

発電用原子炉施設の安全性に関する 総合的評価

平成23年7月
原子力安全・保安院

評価事項

➤ 建屋、系統、機器等における安全裕度の評価

地震や津波等が設計上の想定を超える程度に応じ、建屋、系統、機器等が損傷・機能喪失するか否かを評価する。

➤ 安全設計における安全裕度の評価

建屋、系統、機器等における安全裕度の評価結果を踏まえ、地震、津波等により建屋、系統、機器等がどの範囲まで損傷・機能喪失すれば、安全設計上想定されている範囲を超えて、燃料の重大な損傷に至るかを評価し、クリフエッジを特定する。

➤ 燃料の重大な損傷を防止するための措置の評価

特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するために準備されている措置について、多重防護の観点から、その効果を評価する。

建屋、系統、機器等における安全裕度の評価

- ① 評価対象とする安全上重要な機器、耐震安全上重要な機器を特定する。
 評価可能な範囲で、確率論的安全評価(PSA)の知見として得られる炉心損傷に至るイベントツリーを参照し、燃料の重大な損傷に関係し得る機器を対象に加える。

評価対象機器の例(1)

➤ 安全上重要な機器(クラス1機器)

分類		機能	機器
クラス1	PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉容器、蒸気発生器、加圧器、1次冷却材ポンプ、1次冷却材配管、加圧器安全弁、加圧器逃がし弁、等
		過剰反応度の印加防止機能	制御棒クラスタ
		⋮	⋮
	MS-1	原子炉の緊急停止機能	制御棒クラスタ
		原子炉停止後の除熱機能	M/D補助給水ポンプ、T/D補助給水ポンプ、蒸気発生器、主蒸気逃がし弁等
		⋮	⋮
		安全上特に重要な関連機能	非常用ディーゼル発電機、直流コントロールセンタ、バッテリー、メタクラ、パワーセンタ、原子炉コントロールセンタ、海水ポンプ、CCWポンプ、ディーゼル発電機盤、RWST、高圧注入ポンプ等

評価対象機器の例(2)

➤ 耐震安全上重要な機器(Sクラス機器)

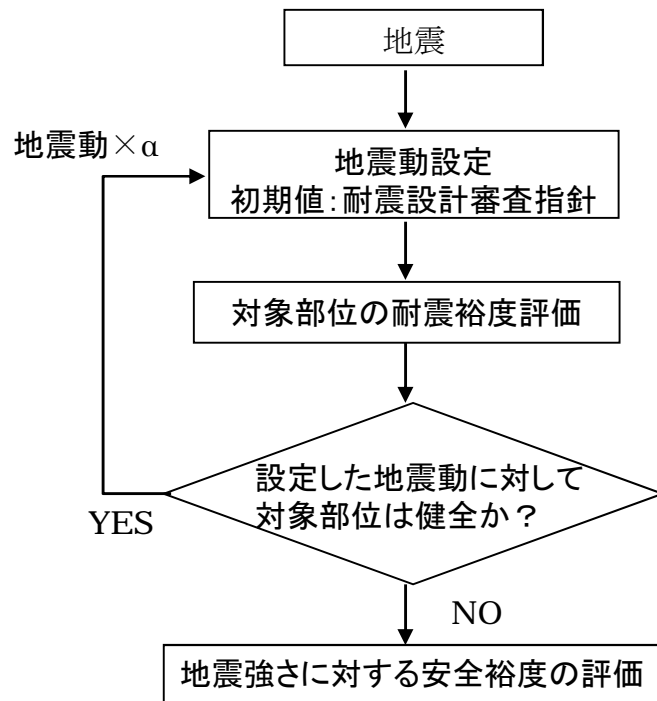
耐震重要度分類	機能別分類	対象設備
S	「原子炉冷却材圧力バウンダリ」(「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」に記載されている定義と同じ)を構成する配管及び機器	原子炉容器、蒸気発生器、加圧器、1次冷却材ポンプ、1次冷却材配管、加圧器安全弁、加圧器逃がし弁、等
	原子炉の緊急停止のための急激に負の反応度を付加するための設備及び原子炉の停止状態を維持するための設備	制御棒クラスタ
	原子炉停止後、崩壊熱を除去するための設備	M/D補助給水ポンプ、T/D補助給水ポンプ、蒸気発生器、主蒸気逃がし弁等
	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な設備	海水ポンプ、CCWポンプ、非常用ディーゼル発電機、直流コントロールセンタ、バッテリー、メタクラ、パワーセンタ、原子炉コントロールセンタ、ディーゼル発電機盤、RWST、高圧注入ポンプ等
	⋮	⋮

