

# 福島第一原子力発電所事故の経過と教訓

## および

# 柏崎刈羽原子力発電所の安全対策について

# I. 福島第一原子力発電所事故の経過と教訓

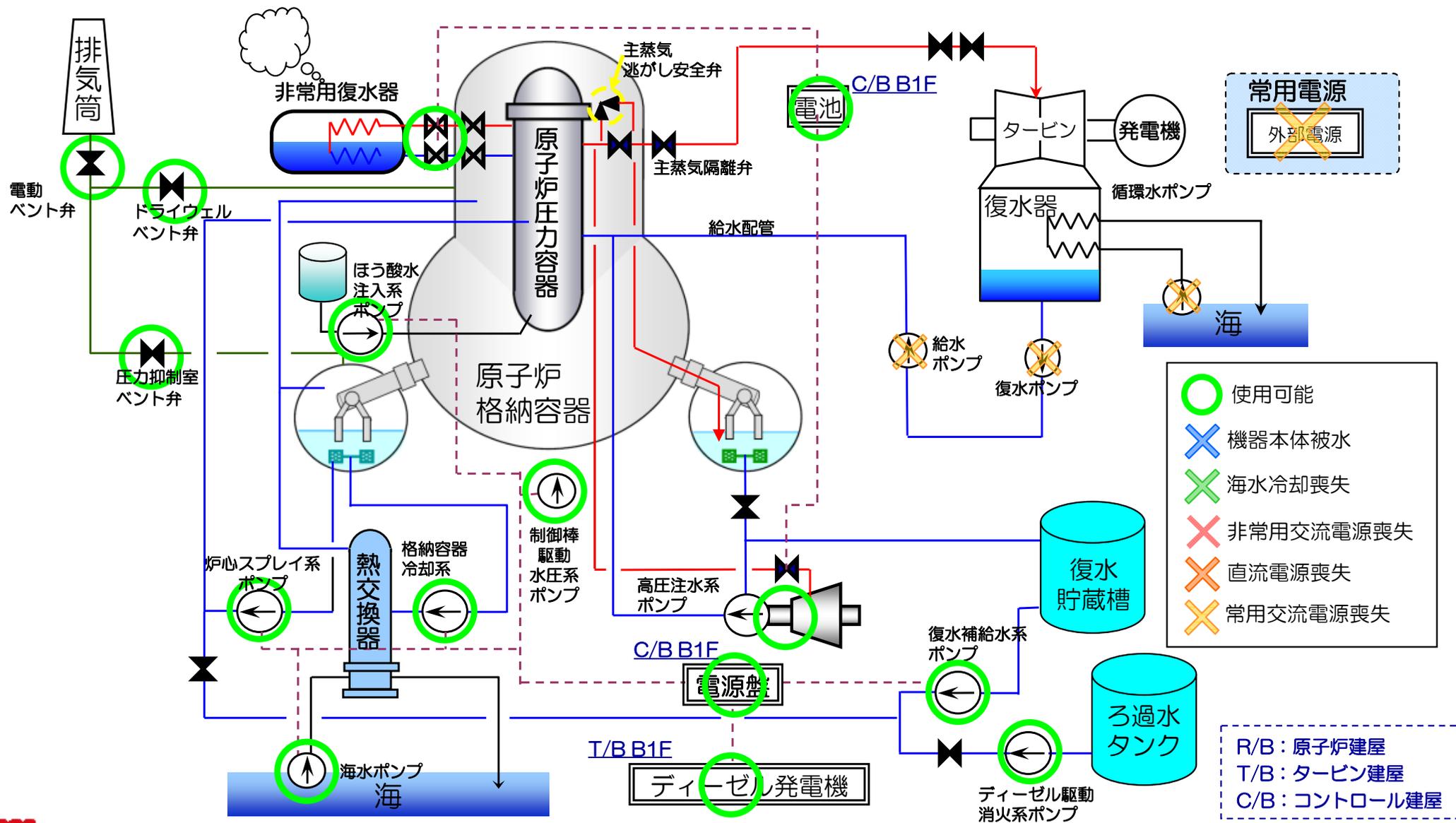
日付	時間	原子炉制御	格納容器制御	
平成23年 3月11日	14:46	地震による原子炉スクラム		
	14:47	非常用ディーゼル発電機自動起動	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉自動停止（自動スクラム）</li> <li>タービン・発電機停止</li> <li>主蒸気隔離弁閉止</li> <li>外部電源喪失</li> </ul>	
	14:52	非常用復水器自動起動		
	15:03	非常用復水器手動停止 → 待機状態		
	15:10		圧力抑制室冷却開始	
	※ 第一波	15:27	津波の影響で操作ができなくなる15:30過ぎまで非常用復水器A系の戻り配管隔離弁3Aを操作し、手順書に定める通り原子炉圧力を約6～7MPaの範囲で制御していた。	
	第二波	15:35	津波襲来時非常用復水器A系の戻り配管隔離弁3Aは閉であったため、原子炉が冷却できない状態に陥った	津波襲来
		15:37	非常用ディーゼル発電機A,Bトリップ → 全交流電源喪失	
		15:42	原災法第10条該当事象（全交流電源喪失：SBO）と判断	SBOにより格納容器除熱機能喪失
			<ul style="list-style-type: none"> <li>直流電源喪失</li> <li>直流電源（制御電源）喪失による隔離信号により非常用復水器機能喪失（想定）</li> </ul>	
		原災法第15条該当事象（非常用炉心冷却装置注水不能）と判断		
	16:36	原子炉水位低下		
3月12日	4:00頃	消防車による淡水注入開始	格納容器ベント実施（D/W圧力低下確認）	
	14:30	防火水槽の淡水には限りがあるため、淡水注入と並行して海水注入へ切替準備		
	15:36	水素爆発		
	19:04	消防車による海水注入開始		

- 3月12日 0時頃 D/W圧力が600kPaを超えている可能性
- 3月12日 9時04分 格納容器ベントを行う作業開始
- 3月12日 9時15分
  - ベントラインMO弁25%開
  - 現場のAO弁は高放射線環境下で手動操作できず
  - 仮設空気圧縮機を設置しAO弁を操作し、ベント操作実施

※津波の到達時刻は検潮計への到達時刻を示す。（以降の頁も同様）

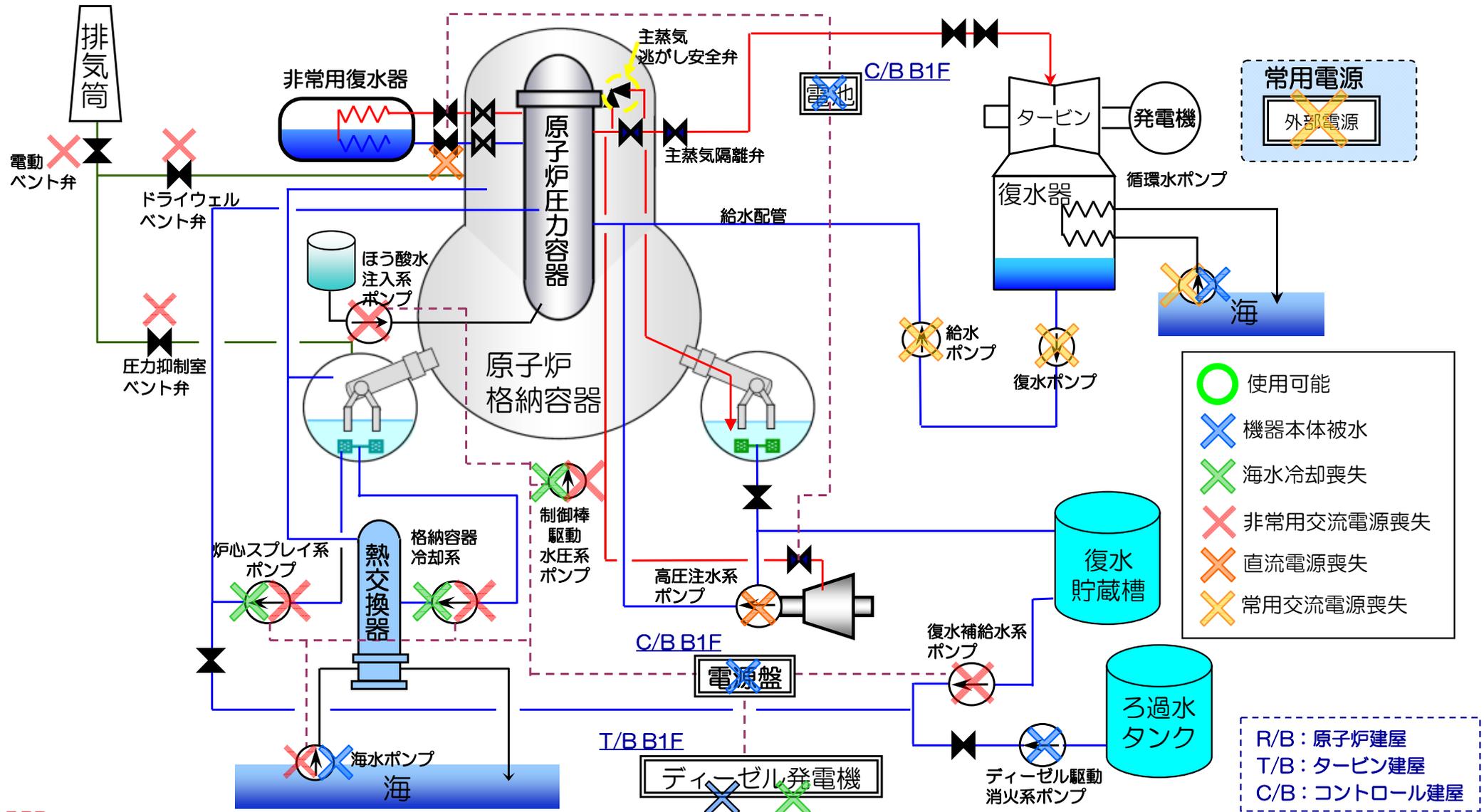
地震直後

地震によって外部電源が途絶え、常用系の給復水ポンプ類は停止。  
非常用ディーゼル発電機が起動し、全ての非常用機能は正常な状態。

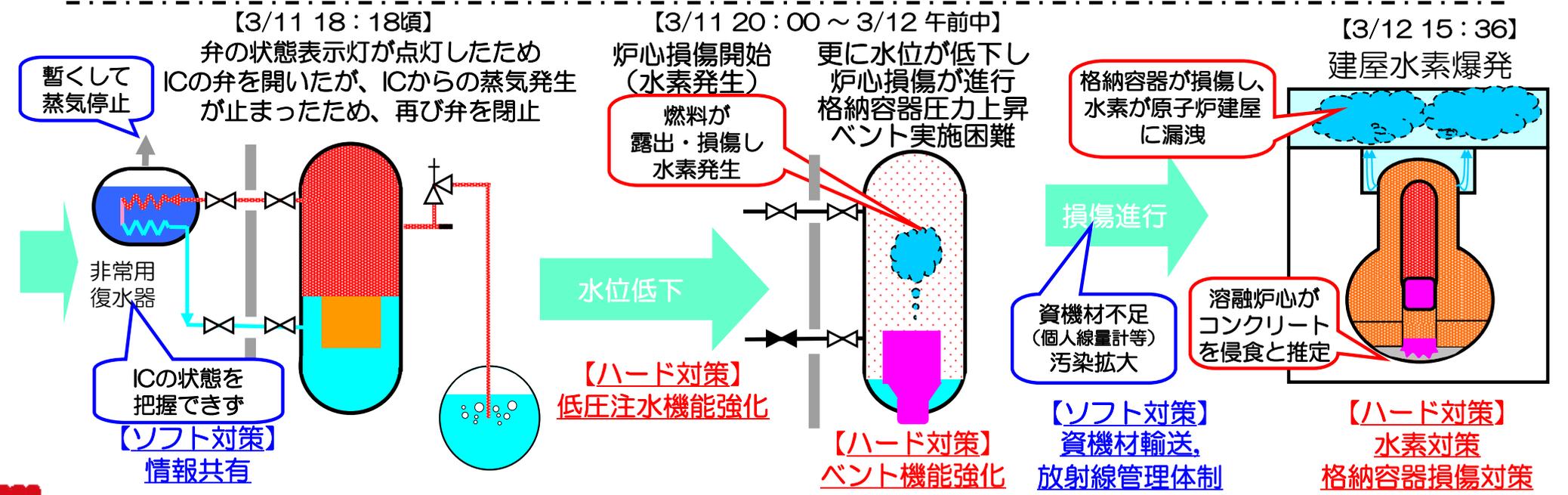
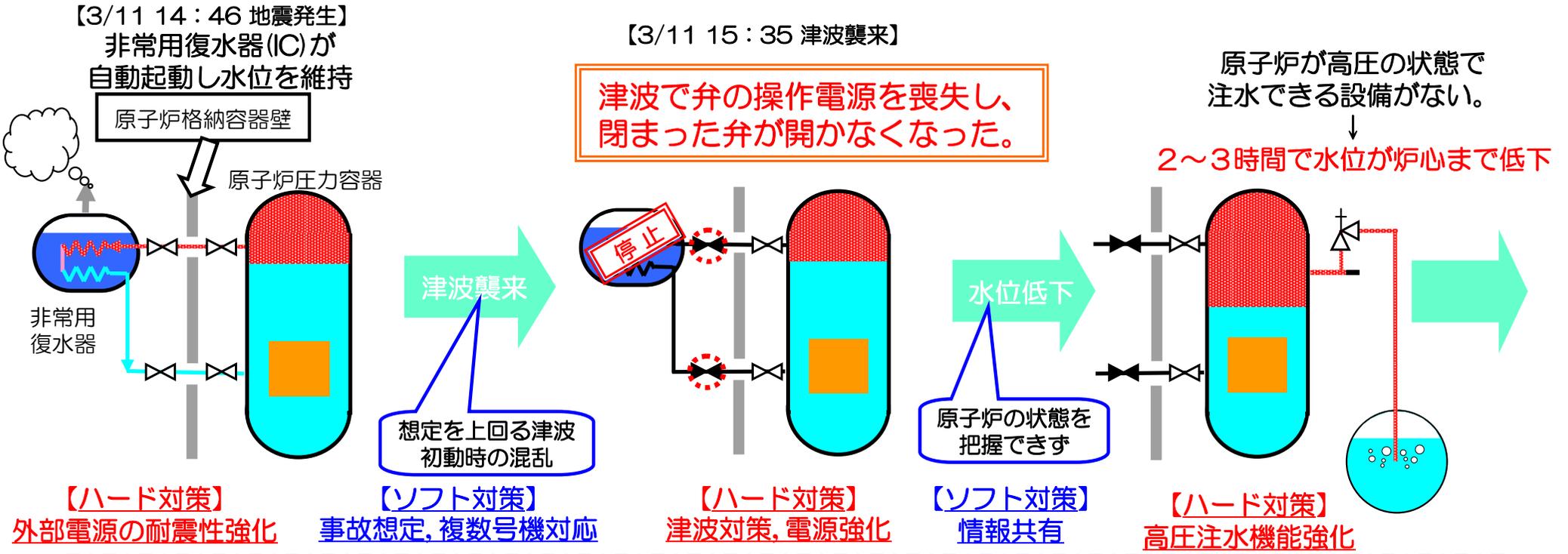


## 津波浸水後

海水ポンプが停止し、非常用ディーゼル発電機が停止。  
津波が建屋内に侵入し、電池や電源盤も機能を喪失。  
全ての計器類の表示、操作機能、照明が失われた。



# 1号機の事故の経過と必要な対策



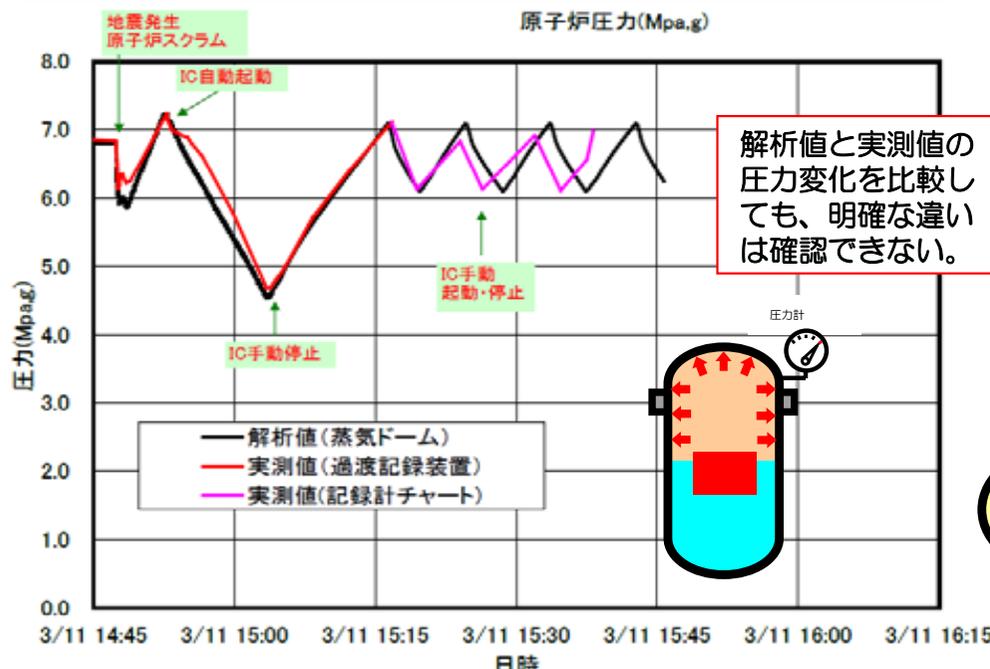
1F-1に対する地震時の影響について、「原子炉圧力解析」と「現場目視確認」を実施した。

## 原子炉圧力解析

### 国の意見聴取会での技術的知見

国による福島第一事故の技術的知見に関する意見聴取会では、 $0.3 \text{ cm}^2$ 以下の大きさの漏れ口が発生していたとしても、原子炉圧力容器の圧力に漏洩を確認できるような変化は起こらないと報告された。一方、 $0.3 \text{ cm}^2$ 程度の漏れ口が存在すると、10時間で数十t程度の水の漏えいが発生し、事故の進展に影響を及ぼす可能性があるとして報告されている。

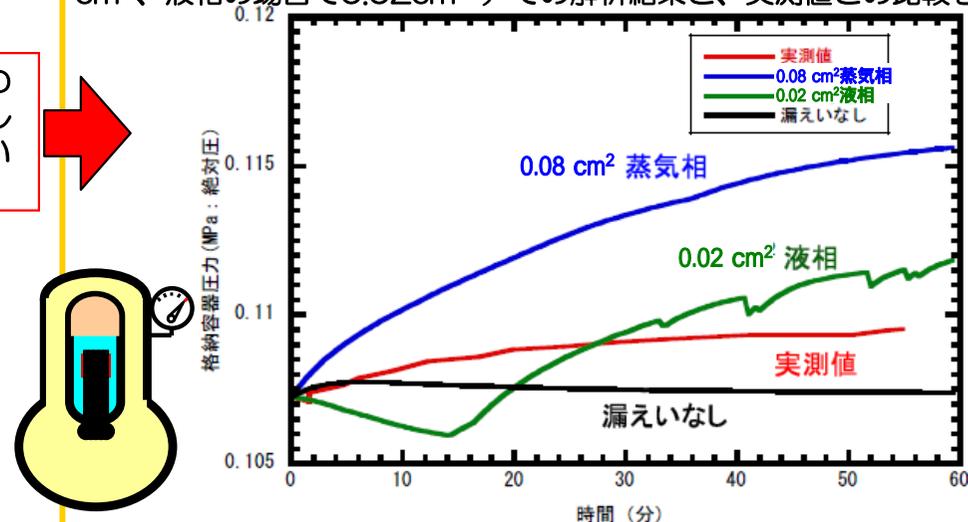
上記知見から $0.3 \text{ cm}^2$ の配管亀裂を仮定した場合の原子炉圧力のシミュレーションを実施。



出典：東京電力（株）福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会—配付資料（JNES）

### 格納容器の圧力に着目

保安規定において、格納容器内の原子炉冷却材漏えい率は $0.23 \text{ m}^3/\text{h}$ に運転上制限されていることから、 $0.23 \text{ m}^3/\text{h}$ 相当（蒸気相の場合で $0.08 \text{ cm}^2$ 、液相の場合で $0.02 \text{ cm}^2$ ）での解析結果と、実測値との比較を行った。



出典：東京電力（株）福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ—配付資料（JNES）  
（単位の一部を換算）

実測値（赤）は解析値（緑・青）の圧力推移を下回っている

仮に漏れ口が生じていたとしても、格納容器圧力変化から判断する限り、保安規定の許容漏えい流量を超える漏えいが発生した可能性は低く、事故の進展に影響はなかったと推定される。

## 現場目視確認例(1F-1 非常用復水器)

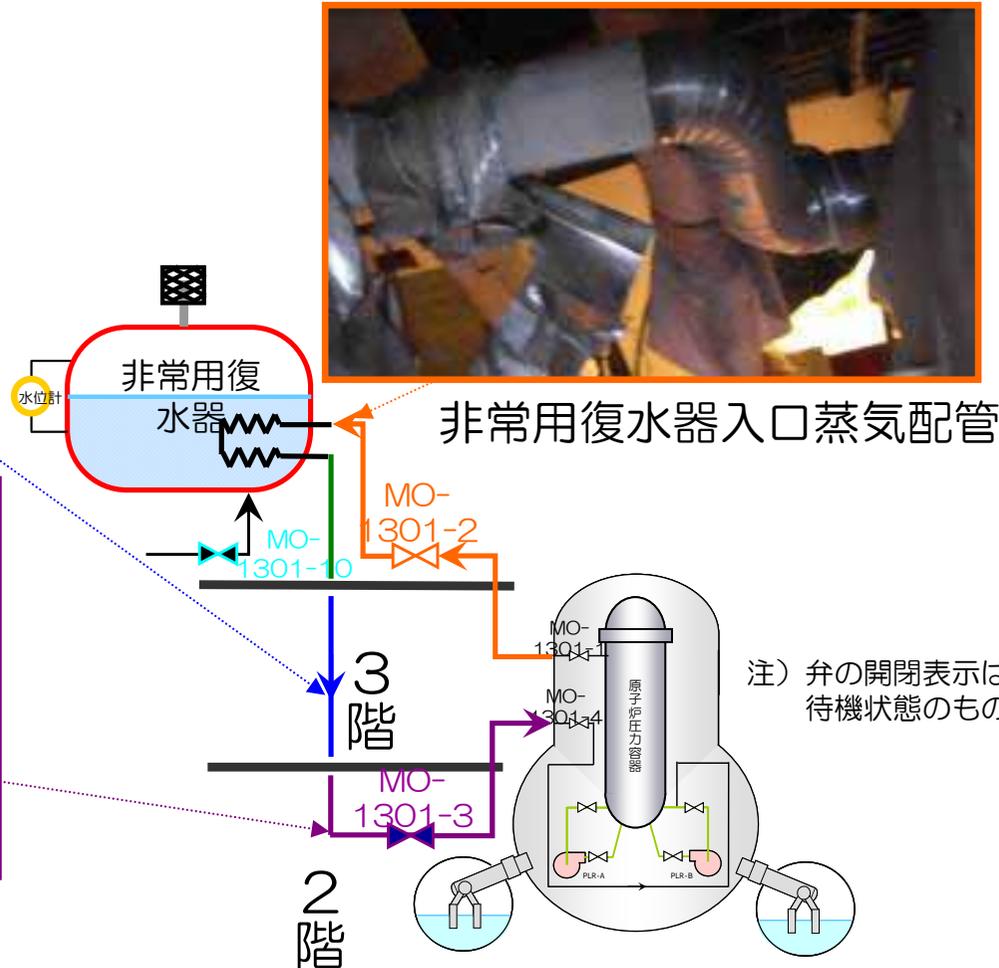
現場の目視確認を実施し、格納容器外側に、原子炉の冷却材喪失につながるような損傷は見あたらないことを確認。



非常用復水器(B)凝縮水戻り配管



非常用復水器(A)凝縮水戻り配管

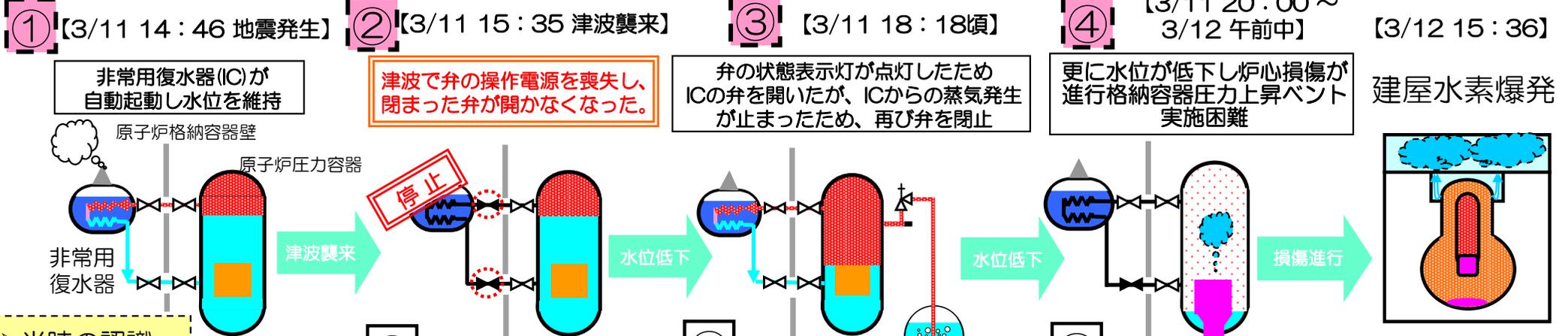


その他の  
現場目視確認場所

- 1F5, 6: 原子炉建屋、タービン建屋
- 1F1～3: タービン建屋
- 1F2: 原子炉建屋
- 1F1～4: 屋外設備

観測記録を用いた1～3号機の設備を対象とした地震応答解析結果、及び現場目視確認により、安全上重要な設備は地震後も必要な機能を保持していたと考える。

## MAAP解析結果による推定原子炉水位



## 当時の認識

① 訓練通りの冷温停止手順を実施

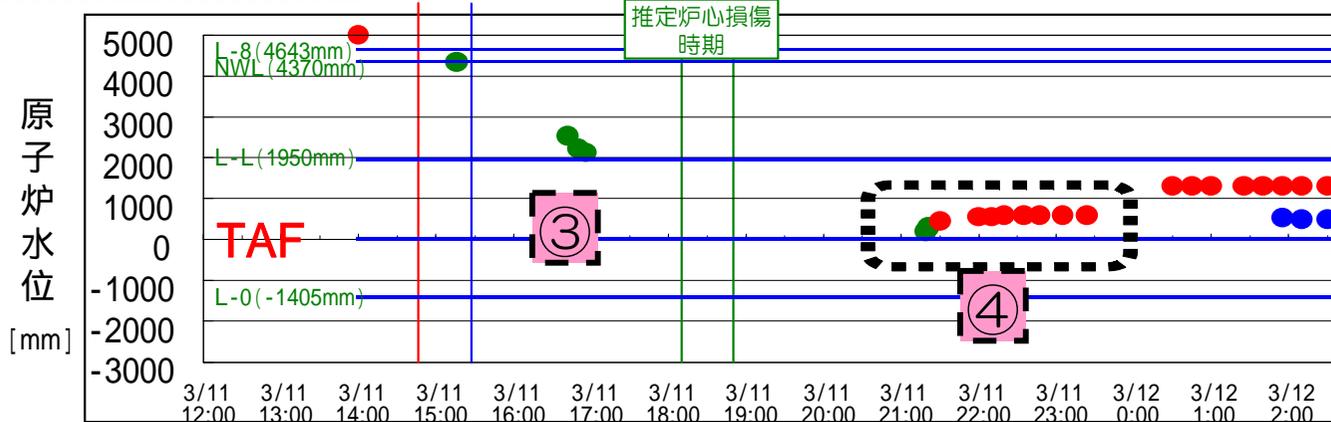
② 津波により原子炉水位等のパラメータが確認できなくなった

③ ICの蒸気発生が止まったためICの異常と考えICを停止。現場は高線量の為、未確認。

④ D/D FPの構成が完了したことから21:30にIC弁開操作を実施、起動

21:19の水位計はTAF以上を示し、D/D FP、ICの運転により、炉心を冷却できていると認識していた。

## 中央制御室指示値

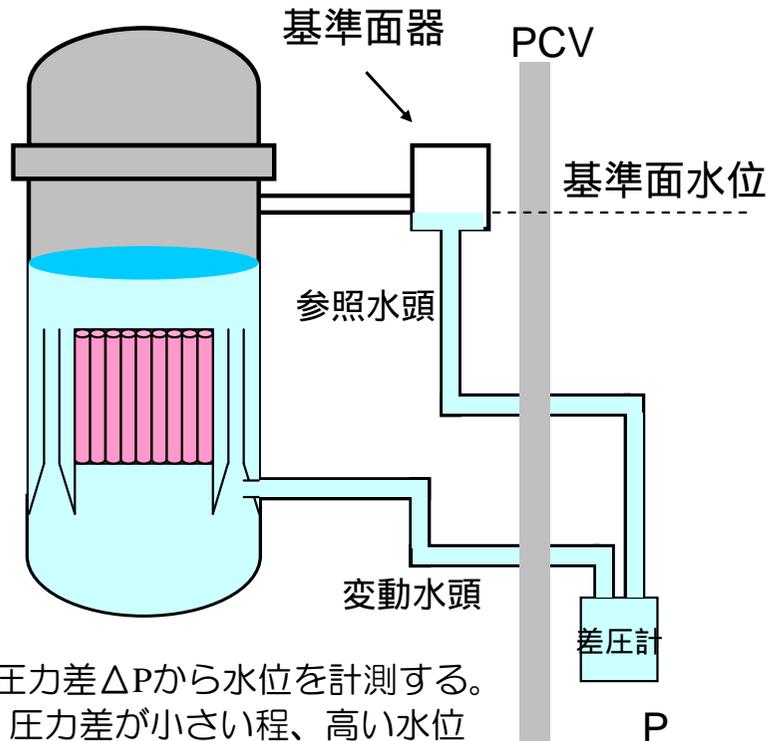


しかし。。。既に21時頃には原子炉水位は残り僅かであったと推定され、ICでの冷却はできておらず、炉心損傷が進行していた。

■ 既に21:19時点での原子炉水位計は、原子炉の外側に設置されていた基準水面が炉心損傷による環境温度上昇により蒸発し、正確な差圧が計測ができず、差圧がないことで、見かけ上の高い水位を示していたと考えられ、当時関係者はドライウェル圧力計が復旧する時間 (3/11 23:50) まで、炉心は健全と思っていた。

原子炉内の水位は、原子炉内の水頭と隣接する基準面器の圧力差によって計測する。

通常時の状態

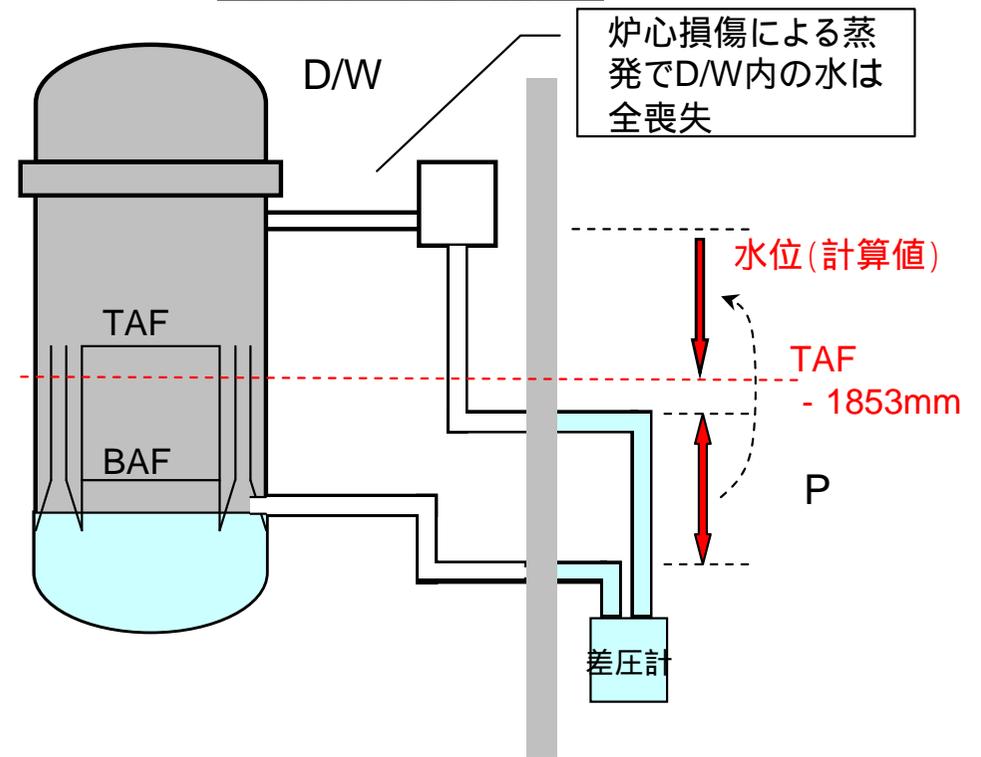


圧力差 $\Delta P$ から水位を計測する。  
圧力差が小さい程、高い水位を示す。

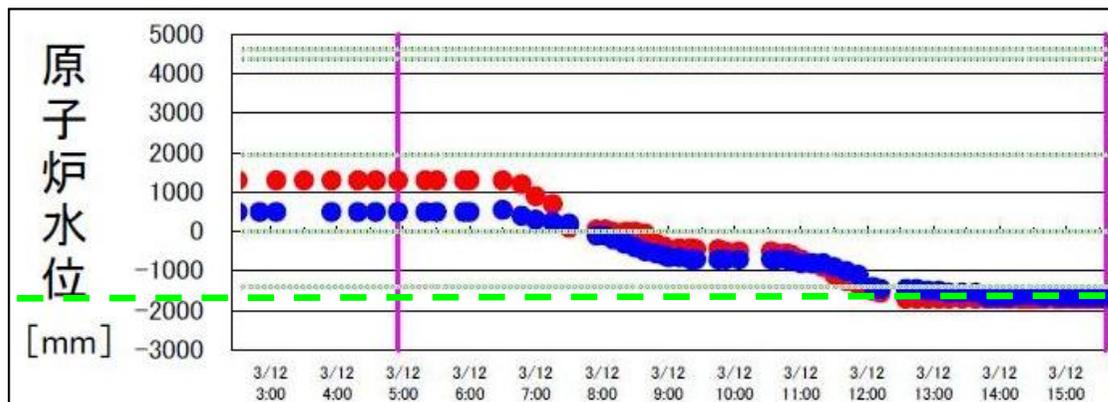
事故時

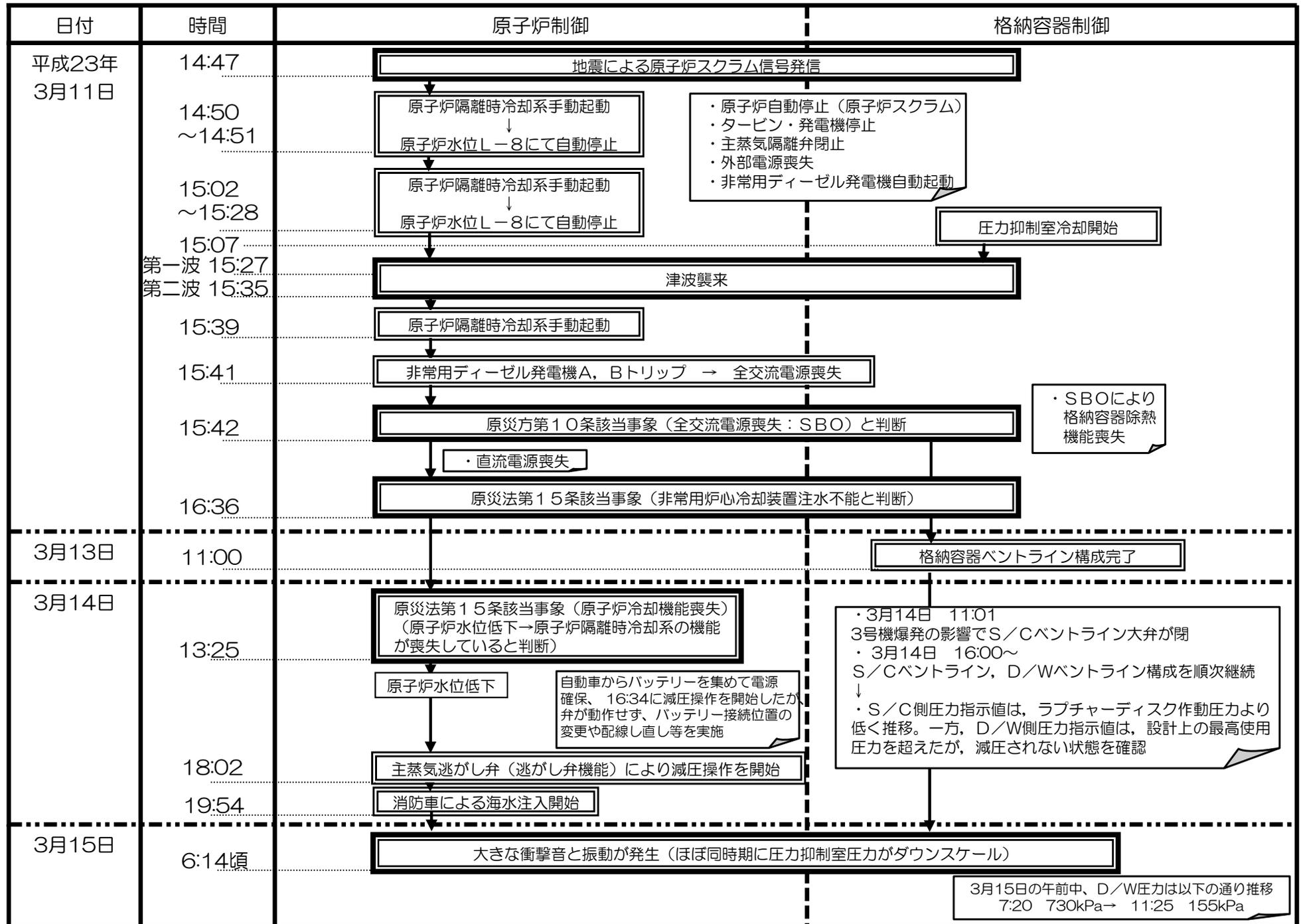
炉心損傷による蒸発で基準面水位が低下  
↓  
圧力差 ( $\Delta P$ ) が小さくなり水位を過大評価  
↓  
実際の水位より高い指示を示す

1号機で水位計の指示値が一定を示した以降の状態 (推定)



- ・ PCV内の計装配管の水を喪失した場合、水位は計算上、約TAF-1853mmとなる。
- ・ これは3/12以降、1号機にて水位計の指示している一定の値とほぼ一致。

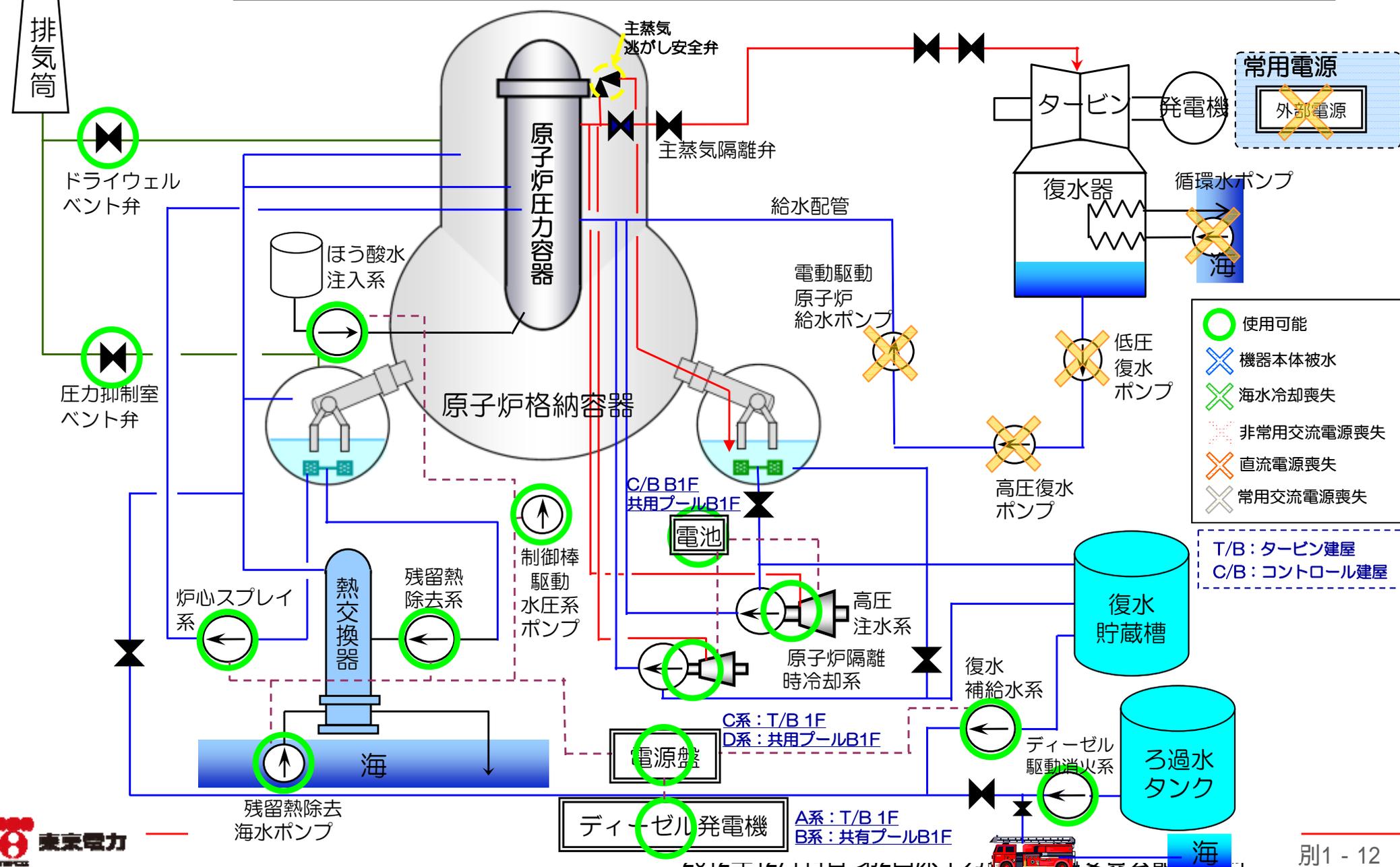




# 地震発生直後のプラント状況（2号機）

地震直後

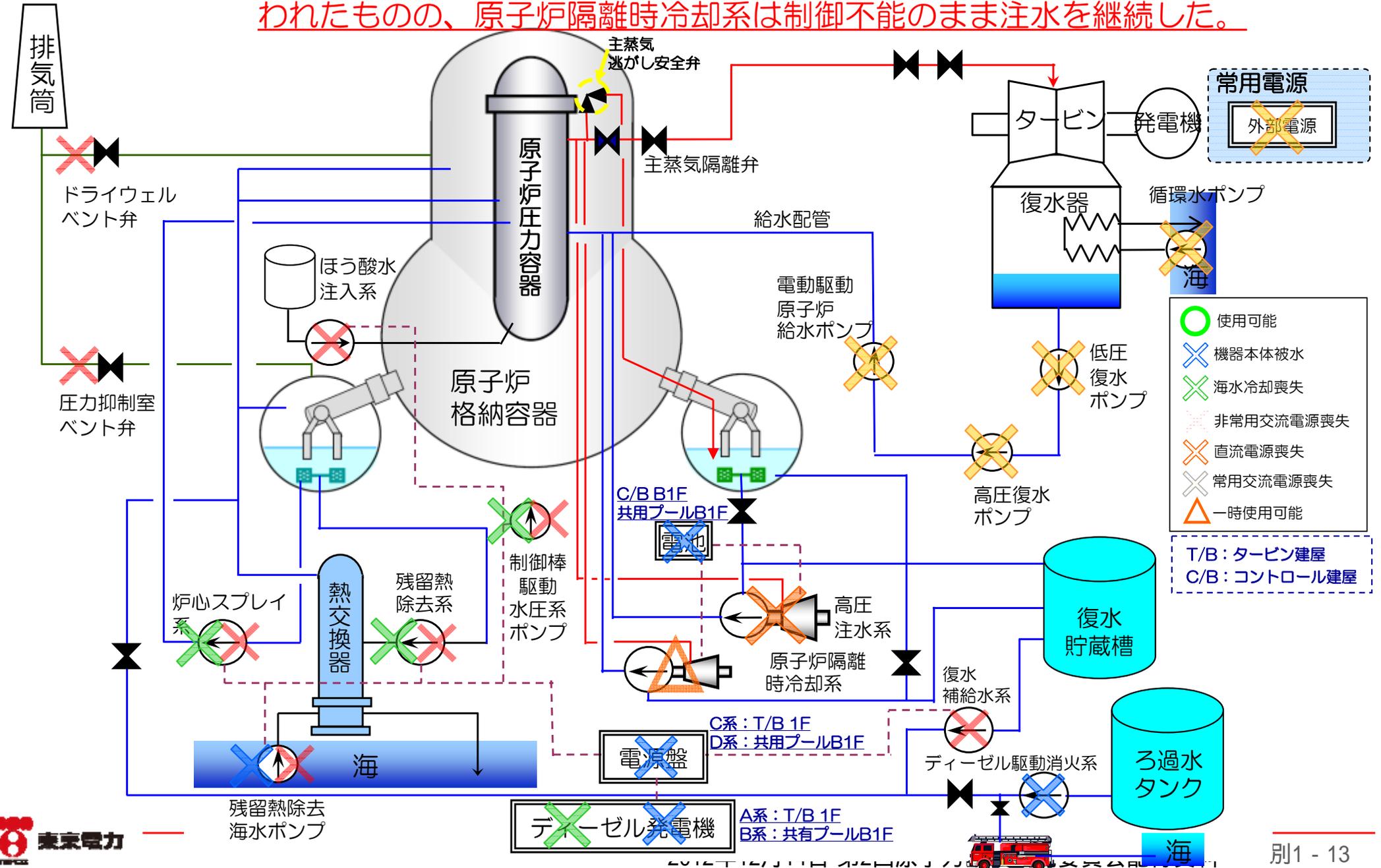
地震によって外部電源が途絶え、常用系の給復水ポンプ類は停止。  
非常用ディーゼル発電機が起動し、全ての非常用機能は正常な状態。



