

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

重大事故等対処施設の耐震設計における 重大事故と地震の組合せの概要

平成28年2月
東京電力株式会社

目次

1. はじめに	3
2. 基準の規定内容	5
2. 1 設置許可基準規則第4条、第39条の規定内容	
2. 2 設置許可基準規則の解釈別記2の規定内容	
2. 3 JEAG4601の規定内容	
3. SA施設の荷重の組合せと許容応力状態の設定に関する基本方針	10
3. 1 SA施設の運転状態	
3. 2 組合せの基本方針	
3. 3 許容限界の基本方針	
4. 耐震評価で考慮する荷重の組合せの検討手順	16
4. 1 地震の従属事象・独立事象の判断	
4. 2 施設分類	
4. 3 独立事象に対する荷重の組合せの選定手順	
5. 荷重の組合せの検討結果	21
5. 1 全般施設	
5. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備	
5. 3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備	
6. 許容応力状態の検討結果	30
6. 1 全般施設	
6. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備	
6. 3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備	
7. まとめ	35

1. はじめに

1. はじめに

【重大事故等対処施設の耐震設計の位置づけ】

設計基準事故対処施設(以下、DB施設)が十分に機能せず設計基準事故(以下、DBA)を超える事象、すなわち重大事故等※¹(以下、SA)が発生した場合に備え、常設の重大事故等対処施設※²(以下、SA施設)は、SA時においても、必要な機能※³が損なわれるおそれがないように耐震設計を行うとともに、常設の施設、可搬型の設備又はその組み合わせによる設備対策だけでなく、マネジメントによる対策などの多様性を活かしてSAに対処する。

具体的には、

- ① SA施設は、SA時を含む各運転状態と地震との組合せに対して必要な機能が損なわれるおそれがないよう設計を行う。
- ② 可搬設備等を活用することにより、事故の緩和・収束手段に多様性を持たせ、頑健性を高める。

とする。

本資料は、①に係る耐震設計における各運転状態と地震との組合せについて、検討した結果を取りまとめたものである。

※1:「重大事故に至るおそれがある事故(運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を除く)又は重大事故」を総称して重大事故等という。

※2: 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備については、代替する設備の耐震クラスに適用される地震力を適用する。

※3: 重大事故等に対処するために必要な機能をいう。

2. 基準の規定内容

2. 1 設置許可基準規則 第4条、第39条の規定内容

設置許可基準規則から要求されるSA施設に必要な耐震設計は、以下のとおりDB施設に対する要求事項のうち、「Ssに対する機能維持」が求められている。「Ssに対する機能維持」の適用に当たっては、設置許可基準の解釈の別記2に準ずるものとされている。

DB施設の基準の規定内容	SA施設の基準の規定内容
<p>第四条 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</p> <p>2 (重要度分類に関する条文のため、省略)</p> <p>3 <u>耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</u></p> <p>4 (斜面の崩壊に関する条文のため、省略)</p>	<p>第三十九条 重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める要件を満たすものでなければならない。</p> <p>一 常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。)基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。</p> <p>二 (常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備の耐震設計は、耐震B・Cクラスと同等の設計とするが、耐震B・Cクラスは事故時荷重との組合せを実施しないため、省略)</p> <p>三 常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。)基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。</p> <p>四 (特定重大事故等対処施設については、今回申請対象ではないため、省略)</p>
<p>設置許可基準規則の解釈 第4条 (地震による損傷の防止) 別記2のとおりとする。</p>	<p>設置許可基準規則の解釈 第39条 (地震による損傷の防止) 1 第39条の適用に当たっては、<u>本規程別記2に準ずるものとする。</u></p>

2.2 設置許可基準規則の解釈 別記2の規定内容

設置許可基準規則の解釈 別記2では、設置許可基準規則第4条第3項(Ssに対する機能維持要求)の解釈として、荷重の組合せに当たっては、「事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせることを考慮すること。」とされている。

6 第4条第3項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、基準地震動に対する設計基準対象施設の設計に当たっては、以下の方針によること。

一 耐震重要施設のうち、二以外のもの

- ・基準地震動による地震力に対して、その安全機能が保持できること。
- ・建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。
- ・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持すること。具体的には、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とすること。

なお、上記の「運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重」については、地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重及び地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせることを考慮すること。

二 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

- ・基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能をいう。)が保持できること。
- ・津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該施設及び建物・構築物が構造物全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能及び浸水防止機能)を保持すること。
- ・浸水防止設備及び津波監視設備は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、その設備に要求される機能(浸水防止機能及び津波監視機能)を保持すること。
- ・これらの荷重組合せに関しては、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮すること。

なお、上記の「終局耐力」とは、構造物に対する荷重を漸次増大した際、構造物の変形又は歪みが著しく増加する状態を構造物の終局状態と考え、この状態に至る限界の最大荷重負荷をいう。

2. 3 JEAG4601の規定内容

荷重の組合せ

「耐震設計に係る工認審査ガイド(平成25年6月19日原子力規制委員会決定)」の「4. 2 荷重及び荷重の組合せ」において、「規制基準の要求事項に留意して、JEAG4601の規定を参考に」組み合わせることとされている。

JEAG4601・補-1984 重要度分類編における、荷重の組合せに関する記載は以下のとおり。

JEAG4601・補-1984 重要度分類編(抜粋)
参考資料 I 運転状態と地震の関連について

1. 運転状態の定義

(1) 一般事項

b. その発生確率が 10^{-7} 回/炉・年を下回ると判断される事象は、運転状態 I ~ IVには含めない。

2. 運転状態と地震動との組合せ

2. 1 地震との従属事象

地震時の状態と、それによって引き起こされるおそれのあるプラントの状態とは、組合せなければならない。

2. 2 地震との独立事象

地震と、地震の独立事象の組合せは、これを確率的に考慮することが妥当であろう。地震の発生確率が低く、継続時間が短いことを考えれば、これと組合せるべき状態は、その原因となる事象の発生頻度及びその状態の継続時間との関連で決まることになる。

発生確率		1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	
運転状態の発生確率 (1/年)		I	II	III	IV							
基準地震動の発生確率 (1/年)					S_1	S_2						
基準地震動 S_1 との組合せ	従属事象	← S_1 従属 →										
	独立事象	1分以内										← $S_1 + II$ →
	1時間以内									← $S_1 + II$ →	← $S_1 + III$ →	
	1日以内							← $S_1 + II$ →	← $S_1 + III$ →	← $S_1 + IV$ →		
	1年以内					← $S_1 + II$ →	← $S_1 + III$ →	← $S_1 + IV$ →				
基準地震動 S_2 との組合せ	従属事象	← S_2 従属 →										
	独立事象	1分以内	($S_2 + II$ は 10^{-9} 以下となる)									
	1時間以内										← $S_2 + II$ →	← $S_2 + III$ →
	1日以内							← $S_2 + II$ →	← $S_2 + III$ →			
	1年以内					← $S_2 + II$ →	← $S_2 + III$ →	← $S_2 + IV$ →				

2. 3 JEAG4601の規定内容

運転状態と許容応力状態

JEAG4601・補-1984 重要度分類編における、運転状態と許容応力状態に関する記載は以下のとおりであり、プラントの運転状態 I ~IVに対応する許容応力状態 I_A ~IV_A 及び、地震により生ずる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態 III_AS、IV_ASを定義している。

JEAG4601・補-1984 許容応力編(抜粋)

