

**伊方発電所第3号機
安全性に関する総合評価(ストレステスト)
一次評価の概要について**

**平成23年12月26日
四国電力株式会社**

はじめに

- 平成23年7月22日、原子力安全・保安院から当社に対し、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合評価の実施について（指示）」が発出された。
- この評価は、原子力発電所の安全性の更なる向上についての国民・住民の方々の安心・信頼の確保のため、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として実施するものである。定期検査中で起動準備の整った原子力発電所について順次、安全上重要な施設・機器等が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について評価する一次評価と、欧州諸国のストレステストの実施状況、東京電力福島第一原子力発電所事故調査・検証委員会の検討状況も踏まえ、稼働中の発電所、一次評価の対象となった発電所も含めた全ての原子力発電所を対象に、総合的な安全評価を実施する二次評価に分けて行われることとなっている。
- この度当社は、起動準備の整った伊方3号機について、9月30日時点における施設と管理状態を対象に、ストレステストの一次評価を実施した。本資料は、その概要をとりまとめたものである。

緊急安全対策

○今般の東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所事故は、津波により発電所の3つの機能（全交流電源、海水冷却機能、SFPの冷却機能）が喪失したことが主な要因と考えられる。

●津波発生による想定事象

3つの機能（全交流電源、海水冷却機能、SFPの冷却機能）を全て喪失

- ・ 蓄電池枯渇
⇒ 直流電源、計装用電源の喪失(プラント監視機能の喪失)
- ・ タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器2次側への給水、給水源の枯渇
⇒ 蒸気発生器からの除熱機能の喪失
- ・ 全交流電源喪失
⇒ SFP冷却機能の喪失



●対応シナリオ

3つの機能を全て喪失した場合においても、継続的に原子炉および使用済燃料を冷却するために、「**緊急安全対策**」として整備し、多重防護の強化を図っている。

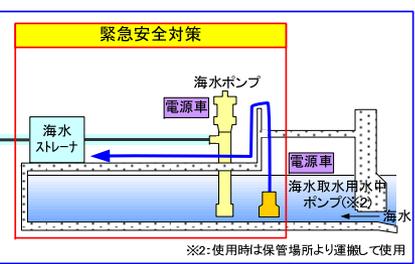
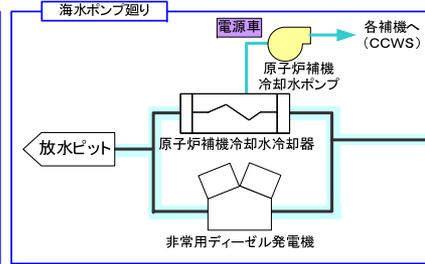
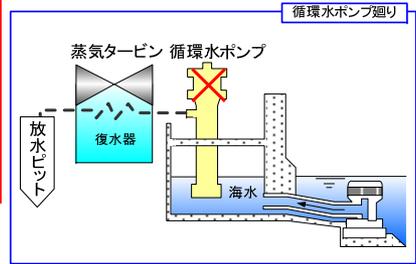
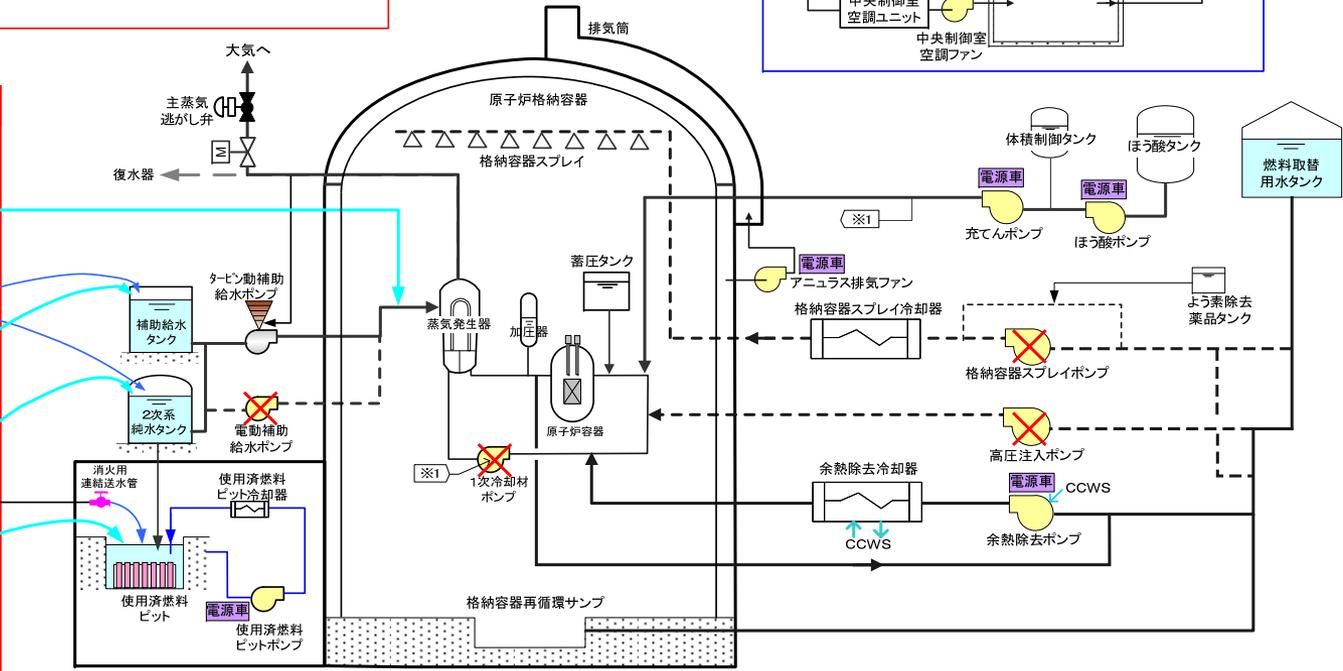
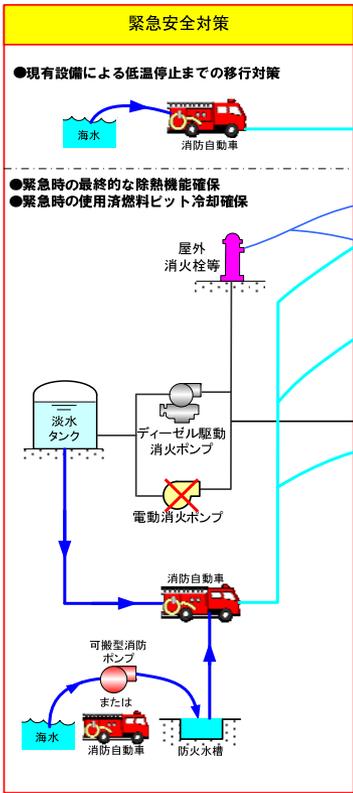
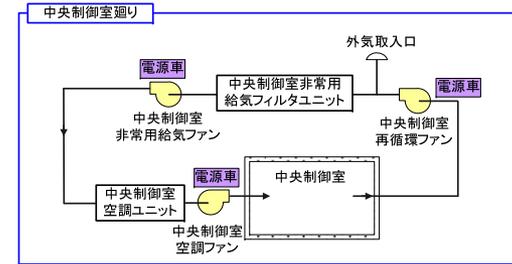
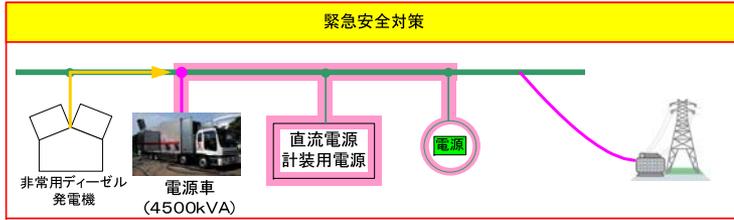
整備済みの緊急安全対策の内容

強化項目	緊急安全対策(整備済み)
全交流電源喪失時の電源確保対策	○1/2号機用に300kVA電源車各1台を配備 ○3号機用に4, 500kVA電源車1台を配備 ・予備として、300kVA電源車1台を配備 ・発電所に隣接する変電所から構内までの配電線(6,600V)の敷設
除熱機能の確保対策	○除熱のための水を補給するため、既存の消防自動車に加え、可搬型消防ポンプ、海水取水用水中ポンプ等を配備
使用済燃料ピットの冷却確保対策	○冷却のための水を補給するため、既存の消防自動車に加え、可搬型消防ポンプ等を配備
建屋等への浸水対策	○安全上重要な機器が設置されているエリアの建屋入口扉等へのシーリング施工

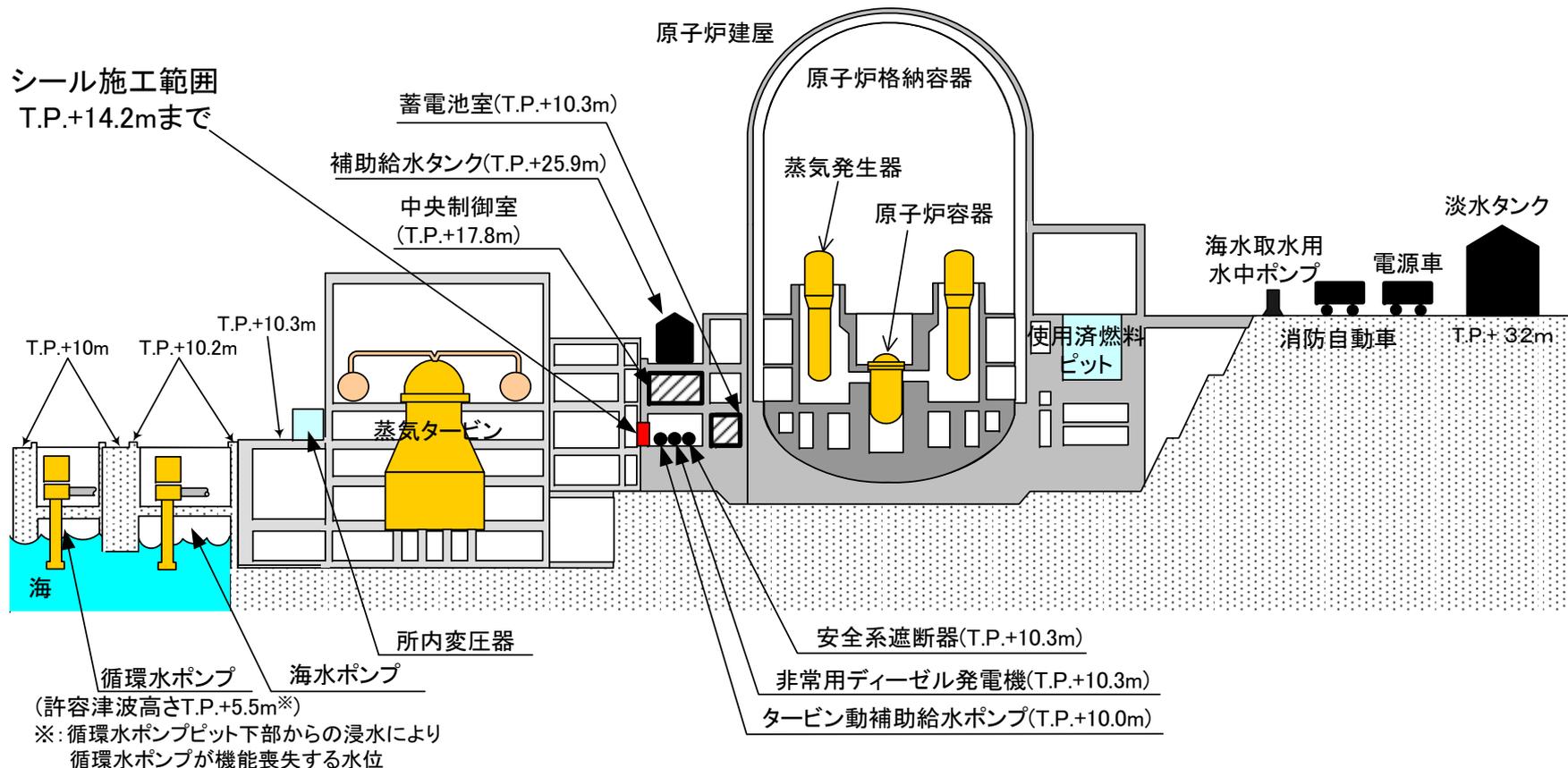
(※:クリフエッジ評価において考慮せず)

○各強化項目について、対応シナリオ実現のために必要となる設備・資機材の緊急点検を実施するとともに、緊急時対応計画を策定のうえ訓練を実施し、対応シナリオを確実に遂行できることを確認した。

緊急安全対策のまとめ(1/3)



緊急安全対策のまとめ(2/3)



緊急安全対策のまとめ(3/3)

【参考】周辺斜面の安定性（耐震バックチェック）について

▶伊方発電所第3号機原子炉建屋周辺には斜面が存在するが、その斜面の耐震安定性については耐震バックチェックにおいて確認している。

▶耐震バックチェックでは、原子炉建屋へ及ぼす影響の大きい断面として炉心を通る南北方向断面を検討断面として選定し、2次元動的有限要素法解析を行い、想定されるすべり面のすべりに対する安全率を求めSsに対して余裕をもって崩壊しないことを確認している。

▶耐震バックチェックにおける評価結果を右表に示す。

	すべり面形状	すべり安全率
1		3.5
2		2.9
3		1.9
4		2.1
5		2.1

○：すべり安全率の最小値 ー：すべり面

$$\text{すべり安全率} = \frac{\text{すべり面上のせん断抵抗力の和}}{\text{すべり面上のせん断力の和}}$$

総合評価の手法(一次評価の項目)