➤ PSA評価等を踏まえた燃料の重大な損傷に関係し得る機器

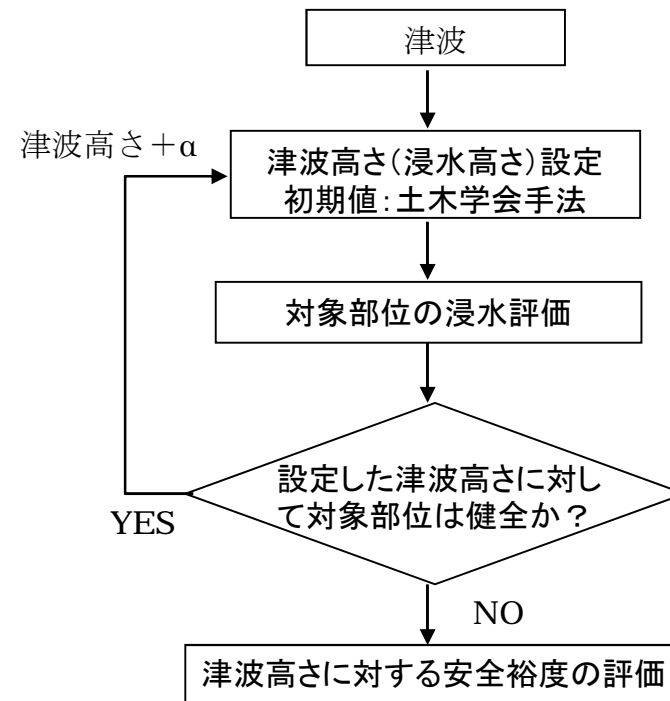
主変圧器、起動変圧器、予備変圧器、特高開閉所、主給水配管等

- ② 設計上の想定を超える事象を設定し、それに対する応答として得られる評価値を求める。
- ③ ②で求めた評価値を許容値等(これを超えると構造健全性、機能が失われると判断される値)と比較する。