第1章基本事項

1. 1記号の説明

状態

運転状態 I : 告示の運転状態 I の状態

運転状態 II : 告示の運転状態 II の状態

運転状態 III : 告示の運転状態 III の状態

運転状態(長期)IV(L) : 告示の運転状態IVの状態のうち、長期間のものが作用している状態

運転状態(短期)IV(S) : 告示の運転状態IVの状態のうち、短期間のもの(例:JET、JET反力、冷水注入による過渡現象等)が作用している状態

応力評価

許容応力状態 I_A : 告示の運転状態 I 相当の応力評価を行う許容応力状態

許容応力状態 I_A* : ECCS等のように運転状態IV(L)が設計条件となっているものに対する許容応力状態で許容応力状態 I_Aに準ずる。

許容応力状態 II_A : 告示の運転状態 II 相当の応力評価を行う許容応力状態

許容応力状態 III_A : 告示の運転状態 III 相当の応力評価を行う許容応力状態

許容応力状態 IV_A : 告示の運転状態 IV 相当の応力評価を行う許容応力状態

許容応力状態 III_AS : 許容応力状態 III_Aを基本として、それに地震により生ずる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

許容応力状態 IV_AS : 許容応力状態 IV_Aを基本として、それに地震により生ずる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

3. SA施設の荷重の組合せと 許容応力状態の設定に関する基本方針

3. SA施設の荷重の組合せと許容応力状態の設定に関する基本方針

1項、2項の検討結果から、SA施設の荷重の組合せと許容応力状態の設定に関する基本方針を以下のとおりとした。

【運転状態】

SA施設は、DBAを超え、SAが発生した場合に必要な措置を講じるための施設であることから、運転状態として従来のⅠ～Ⅳに加え、SAの発生している状態として運転状態Ⅴを新たに定義する。

【荷重の組合せ】

SA施設についても、DB施設と同様に、SA施設が想定する運転状態として、運転状態Ⅰ～Ⅳに加え、それを超える状態(運転状態Ⅴ)も想定し、地震の従属事象については、地震との組合せを実施するとともに、独立事象については、その発生確率、継続時間、地震動の超過確率の積等も考慮し、適切な地震力と組み合わせる。

【許容限界】

別記2によれば、 S_s に対する機能要求として、「荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。」とされており、DB施設では、許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を適用している。新たに定義する許容応力状態 V_{AS} は、SAに対処するために必要な機能が損なわれない許容限界として、柏崎刈羽6号炉、7号炉では、機能維持設計の許容限界として適用実績のある許容応力状態 IV_{AS} と同じ許容限界を適用する。

これらの基本方針の詳細を次頁以降に示す。

3. 1 SA施設の運転状態

当社のSA施設における運転状態の考え方を以下に示す。

SA施設は、DBを超え、SAが発生した場合に必要な措置を講じるための施設であることから、運転状態として従来の I ~ IVに加え、SAの発生している状態として運転状態 V を新たに定義する。

さらに運転状態 V については、重大事故等の状態が設計基準事故を超える更に厳しい状態であることを踏まえ、事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態を運転状態 V (S) とし、一連の過渡状態を除き、ある程度落ち着いた状態を長期的に荷重が作用している状態として運転状態 V (L)、V (L)より更に長期的に荷重が作用している状態を運転状態 V (LL) とする。

【運転状態の説明】

I ~ IV: JEAG4601で設定している運転状態

V (S) : SAの状態のうち事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態

V (L) : SAの状態のうち長期的(過渡状態を除く一連の期間)に荷重が作用している状態

V (LL) : SAの状態のうち V (L)より更に長期的に荷重が作用している状態

3. 2 組合せの基本方針

2項の整理内容を踏まえ、SA施設における荷重の組合せの設定方針をDB施設の方針との対比で示す。DB施設に対しては、運転状態Ⅰ～Ⅳを想定し、地震の従属事象については、地震との組合せを実施するとともに、独立事象については、その発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、発生確率が 10^{-7} /炉年超のものを組み合わせている。SA施設についても、DB施設と同様に、SA施設が想定する運転状態として、運転状態Ⅰ～Ⅳに加え、それを超える状態も想定し、地震の従属事象については、地震との組合せを実施するとともに、独立事象については、その発生確率、継続時間、地震動の超過確率の積等も考慮し、適切な地震力と組み合わせる。

DB施設の組合せの考え方	SA施設の組合せの考え方
<ul style="list-style-type: none"> ・Ss、Sdによる地震力と運転状態の組合せを考慮する。 ・運転状態Ⅰ～Ⅳを想定する。 ・地震の従属事象については、地震による地震力との組合せを実施する。 ・地震の独立事象については、事象の発生確率、継続時間、Ss若しくはSdの超過確率を踏まえ、発生確率が10^{-7}/炉年超の事象は組み合わせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・Ss、Sdによる地震力と運転状態の組合せを考慮する。 ・運転状態Ⅰ～Ⅳを想定するとともに、それを超えるSAの状態と、運転状態Ⅴを想定する。 ・地震の従属事象については、地震による地震力との組合せを実施する。 ・地震の独立事象については、事象の発生確率、継続時間及びSs若しくはSdの超過確率の積等も考慮し、工学的、総合的に組み合わせるか否かを判断する。 <p>組み合わせるか否かの判断は、国内外の基準等でスクリーニング基準として参照されている値、炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度の性能目標値に保守性をもたせた値を目安とし、事象の発生確率、継続時間及びSs若しくはSdの超過確率の積との比較等により判断する。</p> <p>また、上記により組合せ不要と判断された場合においても、事故後長期間継続する荷重とSdによる地震力と組み合わせる。</p> <p>SAが地震によって引き起こされるおそれがある事象であるかについては、DB施設の耐震設計の考え方に基づくとともに、確率論的な考察も考慮した上で判断する。</p>

3. 2 組合せの基本方針

(つづき)

DB施設の組合せの考え方	SA施設の組合せの考え方
<p>・原子炉格納容器は、LOCA後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧とSdによる地震力との組合せを考慮する。</p>	<p>・原子炉格納容器について、DB施設ではLOCA後の最終障壁として、SAに至らないよう強度的な余裕をさらに高めるべく、LOCA後の最大内圧とSdによる地震力との組合せを考慮することとしているが、SA施設においては、強度的に更なる余裕を確保するのではなく、以下の設計配慮を行うことにより、余裕を付加し信頼性を高めることとする。</p> <p>SA施設としての原子炉格納容器については、DB施設の基準地震動に対する機能維持の考え方に準じ、SA時を含む各運転状態と地震との組合せに対して必要な機能が損なわれるおそれがないよう設計を行う。さらに、最終障壁としての構造体全体の安全裕度の確認として、重大事故時の格納容器の最高温度、最高内圧を大きく超える200℃、2Pd(最高使用圧力の2倍の圧力)の条件で、原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能が損なわれることがないことの確認を行う。</p>

3.3 許容限界の基本方針

JEAG4601のDB施設に対する規定内容を踏まえ、SA施設における許容限界の設定方針を示す。

DB施設の許容限界の考え方	SA施設の許容限界の考え方
<ul style="list-style-type: none"> ・弾性設計の許容限界として、運転状態Ⅲに対する許容応力状態に地震力に対する制限を加えた許容応力状態Ⅲ_ASを用いる。 ・機能維持設計の許容限界として、運転状態Ⅳに対する許容応力状態に地震力に対する制限を加えた許容応力状態Ⅳ_ASを用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・SA施設の耐震設計は、DB施設に準拠することとしていることから、運転状態Ⅰ～Ⅳと地震による地震力の組合せに対しては、DB施設と同様の許容応力状態を適用する。 ・設計条件を超える運転状態Ⅴの許容応力状態としてV_Aを定義し、さらに地震との組合せにおいては、許容応力状態V_ASを定義する。別記2によれば、機能維持設計の要求として、「荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。」とされており、DB施設では、許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界を適用している。新たに定義する許容応力状態V_ASは、SAに対処するために必要な機能が損なわれない許容限界であり、柏崎刈羽6号炉、7号炉では、機能維持設計の許容限界として適用実績のある許容応力状態Ⅳ_ASと同じ許容限界を適用する。