項目	内容
地震	想定を超えて、どの程度の揺れまで燃料損傷に至らないか(どの程度の裕度があるか)を評価
津波	想定を超えて、どの程度の高さまで燃料損傷に至らないかを評価
地震と津波との重畳	想定を超える地震と津波が同時発生した場合にどの程度まで燃料損傷に至らないかを評価
全交流電源喪失	発電所が完全に停電(全交流電源喪失)した場合に、外部からの支援なしでどの程度の時間まで燃料損傷に至らないか評価
最終的な熱の逃し場の喪失	燃料の崩壊熱を除熱するための海水を取水できない場合(最終的な熱の逃し場の喪失)に外部からの支援なしでどの程度の時間まで燃料損傷に至らないか評価
その他の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・マネジメント対策について多重防護の観点からその効果を明示

総合評価の手法(伊方3号機で特に考慮する事項)

➤ MOX燃料の特徴

伊方3号機では、平成22年3月よりウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（MOX燃料）を装荷した運転を行っている。
本報告書においては、「全交流電源喪失」および「最終的な熱の逃し場の喪失」の評価に係る崩壊熱にMOX燃料の特性を考慮する。

➤ 経年変化

原子力プラントの機器・構造物等については、通常の保全活動による取替や手入れ等により、建設時からの経年変化に対して、適切に機能維持されており、一部の経年変化事象を除き、現実的には問題にならないと考える。

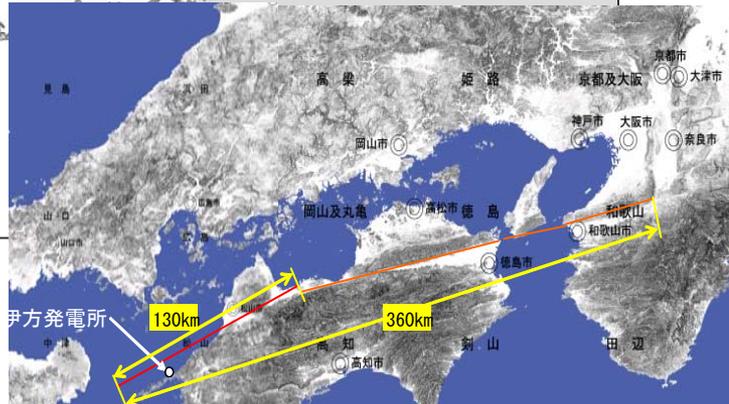
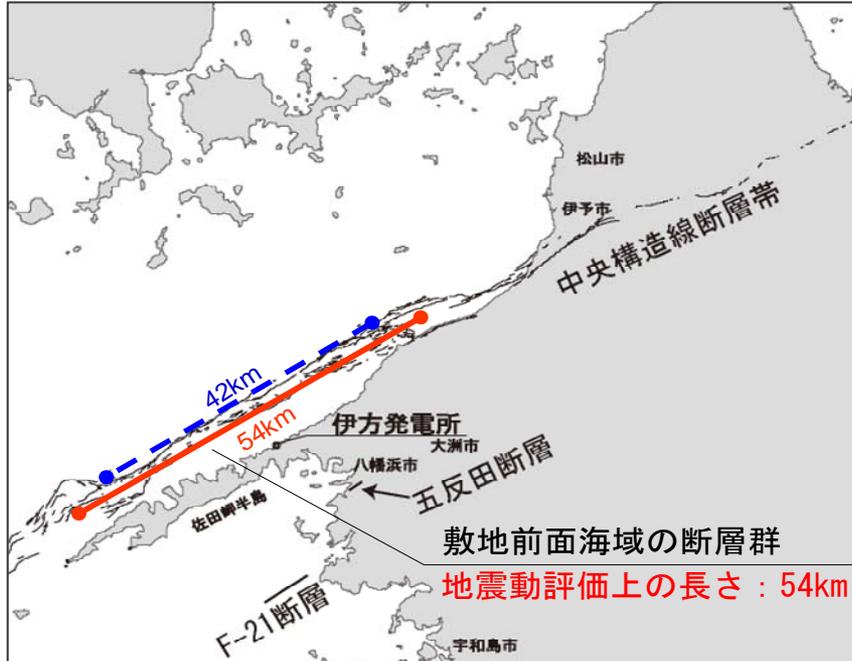
一部の経年変化事象として、配管の減肉のように、その進展により、「振動応答特性上または構造・強度上無視できない経年変化事象」については、地震に対する安全裕度を詳細評価する際、必要に応じて、個別に経年変化を考慮して評価する。

○評価の概要

- 想定を超える「地震」に対する安全裕度の評価においては、耐震バックチェックで策定した基準地震動 S_s を想定地震動とし、これを超える地震動に対する設備等の耐震裕度は、原則として耐震バックチェックでの評価結果を用いて評価を実施する。
- 必要に応じ最新知見等に基づく評価手法も用いることとする。
- 設備等の耐震裕度を踏まえ、想定を超える「地震」を起因として燃料の重大な損傷に至る過程を地震P S Aの知見等を用いて同定し、クリフエッジとそのときの地震動の大きさを明らかにするとともに、事象の過程の進展を防止するための措置の効果を確認する。

地震(2/10)

○基準地震動(S_s)の設定



- 敷地前面海域の断層群 (地質学的断層性状区分)
- 敷地前面海域の断層群 (地震動評価上の長さ)

伊方発電所周辺地域における有史以来の地震を調査

最新の技術を駆使し、敷地周辺の地盤状況・活断層等を適切に評価

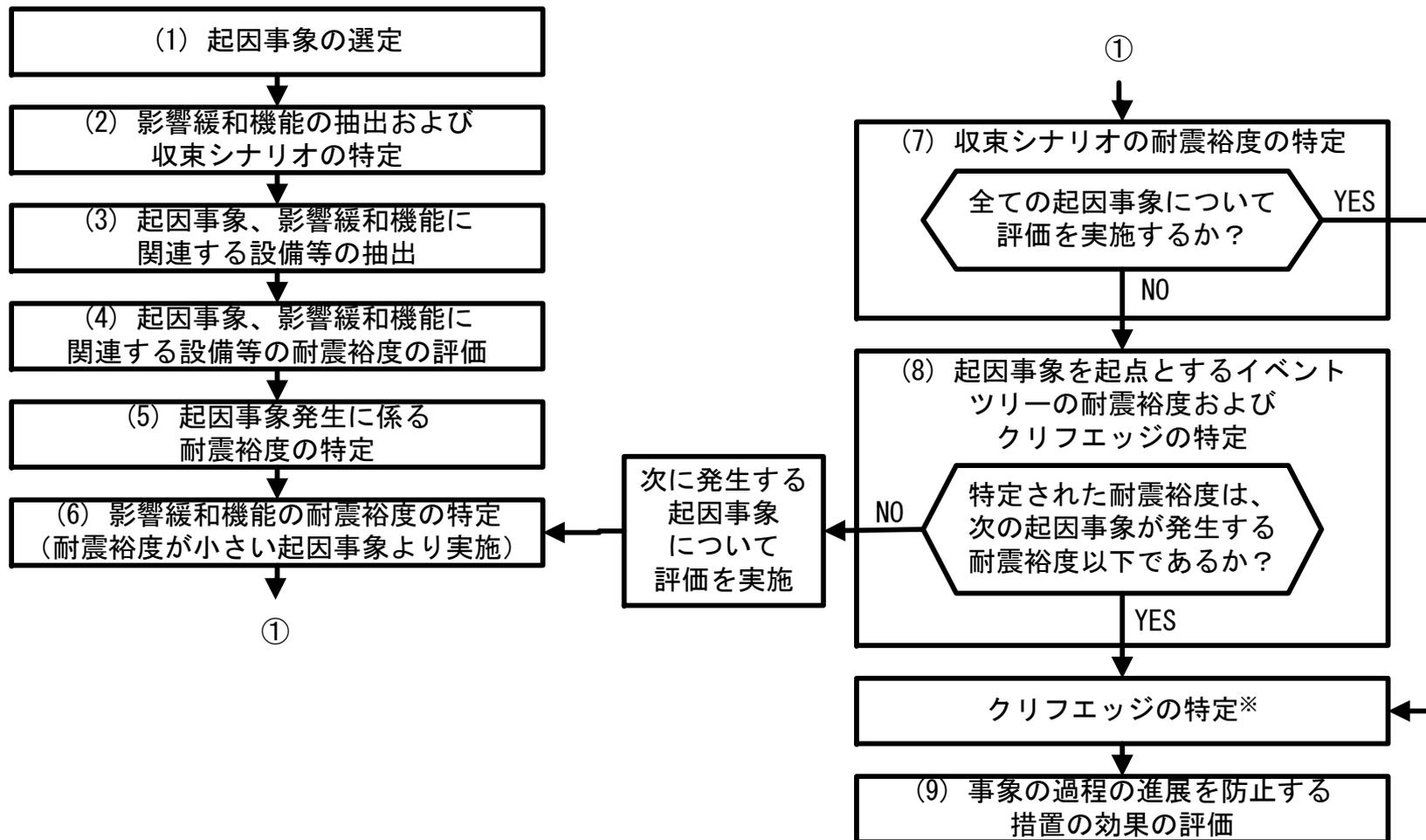


敷地に大きな影響を与えると予想される地震を選定したうえで、不確かさを考慮して地震動を評価し、それら全てを上回るよう余裕をもって基準地震動(570ガル)を設定

地震	発電所敷地での最大加速度	基準地震動
敷地前面海域断層群による地震	413ガル	570ガル
東南海・南海地震	94ガル	

○評価方法

炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に以下のフロー図に従って評価を実施する。



※ 各イベントツリーの耐震裕度のうち、最も小さいものが、クリフエッジとなる。

地震(4/10)

○評価結果（炉心）

地震PSA学会標準に基づき、地震を起因として炉心損傷に至る起因事象として9事象を選定し、設備等の耐震裕度の評価結果を用いて、Ssの何倍でどのような起因事象が発生するか、下表のとおり特定した。

起因事象	設備	裕度（×Ss）
主給水喪失	工学的判断※	1.00未満
外部電源喪失	工学的判断※	1.00未満
炉心損傷直結	原子炉建屋，原子炉補助建屋	2
補機冷却水の喪失	海水系配管，原子炉補機冷却水系配管	2.08
小破断LOCA	1次冷却材圧力バウンダリ接続 小口径配管	2.08
中破断LOCA	SIS 高圧低温側注入配管 他	2.08
2次冷却系の破断	補助給水系配管	2.08
大破断LOCA	加圧器	2.09
格納容器バイパス	蒸気発生器（内部構造物）	2.14

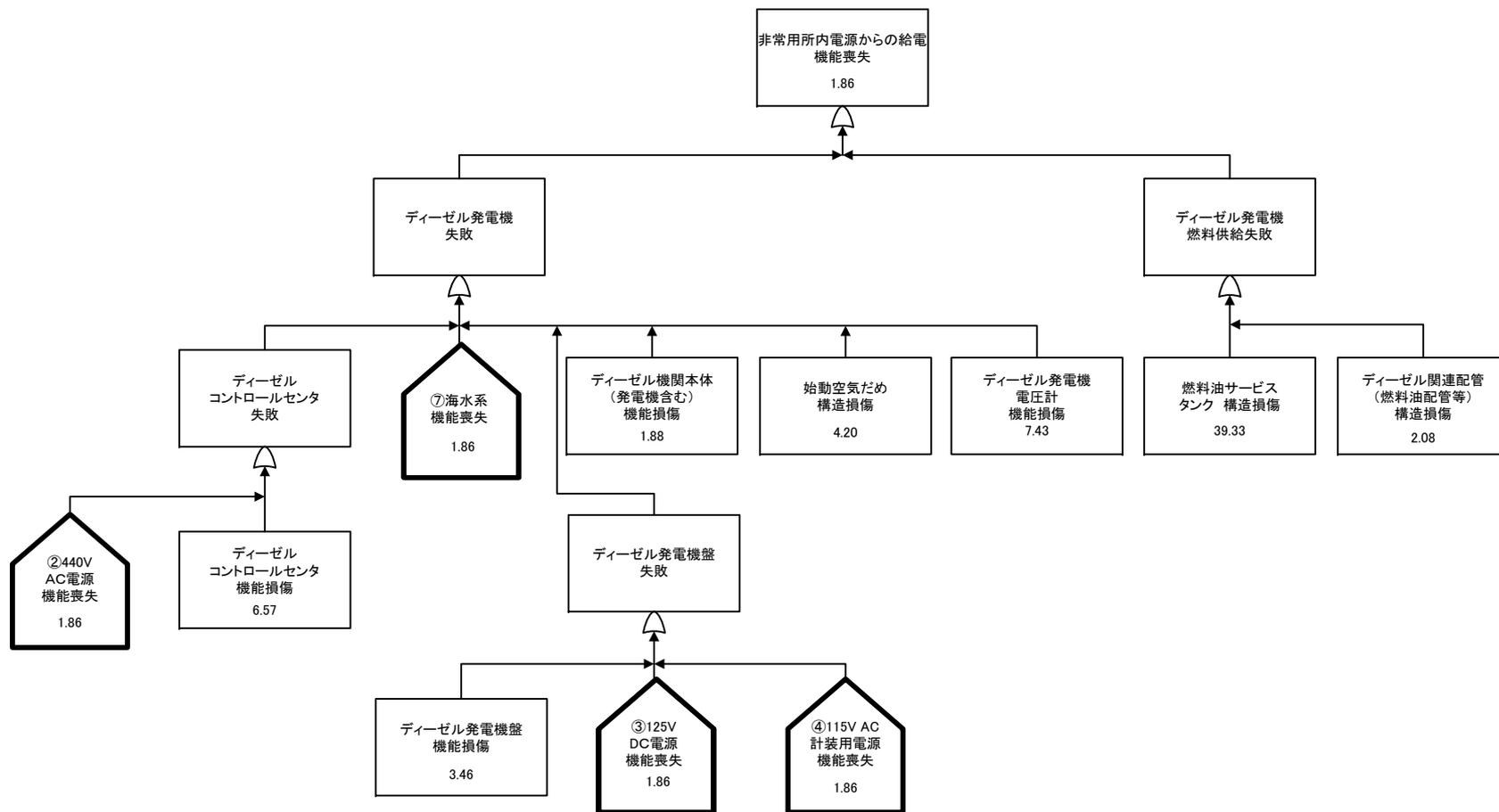
※Ss以上の場合、主給水ポンプ、碍子等の設備が必ず損傷に至ると想定する。

地震(5/10)

