

資料4

安全確保対策とストレステストについて

平成24年5月8日

関西電力 原子力事業本部

安全技術グループ

浦田 茂

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）
（最終ヒートシンクとは：最終的な熱の逃し場、あるいは逃し機能）
- 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亘り継続し、
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】

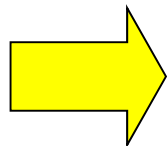
- 全交流電源喪失の対策
⇒ プラント監視をする為に必要な電源設備を確保
- 最終ヒートシンクの喪失の対応
⇒ 蒸気発生器への給水設備を確保
- 重要機器の被水防止
⇒ 建屋の浸水対策を実施

- 電源確保
- 水源確保
- 浸水対策

「多様化」と「多重化」

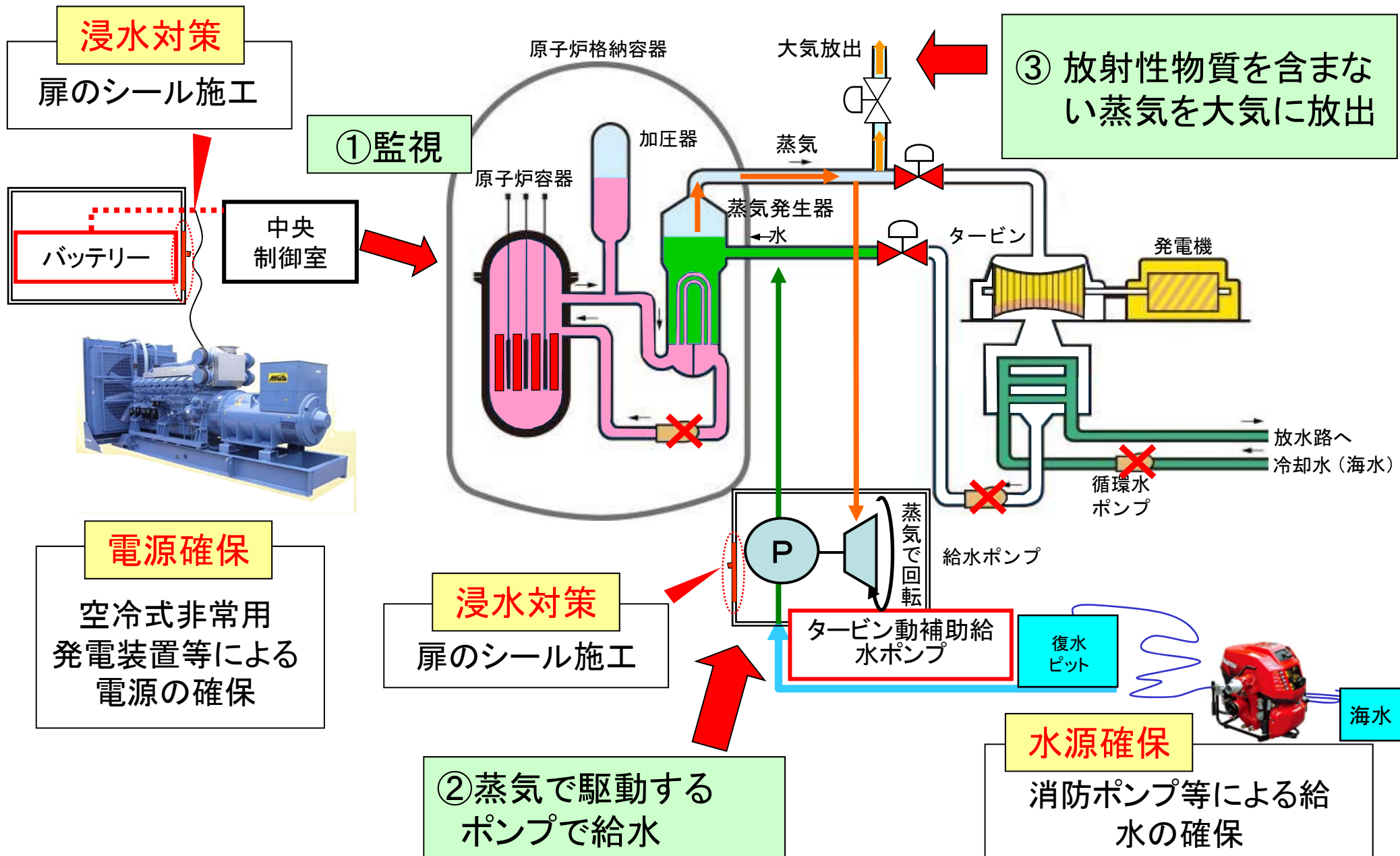
知見を踏まえた対策の方向性

- PWRの特徴である蒸気発生器等を活用し、炉心からの**熱除去のための手段(ヒートパス)を多重化、多様化**し確実にする
- 地震・津波を考慮しつつ**電源・水源の多重化、多様化**し確実にする
- バッテリー等の重要機器を**津波から守る対策(防波堤等の設置、建屋水密化)**を確実にする



