

# 大飯発電所4号機の安全性について

安全確保対策とストレステスト評価

関西電力株式会社

# 福島第一原子力発電所事故から得られた知見

## 【地震による影響】

- 地震発生により原子炉は正常に自動停止
- 地すべりによる送電鉄塔の倒壊等により外部電源が喪失
- 非常用ディーゼル発電機は全て正常に自動起動
- 原子炉の冷却に必要な機器は正常に動作

## 【津波による影響】

- 非常用ディーゼル発電機、配電盤、バッテリー等の重要な設備が被水
- 海水ポンプが損壊し、最終ヒートシンクが喪失(原子炉冷却機能喪失)
- 全交流電源(外部電源+非常用ディーゼル発電機)が喪失

全交流電源喪失、最終ヒートシンク喪失が長期にわたり継続し、燃料の重大な損傷、格納容器の破損など深刻な事態に陥った

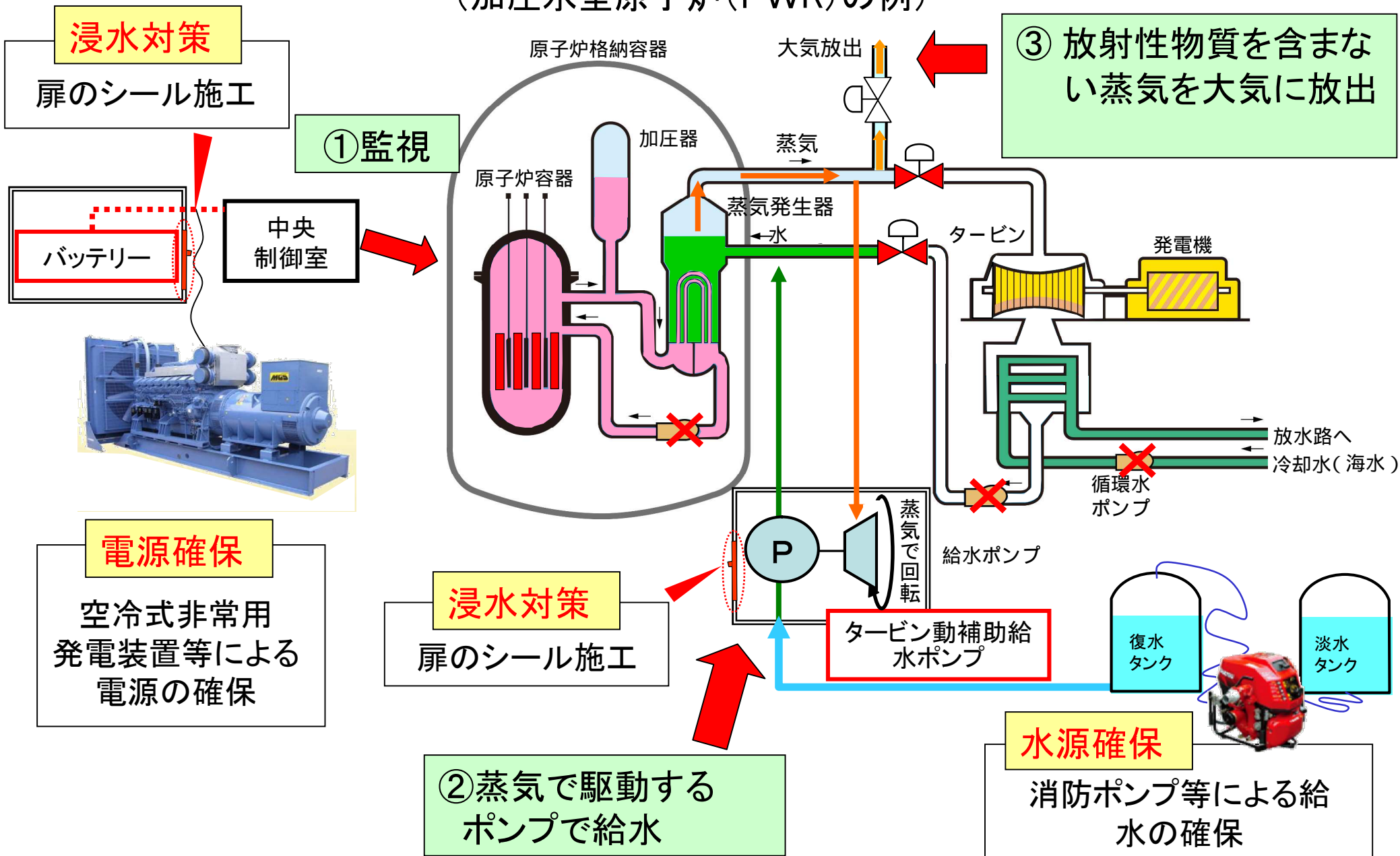
## 【安全確保対策】

- 全交流電源喪失の対策  
⇒プラント監視をする為に必要な電源設備を確保
- 最終ヒートシンクの喪失の対応  
⇒蒸気発生器への給水設備を確保
- 重要機器の被水防止  
⇒建屋の浸水対策を実施

電源確保  
水源確保  
浸水対策

# 安全確保対策

(加圧水型原子炉(PWR)の例)



# 電源確保への対応状況

## ハード対策

電源供給手段の多様化

合計: 14600kVA

炉心冷却手段の拡大

- ・非常用炉心冷却設備
- ・海水ポンプ等

合計: 4710kVA

更なる電源確保による裕度向上

- ・ほう酸ポンプ
- ・余熱除去系等

※電源確保により電動補助給水ポンプの運転も可能

合計: 2310kVA

監視機器等への供給

- ・中央制御室



電源車の配備  
4台  
(予備3台)



