

美浜発電所1号機ストレステスト評価 (詳細資料)

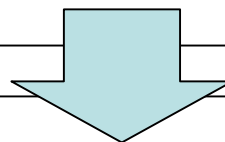
安全性に関する総合評価(ストレステスト)について

1-1

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

- 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、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。

ストレステスト一次評価の項目

- p 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
- p 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
- p 地震と津波の重畳**
想定を超える地震と津波の同時発生にどの程度まで燃料損傷せずに耐えられるか評価
- p 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まで燃料損傷せずに耐えられるか評価
- p 最終ヒートシンク喪失**
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
- p シビアアクシデントマネジメント**
これまでに事業者が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

地震の評価方法(原子炉にある燃料に対する評価)

2-1

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

2-3



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

2-4



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

2-5



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

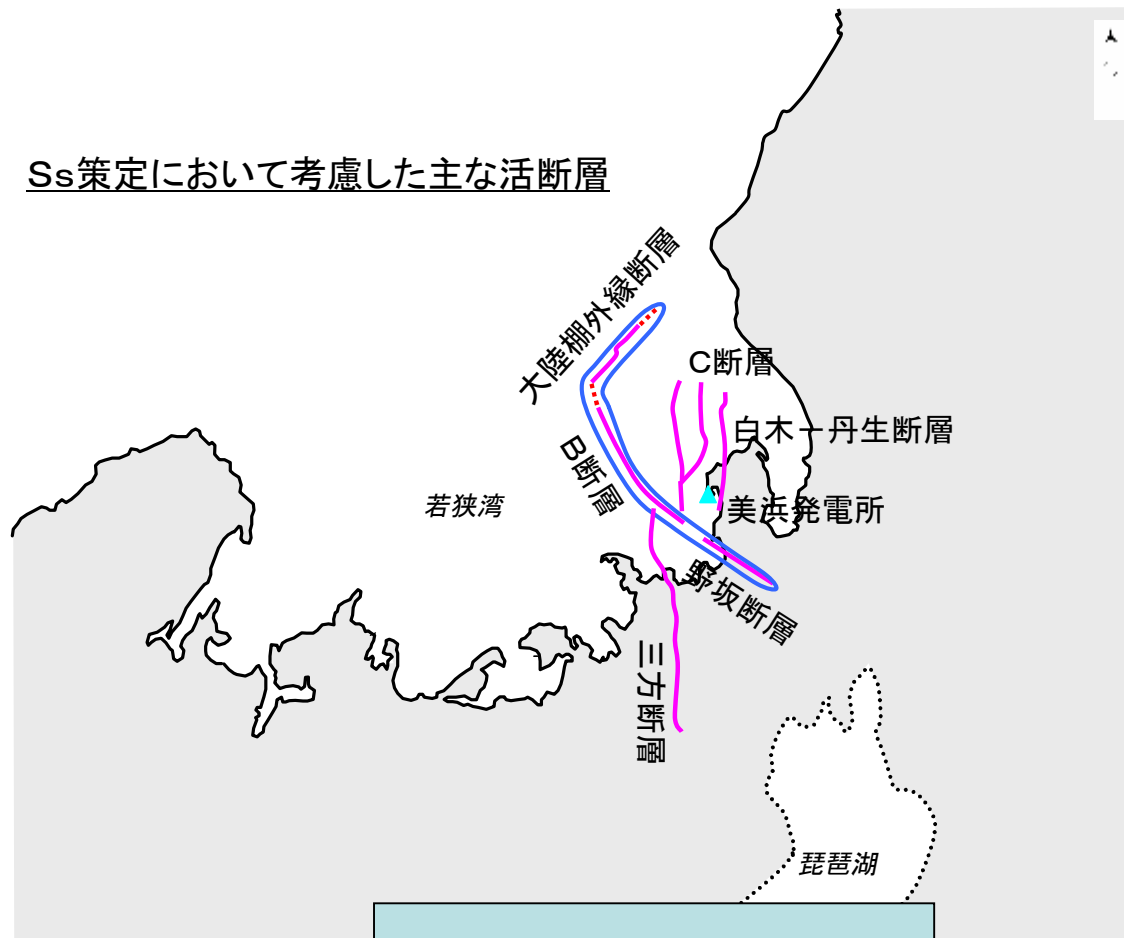
2-6

(※)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

- 〇基準地震動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。
- 〇評価の指標である基準地震動Ss(750gal)は、活断層の同時活動を考慮し、地震動を強く放出する部分を敷地近傍に配置するなど、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策定した。

Ss策定において考慮した主な活断層



基準地震動: 750gal

〇C断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果等を参考に、基準地震動Ss(750gal)を策定。

〇断層モデルによる地震動評価については、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。

〇大陸棚外縁断層、B断層、野坂断層については、別々に活動するのではなく、同時に活動すると仮定し、断層長(49km)に基づき評価を実施。

起因事象の特定(原子炉にある燃料に対する評価)

2-3

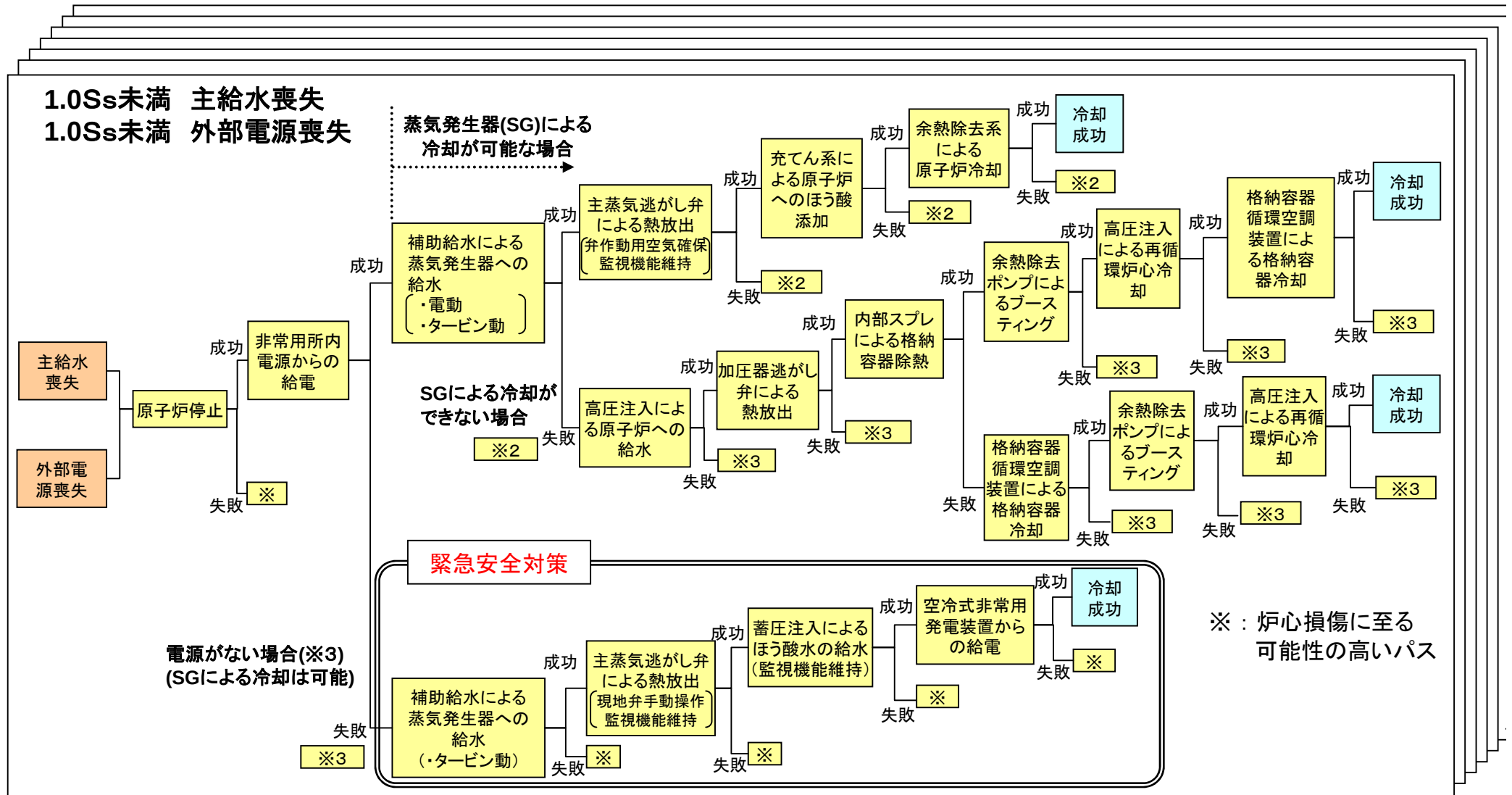
Step1

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	1次系冷却水クーラ	1.30
炉心損傷直結	原子炉盤	1.7
小破断による 原子炉冷却材喪失(LOCA)	小破断LOCA関連配管	2.06
大破断による 原子炉冷却材喪失(LOCA)	大破断LOCA関連配管	2.12
2次系破断	主蒸気ライン配管	2.18
中破断による 原子炉冷却材喪失(LOCA)	中破断LOCA関連配管	2.26
格納容器バイパス	蒸気発生器(内部構造物)	2.45

2-4

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)