○評価結果 (炉心)

起因事象として、まずSsまでの地震動で発生する「主給水喪失」、「外部電源喪失」を対象に評価を実施した。(両者のイベントツリーは同様となるため、「外部電源喪失」にまとめて評価)

「外部電源喪失」の影響緩和機能として必要な機器を選定し、フォールトツリーを展開した。



地震(6/10)

○評価結果 (炉心)

裕度 = 許容値 / 評価値

影響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	設置場所	耐震クラス	損傷モード	単位	評価値 (a)	許容値 (b)	裕度 (b/a)	
フロントライン系	ディーゼルコントロールセンタ	A/B	S	機能損傷	G	1.08	7.10	6.57	
	ディーゼル発電機盤	A/B	S	機能損傷	G	1.50	5.20	3.46	
	ディーゼル機関本体(ディーゼル発電機含む)	A/B	S	機能損傷	G	0.90	1.7	1.88	
	燃料油サービスタンク	A/B	S	構造損傷	MPa	6	236	39.33	
	始動空気だめ	A/B	S	構造損傷	MPa	93	391	4.20	
	ディーゼル発電機電圧計	A/B	S	機能損傷	G	1.17	8.70	7.43	
	ディーゼル関連配管 (燃料油配管等)	A/B	S	構造損傷	MPa	202	422	2.08	
サポート系	6.6 k V A C 電源	メタクラ	A/B	S	機能損傷	G	0.38	0.88	2.31
		外部電源	工学的判断						<1
	440 V A C 電源	パワーセンタ	A/B	S	機能損傷	G	0.38	0.80	2.10
		原子炉コントロールセンタ	A/B	S	機能損傷	G	0.46	3.00	6.52
		動力変圧器	A/B	S	構造損傷	MPa	16	210	13.12
	125V D C 電源	ドロップ盤	A/B	S	機能損傷	G	2.68	5.00	1.86
		直流コントロールセンタ	A/B	S	機能損傷	G	0.93	8.00	8.60
		直流分電盤	A/B	S	機能損傷	G	1.17	8.00	6.83
		充電器盤	A/B	S	機能損傷	G	2.79	5.50	1.97
		蓄電池	A/B	S	構造損傷	MPa	107	279	2.60
	115V 計装用電源	計装用インバータ盤	A/B	S	機能損傷	G	1.79	12.00	6.70
		計装用分電盤	A/B	S	機能損傷	G	1.17	8.00	6.83
		計装用切替器盤	A/B	S	機能損傷	G	0.65	3.00	4.61
	海水系	海水ポンプ	屋外	S	機能損傷	G	0.39	1.0	2.56
		海水ポンプ現場盤	屋外	S	機能損傷	G	2.19	9.90	4.52
		海水ストレーナ	屋外	S	構造損傷	MPa	31	236	7.61
海水系配管		屋外~A/B	S	構造損傷	MPa	202	422	2.08	

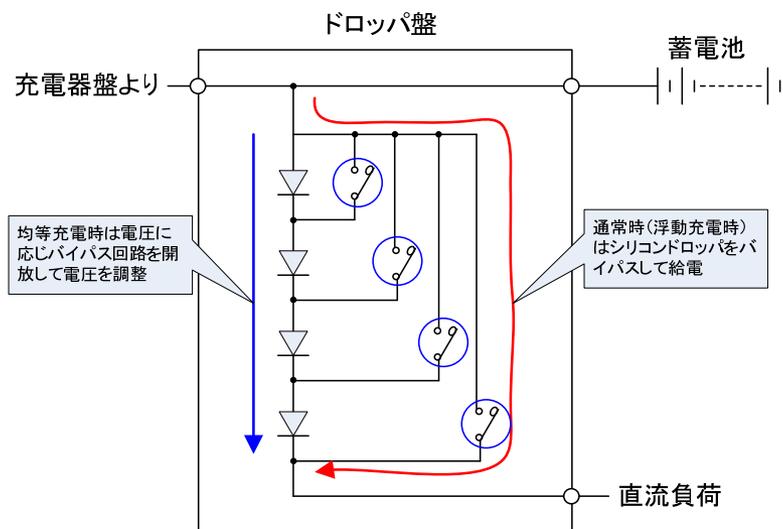
A/B ; 原子炉補助建屋

地震(7/10)

○評価結果（炉心）

【ドロツパ盤について】

ドロツパ盤とは、充電器盤（交流電源を直流に変換する装置）の下流に設置されており、蓄電池の性能維持のために定期的な均等充電（通常の電圧よりも高い電圧で蓄電池に充電）時に、負荷側にかかる電圧を調整する機能を有している。



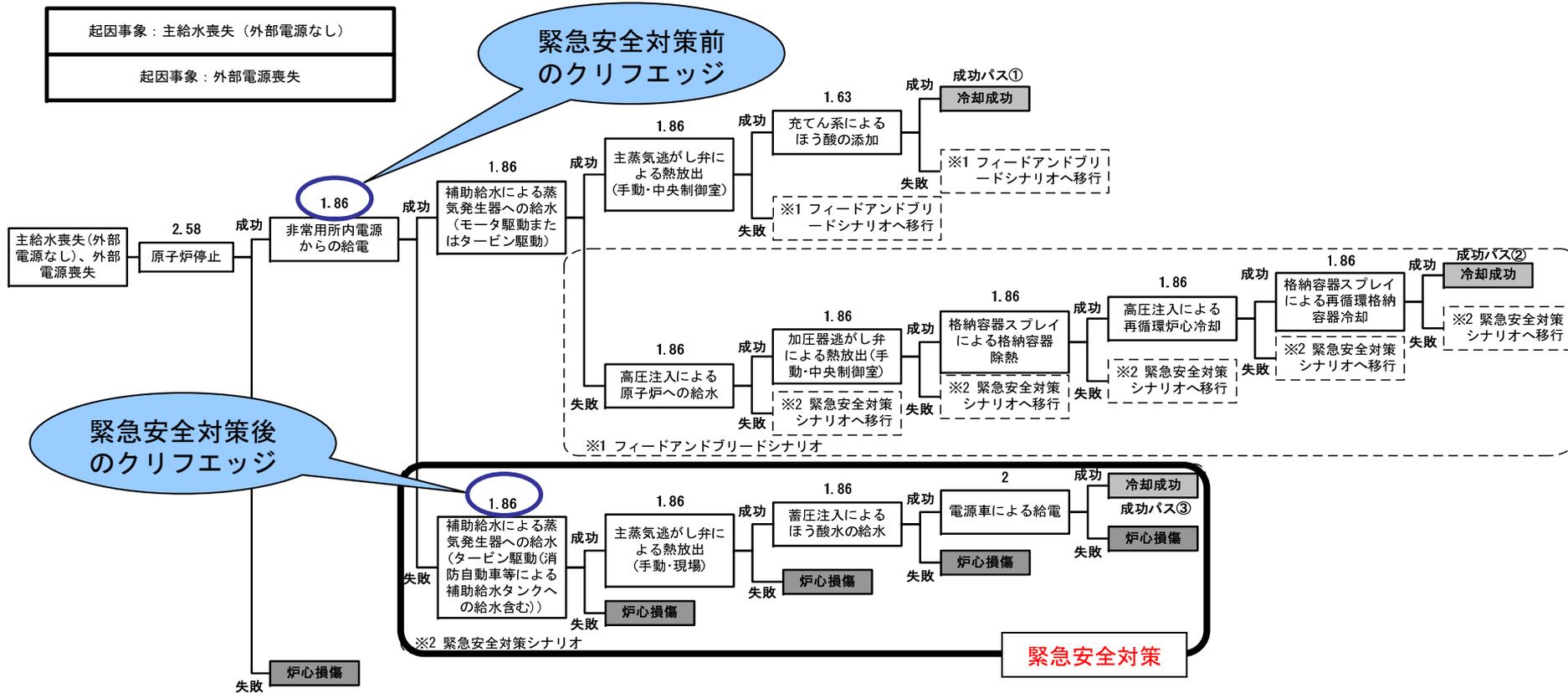
ドロツパ盤概要図



地震(8/10)

○評価結果 (炉心)

「外部電源喪失」の収束シナリオについて評価した結果、電源供給に必要な直流電源装置 (ドロツパ盤) が最小裕度となり、**1.86Ss**がクリフエッジとして特定された。

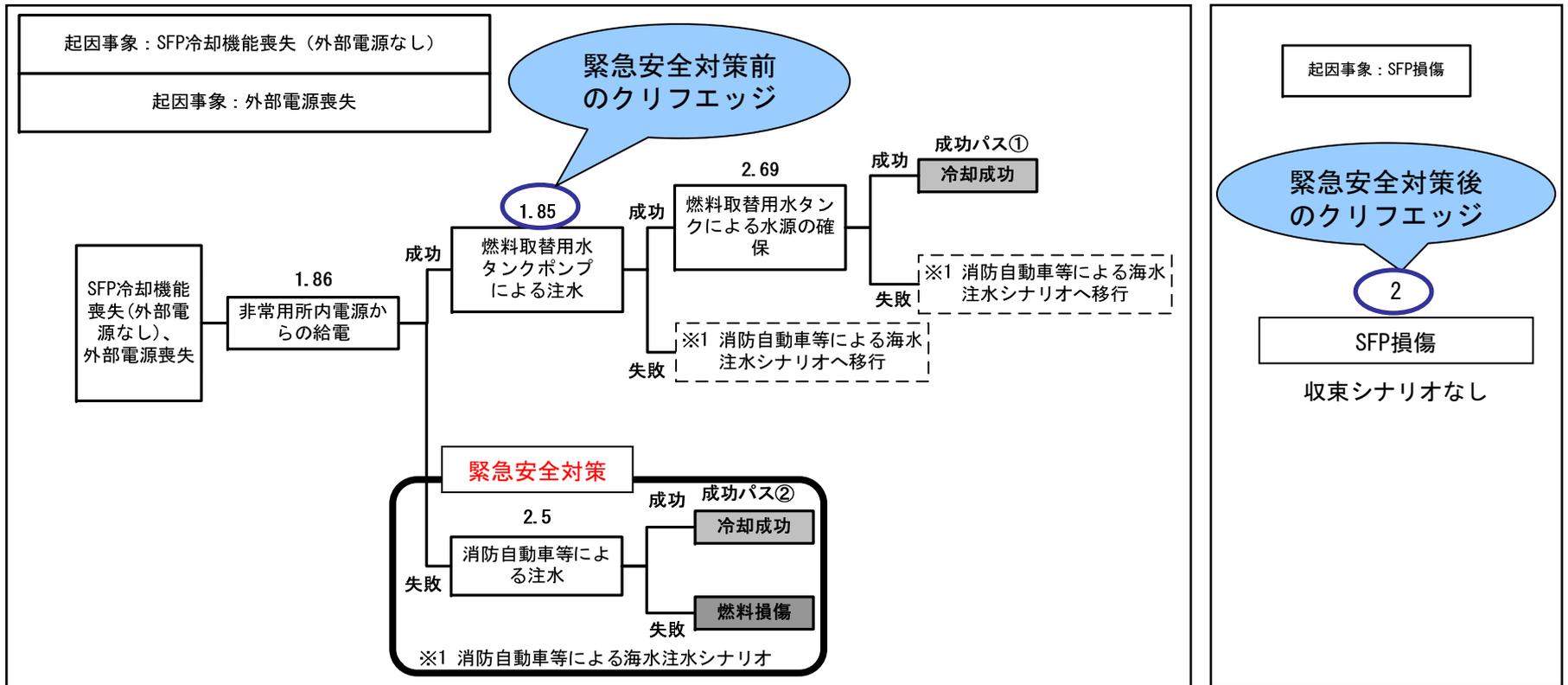


地震(9/10)

○評価結果 (SFP)

「外部電源喪失」の収束シナリオの耐震裕度について評価を行った結果、冷却水供給に必要な消防自動車(2.5Ss)が最小裕度であると評価された。

一方、次に大きな地震動で発生する「SFP損傷」は2Ssであることから、SFPにある燃料に対する重大な損傷を防止する観点では、「SFP損傷」の耐震裕度である**2Ss**がクリフエッジとして特定された。



地震(10/10)

○まとめ

	クリフエッジ		安全対策の効果
	安全対策後 (対象機器等)	安全対策前 (対象機器等)	
○炉心にある燃料	$1.86 \times Ss$ (直流電源装置)	$1.86 \times Ss$ (直流電源装置)	非常用所内電源からの給電が失敗した場合においても電源車からの給電が可能となるため、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重防護措置がとられている。
○SFPにある燃料	$2.00 \times Ss$ (SFP)	$1.85 \times Ss$ (燃料取替用水タンクポンプ)	燃料取替用水タンクポンプの機能が喪失した場合においても消防自動車等を用いたSFPへの海水の補給により、燃料取替用水タンクポンプに頼らない冷却水補給が可能。

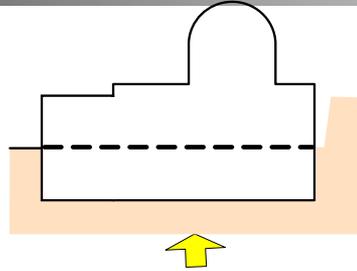
今後の取組

耐震Sクラスの安全上重要な主な機器についてSsの2倍程度の耐震裕度があるかどうかを確認し必要なものは対策を実施すること、およびSFP冷却設備について耐震Bクラスから耐震Sクラス相当に向上させる対策等を進めており、今後も必要に応じ対策の強化を図っていく。