【許容応力状態の説明】

- I_A～IV_A : JEAG4601で設定している許容応力状態
- Ⅲ_AS～Ⅳ_AS : JEAG4601で設定している許容応力状態
- V_A : 運転状態Ⅴ相当の応力評価を行う許容応力状態
(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)
- V_AS : 許容応力状態V_Aを基本として、それに地震により生ずる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)

4. 耐震評価で考慮する荷重の組合せの検討手順

4. 1 地震の従属事象・独立事象の判断

組合せの基本方針として、従来DBにおける考え方に従い、下記の判断を行う

- ① SA(運転状態V)の発生が地震の従属として引き起こされる事象である場合は、SAにおいて経験する最大荷重とSsを組み合わせる[従属事象]
- ② SAの発生が地震の発生とは独立に引き起こされる事象である場合は、SAの発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、Ss、Sdいずれか適切な地震力と組み合わせる[独立事象]

【検討の結果】

DB施設の耐震設計の考え方に基づくとともに、以下のように判断できる。

- 設計基準地震の発生を想定した場合、その地震力未満で設計された設備が、確定論的に設備が損傷すると仮定した場合に発生する事象
 - －B.Cクラス設備の機能が確保されないとの前提では、原子炉に対する外乱としては、主蒸気流量の遮断、給水流量の喪失、外部電源喪失に伴う給水ポンプ及び原子炉再循環ポンプの停止となるが、これらはいずれも「運転時の異常な過渡変化」として扱われる事象に抱絡される(従前のDBにおける考え方と同じ整理)
 - 上記の起因事象が発生した以降、スクラム、ECCS等の安全機能期待できない場合はSA事象に発展する可能性があり
 - －過渡事象発生後の緩和系である安全機能(スクラム、ECCS等)は、耐震Sクラス施設として位置づけられており、以下の基本思想のとおり、Ssによる地震力に対して安全機能が損なわれるおそれのないよう設計されている。
 - ・耐震Sクラス施設は、Ssによる地震力に対して損傷しない
 - ・下位クラスに属するものの波及的影響等に対しても、その機能を損なわない
 - －炉心損傷防止に係る重大事故等対策の有効性評価において想定した全ての事故シーケンスに対し、Ss相当の地震により、起因事象が発生したとしても耐震Sクラス施設である緩和設備が機能することでSAに発展することはないことを確認
- ⇒以上のとおり、決定論的に運転状態Vは②「独立事象」として扱うものと判断できる。
- なお、確率論的な知見により(地震PRAを活用)、Ss相当までの地震力によって安全機能が喪失し(ランダム故障は除く)、炉心損傷に至る頻度は 10^{-8} オーダーであり十分に小さいことから、上記の確定論に基づく判断は適切であることを確認した。

4. 2 施設分類

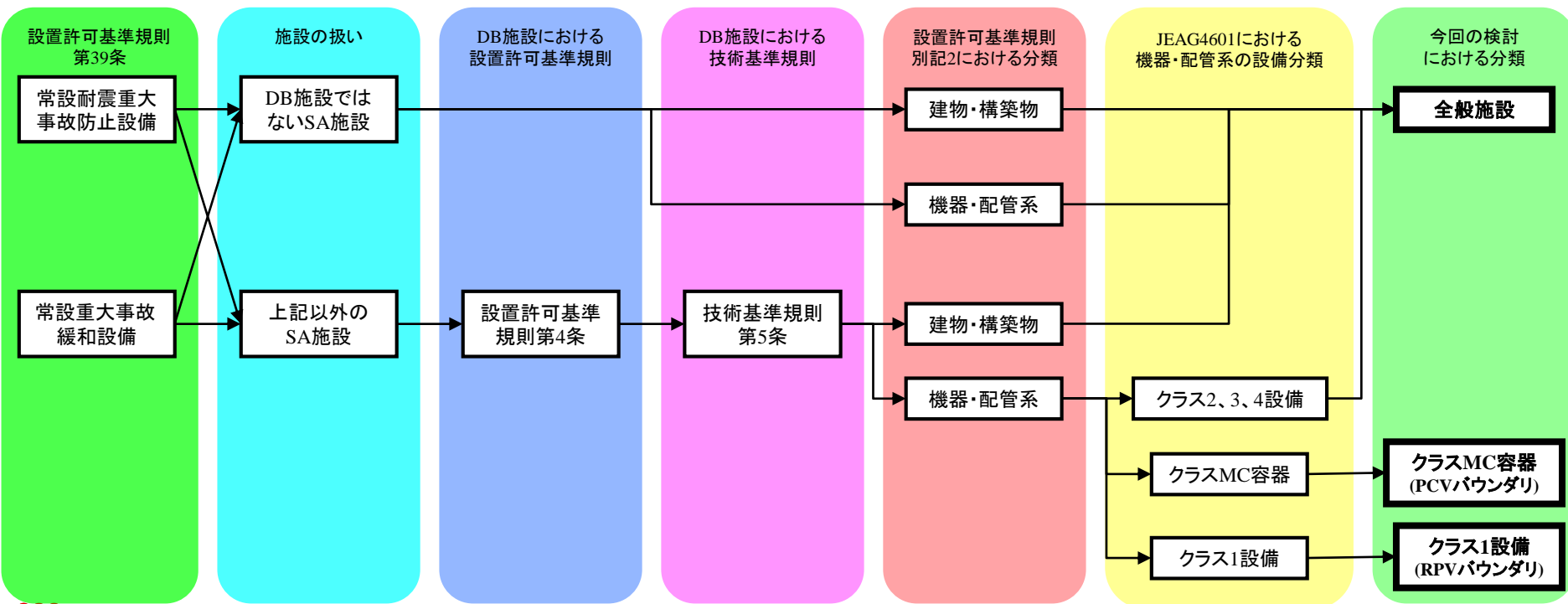
対象施設は設置許可基準規則、技術基準規則、JEAG4601の分類等を踏まえた分類を行い、その分類毎に組合せ方針を検討することとし、対象施設は以下のとおり分類する。

SA施設は、設置許可基準規則の解釈別記2から「機器・配管系」と「建物・構築物」に分類される。ここで、建物・構築物についても、機器・配管系と同様の考え方で組合せを考慮することとする。

また、原子炉格納容器バウンダリを構成する設備(以下、PCVバウンダリ)と原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備(以下、RPVバウンダリ)については、「重大事故等対策の有効性評価」により得られたSA時の圧力・温度の推移を用いて検討を行うことから他の施設とは別にSA荷重と地震力の組合せを検討する。

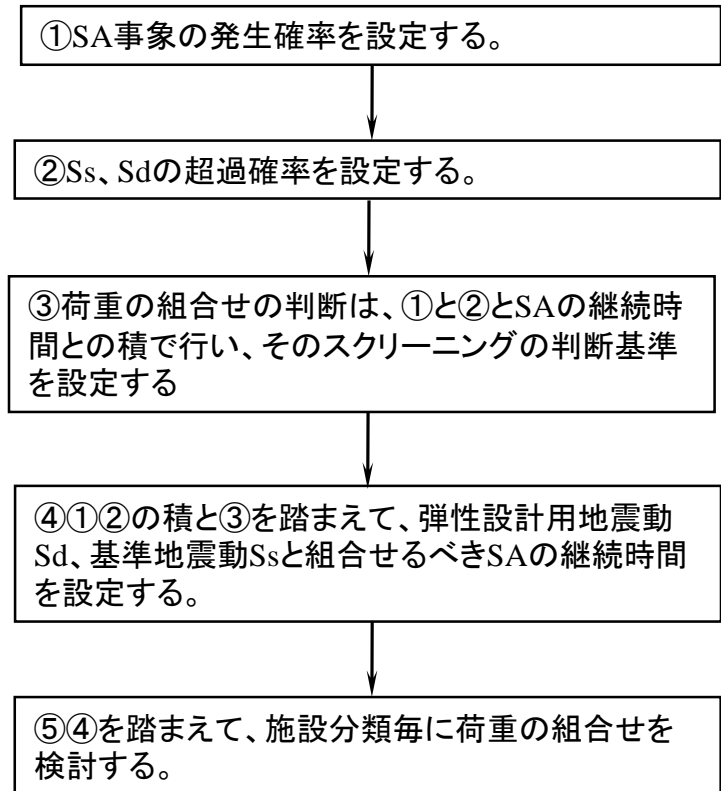
以上のことから、以降の検討では施設を図のとおり分類し、建物・構築物を含む全般施設は、PCVバウンダリ、RPVバウンダリ以外の機器・配管系の組合せ方針を適用する。