2-5

Step3

緩和機能を構成する個別機器の耐震裕度を算出する

原子炉
停止

1.83

非常用所内電
源からの
給電

1.60

補助給水による
蒸気発生器
への給水

1.95

主蒸気逃がし弁
による熱放出

1.93

蓄圧注入による
原子炉への
ほう酸水の給水

1.95

空冷式非常用
発電装置からの
給電

1.67

充てん系による
原子炉への
ほう酸水の給水

1.12

冷却系
による
冷却

	設備		単位	評価値 (a)	許容値 (b)	裕度 (b/a)
フロント	空冷式非常用発電装置			1.80 × Ssに對し、転倒しないことを確認。また地震の影響のないように保管。		1.80
	空冷式非常用発電装置 中継・接続盤		MPa	18	168	9.33
サポート系	6.6kV AC電源	高電圧用開閉装置	G	4.55	7.60	1.67
	440V AC電源	パワーセンタ	G	2.80	5.01	1.78
		原子炉コントロールセンタ	G	4.23	7.10	1.67
		動力変圧器	MPa	63	210	3.33
	125V DC電源	直流き電盤	G	6.13	12.00	1.95
		ドロツパ盤	G	3.97	8.00	2.01
		中央制御室直流分電盤	G	4.47	12.00	2.68
		リレー室直流分電盤	G	4.47	12.00	2.68
		整流器	G	3.85	9.90	2.57
	115V AC電源	計器用電源盤	G	5.53	12.00	2.16
		計器用分電盤	G	3.66	8.00	2.18

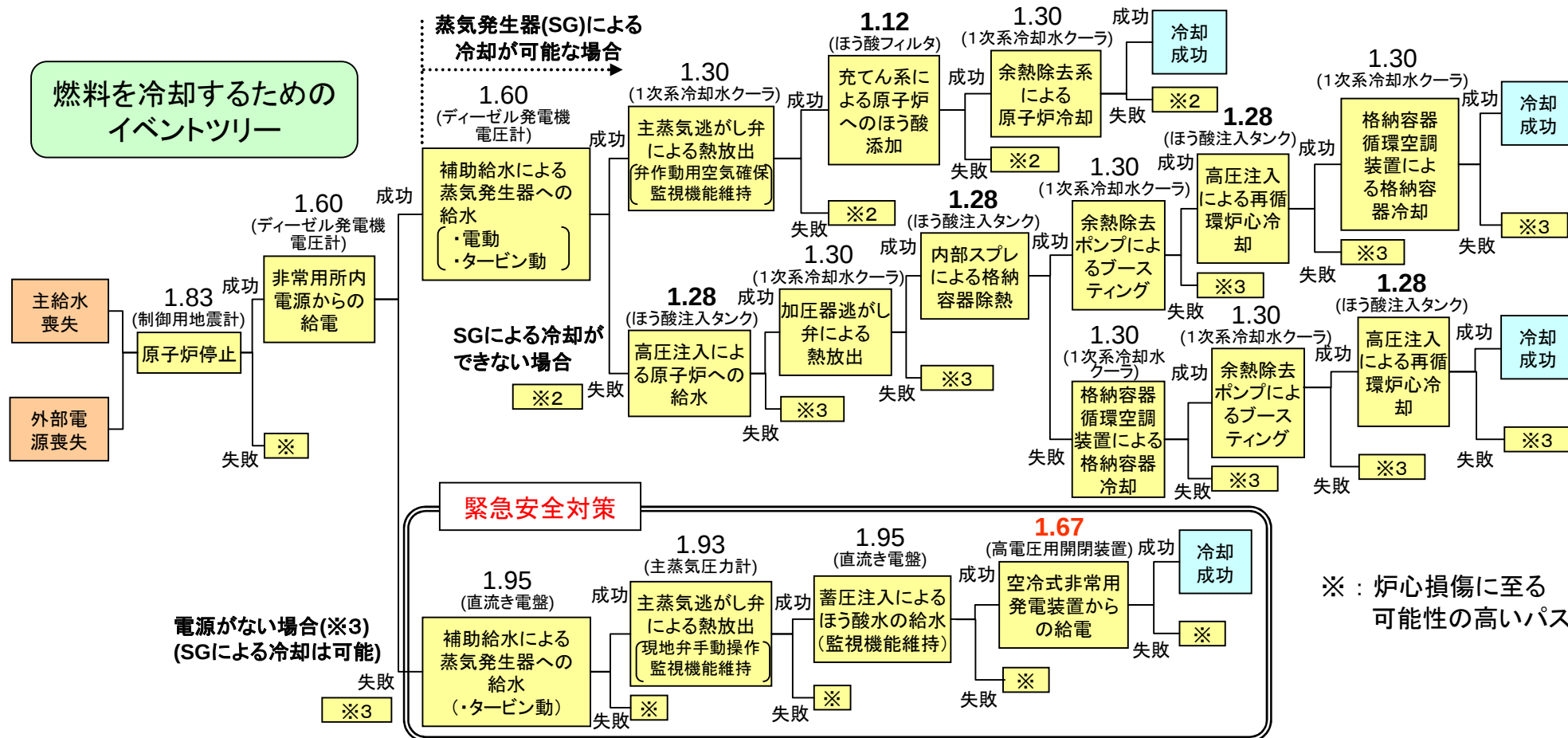
2-6

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)を特定する

[illegible]

- 基準地震動1. 12倍未満ですべての緩和機能が機能し成功に至る パス①
- 基準地震動1. 12倍になると、充てん系によるほう酸の添加に失敗するが、冷却成功に至る パス②
- 基準地震動1. 28倍になると、ほう酸注入タンクが損傷し、複数の緩和手段が喪失するが、冷却成功に至る パス③
- 基準地震動1. 67倍になると、高電圧用開閉装置が損傷し、影響緩和機能に関連する設備への給電失敗で緩和手段がなくなり、クリフエッジとなる

燃料を冷却するための イベントツリー



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地震動と基準地震動Ss(750gal)との比較	約1.67倍(1252.5gal相当)	約1.28倍(960gal相当)	約30%向上
対象となる機器	高電圧用開閉装置	ほう酸注入タンク	

➡ 設計想定約1.67倍未満の地震が発生した場合であっても、炉心を冷却することが可能

地震に関する評価方法と結果(まとめ)

2-8

評価方法と評価結果(概要)

評価方法	評価結果
地震によって発生する起因事象とその収束のための緩和手段の抽出	地震が発生した場合の燃料冷却手段として、設計上考慮している冷却手段の他に、アクシデントマネジメントとして整備した冷却手段、今回安全確保対策として整備した冷却手段と多様性を持った冷却手段があることを確認した。
抽出された緩和手段がどの程度の地震動まで利用できるかを確認(※)	・安全確保対策を講じる以前では、基準地震動S_s(750gal)の約1.28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、約1.28倍を超える地震に対しては、ほう酸注入タンクが構造損傷することにより、炉心を冷却する複数の機能が喪失した場合でも、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)が約1.67倍※まで利用可能であることを確認した。 (※)高電圧用開閉装置の値
地震動を徐々に上げていき、燃料を冷却するためのあらゆる手段が喪失し、燃料の重大な損傷が避けられなくなるような地震動レベル(クリフエッジとしての地震動)を評価	
緊急安全対策前後でのクリフエッジの改善効果を評価	緊急安全対策によって、クリフエッジ地震動が約30%向上したことを確認した。

更なる取り組み

約1.67倍を超える地震に対しては、全ての冷却手段が喪失するとの評価結果となったが、クリフエッジ機器となった高電圧用開閉装置についての耐震裕度は加振試験での動作確認範囲の上限であり、実際には機能喪失に至る値にはまだ余裕があると見込まれる。今後、研究等により、設備耐震裕度をより正確に把握する。

また、クリフエッジ機器となる高電圧用開閉装置については、複数のユニットがあり、使用予定のしゃ断器がリレーの損傷等により投入できなかった場合においても、使用可能な他のユニットを使用することにより、クリフエッジへの対応を確実にするための工夫をしている。

津波の評価方法(原子炉にある燃料に対する評価)

Step1

【起因事象の特定】

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】

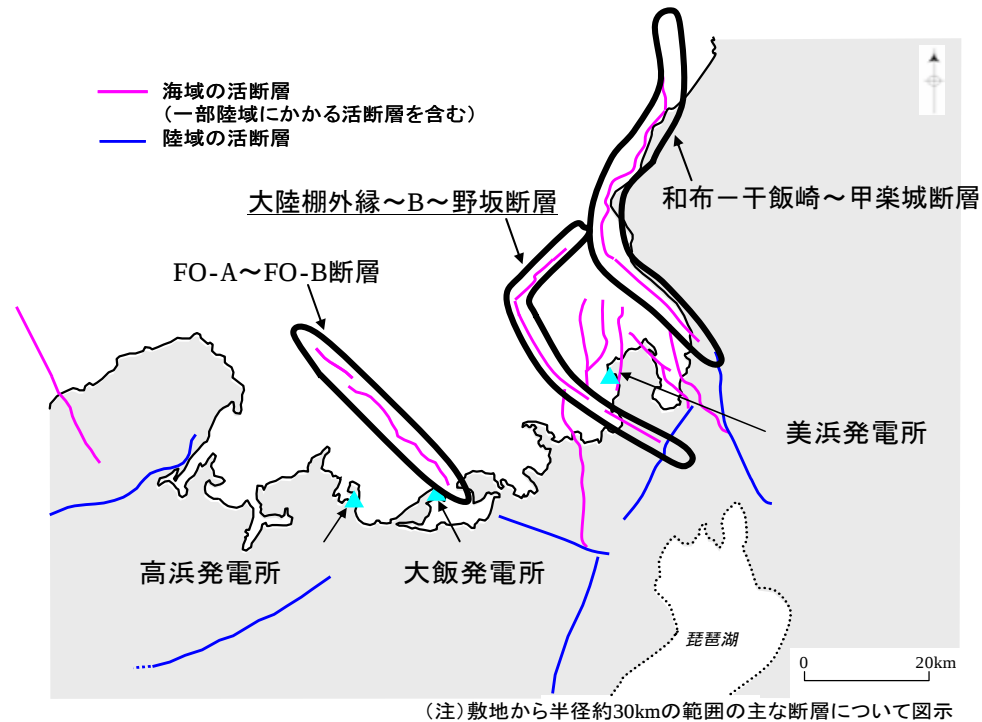
燃料損傷に進展しないよう収束させるシナリオが成立しなくなる津波高さ(クリフエッジ)を特定し、緊急安全対策実施前後を比較する