ストレステストと耐震裕度2倍について

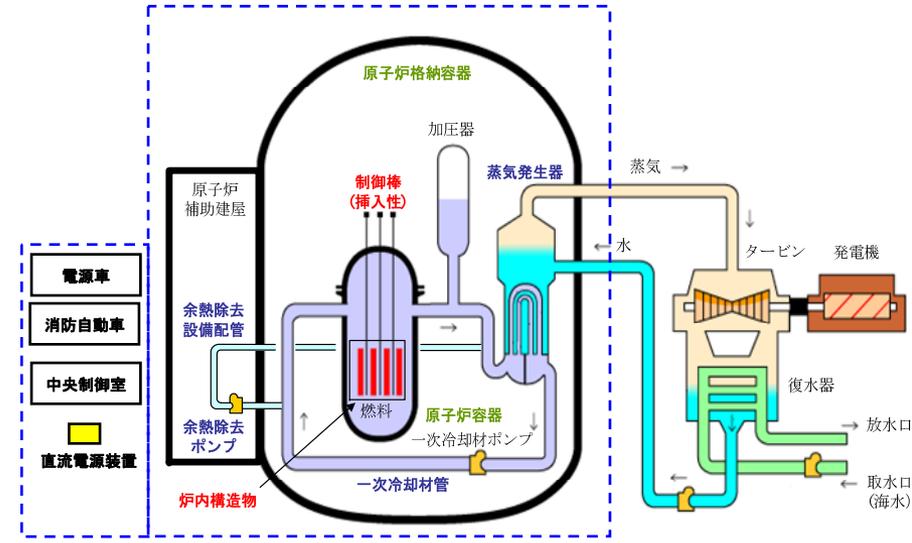
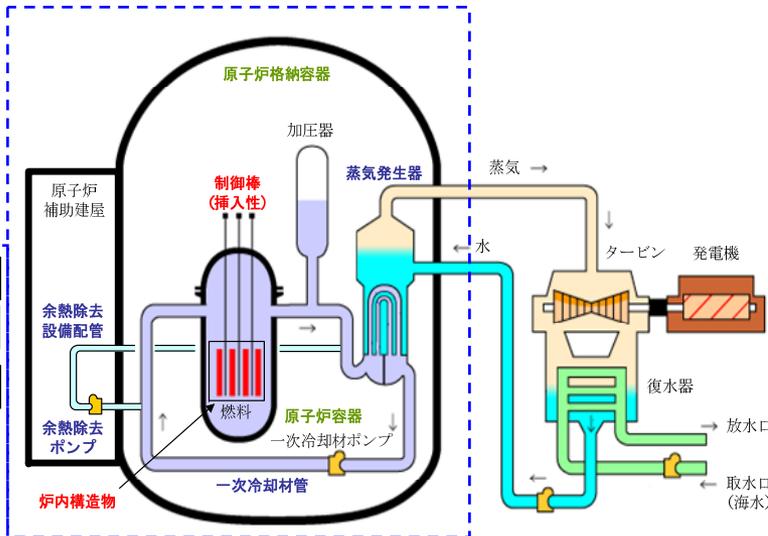
ストレステスト
(地震)

耐震裕度2倍



基準地震動(570Gal)

地震時にクリフエッジをもたらず設備として特定



内容	地震時に燃料損傷を防止する設備(赤い点線内)の一部について、設計等で評価されている耐震裕度を確認。
結果	地震時にクリフエッジをもたらず設備として直流電源装置を特定。(クリフエッジ: 1.86 × 基準地震動)

内容	安全上重要な主な機器(青い点線内)について、現実ベースの再評価、実機器を模擬した加振試験等の実施により耐震裕度を確認し、必要なものは対策工事を実施。
目標	基準地震動に対し2倍程度の耐震裕度を確保。

○評価の概要

- 伊方3号機における想定津波の評価については、最新の情報に基づき、敷地前面海域の断層群の地震と想定東南海・南海地震による津波を検討対象として選定し、土木学会「原子力発電所の津波評価技術」（平成14年）を参考に評価している。
- 評価の結果、敷地前面海域の断層群の地震に伴う津波により最高水位はT. P. +3.49mとなり、これに対して、原子炉施設が設置されている敷地高さはT. P. +10mであることから、原子炉施設の安全性に対して問題はない。
- 今回の評価においては、敷地が浸水し設備が機能喪失する場合を考え、設備が浸水する高さに着目して事象進展を検討し、燃料の重大な損傷に至る浸水の高さを特定する。

津波(2/9)

○設計津波高さの設定

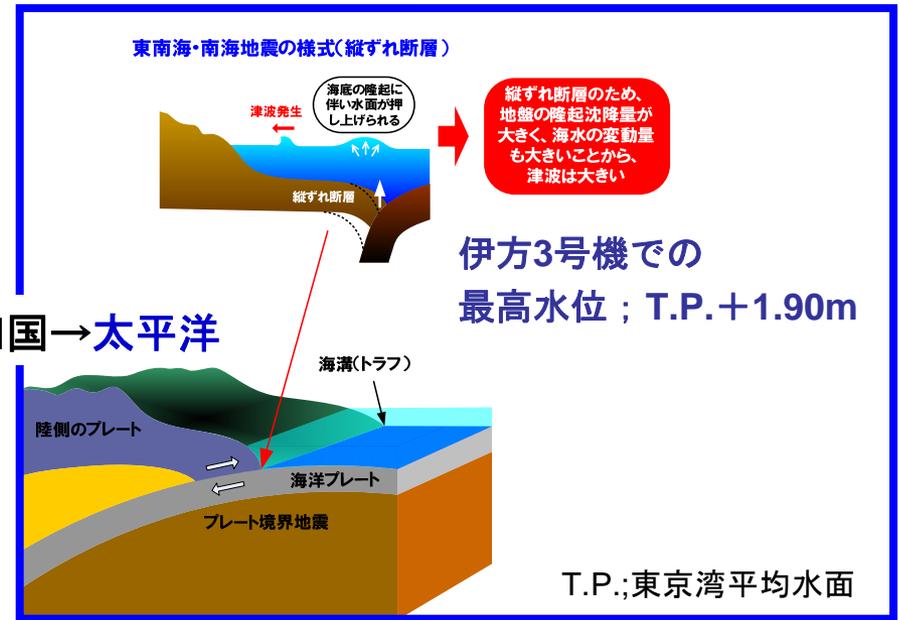
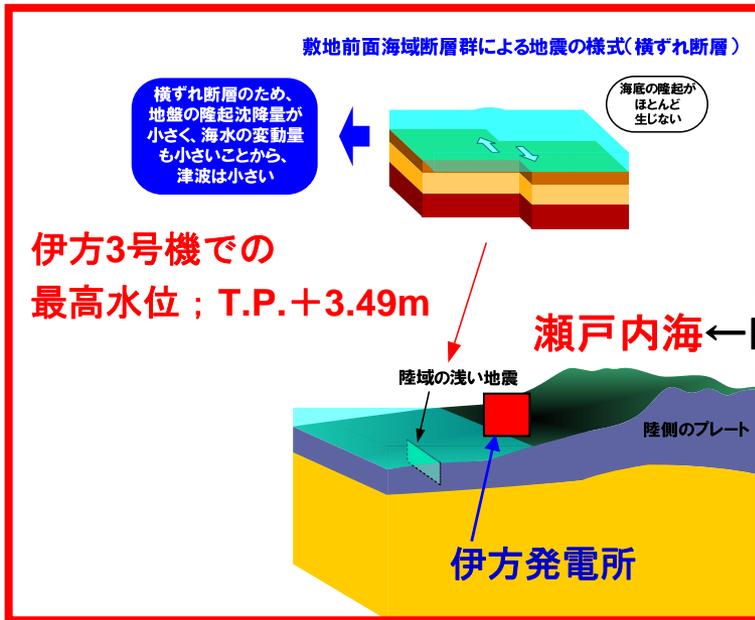
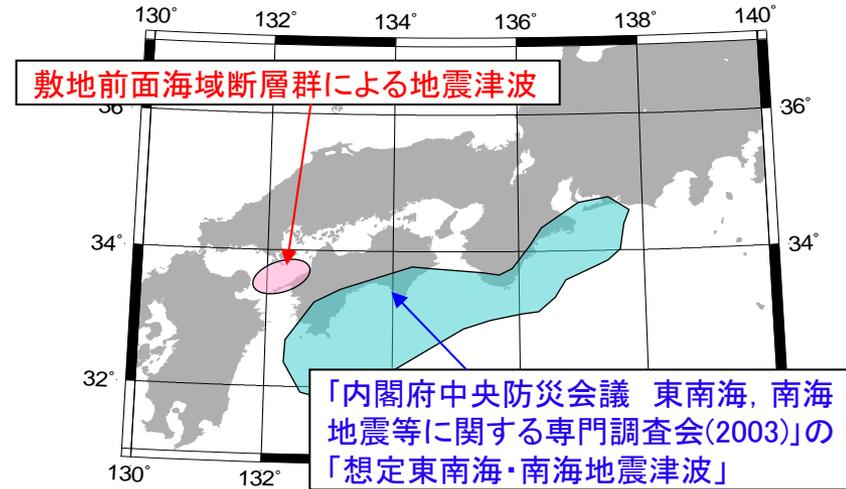
発電所敷地周辺において、津波の被害があったという記録はない。



発電所に影響を及ぼす可能性のある津波は、「敷地前面海域断層群」による地震津波を想定

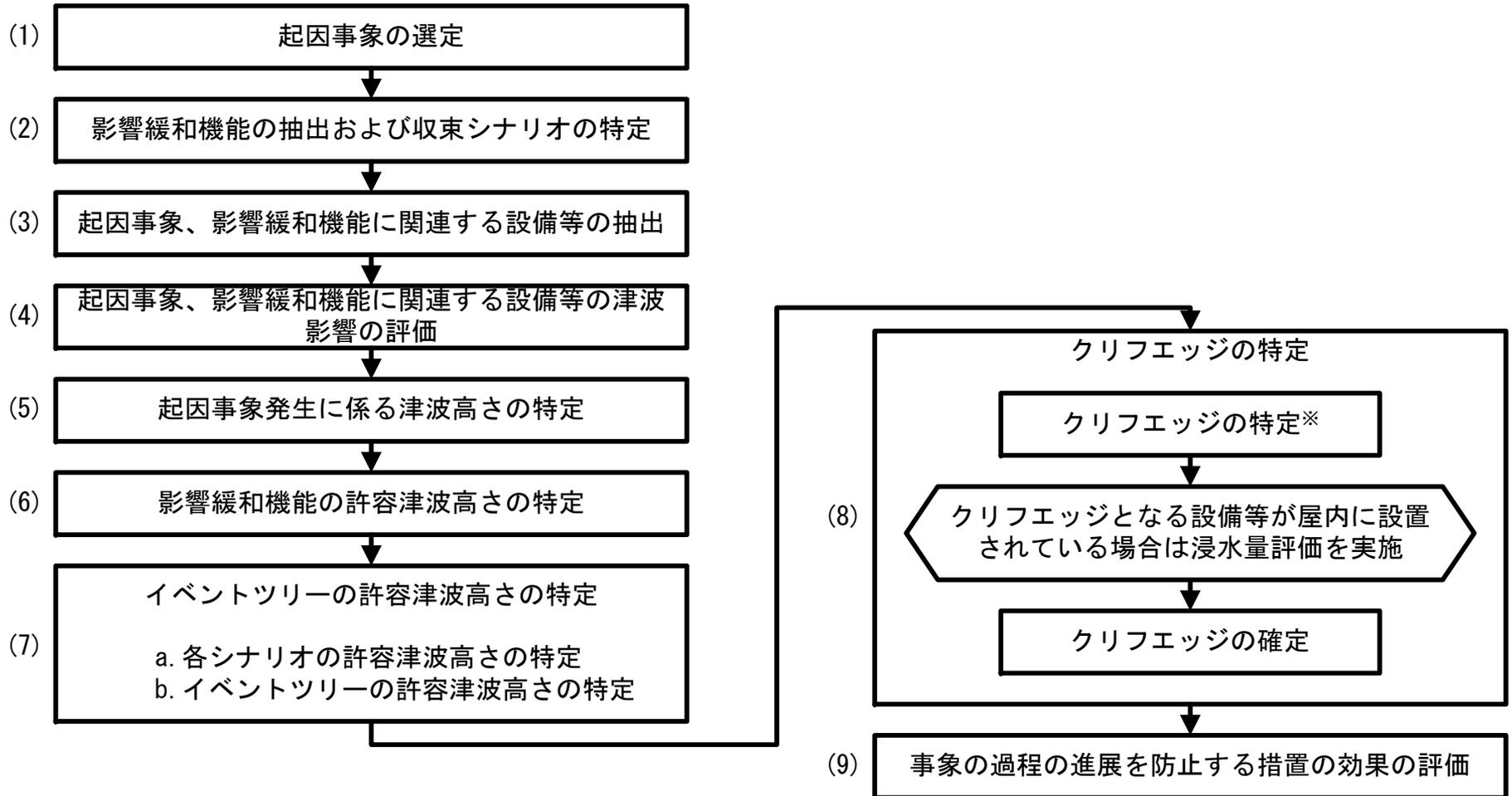
最高水位（伊方3号機）； T.P.+3.49m

【満潮水位(T.P.+1.62m)+津波による上昇(+1.87m)】



○評価方法

炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に以下のフロー図に従って評価を実施する。



※ 各イベントツリーの許容津波高さのうち、最も小さいものが、クリフエッジとなる。

津波(4/9)

○評価結果（炉心）

内的事象P S Aにおける起因事象をベースに、津波を起因として炉心損傷に至る5事象を選定し、各設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、どの津波高さでどの起因事象が発生するか、以下のとおり特定した。

津波高さ (m)	発生する起因事象	備考
~T. P. +5. 5	—	—
T. P. +5. 5~+10. 2	過渡事象(注)	—
T. P. +10. 2~+10. 3	過渡事象 C C W喪失 (主給水喪失)	「C C W喪失」の発生に伴い、制御用空気系が喪失し、制御用空気を必要とする主給水制御弁が閉止（フェイルクローズ）されることで、従属的に「主給水喪失」が発生する。
T. P. +10. 3~+14. 2	過渡事象 主給水喪失 C C W喪失 外部電源喪失	—
T. P. +14. 2~	炉心損傷直結 (過渡事象) (主給水喪失) (C C W喪失) (外部電源喪失)	建屋内（C/V外）の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり炉心損傷直結となる。