電源車の追加配備  
3台



空冷式非常用発電装置の設置  
8台



恒設非常用発電機の設置  
4台  
(中長期で対応)

### ○接続の簡易化

津波の影響がない**海拔30m以上**に配備した空冷式非常用発電装置から円滑に中央制御室や炉心冷却設備等に給電できるようにあらかじめケーブルを敷設

## ソフト対策

配備した電源車や空冷式非常用発電装置をすみやかに必要な箇所に接続するための対策

### ○体制の確立

休日・夜間	常に6名確保
-------	--------

### ○マニュアルの整備

### ○訓練の実施

- (訓練項目)
- ・電源車の配置
  - ・電源ケーブル接続
  - ・電源車の運転
  - ・電源車への給油

平日訓練	14回
夜間訓練	3回
休日訓練	2回

これまでの実施回数



電源車の接続訓練



夜間訓練

### ○訓練の反映

- ・夜間のヘッドランプの配備
- ・作業性向上のため接続端子形状の改善 他

### ○設備強化対策による接続時間の短縮

電源車: 135分 ⇒ 空冷式非常用発電装置: 78分  
(全号機への給電が完了するまでの訓練実績)

# 水源確保への対応状況

## ハード対策

## ソフト対策

冷却水の供給能力 ↑

冷却手段の確保

・炉心冷却 (高温)  
・燃料ピット



消防ポンプの配備  
25台

消防ポンプの総配備数  
88台(予備含む)

炉心のさらなる冷却

炉心冷却 (低温)



消防ポンプの追加配備  
+28台

電源供給源の多様化

ディーゼル発電機の冷却




可搬式エンジン駆動海水ポンプの配備  
30台

総配備数32台  
(予備含む)