なお、原子炉格納容器の圧力・温度等の条件を用いて評価を行う施設については、PCVバウンダリの荷重の組合せに従い、支持構造物については、支持される施設の荷重の組合せに従うものとする。



4.3 独立事象に対する荷重の組合せの選定手順(1/2)

地震の独立事象に対して、施設分類毎(全般施設、PCVバウンダリ、RPVバウンダリを構成する設備)に適用する荷重の組合せの選定手順を示す。考え方としては、事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率の積等を考慮し、工学的、総合的に組み合わせる地震力を判断する。以下に全体フローを示す。



①SAの発生確率としては、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。

②地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の超過確率に読み替えて適用する。

③スクリーニングの判断基準はDB施設における設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年※に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とする。

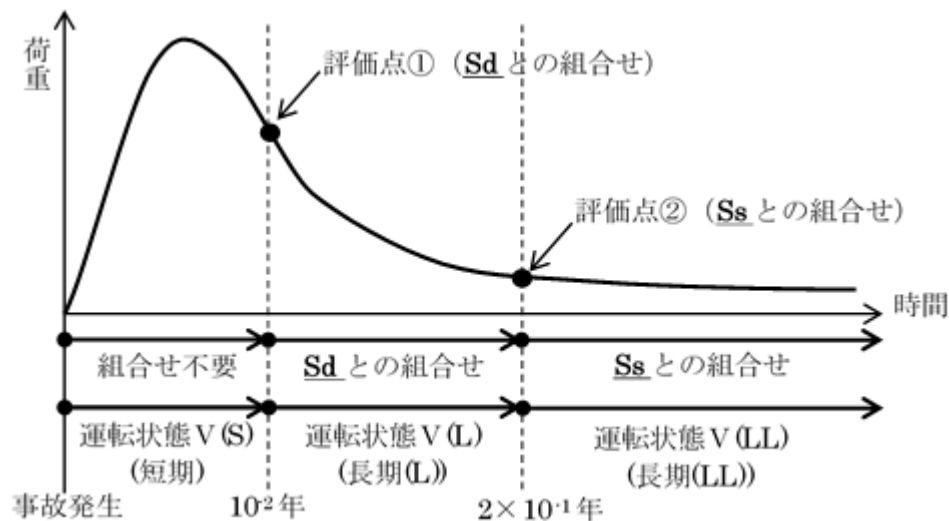
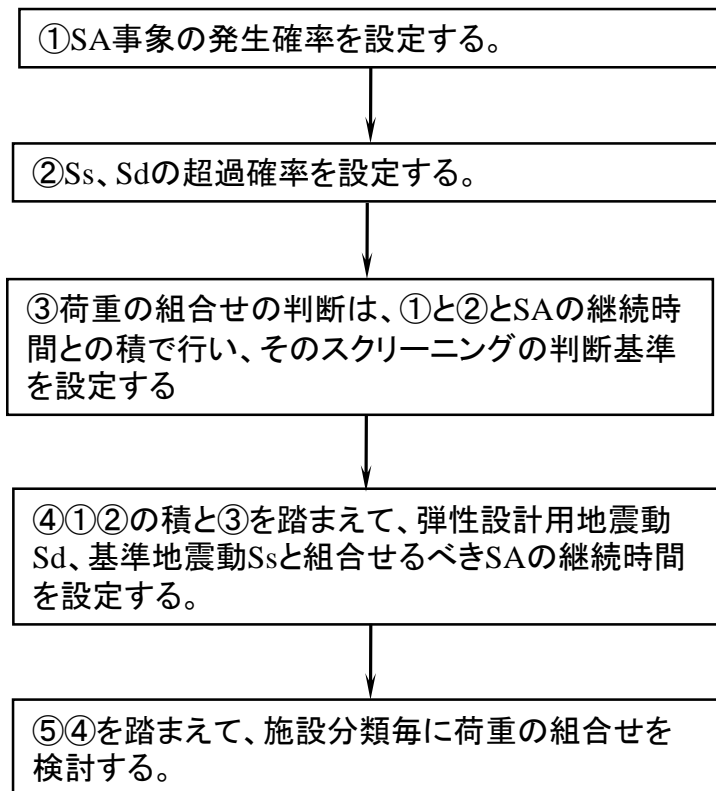
④継続時間の設定

- ・事故発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要：短期(運転状態V(S))
- ・弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年：長期(L)(運転状態V(L))
- ・基準地震動 S_s との組合せが必要な期間 2×10^{-1} 年以降：長期(LL)(運転状態V(LL))

※米国のSRPIにおいて、重大なFPの放出に至る事故を生じさせる可能性のある事象に関する十分低い確率として許容しうる基準として、 10^{-7} /炉年という値が用いられている。また、航空機落下に関しても 10^{-7} /年という値が用いられている。

4.3 独立事象に対する荷重の組合せの選定手順(2/2)

①～④を考慮して、運転状態V(S)、運転状態V(L)、運転状態V(LL)を設定し、基準地震動Ssと組合せる期間、弾性設計用地震動Sdと組合せる期間を決定する。具体的には運転状態V(L)における荷重とSd、運転状態V(LL)における荷重とSsを組合せる。



5. 荷重の組合せの検討結果

5. 1 全般施設

4項の検討手順に基づき、事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、荷重の組合せを検討した。

- ①炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。
- ②地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の超過確率に読み替えて適用する。
- ③スクリーニングの判断基準はDB施設の設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とする。
- ④継続時間の設定

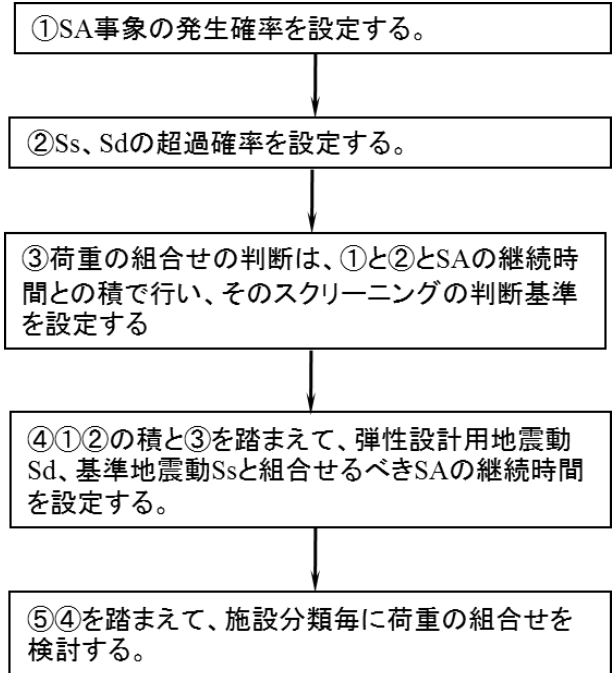
事故発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要

：短期(運転状態 V(S))

弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年：長期(L)(運転状態 V(L))

基準地震動 S_s との組合せが必要な期間 2×10^{-1} 年以降：長期(LL)(運転状態 V(LL))