(注) 事象発生によりプラントパラメータが変動し、トリップ信号が発生してトリップに至る事象

津波(5/9)

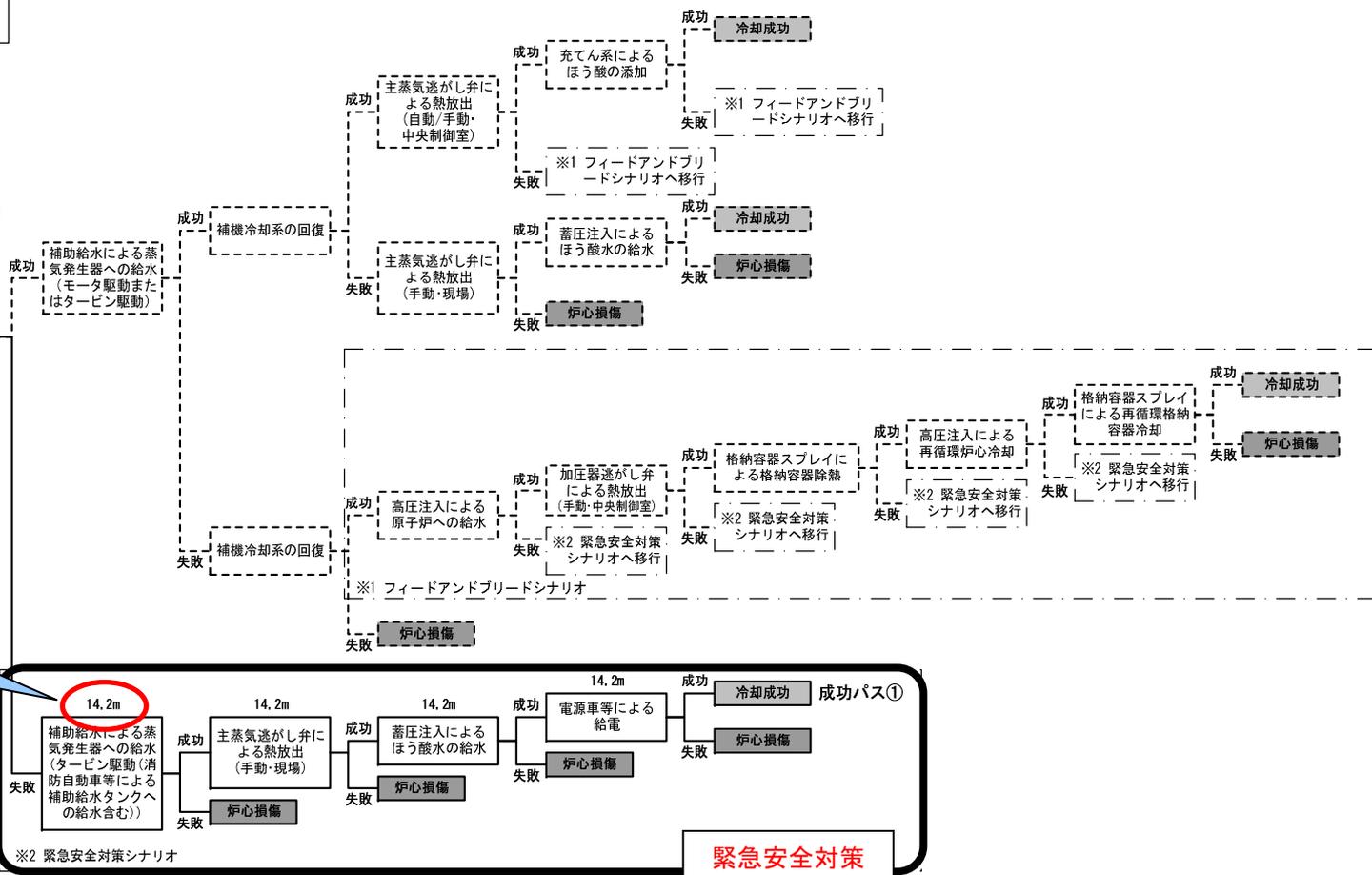
○評価結果 (炉心)

「過渡事象 + C CW喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T.P. +10.3m~)」の収束シナリオについて評価した結果、津波高さT.P. +14.2mがクリフエッジとして特定された。

津波高さ: 10.3m~
発生事象: 過渡事象 + 補機冷却水の喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失

緊急安全対策前の
クリフエッジ

緊急安全対策後の
クリフエッジ

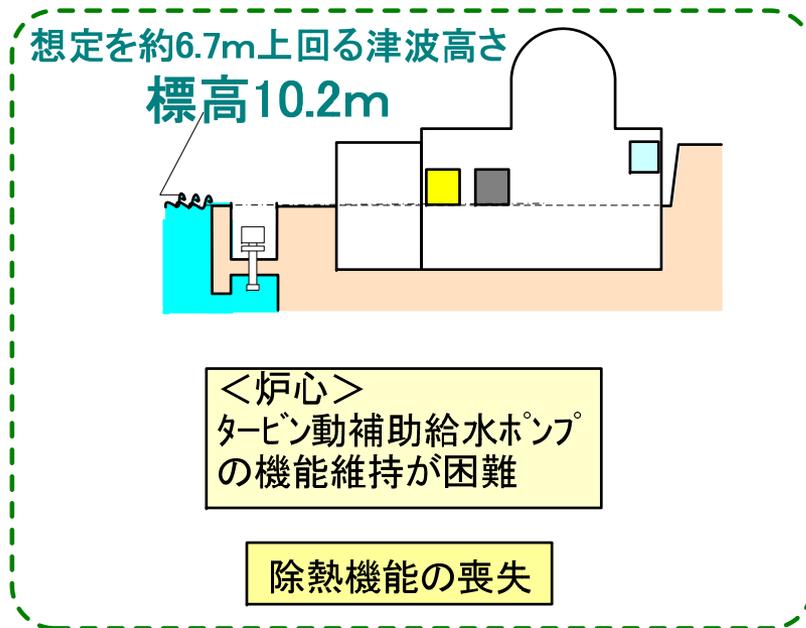


※: 破線は一度機能喪失した緩和系は回復しないという前提において、起因事象発生と同時に喪失する成功パスを示すもの

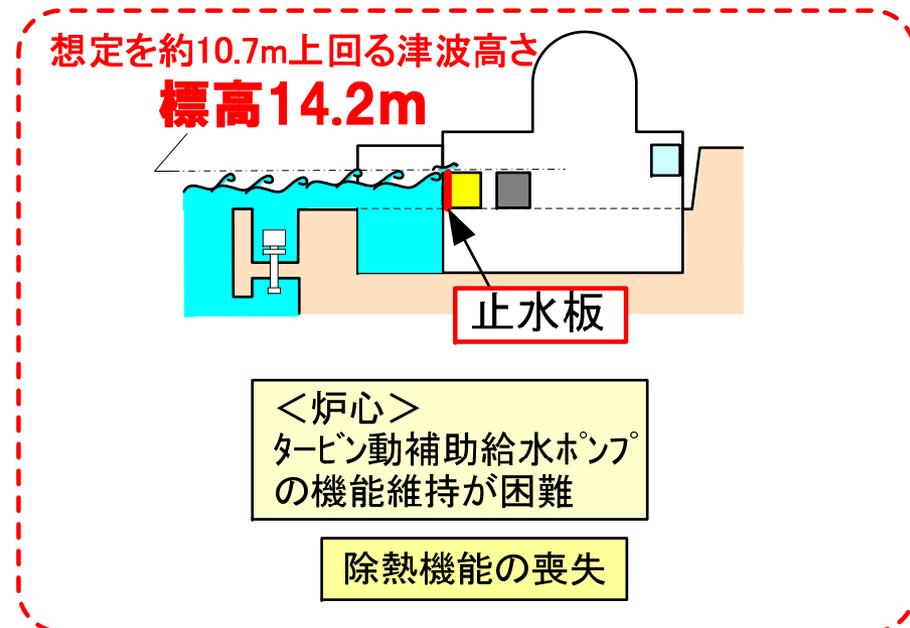
津波(6/9)

○評価結果 (炉心)

緊急安全対策前後のクリフエッジ比較



緊急安全対策前

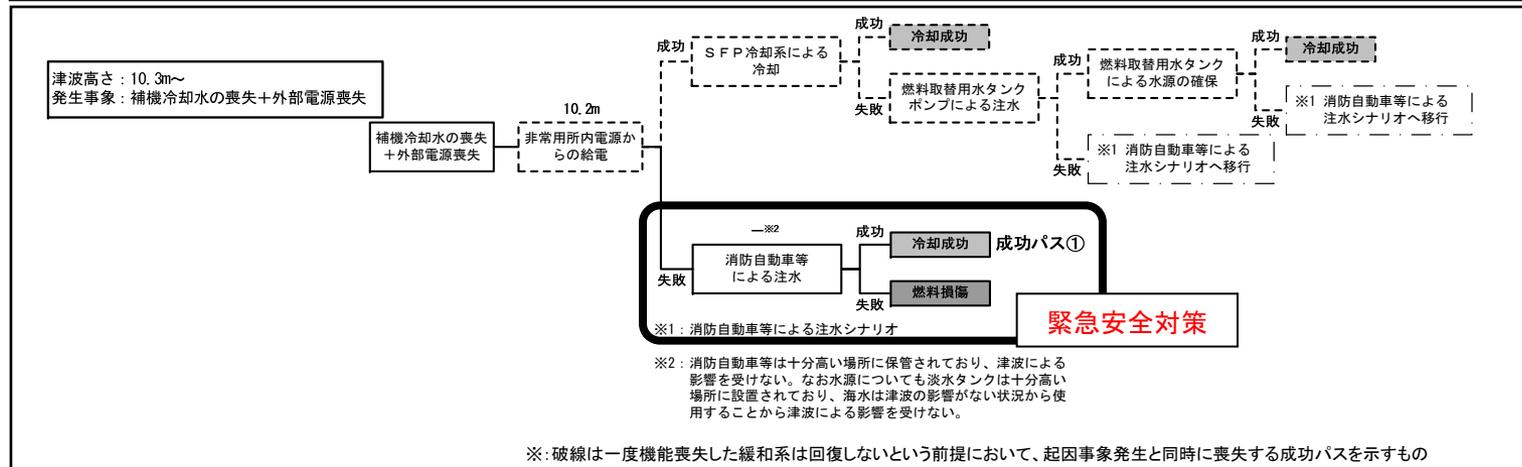
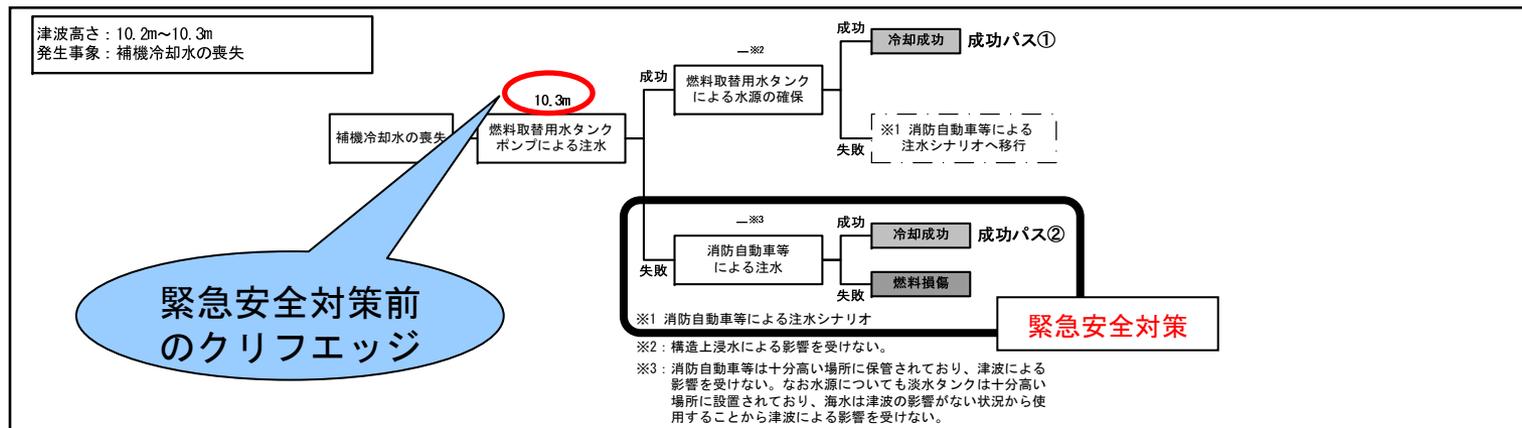


緊急安全対策後

津波(7/9)

○評価結果 (SFP)

CCW喪失 (T. P. +10.2m~+10.3m)、CCW喪失+外部電源喪失 (T. P. +10.3m~) の収束シナリオについて評価した結果、緊急安全対策として整備したSFPへの水の補給手段により、津波高さの影響を受けず、安定、継続的にSFPの冷却が行われ、**燃料の重大な損傷に至る事象は回避される** (イベントツリーの許容津波高さとして特定されるものはない)。



○評価結果（共通）

●二次的な影響について

津波の水位変動以外の事象として、砂移動および漂流物の影響を以下のとおり評価した。

・砂移動

砂移動の数値シミュレーションを実施した結果、取水口付近における水深変化量は0.00mとなり、砂移動により原子炉補機冷却水の取水に支障が生じることはない。

・漂流物

敷地前面に港湾施設はなく、周辺に貯木場もないことから、津波発生時に船舶、流木が原子炉補機冷却水の取水に支障になることはない。また、補機冷却水取水口の呑口の標高は低く、スクリーン等を設置しており、ゴミが原子炉補機冷却水の取水に支障となることはない。

