のほとんどが全滅したことによるものである。
- 特に、直流電源の喪失、メタクラ/パワーセンターの浸水、全ての低圧注水手段の喪失は、あらゆる回復操作を阻むものだった。
- 低圧注水手段を長期間喪失していたために、原子炉の減圧ができずに炉心損傷を引き起こしただけでなく、格納容器の過温破損による土壌汚染を招いてしまった。

# (1) 福島第二2号機の事象進展と運転操作(冷温停止成功例)

地震スクラム後、津波到達

- 3/11 15:22 津波が到達し、海水系水没。最終ヒートシンク喪失状態となった。
- 非常用DGは水没したものの、外部電源は維持。電源盤の一部、直流電源は被水を免れた。

① 高圧注水系による炉心冷却

- 海水系水没による冷却機能喪失により、復水器での主蒸気凝縮ができないため、主蒸気隔離弁を全閉し、  
3/11 15:43 原子炉隔離時冷却系(RCIC)を手動起動。
- 以降、RCIC起動停止を適宜行い、原子炉水位を維持。

② 原子炉压力容器(RPV)減圧

- 外部電源が使用できたことから、復水補給水系(MUWC)のラインナップが可能であった。
- 3/11 15:41 逃がし安全弁(SRV)の手動開閉によるRPV減圧を開始。
- 以降、SRVの手動開閉を適宜行い、低圧注水が可能なる圧力までRPV圧を徐々に減圧。

③ 低圧注水系による炉心注水(代替策含む)

- 3/12 4:50 MUWCによる代替注水を開始。  
(本来使用する残留熱除去系(RHR)は、海水系水没により使用できず)

④ PCV冷却

- 圧力抑制室(S/C)温度が100℃を上回ったため、3/12 6:30 純水補給水系によるS/C冷却を開始(7:52停止)。
- 3/12 7:11 MUWCによるPCVスプレイを開始(以降、適宜実施)。

⑤ 原子炉除熱

- 所外からヘリコプターで輸送した仮設ケーブルを敷設し、海水熱交換建屋の電源を復旧。
- RHR冷却系海水ポンプの電動機、冷却水ポンプの電動機等の配電盤が使用不能であったため、他の配電盤から仮設ケーブルにより給電を実施。3/14 7:13 RHR(B)が復旧し、S/Cの冷却を開始。
- 3/14 10:48 RHR(B)により原子炉注水を開始。