安全確保対策として順次実施

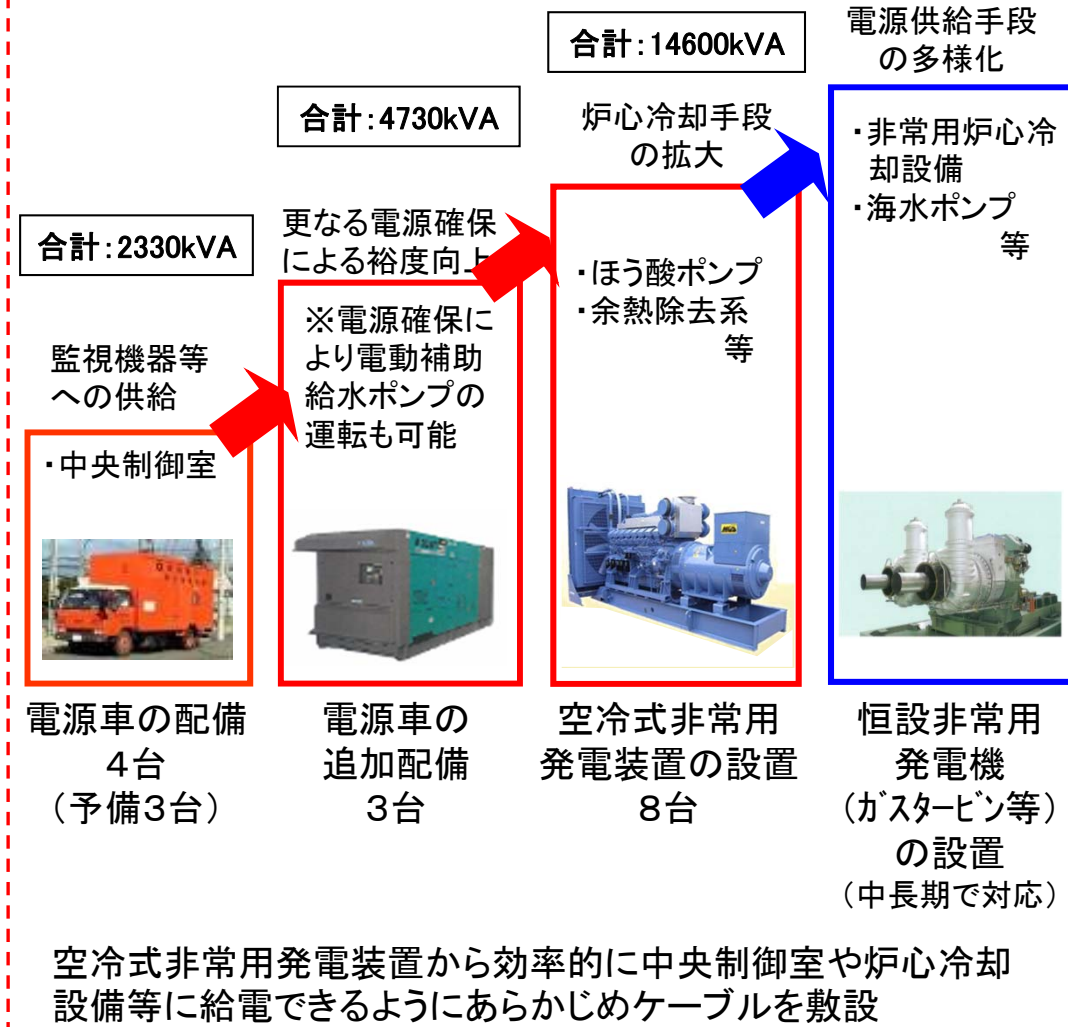
安全確保対策



電源確保への対応(大飯発電所の例)

ハード対策 (海拔30m以上に配備)

燃料: 重油(発電所外からの支援なしで約85日間給電可能)
さらに発電所外からタンクローリーで補給可能



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
- マニュアルの整備
- 訓練の実施

休日・夜間	常に8名確保
-------	--------

- (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

平日昼間訓練	22回
平日夜間訓練	1回
休日訓練	6回

H24.2.9時点の回数



- 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

- 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)
- ・接続部の改造により、接続を簡略化

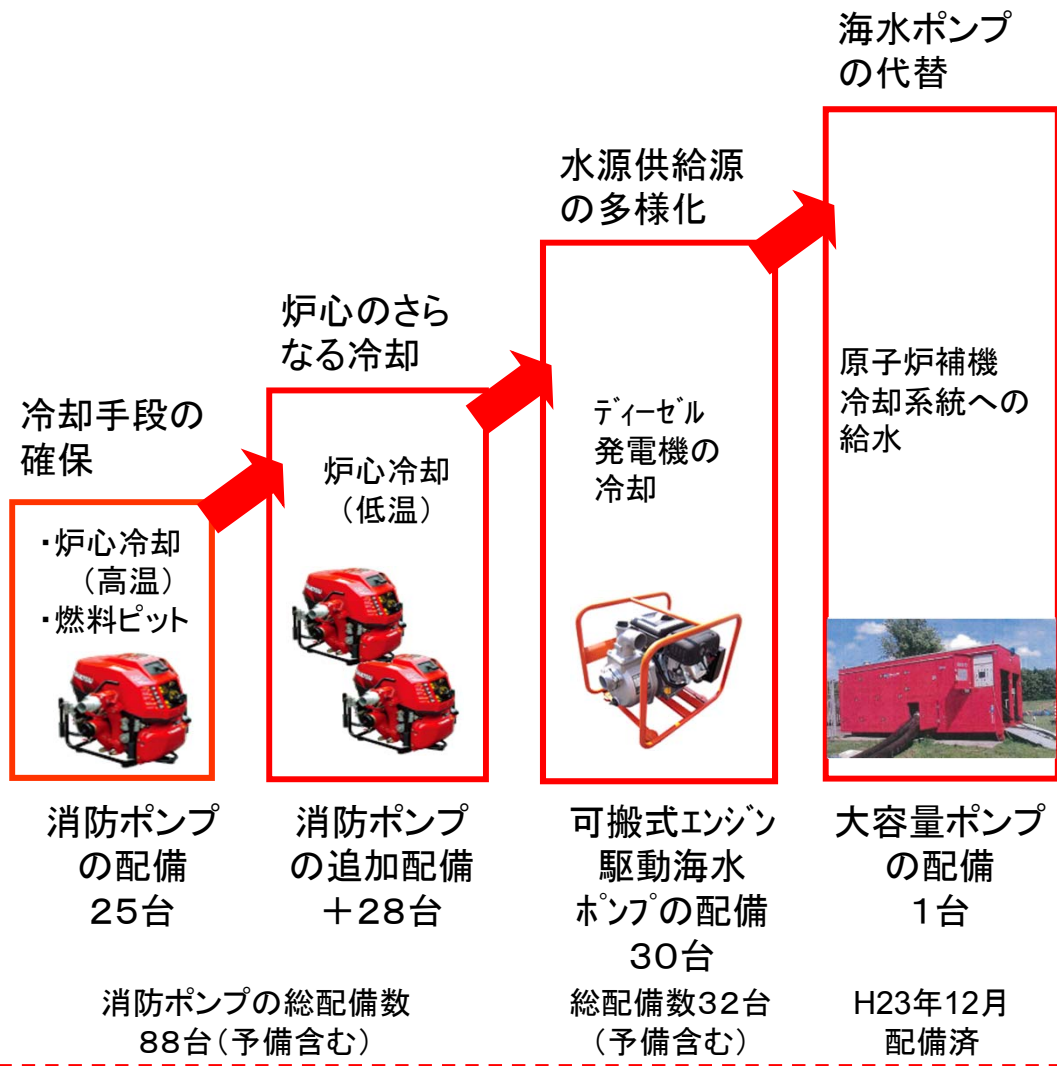
水源確保への対応(大飯発電所の例)