# 津波襲来後のプラント状況（2号機）

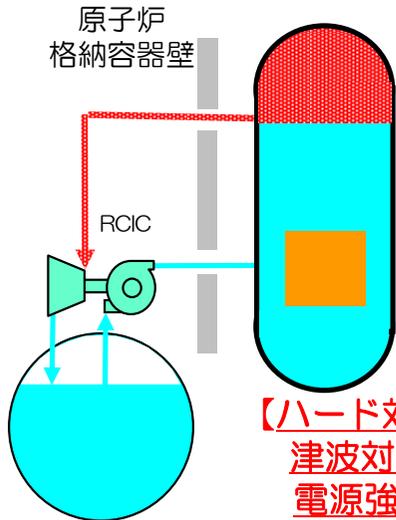
津波浸水後

海水ポンプが停止し、非常用ディーゼル発電機が停止。津波が建屋内に侵入し、電池や電源盤も機能を喪失。全ての計器類の表示、操作機能、照明が失われたものの、原子炉隔離時冷却系は制御不能のまま注水を継続した。



# 2号機の事故の経過と必要な対策

【3/11 15:35 津波襲来】  
津波により制御電源（直流）を失い、  
制御不能となるも、原子炉隔離時冷却系  
（RCIC）は注水を継続し、水位を維持。



【ハード対策】  
津波対策、  
電源強化

【ソフト対策】  
事故想定、  
複数号機対応等

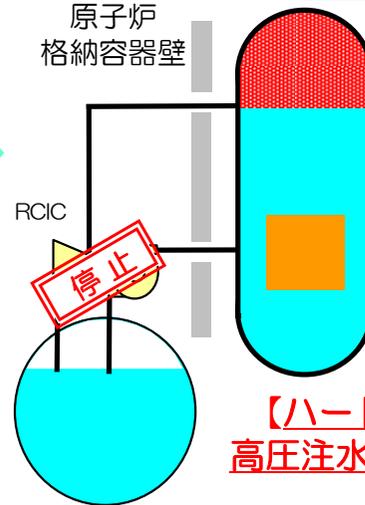
水位維持

想定を上回る津波  
初動時の混乱

【3/14 12時頃 RCIC機能喪失】  
RCIC停止

事故後3日経過

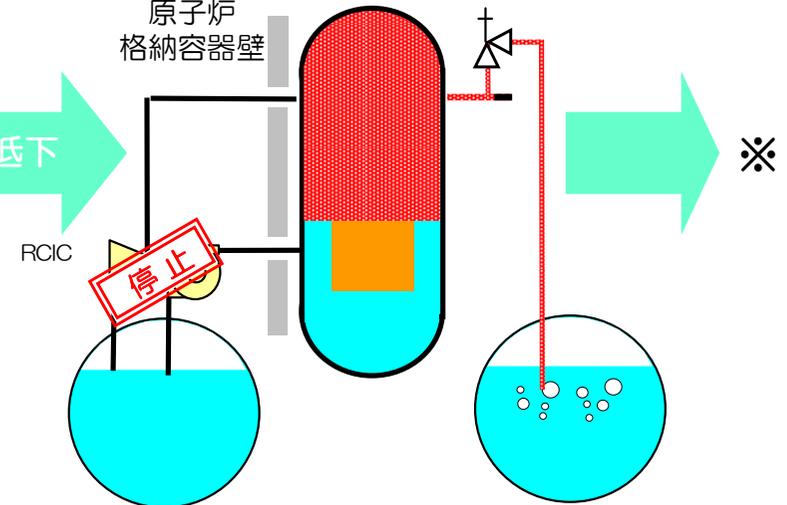
【ソフト対策】  
事故対応長期化



【ハード対策】  
高圧注水機能強化

水位低下

【3/14 16時頃】  
原子炉が高圧の状態  
注水できる設備がない。  
約4時間で水位が炉心まで低下



【3/14 18時頃】

【3/14 20時頃 消防車による注水開始】

水素爆発しなかったのは偶然  
ベントができず放射能を大量放出

炉心損傷開始  
（水素発生）

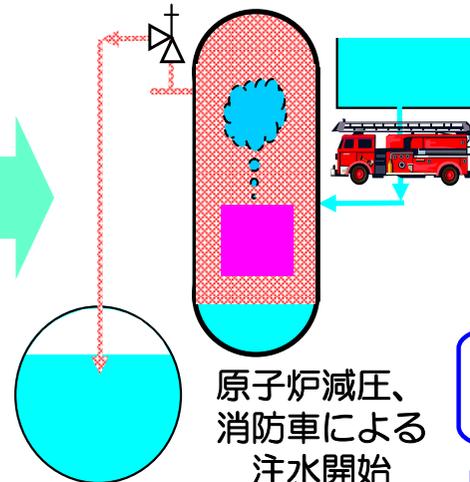
※ 水位低下

格納容器ベント  
実施困難

【ハード対策】  
ベント機能強化

原子炉の減圧に時間がかかり、注水できず。

【ハード対策】  
原子炉減圧手段強化

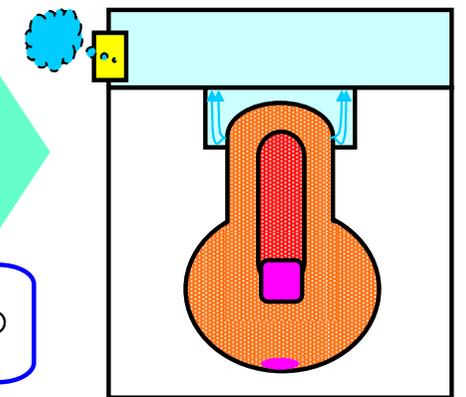


原子炉減圧、  
消防車による  
注水開始

損傷進行

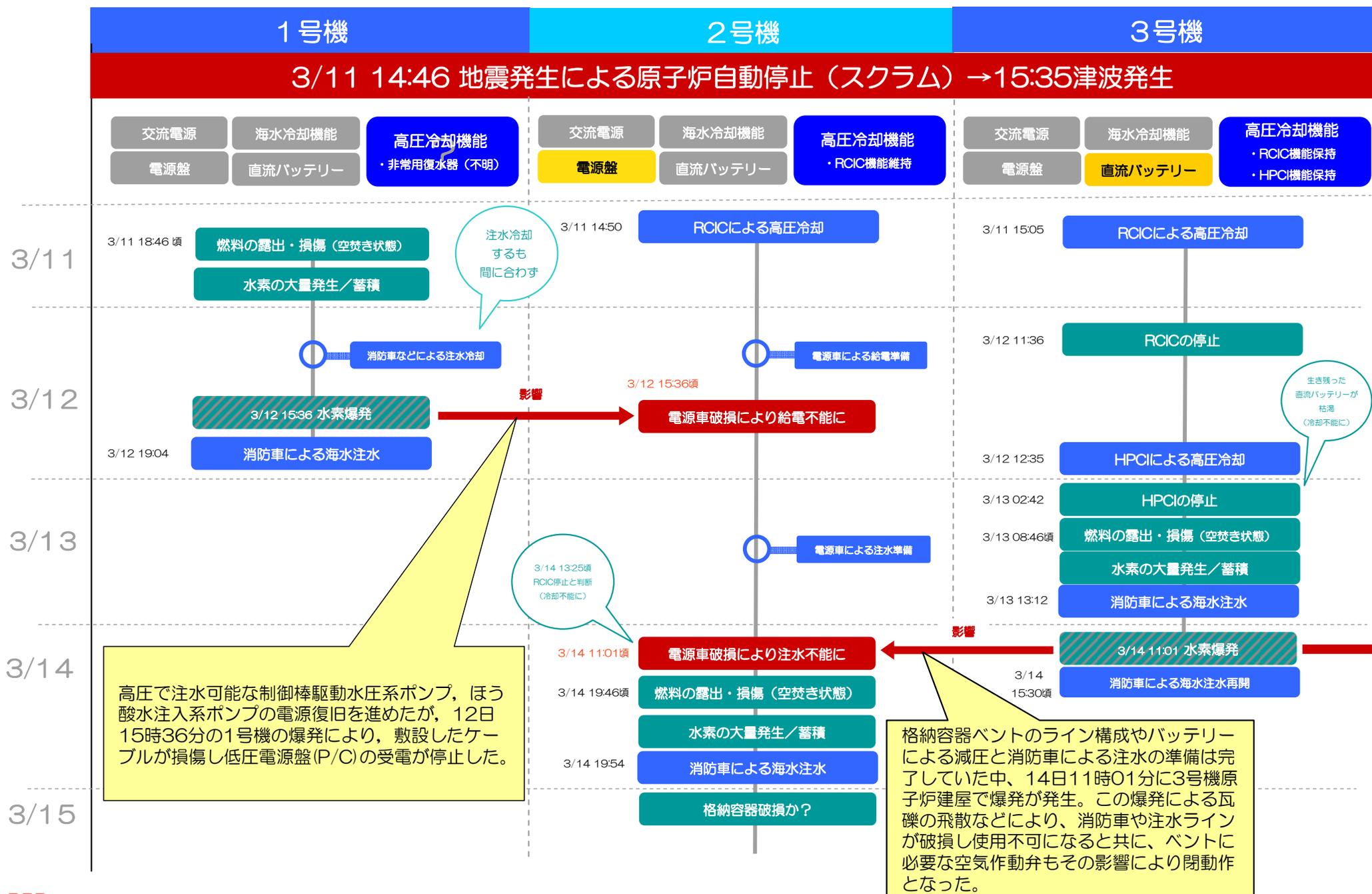
資機材不足  
（個人線量計等）  
汚染拡大

【ソフト対策】  
資機材輸送、  
放射線管理体制

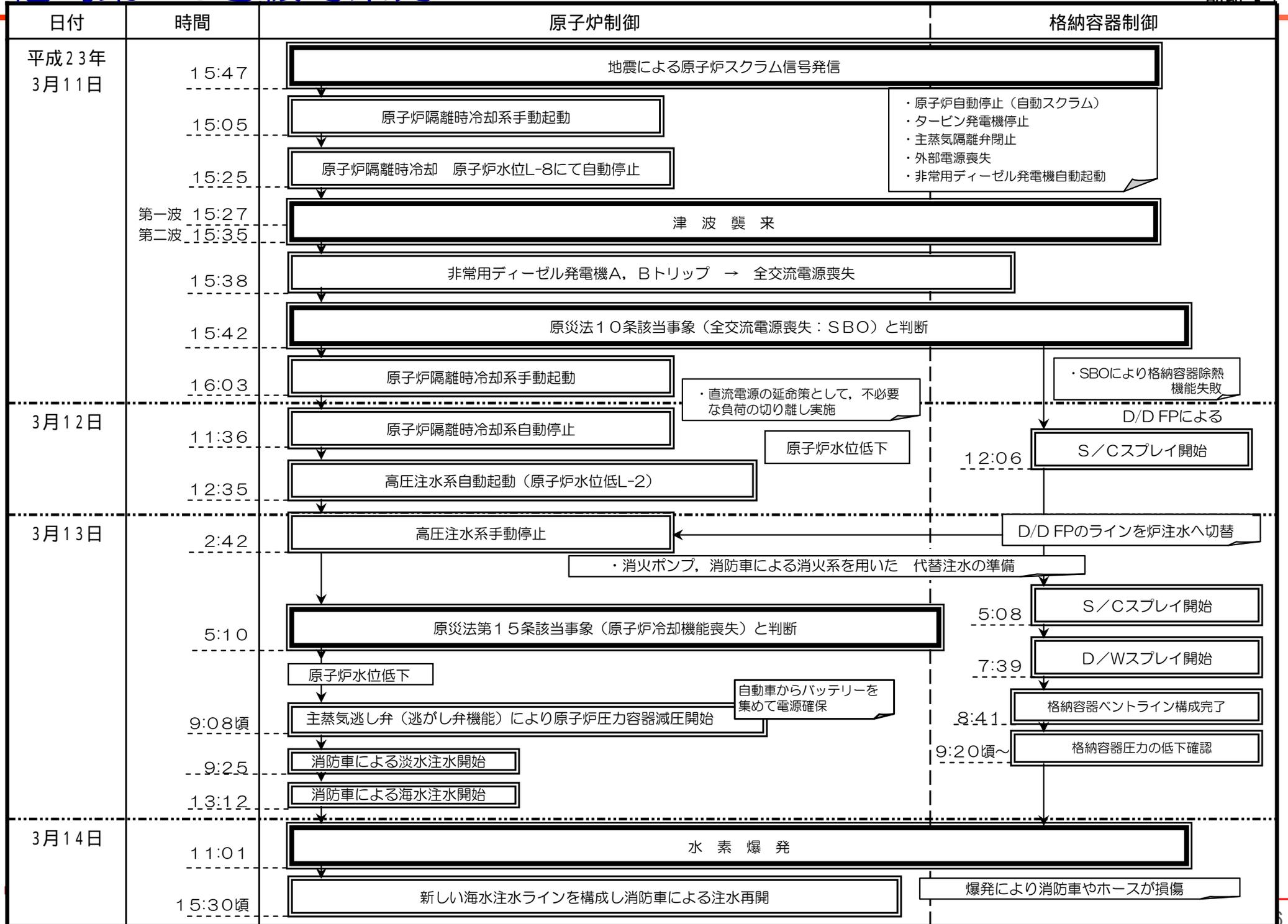


【ハード対策】  
水素対策  
格納容器損傷対策

# 2号機での他号機爆発による対応遅れについて



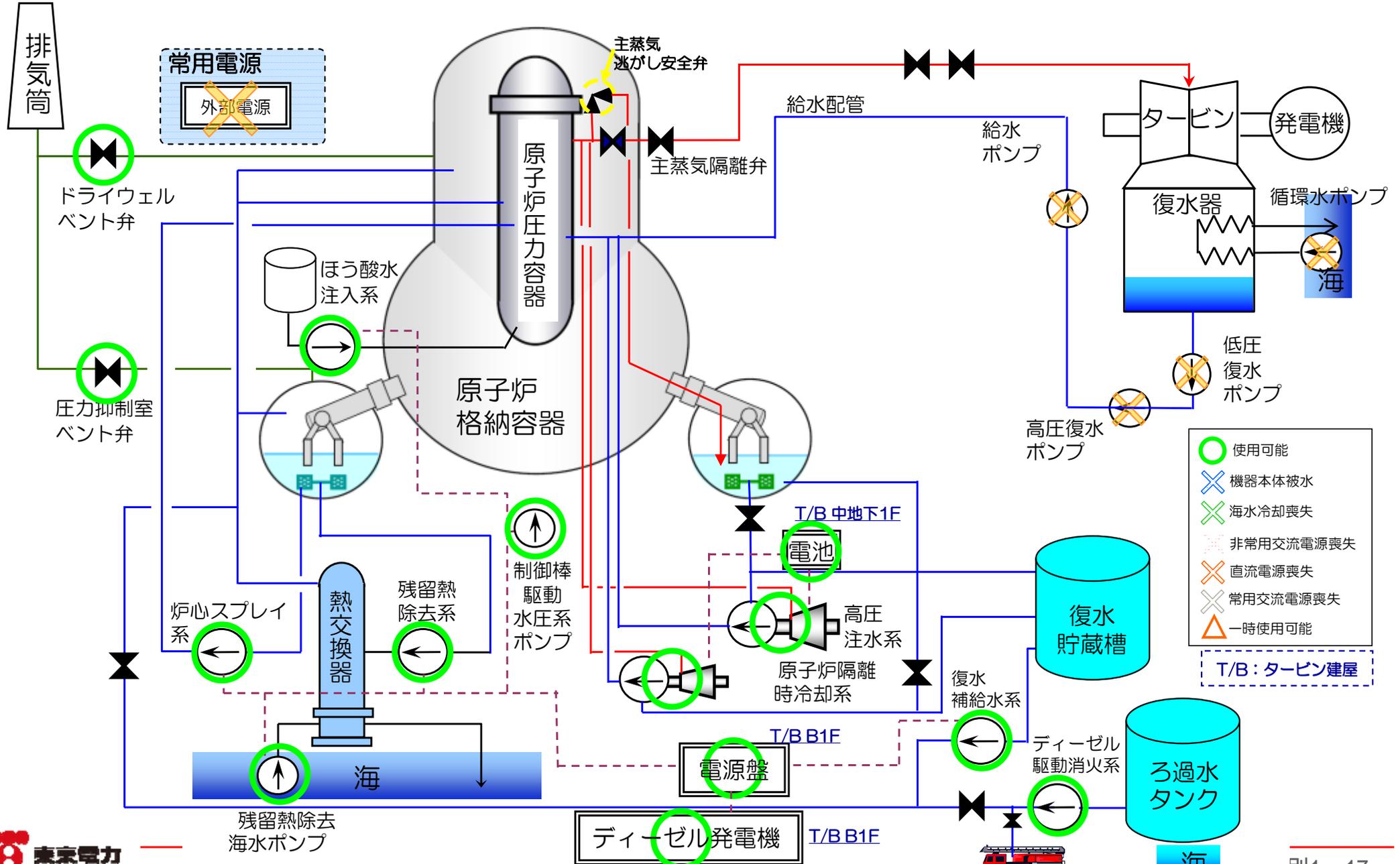
# 福島第一3号機時系列



# 地震発生直後のプラント状況（3号機）

地震直後

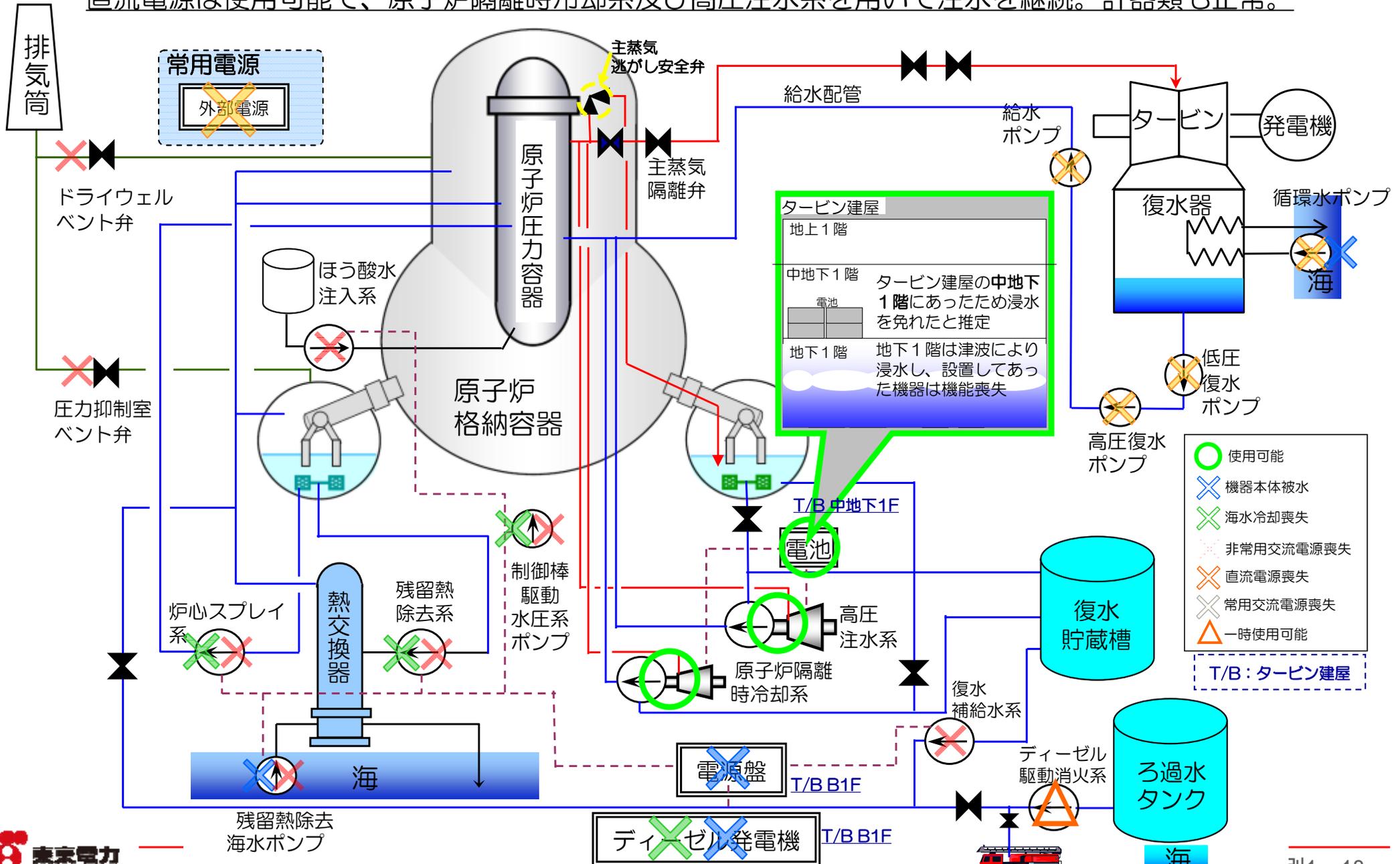
**地震によって外部電源が途絶え、常用系の給復水ポンプ類は停止。**  
**非常用ディーゼル発電機が起動し、全ての非常用機能は正常な状態。**



## 津波浸水後

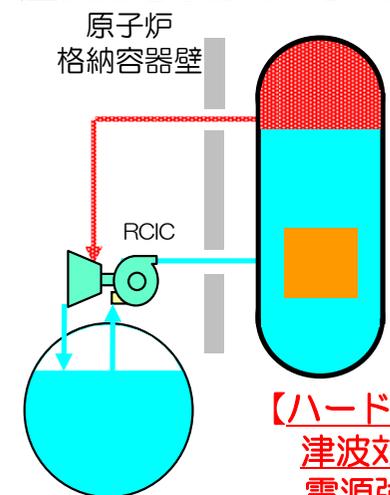
**海水ポンプが停止し、非常用ディーゼル発電機が停止。  
津波が建屋内に侵入し、電源盤も機能を喪失。**

直流電源は使用可能で、原子炉隔離時冷却系及び高圧注水系を用いて注水を継続。計器類も正常。



# 3号機の事故の経過と必要な対策

【3/11 15:35 津波襲来】  
原子炉隔離時冷却系（RCIC）、  
高圧注水系（HPCI）により水位維持  
（全交流電源を失ったが直流電源は残った）



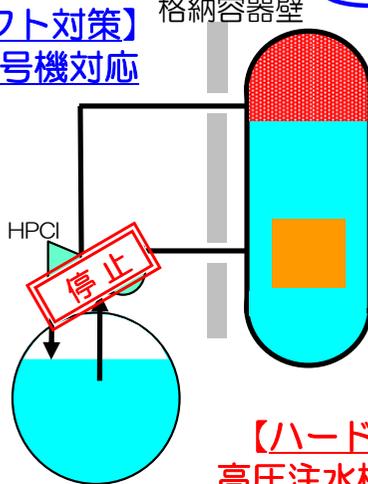
【ハード対策】  
津波対策、  
電源強化

水位維持  
想定を上回る津波  
初動時の混乱

【ソフト対策】  
事故想定、  
複数号機対応

【3/13 2:42 注水機能停止】  
HPCI手動停止

事故後1日半経過  
停止に関する  
情報共有の遅れ

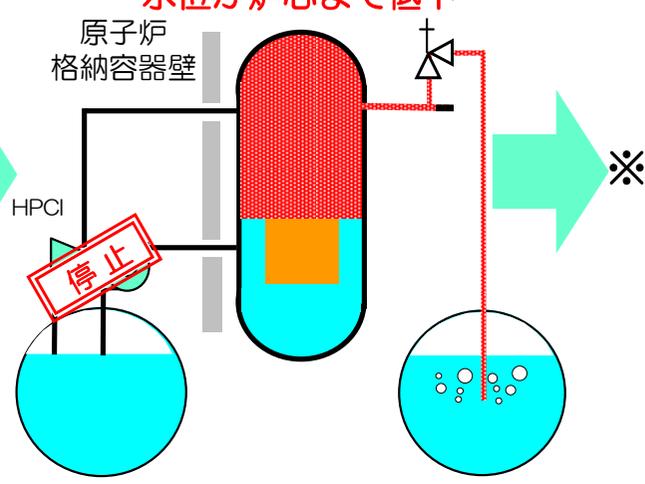


【ソフト対策】  
複数号機対応

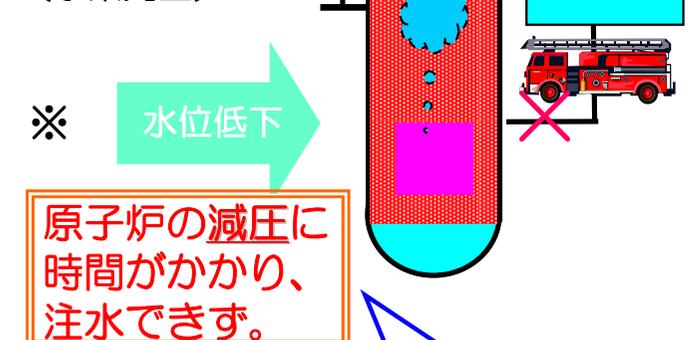
【ソフト対策】  
情報共有

【ハード対策】  
高圧注水機能強化

【3/13 3時頃】  
原子炉が高圧の状態  
注水できる設備がない。  
HPCI停止後まもなく  
水位が炉心まで低下



【3/13 4時頃～9時頃 ベント実施】  
炉心損傷開始  
（水素発生）



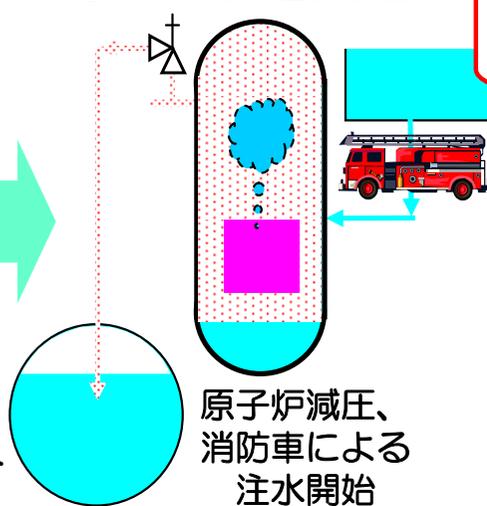
※ 水位低下  
原子炉の減圧に  
時間がかかり、  
注水できず。

【ハード対策】  
原子炉減圧手段強化

資機材不足  
（蓄電池等）  
【ソフト対策】  
資機材輸送

格納容器ベント  
実施困難  
【ハード対策】  
ベント機能強化

【3/13 9時頃 注水開始】



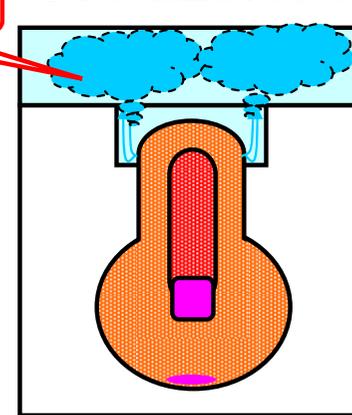
格納容器が損傷し、  
水素が原子炉建屋  
に漏洩

損傷進行

資機材不足  
（個人線量計等）  
汚染拡大

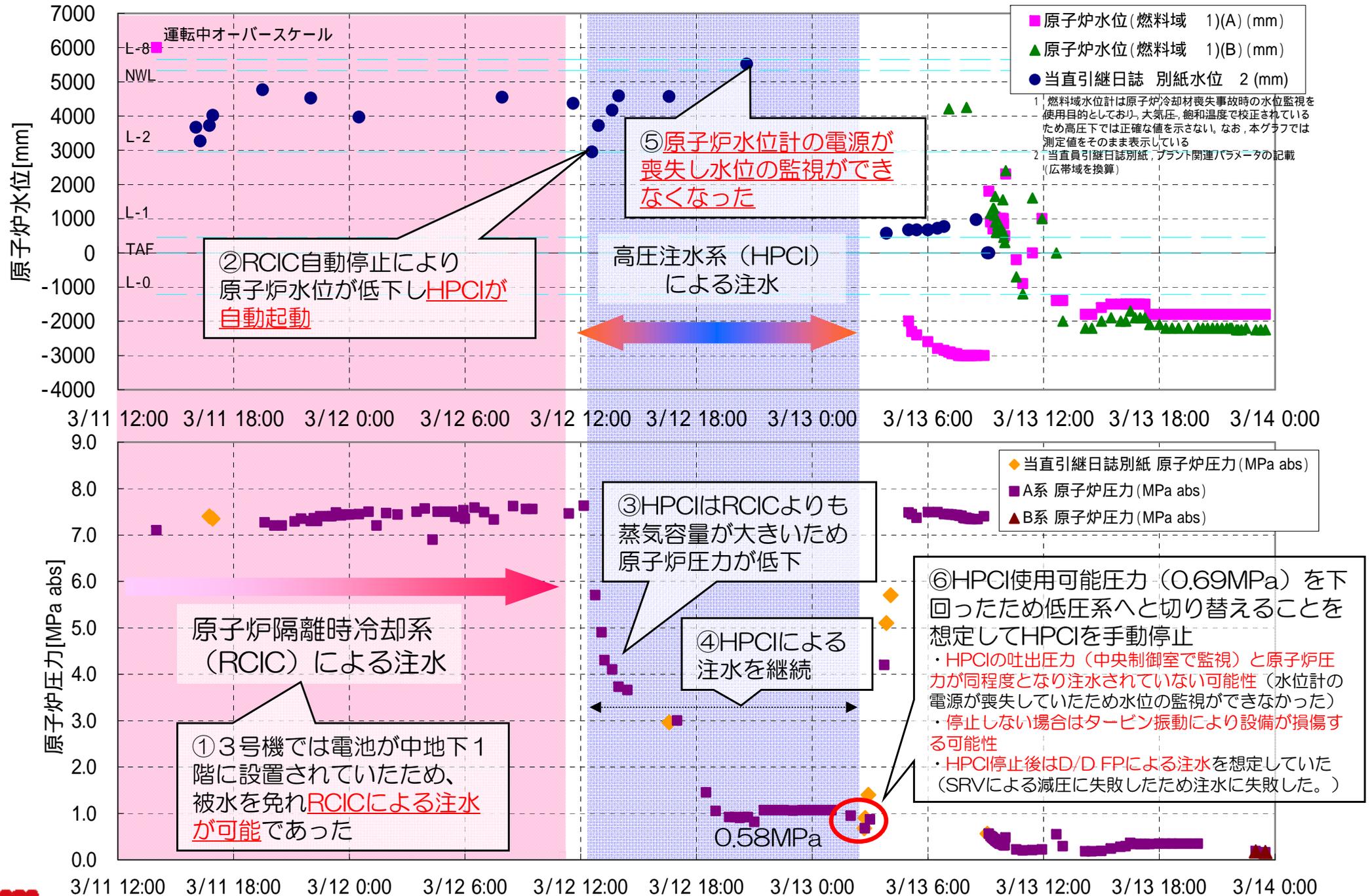
【ソフト対策】  
資機材輸送、  
放射線管理体制

【3/14 11:01】  
原子炉建屋水素爆発



【ハード対策】  
水素対策  
格納容器損傷対策

# 3号機 高圧注水系の起動・停止の判断経緯

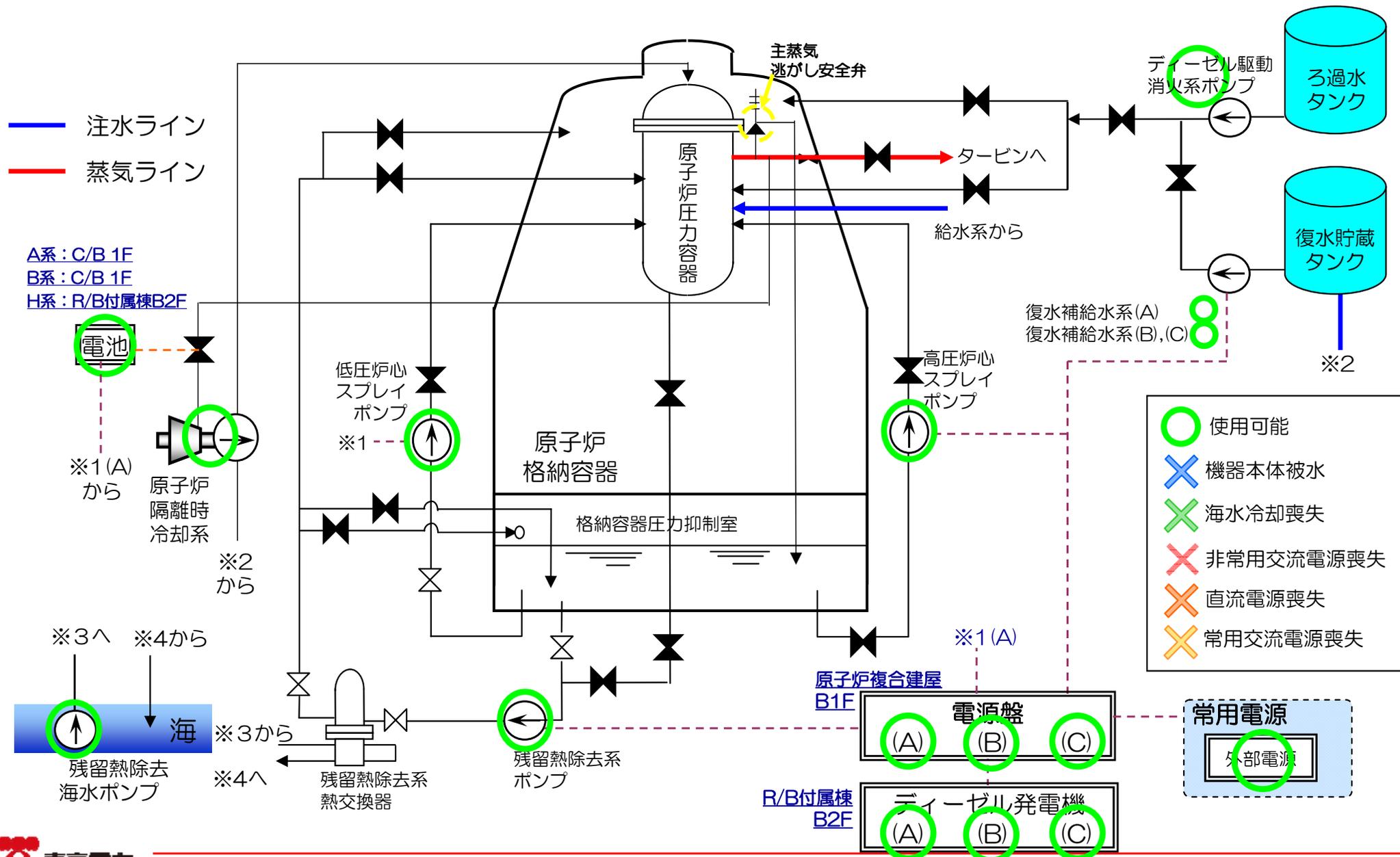


日付	時間	原子炉制御	格納容器制御	
平成23年 3月11日		<b>地震による原子炉スクラム信号発信</b>	・原子炉自動停止（自動スクラム） ・タービン・発電機停止	
	14:48	富岡線1回線停止（受電は継続）		
	15:22	<b>第一波津波襲来（17:14まで断続的に襲来）</b>		
	15:34	非常用ディーゼル発電機A,B,H自動起動 直後に津波の影響により停止		
	15:36	・主蒸気隔離弁手動全閉 ・原子炉隔離時冷却系手動起動		
	15:55	原子炉減圧開始（主蒸気逃がし安全弁自動開）		
	17:53		格納容器冷却系手動起動	
	15:35	<b>原災法第10条該当事象（原子炉除熱機能喪失）と判断</b>		
	3月12日	0:00	復水補給水系による代替注水開始	・非常用機器冷却系ポンプ起動確認できず
		3:50~4:56	原子炉急速減圧実施	
4:58		原子炉隔離時冷却系手動隔離（原子炉圧力低下による）		
5:22		<b>原災法第15条該当事象（圧力抑制機能喪失）と判断</b>	・圧力抑制室温度>100℃	
6:20			復水補給水系による圧力抑制室冷却開始	
7:10			復水補給水系による格納容器スプレイ実施	
7:37			復水補給水系による圧力抑制室スプレイ実施	
10:21~18:30			格納容器耐圧ベントライン構成	
1:24		<b>原災法第10条該当事象の解除（原子炉除熱機能の回復）と判断</b>	残留熱除去系（B）手動起動による圧力抑制室冷却モード開始	
1:44		非常用補機冷却系（B）手動起動		
10:05	残留熱除去系（B）低圧注水モードによる原子炉注水実施	3:39頃 残留熱除去系（B）圧力制御室スプレイモード開始		
10:15	<b>原災法第15条該当事象の解除（圧力抑制機能の回復）と判断</b>	・圧力抑制室温度<100℃		
17:00	原子炉冷温停止（原子炉水温<100℃）			

地震直後

地震によって原子炉は停止。常用系の給復水系を用いて冷却。

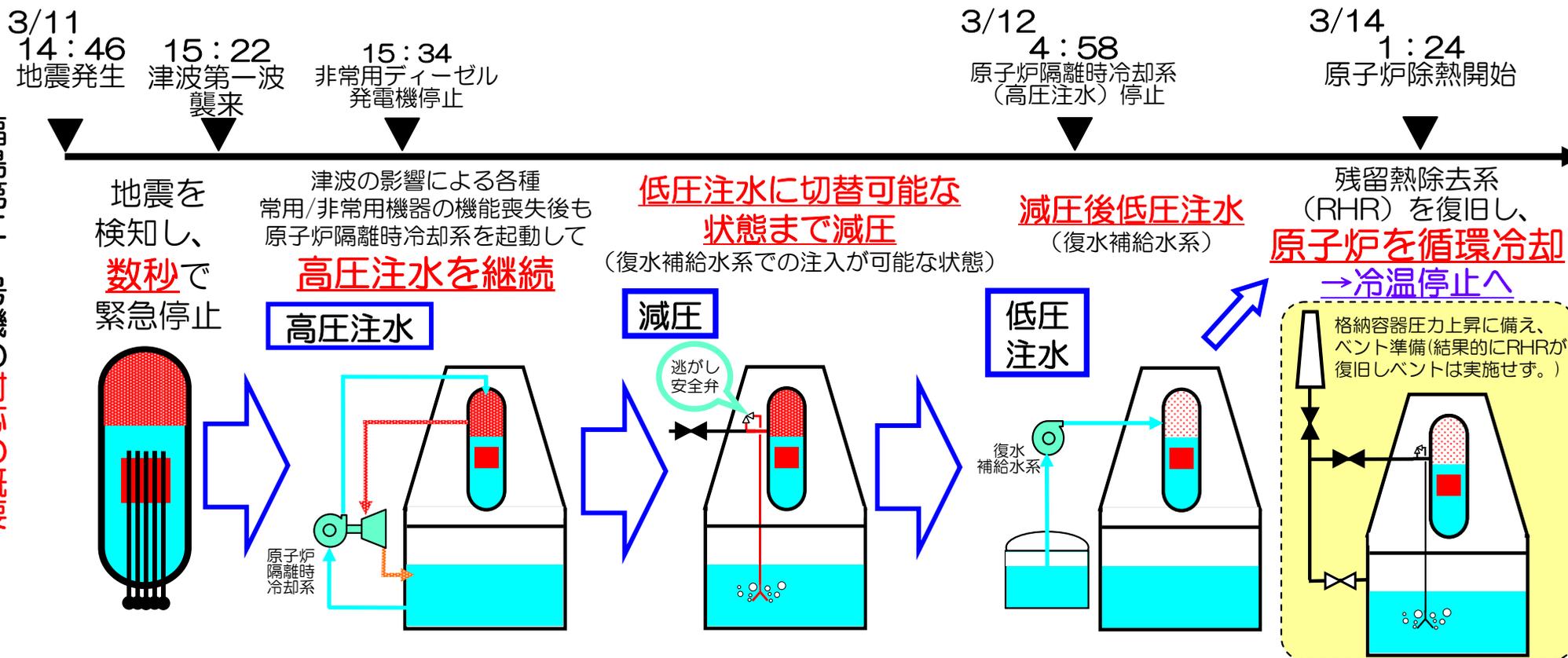
全ての非常用機能は正常な状態。





対応の流れ	<b>止める</b>	<b>冷やす</b>	<b>閉じこめる</b>
対応方法	<p>原子炉緊急停止 (～数秒)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>制御棒緊急挿入</li> </ul>	<p>原子炉減圧 (高圧注水設備停止前に実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>停止直後の減圧 (～約1時間後) (高圧注水設備を使用できない場合)</li> <li>高圧注水継続後の減圧 (～高圧注水設備停止前(半日程度)) (低圧注水設備に切り替える場合)</li> </ul> <p>原子炉注水冷却</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉圧力に応じた設備(高圧注水設備, 低圧注水設備)を選択して実施</li> </ul>	<p>原子炉循環冷却 (～約3日後)</p> <p>(福島第二の復旧実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉水を循環させ、熱交換器を通して熱を除去</li> </ul>

福島第二1号機の対応の概要



## 1号機

○想定を超える津波の襲来を受け、建屋内外が浸水した。

○全ての電源を喪失し、非常用復水器の弁を開けなくなる等、全ての注水・除熱機能を喪失した。

○注水・除熱機能喪失により、水位が低下し、津波から約4時間で炉心損傷に至った。

○炉心損傷に伴い水素が発生、圧力容器、格納容器から原子炉建屋に漏れ出し、水素爆発に至った。

○電源喪失により照明や通信手段が限られたほか、監視・計測手段も喪失しプラント状況が把握できなくなったこと等による初動対応の混乱、情報共有の不備が生じた。

○大きな余震及び余震に伴う津波の恐れ、瓦礫等の散乱により現場のアクセス性・作業性が低下した。

○放射線量の上昇や放射線管理等、対応のための資機材不足等、著しく作業環境が悪化した。

○炉心への対応と並行して燃料プールへの注水・除熱対応が発生した。

## 炉心損傷・水素爆発までの主な状況（2号機）

### 2号機

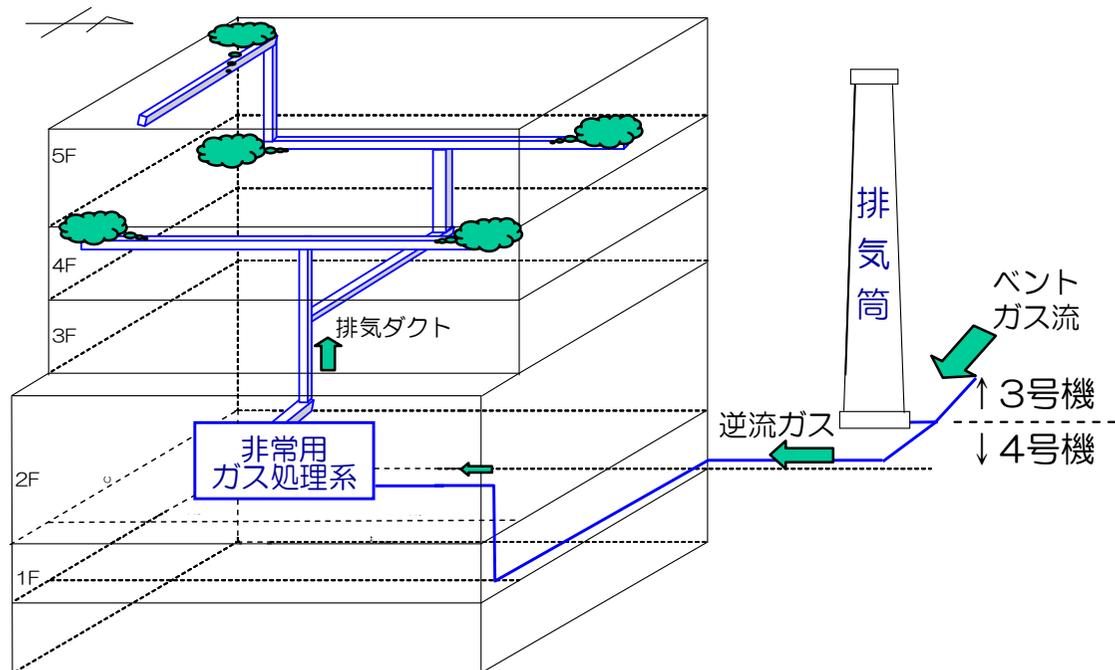
- 想定を超える津波の襲来を受け、建屋内外が浸水した。
- 全ての電源を喪失し、原子炉隔離時冷却系（RCIC）を除く注水・除熱機能を喪失。動作を継続したRCICも制御不能となった。
- RCIC停止後の原子炉減圧の際、緊急で用意した蓄電池での減圧が上手くいかず、試行錯誤の結果、減圧に時間を要し、水位が低下、炉心損傷に至った。
- 電源喪失により照明や通信手段が限られたほか、監視・計測手段も喪失しプラント状況が把握できなくなったこと、全号機同時に危機的状況に陥ったこと等による初動対応の混乱が生じた。
- 大きな余震及び余震に伴う津波の恐れ、津波や1, 3号機の水素爆発に伴い散乱した瓦礫等による現場のアクセス性・作業性が低下した。
- 1, 3号機の水素爆発に伴う電源車、消防車の損傷、放射線量の上昇や放射線管理等、対応のための資機材不足、事故対応の長期化等、著しく作業環境が悪化した。
- 炉心への対応と並行して燃料プールへの注水・除熱対応が発生した。