(※)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)

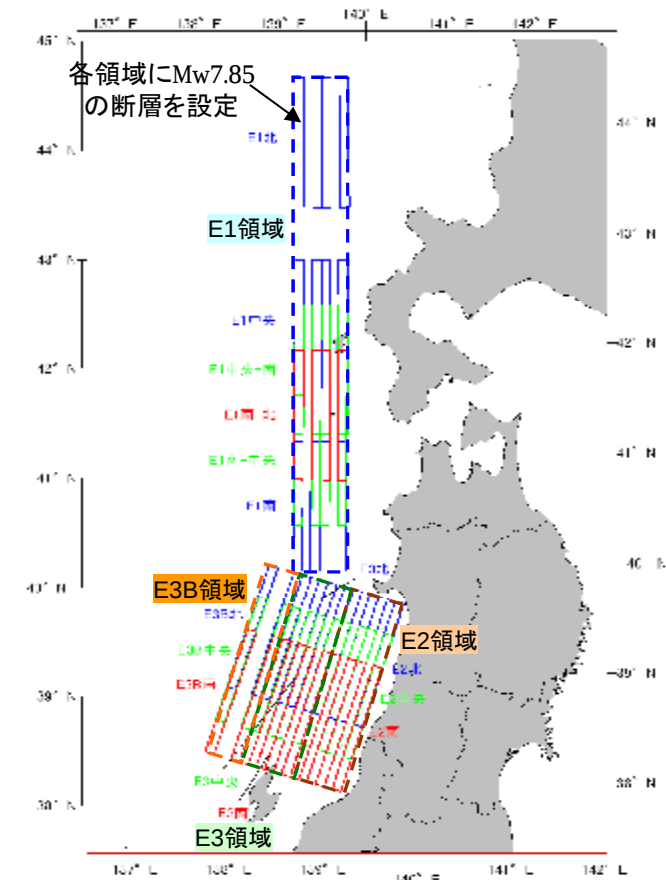
- 別々に活動すると完全に言い切れないものについては、活断層の同時活動も考慮するなど厳しい条件で想定津波高さ評価を実施している。



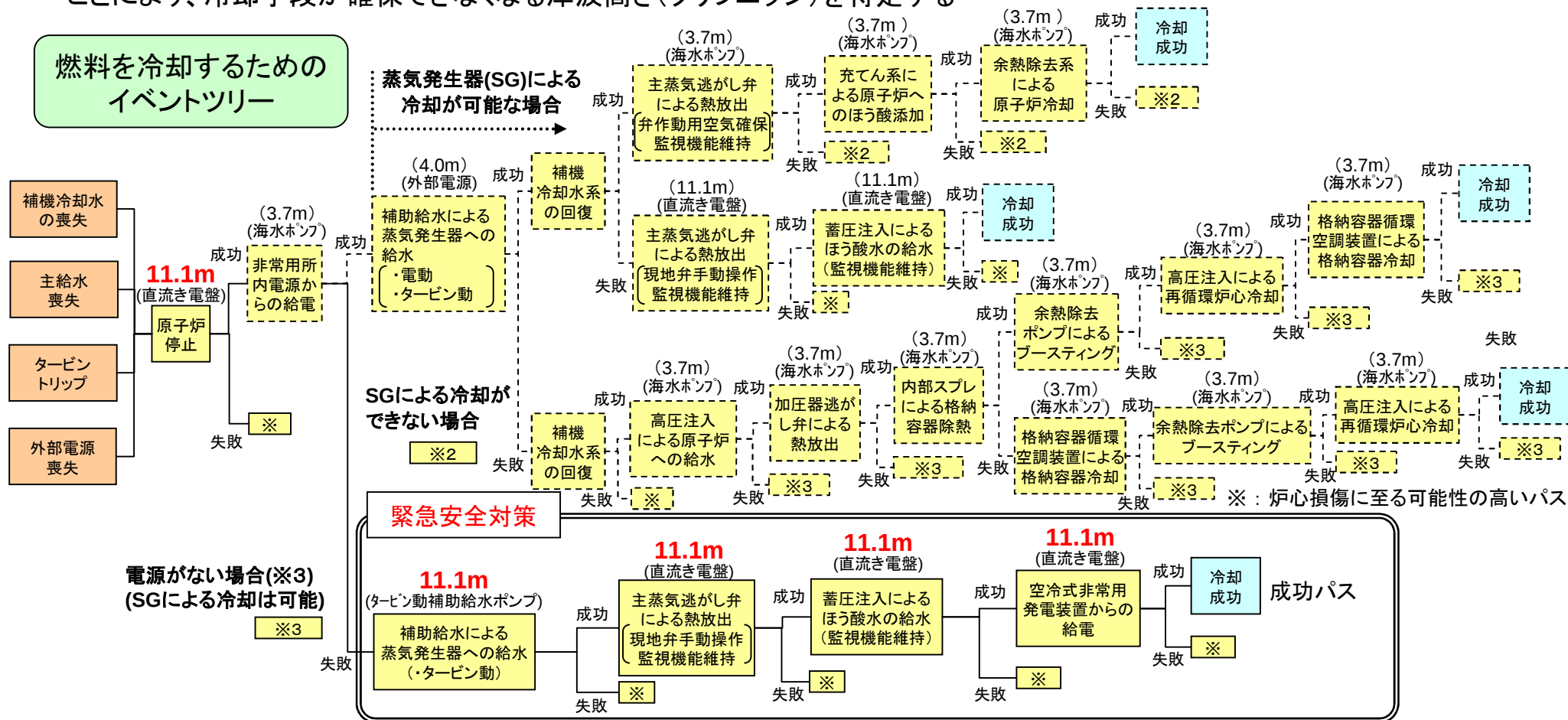
想定津波高さ: 2.37m

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。



燃料を冷却するための イベントツリー



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(2.37m)との比較	約4.6倍(11.1m)	約1.5倍(3.7m)	約200%向上
対象となる機器	タービン動補助給水ポンプ等	海水ポンプ	

➡ 設計想定約4.6倍未満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

津波に関する評価方法と結果(まとめ)

3-4

評価方法と評価結果(概要)

評価方法	評価結果
津波によって発生する起因事象とその収束のための緩和手段の抽出	津波が発生した場合の燃料冷却手段として、設計上考慮している冷却手段の他に、アクシデントマネジメントとして整備した冷却手段、今回安全確保対策として整備した冷却手段と多様性を持った冷却手段があることを確認した。
抽出された緩和手段がどの程度の津波高さまで利用できるかを確認	・安全確保対策を講じる以前では、想定津波高さ(2.37m)の約1.5倍(3.7m)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1.5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4.6倍(11.1m)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。
津波高さを徐々に上げていき、燃料を冷却するためのあらゆる手段が喪失し、燃料の重大な損傷が避けられなくなるような津波高さレベル(クリフエッジとしての津波高さ)を評価	
緊急安全対策前後でのクリフエッジの改善効果を評価	緊急安全対策によって、クリフエッジ津波高さが約200%向上したことを確認した。

更なる取り組み

約4.6倍(11.1m)を超える津波高さに対しては、全ての冷却手段が喪失するとの評価結果となったが、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すると共に、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にしている。また、津波の衝撃力の緩和及び浸水対策の観点から、防潮堤の設置を行うと共に、海水ポンプエリアに防護壁の設置を行うことにより、多重防護の観点での対策を充実することとしている。