●波力について

伊方3号機は前面海域に対してタービン建屋、原子炉・原子炉補助建屋の順に設置されているため、波力に対してはタービン建屋により緩衝されると評価している。

津波(9/9)

○まとめ

	クリフェッジ		安全対策の効果
	安全対策後 (対象機器等)	安全対策前 (対象機器等)	
○炉心にある燃料	T. P. +14. 2m (タービン動補助給水 ポンプ等)	T. P. +10. 2m (海水ポンプ)	電源車等を配備し、計器類等の電源を確保したこと、S/Gの除熱に必要な機器が設置されているエリアの扉や壁貫通部にシール施工を実施したことにより、クリフェッジが向上した。
○SFPにある燃料	燃料損傷に至らない (-)	T. P. +10. 3m (所内変圧器)	消防自動車等を津波の影響を受けない高台に配備し、淡水タンクまたは海水を水源とする補給手段を確保したことからSFPに給水して冷却する収束シナリオが成立する

今後の取組

扉等のシール施工等による建屋への浸水防止効果を考慮したものであることから、今後もその効果を維持していくため保守点検を確実に実施するとともに、順次水密扉への取替えを行い、さらに信頼性を高めていくこととしている。また、今後、海水ポンプエリアへの防水対策の強化や消防自動車(*)の追加配備等、多重防護の観点での対策を充実することとしている。

(*) 12月26日現在移行済み

地震と津波との重畳(1/4)

○評価の概要

- 「地震」および「津波」の評価結果を踏まえて、想定を超える「地震」と想定を超える「津波」との重畳を起因として、燃料の重大な損傷に至る耐震裕度および津波高さを特定する。

○評価方法

- 地震または津波より引き起こされる起因事象に対する収束シナリオに対して、地震および津波の影響を評価する。
- 選定された各起因事象の発生や各影響緩和機能に係る耐震裕度または許容津波高さについては、「地震」または「津波」において評価した結果を用いる。

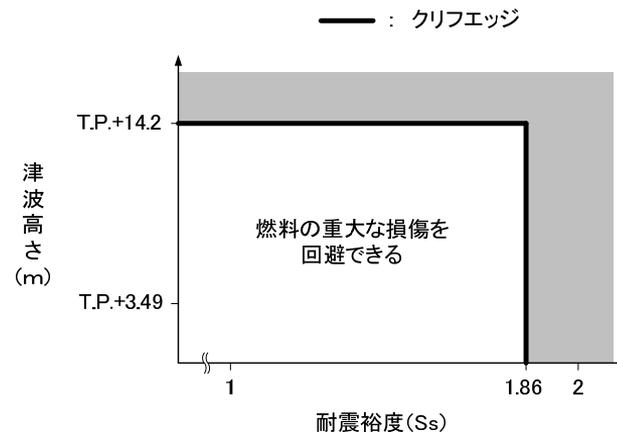
地震と津波との重畳(2/4)

○評価結果 (炉心)

- 「地震」および「津波」の評価結果から、考慮すべき起因事象として、以下を対象とした。
 - a. 地震側の起因事象
 - ・ 主給水喪失
 - ・ 外部電源喪失
 - b. 津波側の起因事象
 - ・ 過渡事象 (T. P. +5.5m~+10.2m)
 - ・ 過渡事象 + C C W喪失 (T. P. +10.2m~+10.3m)
 - ・ 過渡事象 + C C W喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T. P. +10.3m~)



●地震による起因事象をベースとした評価と津波による起因事象をベースとした評価を行った結果から、耐震裕度1.86Ssかつ津波高さT. P. +14.2mまでの地震と津波との重畳に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、炉心にある燃料の重大な損傷を回避することができることを確認した。



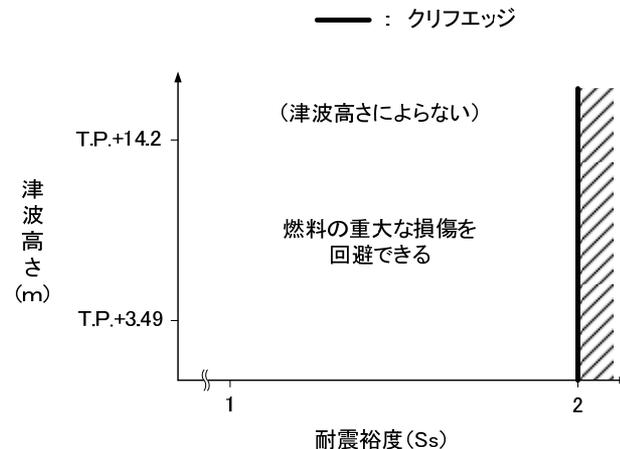
地震と津波との重畳(3/4)

○評価結果 (SFP)

- 「地震」および「津波」の評価結果から、考慮すべき起因事象として、以下を対象とした。
 - a. 地震側の起因事象
 - ・ 外部電源喪失
 - ・ SFP冷却機能喪失
 - ・ SFP損傷
 - b. 津波側の起因事象
 - ・ CCW喪失 (T.P. +10.2m~+10.3m)
 - ・ CCW喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.3m~)



●津波による起因事象をベースとした評価結果から、津波高さによらず、SFPの耐震裕度 $2S_s$ までの地震に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、燃料の重大な損傷を回避することができることを確認した。



地震と津波との重畳(4/4)

○まとめ

	クリフエッジ		安全対策の効果
	安全対策後	安全対策前	
○炉心にある燃料	$1.86 \times S_s$ T. P. +14. 2m	$1.86 \times S_s$ T. P. +10. 2m	「地震」および「津波」の評価と同じ
○SFPにある燃料	$2.00 \times S_s$ (津波高さによらない)	$1.85 \times S_s$ T. P. +10. 3m	「地震」および「津波」の評価と同じ

全交流電源喪失(1／6)

○評価の概要

- 本事象は、原子炉の出力運転中または停止中に送電系統または所内主発電設備の故障等により、外部電源が全て喪失し、かつD／Gの起動失敗または運転継続失敗により所内の全ての交流電源が喪失することを想定する。
- 事象発生により、原子炉は制御棒の自重落下により自動停止するが、停止後も崩壊熱が発生するため、継続的に冷却する必要がある。炉心およびSFPにおける燃料の崩壊熱除去に必要な補機は交流電源を駆動源とするものがほとんどであり、これらの系統の機能停止もあわせて想定する。
- 上記で想定した事象発生時における燃料の重大な損傷に至る過程を明らかにし、その過程の進展を踏まえて、事象の継続時間を評価することでクリフエッジを特定するとともに、事象進展を防止するための措置の効果を確認する。

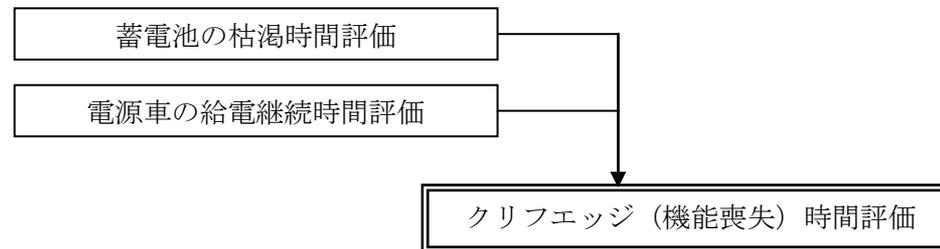
全交流電源喪失(2/6)

○評価方法

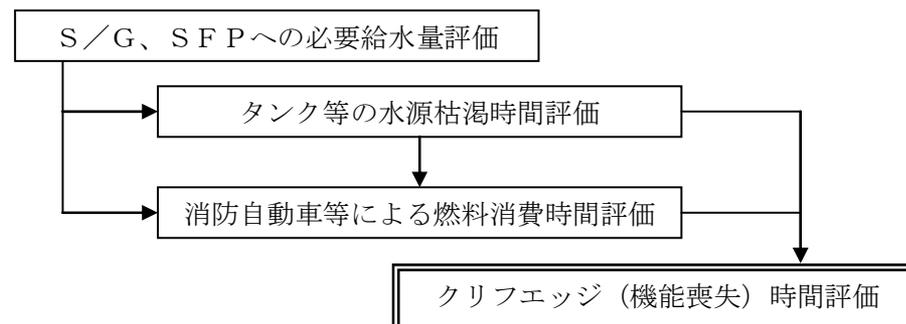
- 炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に、以下の過程を特定する。
 - ・ 外部電源喪失から全交流電源喪失までの事象の過程
 - ・ 全交流電源喪失から燃料の重大な損傷までの事象の過程
- 全交流電源喪失の継続時間およびクリフエッジの所在の特定する。

全交流電源喪失が発生した場合、炉心およびSFPにおける燃料の重大な損傷を防止するためには、電源機能および除熱機能が継続する必要があるため、以下のフロー図のとおり継続時間を評価した。

<電源機能の継続時間評価>



<除熱機能の継続時間評価>

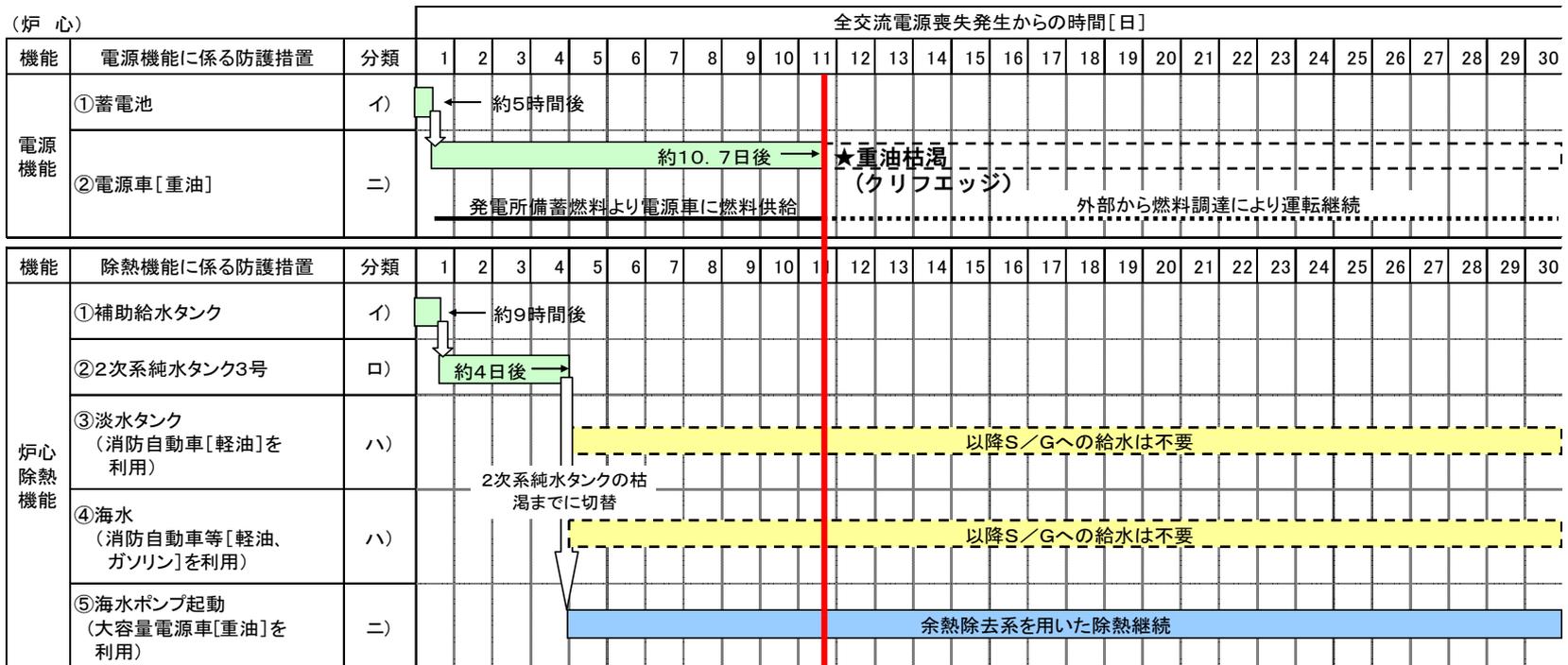


全交流電源喪失(3/6)

○評価結果 (炉心)

運転時に全交流電源喪失が発生した場合、S/Gからの蒸気を駆動源とするタービン動補助給水ポンプが自動起動し、S/G 2次側への給水を行い、炉心の除熱を行う。

その後、大容量電源車により海水ポンプ等を起動することで、炉心の冷却を余熱除去系を用いた冷却に切り替えるが、電源車の運転に必要な重油は約10.7日後に枯渇するため、この期間がクリフエッジとなる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

全交流電源喪失(4/6)

○評価結果 (SFP) - 運転時 -

使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行う。

消防自動車の運転に必要な燃料（軽油）は約**8.2日後**に枯渇するため、この期間がクリフエッジとなる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

全交流電源喪失(5/6)

○評価結果 (SFP) —停止時—

停止時に全交流電源喪失が発生した場合、他の水源から消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行う。その後、大容量電源車により海水ポンプ等を起動することで、使用済燃料の冷却をSFP水浄化冷却系を用いた冷却に切り替えるが、電源車の運転に必要な重油は約10.7日後に枯渇するため、この期間がクリフエッジとなる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

全交流電源喪失(6/6)

○まとめ

		クリフエッジ		安全対策の効果
		安全対策後 (対象機器等)	安全対策前 (対象機器等)	
○炉心にある燃料	運転時	約10.7日後 (電源車の燃料である重油)	約5時間後 (蓄電池)	大容量電源車により海水ポンプ等を起動することで、炉心の冷却を余熱除去系を用いた冷却に切り替えることが可能となった。
○SFPにある燃料		約8.2日後 (消防自動車の燃料である軽油)	約22時間後 (ヒット水100℃到達)	消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行うことが可能となった。
	停止時	約10.7日後 (電源車の燃料である重油)	約8時間後 (ヒット水100℃到達)	大容量電源車により海水ポンプ等を起動することで、SFPの冷却をSFP水浄化冷却系を用いた冷却に切り替えることが可能となった。