## 3号機

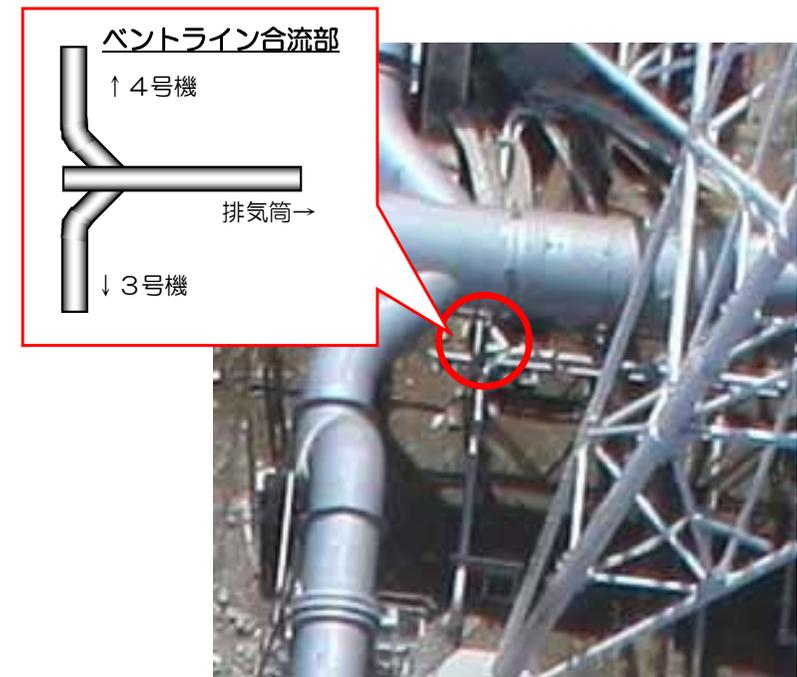
- 想定を超える津波の襲来を受け、建屋内外が浸水した。
- 全交流電源を喪失し、交流駆動の注水・除熱機能を喪失した。
- 直流制御の注水系停止後、原子炉の減圧に必要な蓄電池を所内から収集する等、減圧までに時間を要し、水位が低下、炉心損傷に至った。
- 炉心損傷に伴い水素が発生、圧力容器、格納容器から原子炉建屋に漏れ出し、水素爆発に至った。
- 電源喪失により照明や通信手段が限られたほか、全号機同時に危機的状況に陥ったこと等による初動対応の混乱、情報共有の不備が生じた。
- 大きな余震及び余震に伴う津波の恐れ、瓦礫等の散乱により、現場のアクセス性・作業性が低下した。
- 放射線量の上昇や放射線管理等対応のための資機材不足、事故対応の長期化等、著しく作業環境が悪化した。
- 炉心への対応と並行して燃料プールへの注水・除熱対応が発生した。

○福島第一4号機においても、原子炉建屋の爆発が発生しました。これについては以下の理由から、**3号機の水素を含むベントガスが4号機に流入したため**と推定しています。

- ・ 4号機原子炉の燃料は定期検査中のため全て燃料プールに取り出されていた。
- ・ 燃料プール内の燃料は水中で露出せず、かつ、水の分析結果から燃料破損の兆候無し。
- ・ 3号機と4号機のベントラインは、排気筒手前で合流。
- ・ 4号機の非常用ガス処理系のフィルタは下流（3号機）側の方が放射性物質の汚染高。上流（4号機）側へ向けて汚染低。（本来とは逆）



3号機から4号機への格納容器ベントガスの流入経路



柏崎刈羽原子力発電所では、全ての号機が独立の排気ラインとなっており、福島第一4号機のような**他号機からの逆流事象は起きない仕組みになっています。**

## 事故対応時の問題点（教訓）と対策の方針【ハード面】

### 《事故対応時の問題点（教訓）》

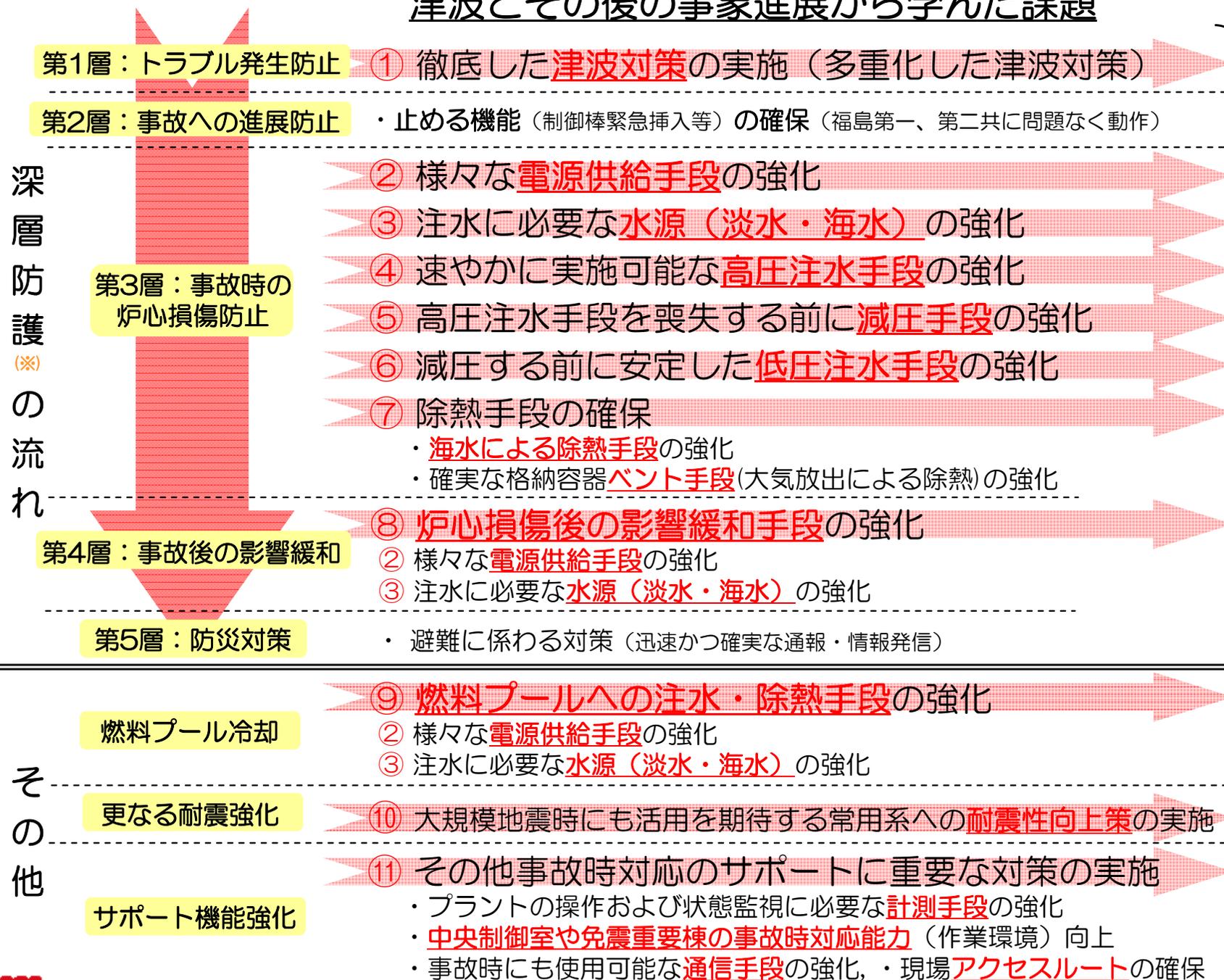
- 想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。
- 全ての電源を喪失した場合の、その後の手段（高圧注水、減圧、低圧注水、除熱、燃料プールへの注水、水源確保等）が十分に準備されておらず、その場で考えながら対応せざるを得なかった。
- 炉心損傷後の影響緩和の手段（格納容器損傷防止、水素制御、溶融炉心落下対策、環境への放射性物質の大量放出防止等）が整備されていなかった。
- 照明や通信手段が限られたほか、監視・計測手段を喪失しプラント状況が把握できなくなった。
- 大きな余震及び余震に伴う津波の恐れ、瓦礫等の散乱による現場のアクセス性・作業性低下等、著しい作業環境の悪化が事故の対応を困難にしていた。



### 《対策の方針》

- 津波(かさ上げ, 防水等)対策により、既存の安全上重要な設備及び事故時対応で使用を想定している設備の津波に対する防護を向上させる。
- 深層防護の各層及び機能別に対策を講じ、各層・各機能の対応能力の厚みを向上させる。
  - ・ 全電源喪失, ヒートシンク喪失の長時間継続への対応手段を確保する。
  - ・ 応用性, 機動性を高めた柔軟な機能確保対策を講じる。

## 津波とその後の事象進展から学んだ課題



深層防護の各層・各機能を①～⑧に分類、また、その他の項目についても⑨～⑪に分類し、各々について対応能力の厚みが増すよう対策を講じる。

※ 深層防護：原子力施設の安全確保の考え方。(A)に失敗しても(B)で対応、(B)に失敗しても(C)で対応、…という様に(A)～(E)の各層で対策を講じるという考え方。

# 福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく 柏崎刈羽原子力発電所の対策（設備面）

## < 柏崎刈羽原子力発電所 1号機の例 >

<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]	<span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (実施中)	<span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 基本設計で採用した設備
<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (完了済)	注：青太字については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備
<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 新潟県中越沖地震を踏まえた対策	

### 第1層 トラブルの発生防止

#### 問題点（教訓）

想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。  
方針・・・津波（防水）対策により、**既存設備を含めて津波に対する耐力を向上させる。**

### 第3層 事故後の炉心損傷防止（電源）

#### 問題点（教訓）

全ての電源（直流、交流電源）が喪失した場合の代替手段が十分に用意されていなかった。  
方針  
・防水対策により、既存の電源設備に期待する。  
・全電源喪失時における長時間継続への対応手段を新たに確保する。交流電源設備については高台に設置することで、津波に対する裕度を向上させる。

※短期強化対策としては、非常用発電機、直流電源設備を高所に設置。長期強化対策としては、既設直流電源の増強を実施。

第5段	原子炉建屋等防水対策								
第4段	建屋エリア防水処理								
第3段	建屋防水対策 Hx/B3実施中	変圧器 の浸水対策	開閉所 の防水対策						
第2段	防潮湿設置 ・補機取水ろ蓋掛け						津波警報システム構築		
第1段	各設備、機器の設置高さ							潮位計	
対策分類	R/B	T/B	Hx/B	水処理 免震 水建屋 重要機	変圧器	開閉所	津波監視		

#### ①津波

### 第4層 事故後の影響緩和

#### 問題点（教訓）

炉心損傷後の影響緩和の手段（格納容器損傷防止、水素制御、溶融炉心落下対策、環境への放射性物質の大量放出防止等）が整備されていなかった。  
方針  
炉心損傷後の影響緩和手段の強化を実施（水素制御、水素濃度監視、コアコンクリート反応抑制）

水素制御  
炉心損傷後にZr-水反応等によって生成される水素を適切に排出する。  
コア・コンクリート反応抑制  
原子炉圧力容器破損後にベテスタルに溶融炉心が落下した場合に、溶融炉心を適切に保持・冷却する。  
※FCSはLOCA対策として付けられたものであり、SA時に大量に生じる水素を十分に取り除く容量はない。

第3段	原子炉建屋トップベント設備設置 建屋水素濃度計設置 ブローアウトバルブ	溶融炉心落下対策
第2段	原子炉建屋水素処理装置設置 格納容器頂部水張り設備設置 フィルターベント設備設置	消防車を用いたベテスタルへの注水
第1段	FCS*	MJWCを用いたベテスタルへの注水
対策分類	水素制御、水素濃度監視	コア・コンクリート反応抑制

#### ⑧炉心損傷後の影響緩和

### その他 燃料プール冷却

#### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合の水位等の監視・計測とその後燃料プールの除熱・注水、水源確保が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。  
方針  
燃料プールへの注水・除熱手段の強化を実施（注水機能、除熱機能、監視・計測）

第5段	D/Dポンプ増強			
第4段	コンクリートポンプ増設	代替Hxを用いた残留熱除去系A（燃料プール除熱）	緊急時用監視カメラ	
第3段	消防車（注水用）高台配備	外部からの注水配管設置	代替Hxを用いた燃料プール冷却浄化系A	緊急時用水位計
第2段	復水補給水系	残留熱除去系A,B（燃料プール除熱）		ITVからの監視
第1段	燃料プール補給水系	燃料プール冷却浄化系A,B		水位計
対策分類	注水機能	除熱機能		監視・計測

#### ⑨燃料プール

### 第3層 事故後の炉心損傷防止（水源）

#### 問題点（教訓）

炉心損傷防止や炉心損傷後における影響緩和のために必要となる十分な水源や注水手段が確保されていなかった。  
方針  
・防水対策により、既存の水源に期待する。  
・貯水池や井戸の設置、海水による注水等多様な水源を確保すると同時に、それら各水源を用いた注水手段についても整備する。

第4段	海水
第3段	貯水池設置、井戸の設置
第2段	純水タンク、ろ過水タンク
第1段	復水貯蔵槽（CSP） 非常用復水貯蔵槽（ECSP）
対策分類	③水源

#### ③水源

事故時に対応手段の1つとして活用が期待できる常用系設備の耐震強化

#### 問題点（教訓）

外部電源設備は常用系設備であり、大規模な地震時には動作を期待しない設備であったが、福島第二では震災時に機能を維持した外部電源がその後の復旧に大きな役割を果たした。  
方針  
常用系設備であっても、緊急時に対応手段の1つとして活用が期待でき、追加の耐震補強が可能な設備は耐震補強を実施する。

第3段	送電鉄塔基礎安定性等評価	開閉所、変圧器耐震強化	復水補給水系配管等の耐震強化	放水タンク耐震強化
第2段	中越沖地震の知見を踏まえ、保守性を持って基準地震動Ssを設定し、さらに余裕を持つよう耐震強化を実施			
第1段	耐震設計審査指針に則った耐震設計			
対策分類	⑩地震			

#### ⑩地震

### 第3層 事故時の炉心損傷防止（注水、減圧、除熱）

#### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合、その後の高圧注水、減圧、低圧注水、除熱、水源確保が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。  
方針  
各手段の強化を実施（原子炉、格納容器対する高圧注水、減圧、低圧注水、除熱）

※1 原子炉停止直後の崩壊熱を吸収するのに十分な量は注水できないものの、補助的な活用を期待し高圧注水手段として手順を整備。  
※2 シビアアクシデント時に原子炉水位計測が正確にできない状況であっても、原子炉水位が有効感熱域以下であることを把握するため、基準面部に温度計を設置する。  
※3 BWRプラントの対策であり、ABWRプラントの場合には、R-IC起動失敗時にHPCFによる代替注水を実施する。従って、ABWRプラントでは、「④高圧注水」の厚みが1段増加し、「⑥低圧注水」の厚みが1段減少する。

第7段		D/Dポンプ増強							
第6段	代替高圧注水設備増設	R-IC起動失敗時のLPCSによる代替注水(SBO対策)	海水ポンプ増設						
第5段	制御室電源水素発生緊急時用予備電源増設	IA/NCA/B外部開口設置	代替水中ポンプ増設						
第4段	ボウズ水注入系緊急時用予備電源増設	SRV駆動用空圧注水設備増設	ディーゼル駆動の消火系(D/DFP)	代替緊急交換設備増設					
第3段	R-IC予備駆動設備増設	SRV駆動用予備ポンプ増設	電動駆動の消火系	残熱除去系(AI,IB)(原子炉除熱)	格納容器による冷却回路スプレイ手段増設	格納容器ハンドリング設備	フロント状態監視機能強化(原子炉水位計測)		
第2段	高気圧駆動の高圧注水系(R-OC)	自動減圧系	SRV駆動用ポンプ(AI,IB)	SRV駆動用予備電源増設	注水補給系(AI,IB,IC)(MJWC)	原子炉冷却浄化系(AI,IB)	代替スプレイ(MJWC/CFP)	格納容器駆動化ベント設備	フロント状態監視機能強化(原子炉水位計測)
第1段	電動駆動の高圧注水系(HPCS)	過圧防止安全弁(AI,IB)(SRV)	LN設備	SRV駆動用蓄電池(AI,IB)	電動駆動の高圧注水系(AI,IB,IC)LPCS	復水ろ過(原子炉除熱)	D/Wスプレイ	スクーリング(AI,IB)(PCV除熱)	既存の計装設備
対策分類	④高圧注水	動作信号	空気	電源	⑥低圧注水	原子炉(スプレー)	PCV(除熱)	PCV(スプレー)	計装④～⑦

#### ⑤減圧

事故時に対応手段の1つとして活用が期待できる常用系設備の耐震強化

#### 問題点（教訓）

瓦礫等の散乱による現場のアクセシビリティ・作業性低下等、著しい作業環境の悪化が事故の対応を困難にしていた。  
方針  
・事故時の対応をサポートする上で重要となる各機能への対策を講じる。

※中越沖地震後のアクセス道路補強では、構内道路の沈下や亀裂がみられた箇所について地盤改良を実施。  
福島第一を踏まえた短期対策としては、地震発生時に予想される低耐震クラス洞道の変状に伴う道路陥没量を抑制し、緊急車両（電源車、消防車）の迅速な移動を確保するため、低耐震クラス洞道横断道路部の補強工事を実施。

第3段		D/Dポンプ増強	瓦礫除去用重機の配備			
第2段	活動拠点の増強	中央制御室換気空調系電源車での給電	消火系配管地上化	アクセス道路補強	モニタリング機能強化	通信設備増強
第1段	免震棟設置	中央制御室換気空調系	火災対応用消防車配備	アクセス道路補強	既存のモニタリング設備	既存の通信設備
対策分類	緊急時対策本部	中央制御室	火災対策	アクセス路確保	モニタリング設備	通信設備

#### ⑪その他の視点

○想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。

- ・ 万一想定を超える津波に襲われた場合にどうなるかについて、十分に検討し、必要な対策を講じるという姿勢が不足していた。
- ・ 全ての電源を喪失した場合や、その後の炉心損傷防止や炉心損傷後の影響緩和のための対応手順・手段が十分に準備されておらず、現場で考えながら対応せざるを得なかった。



- 複合災害、複数プラントが同時に被災したこと等による態勢の混乱が生じた。
  - ・複数号機で炉心損傷事故に発展し、多人数での対応が長期化した。長期対応のための態勢に移行できず、また、予断を許さない状況が続く中、全員で対処せざるを得なかった。
  - ・対策本部長が外部との電話対応に追われたり、技術系社員が広報対応等で事故収束対応にあたれない状況が生じるなど、事故対応に専念できない状況が生じた。
- 停電等に伴い通信機器等の連絡手段に制約がかかり、状況を共有することが困難になったこと等により、円滑にプラント状態を把握・共有できなくなった。
  - ・1号機の非常用復水器の運転操作状況に関して、状態を表示するランプや計器等の電源を喪失し、状況を正確に認識できなかった。また、中央制御室と発電所対策本部等間で正しい認識を共有できるような伝達がなされなかった。
  - ・3号機で高圧注水系が停止した時、本部との情報共有に1時間程度を要した。
  - ・関係機関との十分かつ速やかな情報共有ができなかった。



仮設バッテリーをつないで  
計器用電源として使用



ライトの明かりを頼りに指示値を確認

○事故収束対応のための資機材が不足していた。

- ・地震による道路被害、通信環境の悪化に加え、放射性物質による汚染、被ばくの問題等により資機材輸送が阻害された。
- ・個人線量計の輸送時、セットで扱われるべき物が分割されて梱包、輸送される等、欲しい物資を簡単に取り出し、使用することができなかった。
- ・避難指示区域の設定により、発電所に直接物資を輸送できなくなり、発電所への円滑な資機材の供給が困難になった。

○汚染の拡大や不十分な放射線管理体制が事故の対応を困難にしていた。

- ・今回の事故では、通常管理区域以上に汚染状態、汚染エリアが拡大し、放射線管理員が不足した。
- ・津波による個人線量計の喪失、電源喪失によるシステムの機能の喪失により線量集計に労力を要した。
- ・インフラが整備されていない中で出入管理の拠点選定、設備の確保等、出入管理にも労力を要した。

想定を超える津波

⑫事故想定のがさ

態勢の混乱

⑬複数プラント  
同時対応の  
失敗・準備不足

プラント状態を  
把握・共有できず

⑭不十分な情報共有

事故対応に必要な  
資機材の不足

⑮資機材輸送の  
段取り未整備

汚染拡大

⑯放射線管理体制の  
準備不足

⑰事故時の公表、  
情報発信の不十分

- ⑫ 想定を超える事故への備え
- ・ 想定を超える津波に襲われた場合の十分な検討と必要な対策の実施
  - ・ シビアアクシデント（過酷事故）に対する備え（手順、訓練）の強化

- ⑬ 複合災害、複数プラント同時被災への緊急時対応の備え
- ・ 自然災害との複合災害、複数プラント同時被災に対応できる態勢の整備

- ⑭ 情報伝達・情報共有の強化
- ・ プラント監視・通信手段の強化
  - ・ 現場～発電所対策本部～本店対策本部において、重要な情報が共有できる仕組みの構築
  - ・ 国、関係機関とのタイムリーな事故情報の共有、通報手段の多様化

- ⑮ 資機材調達・輸送体制の強化
- ・ 事故後速やかに必要となる資機材は予め発電所に配備
  - ・ 警戒区域設定時にも、必要な資機材を発電所に確実に送り届ける体制の整備

- ⑯ 事故時放射線管理体制の強化
- ・ モニタリングポストの信頼性向上、モニタリングカーの増強
  - ・ 緊急時対策所、中央制御室への放射線計測器、放射線防護設備の配備増強
  - ・ 放射線測定要員の育成
  - ・ 緊急時対策所の放射性物質汚染の防止、遮へい対策の強化

- ⑰ 事故時の公表、社会への情報発信
- ・ 報道対応体制の再構築、インターネットを活用した積極的な情報発信、過酷事故に活用する資料作成
  - ・ オフサイトセンター機能強化による広報の一元化

# 福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく 柏崎刈羽原子力発電所の対策（運用面）

<span style="background-color: #f08080; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]	<span style="background-color: #e0f0e0; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
<span style="background-color: #ffcccc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）	<span style="background-color: #fff2cc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 基本設計で採用した設備
<span style="background-color: #e0ffe0; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）	注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備
<span style="background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 新潟県中越沖地震を踏まえた対策	

## ⑫ 事故への備えにおける運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。

**方針**  
・津波、全電源の喪失など従来の想定を大きく超える事故の対応手順を整備。  
・整備した対応手順について、繰り返し教育・訓練を実施。  
・重機の運転等に関して社員で対応できるよう、必要な資格の取得を実施。

<b>手順書等の更なる見直し</b>	<b>運転員シミュレータ訓練 地震+津波+SBO</b>
電源機能等喪失時対応ガイド	緊急時訓練
アクシデントマネジメント(AM)の手引き	津波AMの手引き
事故時運転操作手順書 敬換ベース	事故時運転操作手順書 シビアアクシデント
警報発生時運転操作手順書	事故時運転操作手順書
対応手順の整備	教育・訓練
	資格取得

## ⑬ 複合災害、複数プラント同時被災における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
複合災害、複数プラントが同時に被災したこと等による**態勢の混乱**が生じた。

**方針**  
・複数プラント、長期事故にも対応できるよう、発電所緊急時対策委員を大幅に増員。  
・初期における現場対応のため、運転員、宿直員を増員。  
・本店についても、発電所を的確に支援できるように宿直員、緊急時対策委員を増員。  
・緊急時対策本部の代替指揮所（代替TSC）を追加整備。  
・ICS（Incident Command System）の導入  
・緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化。  
・協力企業・メーカー等からの支援体制を強化。  
・遠隔操作可能なロボット等を有する電事連大の原子力レスキュー隊を整備。

<b>夜間・休祭日 宿直要員の増員 （班数対応要員）</b>	<b>夜間・休祭日 宿直要員の増員 （班数対応要員）</b>	<b>夜間・休祭日 宿直体制 宿直体制強化</b>	<b>夜間・休祭日 宿直体制 宿直体制強化</b>
運転員増員	緊急時対策委員の大幅増員	ICSの導入	支援体制の強化
運転員増員	緊急時対策委員	指揮命令系統の明確化 （号機責任者配置）	原子力レスキューの整備
対応要員の増員	態勢整備		代替指揮所の追加整備

## ⑭ プラント監視、通信手段、並びに情報共有の強化<情報伝達・情報共有>

**問題点（教訓）**  
停電に伴い通信機器等の連絡手段に制約がかかり、状況を共有することが困難になったこと等により、円滑に**プラント状態を把握・共有できなくな**った。

**方針**  
・電源強化、通信手段の多様化等、監視・情報伝達手段を強化。  
・事故時に重要な情報をあらかじめ様式化し、運転員、発電所緊急時対策室、本店で共有化する手続きを整備。  
・国が本店に規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣。また、国、関係機関と結びTV会議システムと連携。自治体への通報手段を多様化。

<b>中央制御室 通信手段強化</b>	<b>中央制御室 蓄電池等配備</b>	<b>衛星携帯電話 屋外アンテナ付</b>	<b>衛星携帯 電話強化</b>	<b>SPDS停止時の プラント情報共有 手続き</b>	<b>自治体への通報 手段の多様化</b>
プラント監視、通信手段強化	プラントパラメータ	衛星携帯電話	衛星携帯電話	プラントパラメータ 伝送システム (SPDS)	国との連携、 通報手段多様化
		中央制御室 免震重要機室 ホットライン			国とのTV会議 システムに連携
					TV会議システム

## ⑮ 資機材調達・輸送体制の強化における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
事故対策対応のための**資機材が不足**していた。

**方針**  
・自然災害による交通状況悪化を考慮し、当面必要な食料・燃料等は発電所内に備蓄。  
・警戒区域設定時にも必要な物資輸送ができるよう、輸送会社と契約、運転手の放射線防護教育を実施。  
・福島事故の教訓を反映した、後方支援拠点(物流拠点・出入管理拠点)の整備。

<b>非常時の燃料 調達協定</b>	<b>輸送会社運転手 の放射線防護教育</b>
燃料の備蓄	輸送会社との 輸送契約 (警戒区域含む)
緊急時対策委員 の7日分の 飲食料を備蓄	輸送会社との 輸送契約
備蓄	輸送体制強化
	後方支援拠点

## ⑯ 事故時放射線管理体制の強化における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
汚染の拡大や**不十分な放射線管理体制**が事故の対応を困難にしていた。

**方針**  
・モニタリングポストの電源強化、モニタリングカーの増強。  
・緊急時対策室、中央制御室への放射線計測器、放射線防護資機材の追加配備。  
・事故発生時の内部被ばく評価方法、対応手順の整備。  
・緊急時対策室への放射性物質流入防止方法の確立、訓練の実施。  
・広域での放射線測定作業に対応できるよう全店で放射線測定委員教育を実施。

<b>可搬型モニタ リングポスト 配備</b>	<b>モニタリング カー増強 (1台→3台)</b>	<b>モニタリング ポスト電源強化 (非常用電源)</b>	<b>モニタリング ボア下電源2重化 伝送系2重化</b>
モニタリングカー 1台配備	モニタリング ボア下電源2重化 伝送系2重化	簡易WBCの 配備	簡易式入域管理 装置の配備
モニタリング装置強化	放射線防護資機材、 内部被ばく評価手順 放射性物質流入防止、 要員増強	免震重要機室、 中央制御室に APD増設	放射線測定委員 の大幅増強
		復旧要員の 放射線防護装備 APD配備	緊急時対策室 放射線防護 防止対策
			復旧要員の 放射線防護 装備増強

## ⑰ 事故時の公表、社会への情報発信

**問題点（教訓）**  
事故時の公表、**情報伝達が十分でなかった**。

**方針**  
・報道対応体制の再構築  
・過酷事故時に活用する資料作成  
・インターネットを活用した積極的な情報発信

<b>報道対応体制 の再構築</b>	<b>過酷事故時に 活用する資料作成</b>	<b>インターネット による積極的 な情報発信</b>
報道対応体制 の再構築	過酷事故時に 活用する資料作成	緊急ラジオ放送 による情報発信
		広報車による 情報発信
		モニタリング ポストデータ等 リアルタイム公開



- ①国が構築するTV会議システム導入による情報共有
- ②関係機関への通報手段の多様化
- ③通報連絡協定の締結による通報連絡先の拡大

### TV会議システムの導入

#### 関連拠点へのTV会議システムの導入

- ・国が構築する国、電力会社本店、発電所、関係機関を結ぶTV会議システムへの連携

### 通報手段の多様化

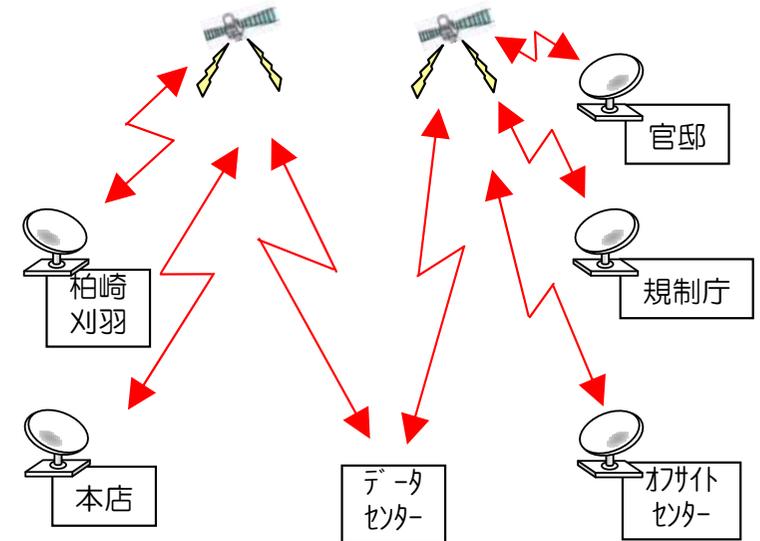
#### 衛星携帯電話の整備、衛星回線を使用した通信ネットワークの構築

- ・衛星携帯回線から携帯電話等への一斉メールサービス、衛星回線を利用した一斉同報FAXの導入を検討

### 通報連絡先の拡大

#### 日頃からの情報共有の強化、通報連絡の迅速・確実化

- ・新潟県内28市町村と通報連絡協定を新規締結
- ・長野県・栃木県と「連絡体制に関する覚書」締結



国とのTV会議システム連携のイメージ

☆立地県及び立地市町村とは安全協定を締結済

【締結先】

柏崎刈羽：新潟県、柏崎市、刈羽村

## Ⅱ. 福島第一原子力発電所事故の対策

# 福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく 柏崎刈羽原子力発電所の対策（設備面）

## < 柏崎刈羽原子力発電所 1号機の例 >

<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]	<span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
<span style="background-color: #FFA07A; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）	<span style="background-color: #D3D3D3; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 基本設計で採用した設備
<span style="background-color: #800000; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）	注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備
<span style="background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 新潟県中越沖地震を踏まえた対策	

### 第1層 トラブルの発生防止

#### 問題点（教訓）

想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。  
方針・・・津波（防水）対策により、**既存設備を含めて津波に対する耐力を向上させる。**

### 第3層 事故後の炉心損傷防止（電源）

#### 問題点（教訓）

全ての電源（直流、交流電源）が喪失した場合の代替手段が十分に用意されていなかった。  
方針  
・防水対策により、既存の電源設備に期待する。  
・全電源喪失時における長時間継続への対応手段を新たに確保する。交流電源設備については高台に設置することで、津波に対する裕度を向上させる。

※短期強化対策としては、非常用発電機、直流電源設備を高所に設置。長期強化対策としては、既設直流電源の増強を実施。

第5段	更なる高台電源等増強			
第4段	電源車高台配備	蓄電池等（分電盤等）強化（長期）※		
第3段	空冷式ガスタービン発電機車高台配備	蓄電池等（分電盤等）強化（短期）※	地元等外部からの燃料調達	
第2段	非常用D/G (A),(B),(H)	隣接号機からの電源融通	地下軽油タンク設置	
第1段	外部電源	直流電源 (A),(B),(H) (蓄電池)	軽油タンク (A),(B) (ディタンク)	

対策分類 交流電源 直流電源 燃料

①津波 ②電源

第5段	原子炉建屋等防水対策							
第4段	建屋エリア防水処理							
第3段	建屋防水対策 Hx/Bは実施中	変圧器 の浸水対策	開閉所 の防潮対策					
第2段	防潮堤設置 ・補機取水路蓋掛け						津波監視システム構築	
第1段	各設備、機器の設置高さ						潮位計	

対策分類 R/B T/B Hx/B 水処理 免震 水建屋 重要機 変圧器 開閉所 津波監視

①津波

### 第3層 事故後の炉心損傷防止（水源）

#### 問題点（教訓）

炉心損傷防止や炉心損傷後における影響緩和のために必要となる十分な水源や注水手段が確保されていなかった。  
方針  
・防水対策により、**既存の水源に期待する。**  
・貯水池や井戸の設置、海水による注水等多様な水源を確保すると同時に、それら各水源を用いた注水手段についても整備する。

第4段	海水
第3段	貯水池設置、井戸の設置
第2段	純水タンク、ろ過水タンク
第1段	復水貯蔵槽（CSP） 非常用復水貯蔵槽（ECSP）

対策分類 ③水源

③水源

### 第3層 事故時の炉心損傷防止（注水、減圧、除熱）

#### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合、その後の**高圧注水、減圧、低圧注水、除熱、水源確保**が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。  
方針  
**各手段の強化を実施**（原子炉、格納容器対する高圧注水、減圧、低圧注水、除熱）

第7段	D/Dポンプ増強								
第6段	代用高圧注水設備増強	RCIC起動失敗時のLPCSによる代用注水(SBO)増強	海水のポンプ増強						
第5段	制御室電源水素系緊急用電源増強	IA/NCA/B外部開口設置	代用水中ポンプ増強						
第4段	ボウシ水注入緊急用電源増強	SRV駆動用空圧注水設備増強	ディーゼル駆動の消火系(D)増強	代用緊急交換設備増強					
第3段	RCIC手動起動設備増強	SRV駆動用予備ポンプ増強	電動駆動の消火系	鉄線除去系(A),(B) (原子炉除熱)	格納容器による蒸気発生抑制スプレイ手動設備	格納容器パント用予備ハンドル増強	格納容器パント用予備ハンドル増強	フロント状態監視機能強化(原子炉水水位計)※	
第2段	高圧駆動の高圧注水(RPIC)	自動減圧系 SRV駆動用ポンプ(A),(B)	SRV駆動用予備ポンプ増強	復水精給水系(A),(B),(C) (MJWC)	原子炉冷却浄化系(A),(B)	代替スプレイ (MJWC/F)	格納容器駆動浄化ベンチ増強	フロント状態監視機能強化(原子炉水水位計)※	
第1段	電動駆動の高圧注水(HPCS)	過給器安全弁(LN)設置 SRV作作用電機(A),(B)	SRV作作用電機(A),(B)	電動駆動の高圧注水(A),(B),(C) LPCS	復水精給水系(原子炉除熱)	D/Wスプレイ	スクリーニング(A),(B) (PCV除熱)	既存の計表設備	

対策分類 ④高圧注水 ⑤減圧 ⑥低圧注水 ⑦原子炉(PCVスプレー) (除熱) ⑧原子炉、格納容器冷却 (除熱) ⑨計表

④高圧注水 ⑤減圧 ⑥低圧注水 ⑦原子炉(PCVスプレー) (除熱) ⑧原子炉、格納容器冷却 (除熱) ⑨計表

### 第4層 事故後の影響緩和

#### 問題点（教訓）

炉心損傷後の影響緩和の手段（格納容器損傷防止、水素制御、溶融炉心落下対策、環境への放射性物質の大量放出防止等）が整備されていなかった。  
方針  
炉心損傷後の影響緩和手段の強化を実施（水素制御、水素濃度監視、コアコンクリート反応抑制）

第3段	原子炉建屋トップベント設備設置 建屋水素濃度計設置 ブローアウトパネル	溶融炉心落下対策
第2段	原子炉建屋水素処理装置設置 格納容器頂部水張り設備設置 フィルターベント設備設置	消防車を用いたベダスタルへの注水
第1段	FCS※	MJWCを用いたベダスタルへの注水

対策分類 水素制御、水素濃度監視 コア・コンクリート反応抑制

⑧炉心損傷後の影響緩和

### その他 燃料プール冷却

#### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合の水位等の監視・計測とその後の**燃料プールの除熱・注水、水源確保**が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。  
方針  
燃料プールへの注水・除熱手段の強化を実施（注水機能、除熱機能、監視・計測）

第5段	D/Dポンプ増強			
第4段	コンクリートポンプ増強	代用Hxを用いた残留熱除去系A (燃料プール除熱)	緊急時用監視カメラ	
第3段	消防車(注水用)高台配備	外部からの注水配管設置	代用Hxを用いた燃料プール冷却浄化系A	緊急時用水位計
第2段	復水補給水系	残留熱除去系A,B (燃料プール除熱)		ITVからの監視
第1段	燃料プール補給水系	燃料プール冷却浄化系A,B		水位計

対策分類 注水機能 除熱機能 監視・計測

⑨燃料プール

### その他 耐震設計

#### 問題点（教訓）

外部電源設備は常用系設備であり、大規模な地震時には動作を期待しない設備であったが、福島第二では**震災時に機能を維持した外部電源がその後の復旧に大きな役割を果たした。**  
方針  
常用系設備であっても、緊急時に対応手段の1つとして活用が期待でき、追加の耐震補強が可能な設備は耐震補強を実施する。

第3段	送電鉄塔基礎安定性等評価	開閉所、変圧器耐震強化	復水補給水系配管等の耐震強化	放水タンク耐震強化
第2段	中越沖地震の知見を踏まえ、保守性を持って基準地震動Ssを設定し、さらに余裕を持つよう耐震強化を実施			
第1段	耐震設計審査指針に則った耐震設計			

対策分類 ⑩地震

⑩地震

### その他 その他の視点における安全対策

#### 問題点（教訓）

瓦礫等の散乱による**現場のアクセシビリティ・作業性低下等、著しい作業環境の悪化**が事故の対応を困難にしていた。  
方針  
・事故時の対応をサポートする上で重要となる各機能への対策を講じる。

第3段	D/Dポンプ増強	瓦礫除去用重機の配備				
第2段	活動拠点の増強	中央制御室換気空調系電源車での給電	消火系配管地上化	アクセス道路補強※	モニタリング機能強化	通信設備増強
第1段	免震棟設置	中央制御室換気空調系	火災対応用消防車配備	アクセス道路補強※	既存のモニタリング設備	既存の通信設備

対策分類 緊急時対策本部 中央制御室 火災対策 アクセス路確保 モニタリング設備 通信設備

⑪その他の視点

## 第1層 トラブルの発生防止

問題点（教訓）…**想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。**  
 方針…津波（防水）対策により、**既存設備を含めて津波に対する耐力を向上させる。**

- 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
- 赤字** 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
- 黒字** 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
- 新潟県中越沖地震を踏まえた対策
- 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
- 基本設計で採用した設備

注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

第5段	原子炉建屋等排水対策							
第4段	重要エリア防水処理							
第3段	建屋浸水対策 <small>Hx/Bは実施中</small>		変圧器回りの浸水対策			開閉所防潮壁設置		
第2段	防潮堤設置 補機取水路蓋掛け							津波警告システム構築
第1段	各設備、機器の設置高さ							潮位計
対策分類	R/B	T/B	Hx/B	水処理水建屋	免震重要棟	変圧器	開閉所	津波監視

①津波

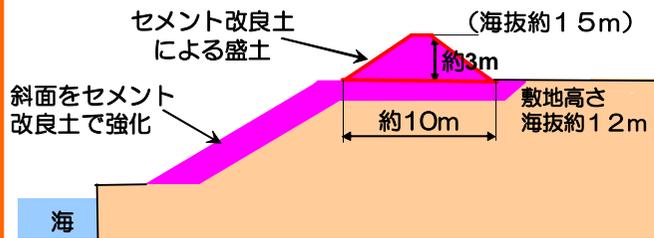
# ① 防潮堤の設置による敷地内への浸水低減と衝撃回避＜津波対策＞

設計津波高さ3.3mを大きく超える津波が発電所に襲来した場合においても、海拔約15mの防潮堤により敷地内への浸水を低減するとともに、津波による建屋等への衝撃を回避。

## 5～7号機側の防潮堤（堤防）

⇒8月29日に本体工事が完了しました

- ◆ 海拔約12mの敷地に、高さ約3mのセメント改良土による盛土と海側斜面の強化を行いました。
- ◆ 今後、周辺整備を平成24年度内を目途に進めてまいります。



①展望台から（8月28日撮影）



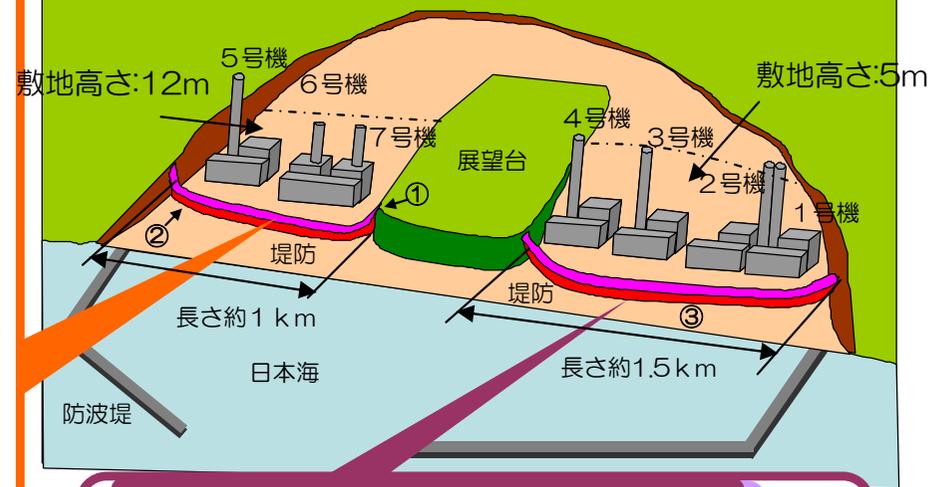
②海側から（8月28日撮影）

防潮堤内に浸水した場合に備えて排水設備も敷設

防潮堤は基準地震動 $S_s$ 、津波高さ15mの波力（静水圧の3倍）に対して機能を維持するよう設計

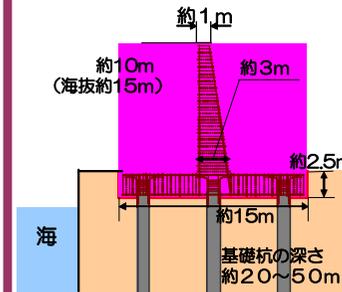
## 防潮堤（堤防）設置イメージ

数字は写真撮影地点



## 1～4号機側の防潮堤（堤防）

⇒工事を順調に進めています

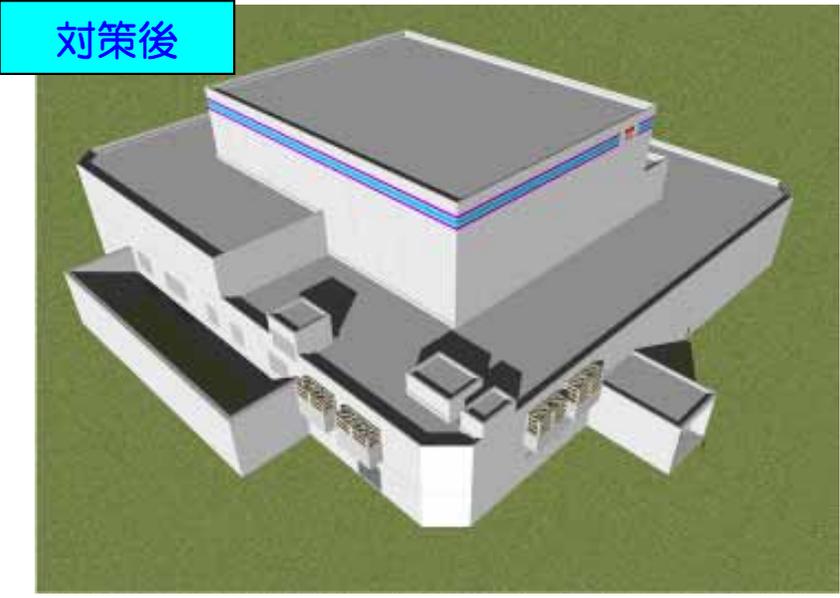
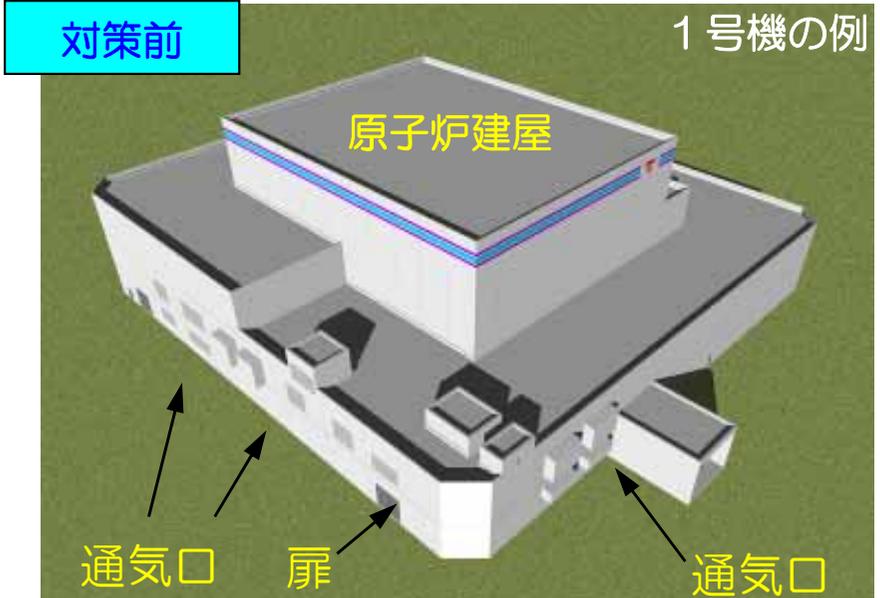


