

【構成の考え方】

構成は下記のようにする。

4 原子力発電所の地震・津波安全に関する性能

4.1 はじめに

4.2 事故シナリオにおける SSCEs の役割

4.3 津波による影響モード

4.4 各 SSCEs の確保すべき性能

4.5 設計基準と設計基準外とに関する考察

【骨子案】

4. 原子力発電所の地震・津波安全に関する性能

4.1 はじめに

原子力安全の目的を津波来襲時においても成立させるための安全機能+サブ機能は、2 章で与えられている。「2.3.2 プラント設計でのシステム安全」にて、原子力発電所に必要かつ重要な機能として、(1)バウンダリ機能、(2)制御機能、(3)冷却機能、他が挙げられている。その他には電源供給機能が重要である。これは機器故障や人的過誤に代表されるランダム故障による場合のみならず、地震、火災、津波などに対しても、この機能は達成されていなければならない。また、設計基準を超える事態に対しても、その事態の程度に応じたレベルでの機能達成が求められる。機能の達成は、SSCEs * がそれぞれの性能を発揮し、場合によってはそれらの性能の組み合わせで、なされる。4 章では、津波来襲時にこれらの SSCEs の性能が何かを、整理する。すなわち、原子力安全のために具備されている SSCEs の「安全性能」（例えば、電源供給性能）が、耐津波性能（例えば、水密性能）により津波の影響から防護され、「安全性能」が発揮される、と考えた。

同じ SSCEs でも違う事故シナリオで活躍することもあるので、まず 3 章あるいは津波 PRA 結果から事故シナリオを把握する。それらの事故シナリオの中に SSCEs が登場し、どのような役割を果たしているかを整理する。これを「4.2 事故シナリオにおける SSCEs の役割」で記載する。この際、性能の位置づけの参考になるように『津波による事故防止機能』と『緩和機能』を付記しておくが良い。

次に、津波の到達状況とその状態の扱いにより、SSCEs に求められる性能の重要度が違う。たとえば、防潮堤がある、あるいは敷地高さが想定津波高さより十分に高い場合には、敷地への津波の浸入を許さないことが設計基準になる。その場合にも、建屋や機器室の水密化は施すとしても、それらの位置づけは「設計を超える状態に対して行なう措置」あるいは、「津波の想定における不確実さに対応した措置」と考えられる。そのような敷地についてさらに高い津波も否定は出来ない。建屋への津波の浸入を防護することが設計基準とする考え方もあろう。その場合には、機器室の水密化は設計を超える状態への対策手段となる。さらにそれをを超える津波が来れば、多くの機器が津波の影響で機能喪失するので、モバイル機器あるいはサイト外支援などにより、炉心冷却継続を達成することになる。

このように、津波とサイト（敷地高さ、形状など）、プラント（設置高さ、開口部など）、SSCEs の関係から、いくつかのレベルに分けて性能を書き下すと、SSCEs が持つ性能の位置づけが整

理できる。なお、津波の到達状況でレベルを分けたが、これは設計基準の提案をするものではなく、津波防護策により場合分けをしていることに留意してほしい。

この整理で、防止策（防潮堤、水密扉など）はプラントへの影響を考える上での大前提になるので重要である。そこで、まず津波到達レベルと防止策の関係を表にする。次にその防止策と津波影響モード（被水、波力など）と関連しているかを表にまとめる。これらを「4.3 津波による影響モード」に記載する。

4.3 でまとめた各 SSCEs の津波影響モードを発生させない『性能（耐津波性能）』をまとめる。これを「4.4 各 SSCEs の確保すべき性能」とする。この表において、4.3 で分類したケースごとに SSCEs の性能の位置づけを色分けしておく。つまり、その性能がどのような事故シナリオで求められているかを明確にすることで、発生確度の高い事象（設計基準といってもよい）に対して求められる性能と、過酷事故のような事態において求められる柔軟性も含めた性能とでは、7 章で津波防御の工学的方法を検討する際に異なる考え方を持つことを踏まえたものである。