ハード対策

ソフト対策

燃料:ガソリン(発電所外からの支援なしで約16日間給水可能)
さらに発電所外からヘリコプター等で補給可能

冷却水の供給能力 ↑



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	26回
SFP給水訓練	21回
CSD訓練	17回



H24.2.9時点の回数



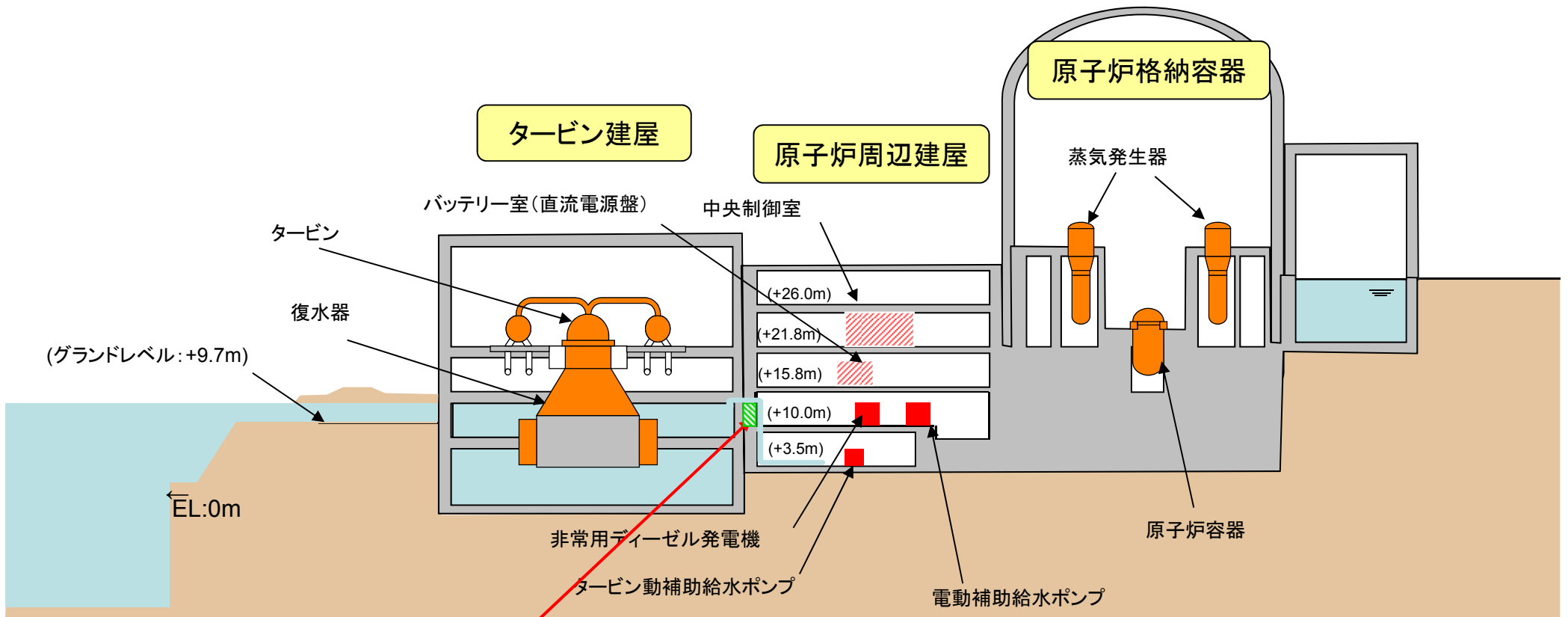
- 訓練の反映
- ・ポンプ設置箇所へのマーキング
- ・連絡を密とするため無線機を配備 他

- 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

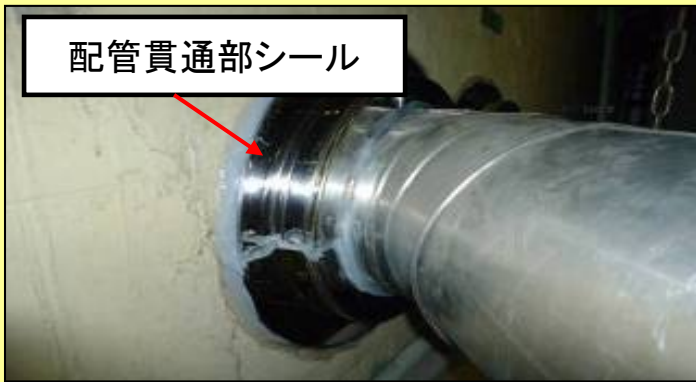
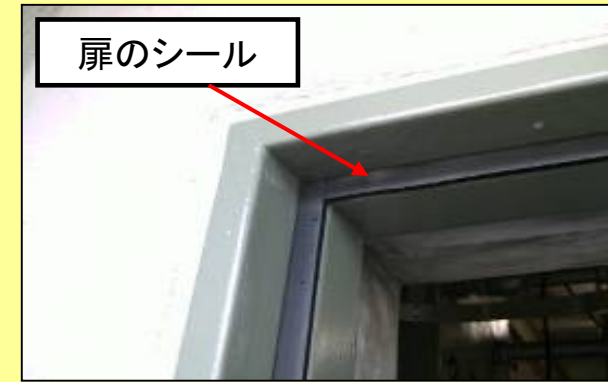
電源と水源の「多重化」と「多様化」(大飯3号機の例)

	電 源	水 源
多重化	<p>○非常用ディーゼル発電機 2台</p>  <p>○非常用ディーゼル発電機 2台 + 空冷式非常用発電装置 2台 + (予備)電源車 1台</p>	<p>○復水ピット</p>  <p>○復水ピット + C-2次系純水タンク + 2次系純水タンク(予備) + 海水</p>
多様化	<p>○設置場所 非常用ディーゼル発電機 EL10m + 空冷式非常用発電装置 EL33m + 電源車 EL33m</p> <p>○冷却方法 <海水冷却式> 非常用ディーゼル発電機(海水冷却) + <空冷式> 空冷式非常用発電装置 (予備)電源車</p>	<p>○設置場所 復水ピット EL26m C-2次系純水タンク EL80m 2次系純水タンク(予備) EL72.5m</p> <p>○移送方法 タービン動補助給水ポンプ + 消防ポンプ(復水ピットへの給水用) + 消防ポンプ(蒸気発生器への直接給水用) + 中圧注入ポンプの設置(予定)</p>

浸水防止への対応(大飯発電所の例)



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/メタクラ室)

蒸気発生器に給水するために必要な設備
(ポンプ室/メタクラ室)