③3号機海側（8月28日撮影）

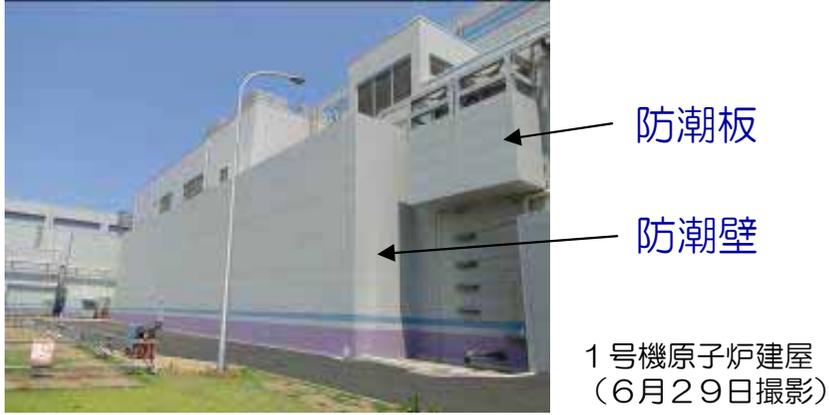
- ◆ 海拔5mの敷地に、基礎杭でしっかり固定した高さ約10mの鉄筋コンクリート製の堤防を作っています。
- ◆ 基礎杭は全891本の打込みが8月28日に完了し、一部の壁部分も完成しています。

# ① 防潮壁，防潮板等の設置による原子炉建屋等への浸水防止＜津波対策＞

敷地内に海水が浸入し原子炉建屋に襲来した場合においても、建屋内への浸水を防止するため、海拔15mの高さの防潮壁および防潮板等を設置。



- 【防潮壁、防潮板等の設置状況】
- ・ 防潮壁の設置：1号機完了  
2～4号機工事中
  - ・ 防潮板の設置：1号機完了  
2～4号機工事中
- ※防潮壁、防潮板の設置は、T.P.15m以下に開口部がある1～4号機のみ実施

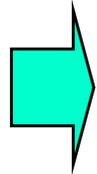


- 設計条件
- ・ 基準地震動（ $S_s$ ）に対して機能維持
  - ・ 津波波力は、3倍の静水圧に対して機能維持（防潮堤と同等）

# ① 水密扉等の設置による重要エリアへの浸水防止＜津波対策＞

さらに万一、何らかの理由により建屋内に海水が流入した場合においても、重要機器への冠水を防止するため、重要機器室の水密扉化等を実施。

## 重要機器室の水密扉化（1号機 原子炉隔離時冷却系ポンプ室の例）

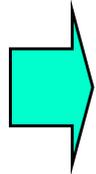


水密扉設置箇所  
 ・ RCIC室  
 ・ ECCS室（A系）  
 ・ MUWC室  
 ・ 非常用電気品室等

**設計条件（水密扉）**  
 水密性  
 ・ 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・h程度  
 水頭圧  
 ・ 各階フロア高さ  
 例：K1 地下5階  
 1.8mを設定

## 配管貫通孔・ケーブルトレイ・電線管

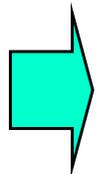
配管  
施工例



防水処理箇所  
 ・ 配管貫通孔  
 ・ ケーブルトレイ  
 ・ 電線管 等

**設計条件（貫通口）**  
 【津波波力（外部）】  
 ・ 津波正面 静水圧3倍  
 ・ 津波側面 1.5倍  
 ・ 建屋内 1.0倍  
 【水頭圧】  
 地上部  
 ・ 津波高さ15mー  
 貫通口敷地高さ(m)

ケーブル  
トレイ  
施工例



シリコンゴム  
材を使用し防  
水対策を実施

# ① 原子炉建屋内の排水系の設置＜津波対策＞

津波に対しては、防潮堤・防潮壁の設置、建屋外部扉の水密化、建屋貫通部防水処理、重要機器室の水密扉化等、重要機器設置箇所への浸水を防止する対策を実施しているが、万一の浸水等による重要機器への影響を防止するため、非常用電源で駆動する仮設及び常設の原子炉建屋内の排水系を設置する。（常設排水系の敷設までの間は下記の「仮設エンジンポンプ」により排水手段を確保する。）

現状は仮設エンジンポンプを用いた最地下階からの排水手順を定めている。

仮設エンジンポンプスペック

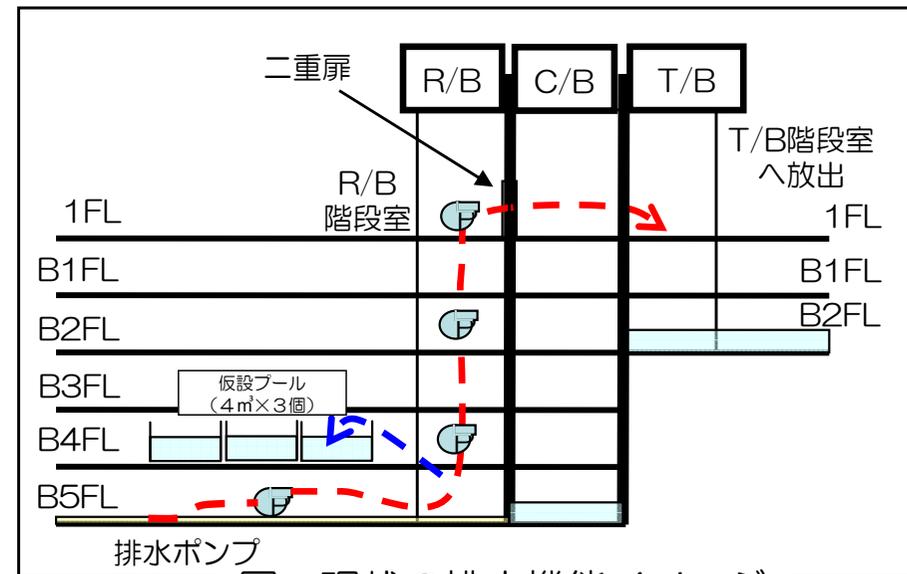
重量：30 kg

燃料タンク容量：3.6 リットル

揚程：約30 m（流量100L/min）

最大揚水量：1,000 L/min

また、SBO状況下においてRCICを手動起動する際の溢水に備え、重要機器室について常設排水系の敷設を進めている。

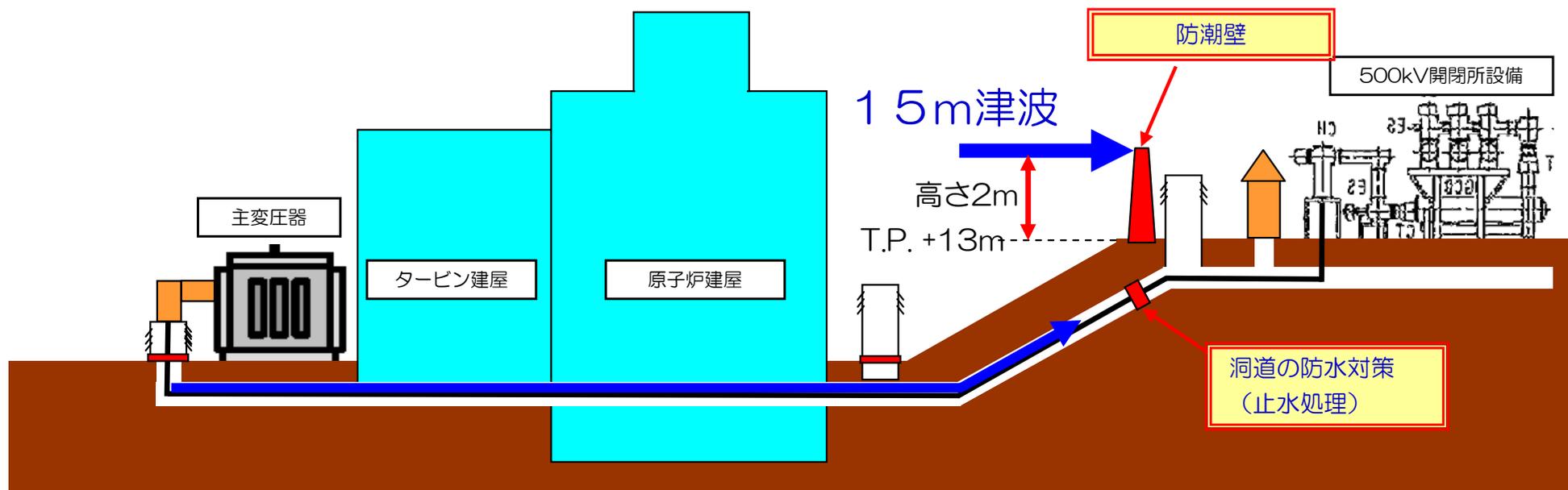


図：現状の排水機能イメージ

## ① 開閉所止水対策＜津波対策＞

15m津波による浸水に対し、開閉所ならびに設置している機器を防御するため、防水対策を図る。

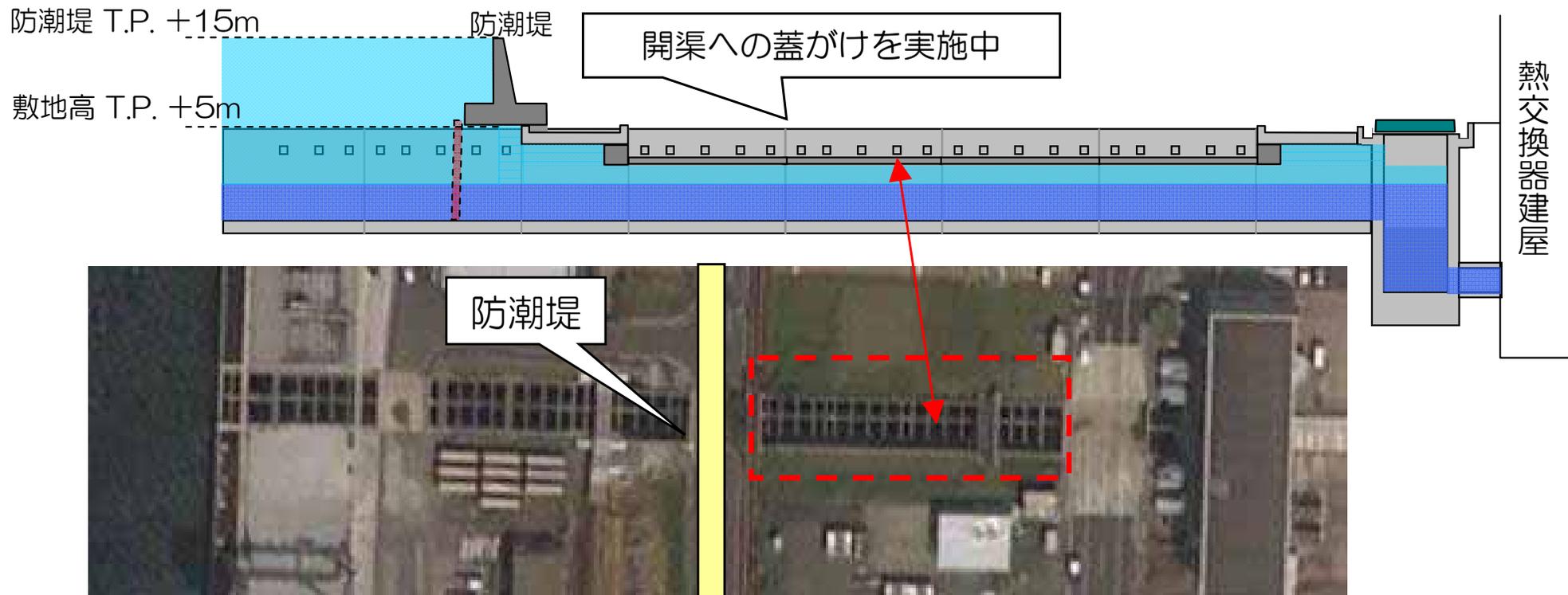
- 15m津波を想定し、敷地高さ13mの開閉所に高さ2.0m程度の防潮壁を設置。  
 （設計条件）耐震性Ssに対して機能維持，想定津波高さ15m（高さ2mの壁）を想定。  
 津波波力については動水圧（静水圧1.5倍波圧）を考慮  
 ※1.5倍波圧については、国土交通省から各知事へあてた津波に対する構築物の設計法の技術的知見文書より、構築物に対する津波荷重算定式に用いる係数条件の「海岸より500m以上離れている場合、波圧は静水圧1.5倍とする」を引用し、防潮壁の耐力算定に用いている。（防潮壁の設置場所は海岸から500m以上）
- 地下の洞道を遡っての浸水に対し、洞道内で防水処理を実施。



# ① 補機取水路への蓋がけ＜津波対策＞

敷地内への浸水量低減及び津波の衝撃力回避を目的として、高さ海拔15mの防潮堤を建設中であるが、防潮堤設置後も取水路等の開渠から津波が敷地内に浸入し、設備に影響を与える可能性があることから、開渠等の開口部を減らすことによる、溢水対策を実施中。

K1非常用補機取水路の例

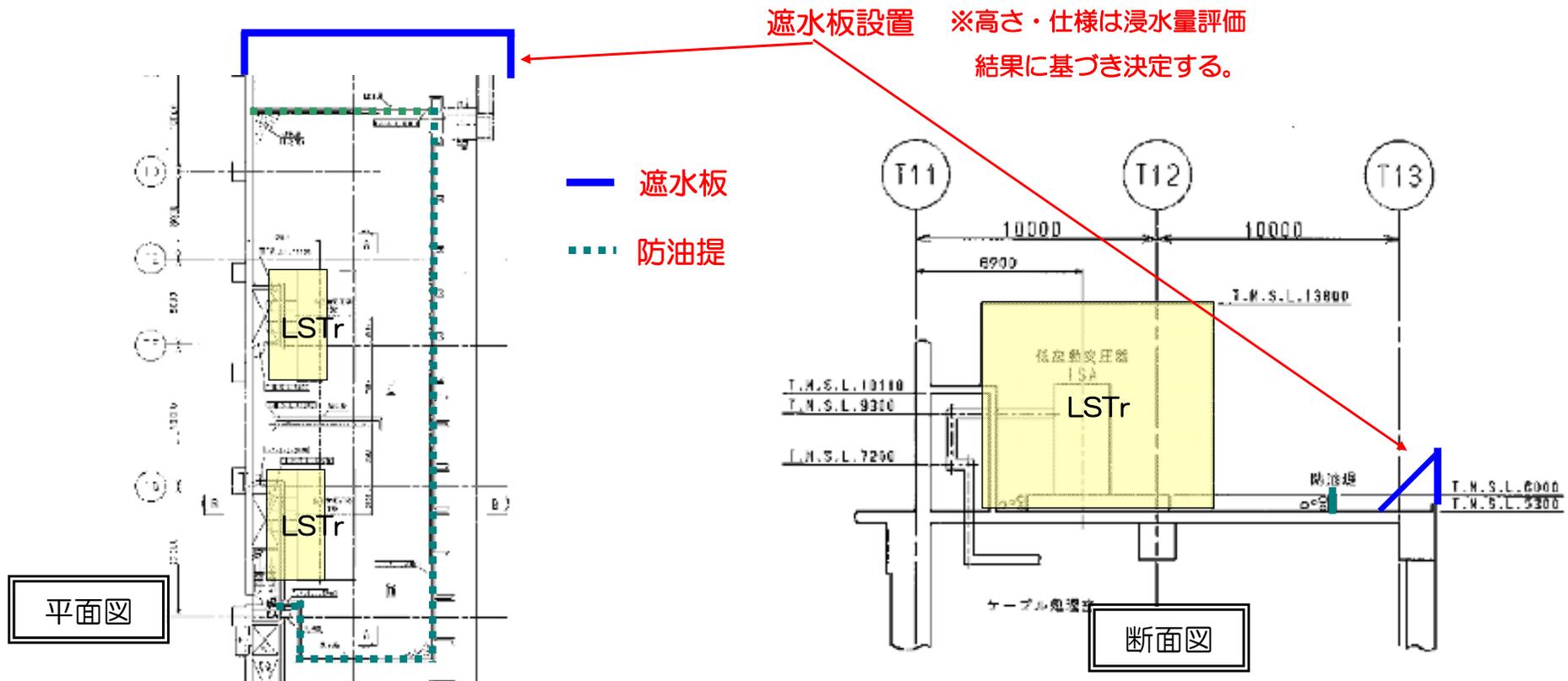


# ① 変圧器回りの浸水対策＜津波対策＞

低起動用変圧器の浸水防止対策を実施し、外部電源の信頼性向上を図る。

防潮堤設置後に想定される溢水に対する低起動用変圧器への浸水防止対策として遮水板を設置する。

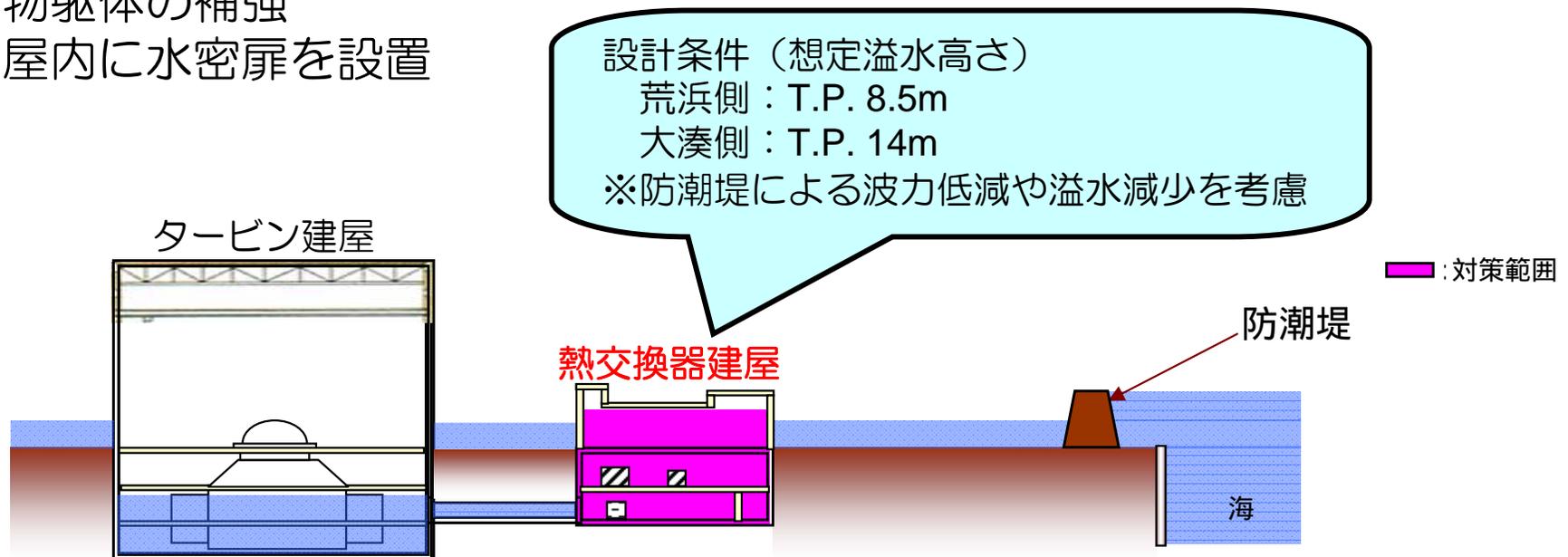
例：1号機の遮水板設置イメージ



## ① 熱交換器建屋等浸水対策＜津波対策＞

早期かつ確実に冷温停止に移行させるため、熱交換器建屋の防水対策を実施し、津波の襲来に対しても海水系熱交換器等の機能を維持可能とする。

- ・ 熱交換器建屋内の海水ポンプ室取水路ハッチ補強  
（ハッチふたへ補強材追加）
- ・ 外部開口部への防水板取り付け
- ・ 建物躯体の補強
- ・ 建屋内に水密扉を設置



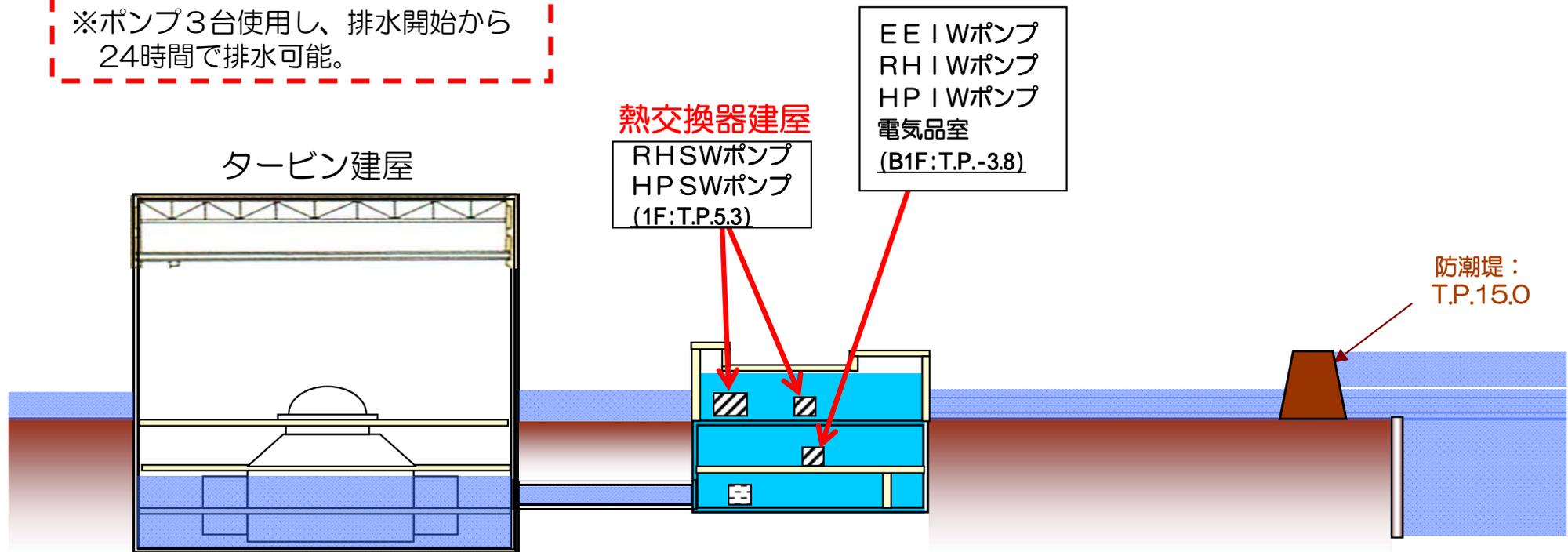
# ① 熱交換器建屋用排水ポンプ配備<津波対策>

想定を超える津波が襲来し熱交換器建屋が浸水した場合においても早期に排水することで「電源」「除熱」「注水」機能をサポートする海水系ポンプ機能の復旧を図る。

排水ポンプ (吐出口径8インチ、吐出量300m<sup>3</sup>/h、最高揚程26m) × 6台、ホース (8インチ) × 6セット緊急対策用資機材として配備。(2プラント分)

例: 1号機 (2万m<sup>3</sup>の排水を想定)

※ポンプ3台使用し、排水開始から24時間で排水可能。



## 第3層 事故後の炉心損傷防止

### 問題点（教訓）

全ての電源（直流、交流電源）が喪失した場合の代替手段が十分に用意されていなかった。

方針 ・ 防水対策により、既存の電源設備に期待する。

・ 全電源喪失時における長時間継続への対応手段を新たに確保する。交流電源設備については高台に設置することで、津波に対する裕度を向上させる。

対策 分類	第5段	更なる高台電源等 増強		※短期強化対策としては、非常用発電機、直流電源設備を高所に設置。長期強化対策としては、既設直流電源の増強を実施。		<p>■ 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]</p> <p>■ 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）</p> <p>■ 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）</p> <p>■ 新潟県中越沖地震を踏まえた対策</p> <p>■ 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策</p> <p>■ 基本設計で採用した設備</p> <p>注：青太枠は防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備</p>
	第4段	電源車 高台配備		蓄電池等 （直流電源） 強化（長期）※		
	第3段	空冷式ガスタービン発電機 高台配備	高台電源設備 （分電盤等） 設置	蓄電池等 （直流電源） 強化（短期）※		地元等外部からの 燃料調達
	第2段	非常用D/G （A）,（B）,（H）	隣接号機 からの 電源融通	隣接号機からの 電源融通による 蓄電池充電		地下軽油 タンク設置
	第1段	外部電源		直流電源 （A）,（B）,（H） （蓄電池）		軽油タンク （A）,（B） （ディタンク）
	交流電源		直流電源		燃料	

## ② 電源

## ② 空冷式GTG、電源車の高台配備による早期電源復旧<電源対策>

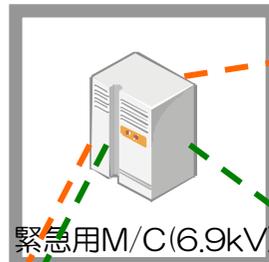
万一、プラントの全交流電源喪失時にも重要機器の動力が迅速に確保できるよう、大容量の空冷式ガスタービン発電機車（空冷式GTG）を高台に配備。併せて、燃料補給用の地下軽油タンクを設置。また、電源供給が迅速に行えるよう高台に緊急用の高圧配電盤（M/C）を設置し、常設ケーブルを各号機へ布設。さらに空冷式GTGに加えて、多数の電源車を高台へ配備。

- ・空冷式GTG：2台配備済
- ・電源車：23台配備済
- ・エンジン付発電機：配備済
- ・その他の資機材（接続ケーブル等）：配備済  
（平成24年12月4日現在）

- ・空冷式GTG～緊急用M/C～R/B M/C
- ・電源車～接続箱～緊急用M/C～R/B M/C
- ・電源車～R/B M/C

### 高台電源設備（分電盤等）設置

154kV開閉所建屋



緊急用M/C(6.9kV)

設置場所：T.P. 約27m

給電ルート

### 接続箱

設置場所：T.P. 約35m  
電源車を並列接続



### 空冷式GTG 高台配備



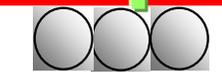
容量：4,500kVA  
配備数：2台(7プラントのRHR(A)が運転可能)  
配備場所：高台(T.P. 約35m)

### 電源車高台配備

容量：500kVA  
配備数：21台  
配備場所：高台(T.P. 約35m)



設置場所：T.P. 約35m  
容量：144 kL(公称)  
空冷式GTG、電源車、  
消防車の約1日(24時間)分  
の燃料消費量



地下軽油タンク設置

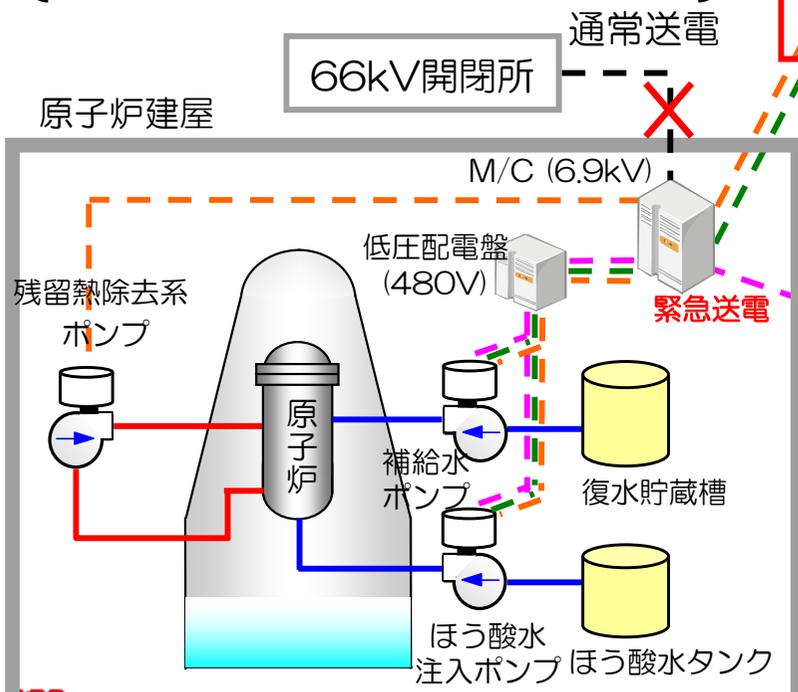
既設軽油タンク（1～7号機）  
合計5700kL  
輸送手段を整備中



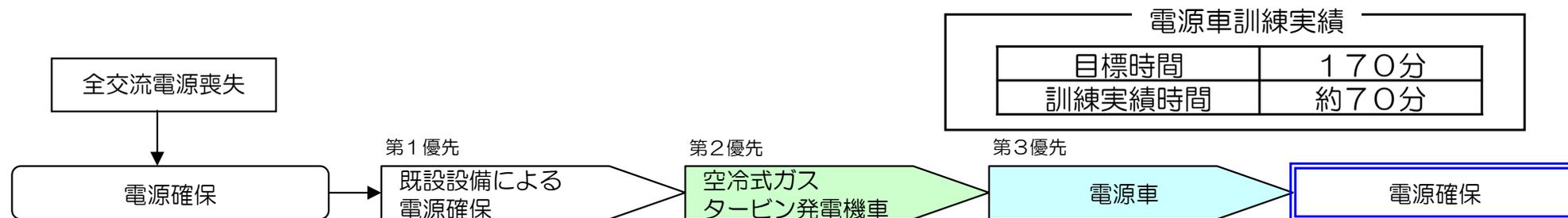
既設軽油タンク

地元の石油販売業者と燃料調達契約を締結しており、災害発生より6時間以内に120kLの燃料補給が可能

ガスタービン発電機車のバックアップとして、電源車を複数台簡単に接続可能（最大15台）な接続箱を設置し非常用電源の強化をし、復旧の迅速化を図りました。



空冷式GTG、電源車による電源復旧の対応手順を策定。全交流電源を喪失しても、炉心損傷を発生させないための電源確保訓練を繰り返し、手順・体制の実効性確認と継続的改善を実施。



目標時間	170分
訓練実績時間	約70分

主な訓練内容	訓練の様子
<ul style="list-style-type: none"> <li>電源車による電源供給 電源車を原子炉建屋脇へ移動。ケーブルの布設、接続を行い、電源車を起動する。</li> </ul>	<p>&lt;電源確保訓練&gt;</p>     <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; display: inline-block;">ガスタービン発電機車</div>  <ul style="list-style-type: none"> <li>① ケーブル布設</li> <li>② ケーブル接続</li> <li>③ 電源車へケーブル接続</li> <li>④ 電源車起動</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>電源車による電源供給に加え、以下のような個別訓練を実施している。 <ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電機車、電源車操作訓練</li> <li>電源車による緊急用高圧配電盤、高圧配電盤受電訓練</li> <li>ケーブル接続訓練</li> <li>夜間訓練 他</li> </ul> </li> </ul>	

## ② 蓄電池等（直流電源）の強化＜電源対策＞（1 / 2）

重要な機器の制御電源や監視計器の電源に用いる直流電源を長い間維持できるように強化するとともに、予備蓄電池を配備。

現状



設置場所：K1→C/S B1F  
K7→C/B B1F  
既設直流電源容量（K1の例）  
（A）：4000Ah  
（B）：1600Ah  
（H）：500Ah  
※A系(RCIC等)8h供給可能  
（負荷カット状態）

既設直流電源室の防水強化

バッテリー室への浸水を防止するための防水処理を実施する

蓄電池強化のイメージ



充電



設置場所：K1→C/S屋上  
K7→C/B屋上  
※ RCIC及び監視計器に供給可能。  
（負荷カット状態）

**プラント内の15 m以上の高所に蓄電池充電器専用の非常用発電機を設置予定**

設置場所：K1→R/B中3F  
K7→R/B 4F  
増設直流電源容量：  
（A）：3000Ah（既設の75%）

既設直流設備とは別の  
**15 m以上の高所に直流電源設備を増設予定**  
（位置的分散と蓄電池容量の増加）

電源供給  
（負荷カット状態）  
約8時間

給電

【供給先】

- ◆原子炉隔離時冷却系（高圧注水設備）
- ◆主蒸気逃がし安全弁（減圧設備）
- ◆重要監視計器

### ○予備蓄電池配備

用途		予備蓄電池配備数（台）							合計	配備場所
		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機		
監視用計器	監視計器用	2	2	2	2	2	2	2	14	1号機： 計算機室 5～7号機： 中央制御室
	放射線モニタ用	4	常時交流電源から供給※1						4	計算機室
主蒸気逃がし安全弁操作		10	10	10	10	10	10	10	78	主蒸気逃がし安全弁操作 (例)1号機：下部中央制御室
ディーゼル駆動消火ポンプ制御							4			
原子炉水位監視							4			



※1：2～7号機の放射線モニタは常時交流電源より供給され、交流電源喪失時は無停電電源装置の蓄電池より供給される。

### ○直流電源の負荷制限

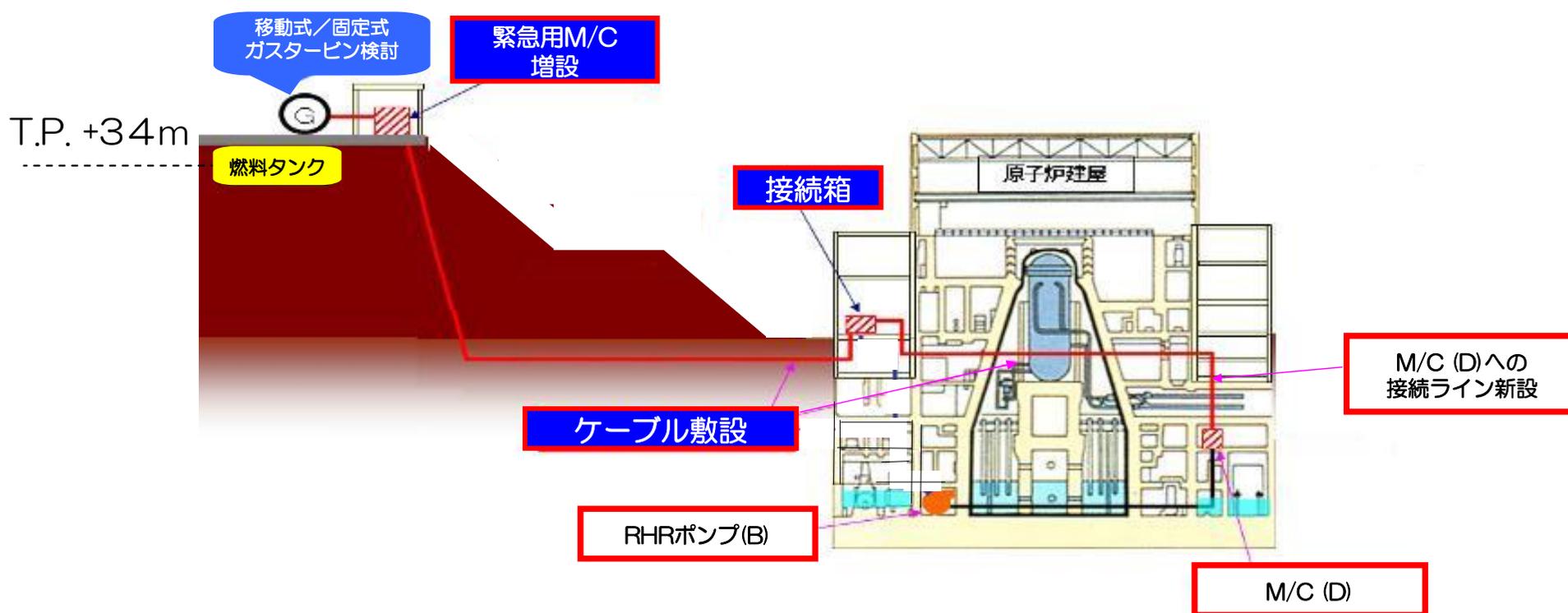
- ・ SBO後、必要最低限の直流負荷(RCIC、DC照明、監視計器等)のみに負荷抑制
- ・ 8時間後には直流照明も切り離し

## ② 更なる高台電源等の設置＜電源対策＞

本設非常用交流電源の多様性を考慮し、空冷方式の非常用交流電源を津波の影響を受けない高台に設置する。また、給電系統の多重性強化として、新設の電源系統による、緊急用M/Cから非常用高圧母線（D）系に電源を供給しRHR（B）を稼働させる。

### 高台電源設置(実施中)のイメージ

- (1. M/C建屋の新設)
2. M/C及び電気設備の設置
3. 高台発電機（空冷方式）の設置
4. 燃料タンクの設置
5. 緊急用M/C～接続箱電路設置
6. 接続箱～D系M/C電路設置



## 第3層 事故後の炉心損傷防止

### 問題点（教訓）

炉心損傷防止や炉心損傷後における影響緩和のために必要となる十分な水源や注水手段が確保されていなかった。

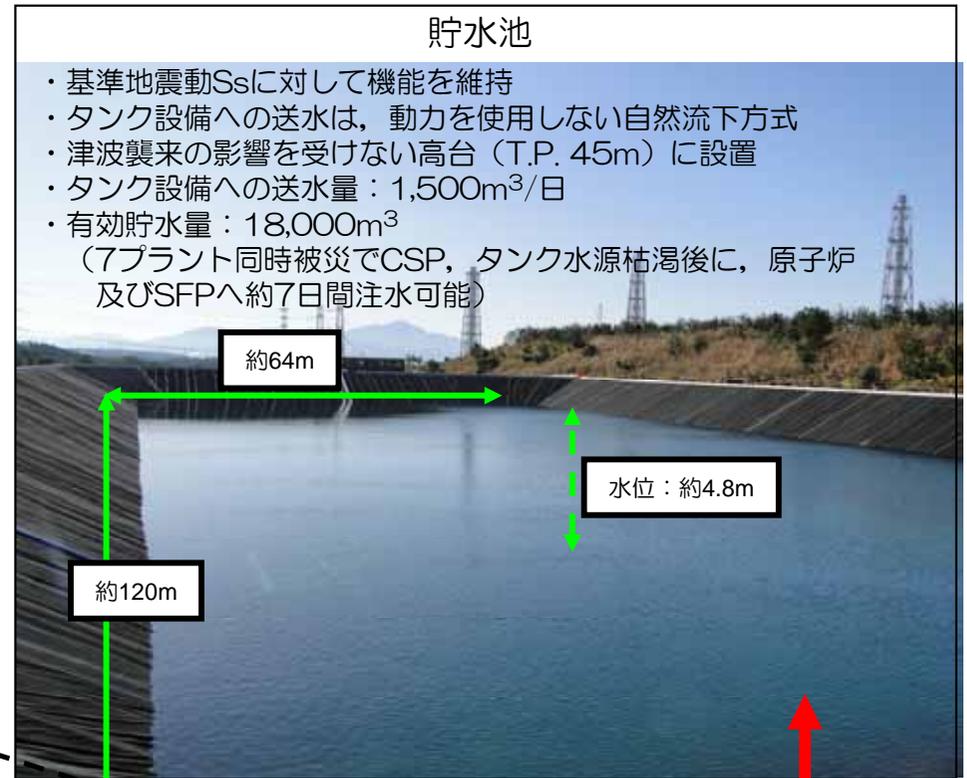
### 方針

- ・ 防水対策により，既存の水源に期待する。
- ・ 貯水池や井戸の設置，海水による注水等多様な水源を確保すると同時に，それら各水源を用いた注水手段についても整備する。

第4段	海水	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><span style="background-color: #FF69B4; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]</p> <p><span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）</p> <p><span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）</p> <p><span style="background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 新潟県中越沖地震を踏まえた対策</p> <p><span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 福島第一事故以前に整備した アクシデントマネジメント対策</p> <p><span style="background-color: #FFFFFF; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 基本設計で採用した設備</p> <p>注：青太枠については，防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備</p> </div>
第3段	貯水池設置，井戸の設置	
第2段	純水タンク，ろ過水タンク	
第1段	復水貯蔵槽（CSP） 非常用復水貯蔵槽（ECSP）	
対策分類	③ 水源	

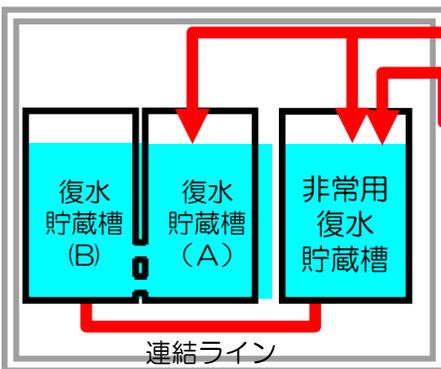
### ③ 貯水池および井戸の構内設置による淡水の安定確保＜水源対策＞

原子炉や使用済燃料プールへ淡水注水を安定的に継続できるように、既存の淡水タンクに加えて、海拔45mの高台に淡水約2万トンを蓄えられる貯水池を設置。また、貯水池へ補給用の井戸（2本）を構内に設置。