- ⑤荷重の組合せ検討
次頁にて整理する。



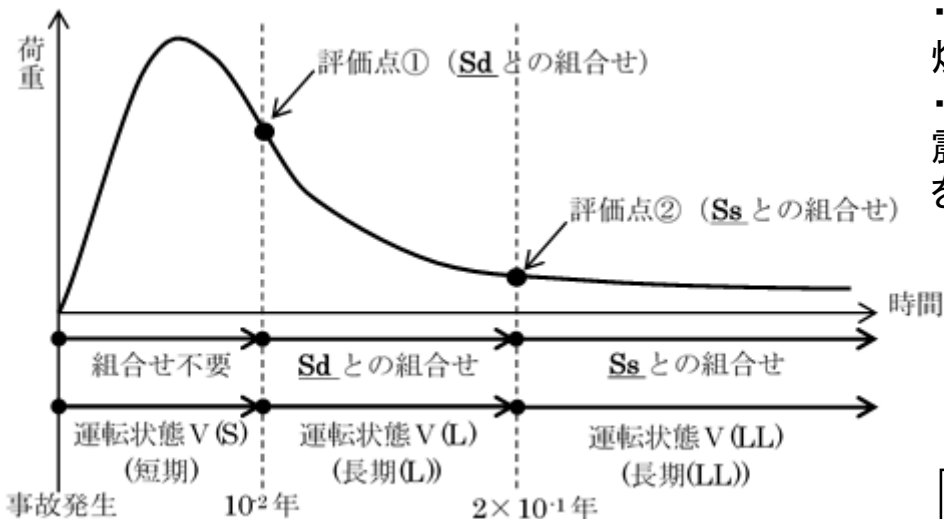
5. 1 全般施設

前頁で設定した事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、組合せを整理した。

事故シーケンス	重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間
		弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}		
全てのSA	10 ⁻⁴ /年 ^{※1}	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上
		基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年 ^{※2}		2 × 10 ⁻¹ 年以上

※1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、重大事故等の発生確率として10⁻⁴/年とした。

※2：JEAG4601-1984に記載されている地震動の発生確率S₂、S₁の発生確率をS_s、S_dに読み換えた



【SAの発生確率、地震動の超過確率に関する考察】

- ・SAの発生確率は、個別プラントの炉心損傷頻度を用いず、炉心損傷頻度の性能目標値である10⁻⁴/炉年を適用している。
- ・地震ハザード解析結果から得られる超過確率を参照し、地震動の超過確率はJEAG4601・補-1984に記載の発生確率を用いている。



全般施設については必ずしもSAによる荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、上記の考え方を包絡するようにSA発生後の最大荷重とS_sによる地震力を組合せる。

・SA発生後の最大荷重とS_sの組合せを考慮

5. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

4項の検討手順に基づき、事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、荷重の組合せを検討した。

- ①炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉を適用する。
- ②地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の超過確率に読み替えて適用する。
- ③スクリーニングの判断基準はDB施設の設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とする。

④継続時間の設定

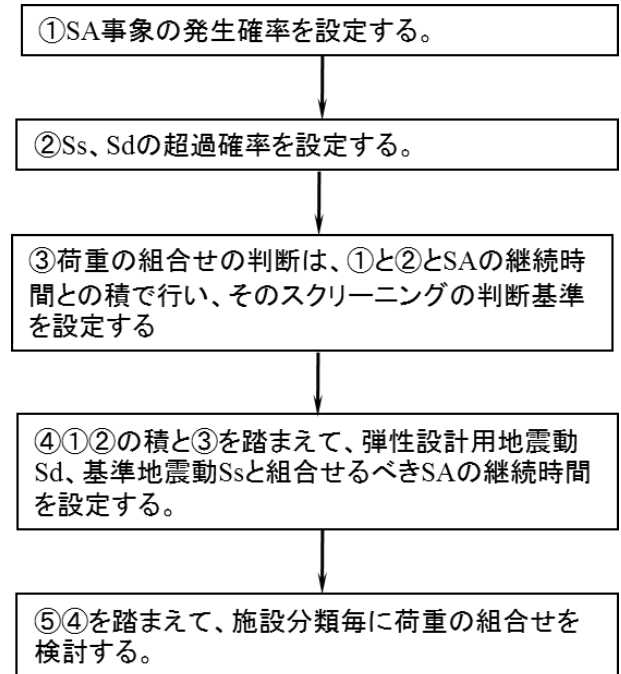
事故発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要

：短期(運転状態 V(S))

弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年：長期(L)(運転状態 V(L))

基準地震動 S_s との組合せが必要な期間 2×10^{-1} 年以降：長期(LL)(運転状態 V(LL))

- ⑤荷重の組合せ検討
次頁にて整理する。



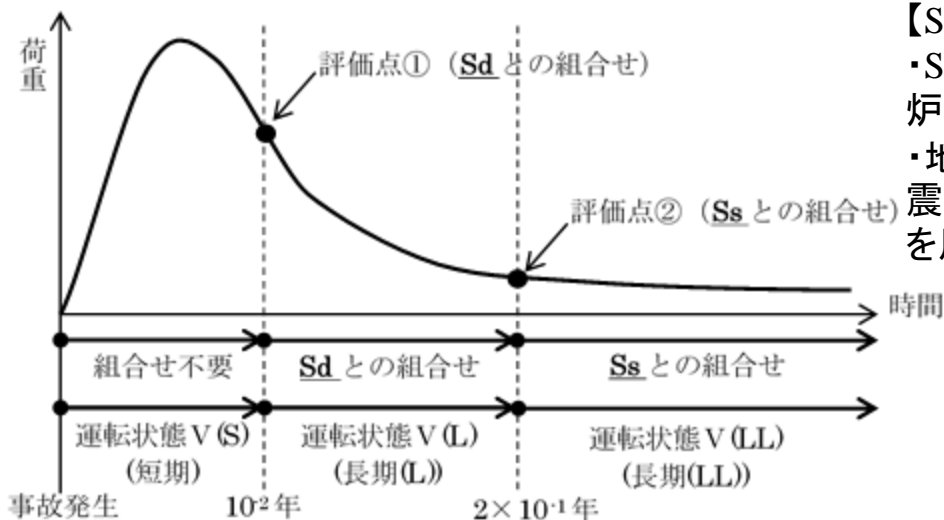
5. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

前頁で設定した事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、組合せを整理した。

事故シーケンス	重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間
		弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}		
全てのSA	10 ⁻⁴ /年 ^{※1}	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上
		基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年 ^{※2}		2 × 10 ⁻¹ 年以上

※1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、重大事故等の発生確率として10⁻⁴/年とした。

※2：JEAG4601-1984に記載されている地震動の発生確率S₂、S₁の発生確率をS_s、S_dに読み換えた



【SAの発生確率、地震動の超過確率に関する考察】

- ・SAの発生確率は、個別プラントの炉心損傷頻度を用いず、炉心損傷頻度の性能目標値である10⁻⁴/炉年を適用している。
- ・地震ハザード解析結果から得られる超過確率を参照し、地震動の超過確率はJEAG4601・補-1984に記載の発生確率を用いている。



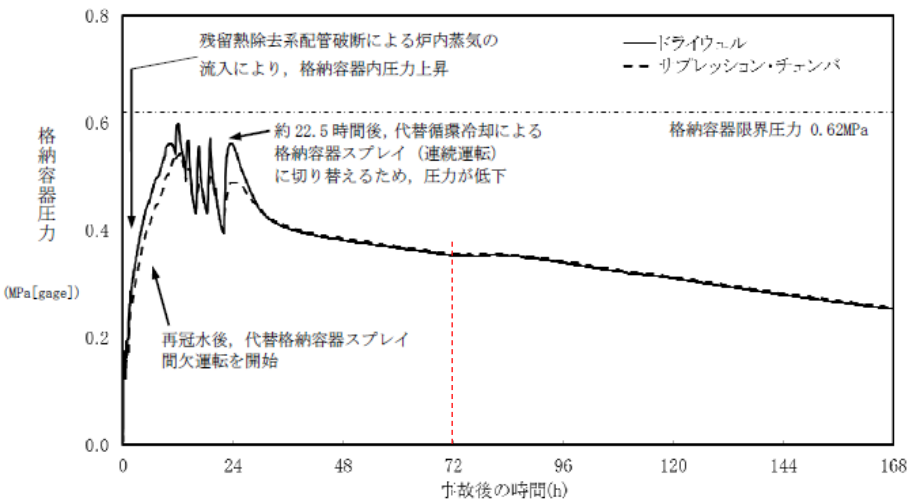
- ・SA短期荷重と地震動との組合せは不要
- ・SA長期(L)荷重とSdの組合せを考慮
- ・SA長期(LL)荷重とSsの組合せを考慮

5. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

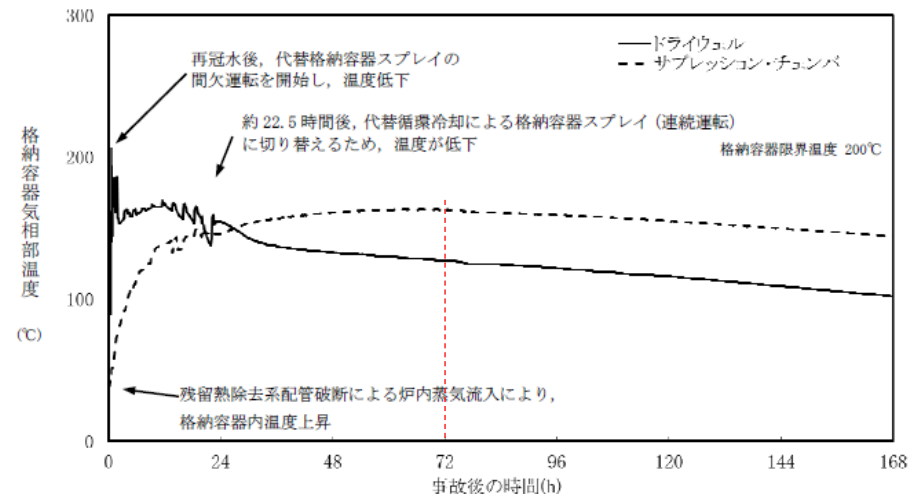
【事故シーケンスの抽出】

原子炉格納容器の圧力・温度条件が最も厳しくなる事故シーケンスグループを抽出

・雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却を使用する場合））



格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却を使用する場合）における格納容器圧力の推移



格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却を使用する場合）における格納容器温度（気相部）の推移

SA 発生後 10^{-2} 年後前までに、原子炉格納容器の最高圧力及び最高温度となり、 10^{-2} 年後以降は、原子炉格納容器圧力逃がし装置等又は代替原子炉補機冷却系による除熱機能の効果により、格納容器圧力及び温度は低下傾向が維持される。

5.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

4項の検討手順に基づき、事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、荷重の組合せを検討した。

- ①炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。
- ②地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の超過確率に読み替えて適用する。
- ③スクリーニングの判断基準はDB施設の設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とする。

④継続時間の設定

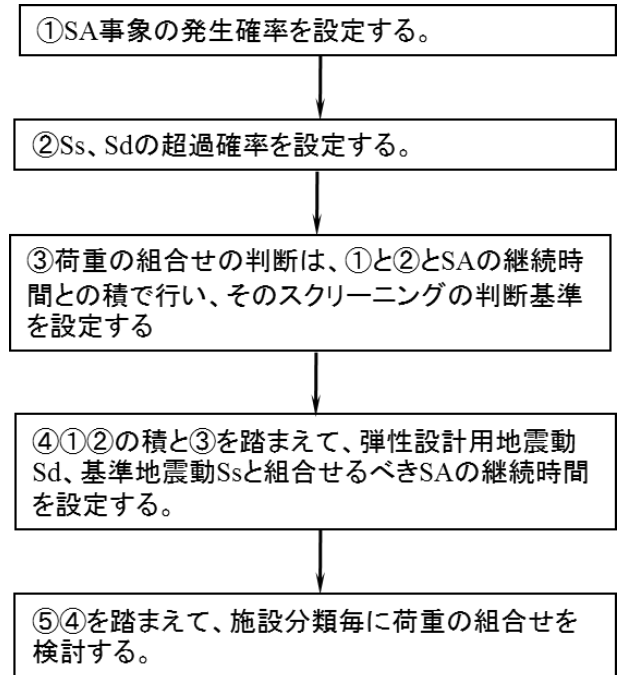
事故発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要

：短期(運転状態 V(S))

弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年：長期(L)(運転状態 V(L))

基準地震動 S_s との組合せが必要な期間 2×10^{-1} 年以降：長期(LL)(運転状態 V(LL))

- ⑤荷重の組合せ検討
次頁にて整理する。



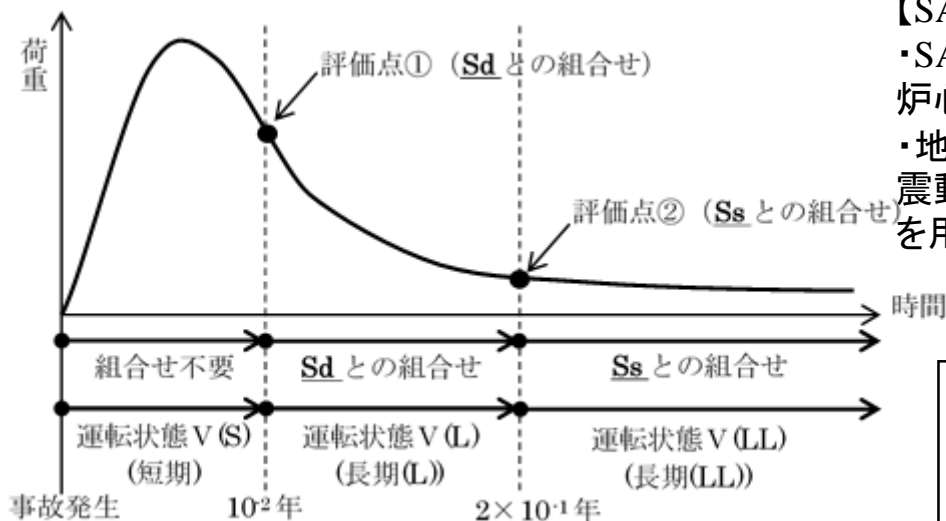
5.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

前頁で設定した事象の発生確率、継続時間、地震動の超過確率を踏まえ、組合せを整理した。

事故シーケンス	重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間
		弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}		
全てのSA	10 ⁻⁴ /年 ^{※1}	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年 ^{※2}	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上
		基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年 ^{※2}		2 × 10 ⁻¹ 年以上

※1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、重大事故等の発生確率として10⁻⁴/年とした。

※2：JEAG4601-1984に記載されている地震動の発生確率S₂、S₁の発生確率をSs、Sdに読み換えた



【SAの発生確率、地震動の超過確率に関する考察】

- ・SAの発生確率は、個別プラントの炉心損傷頻度を用いず、炉心損傷頻度の性能目標値である10⁻⁴/炉年を適用している。
- ・地震ハザード解析結果から得られる超過確率を参照し、地震動の超過確率はJEAG4601・補-1984に記載の発生確率を用いている。