【地震の場合の評価フロー(例)】



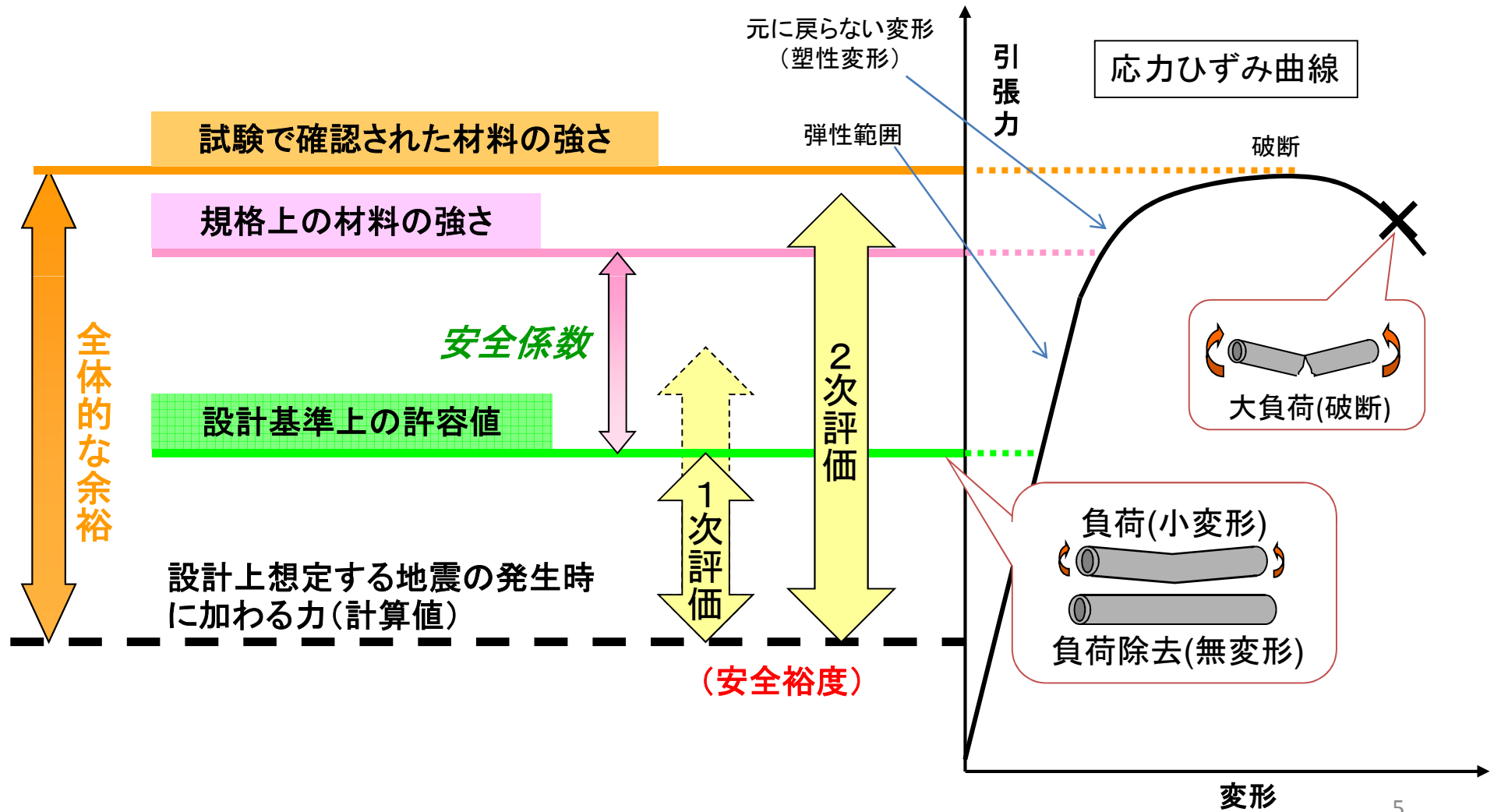
【津波の場合の評価フロー(例)】



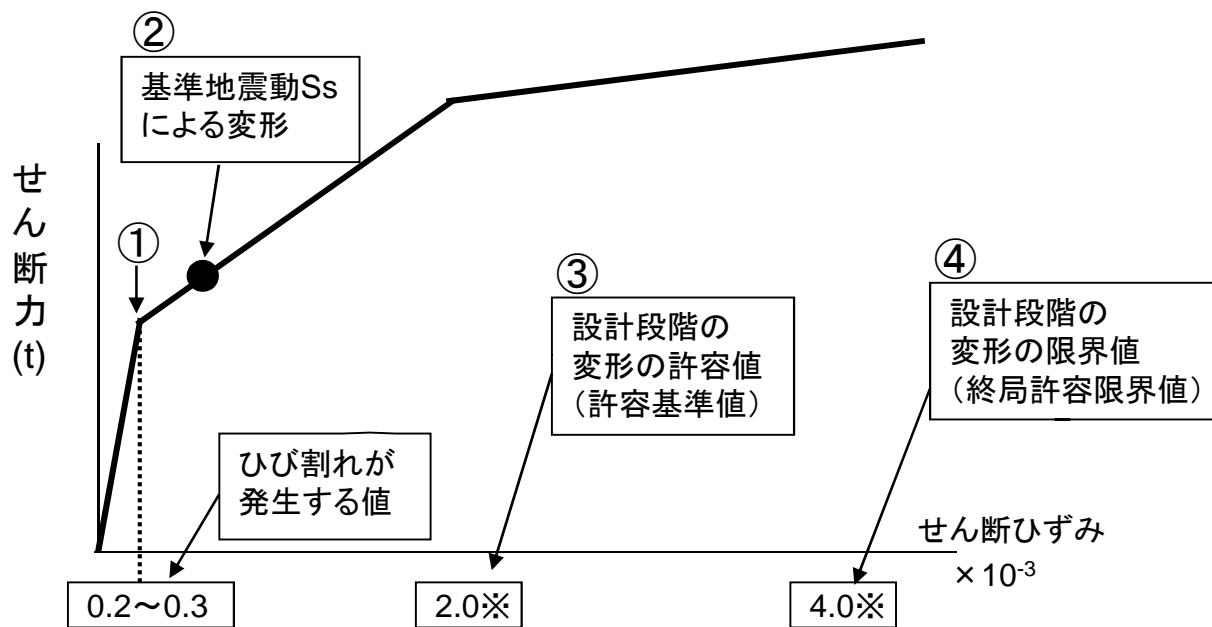
地震や津波等について、設計上の想定を上回る程度を少しずつ増加させ(α倍、α増)、各建屋、系統、機器等の評価対象部位における評価値が許容値等を超えることにより、損傷、機能喪失するか否かを評価して、その限界となる値を求める。