なお、従来の目次に入っていた「4.3 性能を確保維持するための施策」は 7 章で記載されると考え、削除した。

以上の関係を図 4.1-1 にまとめた。（次ページ）

最後に、設計基準の津波設定より、SSCE の性能に要求される品質（信頼性）が変化する。たとえば、防潮堤の位置づけを考える。設計基準として「津波が敷地に浸入してもよいが安全系 SSCEs に影響を及ぼさないこと」としている場合には、「津波が敷地内にまったく浸入しないこと」との設計基準を設定する場合とは、防潮堤に求められる性能品質の重要度は異なってくる。深層防護の第 1 層である「異常の発生を防止する」を確保するために、敷地高さや防潮堤に全てを託すことは十分な安全が確保されているとはいいがたい場合がある。もともと敷地高さや想定される津波高さとの関係から十分な余裕が見込まれる場合はそこまで求める必要は少なくなる。一方、第 1 層を確保するために、建屋の水密性だけに依存するのもバランスに欠ける。さらに、建屋内に津波が浸入しても、安全系機器さえ性能が発揮できる状態であればよい、それが設計基準だ、とする考え方も否定は出来ない。しかし、それは防潮堤だけに依存するのと、同じで第 1 層としての対応策の多様性を失っている。このような考察を 4.5 において行う。

*SSCs は「Structures, Systems and Components」の略で「構築物、系統および機器」として用いられるが、ここでは、津波事象のような広範囲な共通原因を引き起こす可能性のある事態を対象とするにあたり、電気機器の重要性を意識し、E を追加した。