安全確保対策の効果を確実にするための措置

安全確保対策の効果を確実なものとするため、福島事故を経験した方々の生の声を反映して、着実な作業遂行に必要な各種措置を講じている。

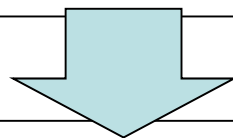
作業環境	所内通信手段	放射線管理	水素爆発防止	がれき撤去
<ul style="list-style-type: none"> 事故時の中央制御室換気系(再循環系)の着実な運用手順を整備 	<ul style="list-style-type: none"> トランシーバ 携行型通話装置 衛星電話 	<ul style="list-style-type: none"> 高線量対応防護服 事業者の資機材相互融通 	<ul style="list-style-type: none"> 事故時のアニュラス※1からの着実な排気手順を整備 <p>大飯1, 2号は、イグナイタ※2への電源確保を確認</p>	<ul style="list-style-type: none"> 配備済 ホイールローダ 
<p>更なる緊急時ソフト面の強化</p>			<p>ブルドーザー</p>	<p>クローラーキャリア</p>
<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対応体制、支援体制の強化 通信手段の強化 他 				

※1:格納容器を取り囲む空間、※2:水素燃焼装置

位置付け

平成23年7月11日 枝野官房長官、海江田経済産業大臣、細野内閣府特命大臣により公表

- 安全性の確認は現行法令に則り行われており、さらに緊急安全対策が実施されており、従来以上に慎重に安全性の確認が行われている。
- 定期検査後の再起動については、国民・住民の方々に十分な理解が得られているとは言い難い状況にあることから、国民・住民の方々の安心・信頼確保のため、欧州諸国で導入されたストレステストを参考に、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を実施する。
- 一次評価(定期検査中で起動準備の整った原子力発電所)
設計上の想定を超える事象に対しどの程度の安全裕度を有するかの評価を実施。緊急安全対策の効果がどの程度かを定量的に評価し、再起動の判断材料とするもの。
- 二次評価(稼働中および一次評価の対象となった発電所)
欧州諸国のストレステストの実施状況、福島原子力発電所事故調査・検証委員会の検討状況も踏まえ、総合的な安全評価を実施。報告の時期は本年内を目途。



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。

ストレステストの状況について

大飯3, 4号 審議の経緯



1次評価の現況 (H24. 4. 26)

NISA審査中					NISA審査済	原安委確認済
泊1 12/7	川内2 12/14	泊2 12/27	志賀2 2/1	志賀1 3/26	伊方3	大飯3
玄海2 12/14	美浜3 12/21	東通1 12/27	柏崎1 3/12	高浜4 4/17		大飯4
川内1 12/14	敦賀2 12/27	高浜1 1/13	柏崎7 3/12	高浜3 4/27		

地震の評価方法(原子炉にある燃料に対する評価)

12

Step1

【起因事象の特定】

想定を超えて地震レベルを上げ、損傷する機器に起因して燃料損傷に至る可能性のある事象を特定する



Step2

【緩和機能の抽出】

起因事象が燃料損傷に進展しないように収束させるシナリオ(イベントツリー)から必要な緩和機能を抽出する



Step3

【緩和機能の耐震評価】

緩和機能を構成する個別機器の耐震裕度を算出する



Step4

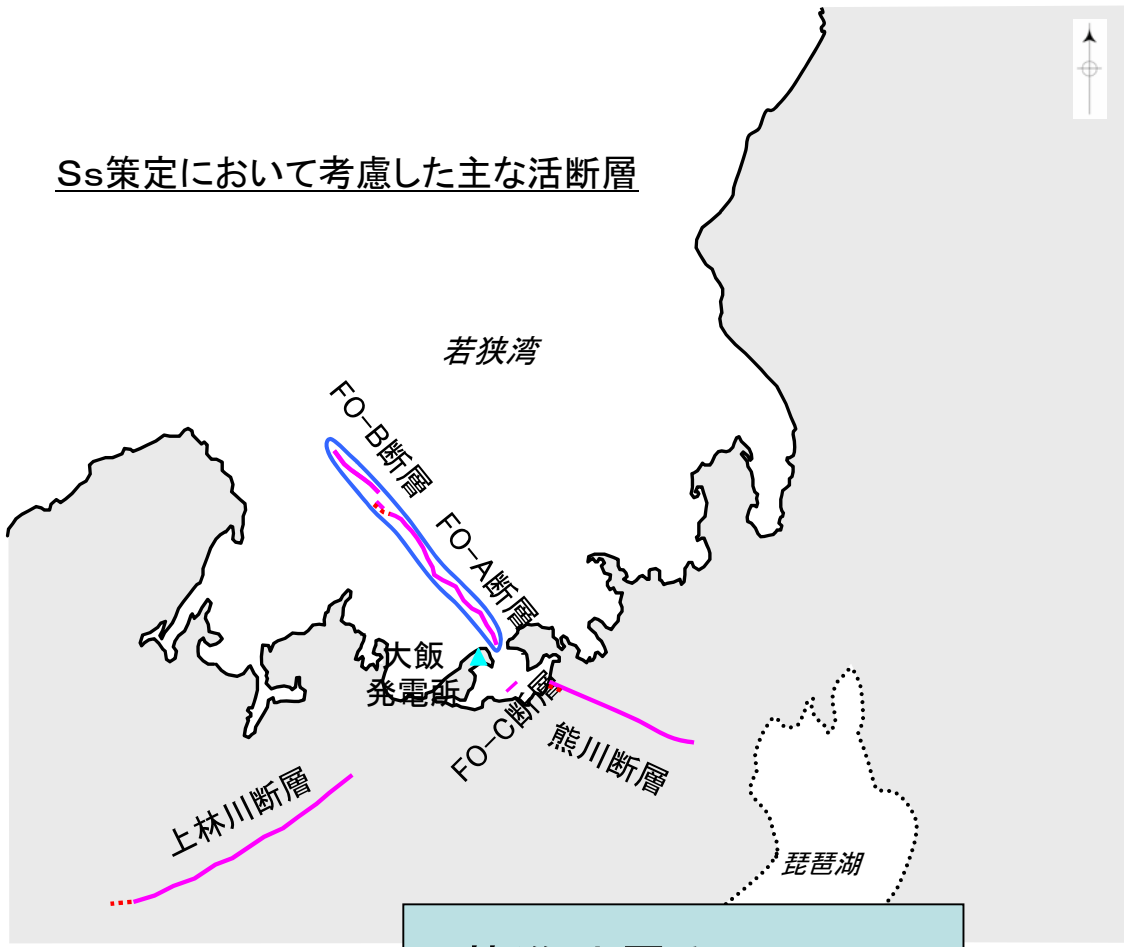
【クリフエッジの特定】

燃料損傷に進展しないよう収束させるシナリオが成立しなくなる地震レベル(クリフエッジ)を特定し、緊急安全対策実施前後を比較する

(※)地震に対する機器の健全性の評価には、許容値として規格基準等の値のほか、実験等で妥当性が確認されている値を使用。
また評価値は、実機条件を保守的に見積もり算出(温度条件、タンク保有水量等)