一次評価における許容値としては、安全審査指針類、技術基準に規定されたものを適用する。
 構造健全性、機能の維持を技術的に示すことが可能であれば許容値を超える値も適用可とする。
 二次評価においては、現実的な評価を行って、構造健全性、機能が失われる値を採用する。

機器、配管類の構造健全性に係る安全裕度



建物の構造健全性に係る安全裕度



※原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987及びJEAG4601-1991による

- ①弾性範囲(力がかからなくなれば、元に戻る)限界の変形量
- ②設計上、想定される最大の変形量の例
- ③変形はするが、機能維持に問題のない変形量
- ④それ以上になれば倒壊するなど、機能を維持する限界の変形量

↑
↓
全体的な余裕

(安全裕度)

↑
↓
一次評価

↑
↓
二次評価

④ 発生応力等の評価値が許容値等と等しくなる地震や津波等が、どの程度設計上の想定を超えたものとなるか評価する。

安全設計における安全裕度の評価において、損傷若しくは機能が喪失したものととして取り扱う。

評価例

➤ 安全上重要な機器(クラス1機器)及び耐震安全上重要な機器(Sクラス機器)の評価例

対象設備		耐震評価の例				想定した損傷、機能喪失による影響
設備	形態	評価部位	発生応力	許容値等	裕度	
原子炉容器	構造損傷	冷却材出口管台	○○○	△△△	1.XX倍	原子炉容器の損傷により、大規模LOCAが発生し炉心損傷に至る
一次冷却材ポンプ	構造損傷	ケーシングボルト	△△△	△△△	2.XX倍	RCSバウンダリ損傷により、大規模LOCAが発生し炉心損傷に至る
加圧器 逃がし弁	機能喪失	—	◇◇◇	◇◇◇	1.XX倍	加圧器逃がし弁の機能喪失により、フィードアンドブリードが不能となる
タービン動 補助給水ポンプ	構造損傷	タービン駆動用 蒸気配管	□□□	□□□	1.XX倍	全交流電源喪失時等に炉心の冷却のための蒸気発生器への注水が不能となる
....

➤ PSA評価等を踏まえた燃料の重大な損傷に関係し得る機器

対象設備		耐震評価の例				想定した損傷による影響
設備	形態	評価部位	発生応力	許容値等	裕度	
外部電源系	S _s で損傷と仮定	碍子	—	—	—	外部電源の損傷
....

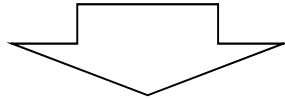
安全設計における安全裕度の評価

- ① PSAの知見を活用し、燃料の重大な損傷に至るイベントツリーを特定する。
- ② 建屋、系統、機器等における安全裕度の評価結果を入力条件とし、決定論的にイベントツリーの分岐を判断して、燃料の重大な損傷に至るシナリオを同定する。
- ③ 同定されたシナリオの中で、クリフエッジの所在を特定する。

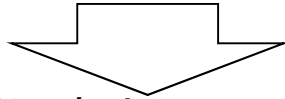
評価手順の例

インプットデータ抜粋(個別の機器毎の評価結果)

対象設備		耐震評価の例				想定した損傷による影響
設備	損傷モード	評価部位	発生応力	許容値等	裕度	
外部電源系	耐震クラスが低いためSSで損傷すると仮定	碍子	—	—	—	外部電源の損傷
直流コントロールセンタ	構造損傷	直流コントロールセンタ	30	210	7倍	直流電源の喪失(DG、安全系補機の起動不能)
原子炉コントロールセンタ	構造損傷	原子炉コントロールセンタ	50	100	2倍	非常用400V原子炉コントロールセンタの機能喪失。