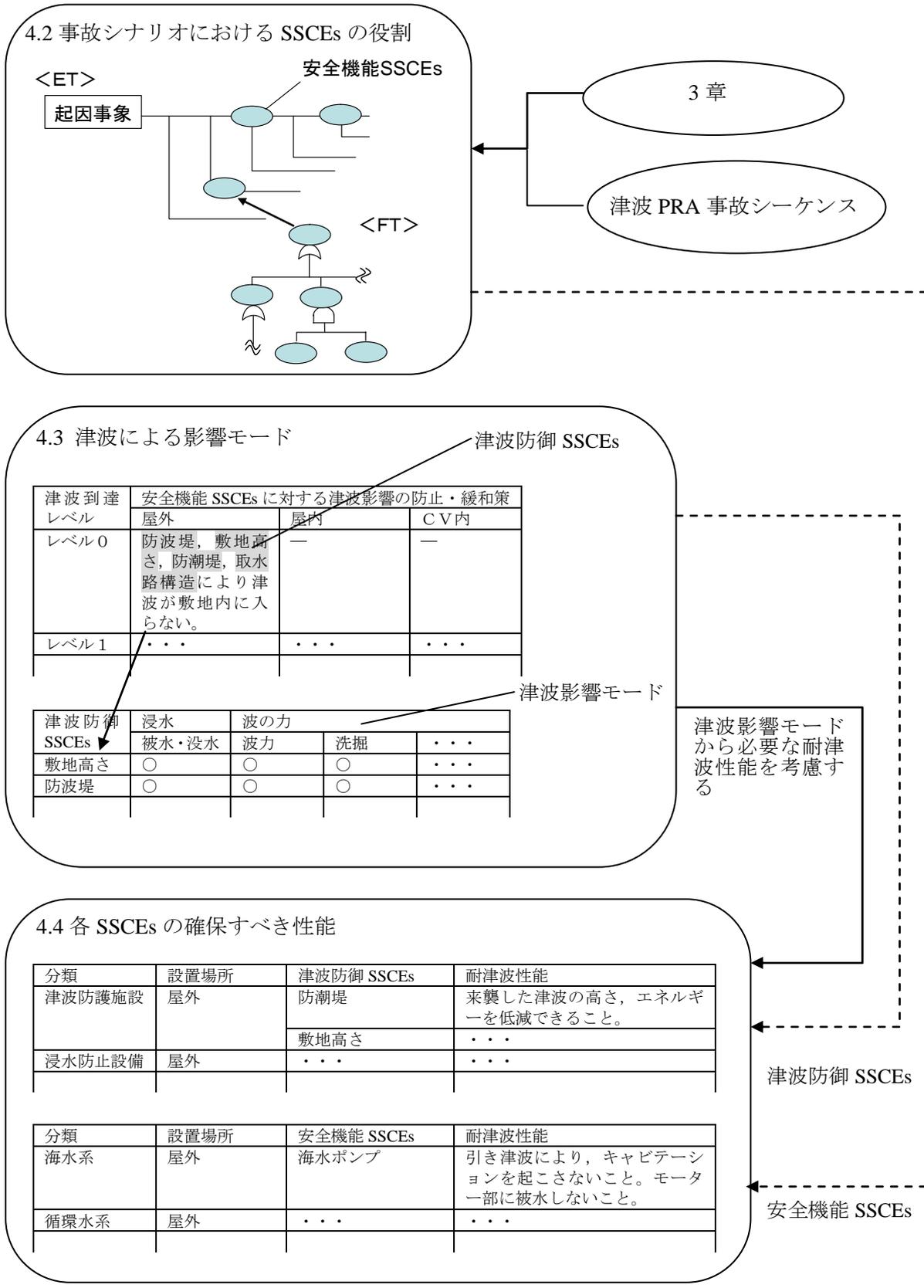


図 4.1-1 4章の構成

4.2 事故シナリオにおける SSCEs の役割

3章から、実際の事故とロジックから、事故シナリオおよびそれらの中で活躍する SSCEs を導入する。現時点では、津波 PRA 試評価から事故シナリオを抽出する。事故シナリオの分析は、津波 PRA の事故シーケンスを参照する。図 4.2-1 は PWR の津波 PRA の一例。

以上から、起因事象発生に関与する（その故障が原因となる）SSCEs、及び起因事象が発生したときに影響を緩和する（事故シーケンスの進展を止める）ための SSCEs が判明する。それらを表 4.2-1、表 4.2-2 の形に整理する。ただし、津波により明らかに機能喪失しない SSCEs は除く。事故シナリオは、それぞれの起因事象の ET と FT を参照する。例えば、「主給水喪失」の場合は補助給水が成功すれば事象は終息するが、補助給水が失敗する場合には炉心損傷になる。補助給水の喪失につながる機器は、その FT から抽出する。例えば、表 4.2-1 にあるのは、主給水喪失そのものが発生することを防止することであり、かかわる機器を記載した。表 4.2-2 は ET のヘディングとして記載されている機器で、主給水喪失の場合は、補助給水ポンプである。