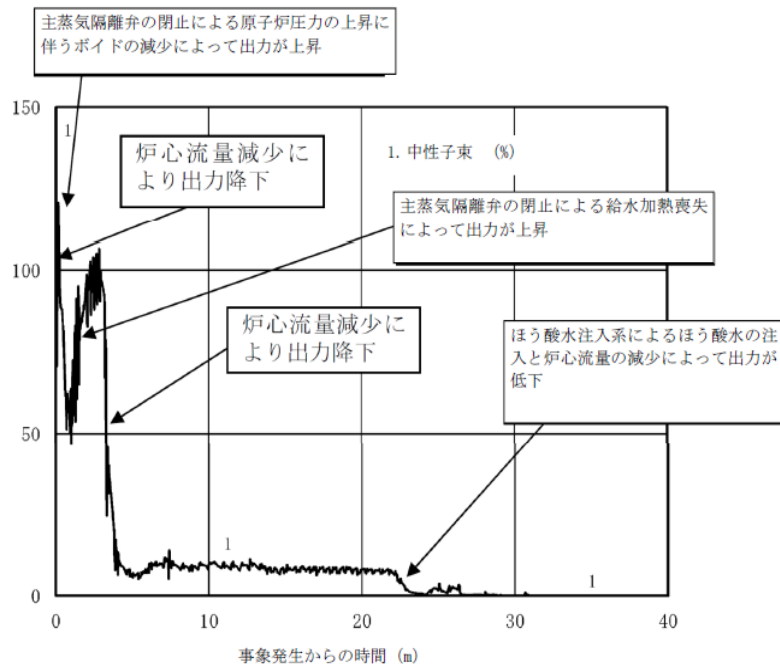
- ・SA短期荷重と地震動との組合せは不要
- ・SA長期(L)荷重とSdの組合せを考慮
- ・SA長期(LL)荷重とSsの組合せを考慮

5.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

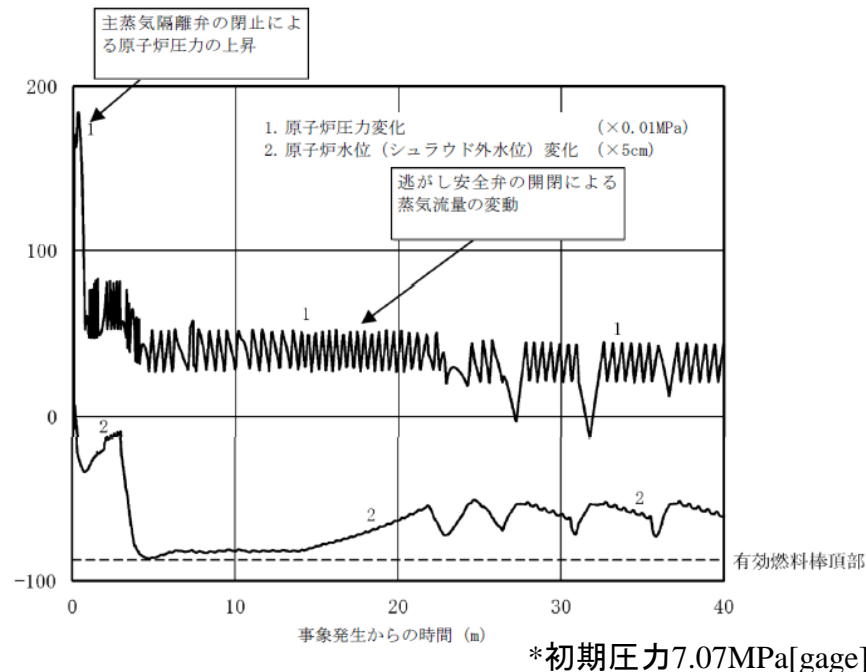
【事故シーケンスの抽出】

原子炉圧力容器の圧力・温度条件が最も厳しくなる事故シーケンスグループを抽出

・原子炉停止機能喪失



原子炉停止機能喪失における中性子束の時間変化(事象発生から40分後まで)



原子炉停止機能喪失における原子炉圧力、原子炉水位(シュラウド外水位)の時間変化(事象発生から40分後まで)

原子炉圧力は主蒸気隔離弁の閉止に伴う圧力上昇以降、速やかに耐震設計上の設計圧力である8.38MPa[gage]を下回る。また、事象開始から30分以内にほう酸水注水系による未臨界が確立され、事象は収束する。

6. 許容応力状態の検討結果

6. 許容応力状態の検討結果

許容応力状態については、5項の荷重の組合せの検討結果に加え、1～3項に記載の以下の考え方にに基づき設定した。

- SAの発生を防止する観点から、運転状態Ⅰ～Ⅳについては、DB施設と同等の考えうる最も高い水準で耐震設計を行う。
- 3項でSA時に施設に要求される機能が満足する許容応力状態として設定した $V_A S$ は、運転状態Ⅰ～Ⅳを超えるSAの発生している運転状態Ⅴに対する許容応力状態であり、「閉じ込め機能を確実にし、放射性物質の放出を合理的に達成可能な限り低く維持すること」が求められる。
- $V_A S$ の許容限界は、柏崎刈羽6号炉、7号炉では、これらの機能を保持する観点から $IV_A S$ と同じものを適用する。

これらに基づき検討した許容応力状態の検討結果を次頁以降に示す。

6. 1 全般施設

6. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

6. 3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

6. 1 全般施設

全般施設の組合せの検討結果を踏まえた、全般施設の各運転状態との組合せに対する許容応力状態は以下のとおり。

運転状態	許容応力状態	DB施設		SA施設		備考
		Sd	Ss	Sd	Ss	
I	I _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
II	II _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
III	III _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(L)	IV _A ECCS等: I _A *	III _A S※1	—	III _A S※1	—	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV _A	—	—	—	—	—
V(LL)	V _A			—	V _A S※2	V _A Sの許容限界は、柏崎刈羽6号炉及び7号炉では、IV _A Sと同じものを適用する。

※1: ECCSに係るもののみ

※2: SA後短期的なもの、長期的なものを区別せず、それらを包絡する条件をSA条件として設定する。(原子炉格納容器雰囲気温度の影響を受ける全般施設については、6.2項の検討結果も考慮する)

6. 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

各運転状態との組合せに対する許容応力状態は以下のとおり。

DB条件における評価では、Sd+事故後長期荷重では $III_A S$ を許容応力状態としているが、これは、ECCS等と同様、PCVバウンダリが事故を緩和・収束させるために必要な施設に挙げられていることによるものである。また、DB施設としてPCVバウンダリについては、LOCA後(DBA)の最終障壁としての安全裕度を確認する意味で、LOCA後の最大内圧とSdの組合せを実施している。SA施設としてのPCVバウンダリについては、最終障壁としての安全裕度の確認として、重大事故時の格納容器の最高温度、最高内圧を大きく超える $200^{\circ}C$ 、 $2Pd$ の条件で、PCVバウンダリの放射性物質閉じ込め機能が損なわれないことの確認を行う。

運転状態	許容応力状態	DB施設		SA施設		備考
		Sd	Ss	Sd	Ss	
I	I_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
II	II_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
III	III_A	$III_A S$	$IV_A S$	—	$IV_A S$	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(L)	I^*_A	$III_A S$	—	$III_A S$	—	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV_A	$IV_A S^{*1}$	—	—	—	—
V(LL)	V_A			—	$V_A S^{*2}$	$V_A S$ の許容限界は、柏崎刈羽6号炉及び7号炉では、 $IV_A S$ と同じものを適用する。
V(L)	V_A			$V_A S^{*2}$	—	
V(S)	V_A			—	—	—

※1: 構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧とSdによる地震力との組合せを考慮する。

※2: 原子炉格納容器雰囲気温度の影響を受ける全般施設については、6.1項の検討結果も考慮する。

6.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

各運転状態との組合せに対する許容応力状態は以下のとおり。

DB条件における評価では、Sd+事故後長期荷重では、ECCS等は III_{AS} を許容応力状態としているが、これは、ECCS等が事故時に運転を必要とする施設に挙げられていることによるものである。

運転状態	許容応力状態	DB施設		SA施設		備考
		Sd	Ss	Sd	Ss	
I	I_A	III_{AS}	IV_{AS}	—	IV_{AS}	DBと同じ許容応力状態とする。
II	II_A	III_{AS}	IV_{AS}	—	IV_{AS}	DBと同じ許容応力状態とする。
III	III_A	III_{AS}	IV_{AS}	—	IV_{AS}	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(L)	IV_A ECCS等: I^*_A	IV_{AS}^{*1}	—	IV_{AS}^{*1}	—	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV_A	—	—	—	—	—
V(LL)	V_A			—	V_{AS}	V_{AS} の許容限界は、柏崎刈羽6号炉及び7号炉では、 IV_{AS} と同じものを適用する。
V(L)	V_A			V_{AS}	—	
V(S)	V_A			—	—	—