今後の取組

伊方発電所に隣接する変電所から構内まで敷設した配電線（設備強化対策として設置済み）を用いることによっても、燃料の重大な損傷に至る過程の進展を防止し、電源機能および除熱機能の維持が可能であることから、十分クリフエッジの発生を防止することが可能である。

平成23年12月上旬頃には1、2号機用の電源車についても重油を燃料とする電源車へと移行するとともに、平成23年12月中旬頃には3号機の電源車も燃料消費性能が向上した電源車へと移行することとしている。（*）

また、恒設非常用発電機を設置して外部電源喪失時のバックアップ電源の多様化を図ることとしている。

（*）12月26日現在移行済み

最終的な熱の逃し場の喪失(1/6)

○評価の概要

- 本事象は、原子炉の出力運転中または停止中に、海水ポンプおよび循環水ポンプ等の故障により、常用および非常用の海水を取水するポンプ全てが機能喪失することにより、最終ヒートシンク機能が喪失することを想定する。
- 炉心およびSFPにおける燃料の崩壊熱除去には最終ヒートシンクが必要となることから、これらの系統の機能停止もあわせて想定する。
- 上記で想定した事象発生時における燃料の重大な損傷に至る過程を明らかにし、その過程の進展を踏まえて、事象の継続時間を評価することでクリフエッジを特定するとともに、事象進展を防止するための措置の効果を確認する。

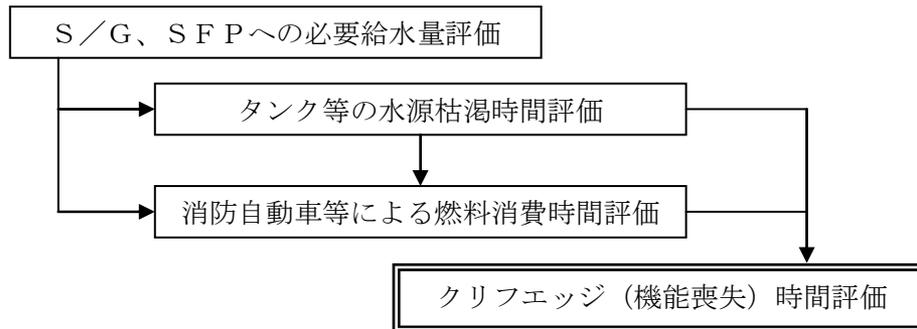
最終的な熱の逃し場の喪失(2/6)

○評価方法

- 炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に、以下の過程を特定する。
 - ・ 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷までの事象の過程

最終ヒートシンクが発生した場合、炉心およびSFPにおける燃料の重大な損傷を防止するためには、除熱機能が継続する必要がある、以下のフロー図のとおり継続時間を評価した。

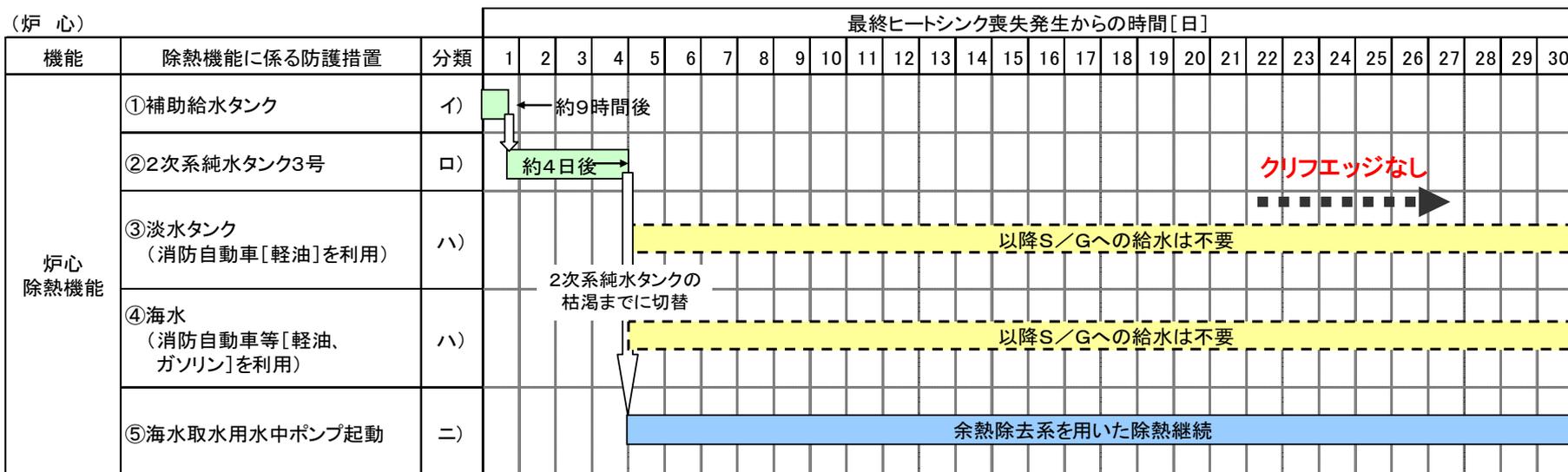
< 除熱機能の継続時間評価 >



最終的な熱の逃し場の喪失(3/6)

○評価結果 (炉心)

運転時に最終ヒートシンク喪失が発生した場合、S/Gからの蒸気を駆動源とするタービン動補助給水ポンプが自動起動し、S/G 2次側への給水を行い、原子炉の冷却を行う。
その後、海水取水用水中ポンプを用いることで炉心の冷却を余熱除去系を用いた冷却に切り替えることが可能であり、**燃料損傷に至らない**。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

最終的な熱の逃し場の喪失(4/6)

○評価結果 (SFP) — 運転時 —

使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行う。

海水を取水する際に使用する可搬型消防ポンプの燃料であるガソリンの消費が開始される時期が**約28日後**となるため、この期間がクリフエッジとなる。

(SFP)			最終ヒートシンク喪失発生からの時間[日]																														
機能	除熱機能に係る防護措置	分類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
SFP 除熱機能	①2次系純水タンク3号	イ)	約4日後 →																														
	②淡水タンク (消防自動車[軽油]を利用)	ハ)					約28日後 →																										
	③海水 (消防自動車[軽油]、 可搬型消防ポンプ [ガソリン]を利用)	ハ)																															
			発電所備蓄燃料より消防自動車に燃料供給																														
			ガソリン使用開始★ (クリフエッジ)																														
			発電所備蓄燃料より燃料供給 (軽油)																														
			外部から燃料調達により運転継続 (ガソリン)																														

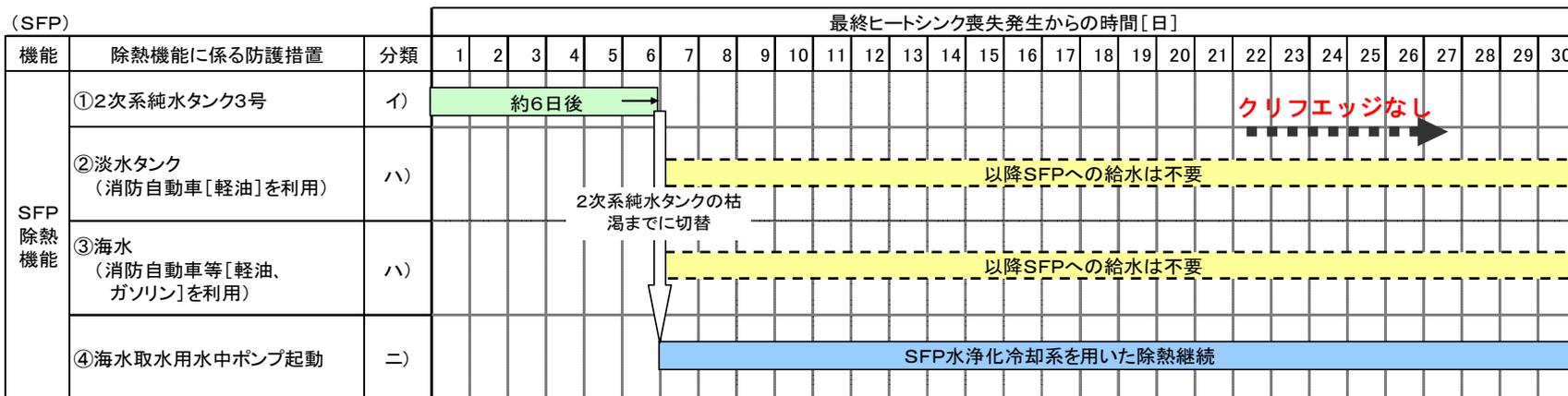
- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

最終的な熱の逃し場の喪失(5/6)

○評価結果 (SFP) —停止時—

停止時に最終ヒートシンク喪失が発生した場合、SFPの冷却機能が喪失し、使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行う。

その後、海水取水用水中ポンプを用いることで、使用済燃料の冷却をSFP水浄化冷却系を用いた冷却に切り替えることが可能であり、**燃料損傷に至らない**。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

最終的な熱の逃し場の喪失(6/6)

○まとめ

		クリフエッジ		安全対策の効果
		安全対策後 (対象機器等)	安全対策前 (対象機器等)	
○炉心にある燃料	運転時	燃料損傷に至らない (-)	約4日後 (2次系純水タンク3号)	海水取水用水中ポンプを用いることで炉心の冷却を余熱除去系を用いた冷却に切り替えることが可能となった。
○SFPにある燃料		約28日後 (可搬型消防ポンプの燃料であるガソリン)	約4日後 (2次系純水タンク3号)	消防自動車等を用いて、SFPへ水の補給を行うことが可能となった。
	停止時	燃料損傷に至らない (-)	約6日後 (2次系純水タンク3号)	海水取水用水中ポンプを用いることで、使用済燃料の冷却をSFP水浄化冷却系を用いた冷却に切り替えることが可能となった。

今後の取組

クリフエッジを防止するための対策として、発電所内に所有していないガソリンの消費が開始されるまでに陸路および空路による継続的な燃料補給を行うことで機能維持が可能である。

電源車、消防自動車などの運転に必要な燃料に関する補足

今回の伊方3号機を対象とした報告では、平成23年9月30日を評価時点としてクリフエッジを評価しているが、評価時点以降の電源車の入替えにより、軽油および重油の燃料消費は大幅に改善され、電源機能および除熱機能の継続時間は大幅に向上される。

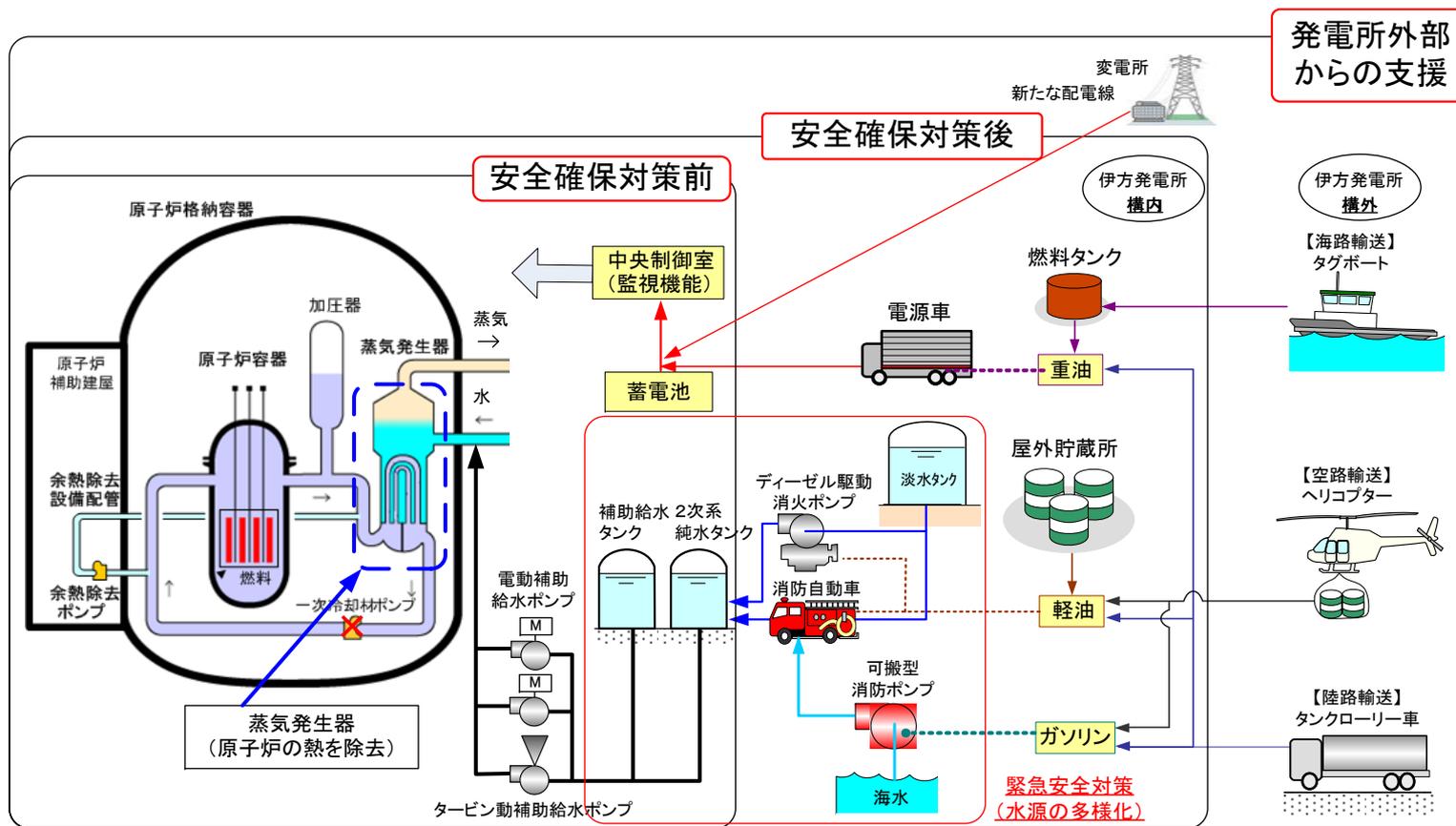
	重油	軽油
現在	<p>【クリフエッジ】</p> <p>*約10.7日</p> <p>◎電源車; 4,500kVA</p> 	<p>【クリフエッジ】</p> <p>*約8.2日</p> <p>◎電源車; 300kVA</p>  <p>◎消防自動車</p> 
平成23年12月中旬以降	<p>*約17日</p> <p>◎電源車; 1,825kVA</p>  	<p>*約43日</p> <p>◎消防自動車</p>  <p>◎電源車; 300kVA</p> 