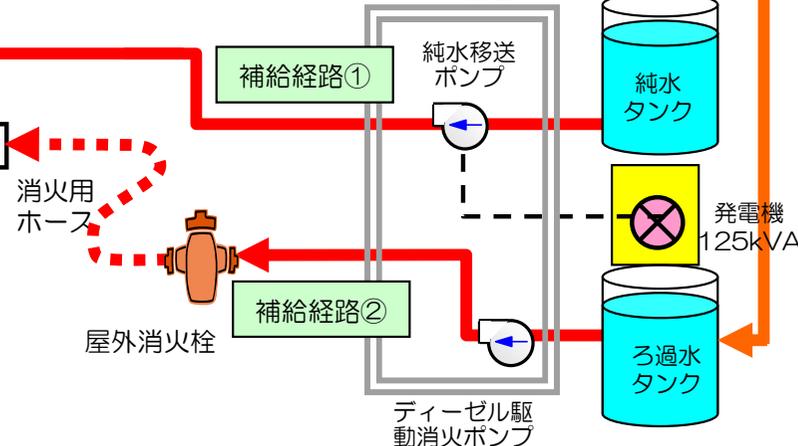


送水ラインは地震による影響を受けにくい柔構造設計

原子炉複合建屋附属棟



水処理建屋



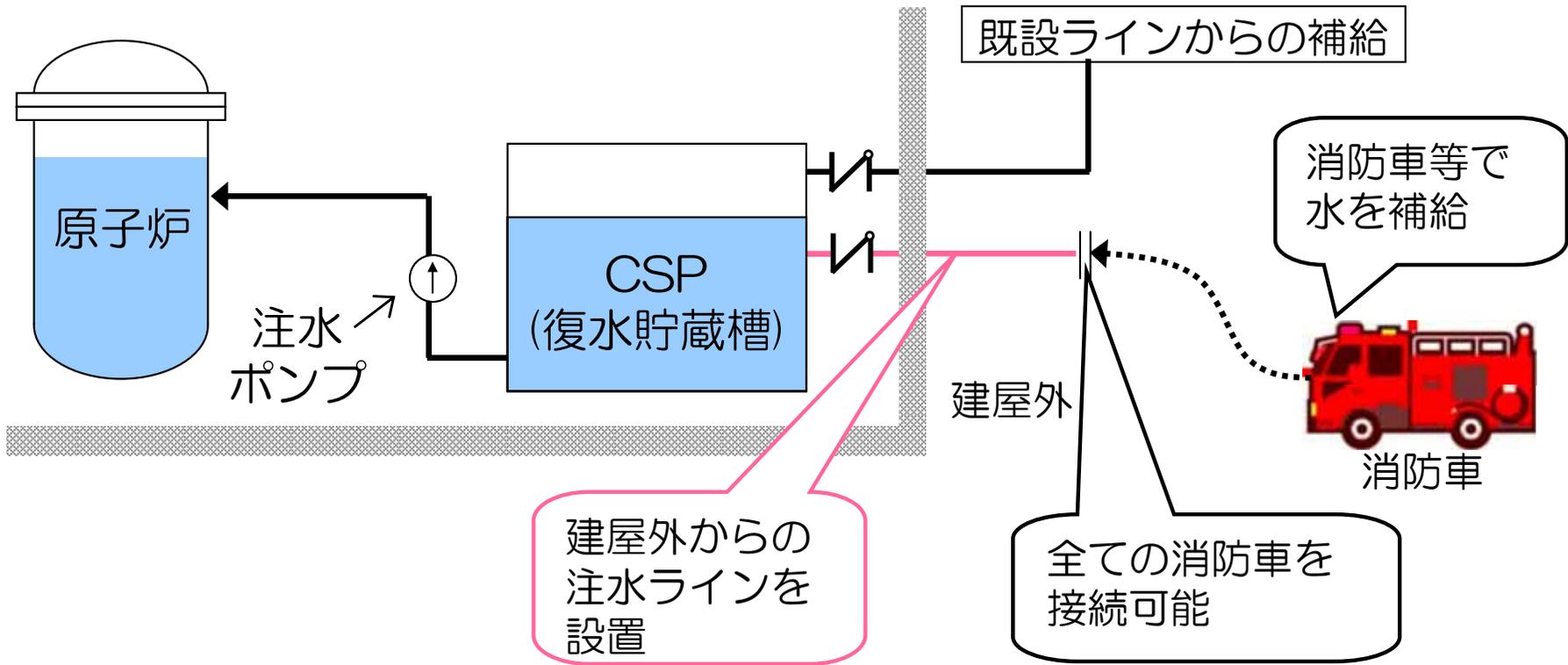
補給水用井戸



### ③ 建屋外からのCSP注水ラインの設置＜水源対策＞

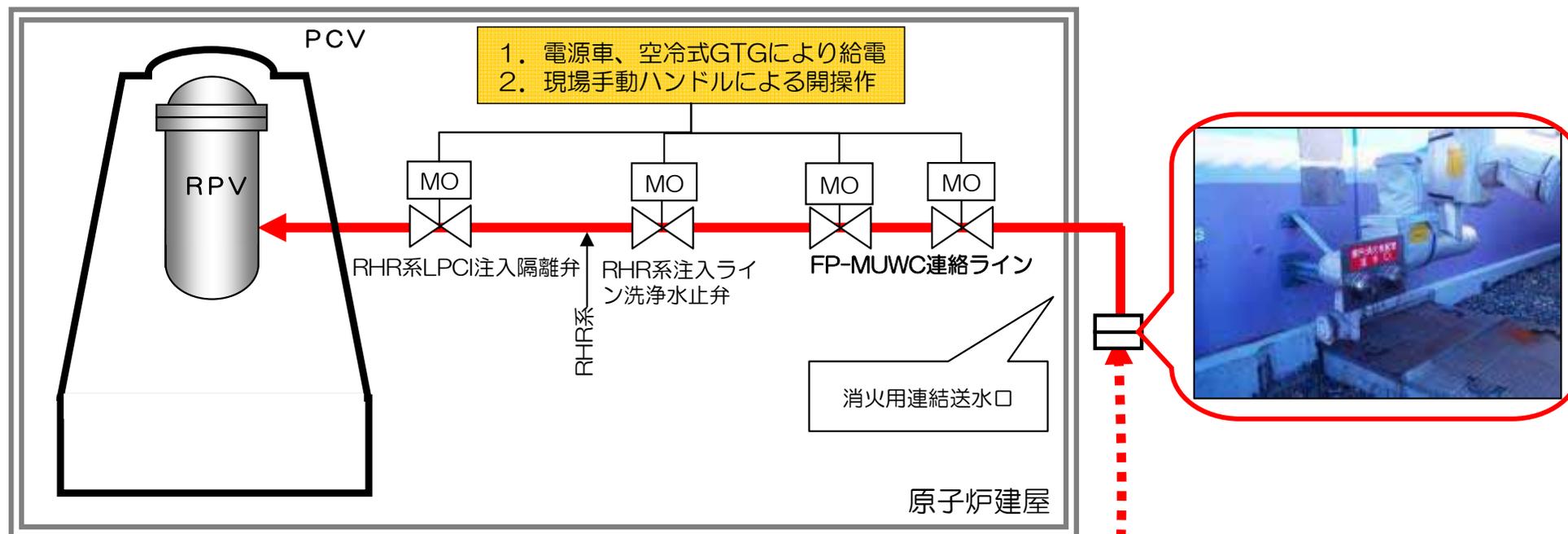
原子炉注水の主要な水源であるCSP（復水貯蔵槽）に、建屋外からの注水ラインを設置することにより、屋外からの補給を可能にする。

#### 建屋外からの注水ラインの設置を実施中



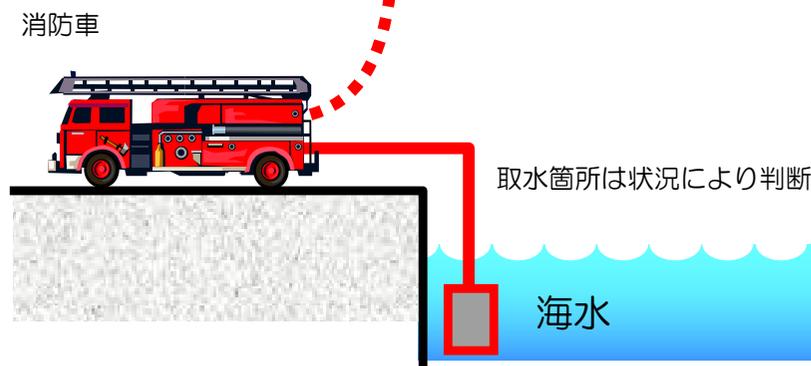
### ③ 海水利用手順整備<水源対策>

MUWC及びD/DFPによる注水が失敗した場合、またはMUWC・D/DFPの水源（淡水）が枯渇した場合に、海水を水源とした消防車により、原子炉へ注水する手順を津波AMGにて策定



#### ○必要機材

- ・ 消防車 (AⅡ級以上) 1台 ※AⅡ級: 84 m<sup>3</sup>/h @ 1.4MPa  
※84m<sup>3</sup>/hは、原子炉停止60分後の崩壊熱に相当
- ・ 送水用ホース 20m 16本 消防車に積載
- ・ 消防車は仮置きヤード (T.P.約35m)、自衛消防センターに保管



## 第3層 事故時の炉心損傷防止

### 問題点 (教訓)

全ての電源を喪失した場合、その後の**高圧注水**、**減圧**、**低圧注水**、**除熱**、**水源確保**が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。

### 方針

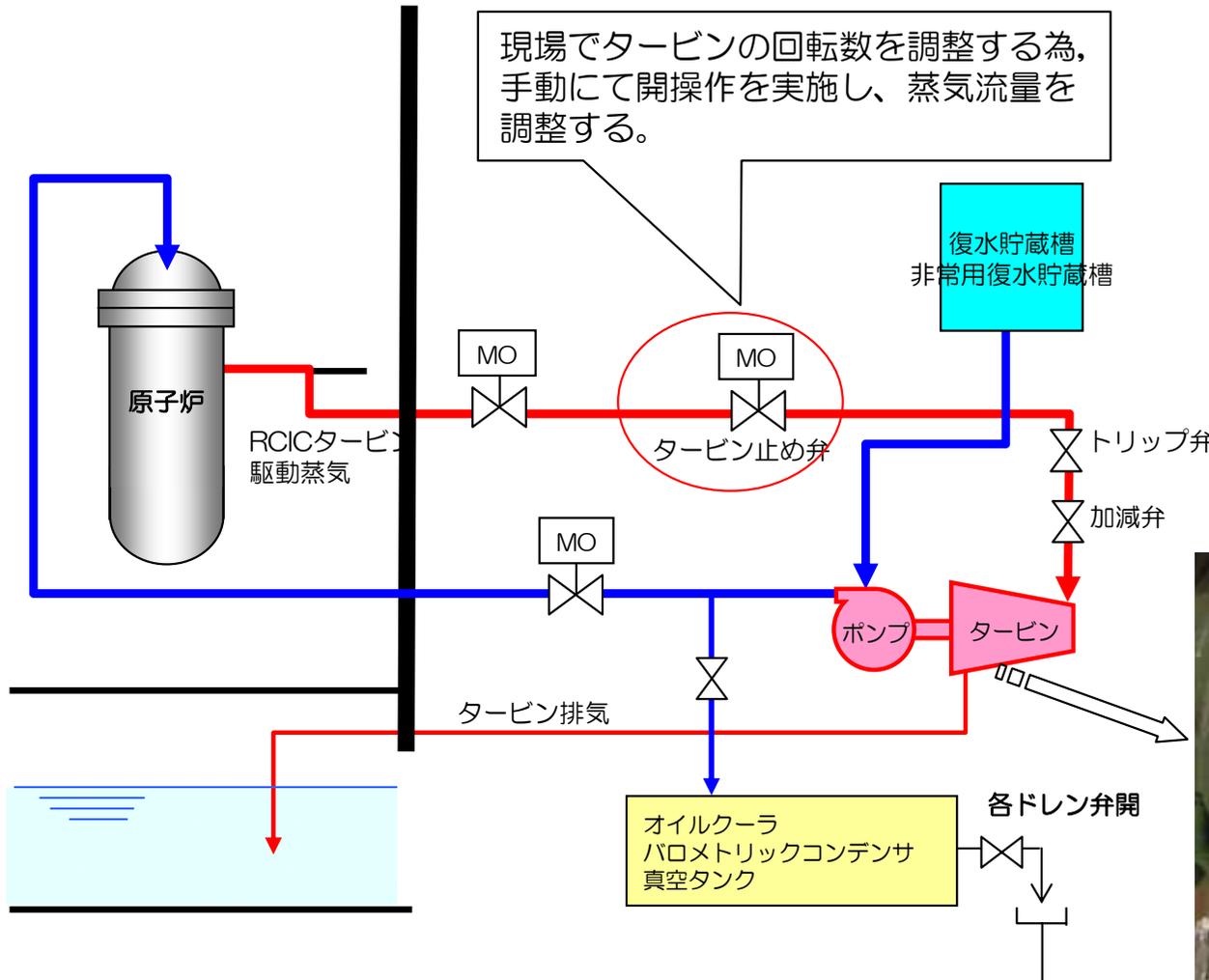
**各手段の強化を実施** (原子炉, 格納容器に対する高圧注水, 減圧, 低圧注水, 除熱)

第7段					D/Dポンプ 増強	※3BWRプラントの対策であり、ABWRプラントの場合には、RCIC起動失敗時にHPCFによる代替注水を実施する。従って、ABWRプラントでは、「④高圧注水」の厚みが1段増加し、「⑥低圧注水」の厚みが1段減少する。					
第6段	代替高圧注水 設備設置					RCIC起動失敗時の LPCSによる 代替注水 (SBO時)※3	海水ポンプ 予備モータ 配備				
第5段	制御棒駆動 水圧系緊急 活用手順整備※1					消防車 (注水用) 高台配備	MUWCへの 外部接続口 設置	代替水中 ポンプ配備			
第4段	ホウ酸水 注入系緊急 活用手順整備※1		SRV駆動用 空気圧縮機 配備			ディーゼル 駆動の消火系 (D/DFP)	代替 熱交換器 設備配備				
第3段	RCIC手動 起動手順 整備		SRV駆動用 予備ポンペ 配備			電動駆動の 消火系	残留熱除去系 (A),(B) (原子炉除熱)	消防車による 格納容器スプレー 手順整備	格納容器 バント用自動 ハンドル設置	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2	
第2段	蒸気駆動の 高圧注水系 (RCIC)	自動減圧系	SRV駆動用 ポンペ(A),(B)	SRV操作用 予備蓄電池 配備	復水補給水系(A),(B),(C) (MUWC)		原子炉冷却材 浄化系(A),(B)	代替スプレー (MUWC,FP)	格納容器 耐圧強化 バント設備	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2	
第1段	電動駆動の 高圧注水系 (HPCS)	逃がし安全弁 (A),(B) (SRV)	LN <sub>2</sub> 設備	SRV操作用 蓄電池(A),(B)	電動駆動の 低圧注水系(A),(B),(C) LPCS		復水器 (原子炉除熱)	D/Wスプレー	S/Cクーリング (A),(B) (PCV除熱)	既存の計装設備	
対策 分類	④ 高圧注水	⑤ 減圧		⑥ 低圧注水		⑦ 原子炉, 格納容器冷却 (除熱)		計装 ④~⑦			

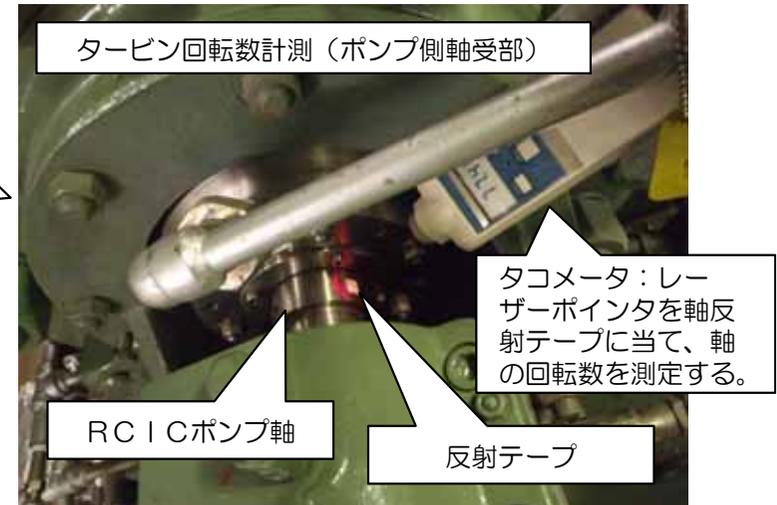
福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (実施中)  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (完了済)  
新潟県中越沖地震を踏まえた対策  
福島第一事故以前に整備した  
アクシデントマネジメント対策  
基本設計で採用した設備  
 注: 青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

# ④ 原子炉隔離時冷却系の手動起動手順の整備<高圧注水対策>

万一、起動・制御用の直流電源を喪失しても、原子炉の蒸気で駆動する原子炉隔離時冷却系（RCIC）を起動できるように、現場の弁を手動操作する手順を新たに整備し高圧注水を確実化。訓練にて実効性を確認。

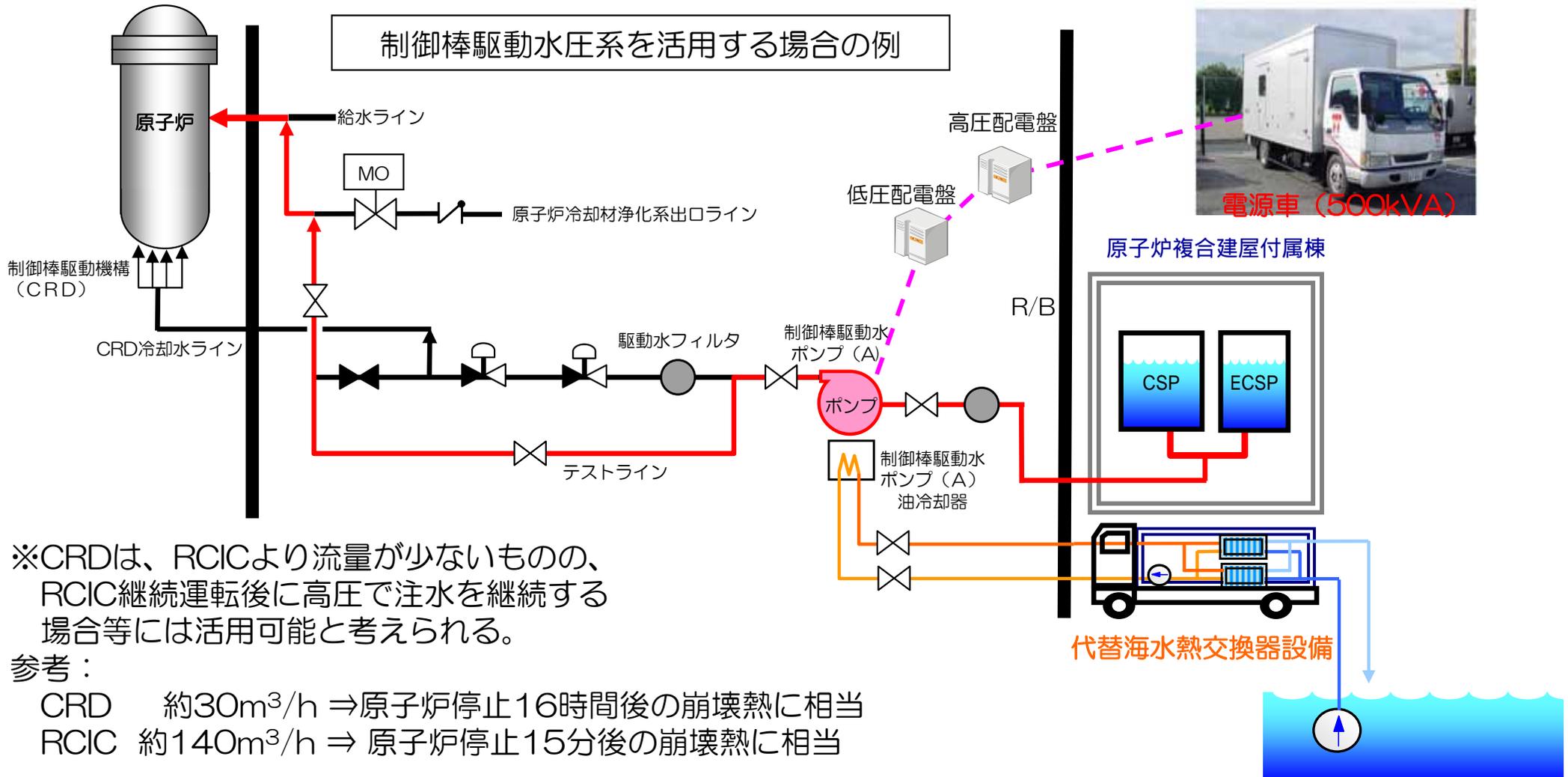


<訓練風景>



# ④制御棒駆動水圧系緊急活用手順の整備<高圧注水対策>

高圧注水手段として、制御棒駆動水ポンプに電源及び冷却水を供給し、原子炉に注水する手順を整備。



※CRDは、RCICより流量が少ないものの、RCIC継続運転後に高圧で注水を継続する場合等には活用可能と考えられる。

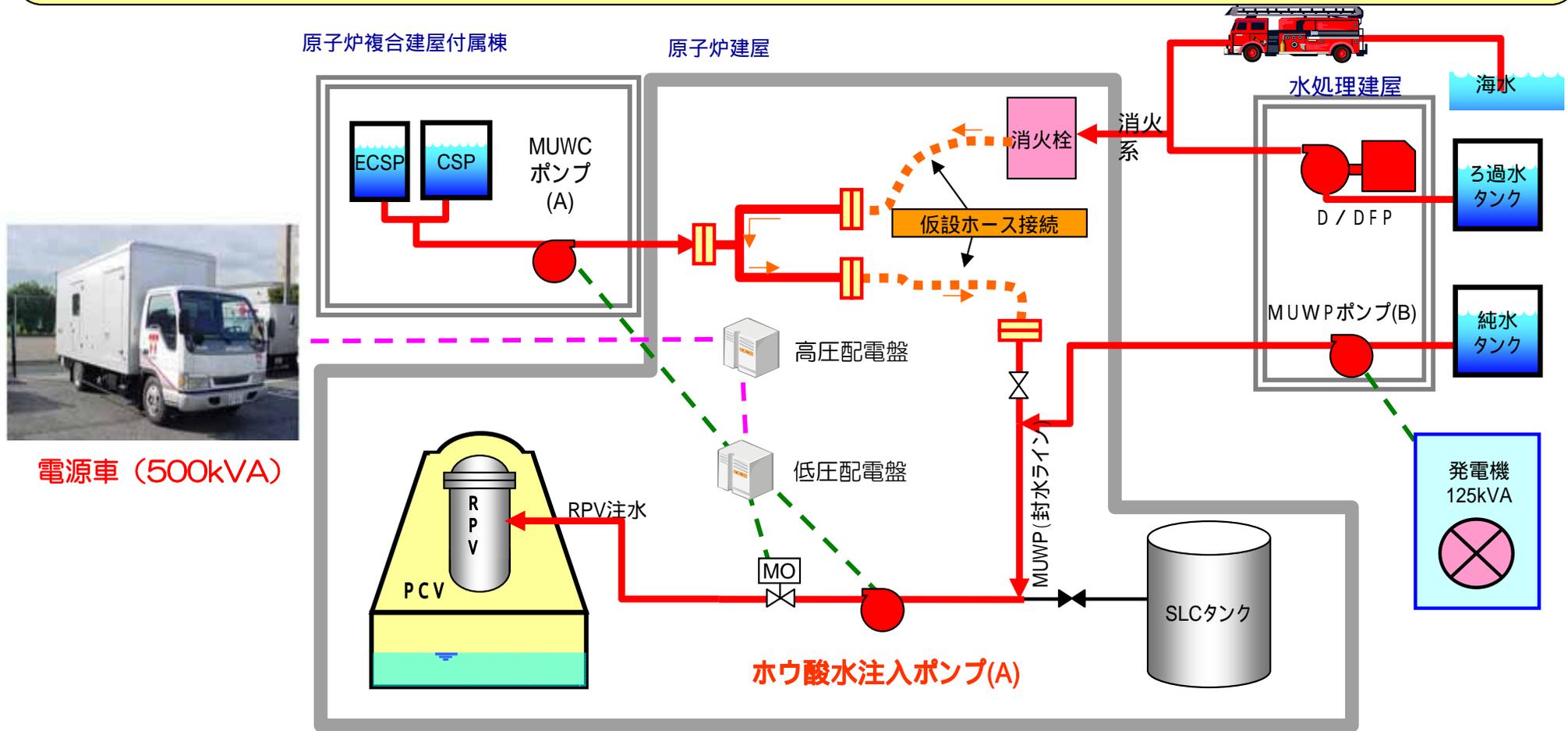
参考：

CRD 約30m<sup>3</sup>/h ⇒ 原子炉停止16時間後の崩壊熱に相当

RCIC 約140m<sup>3</sup>/h ⇒ 原子炉停止15分後の崩壊熱に相当

### ④ホウ酸水注入系緊急活用手順の整備<高圧注水対策>

高圧注水手段として、ホウ酸水注入系ポンプに電源及び冷却水を供給し、原子炉に注水する手順を整備。



※SLCは、RCICより流量が少ないものの、RCIC継続運転後に高圧で注水を継続する場合等には活用可能と考えられる。

参考：

SLC 約10m<sup>3</sup>/h

④ 原子炉隔離時冷却系故障時の高圧炉心注水系による代替注水 (ABWR) <高圧注水対策>

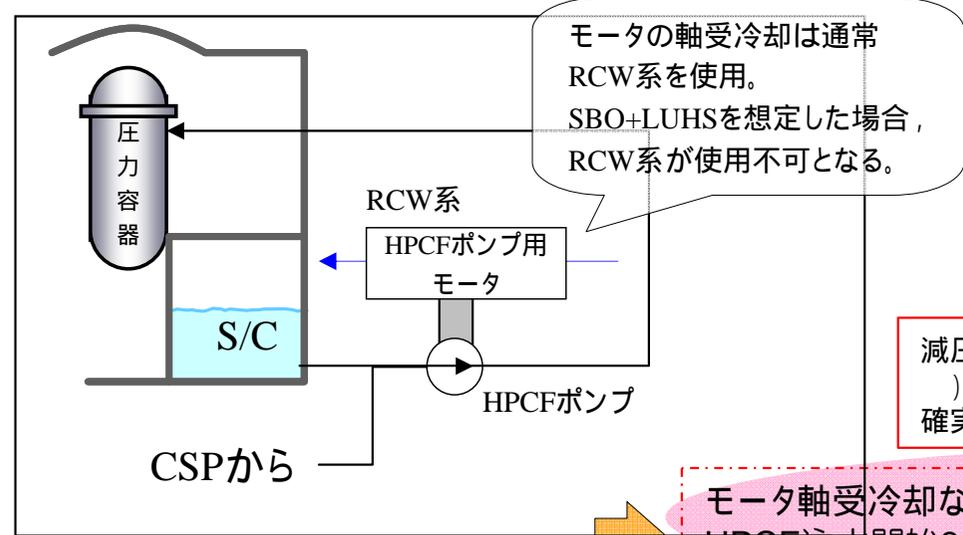
原子炉隔離時冷却系 (RCIC) 起動失敗時に炉心損傷対策として高圧炉心注水系 (HPCF) による代替注水手段を実施する。

SBO+LUHS発生後の事故時の対応としては、RCICによる注水を実施するが、RCIC失敗した場合に備え注水手段の多重化を図る

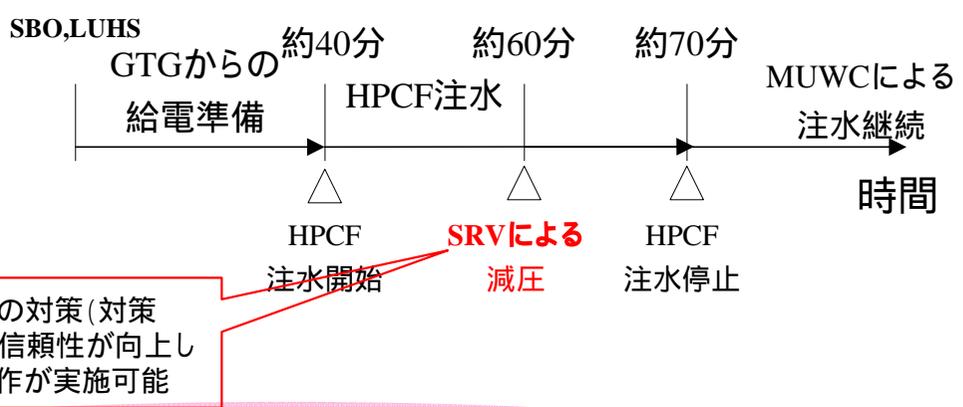
RCIC以外の注水方法検討結果

注水方法	系統	備考
高圧注水	HPCF	空冷式GTGによる給電は可能。また、空冷式GTGの配備についても40分以内で準備出来る見込みである。
減圧後の 低圧注水	RHR (LPFL機能)	水源はS/Cのみである。また空冷式GTGからの給電についても20分以内に必要となり、この時間での給電は不可。
	D/DFP	早期の原子炉注水に必要な注水量が不足しており不可
	MUWC	早期の原子炉注水に必要な注水量が不足しており不可

系統概要



事故時時系列 (例)

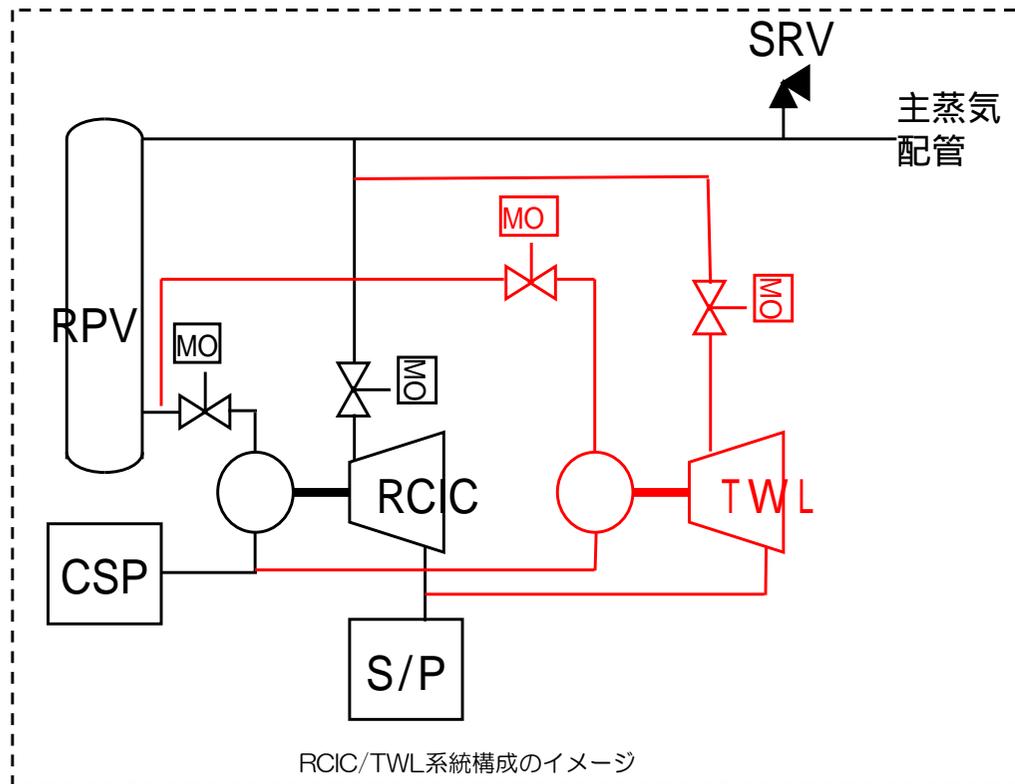


モータ軸受冷却なしで約30分程度であれば運転でき、HPCF注水開始20分後に減圧、HPCF注水開始30分後にMUWC注水で炉心損傷に至らないことを確認。

## ④ 代替高圧注水設備（TWL）設置＜高圧注水対策＞

原子炉隔離時冷却系（RCIC）が機能喪失した場合の代替高圧注水設備として、蒸気タービン駆動ポンプであるTWL型ポンプ(Turbine Water Lubricant Pump)の追設を実施中。

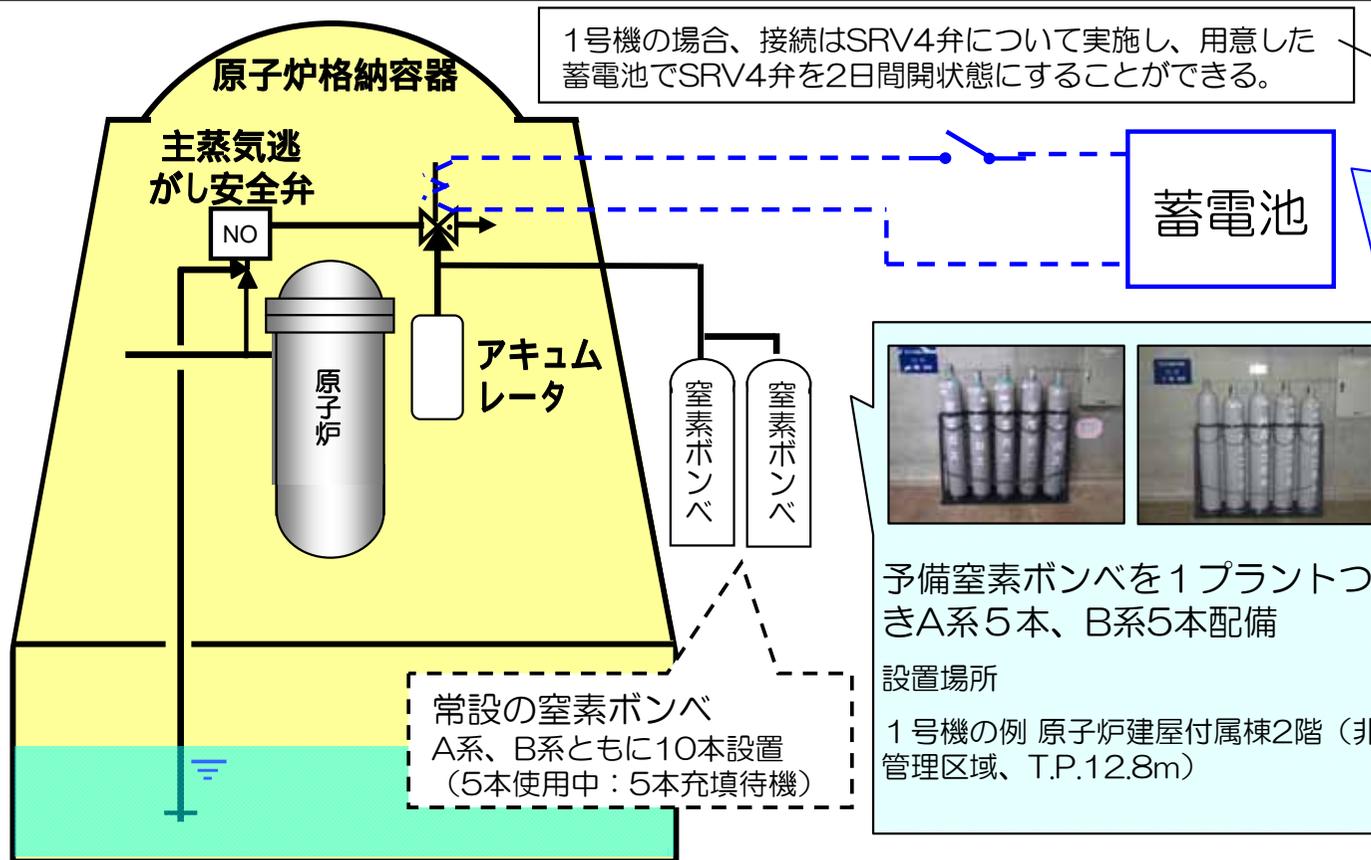
RCIC室よりも上階に高圧注水・蒸気駆動のTWL型ポンプを配置し、蒸気配管・注水配管・直流電源等の付帯設備を設置することを実施中。





### ⑤ 主蒸気逃がし安全弁操作用の予備蓄電池・予備窒素ポンベの配備<減圧対策>

全交流電源、直流電源を喪失した状態でも、主蒸気逃がし安全弁を確実に開操作できるように、操作に必要なバックアップ直流電源（予備蓄電池）や窒素ポンベの予備を配備。また、現場において直接、直流電源を供給するための手順も新たに整備し、訓練で実効性を確認。尚、既設の窒素ポンベでも主蒸気逃がし安全弁を最低200回は作動可能。



予備蓄電池  
(12V×10台/1プラント)  
保管場所：下部中央制御室(1号機)



予備窒素ポンベを1プラントにつきA系5本、B系5本配備

設置場所  
1号機の例 原子炉建屋付属棟2階（非管理区域、T.P.12.8m）



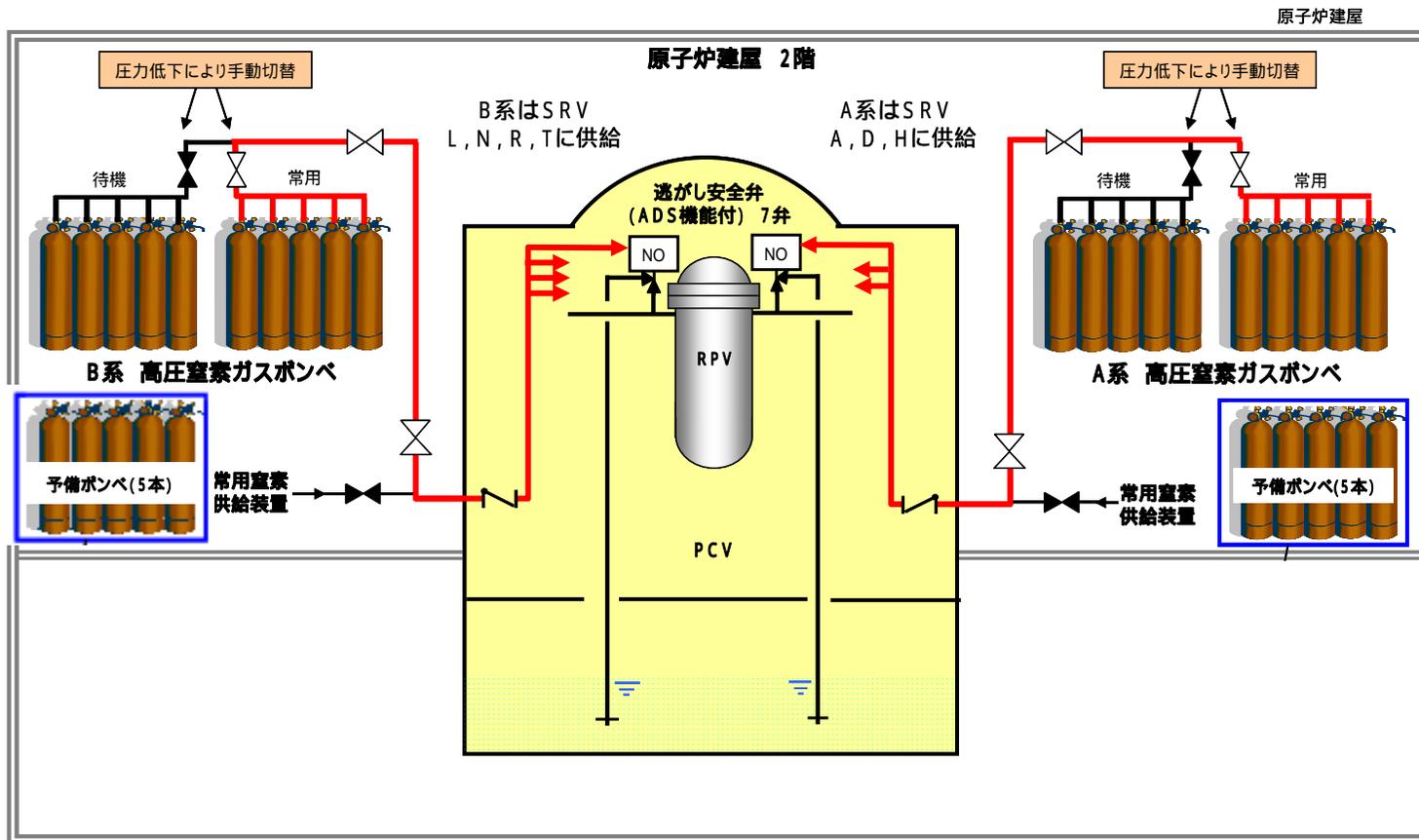
仮設操作スイッチと仮設ケーブル  
(1号機の例 仮設操作スイッチ1セット、仮設ケーブル30m)

主蒸気逃がし安全弁の駆動源となる予備蓄電池および予備窒素ガスポンベを配備しました。また、これらに関する手順を整備しました。

# ⑤ 主蒸気逃がし安全弁駆動用の空気圧縮機の配備＜減圧対策＞

主蒸気逃がし安全弁の駆動源について、高圧窒素ガスの予備ボンベ配備に加え仮設コンプレッサーを配備する。

予備ボンベのバックアップとして、仮設コンプレッサーを配備する。



仮設コンプレッサーのイメージ  
(具体的仕様は検討中)

【駆動方式】  
ディーゼルエンジン駆動

## 第3層 事故時の炉心損傷防止

### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合、その後の**高圧注水**、**減圧**、**低圧注水**、**除熱**、**水源確保**が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。

### 方針

**各手段の強化を実施**（原子炉，格納容器に対する高圧注水、減圧、低圧注水，除熱）

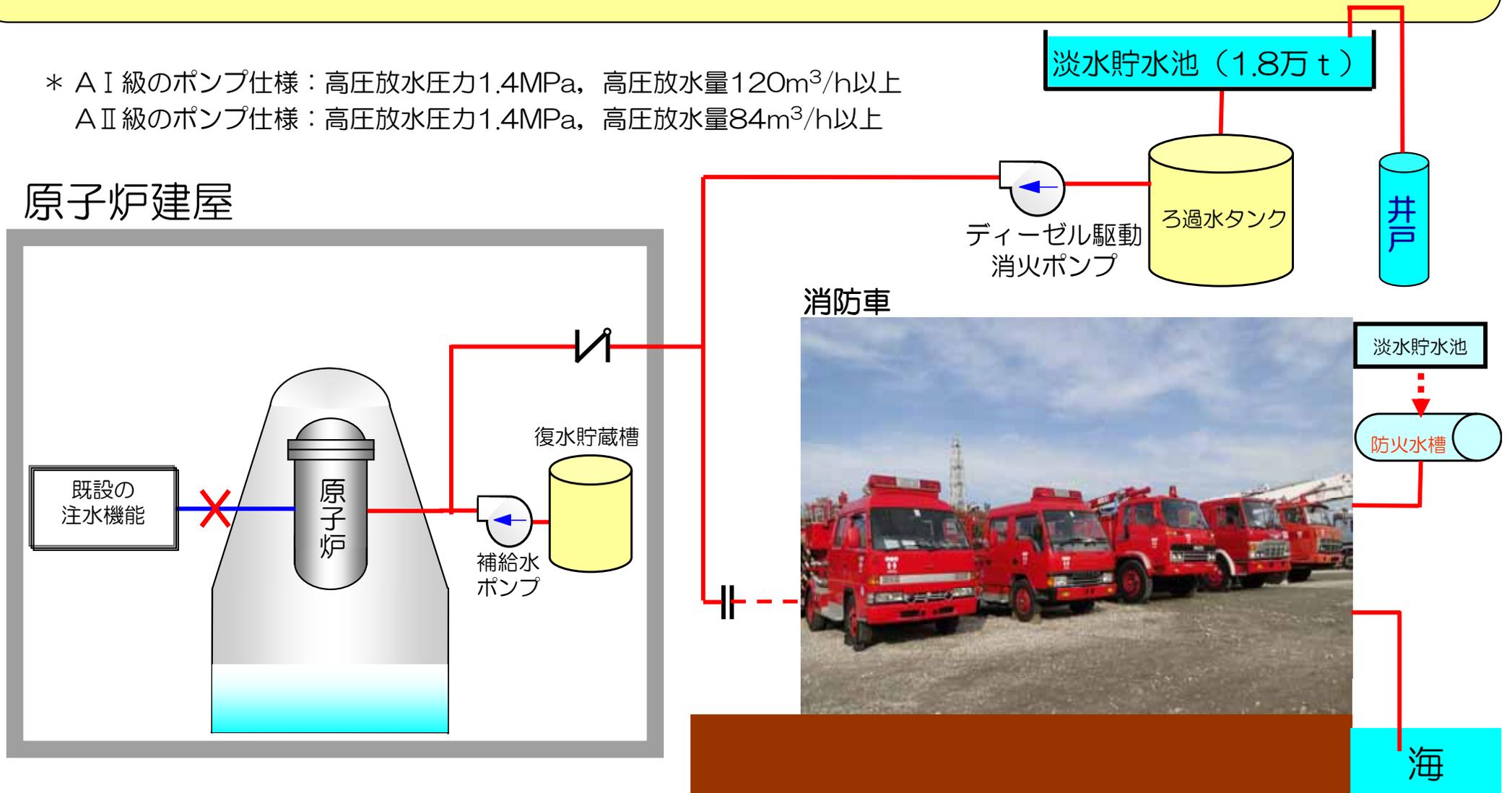
第7段	※1原子炉停止直後の崩壊熱量を吸収するのに十分な量は注水できないものの、補助的な活用を期待し高圧注水手段として手順を整備。(CRD(30m <sup>3</sup> /h)) ※2シビアアクシデント時に原子炉水位計測が正確にできない状況であっても、原子炉水位が有効燃料域以下であることを把握するため、基準面器に温度計を設置する。				D/Dポンプ 増強	※3BWRプラントの対策であり、ABWRプラントの場合には、RCIC起動失敗時にHPCFIによる代替注水を実施する。従って、ABWRプラントでは、「④高圧注水」の厚みが1段増加し、「⑥低圧注水」の厚みが1段減少する。					
第6段	代替高圧注水 設備設置					RCIC起動失敗時の LPCSによる 代替注水(SBO時)※3	海水ポンプ 予備モータ 配備				
第5段	制御棒駆動 水圧系緊急 活用手順整備※1					消防車 (注水用) 高台配備	MUWCへの 外部接続口 設置	代替水中 ポンプ配備			
第4段	ホウ酸水 注入系緊急 活用手順整備※1	SRV駆動用 空気圧縮機 配備					ディーゼル 駆動の消火系 (D/DFP)	代替 熱交換器 設備配備			
第3段	RCIC手動 起動手順 整備	SRV駆動用 予備ポンプ 配備					電動駆動の 消火系	残留熱除去系 (A),(B) (原子炉除熱)	消防車による 格納容器スプレー 手順整備	格納容器 バント用自動 ハンドル設置	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2
第2段	蒸気駆動の 高圧注水系 (RCIC)	自動減圧系	SRV駆動用 ポンプ(A),(B)	SRV操作用 予備蓄電池 配備	復水補給水系(A),(B),(C) (MUWC)		原子炉冷却材 浄化系(A),(B)	代替スプレー (MUWC,FP)	格納容器 耐圧強化 バント設備	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2	
第1段	電動駆動の 高圧注水系 (HPCS)	逃がし安全弁 (A),(B) (SRV)	LN <sub>2</sub> 設備	SRV操作用 蓄電池(A),(B)	電動駆動の 低圧注水系(A),(B),(C) LPCS		復水器 (原子炉除熱)	D/Wスプレー	S/Cクーリング (A),(B) (PCV除熱)	既存の計装設備	
対策 分類	④ 高圧注水	⑤ 減圧		⑥ 低圧注水		⑦ 原子炉、格納容器冷却（除熱）		計装 ④～⑦			

赤字 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）  
黒字 新潟県中越沖地震を踏まえた対策  
黒字 福島第一事故以前に整備した  
 アクシデントマネジメント対策  
黒字 基本設計で採用した設備  
 注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