海水ポンプの代替

原子炉補機冷却系統への給水



大容量ポンプの配備  
1台

12月配備予定

配備した消防ポンプ等をすみやかに必要な箇所に敷設するための対策

- 体制の確立
- マニュアルの整備
- 訓練の実施

- (訓練項目)
- ・ポンプの配置
  - ・ホースの敷設
  - ・ポンプの運転
  - ・ポンプへの給油

SG給水訓練	20回
SFP給水訓練	12回
CSD訓練	4回

これまでの実施回数



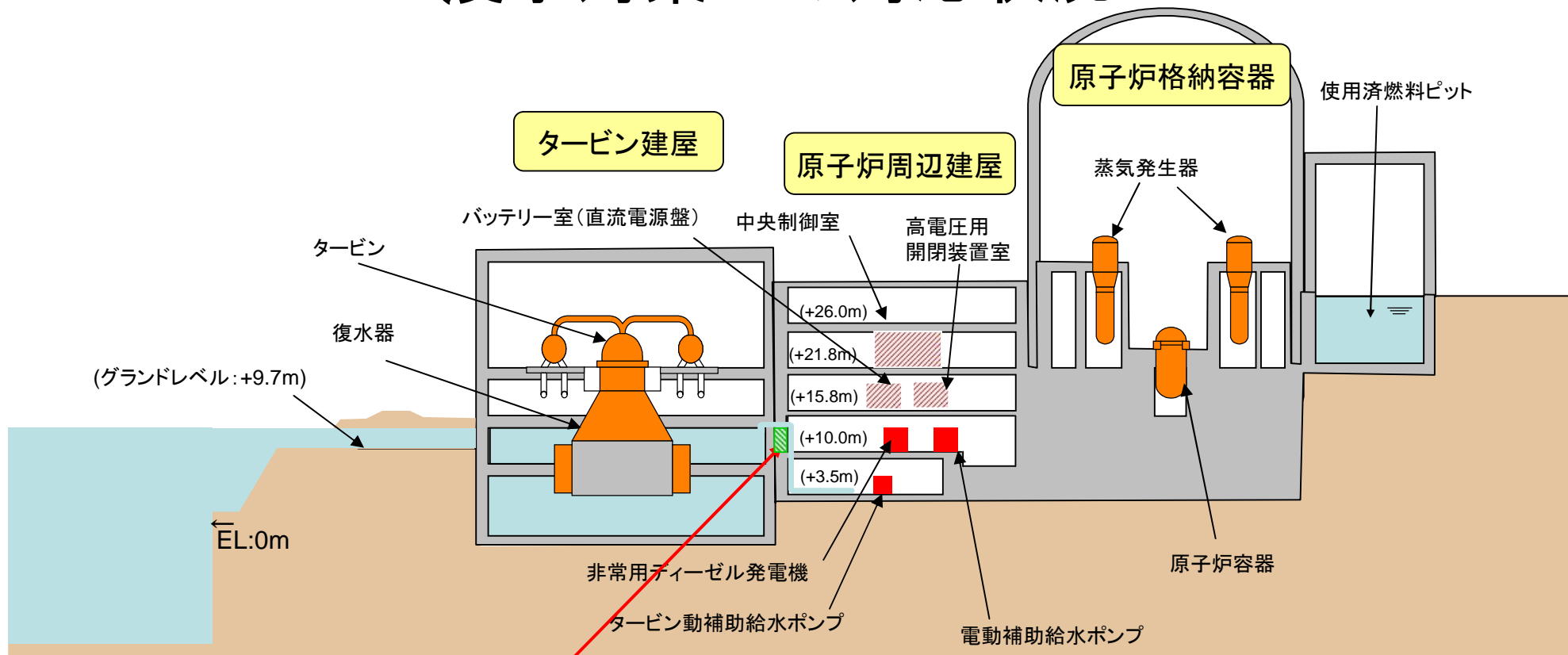
### ○訓練の反映

- ・ポンプ設置箇所へのマーキング
- ・連絡を密とするため無線機を配備 他

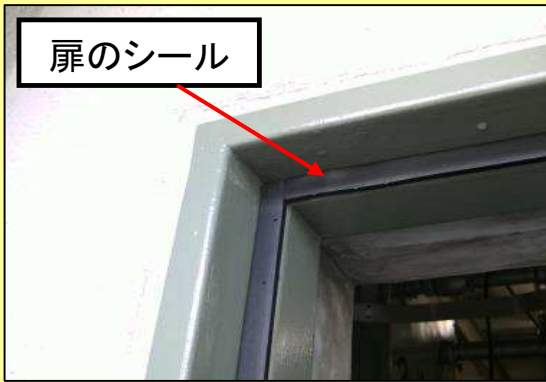
### ○資機材の予備

- ・消防ポンプ 必要台数53台/総数88台
- ・ホース 必要本数631本/総数670本

# 浸水対策への対応状況



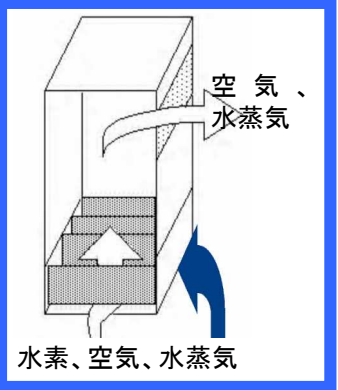
津波から守るため浸水対策を実施



中央制御室に給電するために必要な設備  
(バッテリー室／高電圧用開閉装置室)

蒸気発生器に給水するために必要な設備  
(ポンプ室／高電圧用開閉装置室)

# 今後の更なる各種の対策



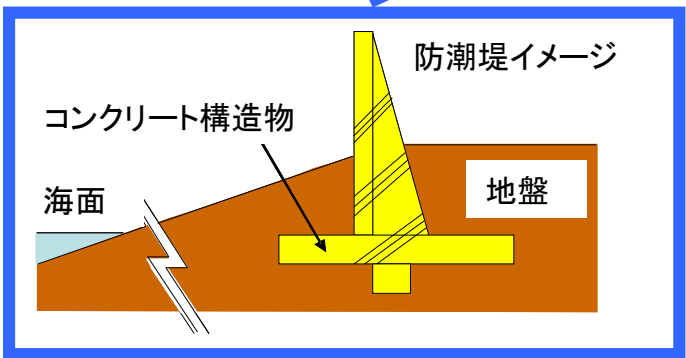
**【水素爆発防止対策】**  
・静的触媒式水素再結合装置の設置（中長期）



**【免震事務棟の新設】**  
（中長期で対応）

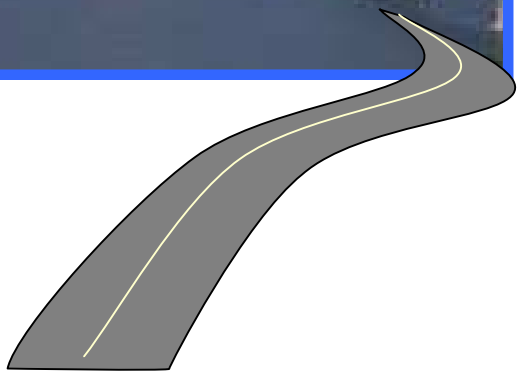


**【送電線の強化】**  
（建替など中長期で対応）



**【防潮堤の設置】**  
（中長期で対応）

**【発電所アクセス  
道路の整備】**  
（中長期で対応）



# ストレステストについて

ストレステストにより、安全確保対策の有効性を定量的に評価していく。

## 【評価の視点】

- 福島を踏まえ、想定を超える事象を評価することで、プラント全体としてどの程度の安全裕度を有しているのか、プラントの脆弱性はどこなのかを認識する。
- 想定を超える事象に対する収束手段の多重性を確認し、それを確実にする。
- 緊急安全対策により多重防護の厚みを増し安全性向上に有効に寄与していることを示すとともに、今後の取り組みにより更なる信頼性の向上を図る。