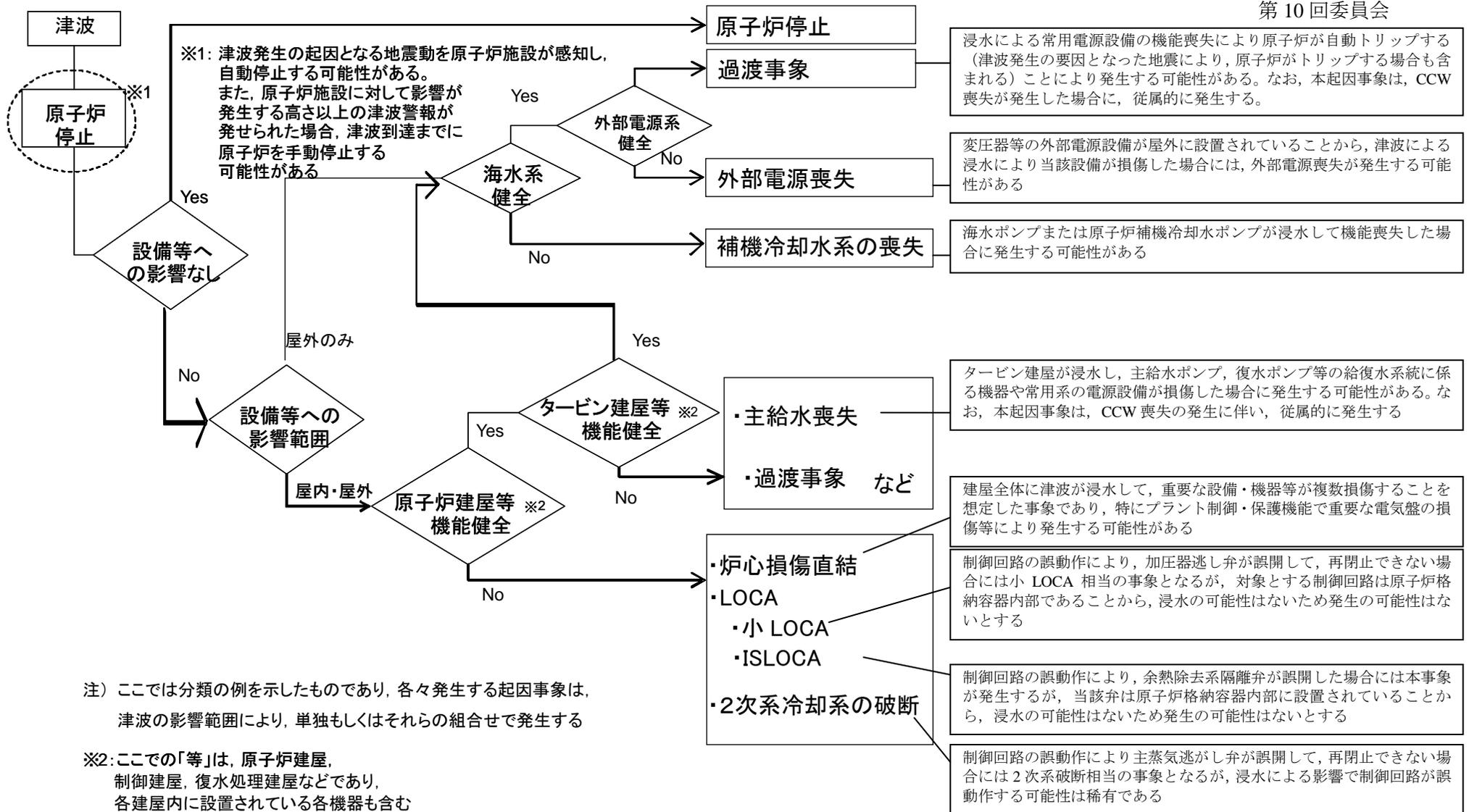


図 4.2-1 起因事象抽出のフロー

表 4.2-1 起因事象発生に関与している SSCE s

起因事象	機器リスト							
主給水喪失	主給水ポンプ	復水ポンプ	復水ブースターポンプ	給水ブースターポンプ	常用系電源設備			
(主給水喪失) ※CCW喪失に 従属して発生	主給水流量制御弁	制御用空気系						
外部電源喪失	主変圧器	所内変圧器	予備変圧器	特高開閉所				
補機冷却水喪失	海水ポンプ	補機冷却水ポンプ	補機冷却水系統配管・弁	海水ポンプ現場操作箱	補機冷却水ポンプ電源操作箱			
過渡事象	循環水ポンプ	復水器真空ポンプ	常用系電源設備					
炉心損傷直結	中央制御室	主盤 (原子炉盤)	原子炉補助盤	中央制御室外原子炉停止盤	原子炉安全保護計装盤	原子炉安全保護ロジック盤	安全保護シーケンス盤	ソレノイド分電盤

表 4.2-2 起因事象発生時に影響を緩和する SSCE s

起因事象	影響緩和機能	機器リスト						
主給水喪失	補助給水機能 ※1	タービン動 補助給水ポ ンプ	電動補助給水 ポンプ	復水タンク	補助給水逆止 弁	タービン動 補助給水ポ ンプ起動盤	2次系純水 タンク	補助給水流量 調整弁
外部電源喪失	非常用所内電 源の確立	非常用ディ ーゼル発電 機	ディーゼル発 電機コント ールセンタ	ディーゼル 発電機制御 盤	内燃機関(ディ ーゼル機関)	海水系(海水 ポンプ, 海水 ポンプ現場 操作箱)	燃料油移送 ポンプ	燃料油貯蔵タ ンク
	補助給水機能	※1と同様						
補機冷却水喪 失	補助給水機能	※1と同様						
	加圧器安全弁 ／逃がし弁 LOCA?	?						
	RCP シール LOCA?	?						
過渡事象	補助給水機能	※1と同様						
炉心損傷直結	－※2	－						