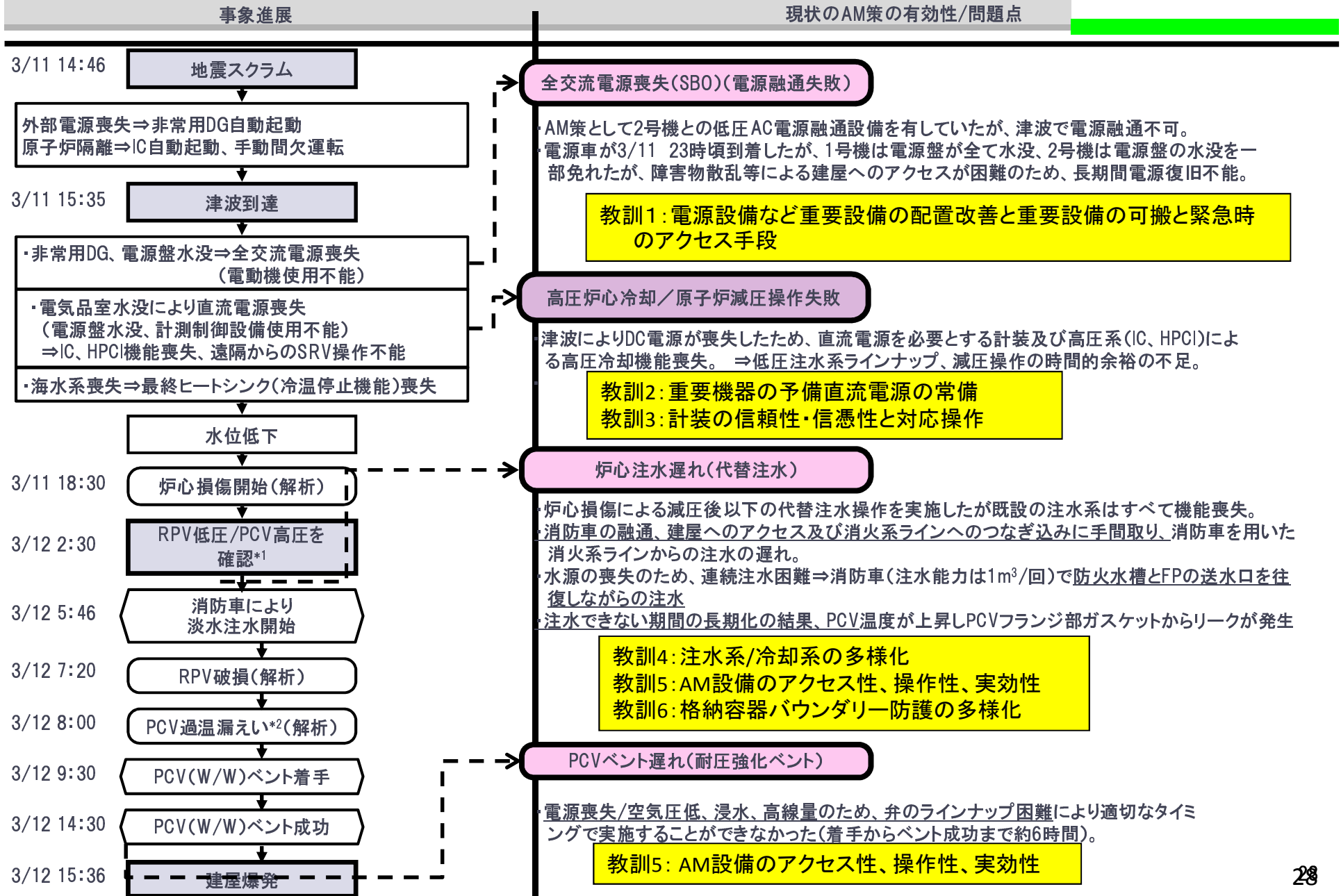
原子炉冷温停止

(3/14 18:00 原子炉水温度100℃未満)

参考

1号機: 海水系設備の一部は、モータ洗浄したが再使用できなかったため、三重県から自衛隊の輸送機で運び交換。  
4号機: 柏崎刈羽原子力発電所から陸送したモータと交換。

## (2) 1F-1の事象進展と現状のAM策の有効性/問題点



# 教訓1：電源設備など重要設備の配置改善と重要設備の可搬と緊急時のアクセス手段

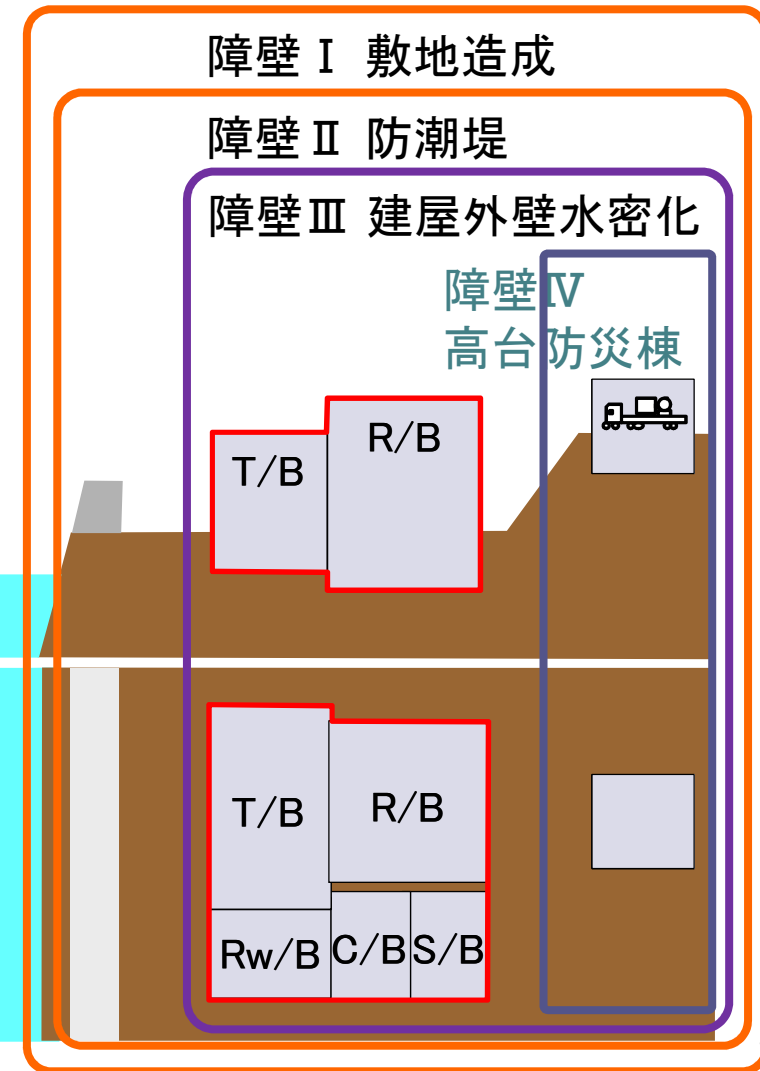
- 津波に対しては、可能な限り高位置に重要機器を配置すること及び水密化は有効
- しかし、給排気口の存在や過大な水撃力により完全な防御は困難