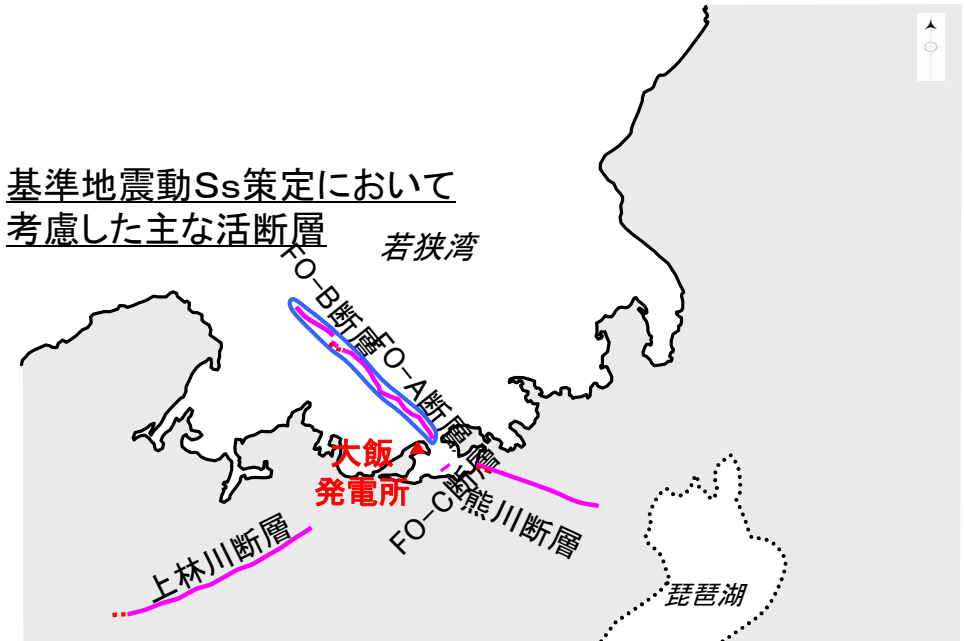
## 【主な評価の項目】

- 地震: 想定を超える地震にどの程度まで燃料損傷せずに耐えられるか評価
- 津波: 想定を超える津波にどの程度の高さまで燃料損傷せずに耐えられるか評価
- 全交流電源および最終ヒートシンク喪失:  
発電所が完全に停電(全交流電源喪失)および燃料から除熱するための海水を取水できない場合(最終ヒートシンク喪失)に、外部からの支援なしでどの程度まで燃料損傷せずに耐えられるか評価
- シビアアクシデントマネジメント:  
これまでに整備してきたシビアアクシデントマネジメント策について、多重防護の観点からその効果を明示

# 地震に関する安全性について

- 評価の指標である基準地震動 $S_s$  (700gal)は、断層の同時活動を想定するなど保守的な条件で設定
- 安全確保対策を講じる以前では、基準地震動 $S_s$  (700gal)の1.75倍まで、最終的に海水へ熱を逃がすための冷却設備による冷却手段が利用可能であることを確認した。
- さらに、1.75倍を超える地震に対しては、非常用ディーゼル発電機が冷却水の喪失により使用できなくなった場合でも、空冷式非常用発電装置が利用できることから、安全確保対策により整備した冷却手段(消防ポンプによる水源確保、空冷式非常用発電装置による電源確保等)が1.80倍まで利用可能であることを確認した。
- なお、約1.80倍を超える地震に対しては、高電圧用開閉装置の損傷が考えられるため、全ての冷却手段が喪失するとの評価結果となったが、高電圧用開閉装置等の耐震裕度は加震試験で動作が確認された値に基づくものであり、実際に機能喪失に至る値には余裕があると見込まれる。
- また、高電圧用開閉装置は複数あり、使用予定の高電圧用開閉装置が損傷により使用できなくても他の健全な高電圧用開閉装置があれば、これを使用することも考えられる。
- なお、クリフエッジを超えた場合においても炉心冷却手段の多様化として、直接、蒸気発生器への海水や消火水の注入などの対応等を検討している。

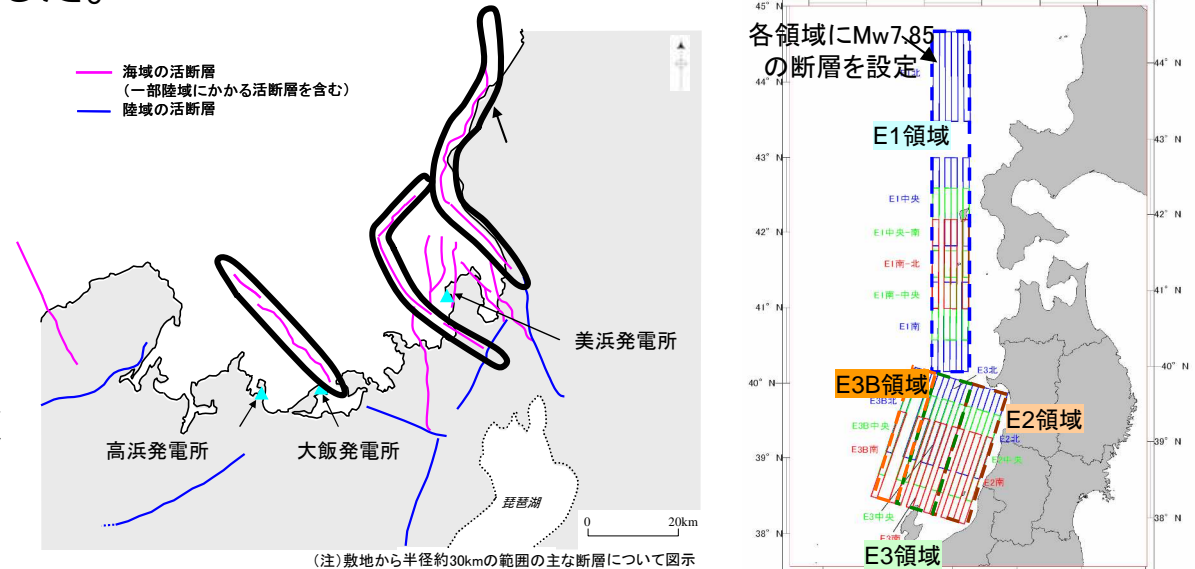
基準地震動 $S_s$ 策定において  
考慮した主な活断層



東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートと北アメリカプレートの境界域(日本海溝付近)における海溝型地震で、大規模な地震・津波が発生したが、若狭湾周辺に海溝型プレート境界はなく、発電所近傍の断層の同時活動を想定するなど、保守的な評価により基準地震動を考慮する。