※2 影響緩和機能には期待せず、炉心損傷に至るとみなす。

4.3 津波による影響モード

安全機能を確保するための SSCEs (安全機能 SSCEs)は、原子炉の安全性を高める観点から系統を分離し、屋外や屋内の様々な場所に設置されている。

このような状況から、個々の安全機能 SSCEs が津波により受ける影響は、津波ハザードの大きさとサイト高さや安全機能 SSCEs の設置場所、設置状況を含む津波防御の状態により異なってくる。

したがって、個々の安全機能 SSCEs に対する津波による影響を一般化して理解するため、サイトへの津波の到達状況により影響レベルを区分するとともに、津波影響を防止あるいは緩和するための方策を表 4.3-1 に整理した。この津波影響を防止あるいは緩和するための方策は、津波影響防止・緩和するための SSCEs (津波防御 SSCEs)を抽出したとも言える。

なお、このレベル区分は、事故シナリオと SSCEs の関係を整理するため、便宜上分類したものであり、津波事象がこの順番で発生することを限定するものではない。

表 4.3-1 津波の状況と防止・緩和策の関係

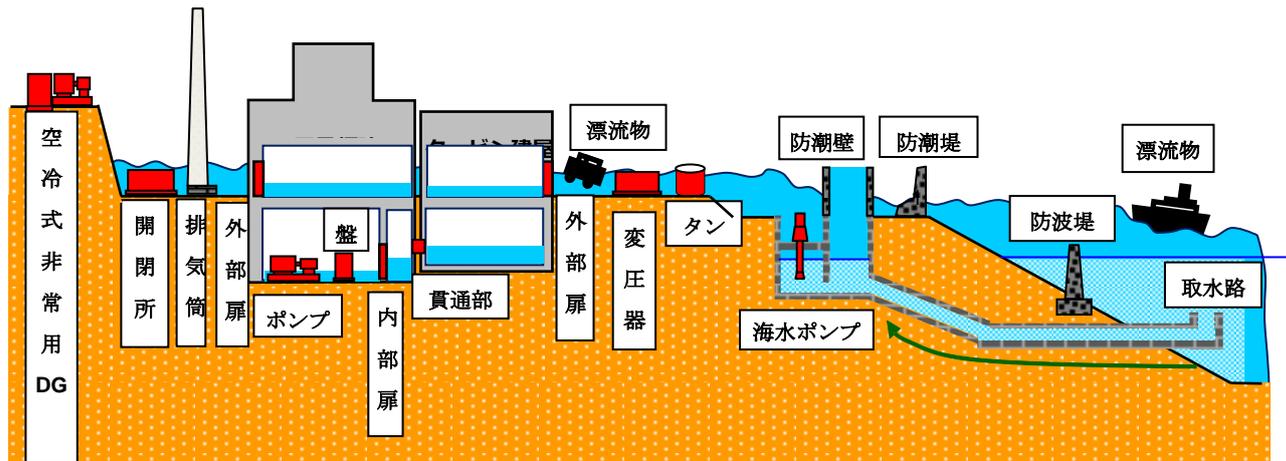
津波到達レベル	安全機能 SSCEs に対する津波影響の防止・緩和策		
	屋外	建屋内	C V内 ^{※1}
レベル 0	防波堤、敷地高さ、防潮堤、取水路構造により津波が敷地内に入らない。	— ※2	—
レベル 1	津波が防潮堤を乗り越えるなどにより敷地内に入る。 しかし、防潮堤の排水機構により津波が遡上しない、あるいは、機器設置高さが十分あることにより、津波が屋外安全機能 SSCEs 設置場所まで到達しない。	津波が防潮堤を乗り越える等により敷地内に入る。 しかし、防潮堤排水機構により津波が遡上しない、あるいは、建屋設置高さが十分あることにより、津波が建屋まで到達しない。	—
レベル 2	— ※3	津波が建屋まで到達する。 しかし、建屋の水密扉が浸水を防止する、あるいは、建屋開口部高さが十分あることにより、建屋内は浸水しない。	—
レベル 3	津波が屋外安全機能 SSCEs 設置場所まで到達する。 しかし、機器周囲の防潮囲いにより、屋外安全機能 SSCEs が被水・没水しない。	建屋内に津波が浸水する。 しかし、機器設置面高さが十分あることにより、屋内安全機能 SSCEs まで到達しない。機器室の水密扉やフラップゲートにより、機器室内への浸水を防止する、あるいは、機器周囲の防潮囲いにより、屋内安全機能 SSCEs が被水・没水しない。	—
レベル 4	津波により屋外安全機能 SSCEs が被水・没水する。 しかし、排水機能あるいはシール機能により、安全機能を担う部分は浸水しない。	津波により屋内安全機能 SSCEs が被水・没水する。 しかし、排水機能あるいはシール機能により、安全機能を担う部分は浸水しない。	—
レベル 4	津波により屋外安全機能 SSCEs が被水・没水し、安全機能を担う部分が浸水する。	津波により屋内安全機能 SSCEs が被水・没水し、安全機能を担う部分が浸水する。	—