# ⑥ 消防車等の高台配備による原子炉注水の多重性・多様性向上<低圧注水対策>

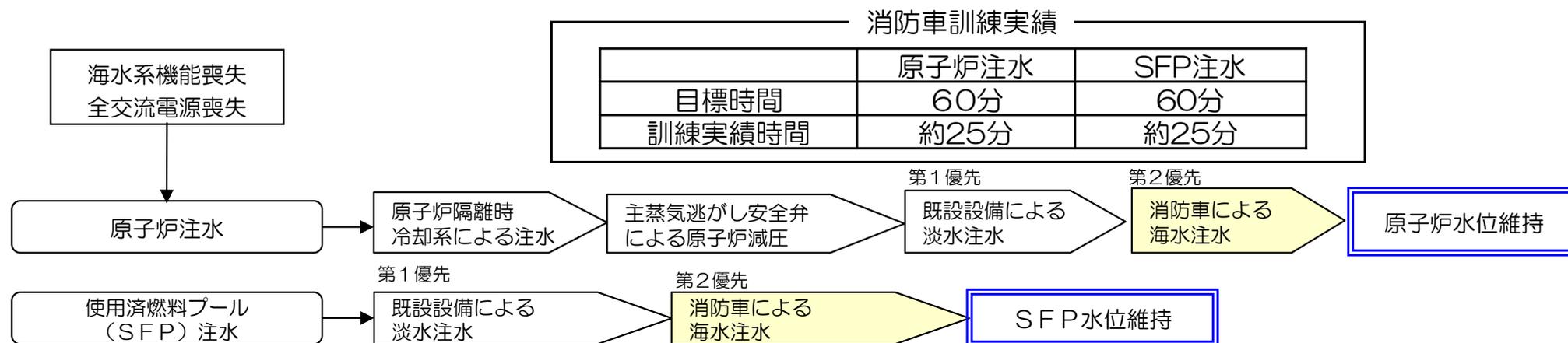
全交流電源喪失により電動の低圧注水設備がすべて機能喪失しても、原子炉への注水機能を確保するため、消防車8台（AⅠ級2台，AⅡ級6台）\*をT.P.約35mの高台に分散配置。消防車により建屋に設けた注水口等から注水可能。

\* AⅠ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量120m<sup>3</sup>/h以上  
AⅡ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量84m<sup>3</sup>/h以上



# ⑥ 消防車、ホースを用いた原子炉注水の訓練<低圧注水対策>

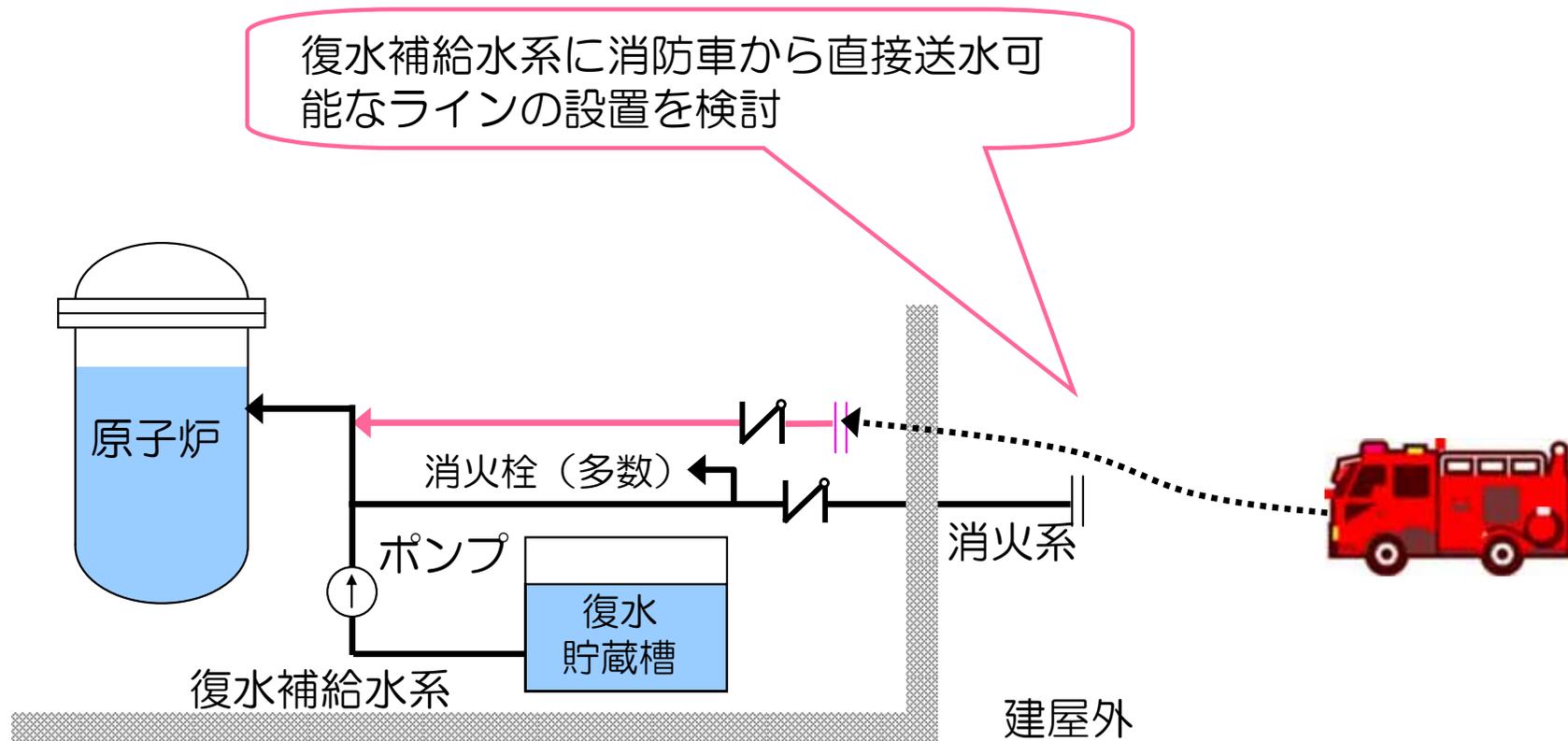
仮に電動駆動の原子炉注水機能が喪失した場合に、消防車をT.P.約35mの高台から速やかに移動し、迅速にホースを布設して注水ラインを確保できるよう手順を策定。海水注入のための訓練を繰り返し、手順・体制の実効性確認と継続的改善を実施。



主な訓練内容	訓練の様子
<p>・消防車による海水注水訓練 (原子炉、SFP) 消防車を取水口に設置する。ホースを布設し、消防ホースを注水ラインへ接続する。</p> <p>・消防車による海水注水訓練 (総合訓練) の他以下のような訓練を実施。 夜間災害を想定した消防車のホース布設・接続 等</p>	<p style="text-align: center;">&lt;消防車による注水訓練&gt;</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>消防車を取水口に設置して ホース布設開始</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ホース布設</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>消防ホースの注水ライン接続</p> </div> </div>

## ⑥ 復水補給水系への外部接続口設置＜低圧注水対策＞

消防車により耐震性の高い復水補給水系へ直接送水するためのラインの設置を検討する。



原子炉隔離時冷却系故障時の低圧炉心スプレイ系による代替注水(BWR) <低圧注水対策>

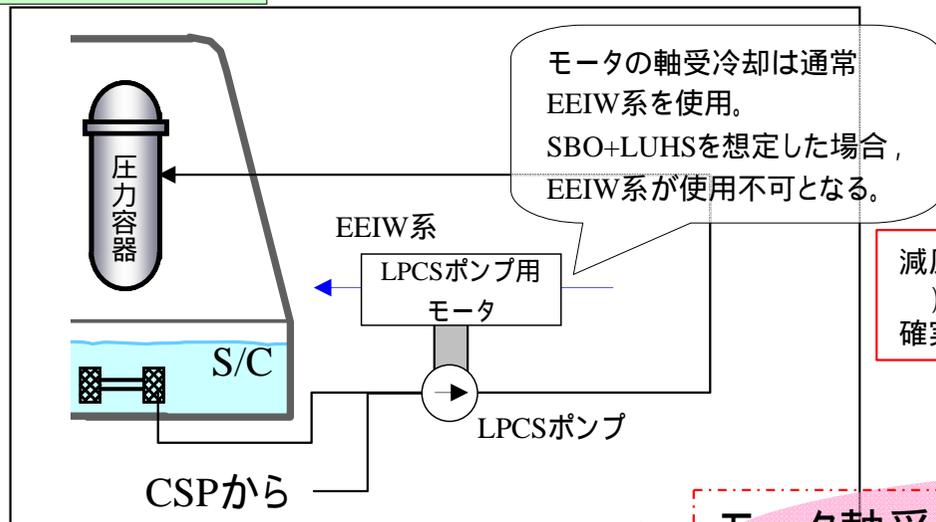
原子炉隔離時冷却系 (RCIC) 起動失敗時に炉心損傷対策として低圧炉心スプレイ系 (LPCS) による代替注水手段を実施する。

SBO+LUHS発生後の事故時の対応としては、RCICによる注水を実施するが、RCIC失敗した場合に備え注水手段の多重化を図る

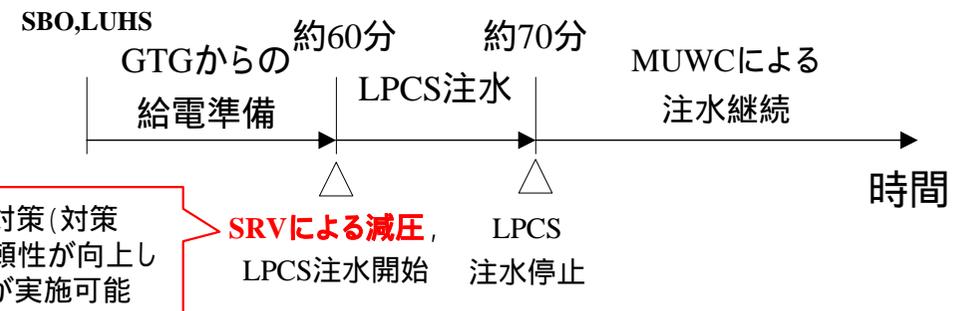
RCIC以外の注水方法検討結果

注水方法	系統	備考
高圧注水	HPCS	電源容量が大きく現在配備されている空冷式GTGでは給電不可
減圧後の低圧注水	LPCS	事故時対応として空冷式GTG2台が既に配備されており給電は可能。また、空冷式GTGからの給電についても60分以内で準備出来る見込みである。
	RHR	電源やヒートシンク復旧後にRHR系のSHC機能として継続運転が必要なため、機器保護の観点から除外
	D/DFP	早期の原子炉注水に必要な注水量が不足しており不可
	MUWC	早期の原子炉注水に必要な注水量が不足しており不可

系統概要



事故時時系列(例)



モータ軸受冷却なしで約10分程度であれば運転でき、10分LPCS注水後にMUWC注水で炉心損傷に至らないことを確認。

## ⑥ ディーゼル駆動ポンプの増強＜低圧注水対策＞

複数号機が同時に被災及び火災が発生した場合を想定し、D/D-FP以外の低圧注入手段が喪失した場合に備え、D/Dポンプを新設し、全号機への低圧注水対応が可能となるよう強化する。

### 【現状のD/D-FP仕様】

水処理建屋（1～4号機用 荒浜側）
D/D-FP 1台
定格容量 350 m <sup>3</sup> /h
全揚程 66 m
締切揚程 79 m

給水建屋（5～7号機用 大湊側）
D/D-FP 1台
定格容量 177 m <sup>3</sup> /h
全揚程 75 m
締切揚程 81 m

### 【D/Dポンプの設計条件(検討中)】

- ・以下の条件で荒浜側は4プラント、大湊側は3プラント同時に注入可能な仕様とする。
- ・原子炉停止から8時間後の崩壊熱を吸収可能な流量とする。  
(1～5号機：50 m<sup>3</sup>/h、6，7号機：60 m<sup>3</sup>/h程度)
- ・SRVによる減圧後の注入を想定し、上記流量を注入可能な揚程とする。

## 第3層 事故時の炉心損傷防止

### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合、その後の**高圧注水**、**減圧**、**低圧注水**、**除熱**、**水源確保**が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。

### 方針

**各手段の強化を実施**（原子炉，格納容器対する高圧注水、減圧、低圧注水，除熱）

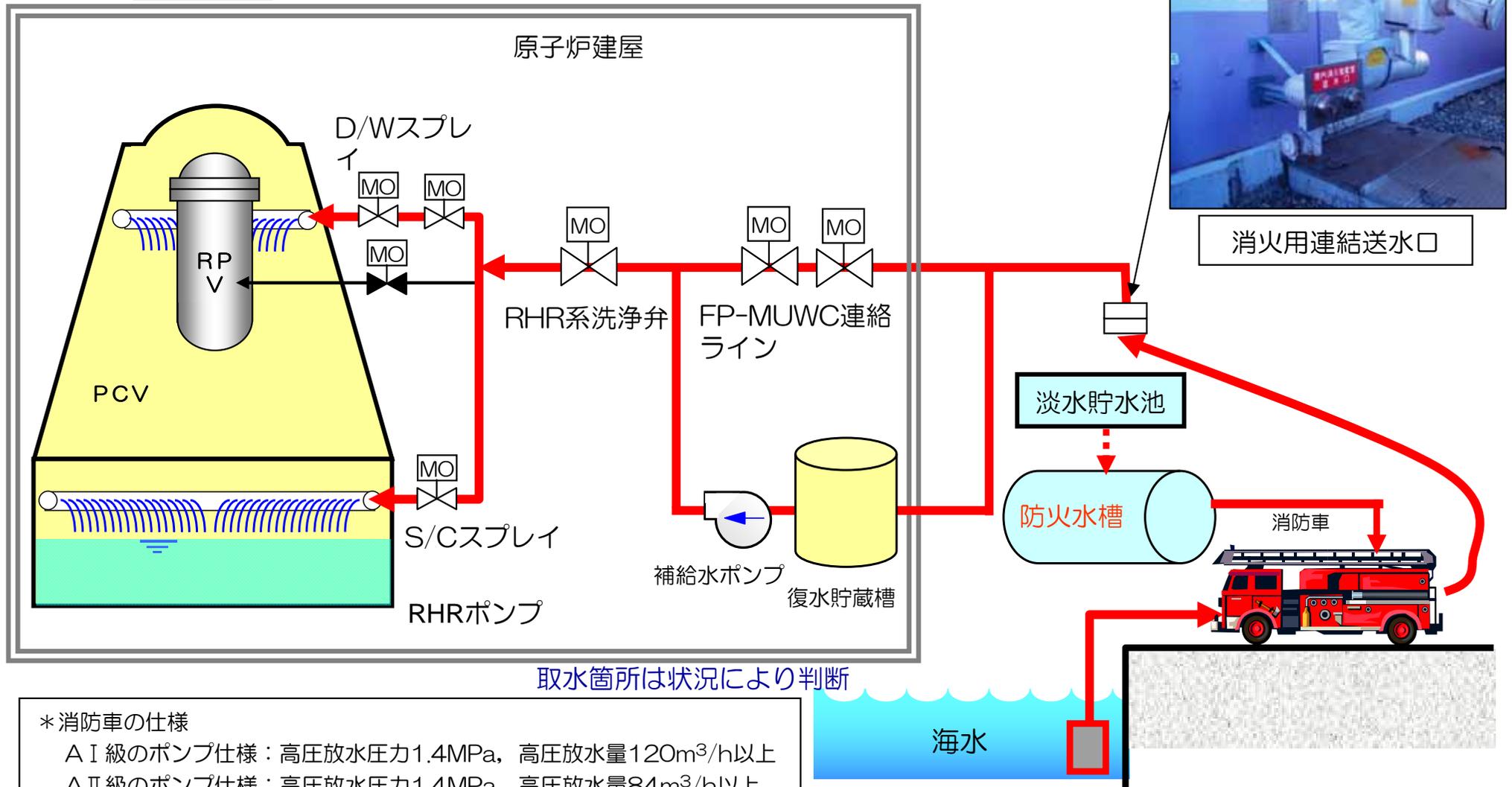
第7段	※1原子炉停止直後の崩壊熱量を吸収するのに十分な量は注水できないものの、補助的な活用を期待し高圧注水手段として手順を整備。(CRD(30m³/h)) ※2シビアアクシデント時に原子炉水位計測が正確にできない状況であっても、原子炉水位が有効燃料域以下であることを把握するため、基準面器に温度計を設置する。				<b>D/Dポンプ 増強</b> ※3BWRプラントの対策であり、ABWRプラントの場合には、RCIC起動失敗時にHPCFによる代替注水を実施する。従って、ABWRプラントでは、「④高圧注水」の厚みが1段増加し、「⑥低圧注水」の厚みが1段減少する。						
第6段	代替高圧注水設備設置					RCIC起動失敗時のLPCSによる代替注水(SBO時)※3	海水ポンプ予備モータ配備				
第5段	制御棒駆動水圧系緊急活用手順整備※1					消防車(注水用)高台配備	MUWCへの外部接続口設置	代替水中ポンプ配備			
第4段	ホウ酸水注入系緊急活用手順整備※1	SRV駆動用空気圧縮機配備				ディーゼル駆動の消火系(D/DFP)	代替熱交換器設備配備				
第3段	RCIC手動起動手順整備	SRV駆動用予備ポンペ配備				電動駆動の消火系	残留熱除去系(A),(B)(原子炉除熱)	消防車による格納容器スプレイ手順整備	格納容器バント用自動ハンドル設置	プラント状態監視機能強化(原子炉水位計測)※2	
第2段	蒸気駆動の高圧注水系(RCIC)	自動減圧系	SRV駆動用ポンペ(A),(B)	SRV操作用予備蓄電池配備	復水補給水系(A),(B),(C)(MUWC)	原子炉冷却材浄化系(A),(B)	代替スプレイ(MUWC,FP)	格納容器耐圧強化バント設備	プラント状態監視機能強化(原子炉水位計測)※2		
第1段	電動駆動の高圧注水系(HPCS)	逃がし安全弁(A),(B)(SRV)	LN <sub>2</sub> 設備	SRV操作用蓄電池(A),(B)	電動駆動の低圧注水系(A),(B),(C)LPCS	復水器(原子炉除熱)	D/Wスプレイ	S/Cクーリング(A),(B)(PCV除熱)	既存の計装設備		
対策分類	④ 高圧注水	⑤ 減圧		⑥ 低圧注水	⑦ 原子炉、格納容器冷却(除熱)			④~⑦ 計装			

赤字 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (実施中)  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期] (完了済)  
黒字 新潟県中越沖地震を踏まえた対策  
黒字 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策  
黒字 基本設計で採用した設備  
 注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

# ⑦交流電源に頼らない格納容器スプレイ手段の整備<原子炉等の冷却対策>

全交流電源喪失時においても格納容器の圧力、温度の上昇を抑えるため、消防車を用いた格納容器スプレイの手順を整備した。

1号の例



\*消防車の仕様

- A I 級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa、高圧放水量120m<sup>3</sup>/h以上
- A II 級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa、高圧放水量84m<sup>3</sup>/h以上

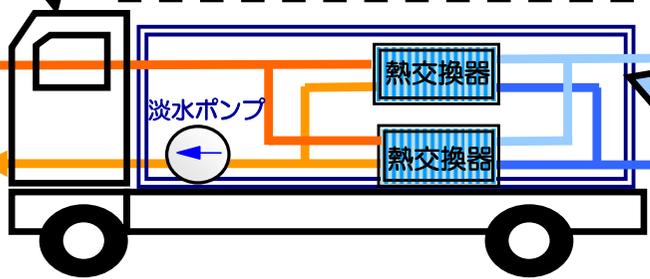
# ⑦代替海水熱交換器設備による安定的な冷却＜原子炉等の冷却対策＞

浸水により熱交換器建屋内の機器が機能喪失しても、原子炉および使用済燃料プールを安定的に冷却するために、機動性があり大容量の代替海水熱交換器設備をT.P.約35mの高台に分散配備。尚、1号機の場合、津波等による全電源停止から24時間以内に代替熱交換器のインサービスを完了することにより、48時間以内に冷温停止が可能。

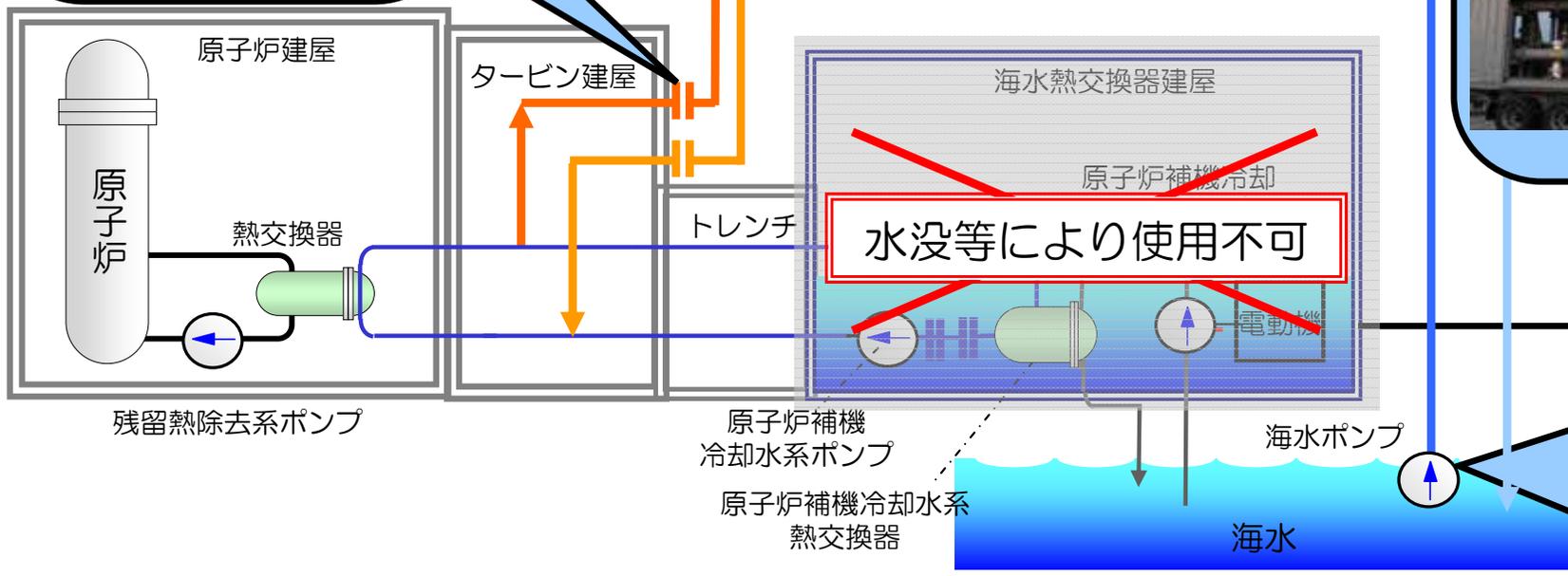
【淡水ポンプ仕様】台数：1、流量：420m<sup>3</sup>/h、揚程：40m

【熱交換器仕様】形式：プレート式、基数：2  
プレート熱交換条件  
(炉停止48時間後に冷温停止。崩壊熱と雑負荷を除熱可能として設定。)  
交換熱量：18.6MW、淡水流量：420m<sup>3</sup>/h、海水流量500m<sup>3</sup>/h、淡水出口温度：32℃、  
海水出口温度：29℃

配管接続口（口径200A）



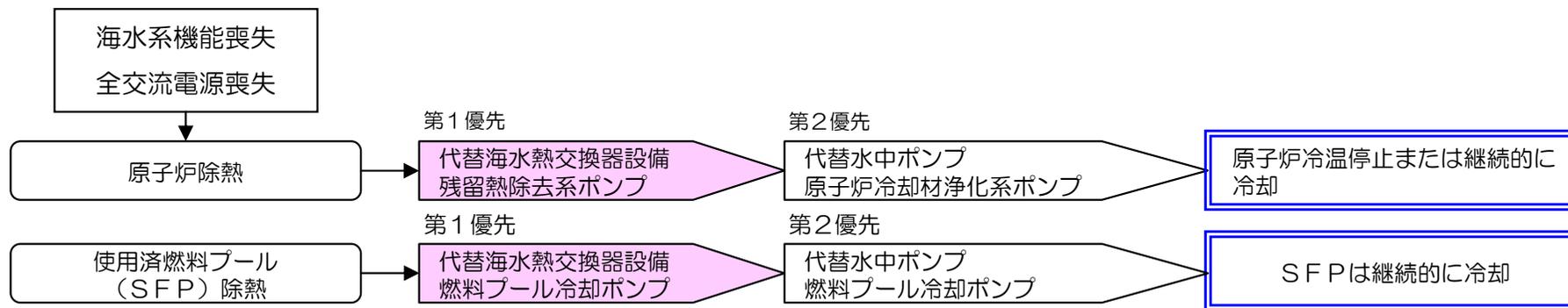
代替海水熱交換器設備



代替水中ポンプ  
(流量：500m<sup>3</sup>/h、  
揚程：33m)



代替海水熱交換器設備、代替水中ポンプなどを用いた総合的な安全対策訓練を繰り返し、手順・体制の実効性確認と継続的改善を実施。



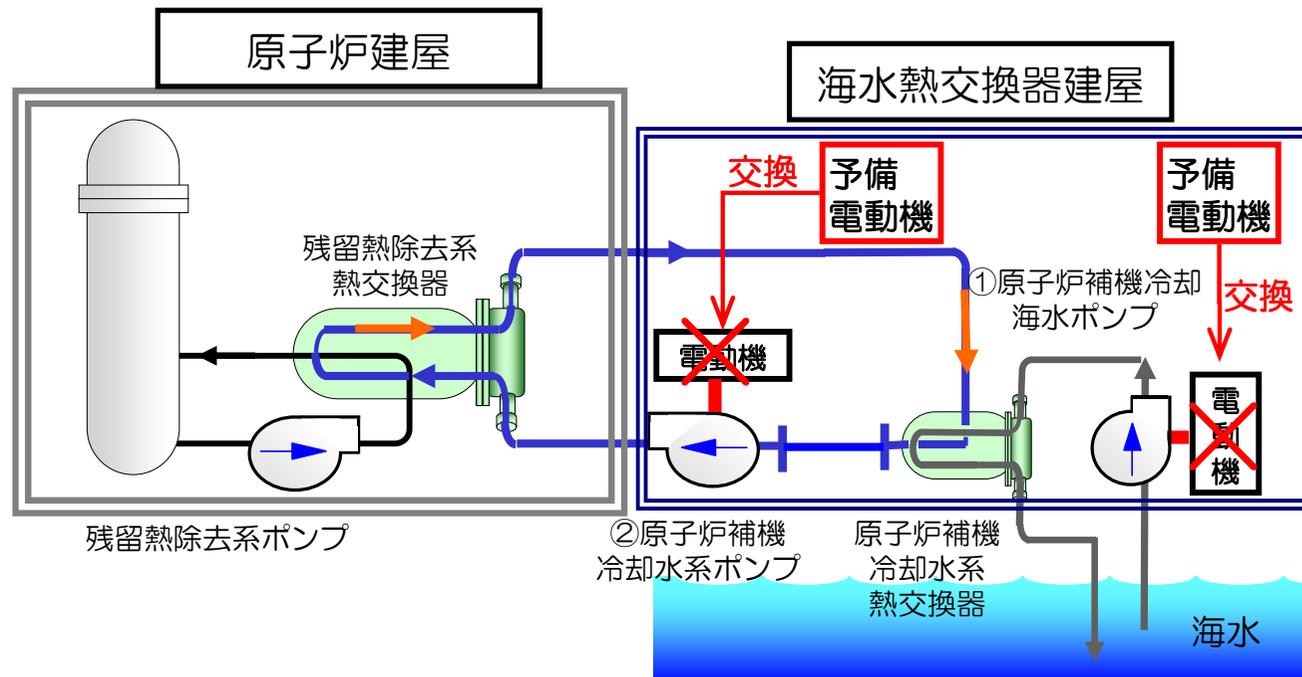
主な訓練内容	訓練の様子
<p>・代替海水熱交換器設備による原子炉除熱、SFP除熱訓練</p> <p>電源車、変圧器、代替海水熱交換器設備他資機材を設置し、ケーブルを布設、接続して電源車から電源供給する。注水用のホースを布設し、配管接続口へホースを接続する。</p> <p>代替海水熱交換器設備による原子炉除熱、SFP除熱訓練の他、以下のような個別訓練を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・代替海水熱交換器設備の電源供給</li> <li>・淡水用ホース布設、接続 他</li> </ul>	<p style="text-align: center;">&lt;代替海水熱交換器設備接続訓練&gt;</p>

## ⑦ 海水ポンプ予備モータ配備 <原子炉等の冷却対策>

想定を超える津波により熱交換器建屋が浸水し「電源」「除熱」「注水」機能をサポートするポンプの電動機が機能喪失した場合を想定し、交換による早期の復旧が可能となるよう、予備の電動機を配備する。

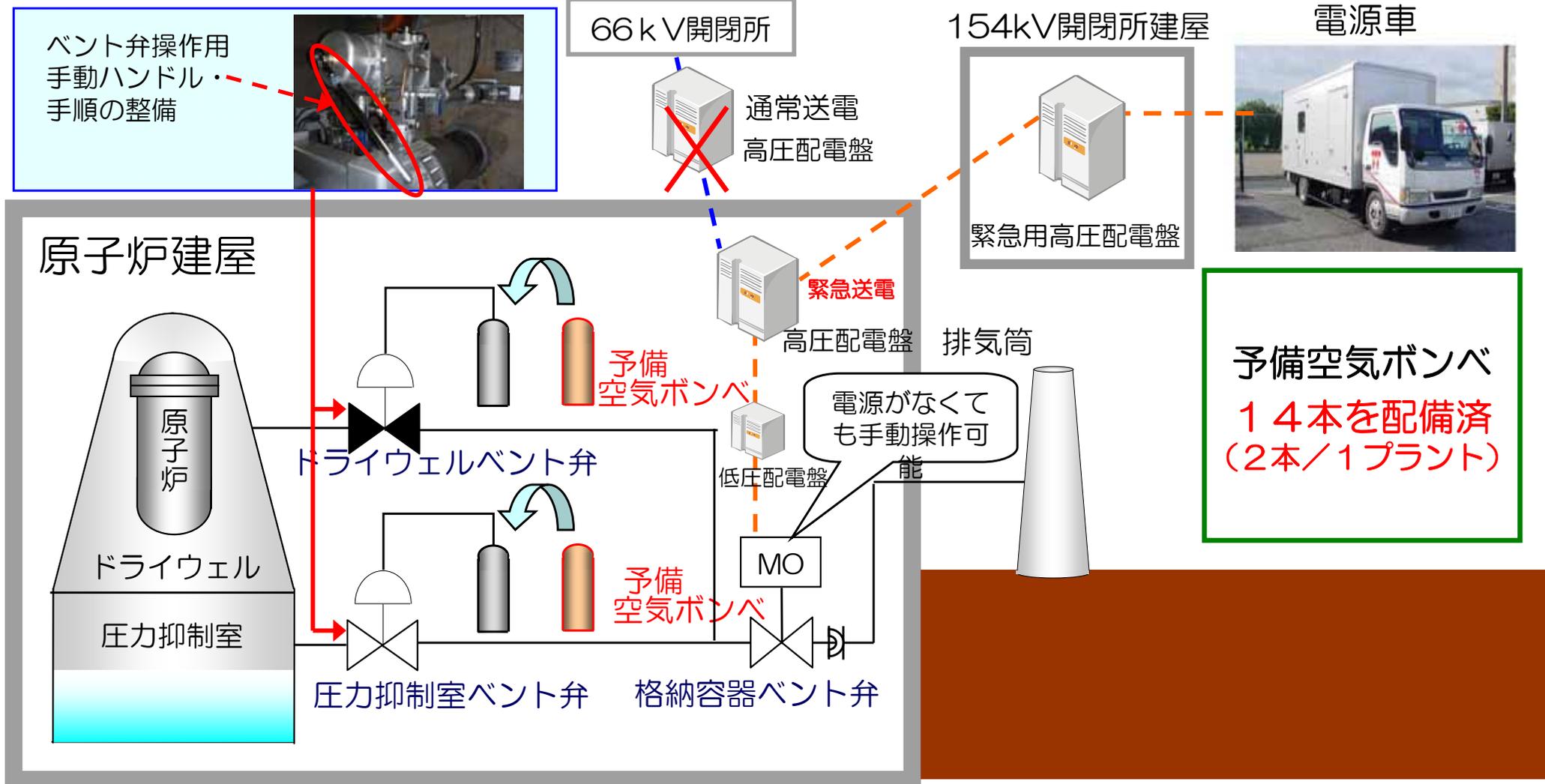
- ①原子炉補機冷却水系海水ポンプ用電動機×7台  
（例）7号機 予備電動機 出力：280kw、電圧：440V
- ②原子炉補機冷却水系ポンプ用電動機×7台  
（例）7号機 予備電動機 出力：370kw、電圧：6600V

**全号機に各1台の予備を確保**



⑦ 格納容器ベントによる冷却と閉込め機能の維持<格納容器の冷却対策>

仮にヒートシンク喪失した場合でも、原子炉への注水と格納容器内をベントすることで熱を大気に放出することにより、圧力・温度を抑制して格納容器の健全性を維持。ベントを継続的かつ確実に実施できるように、弁駆動用に予備空気ポンペを配備するとともに、電源がなくてもベント弁を現場で手動操作できるようにハンドルを設置。



## 第3層 事故時の炉心損傷防止

### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合、その後の高圧注水、減圧、低圧注水、除熱、水源確保が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。

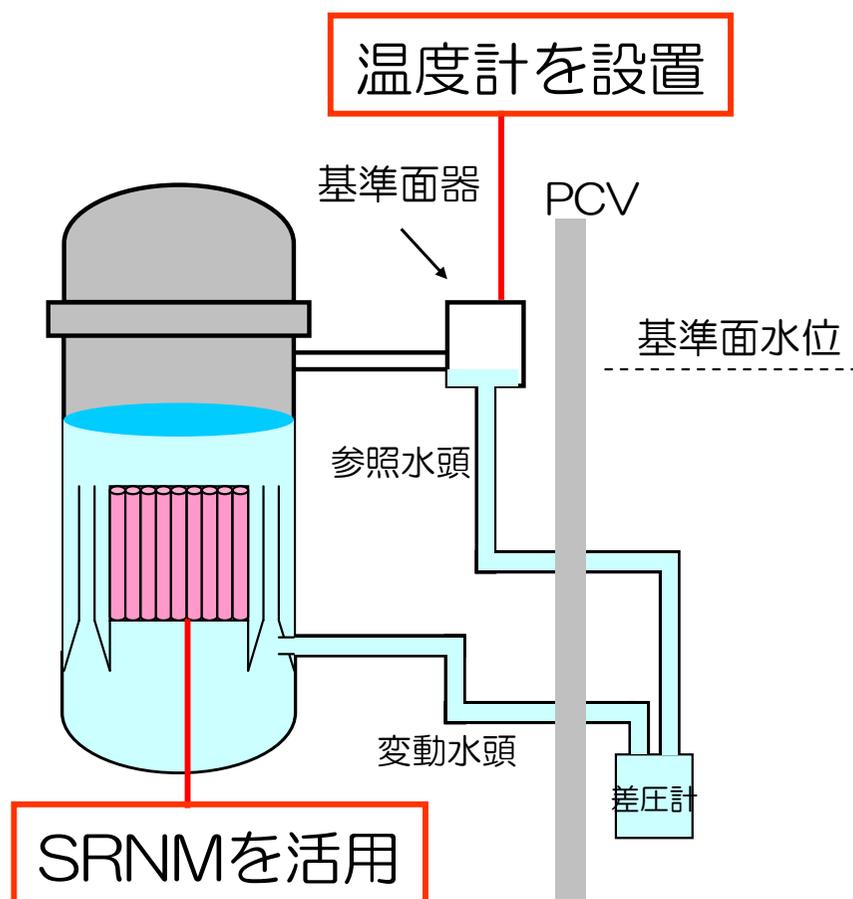
### 方針

各手段の強化を実施（原子炉、格納容器に対する高圧注水、減圧、低圧注水、除熱）

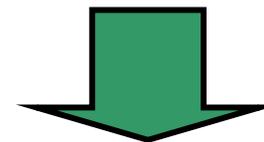
第7段	※1原子炉停止直後の崩壊熱量を吸収するのに十分な量は注水できないものの、補助的な活用を期待し高圧注水手段として手順を整備。(CRD(30m³/h)) ※2シビアアクシデント時に原子炉水位計測が正確にできない状況であっても、原子炉水位が有効燃料域以下であることを把握するため、基準面器に温度計を設置する。				D/Dポンプ 増強	※3BWRプラントの対策であり、ABWRプラントの場合には、RCIC起動失敗時にHPCFによる代替注水を実施する。従って、ABWRプラントでは、「④高圧注水」の厚みが1段増加し、「⑥低圧注水」の厚みが1段減少する。					
第6段	代替高圧注水 設備設置					RCIC起動失敗時の LPCSによる 代替注水(SBO時)※3	海水ポンプ 予備モータ 配備				
第5段	制御棒駆動 水圧系緊急 活用手順整備※1					消防車 (注水用) 高台配備	MUWCへの 外部接続口 設置	代替水中 ポンプ配備			
第4段	ホウ酸水 注入系緊急 活用手順整備※1	SRV駆動用 空気圧縮機 配備				ディーゼル 駆動の消火系 (D/DFP)	代替 熱交換器 設備配備				
第3段	RCIC手動 起動手順 整備	SRV駆動用 予備ポンペ 配備				電動駆動の 消火系	残留熱除去系 (A),(B) (原子炉除熱)	消防車による 格納容器スプレー 手順整備	格納容器 ベント用手動 ハンドル設置	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2	
第2段	蒸気駆動の 高圧注水系 (RCIC)	自動減圧系	SRV駆動用 ポンペ(A),(B)	SRV操作用 予備蓄電池 配備	復水補給水系(A),(B),(C) (MUWC)	原子炉冷却材 浄化系(A),(B)	代替スプレー (MUWC,FP)	格納容器 耐圧強化 ベント設備	プラント状態 監視機能強化 (原子炉水位計測)※2		
第1段	電動駆動の 高圧注水系 (HPCS)	逃がし安全弁 (A),(B) (SRV)	LN <sub>2</sub> 設備	SRV操作用 蓄電池(A),(B)	電動駆動の 低圧注水系(A),(B),(C) LPCS	復水器 (原子炉除熱)	D/Wスプレー	S/Cクーリング (A),(B) (PCV除熱)	既存の計装設備		
対策 分類	④ 高圧注水	⑤ 減圧			⑥ 低圧注水	⑦ 原子炉、格納容器冷却（除熱）			計装 ④～⑦		

赤字 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）  
黒字 新潟県中越沖地震を踏まえた対策  
黒字 福島第一事故以前に整備した  
黒字 アクシデントマネジメント対策  
黒字 基本設計で採用した設備  
 注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

シビアアクシデント時に原子炉水位計測が正確な指示をしているかの判断のため、基準面器に温度計を設置する。また、原子炉水位が有効燃料域以下であることを把握するため、給水ノズル温度、逃がし安全弁排気温度、SRNM（起動領域モニタ）カウントを監視することで把握できるか検討する。



炉心部の水位が有効燃料底部近辺になると、温度上昇により、基準面器から水が蒸発する。また、給水ノズル温度や逃がし安全弁排気温度も上昇する。



給水ノズル温度や逃がし安全弁排気温度を合わせて監視することで、水位が有効燃料底部近辺となっていることが把握できる。

さらに、燃料が露出することでSRNMカウントが減少するため、これを監視することで水位低下による燃料の露出を確認する。

## 第4層 事故後の影響緩和

### 問題点（教訓）

**炉心損傷後の影響緩和の手段**（格納容器損傷防止、水素制御、溶融炉心落下対策、環境への放射性物質の大量放出防止等）が整備されていなかった。

### 方針

**炉心損傷後の影響緩和手段の強化を実施**（水素制御、水素濃度監視、コアコンクリート反応抑制）

#### 水素制御

炉心損傷後にZr-水反応等によって生成される水素を適切に排出する。

#### コア・コンクリート反応抑制

原子炉圧力容器破損後にペDESTALに溶融炉心が落下した場合に、溶融炉心を適切に保持・冷却する。

※FCSはLOCA対策として付けられたものであり、SA時に大量に生じる水素を十分に取り除く容量は無い。

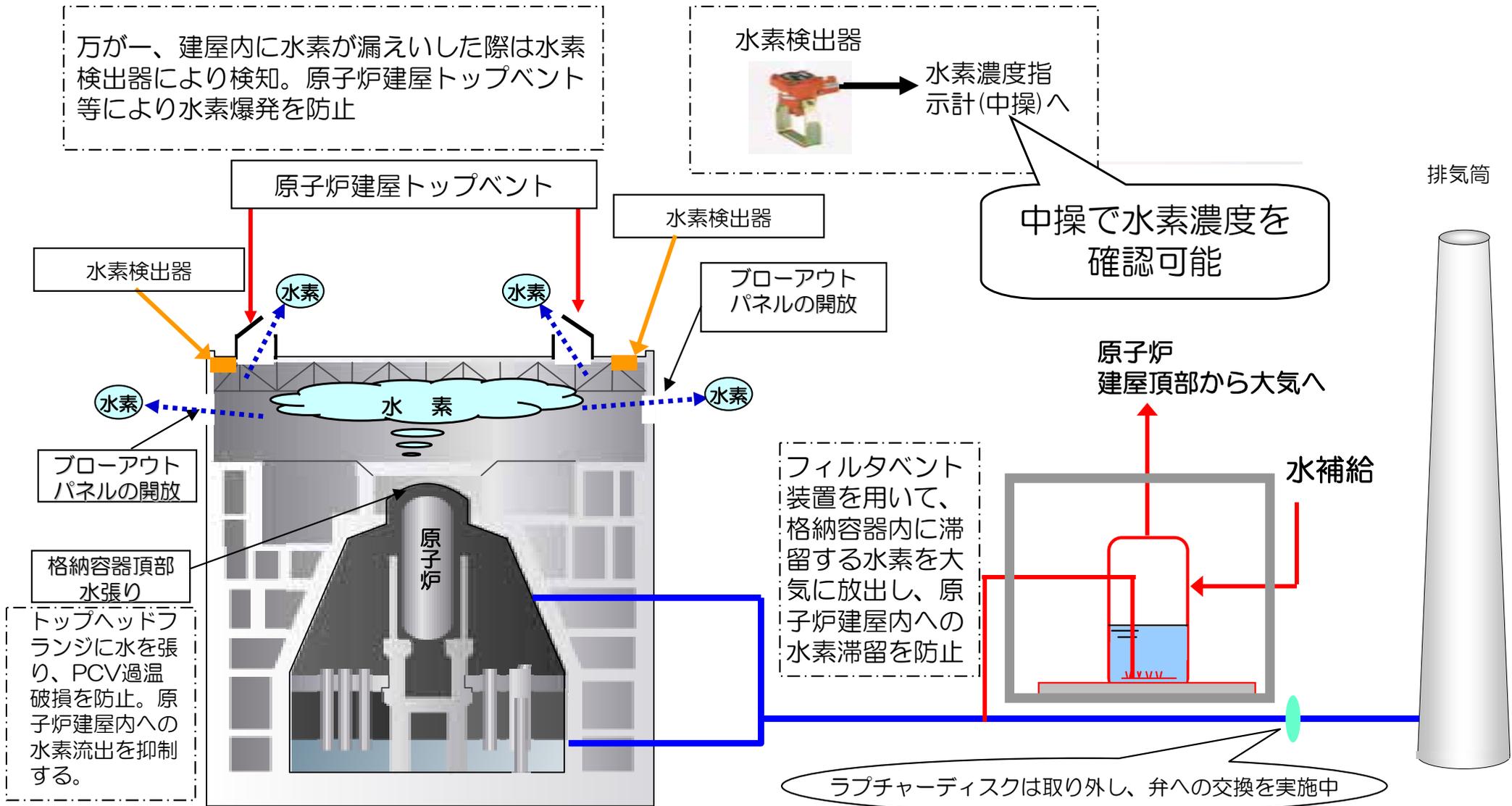
- 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
  - 赤字** 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
  - 黒字** 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
  - 新潟県中越沖地震を踏まえた対策
  - 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
  - 基本設計で採用した設備
- 注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

第3段	原子炉建屋トップベント設備設置、建屋水素濃度計設置、ブローアウトパネル			溶融炉心落下対策
第2段	原子炉建屋水素処理装置設置	格納容器頂部水張り設備設置	フィルターベント設備設置	消防車を用いたペDESTALへの注水
第1段	FCS*			MUWCを用いたペDESTALへの注水
対策分類	水素制御、水素濃度監視			コア・コンクリート反応抑制

### ⑧炉心損傷後の影響緩和

# ⑧ 原子炉建屋トップベント設備等の設置

炉心損傷後の放射性物質放出を低減するために、フィルタベント設備を設置。フィルタベント装置では、格納容器内に滞留する水素も大気に放出することができるため、原子炉建屋内への水素滞留を防止することが可能。フィルタベントによる水素排出が十分に実施できない場合は、原子炉建屋トップベント等により、原子炉建屋内に漏れ出した水素の滞留による爆発を防止する。