給排気口や扉、貫通口などから浸水の可能性

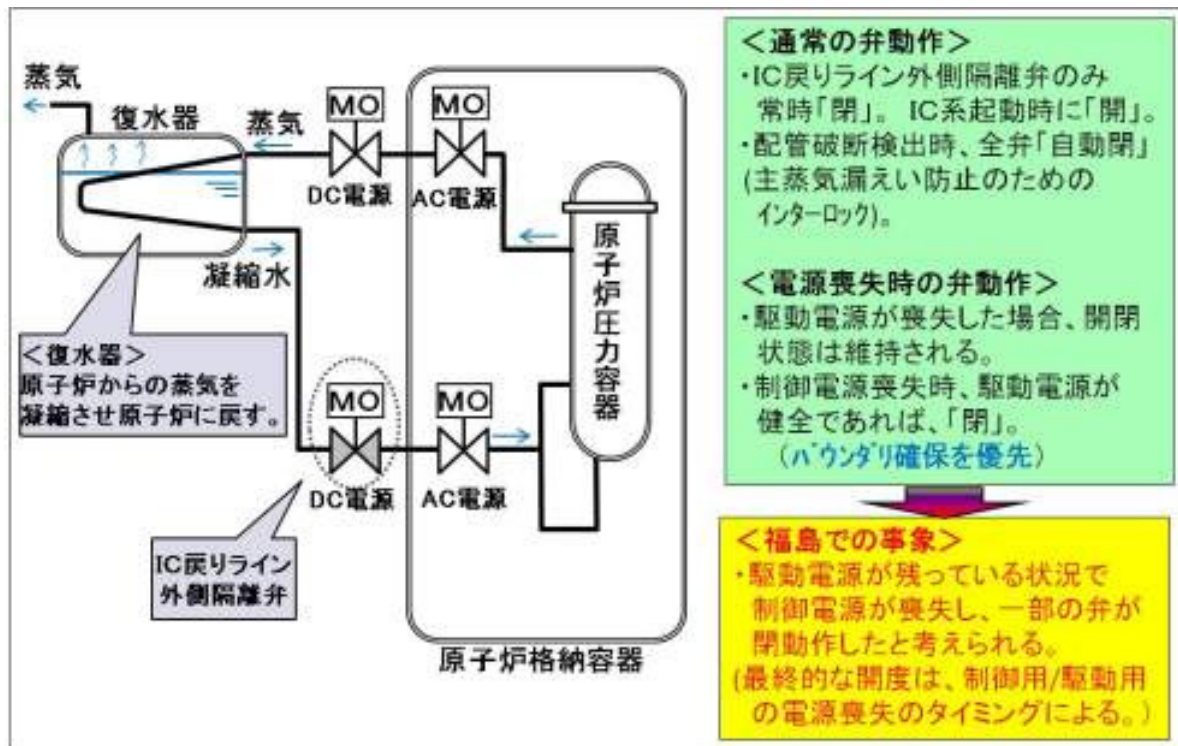


- 想定高さを超えた津波やその他の外部リスクに対しては、別の場所からの可搬もしくは仮設による復旧対策が必要
- 電源車、電源盤、注水系などの高台や防災棟(完全水密建屋など)に常備
- 緊急時のアクセスのために、緊急取り付け口の確保とアクセスルート作成のための重機の常備



## 教訓2: 重要機器の予備直流電源の常備

- 非常用復水器(IC)は原子炉隔離時の冷却設備として設置されており、機能喪失時はHPCIや原子炉減圧から低圧注水系に役割を移行することが現行の設計⇒一次系の隔離機能を優先して隔離弁をフェイルクローズに設定
- 過酷事故(SA)までICの機能を期待した場合は、隔離弁のフェイルオープンの選択もあるが、設計基準事故時のバウンダリー機能確保をどのように担保するかが課題
- やはり、ICは原子炉隔離までの機能としてSAでは別途隔離弁を手動もしくは自動開の手段(予備の直流電源の常備)を追加するべきではないか。



## 教訓3：計装の信頼性/信憑性と対応操作

### ■原子炉水位、圧力、温度などのAM実施上必要な計装の信頼性/信憑性が重要

- DC電源喪失時のバックアップ⇒小容量でも迅速さ
- 計測器の適用レンジの拡大と環境条件の見直し⇒設計条件での精度とSA時の精度要求の違いを考慮

### ■信憑性を確認する別の手段を確保することは重要

- 嘘をついている計測器を見抜くことの難しさ⇒棄却の判断ができるだけでも十分

### ■信憑性が無いと判断した場合のAM手順と訓練が重要

- 計測不能な状態でのAM手段を充実

## 教訓4：注水系/冷却系の多様化

- 水密強化やプラント配置の対策は重要だが、設備設計の条件を超えた「想定外」での機能喪失も考慮
  - プラント外からの救援/支援も含めた多様化
  
- 水源まで含めて機能維持の達成も考慮
  - サイト内、サイト外からの水の融通を含めた水源の多様化
  
- 常設の設備も設計想定を超えると機能喪失の可能性も考慮
  - 常設の設備だけではなく仮設の設備も含めた多様化
  
- 想定外の事態でも対応することも考慮
  - 多様なシナリオに対応できるようなAM設備と手順
  - 想定外の場合でも炉心注水、格納容器注水を実行できるような柔軟性のあるAM設備と手順