地震と津波の重畳の評価方法

【評価の定義】

地震単独、津波単独の評価結果から、地震単独評価に津波の影響、津波単独評価に地震の影響を付加し、相互にその影響を評価する

Step1-1

【地震に対する津波の影響評価】

地震単独の評価に津波の影響による機器の損傷評価を付加

Step1-2

【津波に対する地震の影響評価】

津波単独の評価に地震の影響による機器の損傷評価を付加

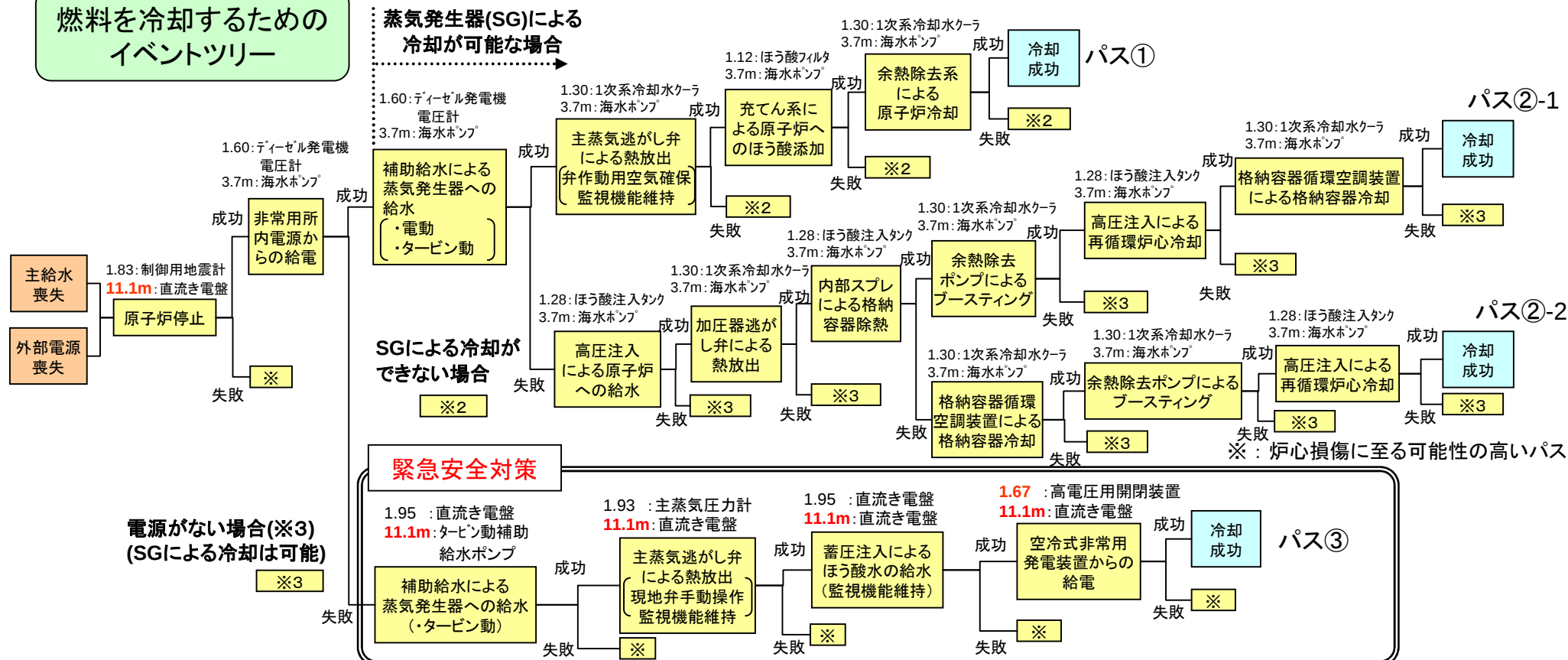
Step2

【クリフエッジの特定】

燃料損傷に進展しないように収束させるシナリオが成立しなくなる地震と津波高さレベルの組み合わせをクリフエッジとして特定する

(※) 地震と津波の大きさには相関性があると考えられるが、保守的に各々独立として扱い、地震と津波の単独評価で得られたクリフエッジの範囲まで評価

燃料を冷却するための イベントツリー



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地震動及び津波高さ(基準地震動Ss750gal)及び想定津波高さ(2.37m)との比較	<地震> 約1.67倍 (1252.5gal相当)	<津波> 約4.6倍 (11.1m)	<地震> 約1.28倍 (960gal相当)	<津波> 約1.5倍 (3.7m)	(1.28Ss、3.7m) ↓ (1.67Ss、11.1m)
対象となる機器	高電圧用開閉装置	タービン動補助給水ポンプ等	ほう酸注入タンク	海水ポンプ	

➡ 設計想定約1.67倍未満の地震と約4.6倍未満の高さの津波が同時に発生した場合であっても、炉心を冷却することが可能

地震と津波の重畳の評価(重畳の定義)

4-3

1. 重畳評価とは

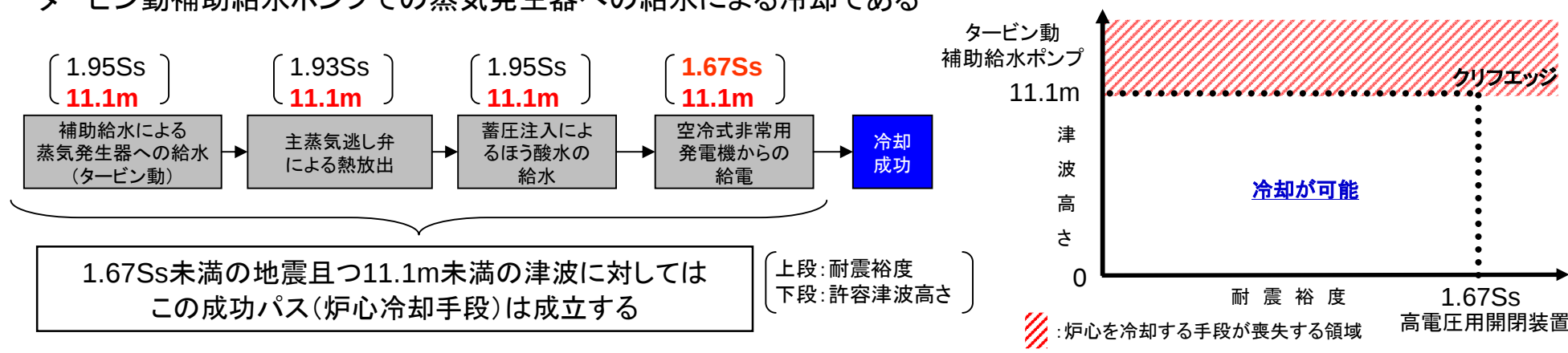
地震単独の評価では、地震に対するクリフエッジ(下図の横軸)が特定され、津波単独の評価では、津波に対するクリフエッジ(下図の縦軸)が特定された。重畳評価では、上記の評価を踏まえ、クリフエッジに該当する機器が、地震に対しては強いが、津波に対しては脆弱でないか等の観点で整理したものである。

2. 美浜1号機の重畳評価結果

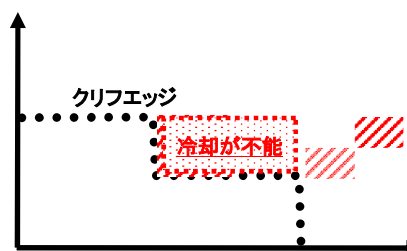
地震に対する成功パスに津波を考慮した評価と、津波に対する成功パスに地震を考慮した評価により、成功パスが成立する(炉心を冷却するための機器等が機能喪失をしない)地震と津波の組合せの範囲を特定

【評価結果(例)】

今回は、地震に対しても、津波に対しても、最も強靱な炉心冷却手段は、同一であり、タービン動補助給水ポンプでの蒸気発生器への給水による冷却である



3. 参考



地震に対する成功パスと津波に対する成功パスが異なる場合は、地震に対する成功パスに津波が影響することがあり、左図のとおり、段差のある表になり、冷却が不能な状況が発生する可能性があるが、今回は地震に対する成功パスと津波に対する成功パスが同一であり、地震に対する成功パスに対して津波が影響することがないことが確認された。

地震と津波の重畳に関する評価方法と結果(まとめ)

4-4

評価方法と評価結果(概要)

評価方法	評価結果
地震単独と津波単独の評価データをベースに、《耐震裕度、設計津波高さ》の組合せにおける事象収束のための緩和手段抽出	・地震と津波の重畳においても、単独評価と同様、設計上考慮した冷却手段、アクシデントマネジメントで整備した冷却手段、安全確保対策で整備した冷却手段と多様性を持った冷却手段があることを確認した。
地震および津波による機器の損傷により燃料の重大な損傷が避けられなくなるような地震動レベル(クリフエッジとしての地震動)、津波高さレベル(クリフエッジとしての津波高さ)を評価	・安全確保対策を講じる以前では、基準地震動の約1.28倍と想定津波高さ約1.5倍までの組合せで、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。 ・それを超える地震動と津波高さの組合せに対しても安全確保対策により整備した冷却手段(消防ポンプ、空冷式非常用発電装置等)が利用可能であることを確認した。 ・クリフエッジとしては、基準地震動の約1.67倍と想定津波高さ約4.6倍の組合せになると評価された。
緊急安全対策前後でのクリフエッジの改善効果を評価	・緊急安全対策によって、(耐震裕度、許容津波高さ)の組合せクリフエッジが(1.28倍、3.7m)から(1.67倍、11.1m)に向上したことを確認した。

更なる取り組み

地震や津波に対するクリフエッジへの対応を強化する等の改善策を確実に推進していく。

全交流電源喪失(SBO)と 最終ヒートシンク喪失(LUHS)の評価方法

Step1

【起因事象の特定】

○全交流電源喪失(SBO)

発電所が完全に停電(全交流電源喪失)したことを想定する

○最終ヒートシンク喪失(LUHS)