ストレステストに用いた基準地震動Ss設定の条件

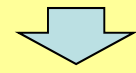
- 基準地震動Ssの策定においては、敷地周辺の過去の地震や活断層の中から最も影響の大きいものを考慮。
- 地震動を強く放出する部分を敷地近傍に配置したり、活断層の同時活動を考慮するなど、厳しい条件で断層モデルを設定し地震動評価を実施している。



Ss策定において考慮した主な活断層

基準地震動: 700gal

➤ FO-A断層/FO-B断層(大飯発電所に最も近い断層)については、別々に活動するのではなく、同時に活動すると仮定した評価を実施



- FO-A断層/FO-B断層をつないだ断層長さ(35km)に基づき、マグニチュード7.4の地震を考慮
- 断層モデルによる地震動の計算については、不確かさを考慮し、地震動を強く放出する部分(アスペリティ)を敷地近傍に配置した評価を実施。

起因事象の特定(原子炉にある燃料に対する評価)

Step1

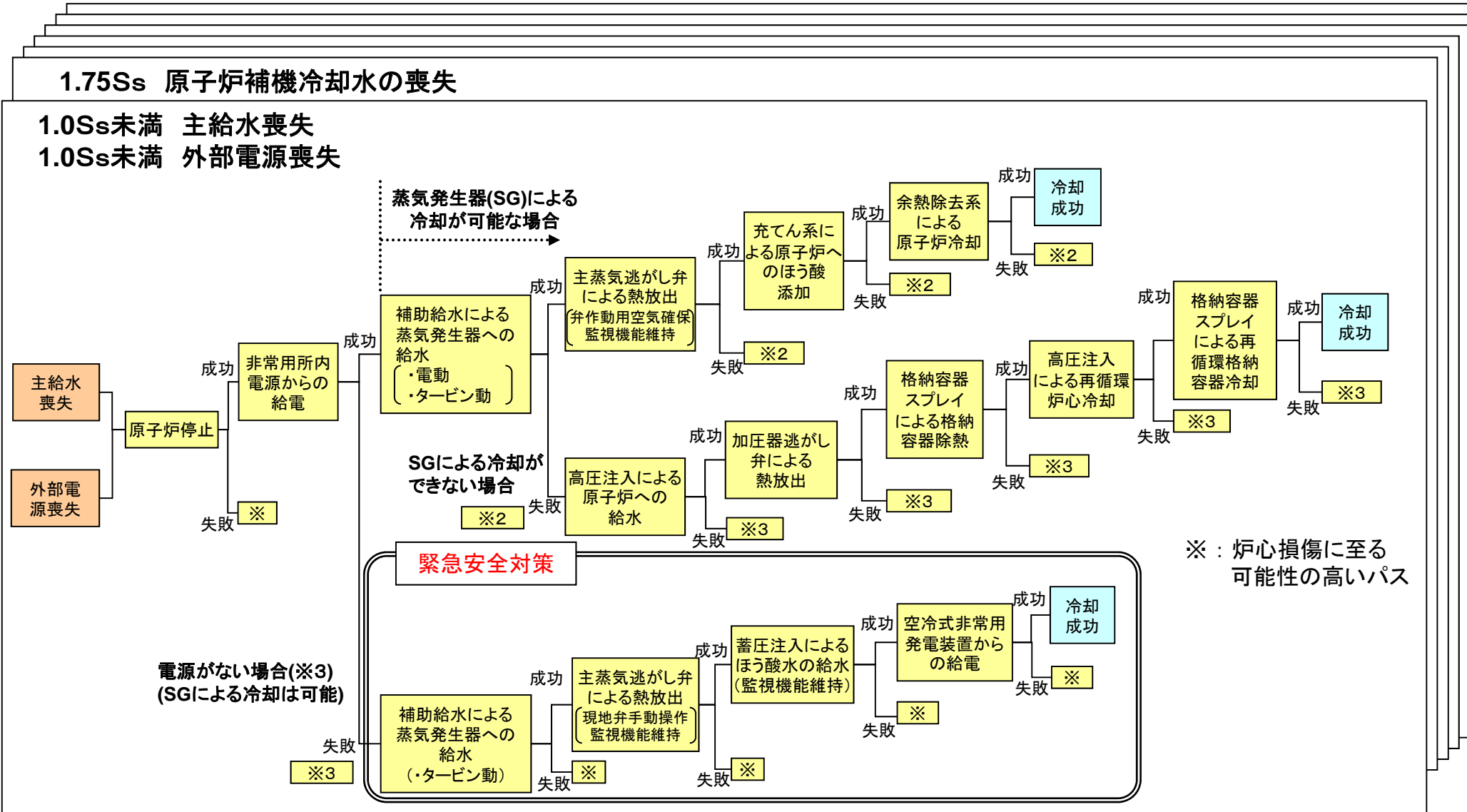
想定を超えて地震レベルを上げ、損傷する機器に起因して燃料損傷に至る可能性のある事象を特定する

起因事象	損傷する可能性のある部位・設備	基準地震動(S_s)の倍数
主給水喪失	主給水ポンプ他 (工学的判断)	1.0未満
外部電源喪失	変圧器他 (工学的判断)	1.0未満
補機冷却水の喪失	原子炉補機冷却水ポンプ	1.75
大破断による 原子炉冷却材喪失	RHR高温側吸込み配管	1.99
炉心損傷直結	原子炉建屋 等	2.00
小破断による 原子炉冷却材喪失	一次冷却材圧力バウンダリ接続 小口径配管	2.03
2次系破断	主給水系配管	2.13
格納容器バイパス	蒸気発生器 (内部構造品)	2.21
中破断による 原子炉冷却材喪失	加圧器スプレイライン配管 等	2.58

緩和機能の抽出(原子炉にある燃料に対する評価)