# 教訓5: AM設備のアクセス性、操作性、実行性

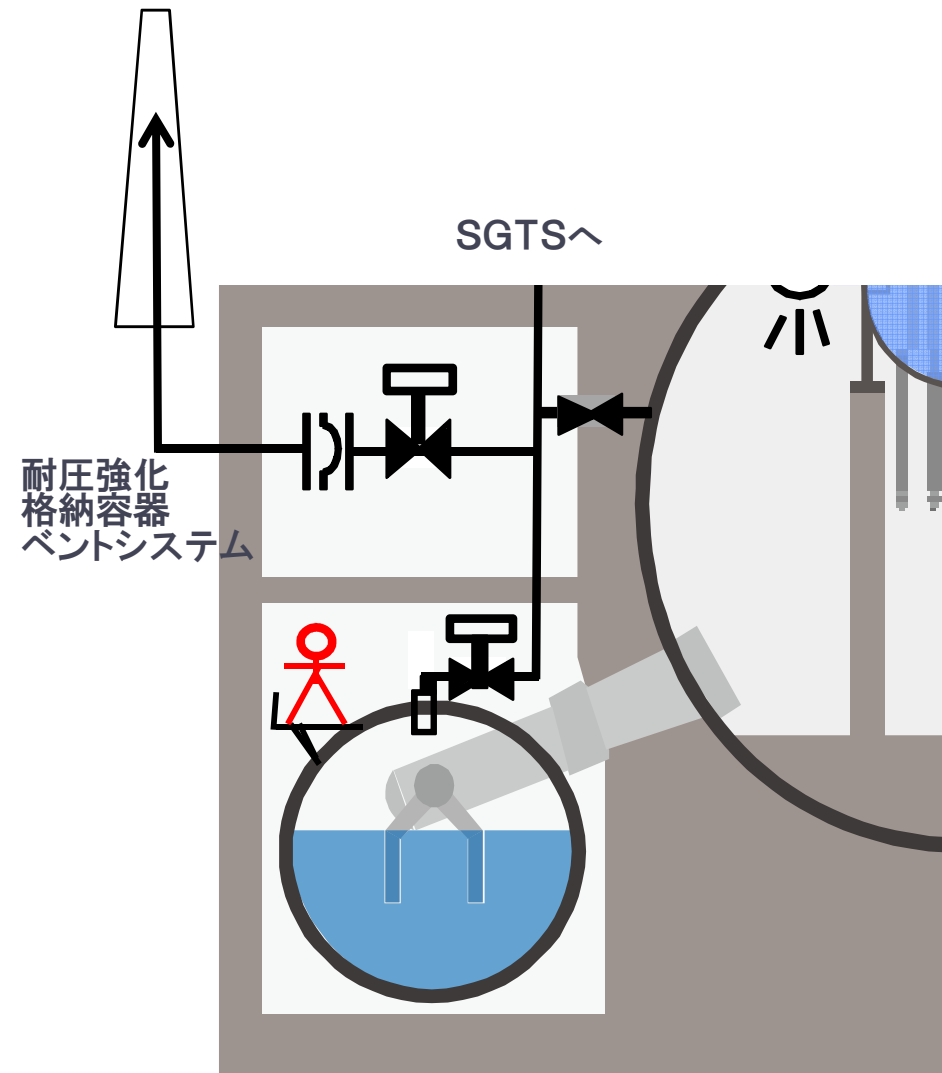
## WWベント弁のアクセス性とラプチャーディスクの問題

### ◆ アクセス性と操作性の問題事例

- ・WWベント弁がバウンダリー近傍に設置していたために、手動開実施する上でアクセスと操作に困難
- ・外部から注水実施時に繋ぎこみ先へのアクセスが困難
- ・外部から注水のバイパスがあり、炉心への有効な注水に遅れが発生