発電所の海水による冷却が機能喪失したことを想定する



Step2

【緩和系機器・措置の抽出】

原子炉および使用済燃料ピット冷却のために必要な給水機能と電源機能を抽出する



Step3

【緩和系機器の継続時間評価】

各機能の継続可能時間を評価する



Step4

【クリフエッジの特定】

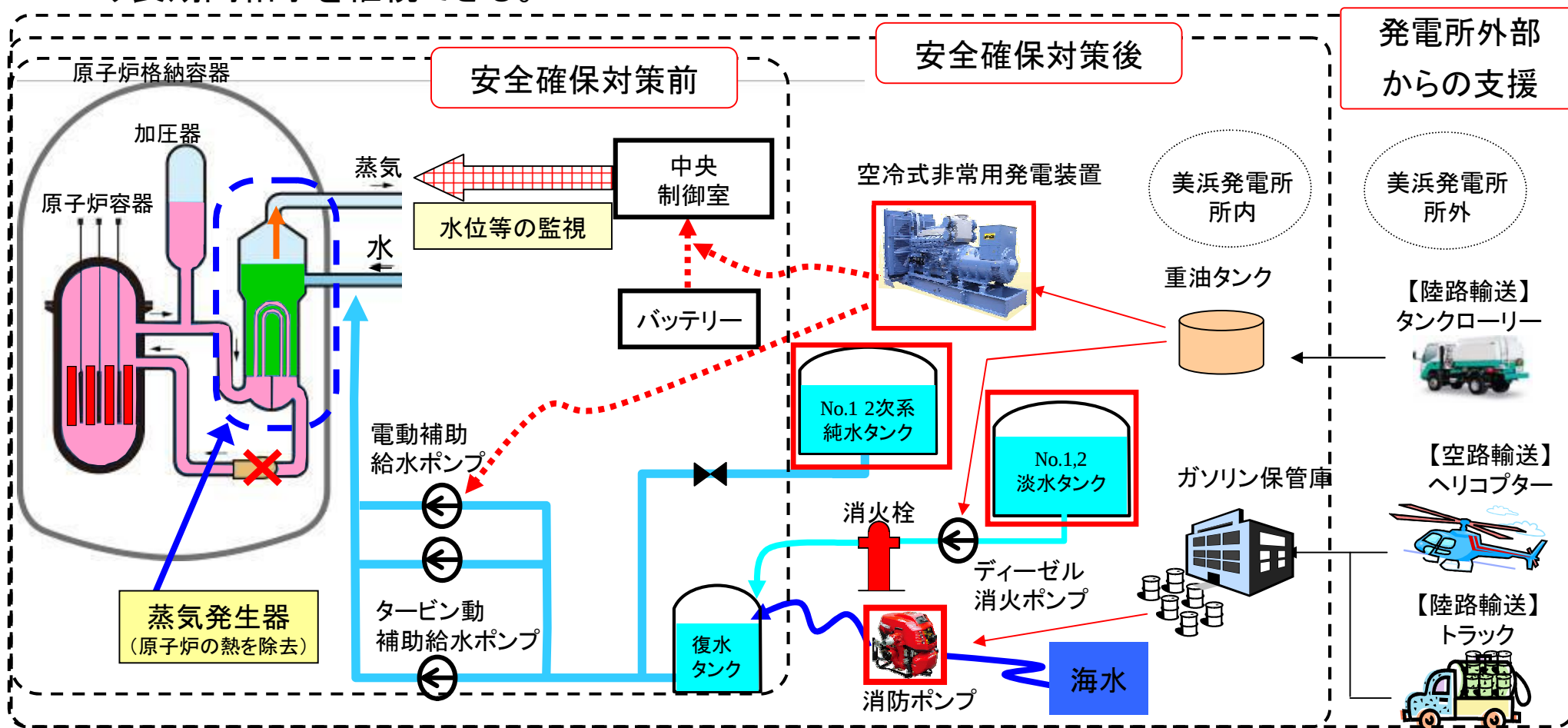
外部からの支援なしで各機能を継続できなくなるまでの時間(クリフエッジ)を特定する

(※)手順が整備されていない対策などについては実施できる可能性があるものでも期待しないなど保守的な条件で評価

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

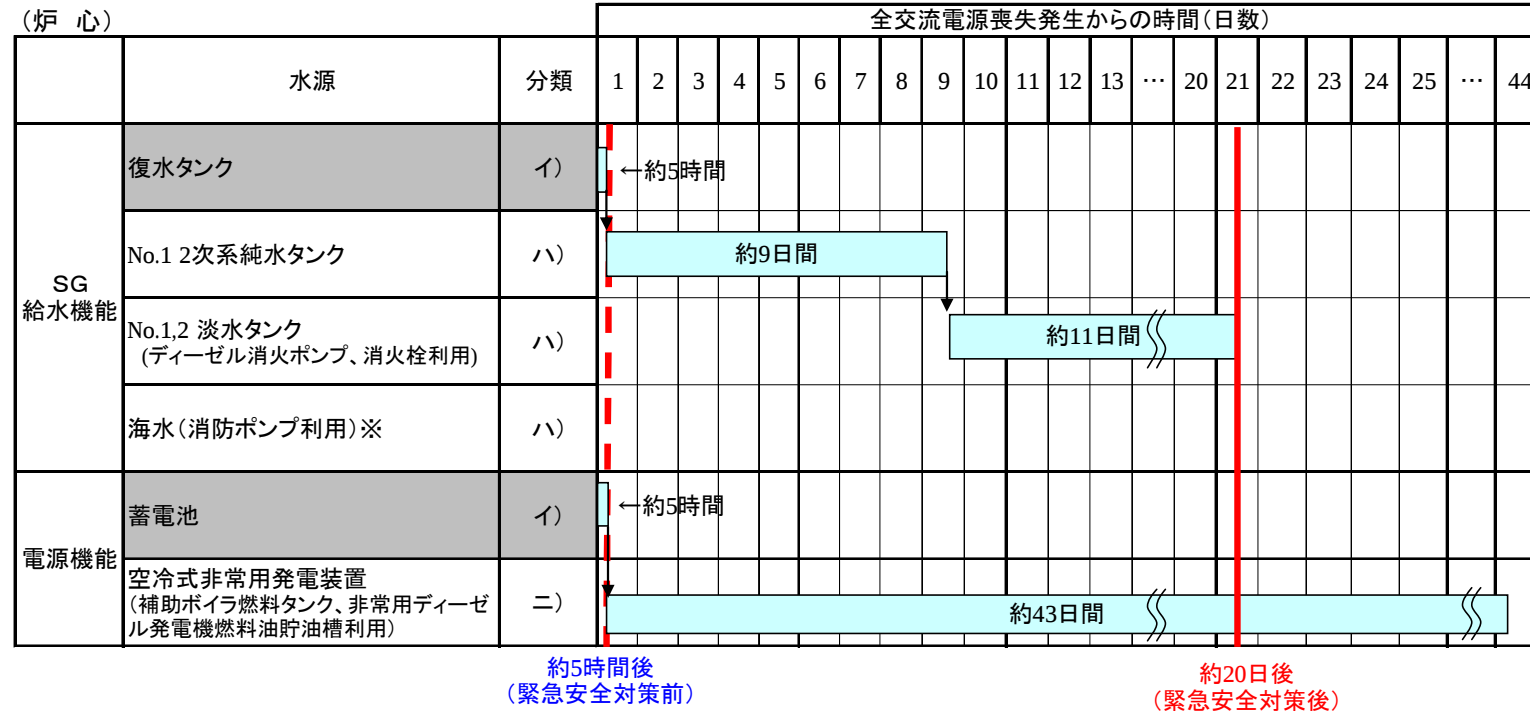
5-2

- ❶ 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の冷却を約20日間継続できる**こととなった。
- ❷ 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。



全交流電源喪失の評価(原子炉運転中)

全交流電源喪失が発生するとの想定で、燃料を冷却するために必要な給水機能や電源機能が喪失することにより、外部からの支援なしで冷却が継続できなくなるまでの時間(クリフエッジ)を特定する



※: 消防ポンプはガソリンにより稼動。発電所備蓄ガソリンは他号機に使用して約13日後に枯渇するため、以降においては使用できない。

イ) 工事計画で対象とした設備
ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
ハ) 緊急安全対策(短期)
二) 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)

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 確保できなくなるまでの時間	約20日後	約5時間後	約96倍に向上
対象となる機器等	水源補給用消防ポンプガソリン	蓄電池	

➡ 評価結果は外部から支援を期待するに十分な時間であり、また、ガソリン補給のためにヘリコプターによる空輸を行う仕組みも構築しており、クリフエッジは回避できる

全交流電源喪失に関する評価方法と結果(まとめ)

5-4

評価方法と評価結果(概要)

評価方法	評価結果
全交流電源喪失が発生した場合の原子炉冷却のために必要な給水機能と電源機能の手段を抽出する	全交流電源喪失が発生した場合の原子炉冷却のために必要な給水機能と電源機能の手段として、設計上考慮している冷却手段の他に、今回安全確保対策として整備した冷却手段と多様性を持った冷却手段があることを確認した。
各機能の継続可能時間を評価する	・安全確保対策を講じる以前では、電源が蓄電池のみであったため、タービン動補助給水ポンプを用いた炉心燃料の冷却は約5時間利用可能であった。 ・安全確保対策により、空冷式非常用発電装置を配備して電源供給を長期化したことや各種タンクからの給水や消防ポンプを用いた給水手段を整備したことにより約20日間、継続して炉心燃料を冷却できることを確認した。 ・評価結果は外部から支援を期待するに十分な時間であり、また、ガソリン補給のためにヘリコプターによる空輸を行う仕組みも構築しており、クリフエッジは回避できる。
外部からの支援なしで各機能を継続できなくなるまでの時間(クリフエッジ)を特定する	
緊急安全対策前後でのクリフエッジの改善効果を評価	緊急安全対策によって、炉心はクリフエッジが約96倍に向上したことを確認した。

更なる取り組み

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になっている。

最終ヒートシンク喪失の評価(原子炉運転中)

最終ヒートシンク喪失が発生するとの想定で、燃料を冷却するために必要な給水機能が喪失することにより、外部からの支援なしで冷却が継続できなくなるまでの時間(クリフエッジ)を特定する

(炉 心)		最終ヒートシンク喪失発生からの時間(日数)																											
	水源	分類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	20	21	22	23	24	25	26	...					
SG 給水機能	復水タンク	イ)	←約5時間																										
	No.1 2次系純水タンク	ハ)	約9日間																										
	No.1,2 淡水タンク (ディーゼル消火ポンプ、消火栓利用)	ハ)																											
	海水(消防ポンプ利用)※	ハ)																											

約5時間後
(緊急安全対策前)