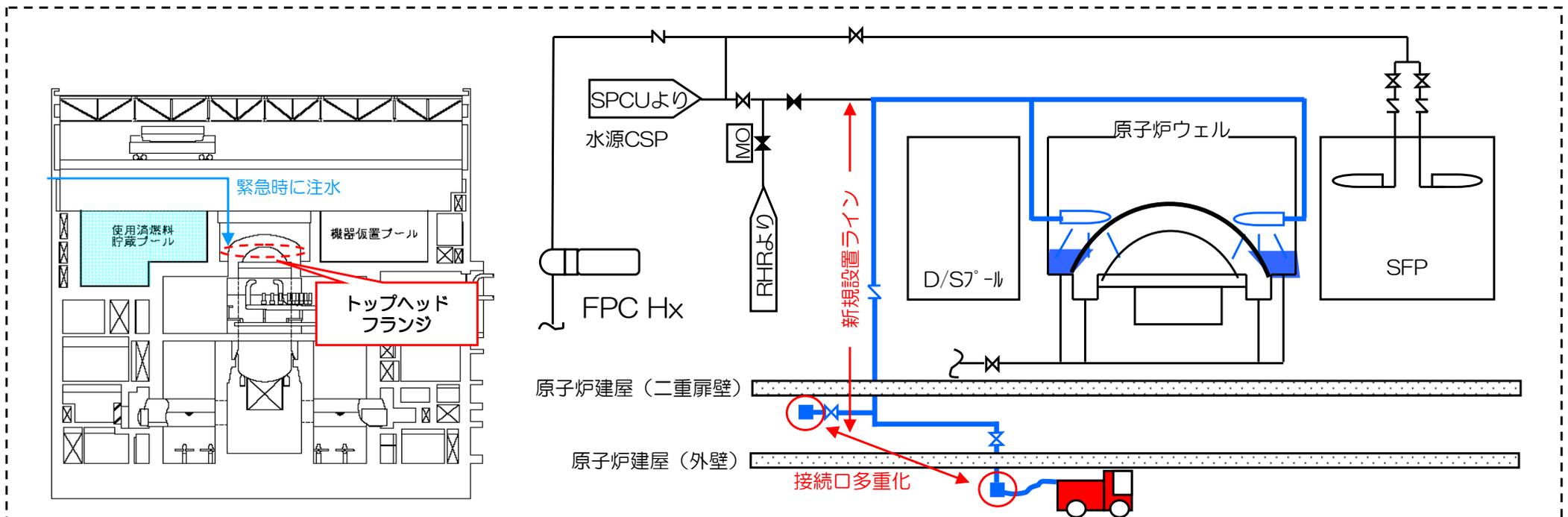


事故時の格納容器過温破損を防止するために緊急時ウェル注水設備を設置し、原子炉ウェルに注水を行うことで格納容器頂部を冷却することを検討中。

事故時に原子炉建屋外からFPC系統経由で原子炉ウェルに注水するため注水ラインを設置する。  
 （格納容器内で高温の蒸気が発生した場合にトップヘッドフランジを冷却することでR/Bへの流出を防止）

※格納容器冷却効果の簡易評価により、ウェルに50 t 程度注水すればトップヘッドの温度上昇を200℃以下に抑えることが可能な見通しである。今後詳細な検討を行い、ウェル注水流量・注水タイミング・目標水量等を定めていく。

## 緊急時ウェル注水ライン（検討中）のイメージ

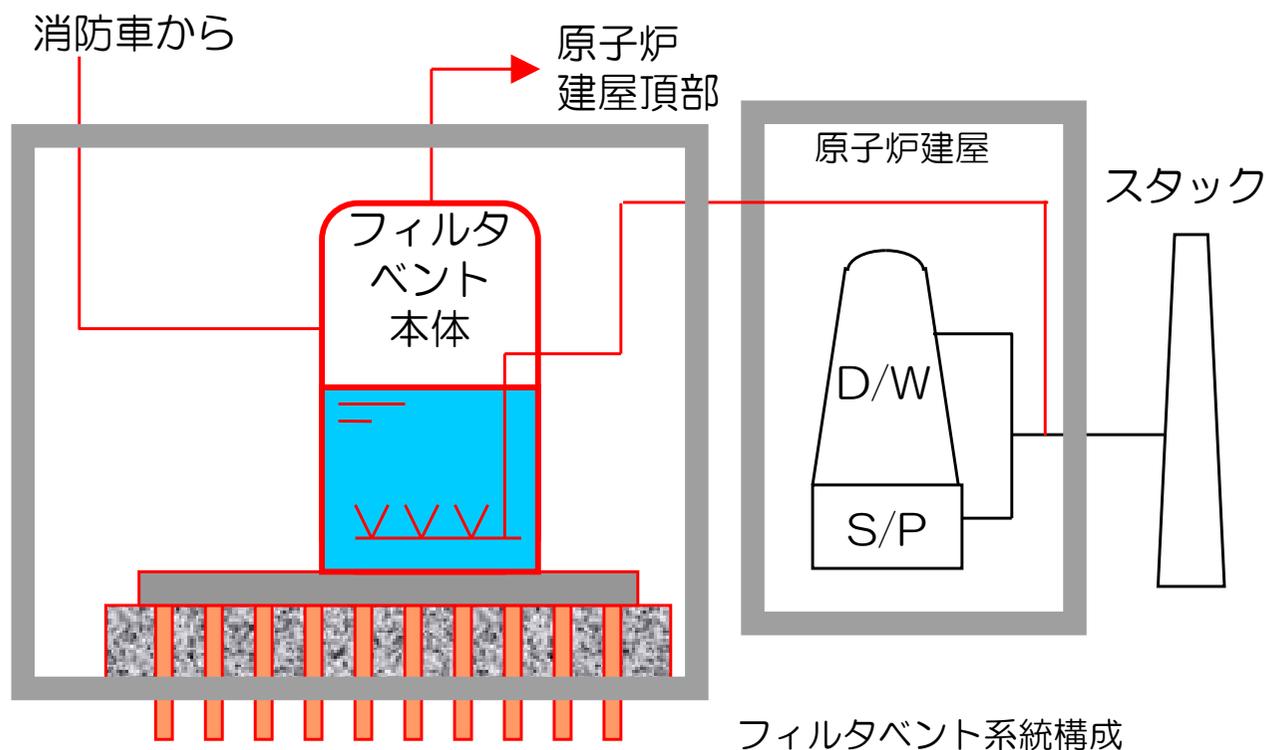


## ⑧ フィルタベントの設置

炉心損傷後の放射性物質放出を低減するために、フィルタベント設備を設置する。

○粒子状の放射性物質(ヨウ素, セシウム)の放出量を1 / 1000程度に低減する。

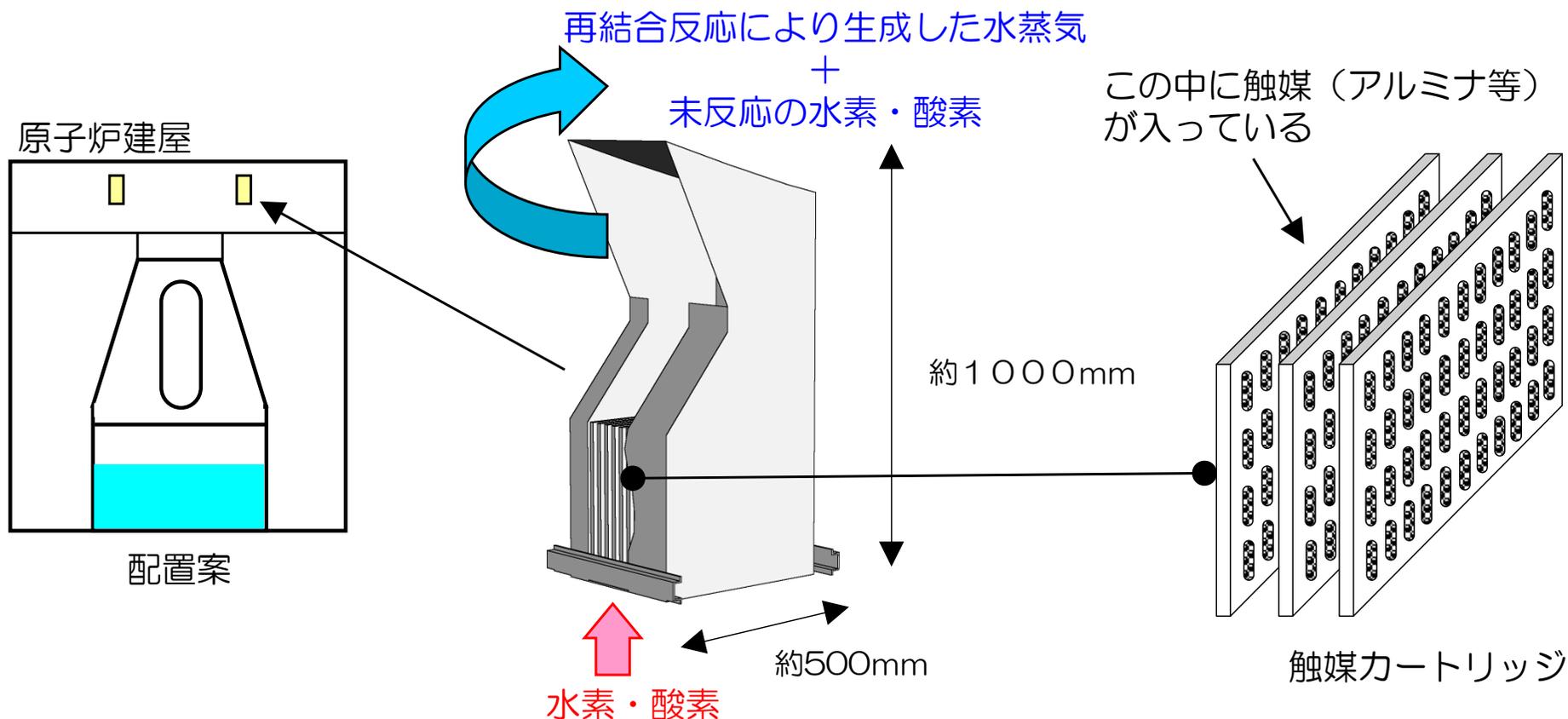
### フィルタベント設置のイメージ



# ⑧ 原子炉建屋水素処理設備の設置

建屋側に漏えいした水素を処理するため、原子炉建屋内に静的触媒再結合装置（PAR）を設置する。

## PAR設置(検討中)のイメージ



PARの仕様（検討中）

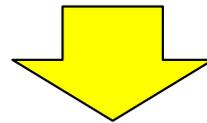
処理能力：原子炉建屋への水素流入条件等により処理能力は変動するが、1台あたり最大2 kg/h程度の水素を処理可能。

配備数：PARの設置場所や原子炉建屋内の水素の滞留状況により配備数は変わるため検討中。

## ⑧ 格納容器内の温度計装強化(熔融炉心落下対策)

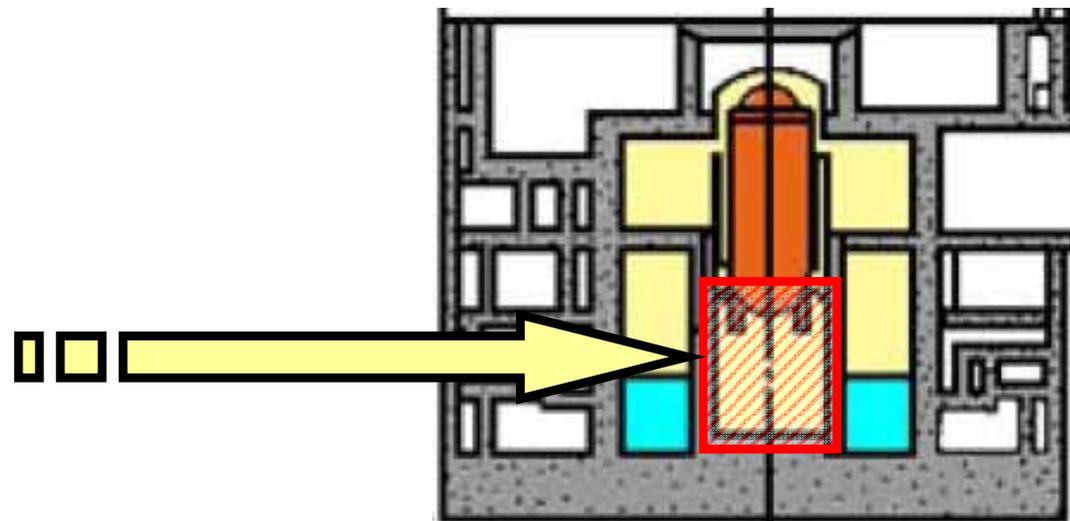
溶融した燃料の挙動を既存の計測系から把握することができなかった

- ✓ RPVの温度計は溶融した炉心の状況を検知できるほど高温の仕様ではなかった
- ✓ 格納容器内が数百℃に達するという環境を考慮した仕様になっていなかった
- ✓ RPVの破損は、RPV・PCV圧力、パデスタル雰囲気温度等から推定されるが、より直接的に検知できる温度計(溶融燃料に接した高温のパデスタル底部や溶融燃料自体を計測)はなかった



- 溶融炉心の存在を検知できるよう、1,000℃程度の高温を計測できる温度計を導入
- 確実な検知、あるいは空間的な分布等の観点から温度計測系を多重化
- RPV底部やパデスタル底部等への設置

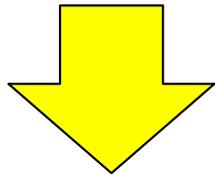
過酷事故時でも信号伝送可能とするため、  
温度計・ケーブル・端子台コネクタなどの  
耐熱性を確保する



## ⑧ 格納容器内の侵食防止対策(溶融炉心落下対策)

### 溶融した燃料による格納容器の侵食を防げなかった

- ✓ ペDESTAL注水が機能しない場合の備えとして、ペDESTALを高温から守る構造、材質になっていなかった



溶融燃料による格納容器コンクリートの侵食は、深さ方向のみならず、横方向へも進行する

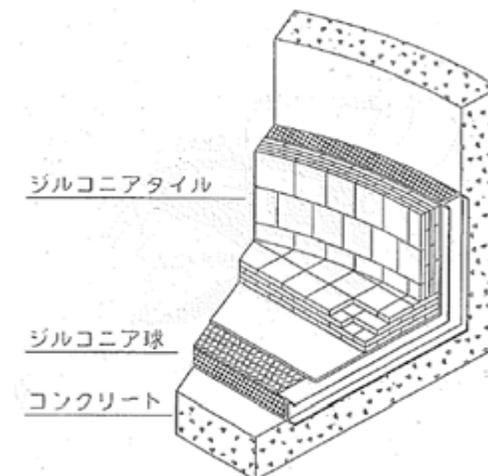
- 溶融燃料を受け止め、侵食開始までの時間余裕を確保する**侵食防止対策を実施**
- 過去実施した共研や既存技術を踏まえ、材質や構造を決定  
(耐熱性、低熱伝導率、コリウムとの化学的安定性、荷重強度 等)

【参考】 耐熱素材に係わる既存技術の例  
過去の共研や他産業（製鉄、化学、航空宇宙 等）での実績より各素材の融点は以下のとおり

$\text{Al}_2\text{O}_3$ （約 $2,000^\circ\text{C}$ ）、 $\text{ZrO}_2$ （約 $2,700^\circ\text{C}$ ）、  
 $\text{MgO}$ （約 $2,800^\circ\text{C}$ ）、 $\text{SiC}$ （約 $2,700^\circ\text{C}$ ）

※ただし、融点以外に高温で発生する亀裂や溶融燃料による侵食も考慮して決める必要がある

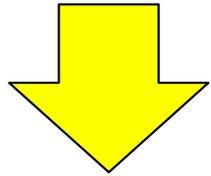
※ $\text{ZrO}_2$ を使用したコアキャッチャーの例



⑧ 格納容器内の侵食防止対策(ドレンサンプ対策) (溶融炉心落下対策)

溶融した燃料による格納容器の侵食を防げなかった

- ✓ ペDESTAL底部のドレンサンプに溶融燃料が流入し、ある程度の厚さで堆積すると上方から注水しても冷却が不十分で侵食の進行を防ぐのが困難

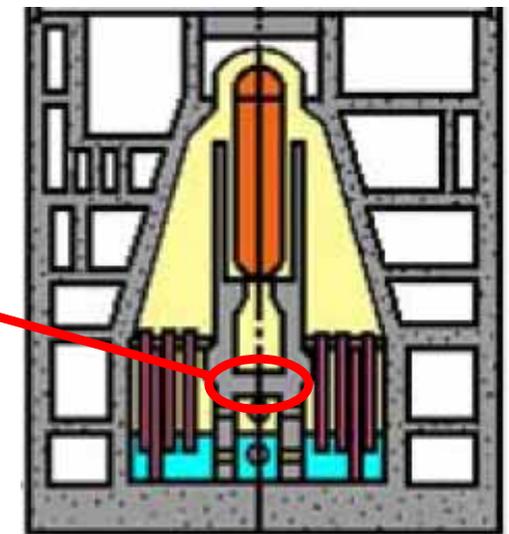
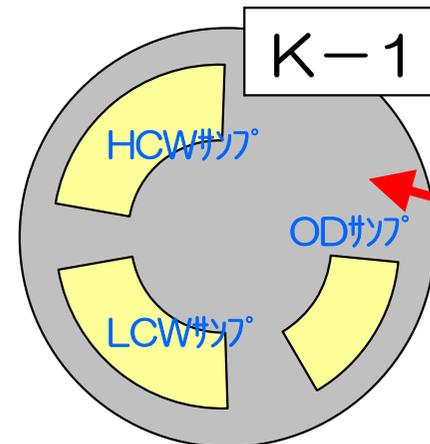


特にMark II 格納容器 (K-1 ~ 5) の場合、ペDESTALの下は2m未満のコンクリート床をはさんでS/Pがあり、侵食が進行すると溶融燃料が落下  
→ サンプ底部からS/Pまでは1m未満のため、サンプへ堆積すると早期に溶融燃料が落下する恐れ

- サンプ上蓋を耐熱性のある素材に交換 (或いは耐熱タイル等を敷設)
- サンプドレンラインによる格納容器内の冷却材漏えい検知機能を確保し、かつドレン実績を踏まえつつ、サンプの底上げ/開口部縮小を実施

【参考】 K-1 ドレンサンプ流入量 (H18.4~H19.5の実績)

- ・ HCW (高伝導度廃液系)  
最大値: 0.0027m<sup>3</sup>/hr (サンプ容積: 2.0m<sup>3</sup>)
- ・ LCW (低伝導度廃液系)  
最大値: 0.2987m<sup>3</sup>/hr (サンプ容積: 2.0m<sup>3</sup>)
- ※ OD (オールドレン系) ドレンサンプは現在使用していないため、休止設備として扱う手続きを準備中



## その他 燃料プール冷却

### 問題点（教訓）

全ての電源を喪失した場合の水位等の監視・計測とその後の燃料プールの除熱・注水、水源確保が十分に準備されておらず、その場で考えながら、対応せざるを得なかった。

### 方針

燃料プールへの注水・除熱手段の強化を実施（注水機能、除熱機能、監視・計測）

- 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
- 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
- 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
- 新潟県中越沖地震を踏まえた対策
- 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
- 基本設計で採用した設備

注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

第5段	D/Dポンプ 増強					
第4段	コンクリート ポンプ車配備			代替Hxを用いた 残留熱除去系A (燃料プール除熱)		緊急時用監視カメラ
第3段	消防車 (注水用) 高台配備	外部からの 注水配管 設置		代替Hxを用いた燃料 プール冷却浄化系A		緊急時用水位計
第2段	復水補給水系			残留熱除去系A,B (燃料プール除熱)		ITVからの監視
第1段	燃料プール 補給水系			燃料プール 冷却浄化系A,B		水位計
対策 分類	注水機能			除熱機能		監視・計測

### ⑨燃料プール

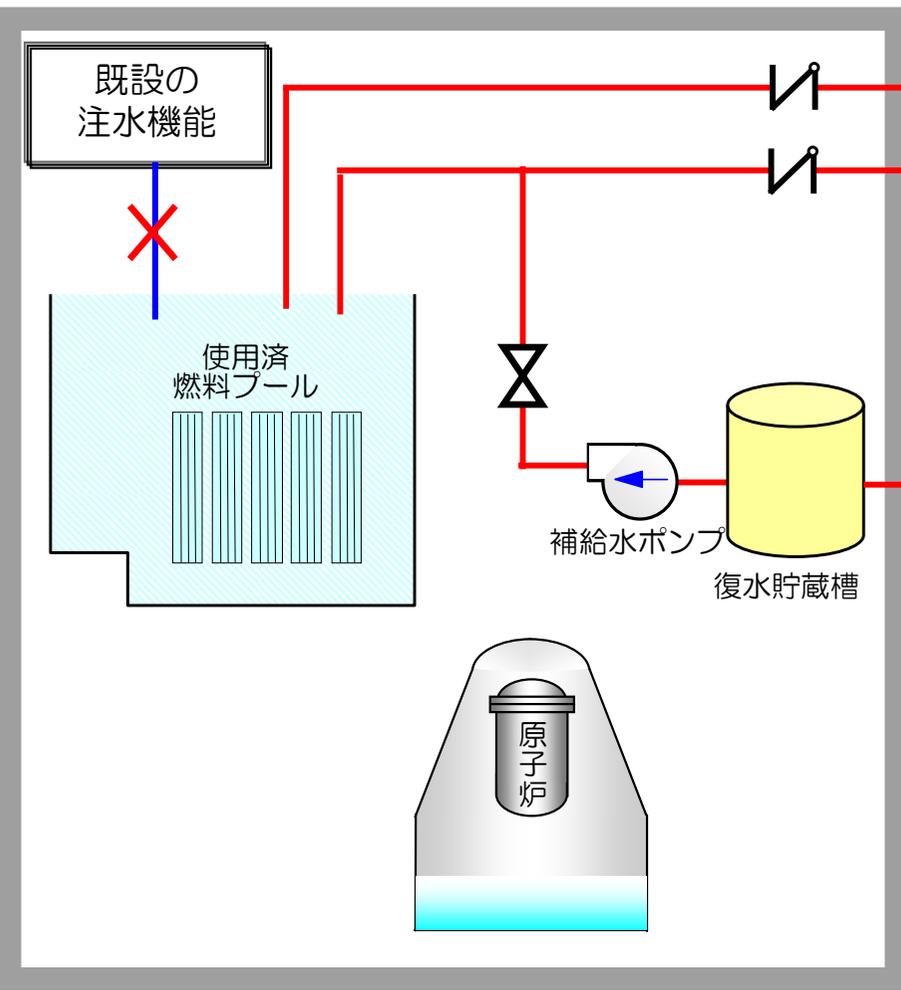
⑨ 消防車等の高台配備によるSFP注水の多重性・多様性向上<燃料プール対策>

教訓と対策（完了済）

教訓と対策（実施中）

全交流電源喪失により電動の注水設備がすべて機能喪失しても、SFPへの注水機能を確保するため、消防車8台（AⅠ級2台、AⅡ級6台）\*を高台に分散配置し、建屋に設けた注水口等から注水可能。さらにディーゼル駆動消火ポンプの台数・容量を増加。

原子炉建屋



使用済燃料プールへの独立注水ライン設置

淡水貯水池（1.8万t）

ディーゼル駆動消火ポンプ

ろ過水タンク

井戸

消防車

\* AⅠ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量120m<sup>3</sup>/h以上  
AⅡ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量84m<sup>3</sup>/h以上



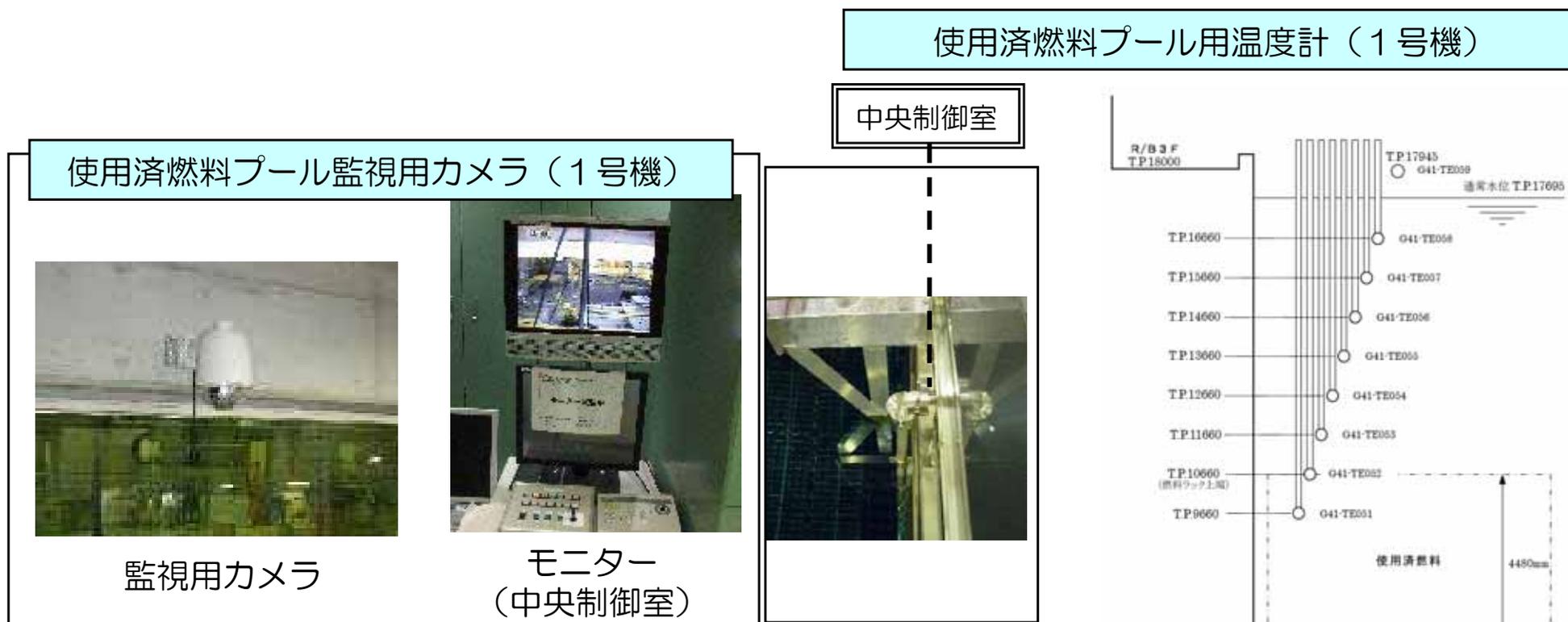
淡水貯水池

防火水槽

海

全交流電源が喪失し、現状の使用済燃料プールの監視機能が喪失しても中央制御室から監視を継続できるように、使用済燃料プールの監視機能を強化

- ・ 使用済燃料プール専用監視カメラ設置
  - ・ 使用済燃料ラック上端から 1 m 間隔で計測可能な熱電対式温度計設置
- 【電源】
- ・ 使用済燃料プール温度計 → 熱電対のため電源不要
  - ・ デジタルレコーダ → レコーダ内蔵電池にて7時間動作可能
  - ・ 使用済燃料プール監視カメラ → 電源車の電源供給により確保



## ⑨ コンクリートポンプ車の配備＜燃料プール対策＞

電源喪失や原子炉建屋の破損により、通常の使用済燃料プールの注水・冷却機能を喪失しても、原子炉建屋の外部から使用済燃料プールへ直接注水可能なコンクリートポンプ車を配備。

- ・燃料プールへの外部からの注水を可能とするよう、コンクリートポンプ車を構内外に配備する。（平成25年度第一四半期）



腕部長さ70m車



腕部長さ52m車

その他 事故時に対応手段の1つとして活用が期待できる常用系設備の耐震強化

問題点（教訓）

外部電源設備は常用系設備であり、大規模な地震時には動作を期待しない設備であったが、福島第二では震災時に機能を維持した外部電源がその後の復旧に大きな役割を果たした。

方針

- ・ 常用系設備であっても、緊急時に対応手段の1つとして活用が期待でき、追加の耐震補強が可能な設備は耐震補強を実施する。

第3段	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 15%;">送電鉄塔 基礎安定性 等評価</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 15%;">開閉所, 変圧器 耐震強化</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 15%;">復水補給水系 配管等の 耐震強化</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 15%;">淡水タンク 耐震強化</div> </div>
第2段	<p style="text-align: center;">中越沖地震の知見を踏まえ、 保守性を持って基準地震動Ssを設定し、 さらに余裕を持つよう耐震強化を実施</p>
第1段	<p style="text-align: center;">耐震設計審査指針に則った耐震設計</p>

- 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
- 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
- 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
- 新潟県中越沖地震を踏まえた対策
- 福島第一事故以前に整備した  
アクシデントマネジメント対策
- 基本設計で採用した設備

注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

対策  
分類

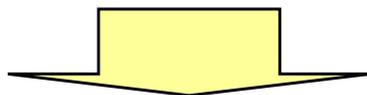
⑩ 地震

## ⑩ 復水補給水系配管等の耐震強化＜地震対策＞

柏崎刈羽原子力発電所では、中越沖地震で安全上重要な機器への問題は生じなかったものの、基準地震動 $S_s$ を中越沖地震の知見を踏まえて中越沖地震に余裕のあるレベルに設定した。さらに、安全上重要な機器について、基準地震動 $S_s$ に対して余裕を持つよう、耐震補強を実施済である。

津波襲来等のアクシデント発生時に復水補給水系を用いて原子炉・燃料プールへの注水を行うことを想定し、サポート及び電線管・ケーブルの耐震強化を行う。

■ECCSが全て機能喪失した際、3つの代替注水手段（MUWC、D/DFP、消防車）のいずれについても、原子炉注水にあたりMUWC系ラインを必ず使用



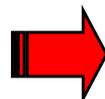
MUWC系ラインの耐震強化実施。基準地震動 $S_s$ に対して実働性確保することにより低圧注水の信頼性を向上

- ・サポート約100カ所の補強
- ・ケーブルの引き替え
- ・電線管敷設（既設耐震トレイが無いルート）

サポートを追加



【工事前】



【工事後】

【耐震条件】

耐震強化工事用地震動 $S_{1000}$ （基準地震動 $S_s$ と新潟県中越沖地震増幅波1.5NCOの包絡）に対し裕度1倍以上を確保する。

※1.5NCOは、新潟県中越沖地震時に1号機原子炉建屋基盤上で観測された地震動を1.5倍に増幅したもの。

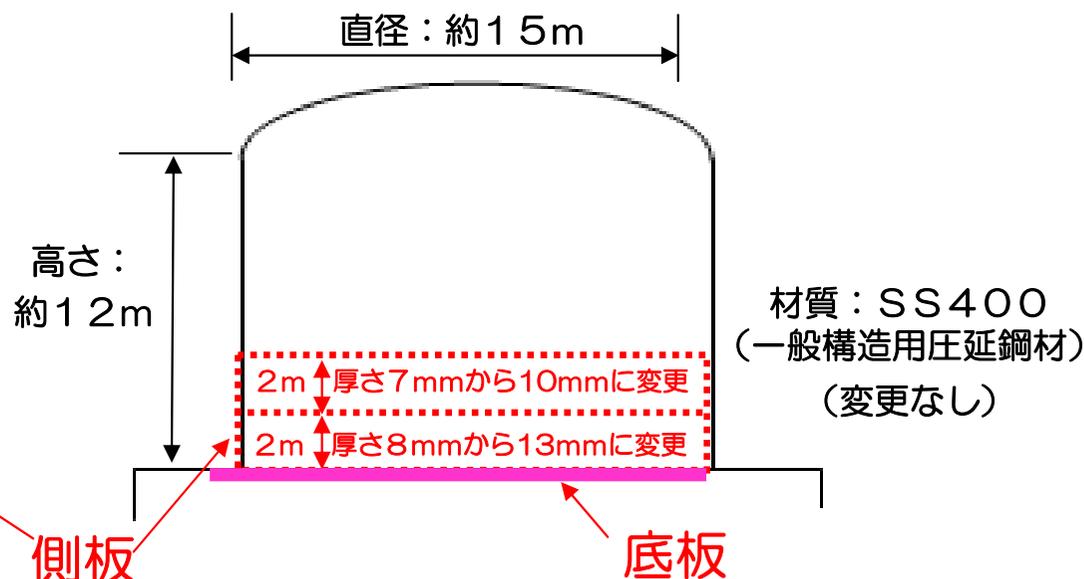
# ⑩ 淡水タンク耐震強化<地震対策>

中越沖地震の際に、健全性は確保されているものの、純水タンクNo.3,4について、他のタンクと同様に、側板や底板の厚さを増すことにより耐震強化を実施中。

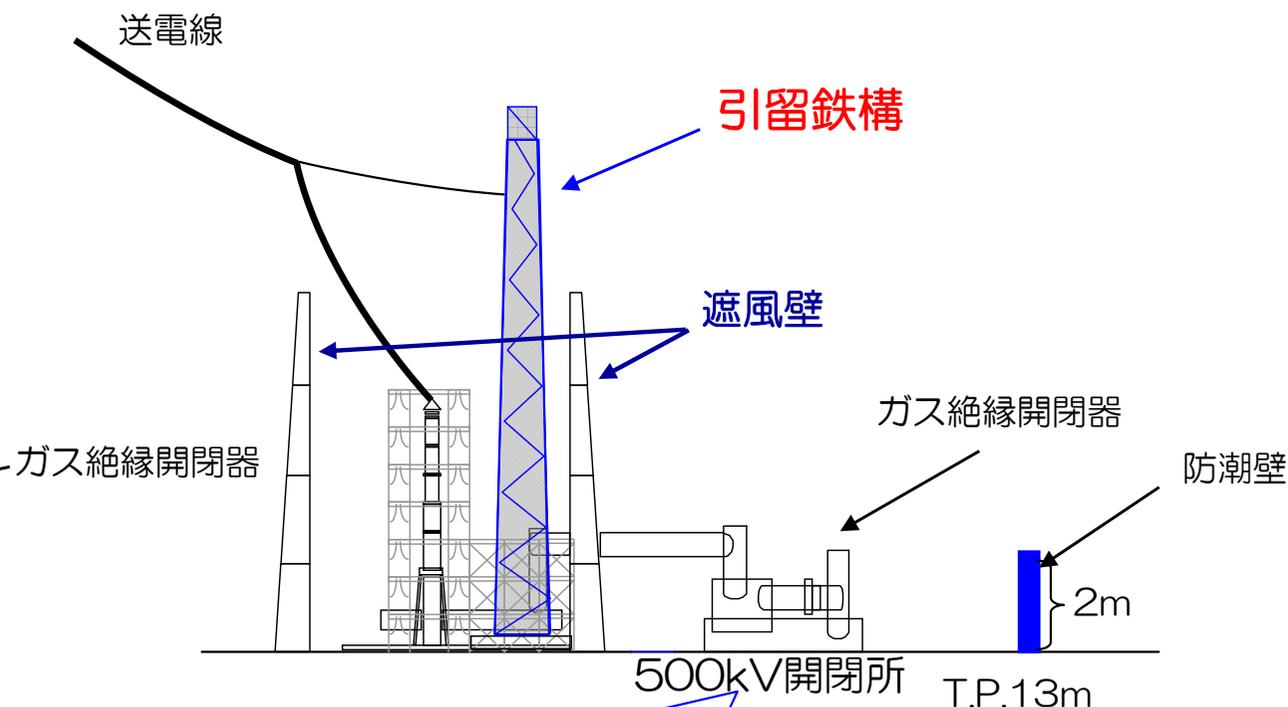
ろ過水タンク			純水タンク		
中越沖地震後の耐震強化			中越沖地震後の耐震強化		
1 ~ 4 号側	No.1	建替実施	1 ~ 4 号側	No.1	取替実施 (自重を増加)
	No.2	側板（変形部）の部分取替実施		No.2	取替実施 (自重を増加)
5 ~ 7 号側	No.3	底板、タンク側板（下部）の板を厚くした。	5 ~ 7 号側	No.3	有意な損傷がなかったため継続使用
	No.4	底板、タンク側板（下部）の板を厚くした		No.4	有意な損傷がなかったため継続使用

【工期】

- ・ No.3タンク  
～平成25年6月
- ・ No.4タンク  
～平成25年2月



500kV開閉所において送電線を引込み固定する引留鉄構の取替えを実施し、耐震性の向上を図るとともに、浸水対策として、開閉所設備に防潮壁を設置。また、遮風壁の耐震強化を実施。



【取替対象設備】

南新潟幹線 1号線 / 2号線

新新潟幹線 1号線 / 2号線

工期：平成24年7月～平成25年12月（予定）

柏崎刈羽原子力発電所の開閉所設備は、耐震性に優れたガス絶縁開閉装置(GIS)を採用 (GIS:JEAG5003<電気設備の耐震設計指針>は満足、JEAC4601<原子力発電所耐震設計技術規程>評価中)

## その他 その他の視点における安全対策

### 問題点（教訓）

瓦礫等の散乱による現場のアクセス性・作業性低下等、著しい作業環境の悪化が事故の対応を困難にしていた。

### 方針

事故時の対応をサポートする上で重要となる各機能への対策を講じる。

※中越沖地震後のアクセス道路補強では、構内道路の沈下や亀裂がみられた箇所について地盤改良を実施。

福島第一を踏まえた短期対策としては、地震発生時に予想される低耐震クラス洞道の変状に伴う道路陥没量を抑制し、緊急車両（電源車、消防車）の迅速な移動を確保するため、低耐震クラス洞道横断道路部の補強工事を実施。

第3段			D/Dポンプ 増強	瓦礫撤去用 重機の配備			
第2段	活動拠点 の増強	中央制御室 換気空調系 電源車での給電	消火系配管 地上化	アクセス 道路補強※	モニタリング 機能強化	通信設備 増強	
第1段	免震棟設置	中央制御室 換気空調系	火災対応用 消防車配備	アクセス 道路補強※	既存の モニタリング 設備	既存の 通信設備	

- 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
- 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
- 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
- 新潟県中越沖地震を踏まえた対策
- 福島第一事故以前に整備した  
アクシデントマネジメント対策
- 基本設計で採用した設備

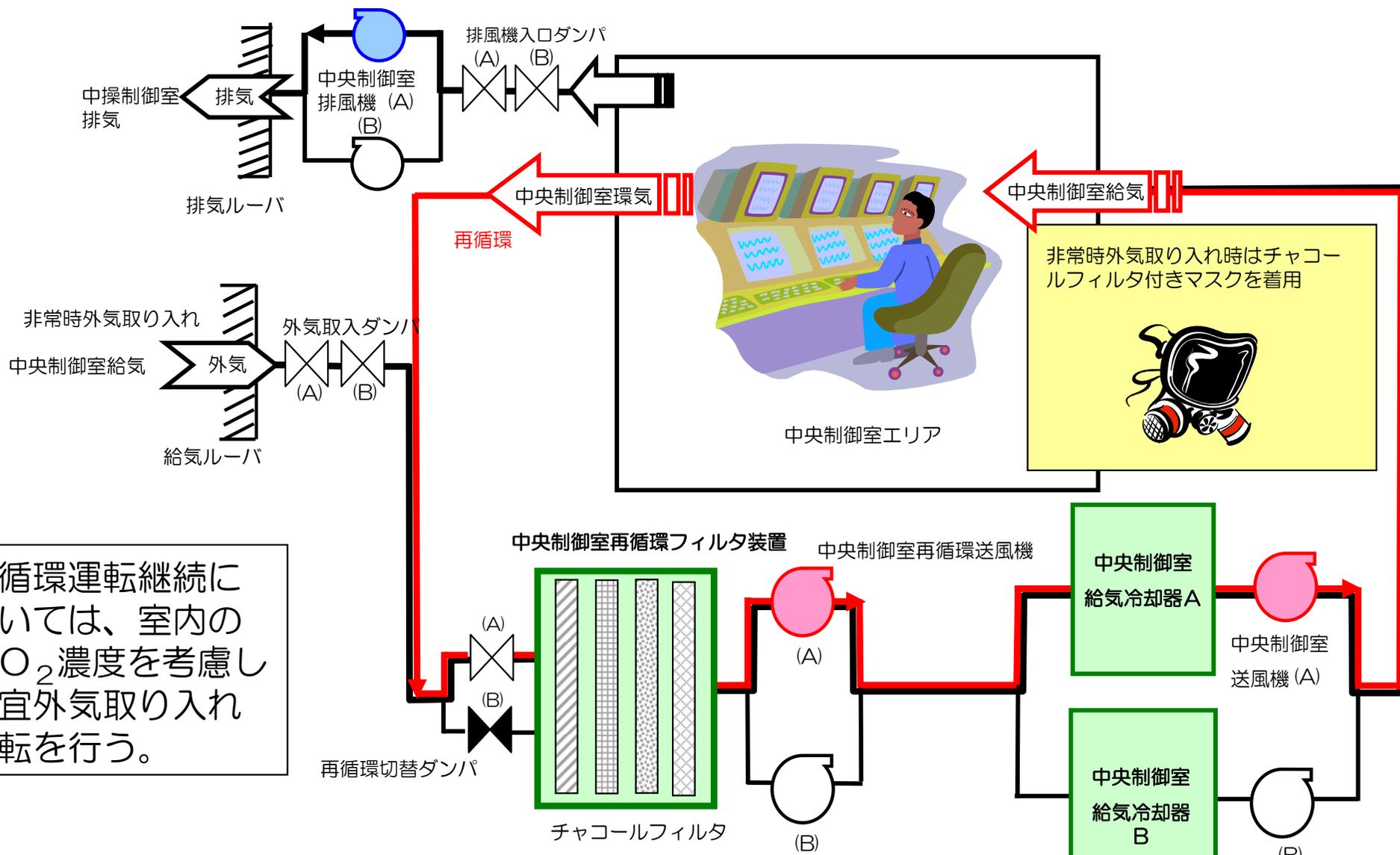
注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備

対策分類  
緊急時対策本部  
中央制御室  
火災対策  
アクセス路確保  
モニタリング設備  
通信設備

## ⑪ その他の視点

⑪ 中央制御室環境改善＜その他の視点对策＞

付近の線量が上昇する場合には、中央制御室の環境改善のため、電源車から電源を供給し中央制御室の空調再循環運転を実施、線量上昇を抑制する。



再循環運転継続については、室内のCO<sub>2</sub>濃度を考慮し適宜外気取り入れ運転を行う。

モニタリング機能強化の一環として、KKのモニタリングカーを2台増配備する。

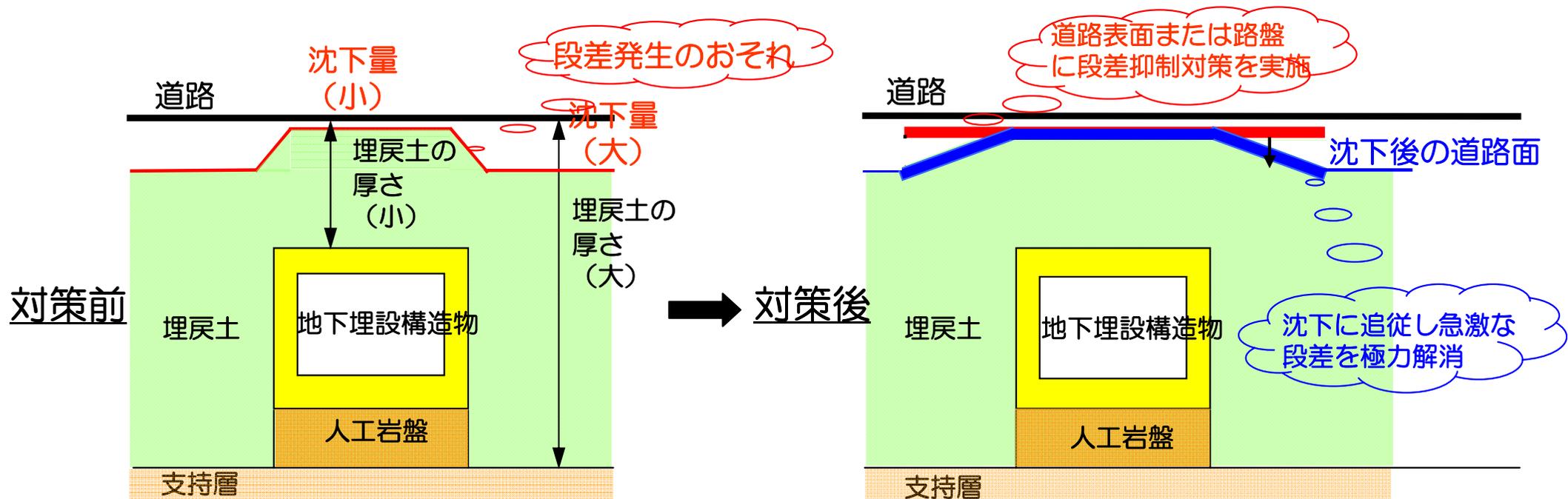


- モニタリングカー設備
- 電離箱フィールドモニタ
  - ダストサンプラ
  - ダストモニタ
  - よう素モニタ
  - 風向風速計
  - 発電機
  - 衛星電話
  - 無線機 等

モニタリングカー  
従来より配備：1台（上図）  
増配備：2台

# ⑪ アクセス道路補強＜その他の視点＞

- 中越沖地震発生後、構内アクセスルートについて下記の対策を実施。
  - 通行不可となった箇所：沈下対策として地盤改良を実施。
  - 通行可能だが道路に亀裂や変状がみられた箇所：地盤改良等を実施。
- 更なる安全性の確保として、緊急対応車輛の構内アクセスルート上の地震による沈下等により発生する段差を評価した結果、通行不可能とはならないと思われるが、より迅速に緊急車両が目的地に到達出来るよう、あらかじめ道路表面または路盤に段差抑制対策を講じて段差発生量を小さくする。



工期：平成24年10月～平成25年3月（予定）

## ⑪ 瓦礫撤去用重機の配備＜その他の視点対策＞

電源車や消防車等を高台からプラント近くへ展開する際のアクセス路を確保するため、地震や津波により散乱した瓦礫等を重機により速やかに撤去する。また、アクセス路上の段差やひび割れの応急処置も併せて実施する。



【ショベルカー（3台）】



【ホイールローダ（4台）】

瓦礫撤去用重機を7台配備  
通行ルートの段差発生時に対応するため碎石（30m<sup>3</sup>）をストック

地震津波襲来後に電源車を用いる基本シナリオ※の場合、電源車のアクセスルート確保完了までは地震・津波襲来から約5時間を想定している。また、電源復旧までを含めると地震・津波襲来から8時間以内の完了を想定している。