※1：格納容器バウンダリを構成する原子炉格納容器内への津波による浸水はないものとし、原子炉格納容器内の機器は対象外とする。

※2：津波が敷地内に入らない場合は、建屋内に到達しないため、考慮しない。

※3：屋外機器が建屋で守られていないため、考慮しない。

<BWR の例>



<PWR の例>

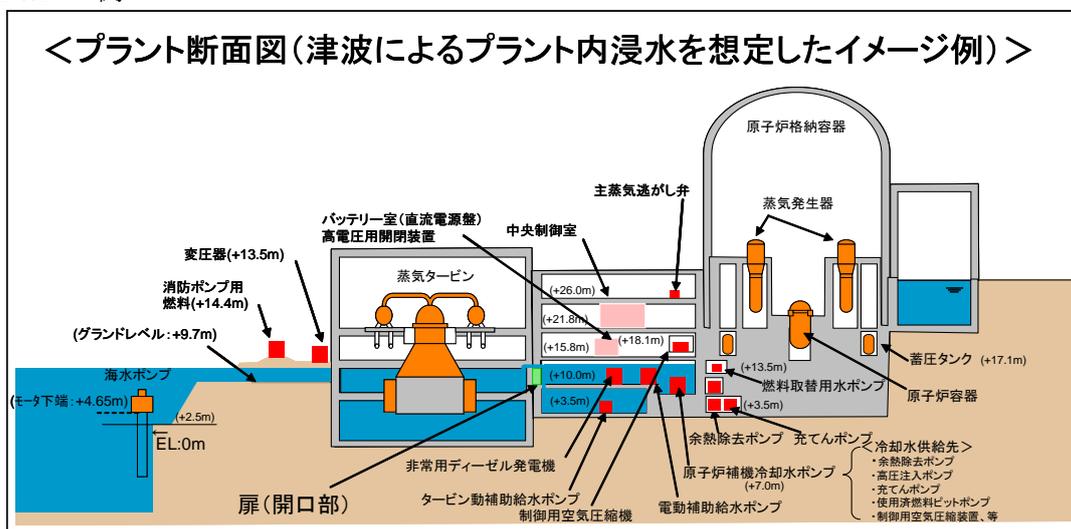


図 4.3-1 津波影響と SSCEs の配置イメージ

次に、津波防御 SSCEs は種々の津波影響を受けることから、津波影響モードを表 4.3-2 に整理する。ここで、津波が原子力発電所に対して及ぼす可能性のある影響現象については、以下の項目を想定した。

- 1) 浸水による影響 (設備の没水, 被水)
- 2) 波の力による影響 (波力, 洗掘, 浮力)
- 3) 取水障害 (海底砂移動, 引き波による水位低下)
- 4) 漂流物の発電所設備への衝突による影響