*: 軽油および重油は発電所内
備蓄量が枯渇するまでの日数

・電源車燃料の重油化
・燃費向上化

全交流電源喪失および最終的な熱の逃し場の喪失に関する安全性

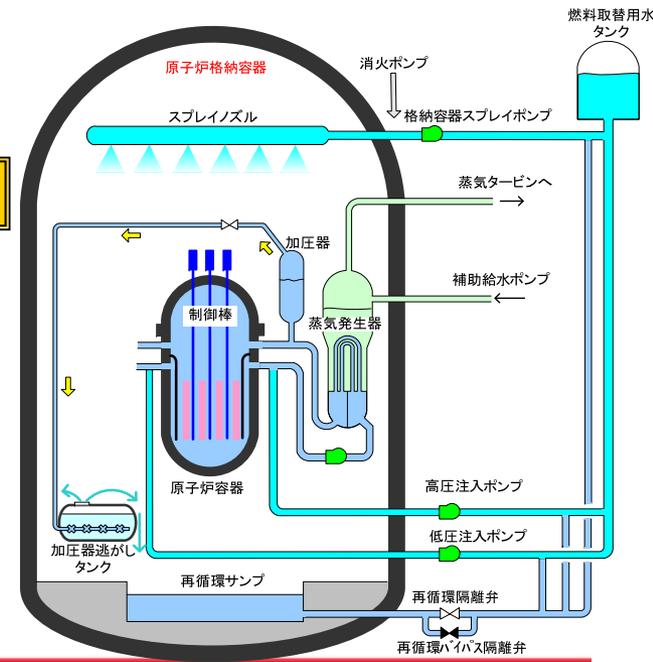
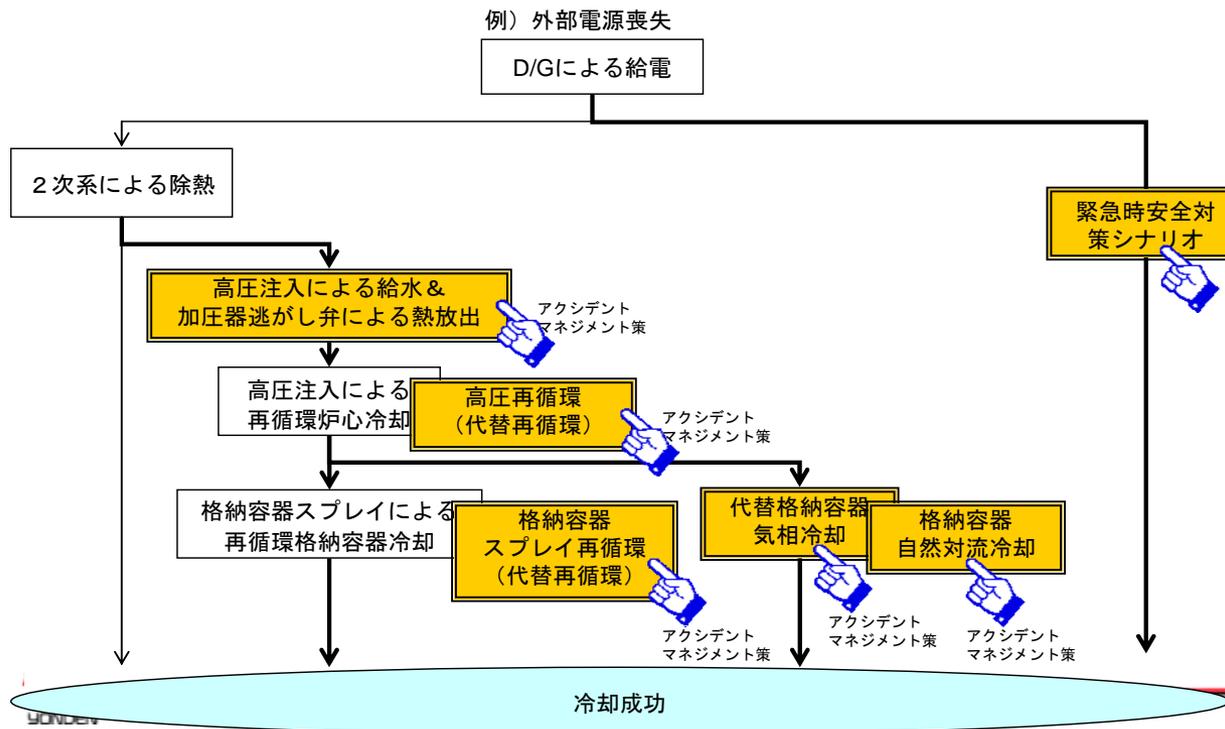
- 発電所外部からの支援がない状態で、電源機能および除熱機能が喪失するまでの時間を評価した。
- 電源車、消防自動車等の運転に必要な燃料を発電所構内に備蓄するとともに、この燃料がなくなるまでに、発電所への継続的な燃料輸送（陸路・海路・空路）による補給を行うことで、長期に亘る機能維持が可能であることを確認した。



その他のシビアアクシデント・マネジメント(1/2)

- これまでに整備しているアクシデントマネジメント検討報告書等で報告した防護措置について、多段の手段として燃料損傷等を防止することができることを確認した。
- 防護措置は、燃料損傷の防止等に有効であること、各安全機能に対して複数整備されていること等を確認した。

想定できない事故に遭遇した場合の備えとして、整備済みのアクシデントマネジメント対策や緊急時安全対策がソフト・ハードの両面から機能する。



その他のシビアアクシデント・マネジメント(2/2)

○評価方法と結果 (まとめ)

評価方法	評価結果
<ul style="list-style-type: none">・内の事象PSAで想定した起因事象を対象に、燃料の重大な損傷および放射性物質の大規模な放出に至る事象の過程を特定・事象の過程の進展を防止する防護措置について、整備の目的、内容および整備時期との関連で分類して抽出・既存の安全設備による機能が喪失した場合に、その機能を代替する防護措置を多重防護の観点から評価	<ul style="list-style-type: none">・シビアアクシデント(AM)検討報告書およびAM整備報告書で整備した対策は、原子炉の停止機能等のそれぞれの機能について多様性を持たせる形で整備されていること・緊急安全対策に係る対策では、炉心冷却機能としての2次系による炉心冷却、安全機能のサポート機能としての非常用電源および原子炉補機冷却水について、一層の強化がなされていること・シビアアクシデントへの対応に関する措置に係る対策では、特にサポート機能の信頼性向上に対して強化がなされていることから、特定した各種の防護措置は、燃料の重大な損傷および放射性物質の大規模な放出を防止するために閉じ込め機能の健全性を維持するための措置として、多重防護の観点から有効に整備されていることを確認した。

今後の取組

- ・恒設非常用発電機の設置等の各種対策の着実な実施により防護措置が一層強化され、手段の多様化を図ることができる。
- ・安全上重要な機器を設置しているエリアの防水対策等により、津波などの外部要因による浸水に対してより強固な設備となり、防護措置の信頼性向上を図ることができる。
- ・内線電話の交換機等の新事務所ビル(免震ビル)への移設等により、通信手段の信頼性向上を図ることができる。
- ・静的触媒式水素再結合装置等の設置により、水素爆発防止対策の充実を図ることができる。

伊方3号機一次評価結果の概要

項目	クリフエッジ評価結果			緊急安全対策前	
	評価の基準	対象となる設備			クリフエッジ
地震	基準地震動Ss (570gal)の倍数	炉心	直流電源装置	1.86 × 基準地震動 ^{(*)1}	1.86 × 基準地震動
		SFP ^{(*)2}	SFP	2.00 × 基準地震動	1.85 × 基準地震動
津波	想定津波高さ (T.P.+3.49m)を上回る高さ	炉心	タービン動補助給水ポンプ等	T.P.+14.2m	T.P.+10.2m
		SFP	—	燃料損傷に至らない	T.P.+10.3m
地震と津波との重畳	上記2事象の重畳	炉心		個別事象を合わせたものであることを確認	
		SFP			
全交流電源喪失	外部からの支援がない状態で燃料の冷却手段が尽きるまでの時間	炉心	電源車の燃料(重油)	^{(*)3} 約10.7日	約5時間(蓄電池)
		SFP	消防自動車の燃料(軽油)	^{(*)4} 約8.2日(運転時)	約22時間 (ヒット水100°C到達)
			電源車の燃料(重油)	^{(*)3} 約10.7日(停止時)	約8時間 (ヒット水100°C到達)
最終的な熱の逃し場の喪失	外部からの支援がない状態で燃料の冷却手段が尽きるまでの時間	炉心	—	燃料損傷に至らない	約4日 (2次系純水タンク)
		SFP	淡水タンクへの海水補給用ポンプの燃料(ガソリン)	約28日(運転時)	約4日 (2次系純水タンク)
			—	燃料損傷に至らない(停止時)	約6日 (2次系純水タンク)

*1: 耐震裕度は対策前と同じだが緊急安全対策により成功するシナリオは増加 *2: SFPは使用済燃料ピットの略

*3: 電源車により冷却系に給電し燃料を冷却

*4: プラント運転中は炉心冷却を優先することからSFPへの冷却は消防自動車による。

【備考】これらの評価結果は、一定の仮定に基づき健全性を評価したもので、これを超えた場合、直ちに燃料の健全性が損なわれるものではない。

まとめ

(1) 現状設備について最新の安全性の知見からみた再確認

→地震、津波、外部電源喪失等、最新の規格・基準・知見からみても十分なものとなっている。

(2) 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、追加すべきと考えられる安全対策等の実施状況の再確認

→国の指示事項は全て実施している。→独自の対策も追加実施した。

(3) 「最新の安全性の知見からみた再確認結果」および「福島事故を受けての取り組み」を踏まえ、ストレステスト手法により、地震、津波等について、安全裕度を定量的に評価

→炉心、使用済燃料ピットを冷却する機器・手段を全て洗い出し、多段に設計された一つの手段が使えなくても、他の手段で燃料の損傷を防ぐことが有効なものとなっている。

→設計上想定される以上の事象を仮定して伊方3号機が耐えられるか、点検した。その結果想定を超える自然災害に対して燃料の損傷に至ることはなく、十分な安全裕度を有することが確認された。

今後とも、中・長期的に計画している諸対策を確実に実施するとともに、新たな知見等が得られれば適時適切に対応することにより、さらなる安全運転の向上を目指してまいりたい。

【参考】原子力安全・保安院による審査状況(1/2)

○ 意見聴取会

これまで他社プラント分も含めて5回実施。

伊方3号機に関して委員から頂いたご意見のうち、当社からの回答済みの内容を下表に挙げる。

委員からのご意見	当社からの回答
<p>原子力安全・保安院が7月に示した評価フロー図、四国電力の11月の説明資料には「想定する地震を徐々に大きくし、機器の故障により冷却ができなくなる限界の大きさを評価」とあり、それがクリフエッジだと図で説明している。そのような作業を本当に実施しているのか。</p>	<p>各施設の評価にあたり、機器等線形解析を行っているものについてはS_sに対する評価値の裕度を算出し、非線形性の影響を考慮すべき建屋等、S_sを用いた裕度評価が適切でないものについては、$\alpha \times S_s$による評価を行うことにしている。当社説明資料「伊方発電所3号機 安全性に関する総合評価（ストレステスト）一次評価の評価フロー（例；地震）」（平成23年11月）には基準地震動S_sを入力した時の発生応力等を用いて許容値と比較し、裕度を算出するというプロセスを示している。</p>
<p>原子力安全委員会の原子力安全・保安院に対する指示において、評価対象事項として「シビアアクシデントに至った場合の影響緩和策」と明記されている以上、ストレステスト報告書にはそのような評価がなされていなければならないと考える。</p>	<p>当社は原子力安全・保安院の指示文書に基づき評価を行っており、その他シビアアクシデント・マネジメントの事項において、シビアアクシデント・マネジメント対策（燃料の重大な損傷を防止するための措置、放射性物質の大規模な放出を防止するために閉じ込め機能の健全性を維持するための措置）について、多重防護の観点からその効果を示している。ここで、「シビアアクシデントに至った場合の影響緩和策」とは、放射性物質の大規模な放出を防止するために閉じ込め機能の健全性を維持するための措置に対応するものである。</p>

【参考】原子力安全・保安院による審査状況(2/2)

○ 原子力安全・保安院、(独)原子力安全基盤機構による審査

- ・ 地震、津波及び地震・津波の重畳を起因とした全交流電源喪失、最終ヒートシンクの喪失に至る事故シナリオに関する評価
- ・ 緊急安全対策等、事象の進展に応じて必要となる防護措置の成立性及び信頼性
- ・ 解析結果における品質保証に係る取り組み状況
- ・ 地震に係るストレステストに対する経年変化の考慮としての経年変化要素の網羅性、耐震性への影響度合いを考慮した要素の選定、当該要素が顕在化する可能性がある設備及び部位の選定
- ・ MOX燃料の炉心への装荷条件、使用済燃料ピットの貯蔵条件、炉心及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価に用いた崩壊熱におけるアクチニド核種の取扱い

等の質問を受けており、適宜説明を行っている。