# 津波に関する安全性について

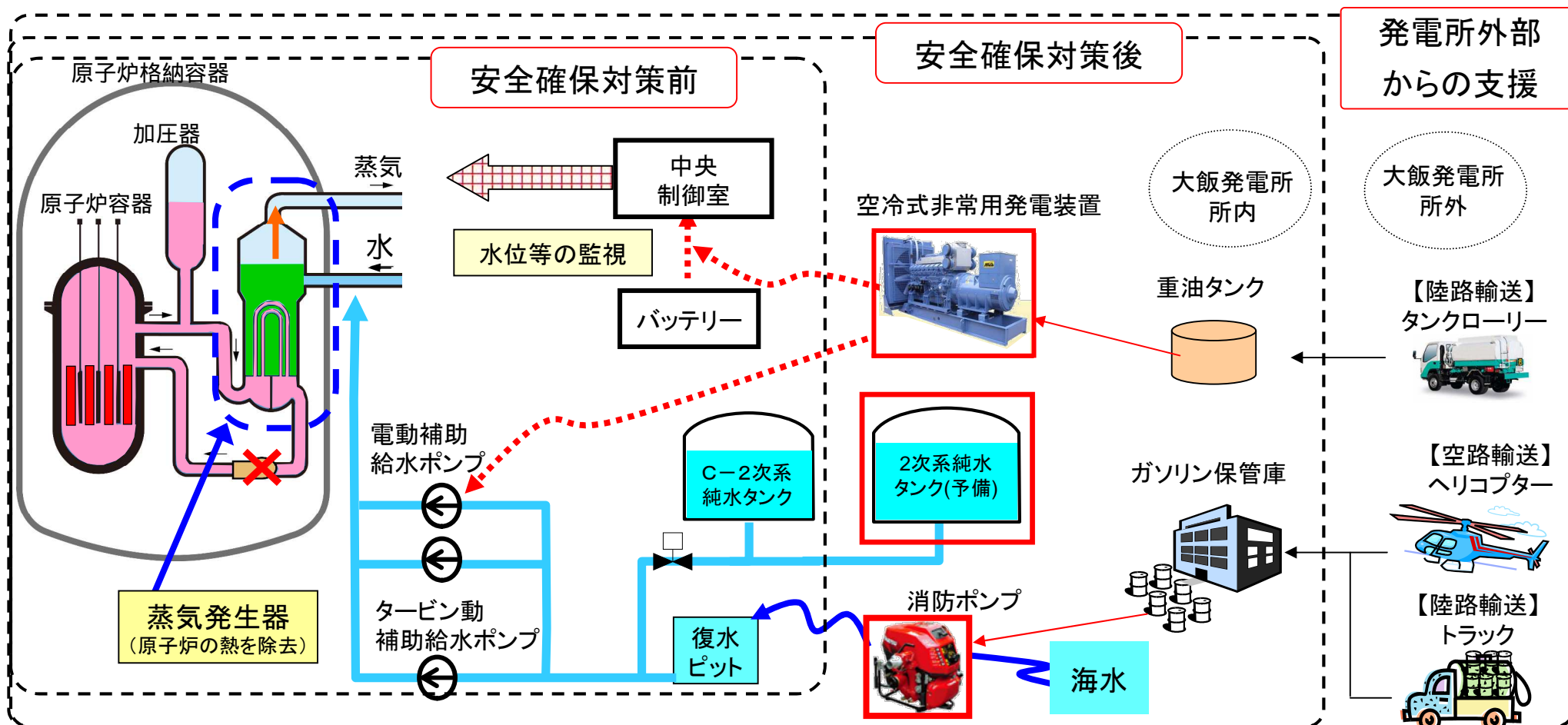
- 評価の指標である想定津波高さ(2.85m)は、発電所付近の断層の同時活動の想定や日本海東縁部の断層までも考慮した保守的な条件で設定
- 安全確保対策を講じる以前では、想定津波高さ(2.85m)の約1.6倍(4.65m)までの津波高さに対して、最終的に海水へ熱を逃がすための冷却設備による冷却手段が利用可能であることを確認した。
- さらに、約1.6倍を超える津波高さに対しては、タービン動補助給水ポンプ室への浸水防止対策や空冷式非常用発電装置の高台への配備等により、約4倍(11.4m)の高さまで安全確保対策により整備した冷却手段(消防ポンプによる水源確保、空冷式非常用発電装置による電源確保等)が利用可能であることを確認した。
- 今後、建屋への浸水防止効果を維持していくため保守点検を確実に実施していく。
- なお、クリフエッジを超えた場合においても炉心冷却手段の多様化として、直接、蒸気発生器への海水や消火水の注入などの対応等を検討している。