### ◆ 実効性の問題事例

- ・ラプチャーディスクは誤操作によるバウンダリー機能喪失を防止するために設置していたが、タイムリーなWWベント実施の障害



# アクセシビリティ, 操作性, 実行性の改善

## ◆アクセシビリティの改善例

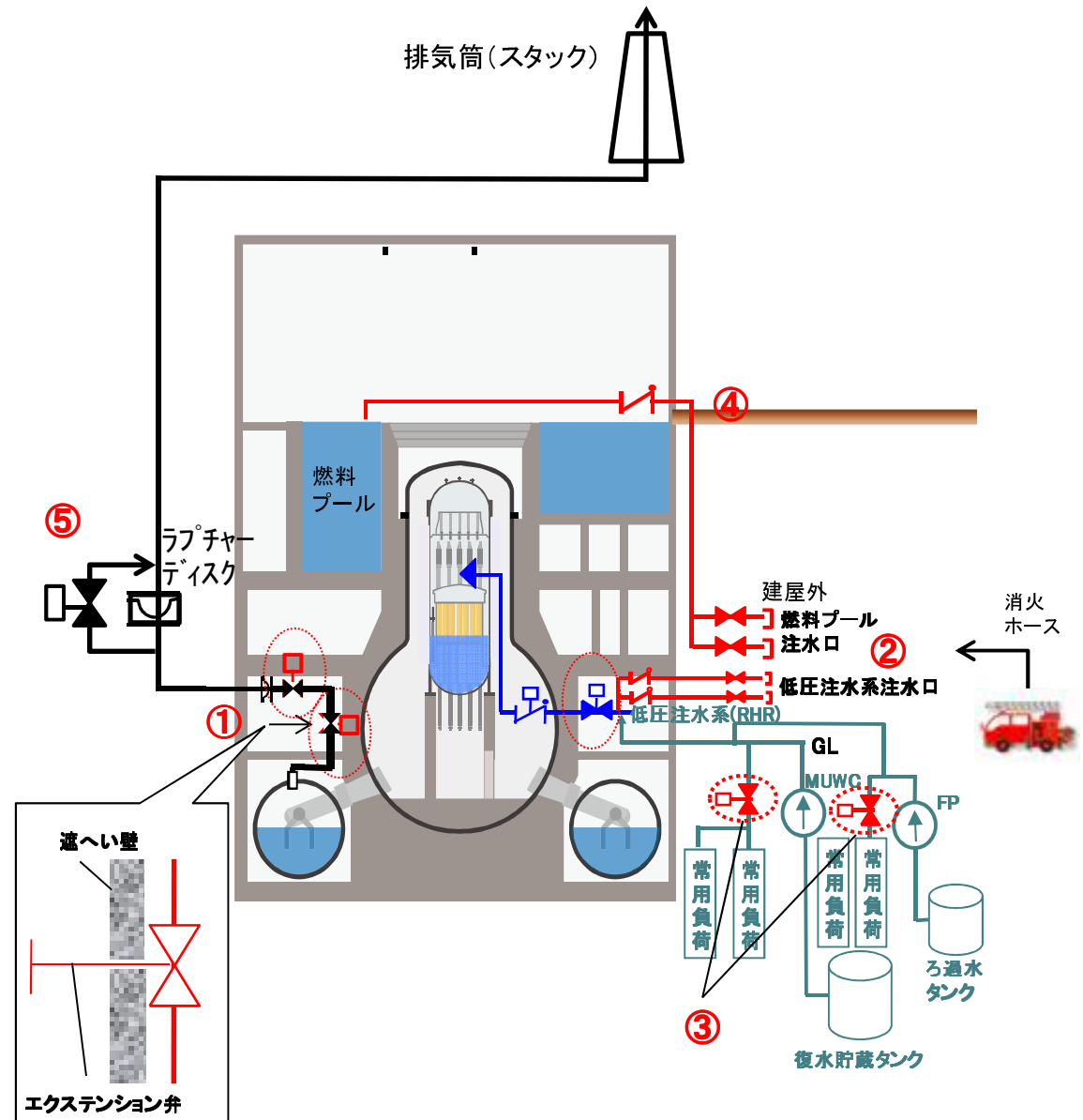
- ① 遠隔手動ハンドルを追加により, 操作時の被曝を低減
- ② 代替注水の注水口の分散配置により, 容易に接続可能な構成