※: 消防ポンプはガソリンにより稼動。発電所備蓄ガソリンは他号機に使用して約13日後に枯渇するため、以降においては使用できない。

約20日後
(緊急安全対策後)

- イ) 工事計画で対象とした設備
ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
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)

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 確保できなくなるまでの時間	約20日後	約5時間後	約96倍に向上
対象となる機器等	水源補給用消防ポンプガソリン	蒸気発生器給水用水源	

➡ 評価結果は外部から支援を期待するに十分な時間であり、また、ガソリン補給のためにヘリコプターによる空輸を行う仕組みも構築しており、クリフエッジは回避できる

最終ヒートシンク喪失に関する評価方法と結果(まとめ)

5-6

評価方法と評価結果(概要)

評価方法	評価結果
最終ヒートシンク喪失が発生した場合の原子炉冷却のために必要な給水機能の手段を抽出する	最終ヒートシンク喪失が発生した場合の原子炉冷却のために必要な給水機能と電源機能の手段として、設計上考慮している冷却手段の他に、今回安全確保対策として整備した冷却手段と多様性を持った冷却手段があることを確認した。
各機能の継続可能時間を評価する	・安全確保対策を講じる以前では、蒸気発生器の給水源として既に手段を整備していた復水タンクが枯渇するまでの期間として約5時間、炉心燃料の冷却が可能であった。 ・安全確保対策により、各種タンクからの給水や消防ポンプを用いた給水手段を整備したことにより約20日間、継続して炉心燃料を冷却できることとなった。 ・評価結果は外部から支援を期待するに十分な時間であり、また、ガソリン補給のためにヘリコプターによる空輸を行う仕組みも構築しており、クリフエッジは回避できる。
外部からの支援なしで各機能を継続できなくなるまでの時間(クリフエッジ)を特定する	
緊急安全対策前後でのクリフエッジの改善効果を評価	緊急安全対策によって、炉心はクリフエッジが約96倍に向上したことを確認した。

更なる取り組み

1次系冷却水クーラに海水を供給して余熱除去クーラを介して燃料の崩壊熱を除去できるようディーゼル駆動の大容量ポンプを配備したことによって、最終ヒートシンクの多様化が図られている。
また、海水ポンプ電動機予備品を確保したことによって、海水ポンプの早期復旧が図られている。

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）

		全交流電源喪失発生からの時間（日数）															
水源		1	2	3	...	8	9	...	18	19	20	21	...	43	44		
電源機能	蓄電池	←約5時間															
	空冷式非常用発電装置																
	（非常用ディーゼル発電機燃料油貯油槽） 202m ³	約43日間															
	（補助ボイラ燃料タンク） 210m ³																
S G 給水機能	復水タンク※2 200m ³	←約5時間															
	No.1 2次系純水タンク 1,230m ³	約9日間															
	No.1,2 淡水タンク （ディーゼル消火ポンプ、消火栓利用） 902m ³	約11日間															
	海水（消防ポンプ利用）※1 所内備蓄ガソリン3,000ℓ																

約20日後

※1: 1～3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。ガソリンは他号機に利用して約13日後に枯渇するため、以降においては消防ポンプは使用できない。

全交流電源喪失（地震・津波の重畳）

		地震（1.67×Ss）、津波（11.1m）発生からの時間（日数）															
水源		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	22	23	24		
電源機能	蓄電池	←約5時間															
	空冷式非常用発電装置																
	（非常用ディーゼル発電機燃料油貯油槽） 202m ³	約23日間															
	（補助ボイラ燃料タンク） 利用不可																
S G 給水機能	復水タンク※2 230m ³	←約7.1時間															
	No.1 2次系純水タンク 利用不可																
	No.1,2 淡水タンク （ディーゼル消火ポンプ、消火栓利用） 利用不可																
	海水（消防ポンプ利用） 所内備蓄ガソリン3,000ℓ	約8.0日間															

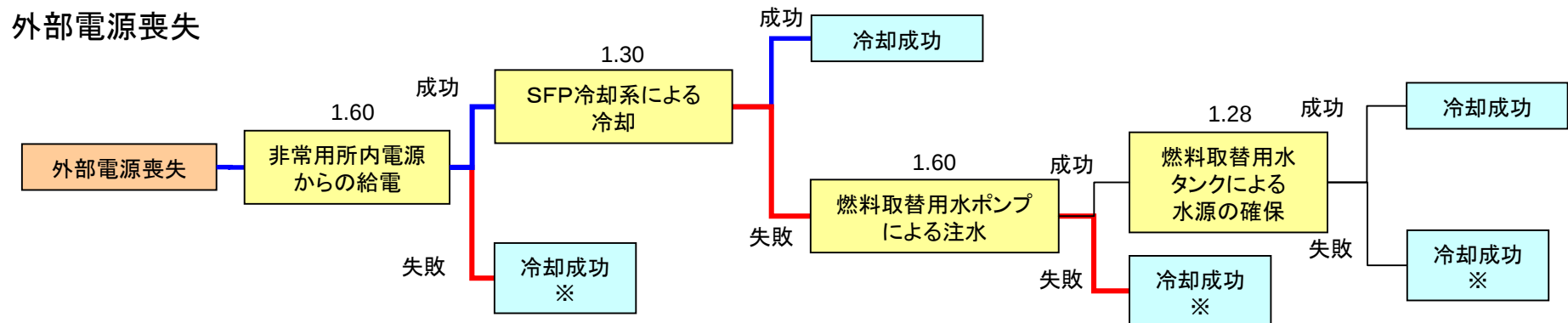
約8.3日後

※2: 全交流電源喪失（基本シナリオ）の評価では復水タンクの水位を保守的に保安規定値（200m³）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（230m³）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。

使用済燃料ピットに関する評価方法(地震)

6-1

クリフエッジの特定(1)



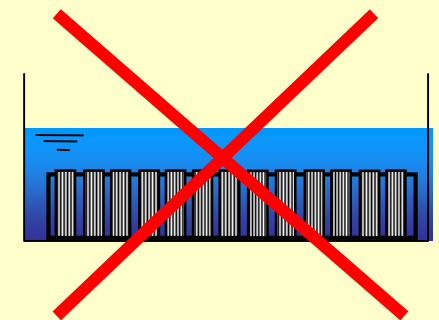
※: 地震の影響を受けない消防ポンプによる海水注水シナリオへ移行

「外部電源喪失」については、1.30未満では冷却に成功。1.30になると、地震の影響を受けない消防ポンプによる海水注入シナリオへ移行し、冷却は成功する。

クリフエッジの特定(2)

「外部電源喪失」については、地震の影響を受けない緊急安全対策の消防ポンプでの冷却が可能となる。

次に考慮すべき起因事象「使用済燃料ピット損傷」ではピットそのものの損傷を2.0Ssと評価しているが、損傷程度を定量的に評価することが困難であるため、消防ポンプでの冷却維持が可能とはみなさず、クリフエッジを2.0Ssとする。



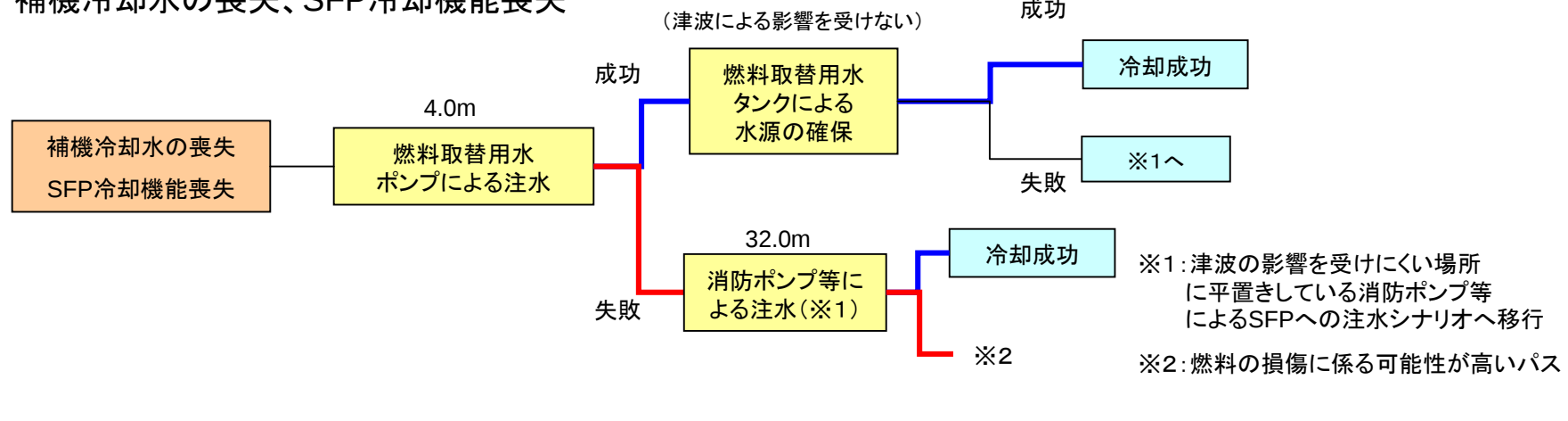
使用済燃料ピット

使用済燃料ピットに関する評価方法(津波)

クリフエッジの特定(1)

外部電源喪失

補機冷却水の喪失、SFP冷却機能喪失



【評価】「補機冷却水の喪失」、「SFP冷却機能喪失」については、津波高さ4.0mまでは冷却に成功。4.0mを超える場合は、消防ポンプ等によるSFPへの注水シナリオへ移行する。「外部電源喪失」についても同様。