※ 地震・津波襲来→全交流電源喪失→瓦礫撤去→電源車配備→RCIC延命→PCVベントによる除熱→CSP水源確保、電源車燃料確保

○重機配備場所：高台(T.P.約35m)に配備（荒浜側及び大湊側に分散して配置）

○碎石ストック場所：高台(T.P.約35m)重機配備場所と同じ

○重機の運転要員

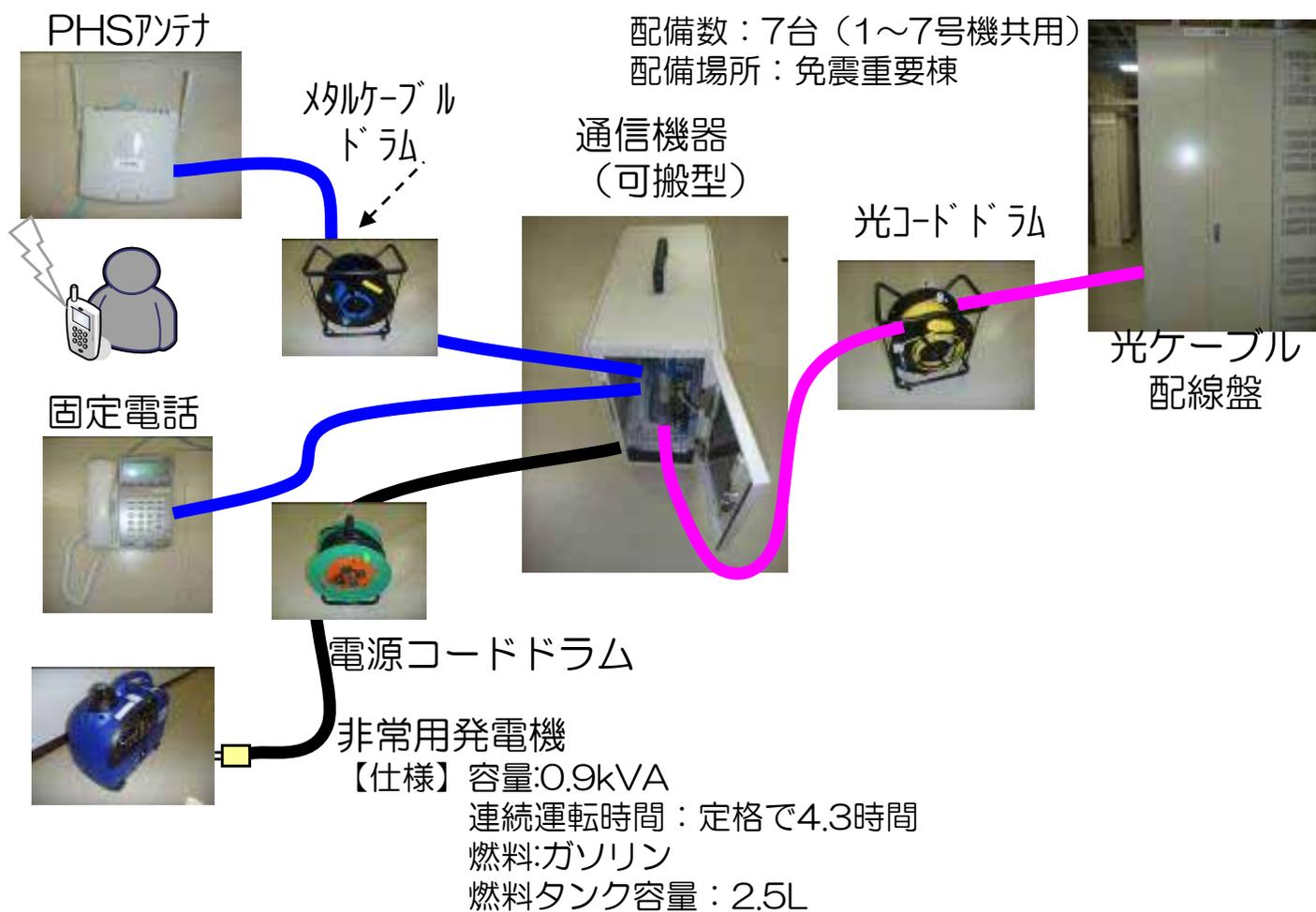
・ショベルカー、ホイールローダともに当社社員が運転し、瓦礫やアクセス路上の補修を実施する。

なお、アクセスルートは複数確保する。

中央制御室、現場、および免震重要棟において情報収集や指令の伝達を確実にを行うため、PHS交換機の電源増強、可搬型PHSアンテナ資機材の配備、ページング装置の電源増強、移動無線機の設置等により通信設備を強化。

## 通信設備配備（例）

## ＜可搬型PHSアンテナ資機材＞



## ＜可搬型PHS使用訓練風景＞

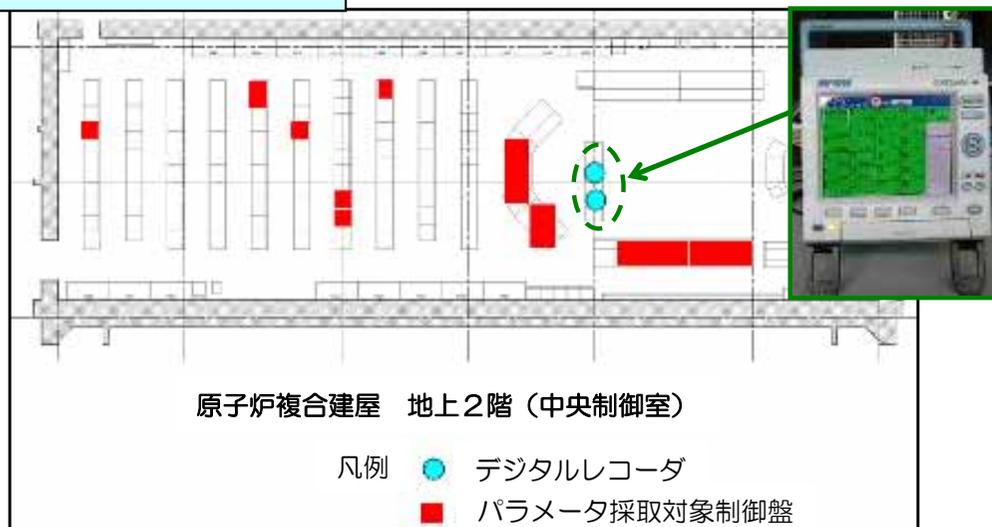


地震および電源喪失でプロセス計算機が機能喪失した場合、免震重要棟でプラントの監視パラメータの確認ができなくなることから、デジタルレコーダと構内共用LANを利用し、免震重要棟に伝送しプラントパラメータ監視機能を強化する。

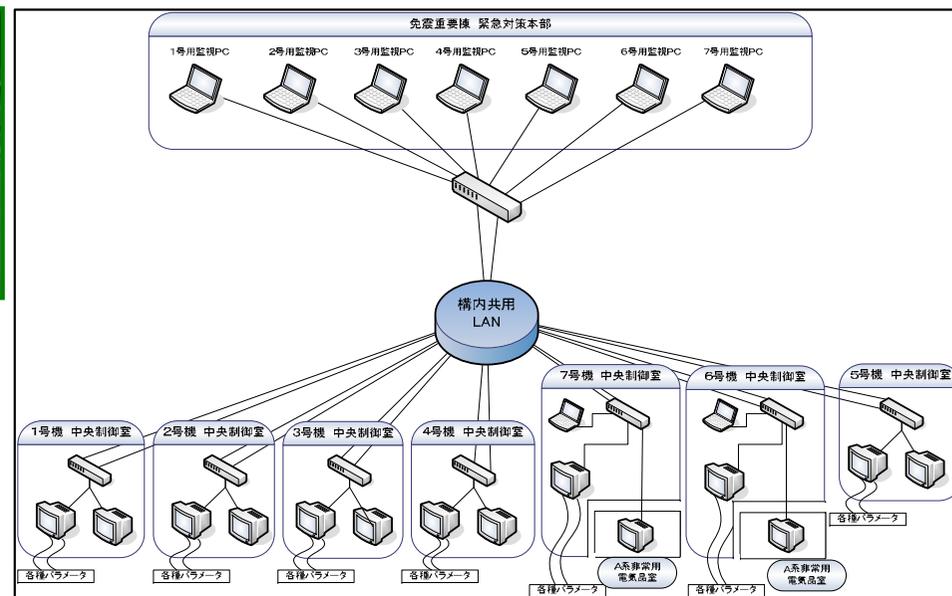
- ・ デジタルレコーダ×14台
- ・ 監視用PC×7台
- ・ 仮設信号用ケーブル式

- ◎ 主要パラメータ
  - ・ 原子炉水位 (燃料域)
  - ・ 原子炉圧力
  - ・ 格納容器圧力 等

設置例 (1号機)

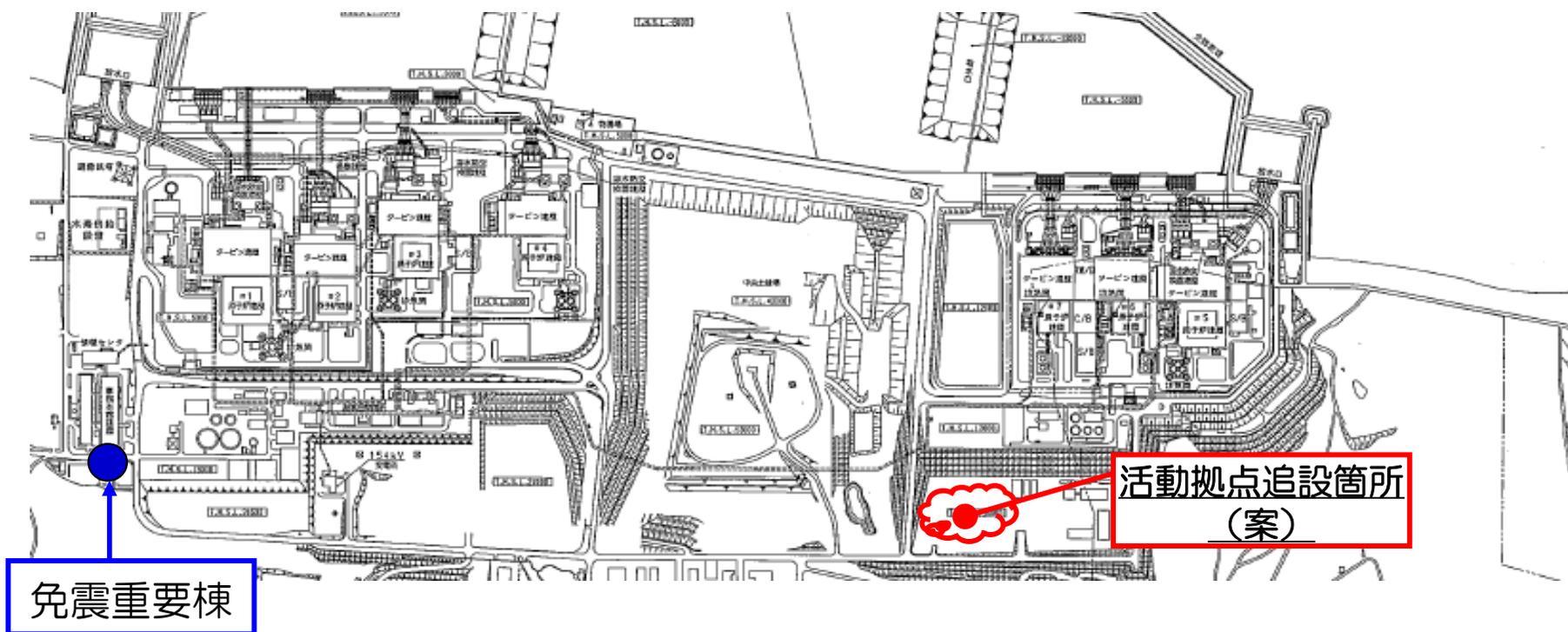


システム構成図



1F 免震重要棟は事故後に緊急対策本部として機能を維持したが、設計想定を超える能力が要求され、数々の課題が浮き彫りとなり改善の必要性が判明したことから、緊急時対応要員活動拠点を整備する。

既設免震重要棟の改善・強化策として、機能・収容能力増強、迅速な現場対応等を考慮した活動拠点を設置する。  
(規模・必要機能は検討中)



# 福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく 柏崎刈羽原子力発電所の対策（運用面）

<span style="background-color: #f08080; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]	<span style="background-color: #e0f0e0; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
<span style="background-color: #ffcccc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）	<span style="background-color: #fff2cc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 基本設計で採用した設備
<span style="background-color: #e0e0e0; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）	注：青太枠については、防潮堤による防水対策により効果が期待出来る設備
<span style="background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 新潟県中越沖地震を踏まえた対策	

## ⑫ 事故への備えにおける運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。

**方針**  
・津波、全電源の喪失など従来の想定を大きく超える事故の対応手順を整備。  
・整備した対応手順について、繰り返し教育・訓練を実施。  
・重機の運転等に関して社員で対応できるよう、必要な資格の取得を実施。

<b>手順書等の更なる見直し</b>	<b>運転員シミュレータ訓練 地震+津波+SBO</b>
電源機能等喪失時対応ガイド	電源機能等喪失時対応訓練
緊急時防護 応変対応ガイド	緊急時訓練の強化
アクシデントマネジメント(AM)の手引き	運転員津波AMの手引き研修
事故時運転操作手順書 シビアアクシデント	緊急時訓練シビアアクシデント想定
事故時運転操作手順書 シビアアクシデント	運転員AM手引き研修
警報発生時運転操作手順書	運転員シミュレータ訓練
事故時運転操作手順書	緊急時訓練
	重機等の必要資格取得

対策分類：対応手順の整備、教育・訓練、資格取得

## ⑬ 複合災害、複数プラント同時被災における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
複合災害、複数プラントが同時に被災したこと等による**態勢の混乱**が生じた。

**方針**  
・複数プラント、長期事故にも対応できるよう、発電所緊急時対策委員を大幅に増員。  
・初期における現場対応のため、運転員、宿直員を増員。  
・本店についても、発電所を的確に支援できるよう宿直員、緊急時対策委員を増員。  
・緊急時対策本部の代替指揮所（代替TSC）を追加整備。  
・ICS（Incident Command System）の導入  
・緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化。  
・協力企業・メーカー等からの支援体制を強化。  
・遠隔操作可能なロボット等を有する電事連大の原子力レスキュー隊を整備。

<b>夜間・休祭日 宿直要員の増員 （班数対応要員）</b>	<b>夜間・休祭日 宿直要員の増員 （班数対応要員）</b>	<b>運転員の増員</b>
夜間・休祭日宿直体制 放管員増強	夜間・休祭日宿直体制	緊急時対策委員 の大幅増員
		ICSの導入
		指揮命令系統の明確化 （号機責任者配置）
		支援体制の強化
		原子力レスキューの整備
		代替指揮所の追加整備

対策分類：対応委員の増員、態勢整備

## ⑭ プラント監視、通信手段、並びに情報共有の強化<情報伝達・情報共有>

**問題点（教訓）**  
停電に伴い通信機器等の連絡手段に制約がかかり、状況を共有することが困難になったこと等により、円滑に**プラント状態を把握・共有できなくな**った。

**方針**  
・電源強化、通信手段の多様化等、監視・情報伝達手段を強化。  
・事故時に重要な情報をあらかじめ様式化し、運転員、発電所緊急時対策室、本店で共有化する手引きを整備。  
・国が本店に規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣。また、国、関係機関と結びTV会議システムと連携。自治体への通報手段を多様化。

<b>中央制御室 通信手段強化</b>	<b>中央制御室 蓄電池等配備</b>	<b>衛星携帯電話 屋外アンテナ付</b>	<b>衛星携帯 電話強化</b>	<b>SPDS停止時の プラント情報共有 手引き</b>	<b>自治体への通報 手段の多様化</b>
		中央制御室 免震重要棟間 ホットライン	衛星携帯電話	プラントパラメータ 伝送システム (SPDS)	国とのTV会議 システムに連携
					TV会議システム

対策分類：プラント監視、通信手段強化、プラントパラメータ、国との連携、通報手段多様化

## ⑮ 資機材調達・輸送体制の強化における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
事故対応のための**資機材が不足**していた。

**方針**  
・自然災害による交通状況悪化を考慮し、当面必要な食料・燃料等は発電所内に備蓄。  
・警戒区域設定時にも必要な物資輸送ができるよう、輸送会社と契約、運転手の放射線防護教育を実施。  
・福島事故の教訓を反映した、後方支援拠点(物流拠点・出入管理拠点)の整備。

<b>非常時の燃料 調達協定</b>	<b>輸送会社運転手 の放射線防護教育</b>
燃料の備蓄	輸送会社との 輸送契約 (警戒区域含む)
緊急時対策委員 の7日分の 飲食料を備蓄	輸送会社との 輸送契約
	後方支援拠点

対策分類：備蓄、輸送体制強化、後方支援拠点

## ⑯ 事故時放射線管理体制の強化における運用面の対策状況

**問題点（教訓）**  
**汚染の拡大や不十分な放射線管理体制**が事故の対応を困難にしていた。

**方針**  
・モニタリングポストの電源強化、モニタリングカーの増強。  
・緊急時対策室、中央制御室への放射線計測器、放射線防護資機材の追加配備。  
・事故発生時の内部被ばく評価方法、対応手順の整備。  
・緊急時対策室への放射性物質流入防止方法の確立、訓練の実施。  
・広域での放射線測定作業に対応できるよう全店で放射線測定委員教育を実施。

<b>可搬型モニタ リングポスト 配備</b>	<b>モニタリング カー増強 (1台→3台)</b>	<b>モニタリング ポスト電源強化 (非常用電源)</b>	<b>モニタリング ボア下電源2重化 伝送系2重化</b>
モニタリングカー 1台配備			

<b>簡易WBC の配備</b>	<b>簡易式入域管理 装置の配備</b>	<b>放射線測定委員 の大幅増強</b>
簡易重要棟、 中央制御室に APD増設	復旧委員の 放射線防護装備 APD配備	緊急時対策室 放射線防護装備 配置増強

対策分類：モニタリング装置強化、放射線防護資機材、内部被ばく評価手順  
放射性物質流入防止、要員増強

## ⑰ 事故時の公表、社会への情報発信

**問題点（教訓）**  
**事故時の公表、情報伝達が十分でなかった。**

**方針**  
・報道対応体制の再構築  
・過酷事故時に活用する資料作成  
・インターネットを活用した積極的な情報発信

<b>報道対応体制 の再構築</b>	<b>過酷事故時に 活用する資料作成</b>	<b>インターネット による積極的 な情報発信</b>
		緊急ラジオ放送 による情報発信
		広報車による 情報発信
		モニタリング ポストデータ等 リアルタイム公開

対策分類：事故時の公表、社会への情報発信の強化

問題点（教訓）

想定を超える津波に対する防護が脆弱であった。

- 方針
- ・津波、全電源の喪失など従来の想定を大きく超える事故の対応手順を整備。
  - ・整備した対応手順について、繰り返し教育・訓練を実施。
  - ・重機の運転等に関して社員で対応できるよう、必要な資格の取得を実施。

福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）  
 新潟県中越沖地震等を踏まえた対策  
 福島第一事故以前に整備したアクシデント  
 マネジメント対策  
 従来から継続している対応

具  
体  
的  
対  
応

手順書等の 更なる見直し		運転員 シミュレータ訓練 地震+津波+SBO		
電源機能等喪失 時対応ガイド類	緊急時臨機 応変対応ガイド	電源機能等喪失 時対応訓練	緊急時訓練 の強化	
アクシデント マネジメント (AM)の手引き	津波AM の手引き	運転員津波AM の手引き研修	緊急時訓練 シビアアクシ デント想定	
事故時運転 操作手順書 徴候ベース	事故時運転 操作手順書 シビアアクシデント	運転員 AM 手順書研修	アクシデント マネジメント 研修	
警報発生時 運転操作 手順書	事故時運転 操作手順書	運転員 シミュレータ訓練	緊急時訓練	重機等の 必要資格取得

対策  
分類

対応手順の整備

教育・訓練

資格取得

## ⑫ 過酷事故に備えた手順・訓練の強化＜事故への備え＞

教訓と対策（実施中）

教訓と対策（完了済）

- ①津波、全電源の喪失など従来の想定を大きく超える事故の対応手順を整備。
- ②整備した対応手順について、繰り返し教育・訓練を実施。
- ③重機の運転等に関して社員で対応できるように、必要な資格の取得を実施。

### 整備した主な手順

- ・津波アクシデントマネジメントの手引き  
～電源喪失時の電源車等による電源供給や原子炉、使用済燃料プールに代替注水するための手引き
- ・緊急時臨機応変対応ガイド  
～電源喪失時の原子炉の減圧や注水を行うための手引き
- ・電源機能等喪失時の対応ガイド類  
～電源車、ガスタービン発電機車（GTG）による電源供給などの現場作業の手引き
- ・手順書、ガイド等については、継続的に更なる見直しを実施



整備した手順の例

### 訓練実績

- ・総合訓練：7回 延べ約1,420人参加
- ・個別訓練：延べ282回実施(H24.10末現在)  
電源車操作訓練、GTG運転訓練  
消防車注水訓練、緊急時に列ソグ訓練等
- ・総合訓練においてはシビアアクシデントを想定したブラインド訓練も実施



GTGによる電源供給訓練風景

### 資格の取得

H24.11末現在  
大型免許：48名  
大型特殊免許：21名  
大型けん引免許：18名

問題点（教訓）

複合災害、複数プラントが同時に被災したこと等による**態勢の混乱**が生じた。

- 方針
- ・ 複数プラント、長期事故にも対応できるように、発電所緊急時対策要員を大幅に増員。
  - ・ 初動における現場対応のため、運転員、宿直員を増員。
  - ・ 本店についても、発電所を的確に支援できるように宿直要員、緊急時対策要員を増員。
  - ・ 緊急時対策本部の代替指揮所（代替TSC）を追加整備。
  - ・ 緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化。
  - ・ ICS（Incident Command System）の導入
  - ・ 協力企業・メーカ等からの支援体制を強化。
  - ・ 遠隔操作可能なロボット等を有する電事連大の原子力レスキュー隊を整備。

具  
体  
的  
対  
応

夜間・休祭日 宿直要員の増員 (現場対応要員)	
夜間・休祭日 宿直要員の増員 (対外連絡・情報収集要員)	運転員の増員
夜間・休祭日 宿直体制 放管員増強	緊急時対策要員 の大幅増員
夜間・休祭日 宿直体制	緊急時対策要員

<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
<span style="background-color: #C8E6C9; border: 1px solid black; padding: 2px;">赤字</span>	福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
<span style="background-color: #E8F5E9; border: 1px solid black; padding: 2px;">黒字</span>	福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
<span style="background-color: #FFF9C4; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	新潟県中越沖地震等を踏まえた対策
<span style="background-color: #E0F7FA; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	福島第一事故以前に整備したアクシデント マネジメント対策
<span style="background-color: #FFFFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	従来から継続している対応

ICSの導入	支援体制の強化	
指揮命令系統 の明確化 (号機責任者配置)	原子力レスキュー の整備	代替指揮所 の追加整備

対策  
分類

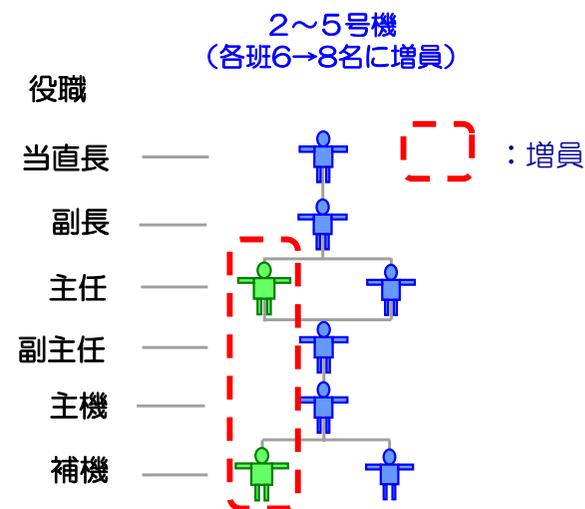
対応要員の増員

態勢整備

- ①複数プラント、長期事故にも対応できるように、発電所緊急時対策要員を大幅に増員。
- ②初動における現場対応のため、運転員、宿直員を増員。
- ③本店についても、発電所を的確に支援できるように宿直要員、緊急時対策要員を増員。

### 発電所運転員・宿直・緊急時対策要員

- ・津波後の現場対応操作を踏まえ、**運転員を60名増員予定（30名増員済）（205名→265名）（定員）**
- ・交替制も考慮し緊急時対策要員を増員**（324名→649名）**
- ・被災直後の対外連絡とプラント情報収集の機能強化のため宿直体制を増強**（6名→8名）**
- ・**緊急電源復旧・注水対応・ガレキ撤去**など、早期の現場対応ができるよう、**要員を24時間体制で発電所に待機（約20名程度）**



### 本店緊急時対策要員

- ・本店緊急時対策要員についても交代制を考慮し、必要な要員を増強。
- ・発電所を迅速に支援するため、本店宿直要員を増強。

初動における現場対応体制の考え方

福島事故の教訓から、事故発生直後に実効性のある対応を行うことが重要であり、事故の事象進展に対応できる初動現場対応体制を確保することが必要



過酷事象発生時の初動現場対応体制を検討するあたり、以下の前提で対応体制強化を検討

- ・ 事故発生から24時間は宿直者以外の要員参集を期待しない
- ・ 事故発生から3日間は外部支援を期待しない

【全電源、ヒートシンク喪失時の事象進展】



初動／宿直にて対応

現状でも常時50名程度の要員が常駐しているのに加え、1・7号機運転中の想定でガレキ除去、電源復旧、情報把握・連絡を行う要員として20名程度増員し、24時間発電所に待機することで、事故発生から8時間以内に緊急電源を確実に復旧できる体制を構築



⑤緊急時対策本部の代替指揮所（代替TSC）を追加整備。

⑥緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化。

## 代替指揮所の追加整備

- ・緊急時対応要員活動拠点の追設を検討中であるが、更なる想定外事象に備え、今年度中に発電所の緊急時対策本部の代替指揮所を5号機に追加整備。
- ・換気空調系に放射性物質の除去機能が備わっており、環境への放射性物質の放出あった場合でも長期滞在が可能。
- ・様々な災害に対して強固であり、大湊側の活動拠点としても利用可能。

## 緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化

- ・経営トップ不在時の代行順位を明確化し、OFC派遣幹部についても見直しを実施。
- ・発電所緊急時対策本部の発電班、復旧班に号機責任者を配置し、報告連絡・指示伝達を強化。
- ・複合災害、複数プラント同時被災に対し、迅速な意志決定下で復旧活動を実施するため、現場指揮マネジメントシステム ICS（Incident Command System）を導入。

⑦協力企業・メーカー等からの支援体制を強化。

⑧遠隔操作可能なロボット等を有する電事連大の原子力レスキュー隊を整備。

### 支援体制の強化

- ・ 事故初期における支援体制を強化すべく、協力企業・メーカーと覚書を締結。
- ・ 電事連にて事業者間協定の内容を見直し、協定を締結。（福島事故を踏まえ、放射線防護装備の追加等を見直し）

### 原子力レスキュー隊

- ・ 福井県（原電）を拠点とした遠隔操作可能なロボット等を有する電事連のレスキュー隊を整備方針が決定。
- ・ 11月より福島第二、柏崎刈羽原子力発電所の社員6名の訓練を開始。



Packbot®



Warrior

問題点（教訓）

停電等に伴い通信機器等の連絡手段に制約がかかり、状況を共有することが困難になったこと等により、円滑にプラント状態を把握・共有できなくなった。

方針

- ・電源強化、通信手段の多様化等、監視・情報伝達手段を強化。
- ・事故時に重要な情報をあらかじめ様式化し、運転員、発電所緊急時対策室、本店で共有化する手引きを整備。
- ・国が本店に規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣。また、国、関係機関と結ぶTV会議システムと連携。自治体への通報手段を多様化。

具 体 的 対 応	中央制御室 通信手段増強	衛星携帯 電話増強	SPDS停止時の プラント情報共有 手引き	自治体への通報 手段の多様化
	中央制御室 蓄電池等配備			国とのTV会議 システムに連携
	衛星携帯電話 屋外アンテナ付	衛星携帯電話	プラントパラメータ 伝送システム (SPDS)	TV会議システム
	中央制御室 免震重要棟間 ホットライン			
対策 分類	プラント監視、通信手段強化		プラントパラメータ	国との連携、 通報手段多様化

福島第一事故を踏まえた対策[中長期]  
赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）  
黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）  
新潟県中越沖地震等を踏まえた対策  
福島第一事故以前に整備したアクシデント  
マネジメント対策  
従来から継続している対応

## ⑭ プラント監視、通信手段、並びに情報共有の強化＜情報伝達・情報共有＞

- ①電源強化、通信手段の多様化等、監視・情報伝達手段を強化。
- ②事故時に重要な情報をあらかじめ様式化し、運転員、発電所緊急時対策室、本店で共有化する手引きを整備。
- ③国が本店に規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣。また、国、関係機関と結ぶTV会議システムと連携。自治体への通報手段を多様化。

### プラント監視・通信手段の強化

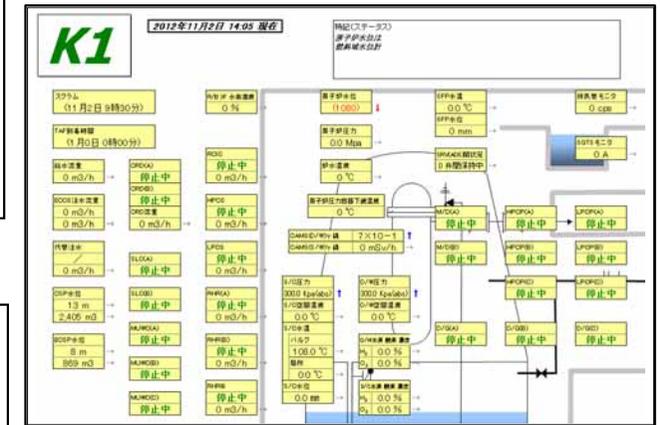
- ・中央制御室に緊急用照明に加え、仮設照明、蓄電池等の資機材を配備
- ・中央制御室の通信設備増強（無線設備、衛星携帯用アンテナ設置）
- ・衛星携帯電話の増強

### 重要情報の共有化

- ・プラント情報収集のための宿直当番を2名増員
- ・プラントパラメータ伝送システム（SPDS）が停止しても、重要なプラントパラメータ等の情報を確実に共有するための様式、手引きを作成

### 国との連携、自治体への通報手段の多様化

- ・国が本店に「原子力施設事態即応センター」を設置。規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣
- ・国、関係機関と結ぶTV会議システム（専用回線、衛星回線）と連携
- ・自治体への通報手段を多様化するため、衛星回線を利用した一斉同報FAXの導入を検討



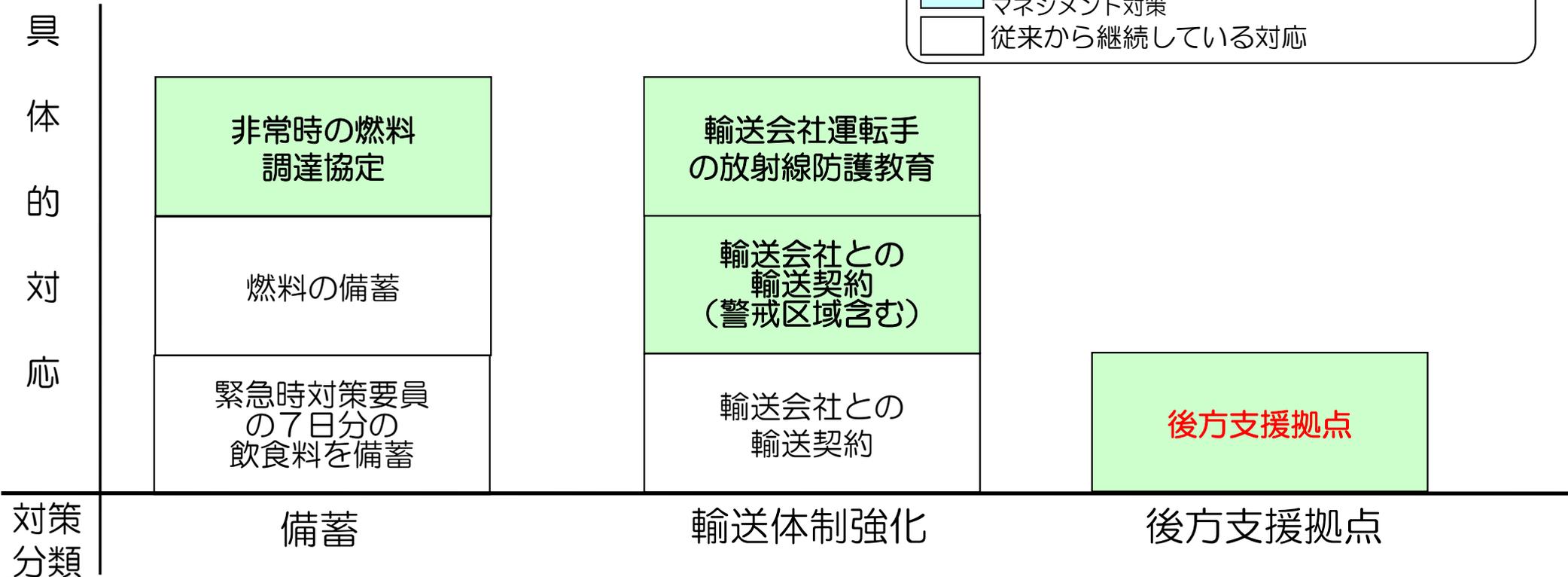
プラント状態を共有する様式例

問題点（教訓）

事故収束対応のための資機材が不足していた。

- 方針
- ・ 自然災害による交通状況悪化を考慮し、当面必要な食料・燃料等は発電所内に備蓄。
  - ・ 警戒区域設定時にも必要な物資輸送ができるよう、輸送会社と契約、運転手の放射線防護教育を実施。
  - ・ 福島事故の教訓を反映した、後方支援拠点(物流拠点・出入管理拠点)の整備。

	福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
	赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
	黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
	新潟県中越沖地震等を踏まえた対策
	福島第一事故以前に整備したアクシデント マネジメント対策
	従来から継続している対応



- ①自然災害による交通状況悪化を考慮し、当面必要な**食料・燃料等は発電所内に備蓄**。
- ②警戒区域設定時にも、必要な物資輸送ができるよう、輸送会社との契約、**運転手の放射線防護教育**を実施。
- ③福島事故の教訓を反映した、後方支援拠点(物流拠点・出入管理拠点)の整備。

### 飲食料・燃料等の備蓄

- ・ 飲食料：緊急時対策要員の8日分
- ・ 燃料（軽油）：電源車、消防車駆動用約150日分
- ・ 非常時における地元燃料供給元との調達協定締結



飲食料備蓄風景

### 輸送体制の強化

- ・ 被災地域外から必要な資機材を発電所に確実に輸送するため、輸送会社と輸送協定を締結
- ・ 輸送会社の運転手等に**予め放射線防護教育を実施済（58名受講）**



### 後方支援拠点

- ・ 後方支援拠点（物流拠点・出入管理拠点）の地点選定、立上げ手引きを作成



物流拠点風景（Jヴィレッジ）

問題点（教訓）

汚染の拡大や不十分な放射線管理体制が事故の対応を困難にしていた。

- 方針
- ・モニタリングポストの電源強化、モニタリングカーの増強。
  - ・緊急時対策室、中央制御室への放射線計測器、放射線防護資機材の追加配備。
  - ・事故発生時の内部被ばく評価方法、対応手順の整備。
  - ・緊急時対策室への放射性物質流入防止方法の確立、訓練の実施。
  - ・広域での放射線測定作業に対応できるように全店で放射線測定要員教育を実施。

■	福島第一事故を踏まえた対策[中長期]
■	赤字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（実施中）
■	黒字 福島第一事故を踏まえた対策[短期]（完了済）
■	新潟県中越沖地震等を踏まえた対策
■	福島第一事故以前に整備したアクシデントマネジメント対策
■	従来から継続している対応

具体的対応

可搬型モニタリングポスト配備	簡易WBCの配備	
モニタリングカー増強 (1台→3台)	モニタリングポスト電源強化 (非常用電源)	簡易式入域管理装置の配備
モニタリングカー 1台配備	モニタリングポスト電源2重化 伝送系2重化	免震重要棟、中央制御室にAPD増設
		放射線測定要員の大幅増強
		緊急時対策室放射性物質流入防止対策
		復旧要員の放射線防護装備品APD配備
		復旧要員の放射線防護装備品配備増強

対策分類

モニタリング装置強化

放射線防護資機材、内部被ばく評価手順  
放射性物質流入防止、要員増強

- ① モニタリングポストの電源強化、モニタリングカーの増強。
- ② 緊急時対策室、中央制御室への放射線計測器、放射線防護資機材の追加配備。

### モニタリング装置強化

- ・ モニタリングポストの電源強化(非常用発電機)
- ・ モニタリングカーを増強(1台→3台)



モニタリングポスト  
電源バックアップ用発電機



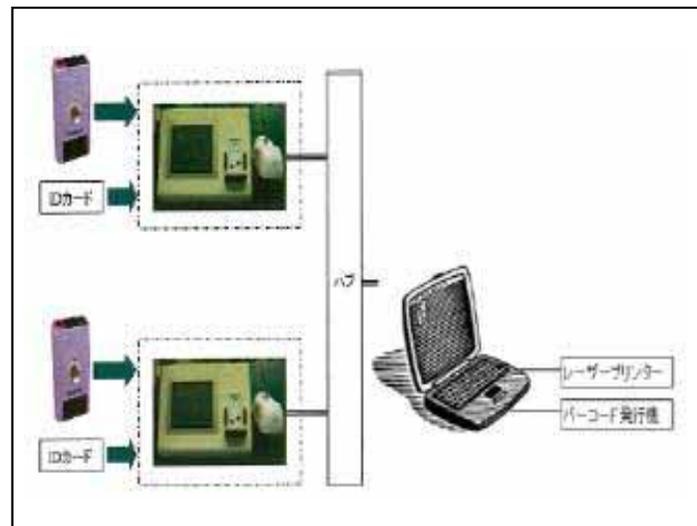
モニタリングカー  
1→3台

### 放射線防護資機材の配備

- ・ 免震重要棟にAPDを追加配備(120台→500台)  
(H24.3) 中操にAPDを各7台配備
- ・ 簡易式入域管理装置の配備
- ・ 復旧要員の放射線防護装備品8日分を備蓄



APD 120→500台



簡易式入域管理装置配備（イメージ）



放射線管理資機材

- ③事故発生時の内部被ばく評価方法、対応手順の整備。
- ④緊急時対策室への放射性物質流入防止方法の確立、訓練の実施。
- ⑤広域での放射線測定作業に対応できるように全店で放射線測定要員教育を実施。

### 内部被ばく評価手順

- ・分解運搬できる簡易WBC 2台を配備、内部被ばく評価手順を作成



簡易WBC 2台

### 放射性物質流入防止

- ・緊急時対策室への放射性物質流入防止の資機材を確保。対応要員の訓練を実施(3回)



汚染拡大防止訓練

### 放射線測定要員育成

- ・会社全体として放射線測定要員教育を約9,400名実施 (H24.11末時点)

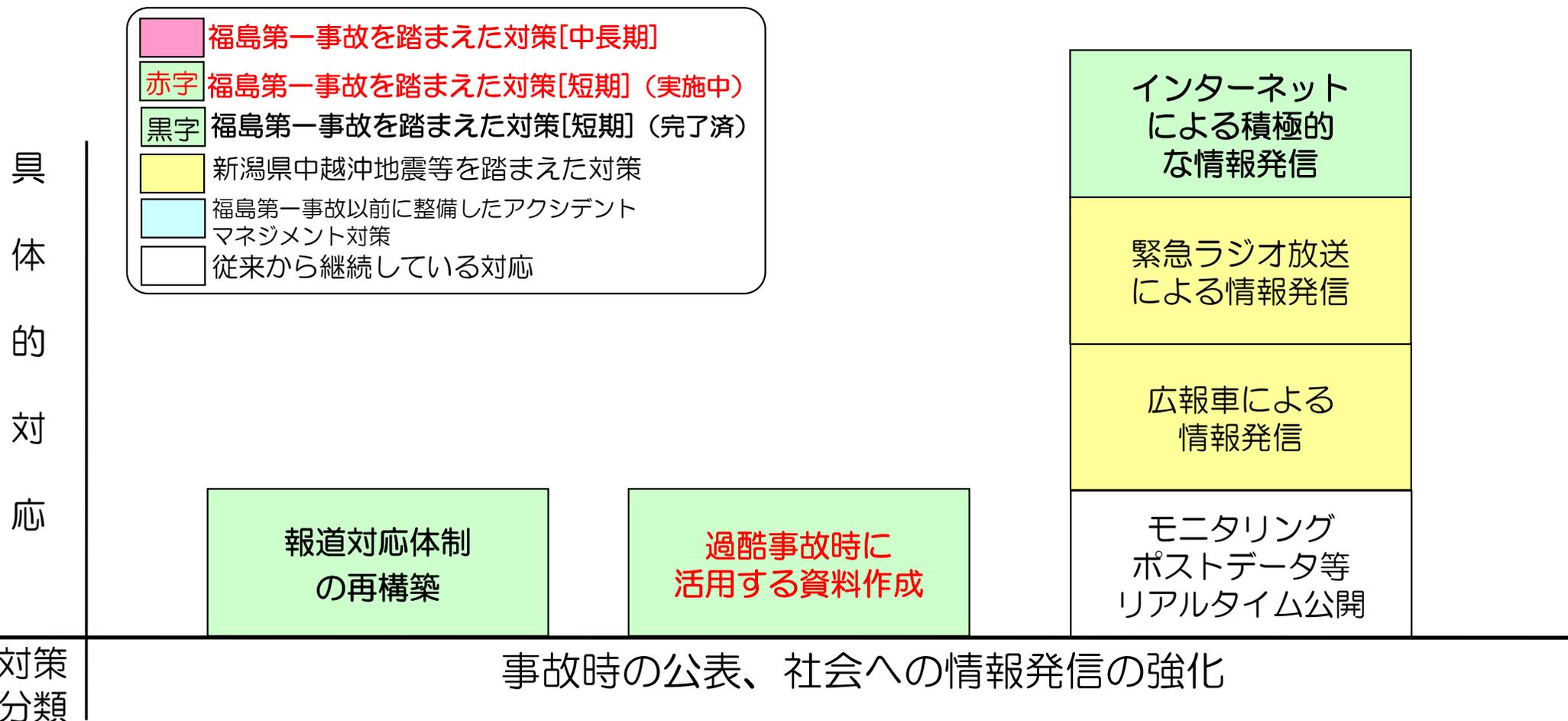


放射線測定要員教育（約9400名）

問題点（教訓）

事故時の公表、情報伝達が十分でなかった。

- 方針
- ・報道対応体制の再構築
  - ・過酷事故時に活用する資料作成
  - ・インターネットを活用した積極的な情報発信



- ① 報道対応体制の再構築
- ② 過酷事故時に活用する資料作成
- ③ インターネットを活用した積極的な情報発信

## 報道対応体制の再構築

- ・ 定期的な経営層における会見の実施
- ・ スポークスパーソンによる会見における説明と人材の育成

## 過酷事故時に活用する資料作成

- ・ 過酷事故時に活用、必要となる図面集、用語集の作成

## インターネットを活用した積極的な情報発信

- ・ モニタリングポストやプラントパラメータ等のリアルタイムデータの公開
- ・ 会見のライブ映像の配信および全ての会見資料の公開



リアルタイムデータの公開



当社会見のライブ映像の配信

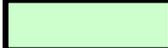
項目	全体スケジュール		
	平成23年度	平成24年度	平成25年度
①津波対策	重要エリア止水処理・防潮堤・防潮壁 等		津波警告システム等
②電源対策	空冷式ガスタービン発電機車高台配備等		更なる高台電源増強等
③水源対策	貯水池、井戸、各種手順 等		
④高圧注水対策	ホウ酸水注入系緊急活用手順、制御棒駆動水圧系緊急活用手順、RCIC手動起動手順整備		代替高圧注水設備設置等
⑤減圧対策	予備蓄電池、予備ボンベ、空気圧縮機配備 等		
⑥低圧注水対策	消防車配備、建屋外部接続口設置 等		D/Dポンプ増強等
⑦原子炉、格納容器冷却（除熱）対策	代替海水熱交換器設備配備 等		
⑧炉心損傷後の影響緩和対策	フィルタベント、水素排出設備 等		
⑨燃料プール対策	消防車配備、燃料プール水位計設置 等		D/Dポンプ増強等
⑩地震対策	送電鉄塔基礎安定性評価、開閉所・変圧器耐震強化 等		更なる開閉所・変圧器耐震強化 等
⑪その他の視点对策	瓦礫撤去用重機配備 等		活動拠点の増強等

 福島第一事故を踏まえた対策[短期]

 福島第一事故を踏まえた対策[中長期]

項目	全体スケジュール		
	平成23年度	平成24年度	平成25年度
想定を超える事故への備え	手順類の改訂、緊急時対応訓練の実施		継続的な改善
複合災害、複数プラント同時被災への対応	運転員／緊急時対策要員／宿直体制の増強		
情報伝達・情報共有の強化	中央制御室にバッテリー等配備、通信手段増強、国とのTV会議システムの連携（専用回線）等		国とのTV会議システムの連携等（衛星回線）
資機材調達・輸送体制の強化	燃料調達協定、運転手放管教育、後方支援拠点整備		
事故時放射線管理体制の強化	免震重要棟、中央制御室APD追設、MP電源強化、放射線測定要員研修		
事故時の公表、社会への情報発信体制の強化	報道対応体制の再構築、インターネットによる積極的な情報発信等		

訓練等を踏まえた継続的な改善

 福島第一事故を踏まえた対策[短期]