イベントツリーを活用した評価を実施して判定。



アウトプット(起因事象:外部電源喪失)

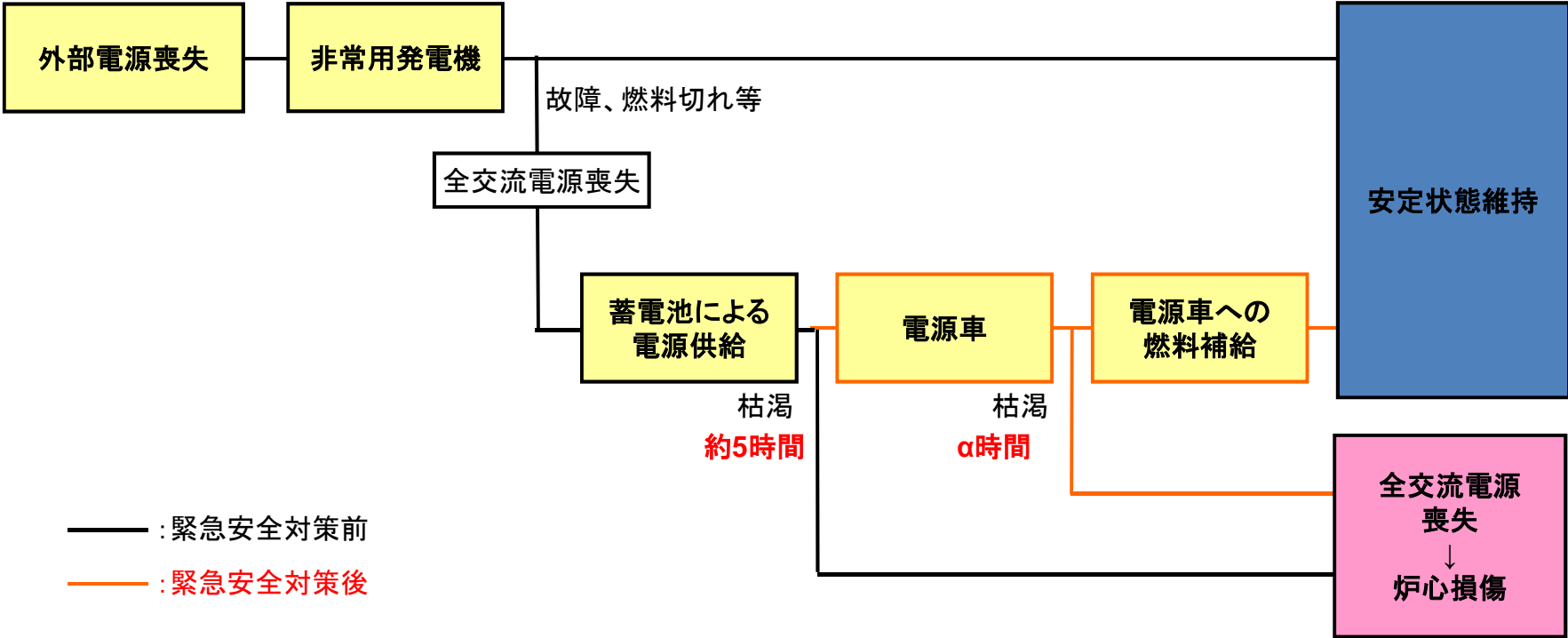
地震動	判定(炉心状態)
設計上想定する地震動	健全
(設計上想定する地震動) × 1.1倍	健全
(設計上想定する地震動) × 1.2倍	健全
⋮	⋮
(設計上想定する地震動) × α倍	損傷

燃料の重大な損傷を防止するための措置の評価

特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置を、多重防護の観点から、その効果を評価する。

燃料の重大な損傷を防止するための措置に係る評価の例(1)