Step2

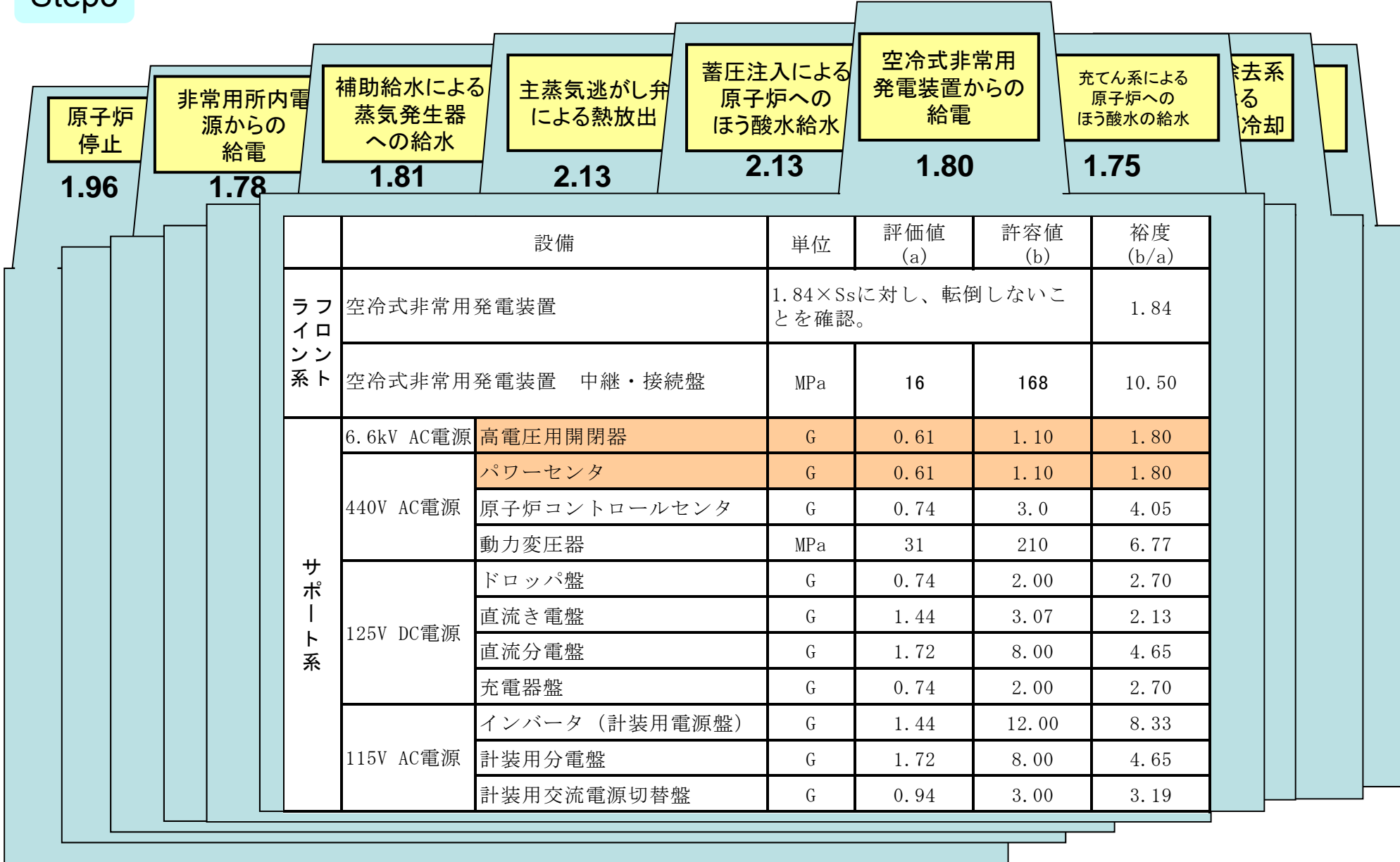
起因事象が燃料損傷に進展しないように収束させるシナリオ(イベントツリー)から必要な緩和機能を抽出する。



緩和機能の裕度算出（原子炉にある燃料に対する評価）

Step3

緩和機能を構成する個別機器の耐震裕度を算出する



	設備	単位	評価値 (a)	許容値 (b)	裕度 (b/a)	
ラフイロント	空冷式非常用発電装置		1.84×Ssに対し、転倒しないことを確認。		1.84	
	空冷式非常用発電装置 中継・接続盤	MPa	16	168	10.50	
サポート系	6.6kV AC電源	高電圧用開閉器	G	0.61	1.10	1.80
	440V AC電源	パワーセンタ	G	0.61	1.10	1.80
		原子炉コントロールセンタ	G	0.74	3.0	4.05
		動力変圧器	MPa	31	210	6.77
	125V DC電源	ドロップ盤	G	0.74	2.00	2.70
		直流き電盤	G	1.44	3.07	2.13
		直流分電盤	G	1.72	8.00	4.65
		充電器盤	G	0.74	2.00	2.70
	115V AC電源	インバータ（計装用電源盤）	G	1.44	12.00	8.33
		計装用分電盤	G	1.72	8.00	4.65
計装用交流電源切替盤		G	0.94	3.00	3.19	

津波の評価方法(原子炉にある燃料に対する評価)

Step1

【起回事象の特定】

想定を超えて津波高さを上げ、損傷する機器に起因して燃料損傷に至る可能性のある事象を特定する



Step2

【緩和機能の抽出】

起回事象が燃料損傷に進展しないように収束させるシナリオ(イベントツリー)から必要な緩和機能を抽出する



Step3

【緩和機能の水没高さ評価】

緩和機能を構成する個別機器の設置位置、浸水経路から水没する高さを算出する



Step4

【クリフエッジの特定】

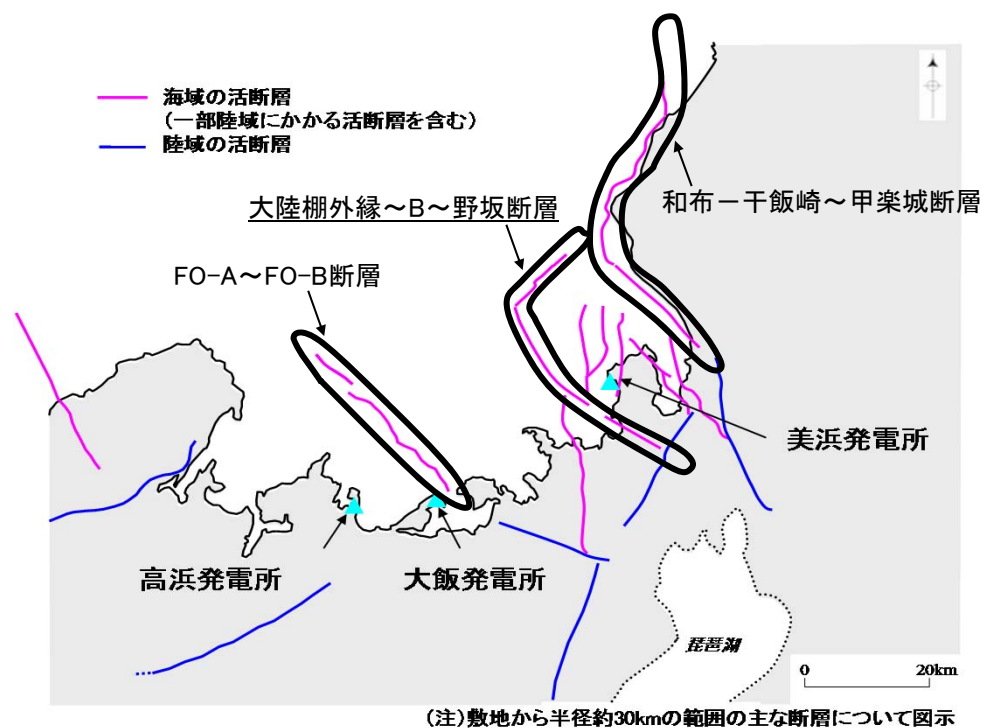
燃料損傷に進展しないよう収束させるシナリオが成立しなくなる津波高さ(クリフエッジ)を特定し、緊急安全対策実施前後を比較する