表 4.3-2 津波防御 SSCEs に作用する津波影響モード

津波防御 SSCEs	浸水	波の力			取水障害		漂流物 衝撃力
	被水・没水	波力	洗掘	浮力	海底砂移動	水位低下	
敷地高さ	○	○	○	—	—	—	○
防波堤	○	○	○	—	—	—	○
取水路構造	○	○	○	○	○	○	○
防潮堤	○	○	○	—	—	—	○
防潮堤排水機構	○	○	○	—	—	—	○
機器設置高さ	○	○	—	—	—	—	—
建屋開口部高さ	○	○	—	—	—	—	—
建屋水密扉	○	○	—	—	—	—	○
機器室水密扉	○	—	—	—	—	—	—
フラップゲート	○	—	—	—	—	—	—
機器周囲の 防潮囲い	○	○ (屋外)	○ (屋外)	○ (屋外)	—	—	○ (屋外)
排水設備	○	○ (屋外)	○ (屋外)	○ (屋外)	—	—	○ (屋外)

注) ○ : 影響を考慮するもの

4.4 各 SSCEs の確保すべき性能

原子力安全のためにもともと具備されている SSCEs(安全機能 SSCEs)の機能維持を確保するための津波防御 SSCEs は「津波防護施設」、「浸水防止設備」及び「津波監視設備」に分類できる。

「津波防護施設」、「浸水防止設備」及び「津波監視設備」の3つの基本的設計方針について、下記に示す。「津波防護施設」については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安全性を評価し、越流時の耐性に配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計する。「浸水防止設備」については、浸水想定範囲における浸水時の波圧等に対する耐性等を評価し、入力津波に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう設計する。「津波監視設備」については、津波の波力等の影響を受けにくい位置へ設置、影響の防止策・緩和策等を検討し、入力津波に対して津波監視機能が十分に保持できるように設計する。但し、設計基準の津波をどの高さに設定するかにより、津波防御 SSCEs の性能に要求される品質（信頼性）は異なってくることに留意する。詳細は 4.5 にて記載する。表 4.3-1 及び表 4.3-2 で示された具体的な施設・設備及びその各施設・設備の設計方針を一覧にした表を表 4.4-1 に示す。

また、原子力安全のためにもともと具備されている SSCEs(安全機能 SSCEs)について、津波 PRA の事故シーケンスを参照にしながら、起因事象に関係する設備を 4.2 において抽出した。抽出した SSCEs について、4.3 で想定した津波が原子力発電所に対して及ぼす可能性のある影響現象を考慮して、それに対しどのような耐津波性能が必要であるかという観点から、表 4.4-2 を取り纏めた。

表 4.4-1 津波防護策と耐津波施設・設備の設計方針 (PWR 例)

分類	設置場所	SSCE 名称	耐津波施設・設備の設計方針
津波防護施設	屋外	防潮堤	来襲した津波の高さ、エネルギーを低減できること。津波により全体あるいは一部が破壊され、漂流物とならないこと。
		敷地高さ	来襲した津波の高さ、エネルギーを低減できること。
		防波堤	越波が起こらないこと。倒壊しないこと。防潮堤の内側に浸水させないこと、又は侵入量を低減できること。
浸水防止設備	屋外	建屋設置面高さ 建屋開口部高さ (ダクト等) 建屋・水密扉	津波の最大高さにおける静水圧に耐えられること。来襲した津波の波力・流体力により倒壊しないこと。建屋内に水を浸入させない、又は侵入量を低減できること。漂流物からの衝撃により、上記の性能を損失することがないこと。
	屋内	機器室・水密扉 機器周囲の防潮囲い (堰等)	津波の最大高さにおける静水圧に耐えられること。建屋内に水を浸入させない、又は侵入量を低減できること。
津波監視設備	屋内	取水ピット水位計 津波監視カメラ	津波監視設備は、被水・没水あるいは交流電源を喪失したとしても、津波監視機能を継続できること。

表 4.4-2 安全機能を確保するための SSCEs と耐津波性能 (PWR 例)