発電所近傍の断層の同時活動や日本海東縁部の断層までも考慮し、保守的な評価により想定津波高さを考慮する。

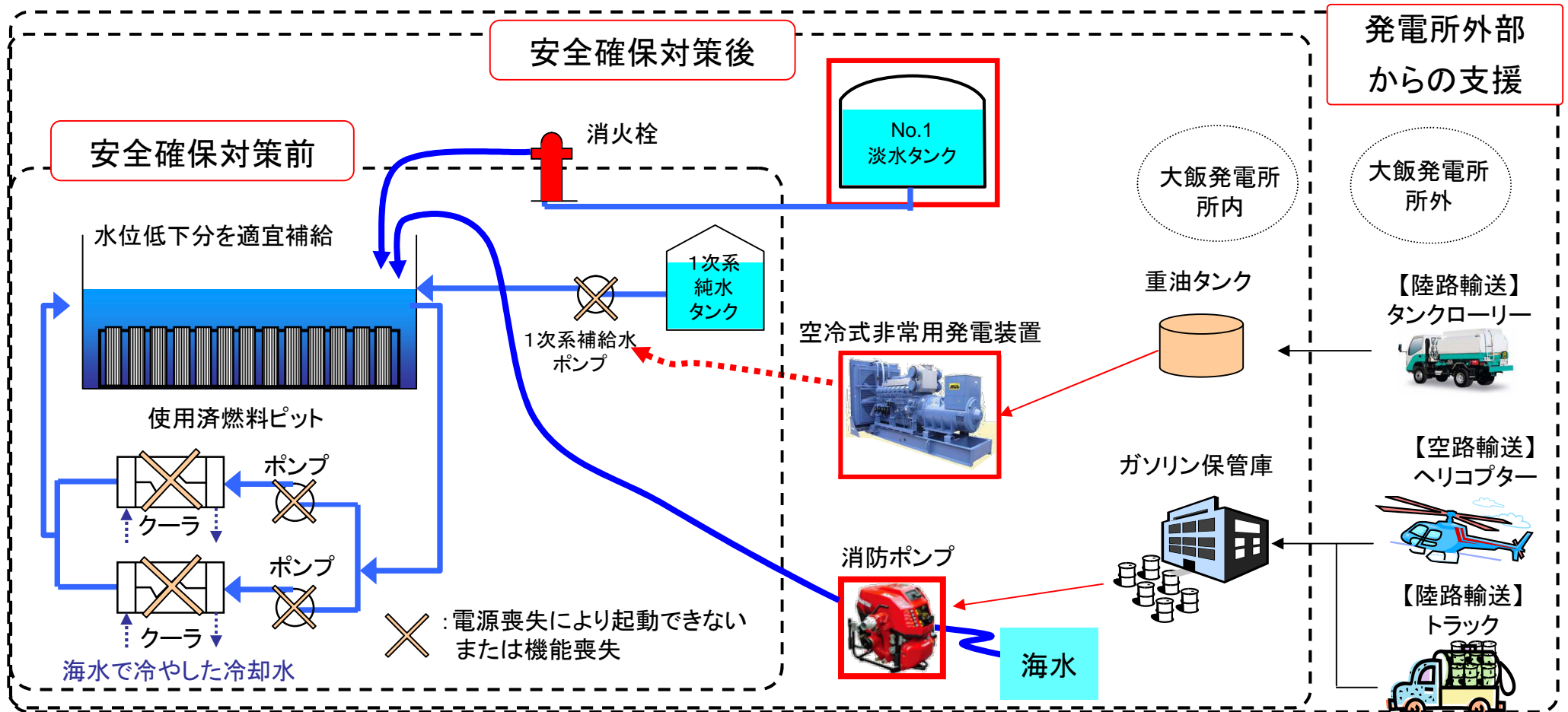
# 全交流電源および最終ヒートシンク喪失に 関する安全性について(原子炉の燃料)

- 安全確保対策により、空冷式非常用発電装置を配備し、各種タンクからの給水や消防ポンプによる給水手段などを整備したことにより、**発電所外部からの支援なしで原子炉に約16日間給水を継続できる**こととなった。
- さらに消防ポンプ等に必要なガソリン等を外部から輸送することとしており、これら外部支援により長期間給水を継続できる。



# 全交流電源および最終ヒートシンク喪失に関する 安全性について(使用済燃料ピットの燃料)

- 安全確保対策により、空冷式非常用発電装置を配備し、各種タンクからの給水や消防ポンプによる給水手段などを整備したことにより、**発電所外部からの支援なしで使用済燃料ピットに約10日間給水を継続できることとなった。**
- さらに消防ポンプ等に必要なガソリン等を外部から輸送することとしており、これら外部支援により長期間給水を継続できる。

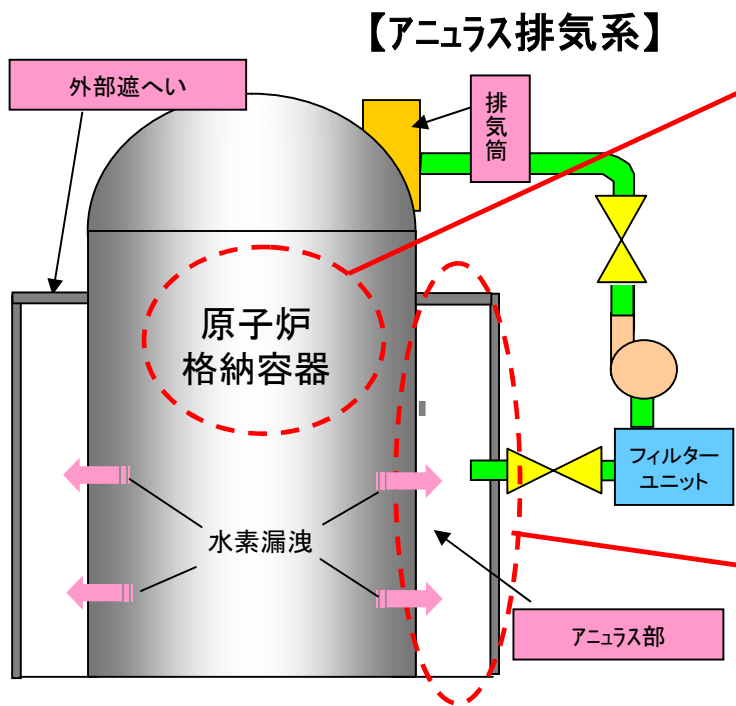


# シビアアクシデントマネジメント

## 格納容器の特徴(水素爆発の防止)

### 福島事故の知見

### 大飯4号機の場合



格納容器内

炉心損傷に伴い大量の水素が発生し、原子炉格納容器内に充満

原子炉建屋(格納容器外)

格納容器内に隣接する原子炉建屋に水素漏洩し、爆発

PWRの特徴として、格納容器の容量が大きく、水素濃度は爆発限界までの裕度大きい

アニュラス排気手順を整備し、水素の外部への排気を行う  
〔アニュラス排気設備の運転に必要な電源は、配備済みの空冷式非常用発電装置から給電〕

容積: 約**72,900**m<sup>3</sup>(大飯4号機)