## ◆操作性の改善例

- ③ 常用負荷への隔離弁追設により, 容易にバイパス対策可能な構成
- ④ 燃料プールへの代替注水専用ライン追設により, 容易に注水可能な構成

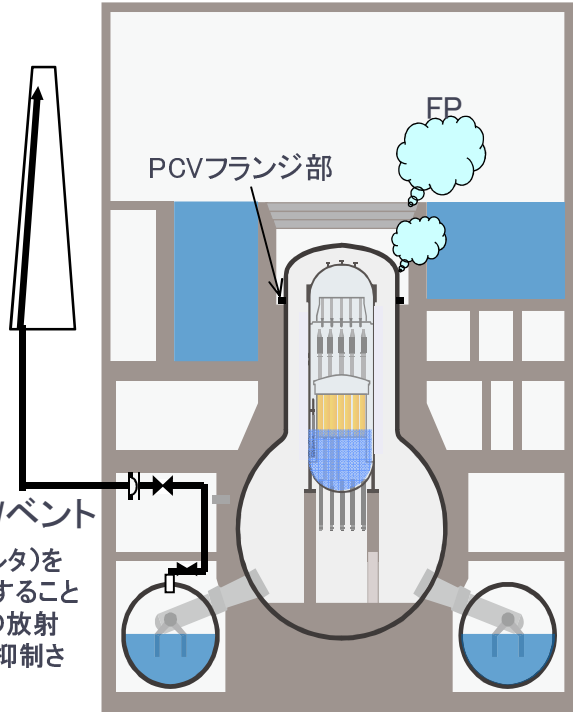
## ◆実行性の改善例

- ⑤ ラプチャーディスクをバイパス可能な構成もしくはラプチャーディスクの削除

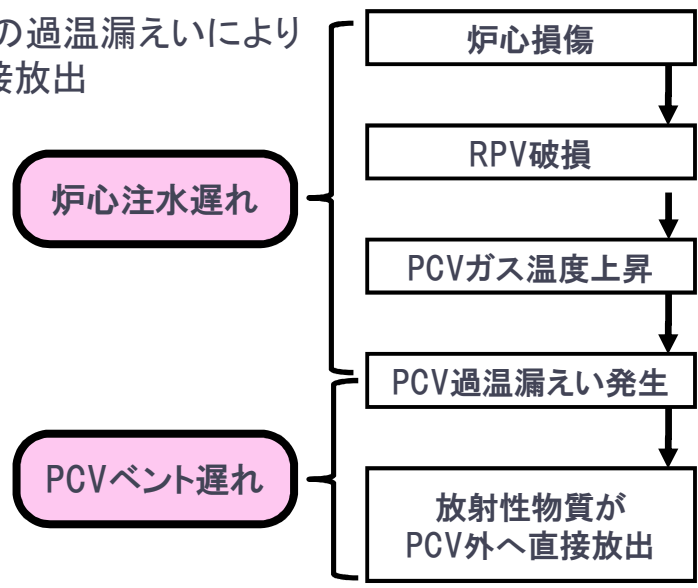


# 教訓6: 格納容器バウンダリー防護の多様化

## 事象進展

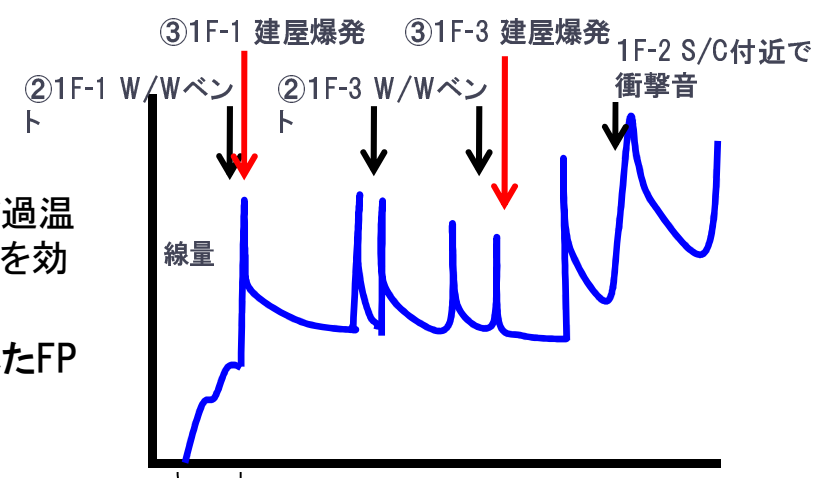


PCVフランジ部等の過温漏えいにより放射性物質が直接放出



### ● 福島第一サイトのW/Wベントの状況

- 代替注水遅れ及びPCVベント遅れにより、ベント前にPCV過温リークが発生し、W/Wベントによる放射性物質放出抑制を効果的に実施できなかった可能性が高い。
- バックグラウンド上昇の主要因は、R/Bに直接放出されたFPが建屋爆発により環境へ放出されたものと考えられる。



①W/Wベント以前からバックグラウンドの上昇	②W/Wベント時の線量の影響は確認できない。	③1F-1/1F-3建屋爆発以降にバックグラウンドが上昇
------------------------	------------------------	------------------------------

# 福島事故の教訓に基づく今後のあるべき姿

- 設計を超える過酷事故のリスクを認識してAM(アクシデント・マネジメント)を整備していたが、福島ではその想定を超えた事態を経験
  - 想定を超える事態(想定外)に対する安全確保の考え方が必要
  - 事態に応じた的確な判断と指示、実行をする体制と教育、訓練が必要
- 特に、福島事故のようなサイト全体に被害が及ぶような事態には、プラントの設備対策とAMでは限界
  - オンサイト、オフサイトを含めた多重、多段の安全確保の考え方が必要
  - 「誰が何時までに何をするのか」を平時より明確にして「備え」を怠らないことが必要
- AM設備も想定外の事態において不十分な働き
  - 様々な場面に対して実行性、操作性のあるAM設備が必要
  - 初動を的確に実行するためには、計測の信憑性を確認する手段が必要

# 想定外も含めた安全確保の体制(案)

## (1) 事故のレベルに応じた多重、多様な安全確保体制

- 事故の発生防止～炉心損傷防止までは、個々の事業者による安全確保
- 炉心損傷に至った場合、個々の事業者だけで事態を収束できなくなる可能性が高くなるため、事業者だけでなく行政も含めた多面的(機材、情報共有体制、連携活動訓練など)な安全確保体制

## (2) 緊急事態に備えた規制の整備

- AMに適した設備を速やかに導入できる規制体系
  - 柔軟な運用を前提とした合理的な規制
  - 迅速な導入ができる審査プロセス
- 緊急時と平時の適切な基準の使い分け
  - 従業員の被曝限度
  - 管理区域からの雨水の放出

# 安全確保のための戦略的展開の考え方(案)

プラント状態 対応状況	LEVEL1 (通常時)	LEVEL2 (過渡事象時)	LEVEL3 (DBA)	LEVEL4 (シビアアクシデント対応)	LEVEL5 (放射性物質の重大な放出の放射線影響の緩和)
対策	プラント安全設計			プラント内AM	オンサイトAM オフサイトAM
設備	プラント常設			サイトに常設	サイトに常設 サイト外に常備
実施責任	運転員(中操)			オン/オフサイト緊急対策室	オン/オフサイト緊急対策室
対応主体 (実施体制)	電力事業者			電力事業者	電力事業者+行政