(※)津波に対する機器の健全性については、津波水位が機器設置フロア高さに達すると、当該機器が機能喪失と仮定し、機能喪失した設備等の回復はできないものとして評価

ストレステストに用いた想定津波高さ設定の条件

海域活断層に想定した津波波源(若狭湾周辺)

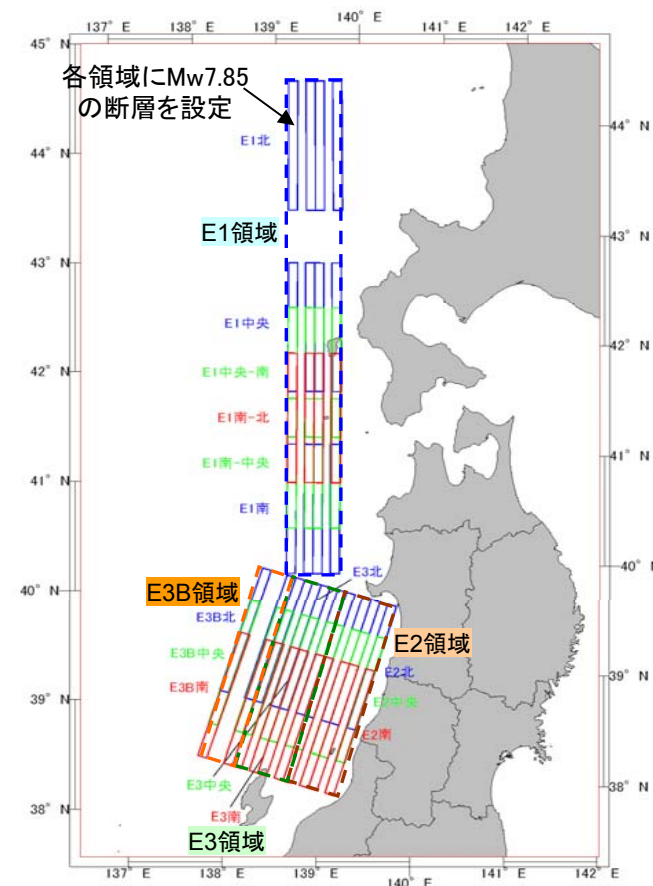
- 別々に活動すると完全に言い切れないものについては、活断層の同時活動も考慮するなど厳しい条件で想定津波高さ評価を実施している。



想定津波高さ: 2.85m

日本海東縁部に想定した津波波源

- 断層の位置、走向、傾斜等、不確かさを考慮して様々なパラメータスタディを百数十ケース実施するなど厳しい条件で想定津波高さ評価を実施している。

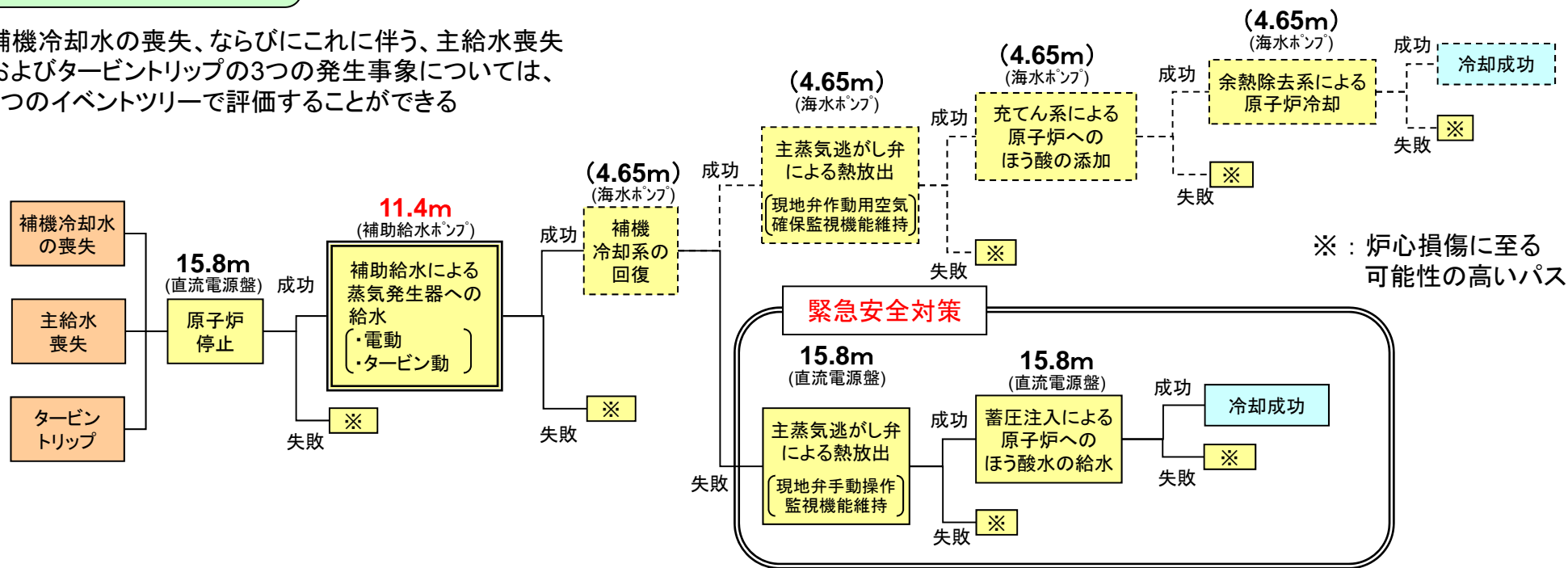


津波の評価(原子炉運転中)

津波により補機冷却水喪失と主給水喪失等が同時に発生すると想定で、燃料を冷却するために必要な機器が損傷することにより、冷却手段が確保できなくなる津波高さ(クリフエッジ)を特定する