〔出力110万kWのBWR格納容器に比べ約**5倍**の容量〕

# 一次評価結果概要(炉心に係る評価)

	クリフエッジ 評価の指標	クリフエッジ 下段:対象となる設備	緊急安全対策前 下段:対象となる設備	安全確保対策の 効果*1	
地震 (津波との重畳も同じ)	基準地震動Ss (700gal)との比較	1.80倍(1260gal相当) 高電圧用開閉装置	1.75倍(1225gal相当) 原子炉補機冷却水ポンプ	約3%向上	
津波 (地震との重畳も同じ)	想定津波高さ (2.85m)との比較	約4.0倍(11.4m) タービン動補助給水ポンプ	約1.6倍(4.65m) 海水ポンプ	約145%向上	
全交流電源喪失 (SBO)	外部からの支援がない条件で、燃料の冷却手段が確保できなくなるまでの時間	炉心	約16日後*2 水源補給用消防ポンプガソリン	約5時間後*1 蓄電池	約76倍向上
		使用済燃料	約10日後(停止中)*2 ピット水補給用消防ポンプガソリン	約12時間後*1(停止中) (水温が100℃到達時点)	約20倍向上
炉心		約16日後*2 水源補給用消防ポンプガソリン	約6日後 蒸気発生器給水用水源	約2.6倍向上	
使用済燃料		約10日後(停止中)*2 ピット水補給用消防ポンプガソリン	約12時間後*1(停止中) (水温が100℃到達時点)	約20倍向上	
最終ヒートシンク 喪失 (LUHS)					

\*1:手順が整備されていない対策などについては、実行できる可能性があるものでも期待しないこととし、極めて保守的な条件で評価した。

\*2:外部からの支援なしとした評価結果。外部からの支援を期待するに十分な時間余裕であり、クリフエッジは回避できる。

**安全確保対策により、炉心の冷却手段が多重化・多様化され、プラントの安全性が向上したことが確認できた**

# 福島事故の概要とそれを踏まえた 大飯4号機での安全確保対策とその評価

## 福島事故の概要

地震発生(Ssの1.26倍)に伴い原子炉は自動停止。鉄塔の倒壊等により外部電源が喪失したが、非常用発電機が正常に機能し、原子炉の冷却に必要な機器は正常に動作

地震の後、想定2.6倍(15.5m)の津波により、非常用ディーゼル発電機、海水ポンプ、分電盤等が被水

全交流電源喪失、最終ヒートシンク喪失が発生。その備えが十分でなかったことから事故が進展・拡大し、燃料損傷に至った

## 大飯4号機での安全性の確認・評価結果

安全確保対策整備前までの設備・対応等でも確実に燃料を冷却できることを確認。また、安全確保対策としての**空冷式非常用発電装置**や**消防ポンプ**などの配備、**手順書**の整備・**訓練**などにより、福島を超える事象に対しても確実な対応が可能なが確認できた(基準地震動Ssの1.8倍)

想定を超える津波高さにおいても、**空冷式非常用発電装置**や**消防ポンプ**の配備(手順書の整備を含む)、**扉や貫通部等のシール施工**により、福島を超える事象に対しても確実な対応が可能なが確認できた(想定4倍(11.4m)の津波)

全交流電源喪失ならびに最終ヒートシンク喪失時の電源として**空冷式非常用発電装置**の配備や、水源として各種タンクや**消防ポンプ**による給水手段などを整備したことにより、原子炉等の冷却が十分に可能であることが確認できた(発電所外部からの支援なしで、原子炉を約16日間、使用済燃料ピットを10日間冷却が可能)

## まとめ

- 福島第一事故を受け、直ちに安全確保対策に取り組んでまいりました。
- これら安全確保対策の有効性を大飯4号機のストレステストの実施により、定量的に評価しました。
- その結果、福島第一事故のような燃料損傷に至る大事故を防ぐために、安全確保対策が有効であることを再確認いたしました。
- 加えて、ディーゼル駆動大容量ポンプ、海水ポンプモータの予備品化、防潮堤の設置、恒設非常用発電機の設置等安全確保対策の信頼性向上にも継続的に取り組んで参ります。
- 今後、事故原因の究明が進み、さらなる対策が明らかになれば、積極的に取り込んで参ります。