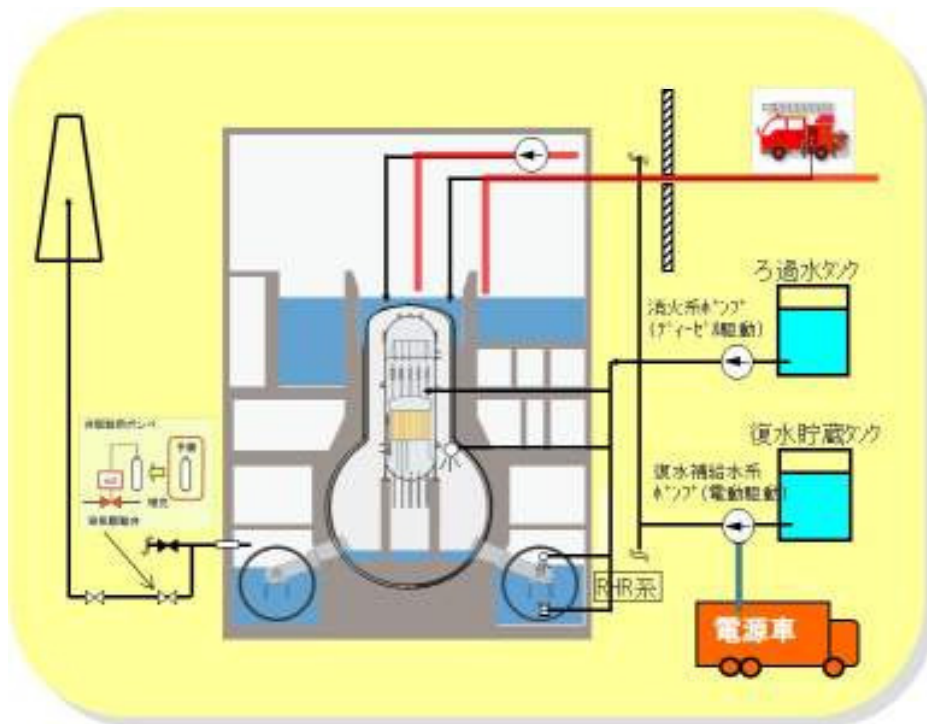
**オフサイトセンター(例)**

- 必要機材を共有し、行政と事業者が連携しながら搬入(~1日)
- 事業者間、サイト間の連携支援

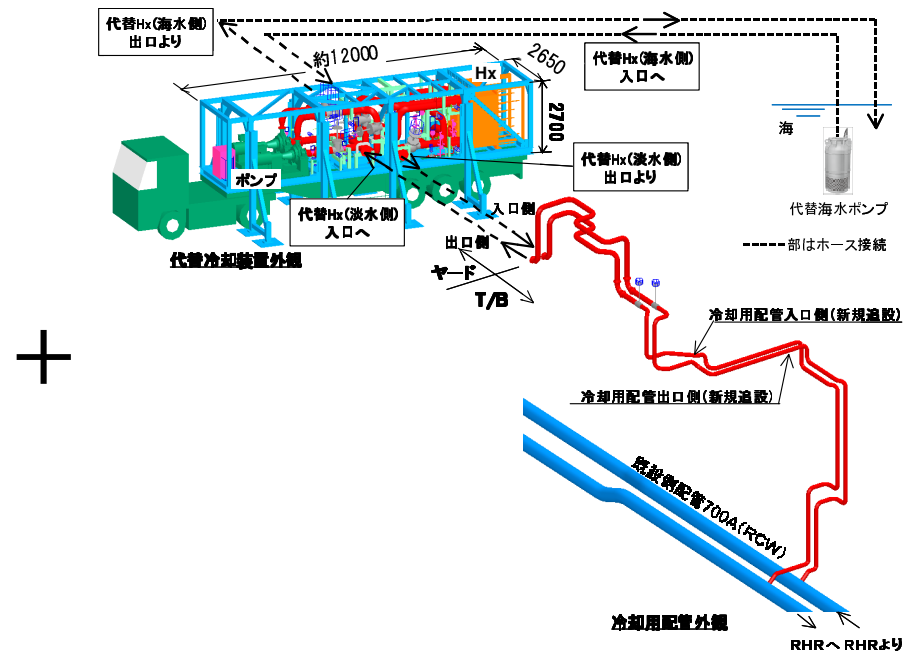
# オンサイト、オフサイトを含めたAM

- 設計基準事故を越えた事故に対しては、これまでのAMを実行性のあるものに改善することが重要
- 加えて、自然災害などの外的リスクに対してはプラント外からの救援を迅速に行う手順、体制が重要(プラント内、オンサイト、オフサイト各段階での多様なAM)