燃料を冷却するためのイベントツリー

補機冷却水の喪失、ならびにこれに伴う、主給水喪失およびタービントリップの3つの発生事象については、1つのイベントツリーで評価することができる

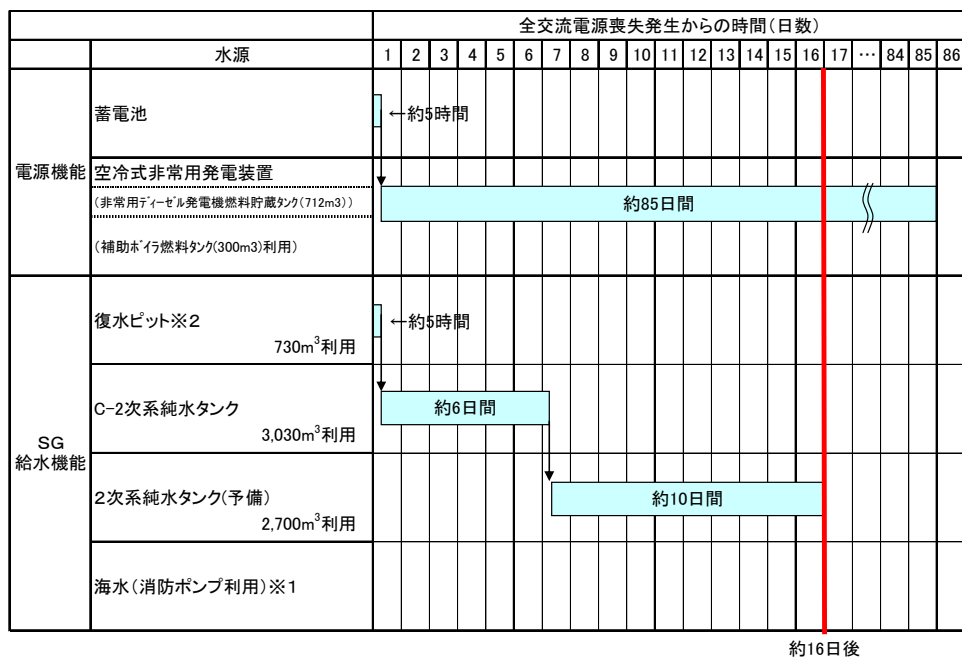


評価結果	クリフエッジ		緊急安全対策の効果
	緊急安全対策後	緊急安全対策前	
燃料の冷却手段が確保できなくなる津波高さと設計津波高さ(2.85m)との比較	約4倍(11.4m)	約1.6倍(4.65m)	約145%向上
対象となる機器	補助給水ポンプ	海水ポンプ	

➡ 設計想定約4倍未満の高さの津波が発生した場合であっても、炉心を冷却することが可能

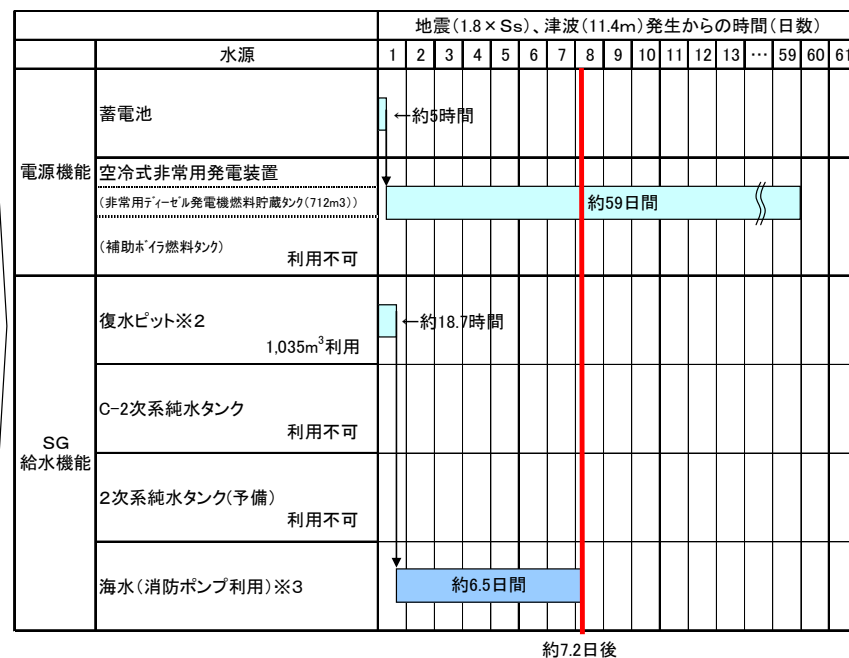
地震・津波の重畳時の炉心(運転時)の冷却継続時間の評価

全交流電源喪失(基本シナリオ)



地震・津波の重畳時の使用可否
○
○
○
× (耐震設計Cクラス)
○
× (耐震設計Cクラス)
○

全交流電源喪失(地震・津波の重畳)



※1: 1~4号機の同時発災を想定しており、消防ポンプの燃料であるガソリンは共用している。16日目においては、ガソリンは他号機で先に使用して枯渇しており消防ポンプは使用できない。

※2: 全交流電源喪失(基本シナリオ)の評価では復水ビットの水位を保守的に保安規定値(730m³)として評価しているが、水位は中央制御室から監視可能であり、常に水位低警報値(1,035m³)以上で管理されていることから、地震・津波の重畳時の評価においては水位低警報値の水位を用いて評価した。

※3: 所内に保有しているガソリンの量は全交流電源喪失(基本シナリオ)の評価時点(10月1日)では3,400リットルであったが、その後追加配備したことから、地震・津波の重畳時の評価においては12月15日時点の保有量10,250リットルを用いて評価した。

大飯3号機ストレステスト一次評価結果概要

	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	
地震 (津波との重畳も同じ)	基準地震動Ss (700gal)との比較	約1.80倍(1260gal相当) 高電圧用開閉装置	約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 (+6.75m)	
地震と津波の重畳 時におけるSBO (またはLUHS) *1	地震・津波に起因する SBO,LUHSにおいて、 燃料の冷却手段が確保で きなくなるまでの時間	炉心	約7.2日後 水源補給用消防ポンプガソリン	約5時間後 蓄電池	約34倍向上
		使用済燃料	約7.2日後 ピット水補給用消防ポンプガソリン	約12時間後(停止中) (水温が100℃到達時点)	約14倍向上
全交流電源喪失 (SBO)	地震・津波以外による SBO,LUHSにおいて、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 水源補給用消防ポンプガソリン	約5時間後 蓄電池	約76倍向上
		使用済燃料	約10日後(停止中) ピット水補給用消防ポンプガソリン	約12時間後(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)		炉心	約16日後 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) ピット水補給用消防ポンプガソリン	約12時間後(停止中) (水温が100℃到達時点)	約20倍向上

*1:保安院指示書にはなく、審議過程で評価を実施した項目。

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