分類	設置場所	SSCE 名称	耐津波性能
海水系	屋外	海水ポンプ 現場操作箱	引き波により、キャビテーションを起こさないこと。浮遊砂により、ローターの回転が妨げられないこと。モーター部に被水しないこと。
循環水系	屋外	循環水ポンプ	引き波により、キャビテーションを起こさないこと。浮遊砂により、ローターの回転が妨げられないこと。モーター部に被水しないこと。
主給水系	T/B	主給水ポンプ 給水ブースターポンプ 主給水流量制御弁	引き波により、キャビテーションを起こさないこと。浮遊砂により、ローターの回転が妨げられないこと。モーター部に被水しないこと。
復水系	T/B	復水ポンプ 復水ブースターポンプ 復水器真空ポンプ	モーター部に被水しないこと。津波による波力により損傷しないこと。
原子炉補機 冷却水系	A/B I/B	原子炉補機冷却水ポンプ 補機冷却水系統配管・弁 電源操作箱	モーター部に被水しないこと。津波による波力により損傷しないこと。
非常用電源	屋外	非常用 DG メタクラ パワーセンタ	盤内の母線や用品の端子部は充電部が露出しているために、被水することにより絶縁低下等が起きないこと。
外部電源	屋外	主変圧器 所内変圧器 予備変圧器 特高開閉所	津波による波力により損傷しないこと。
直接炉心損傷	A/B	中央制御室 主盤 (原子炉盤) 原子炉補助盤 中央制御室外原子炉停止 盤 原子炉安全保護計装盤 原子炉安全保護盤ロジック 盤 安全保護シーケンス盤 ソレノイド分電盤	盤内の母線や用品の端子部は充電部が露出しているために、被水することにより絶縁低下等が起きないこと。

4.5 設計基準と設計基準外とに関する考察

津波に限らないが、想定しうる外部ハザードから原子力プラントの安全を確保するためには、設計基準を定め、それを満足するように設計を施す。改造や増築の場合においても安全確保に關与する SSCEs に対して同じことが求められる。これにより、確実にあるいはかなり高い確率で発生が想定される状態の場合に、安全が確保されていることが保障される。しかし、想定には不確実さが伴う。津波のような自然現象の場合はその不確実さの想定が容易くはない。そこで、SSCEs の設計においては、余裕をみて設計を行う。

津波の高さの評価における不確実さに対しては、設計基準を超える状態を考え、その頻度と影響を評価し把握した上で、設計を超えたからと言って安全がすぐに失われることが無いように対応する。さらに高い津波に対しては、耐津波の防護策による、あるいはアクシデントマネジメント策（例 モバイル機器など）により影響を緩和する。それらの策は、そのシナリオの発生頻度と影響を津波 PRA などの方法で分析した上で、柔軟な運用で効果が出るように用意しておく。これは、設計基準を超えていくと、事故様態が多様化するためである。

耐津波性能についても、ある SSCEs の持つ性能はかくあるべし、と断定は出来ない。4.2 で整理したように、津波高さ、サイト、プラント、SSCEs の関係性により、求められる耐津波性能の重要度が異なる。表 4-5、4-6 にまとめた性能が、どの程度の品質要求として求められるか、という点が考慮される必要がある。工学体系としては少し異質だが、設計・施工によりその性能が具現化されて始めてプラントの安全確保が達成されることを考えると、含めることを提案したい。表 4-6 の耐津波性能は、設計基準を超えた事態においては、性能が発揮できない SSCEs がある。その場合には、事前に耐津波性能喪失の相関性を下げしておくことで共通故障状態を避ける。たとえば、主給水系は耐津波性能を持つことにより、主給水系喪失という炉心損傷へつながる事象の発生を防止する。主給水喪失は原子炉の除熱機能の喪失だからである。しかし、補助給水系が用意されており、まずはそれが機能する。これは設計基準内の事態である。さらに補助給水系も津波で機能しなくなる場合には、フィード&ブリードなどのアクシデントマネジメント策で炉心冷却を行うか、モバイルのポンプにより 2 次側への給水を行う、という手段をとる。今回の整理では AM 策（緊急安全対策）は含めていないが、耐津波性能は求められる。ただし、没水、被水にも耐えられる、ということでもなくとも、保管箇所が十分高いところ（津波が来ない場所）であるということでもよい。この点が設計基準のための SSCEs とは異なる。むしろ、水密扉で厳重に保管されているよりも、緊急時においてすぐに、またはどのような状況でも利用できることが、求められる。

以上