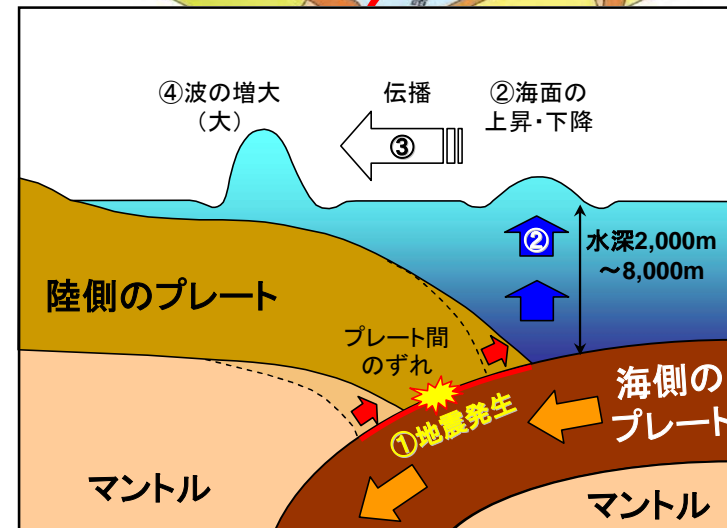
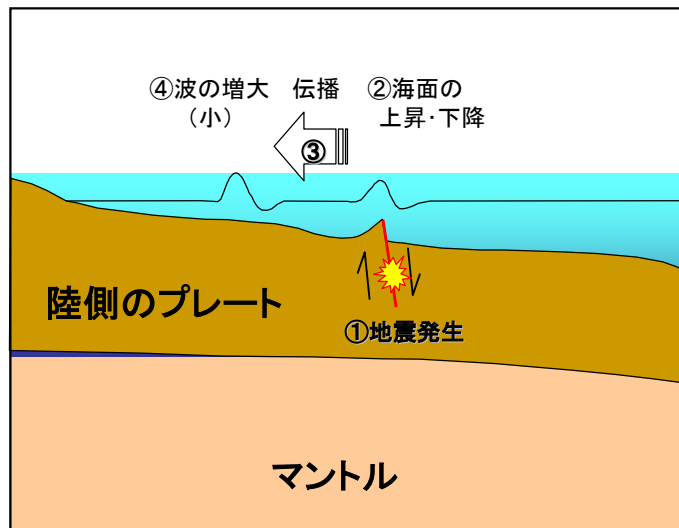
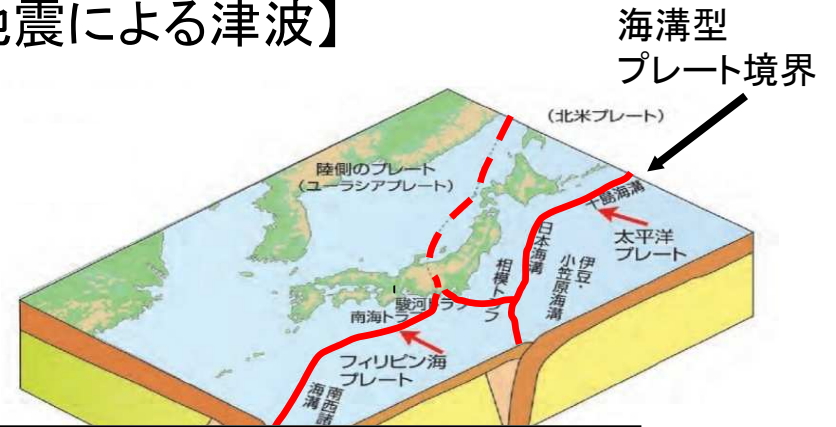
# 參考資料

# 若狭湾周辺の津波の起こる可能性

参考1

【海溝型地震による津波と内陸型地震による津波】

今回の東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートと北アメリカプレートの境界域(日本海溝付近)における海溝型地震で、大規模な津波が発生したが、若狭湾周辺に海溝型プレート境界はない。



海溝型地震による津波

小さい ← 地震の規模 津波の規模 → 大きい

天正地震による津波問題の解明にも寄与する津波堆積物調査(ボーリング)を実施中

# 空冷式非常用発電装置の設置状況

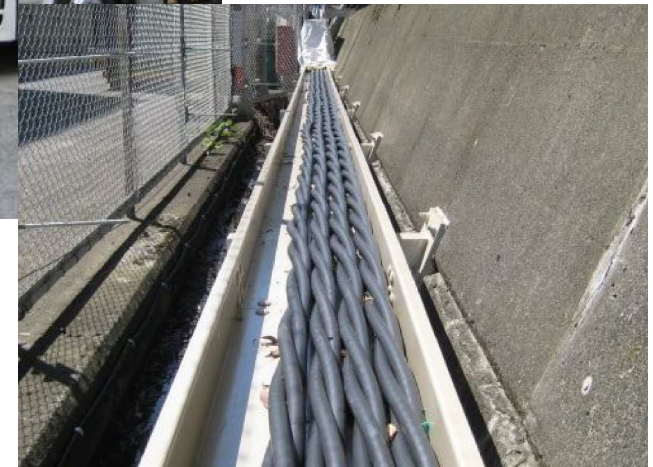
## 空冷式非常用発電装置

海拔30m以上の地点に配置  
接続盤、ケーブルの敷設により迅速な接続

## 接続盤



## ケーブルの敷設



# 安全確保対策等を確実にするための措置 - 1

参考3

安全確保対策の効果を確認なものとするため、福島第一事故を経験した方々の生の声を反映して、万一シビアアクシデントが発生した場合でも、着実な作業遂行に必要な各種措置を講じている。

○津波によるがれきが構内に散乱しており、思うようにアクセスできなかった。

⇒がれき撤去のホイールローダーを配備

○津波により交換機等が浸水し、所内通話や外部への連絡が困難となった。

⇒トランシーバー15台、携帯型通話装置20台、衛星携帯電話3台を配備

○事故の進展・拡大により中央制御室等現場の環境が悪化し作業が思うように進まなかった。

⇒事故時の中央制御室換気系(再循環系)の着実な運用手順を整備

⇒高線量対応防護服10着、事業者の資機材相互融通



# 安全確保対策等を確実にするための措置 - 2

## 現場での創意・工夫

- 空冷式非常用発電装置のケーブルの誤接続を防止するため接続する高電圧用開閉装置盤を明示、ケーブル端子を赤色、白色、青色に相識別
- 現場と中央制御室との連絡を容易にするため携行型通話装置用の専用ケーブルを敷設して接続端子を空冷式非常用発電装置の近傍に設置
- タンクローリー及びホイールローダーの駐車場周辺に駐車禁止を表示
- 海水の取水を容易にするため取水口のフェンスに取水ホース投入用の開口部を設置
- 消防ポンプの配置位置を道路脇に表示
- 消防ポンプ等の資機材を吉見トンネルに保管し、予備の資機材を陀羅山トンネルに分散保管
- 消防ポンプの種類により使用目的が異なるため消防ポンプ本体およびカバーに使用目的を表示するとともに、吉見トンネル入口に配置図を掲示
- シール施工を施した扉が津波対策用の扉であることを従業員が認識し確実に閉止できるように、対象扉の両面に「水密性向上扉」の表示
- 構内の備蓄ガソリンの増量

# SG給水手段の多様化(大飯4号機の例)

・蒸気発生器(SG)への直接給水手段の確保(淡水、海水ライン)