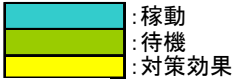
全交流電源喪失



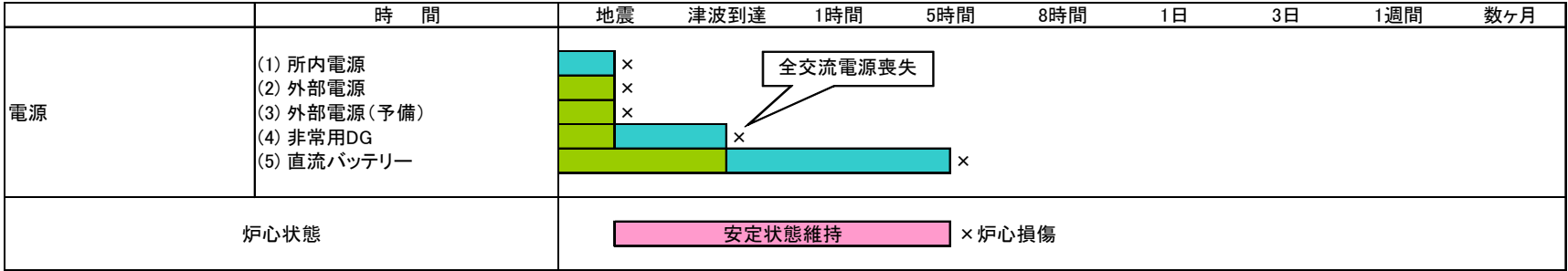
- 全交流電源喪失の発生後、蓄電池により電力の供給を継続する。
- 蓄電池が枯渇するまでに、電源車による電力の供給を開始する。
- 電源車への燃料補給を維持することにより、電力供給は継続する。

燃料の重大な損傷を防止するための措置に係る評価の例(1)