クリフエッジの特定(2)

津波に対するSFP燃料損傷の評価の結果、「補機冷却水の喪失」「SFP冷却機能喪失」及び「外部電源喪失」のいずれについても、緊急安全対策として整備した、消防ポンプ等によるSFPへの注水により冷却が可能である。

よって、許容津波高さ32.0m(ガソリン保管位置)になると、消防ポンプ使用不可に至り、緩和手段がなくなり、クリフエッジとなる。

使用済燃料ピットの評価結果(まとめ)

6-3

	評価指標	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		
地震	燃料の冷却手段が確保できなくなる 地震動と基準地震動Ss(750gal)との 比較	約2.00倍(1500gal相当)		約1.30倍(975gal相当)		約53%向上
	対象となる機器等	使用済燃料ピット		1次系冷却水クーラ		
津波	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(2.37m)と の比較	約13.5倍(32.0m)		約1.6倍(4.0m)		約700%向上
	対象となる機器等	消防ポンプのガソリン保管高さ		外部電源		
地震と津波 の重畳	地震、津波と同様	<地震> 約2.00倍 (1500gal相当)	<津波> 約13.5倍(32.0m)	<地震> 約1.30倍(975gal相 当)	<津波> 約1.5倍(3.7m)	1.30Ss, 3.7m ↓ 2.00Ss, 32.0m
	対象となる機器等	使用済燃料ピット	消防ポンプのガソリン保 管位置	1次系冷却水クーラ	海水ポンプ	
地震と津波の重畳 時におけるSBO (またはLUHS)	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	約8.5日後(停止中)		約31時間後(停止中)		約6倍に向上
	対象となる機器等	ピット水補給用消防ポンプガソリン		(水温が100℃到達時点)		
全交流電源 喪失(SBO)	地震・津波以外によるSBO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*1	約13日後(停止中)		約31時間後(停止中)		約10倍に向上
	対象となる機器等	ピット水補給用消防ポンプガソリン		(水温が100℃到達時点)		
最終ヒート シンク喪失 (LUHS)	地震・津波以外による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*1	約13日後(停止中)		約31時間後(停止中)		約10倍に向上
	対象となる機器等	ピット水補給用消防ポンプガソリン		(水温が100℃到達時点)		

*1: 燃料の冷却手段がすべて使用できるとして評価。

シビアアクシデントマネジメントの評価方法

7-1

現在のシビアアクシデントマネジメントに係る防護措置について、

- 内的事象確率論的安全評価(PSA)で想定した起因事象を対象に、燃料の重大な損傷及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を、内容と位置づけ及び実施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

結果

設備、組織、体制、手順書、訓練等の有効性も含めて以下のことを確認した

- 原子炉の停止機能、炉心冷却機能、放射性物質の閉じ込め機能、安全機能のサポート機能のそれぞれについて、防護措置が多様性を持って整備されていることを確認
 - （例えば、以下のような手順を整備
 - 「高圧注入を失敗した際、2次系による冷却・減圧を行い、低圧注入を可能とする」
 - 「格納容器の除熱機能が喪失した際、格納容器自然対流冷却を可能とする」等
- これまでに整備した防護措置は燃料の重大な損傷及び放射性物質の大規模な放出を防止する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（止める、冷やす、閉じ込める）
- 緊急安全対策で整備した空冷式非常用発電装置による緊急時の電源確保は、従来、電源の復旧や号機間電源融通といった防護措置が整備されていた、安全機能のサポート機能の信頼性向上に寄与（例：号機間電源融通失敗→空冷式非常用発電装置による給電→電動補助給水ポンプによる給水）
- シビアアクシデントへの対応に関する措置として整備した防護措置は、中央制御室の作業環境の確保や水素爆発防止対策など、炉心損傷後の防護措置実施にあたり、信頼性を高めることを確認

その他のシビアアクシデント・マネジメントに関する評価方法と結果(まとめ)

7-2

評価方法と評価結果

評価方法	評価結果
• 内的事象PSAで想定した起回事象を対象に、燃料の重大な損傷及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を、内容と位置づけ及び実施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	• 原子炉の停止機能、炉心冷却機能、放射性物質の閉じ込め機能、安全機能のサポート機能のそれぞれについて、防護措置が多様性を持って整備されていることを確認 (例: 高圧注入失敗→2次系による冷却・減圧→低圧注入、格納容器の除熱機能の喪失→自然対流冷却) • これまでに整備した防護措置は燃料の重大な損傷及び放射性物質の大規模な放出を防止する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 (止める、冷やす、閉じ込める) • 緊急安全対策で整備した空冷式非常用発電装置による緊急時の電源確保は、従来、電源の復旧や号機間電源融通といった防護措置が整備されていた、安全機能のサポート機能の信頼性向上に寄与 (例: 号機間電源融通失敗→空冷式非常用発電装置による給電→電動補助給水ポンプによる給水) • 中央制御室の作業環境の確保や水素爆発防止対策など、シビアアクシデントへの対応に関する措置として整備した防護措置が、炉心損傷後の防護措置実施にあたり信頼性を高めることを確認

更なる取り組み

シビアアクシデント対応措置報告書で報告した諸対策のうち、今後実施が計画されている、通信設備の免震事務棟への移設によって通信手段の信頼性向上が図られ、静的触媒式水素再結合装置の配備によって水素爆発防止対策の充実が図られることになる。

まとめ（一次評価結果概要）

8

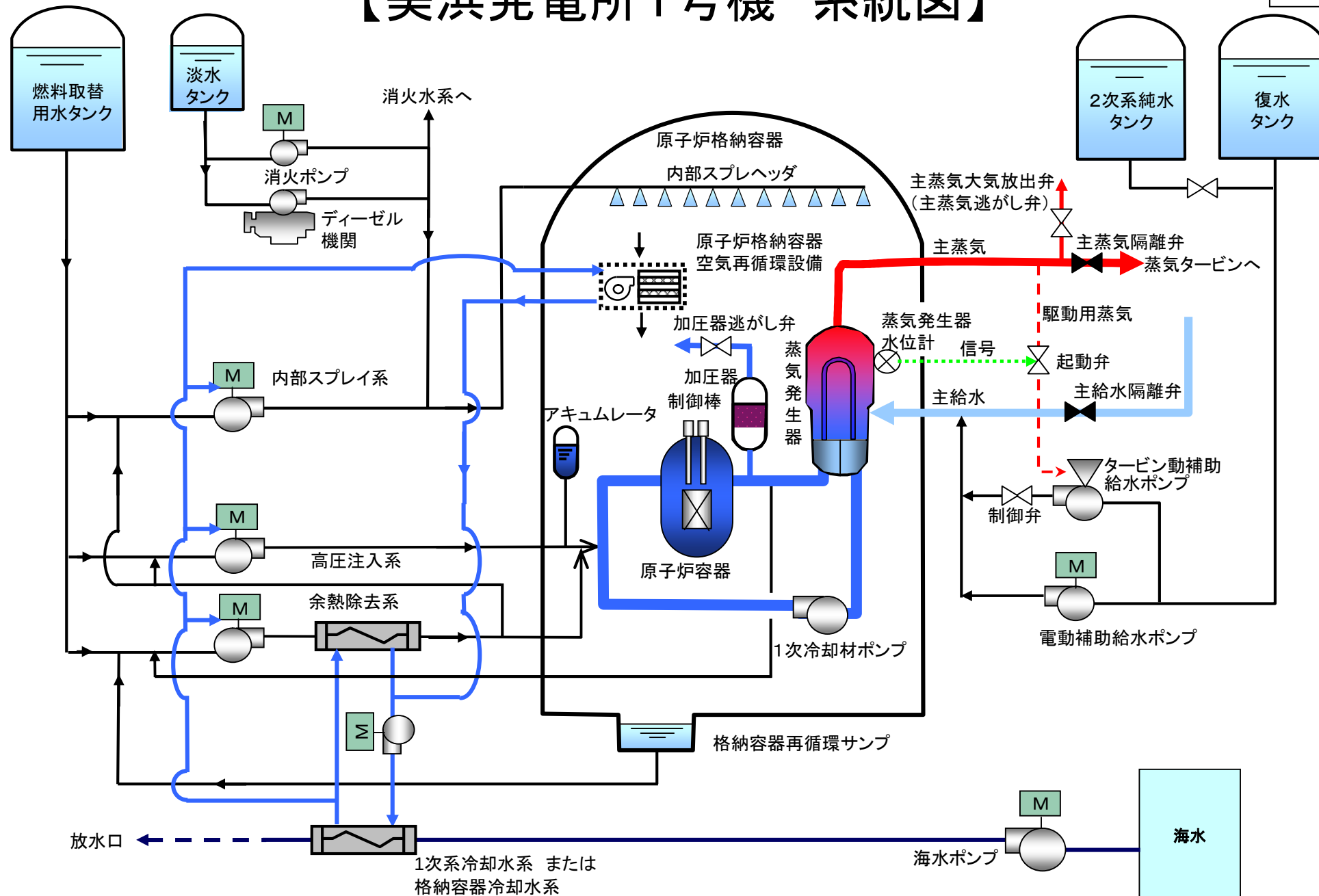
	クリフエッジ 評価の指標	燃料	クリフエッジ 下段:対象となる設備	主な対策内容	緊急安全対策前 下段:対象となる設備	緊急安全対策 の効果
地震 (津波との重 畳も同じ)	地震による機器の損傷により、 燃料の冷却手段が確保でき なくなる地震動と基準地震動 (Ss750gal)との比較	炉心	約1.67倍(1252.5gal相当) 高電圧用開閉装置	空冷式非常用発電装置の 配備、タービン動補助給水 ポンプの水源の確保等	約1.28倍(960gal相当) ほう酸注入タンク	約30%向上
		使用済燃 料ピット	約2.00倍(1500gal相当) 使用済燃料ピット	消防ポンプの配備等	約1.30倍(975gal相当) 1次系冷却水クーラ	約53%向上
津波 (地震との重 畳も同じ)	津波による機器の損傷(浸 水)により、燃料の冷却手段 が確保できなくなる津波高さ と想定津波高さ(2.37m)との 比較	炉心	約4.6倍(11.1m) タービン動補助給水ポンプ	空冷式非常用発電装置の 配備とタービン動補助給水 ポンプの水源の確保、扉及 び貫通部のシール施工等	約1.5倍(3.7m) 海水ポンプ	約200%向上
		使用済燃 料ピット	約13.5倍(32.0m) 消防ポンプのガソリン保管高さ	消防ポンプの配備等	約1.6倍(4.0m) 外部電源	約700%向上
地震と津波 の重畳時に おけるSBO (またはLU HS)	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8.3日後 水源補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約5時間後 蓄電池	約39倍に向上
		使用済燃 料ピット	約8.5日後(停止中) ピット水補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約31時間後(停止中) (水温が100℃到達時点)	約6倍に向上
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*1	炉心	約20日後 水源補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約5時間後 蓄電池	約96倍に向上
		使用済燃 料ピット	約13日後(停止中) ピット水補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約31時間後(停止中) (水温が100℃到達時点)	約10倍に向上
最終ヒートシ ンク喪失 (LUHS)		炉心	約20日後 水源補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約5時間後 蒸気発生器給水用水源	約96倍に向上
		使用済燃 料ピット	約13日後(停止中) ピット水補給用消防ポンプガソリン	水源の多様化、 消防ポンプの配備等	約31時間後(停止中) (水温が100℃到達時点)	約10倍に向上