## 既存AM設備と手順の改善



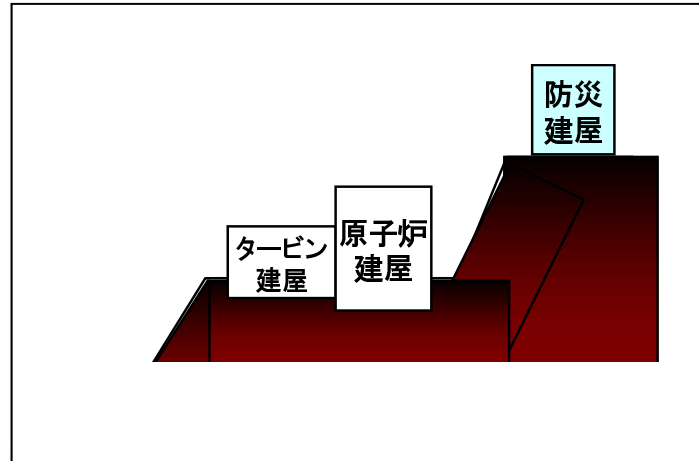
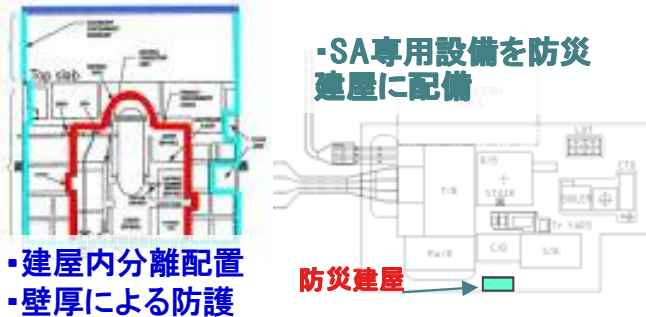
## プラント外からの救援体制



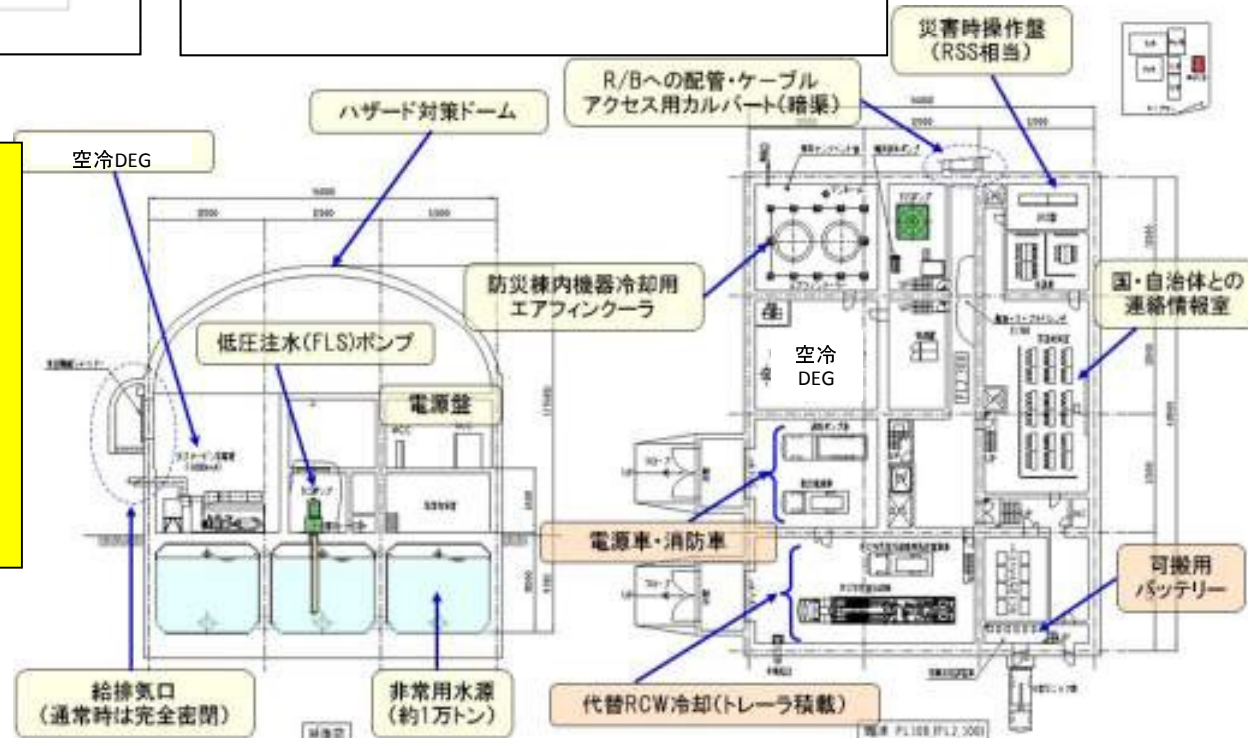
# 中長期的オンサイトAM対策

□中長期的は、従業員のリスクと負荷の低減をはかったAMに改善して行く努力が重要

- ▶津波対策
- ▶海外規制対応:航空機衝突・火災防護対策



- 如何なる災害においても最後まで機能を保持する防災建屋(通常時開口部無しなど)
- AMに必要な予備品などの保管
- 災害時の前線基地





## 4. まとめ

□福島第一発電所のプラントは初期のBWRではあるが、2000年のAM対策を入れて設計を超えた事態に対する対応も考えてきた。しかしながら、昨年の福島事故はプラント全体を飲み込む規模の津波を経験して、当初想定していた範囲を大幅に超えた事態になってしまった。

□設備の設計には想定が必要であるため、「想定外」を無くすためにはプラント設計の強化の繰り返しではなく、プラント外からの支援を前提としたアクシデントマネジメント対策が必要である。

- ◆プラント内、サイト内、サイト外からの多段、多層なマネジメント体制とこれを有効にするための対策設備
- ◆上記のマネジメント設備に対する適正な設計の考え方と許認可ルール
- ◆緊急時の意思決定を含む教育と訓練