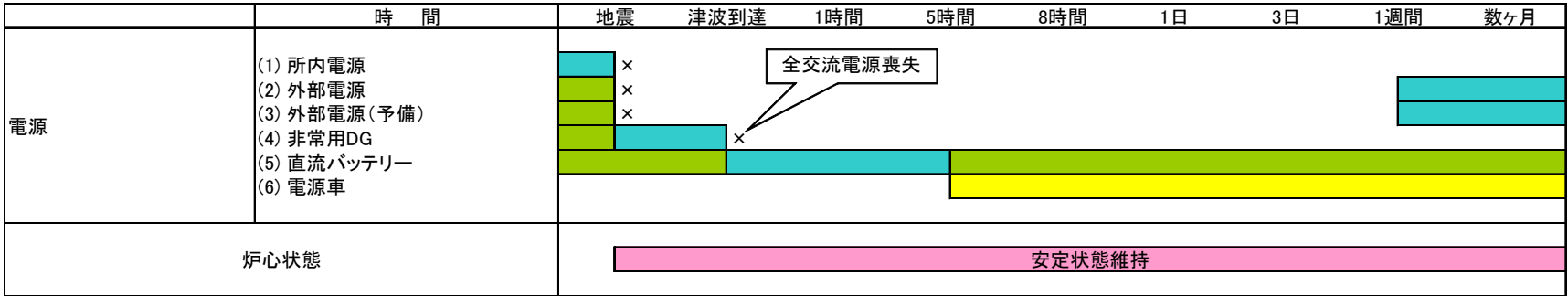
全交流電源喪失



【対策前】 直流バッテリーの枯渇により、炉心損傷が避けられなくなる。

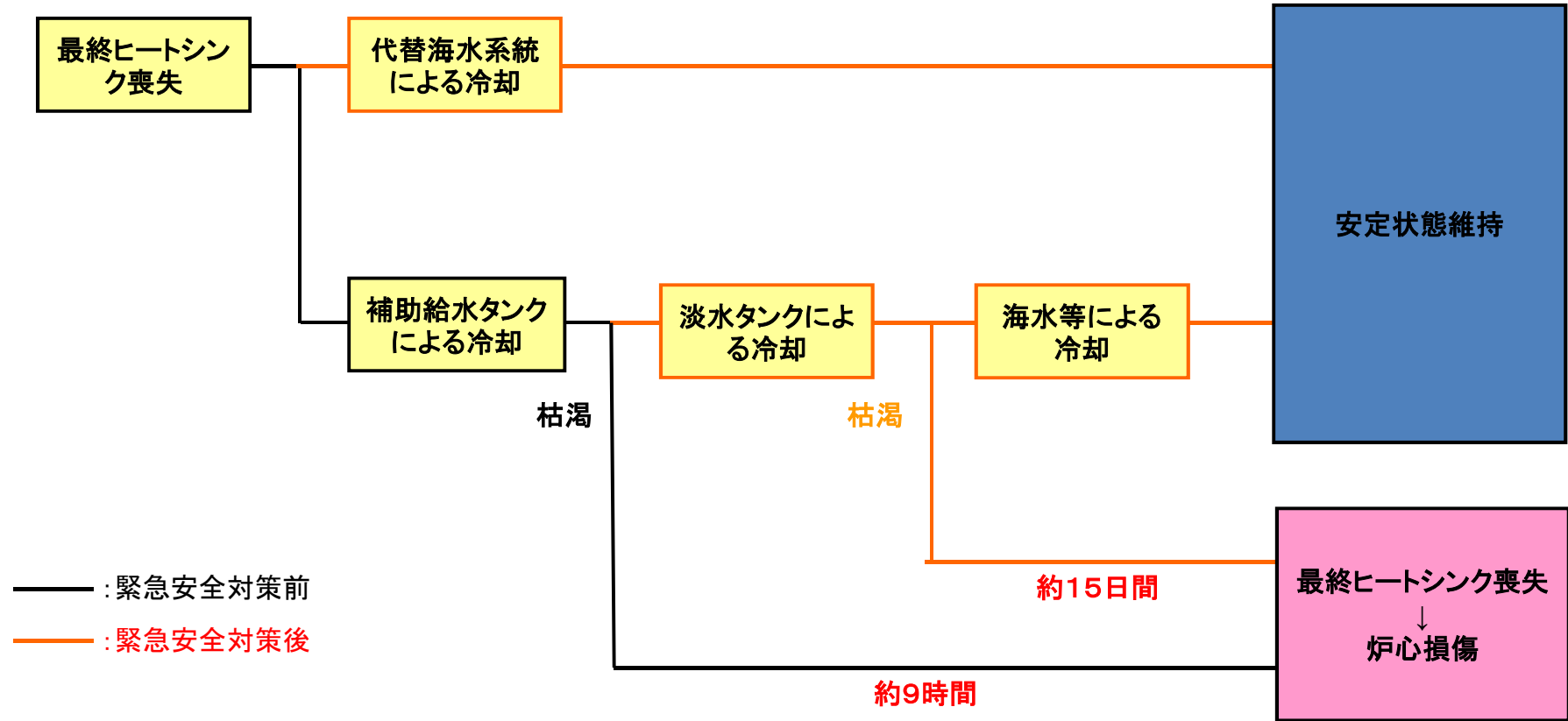


【対策後】 電源車を用いて電力供給を継続し、その間に外部電源を復旧させる。



燃料の重大な損傷を防止するための措置に係る評価の例(2)

最終的な熱の逃し場(最終ヒートシンク)の喪失



- 最終ヒートシンクが失われた場合、仮設ポンプ等の代替措置により冷却機能を維持する。
- あるいは、補助給水タンク、淡水タンク、海水を用いて、炉心への注水を継続する。

燃料の重大な損傷を防止するための措置に係る評価の例(2)

最終的な熱の逃し場(最終ヒートシンク)の喪失



【対策前】 水源が枯渇し、炉心への注水が不可能になった時点で、炉心損傷が避けられなくなる。

時間		地震	津波到達	1時間	5時間	8時間	1日	3日	1週間	数ヶ月
循環型冷却	(1) 余熱除去系									
		× 最終ヒートシンクの喪失								
注入型冷却系	(1) タービン動補助給水ポンプ									
	(2) 電動補助給水ポンプ									
		×								
		×								
炉心状態										
		× 安定状態維持								
		× 炉心損傷								

【対策後】 水源を確保して電動補助給水ポンプによる炉心への注水を継続し、その間に、余熱除去系を回復させる。

時間		地震	津波到達	1時間	5時間	8時間	1日	3日	1週間	数ヶ月
循環型冷却	(1) 余熱除去系									
		× 最終ヒートシンクの喪失								
		予備電動機又は代替ポンプにより海水供給が可能な場合								
注入型冷却系	(1) タービン動補助給水ポンプ									
	(2) 電動補助給水ポンプ									
	(3) 消防車等									
		淡水注入可能								
		海水注入								
注入型冷却系 (海水)	(1) 消防車等									
炉心状態										
		安定状態維持								