*1:燃料の冷却手段がすべて使用できるとして評価。

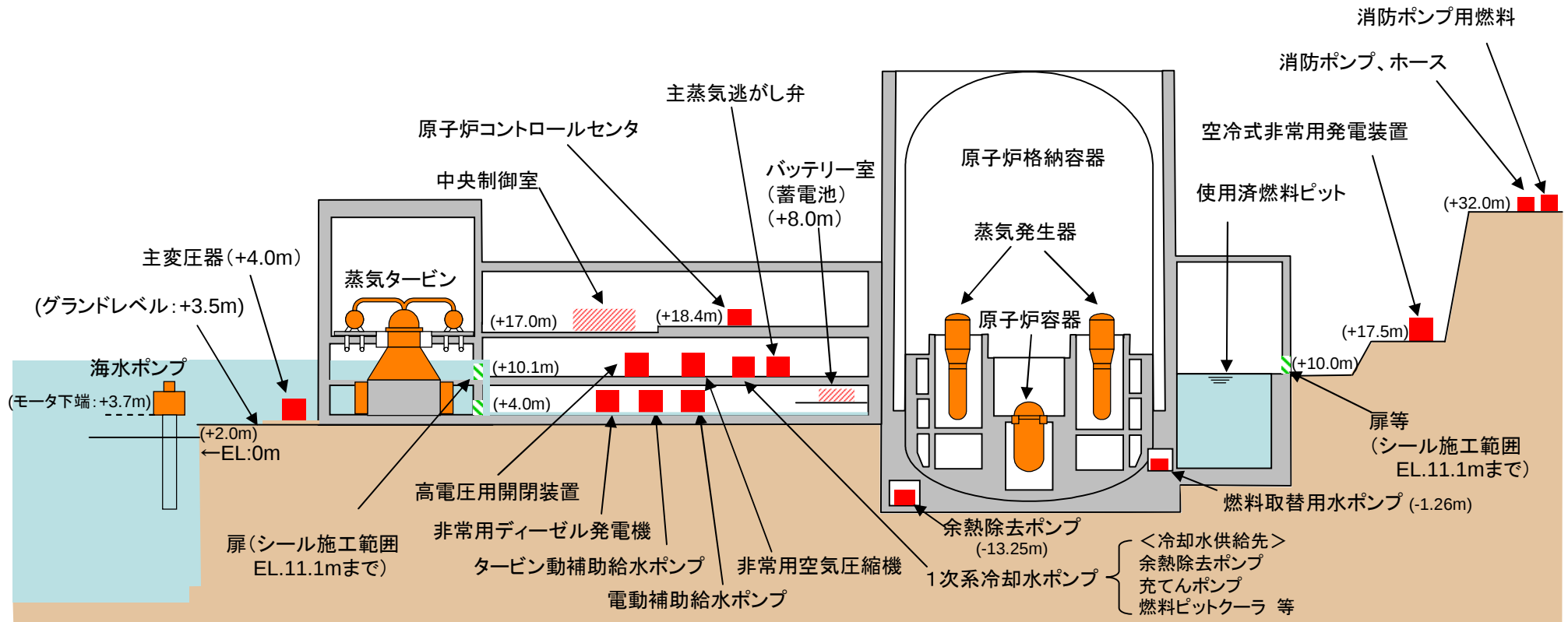
- 想定を超える地震、津波、全交流電源喪失、最終ヒートシンク喪失等について評価した結果、これまで実施してきた緊急安全対策の有効性について確認できた
- しかし、安全確保への取組みは決して終わりのあるものではなく、地元ならびに国民の皆様のさらなるご理解とご信頼をいただくために、本評価結果も踏まえた改善を継続的に実施していく
- また、新たな知見等が得られた場合には、必要な対策を迅速かつ確実に実施するなど、原子力発電所の安全性、信頼性向上のための不断の取組みを行っていく

【美浜発電所1号機 系統図】

参考1



【美浜発電所1号機 断面図】



【各プラントのクリフェッジ評価結果一覧】

参考3

	燃料	美浜1号機 (平成24年8月15 日時点評価)	美浜2号機 (平成24年8月15 日時点評価)	高浜2号機 (平成24年7月20 日時点評価)	大飯2号機 (平成24年7月1日 時点評価)	高浜3号機 (平成24年4月20 日時点評価)	高浜4号機 (平成24年4月1日 時点評価)	大飯1号機 (平成23年12月 1日時点評価)	高浜1号機 (平成23年12月 1日時点評価)	美浜3号機 (平成23年12月 1日時点評価)	大飯3／4号機 (平成23年10月1 日時点評価)
		上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備	上段:クリフェッジ 下段:対象となる 設備
地震 (津波 との重 量も同 じ)	炉心	約1.67倍 (1252.5gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.66倍 (1245gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.79倍 (984.5gal相当) 蓄電池	約1.62倍 (1134gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.77倍 (973.5gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.77倍 (973.5gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.63倍 (1141gal相当) 高電圧用開閉装置	約1.70倍 (935gal相当) 原子炉コントロールセンタ	約1.76倍 (1320gal相当) 原子炉コントロールセンタ	約1.80倍 (1260gal相当) 高電圧用開閉装置
	使用済 燃料 ビット	約2.00倍 (1500gal相当) 使用済燃料ビット	約1.80倍 (1350gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1100gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1400gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1100gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1100gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1400gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1100gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1500gal相当) 使用済燃料ビット	約2.00倍 (1400gal相当) 使用済燃料ビット
	基準地 震動	750gal	750gal	550gal	700gal	550gal	550gal	700gal	550gal	750gal	700gal
津波 (地震 との重 量も同 じ)	炉心	約4.6倍(11.1m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.6倍(11.1m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.1倍(10.8m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.0倍(11.4m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.1倍(10.8m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.1倍(10.8m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.0倍(11.4m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.1倍(10.8m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.6倍(11.1m) タービン動補助 給水ポンプ	約4.0倍(11.4m) タービン動補助 給水ポンプ
	使用済 燃料 ビット	約13.5倍(32.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約13.5倍(32.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約10.7倍(28.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約11.6倍(33.3m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約10.7倍(28.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約10.7倍(28.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約5.0倍(14.4m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約10.7倍(28.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約13.5倍(32.0m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ	約5.0倍(14.4m) 消防ポンプの ガソリン保管高さ
	想定津 波高さ	2.37m	2.37m	2.60m	2.85m	2.60m	2.60m	2.85m	2.60m	2.37m	2.85m
地震と 津波の 重量時 における SBO (又は LUHS)	炉心	約8.3日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約8.3日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約8.1日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約8.2日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約7.6日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約8.1日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約11日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 水源補給用 消防ポンプガソリン
	使用済 燃料 ビット	約8.5日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約9.3日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.5日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.5日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.5日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.5日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約8.3日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約7.2日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン
全交流 電源喪 失 (SBO)	炉心	約20日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約13日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約31日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約19日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約18日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約31日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約15日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約12日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1
	使用済 燃料 ビット	約13日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約13日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約17日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約15日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約14日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約8.8日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約10日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン
最終 ヒート シンク 喪失 (LUHS)	炉心	約20日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約13日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約31日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約19日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約18日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約31日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約15日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1	約12日後 水源補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 水源補給用 消防ポンプガソリン*1
	使用済 燃料 ビット	約13日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約13日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約17日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約16日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約15日後 (運転中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約14日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン*1	約8.8日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン	約10日後 (停止中) ビット水補給用 消防ポンプガソリン

*1 タンク等の水源が枯渇した際にはガソリンを燃料とする消防ポンプにより海水を補給することができるが、他号機に比べて水源の量が多く海水が必要となるまでの時間が長いことから、ガソリンは他号機で全て使用していると評価した。