※1: ECCSに係るものは III_{AS}

7. まとめ

7. まとめ

SA施設の耐震設計にあたっては、SAは地震の独立事象として位置づけたうえで、SAの発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、SA荷重とSs、Sdいずれか適切な地震力を組み合わせて評価することとし、その組合せ検討結果としては、以下のとおりとなる。

【全般施設】

重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間	考慮する組合せ
	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年			
10 ⁻⁴ /年	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上	SA荷重+Ss ※
	基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年			

※全般施設については必ずしもSAによる荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、組合せの考え方を包絡するようSA発生後の最大荷重とSsによる地震力を組合せる。

【PCVバウンダリ】

重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間	考慮する組合せ
	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年			
10 ⁻⁴ /年	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上	SA長期(L)荷重+Sd SA長期(LL)荷重+Ss
	基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年			

【RPVバウンダリ】

重大事故等の発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間	考慮する組合せ
	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年			
10 ⁻⁴ /年	弾性設計用地震動Sd	10 ⁻² /年	10 ⁻⁸ /年以上	10 ⁻² 年以上	SA長期(L)荷重+Sd SA長期(LL)荷重+Ss
	基準地震動Ss	5 × 10 ⁻⁴ /年			

7. まとめ

以上を踏まえ、機器・配管系の荷重の組合せについて、柏崎刈羽6号炉、7号炉の耐震設計方針を以下に示す。

DB施設	SA施設
<p>(a) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。</p> <p>(b) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象による荷重と地震力とを組み合わせる。</p> <p>(c) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせる。</p>	<p>(a) 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。</p> <p>(b) 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等の状態で作用する荷重のうち、地震によって引き起こされるおそれがある事象によって作用する荷重と地震力とを組み合わせる。重大事故等が地震によって引き起こされるおそれがある事象であるかについては、設計基準対象施設の耐震設計の考え方に基づくとともに、確率論的な考察も考慮した上で設定する。</p> <p>(c) 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等の状態で作用する荷重のうち地震によって引き起こされるおそれがない事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力(基準地震動又は弾性設計用地震動による地震力)と組み合わせる。この組合せについては、事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の積等を考慮し、工学的、総合的に勘案の上設定する。なお、継続時間については対策の成立性も考慮した上で設定する。</p> <p>以上を踏まえ、原子炉格納容器バウンダリを構成する設備および原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備については、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象V(L)による荷重と弾性設計用地震動による地震力を組合せる。また、V(L)よりも更に長時間継続する事象V(LL)による荷重と基準地震動による地震力を組合せる。さらに、その他の施設については、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせる。</p>

以上

SAの運転状態の考え方

JEAG4601

運転状態Ⅰ：告示の運転状態Ⅰの状態

運転状態Ⅱ：告示の運転状態Ⅱの状態

運転状態Ⅲ：告示の運転状態Ⅲの状態

運転状態Ⅳ(L)：告示の運転状態Ⅳの状態のうち、長期間のものが作用している状態

運転状態Ⅳ(S)：告示の運転状態Ⅳの状態のうち、短期間のものが作用している状態

運転状態Ⅴ(L)：SAの状態のうち長期的（過渡状態を除く一連の期間）に荷重が作用している状態

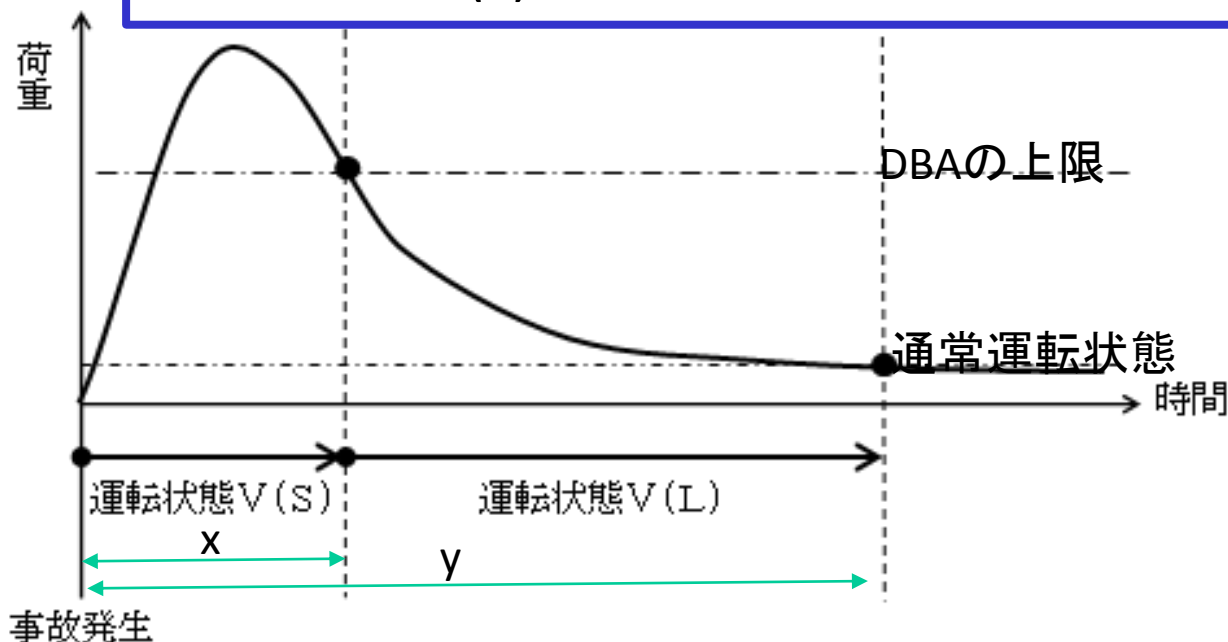
運転状態Ⅴ(S)：SAの状態のうち事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態

⇒ 先行審査における考え方と同じ考え方とする。

参考：先行審査実績のある「SA+地震」の考え方

先行審査における運転状態 V(S)・運転状態 V(L)の考え方

運転状態 V(S)：ピーク温度，ピーク圧力と組合せ
運転状態 V(L)：最高使用温度・圧力と組合せ



<前提条件>

SA発生頻度： 10^{-4} [／炉・年]

Ss： 5.0×10^{-4} [／年]

Sd： 1.0×10^{-2} [／年]

運転状態V(S)の継続時間： x [年]

運転状態V(L)の継続時間： y [年]

ここで、

V(S)：SA発生後荷重がDBA上限を下回るまでの期間

V(L)：V(S)終了時から荷重が通常状態を下回るまでの期間

SA荷重と地震荷重の組合せ要否の判定基準：

下記計算による頻度 [／炉・年] が十分に小さい※こと

[SA発生頻度] × [地震(Ss or Sd)の確率] × [運転状態(V(S) or V(L))の継続時間]

※先行審査プラントでは 10^{-8} を適用されている

当社における運転状態 V (S)、V (L)の考え方

- ① 運転状態、継続期間の考え方は先行と同じ。
- ② 運転状態 V (L)において通常運転温度・圧力を超える期間は長期にわたるため適切な地震動との組合せを考慮する観点で、Sdと組合わせる期間，Ssと組合わせる期間を設定する必要がある。よって、運転状態 V (L)に加えて、運転状態 V (LL)を設定する。

運転状態 V (S): 事象発生後 $\sim 10^{-2}$ 年

運転状態 V (L): 2×10^{-1} 年以内

運転状態 V (LL): 2×10^{-1} 年以上

(組合せるべき荷重)

⇒ ピーク圧力・温度

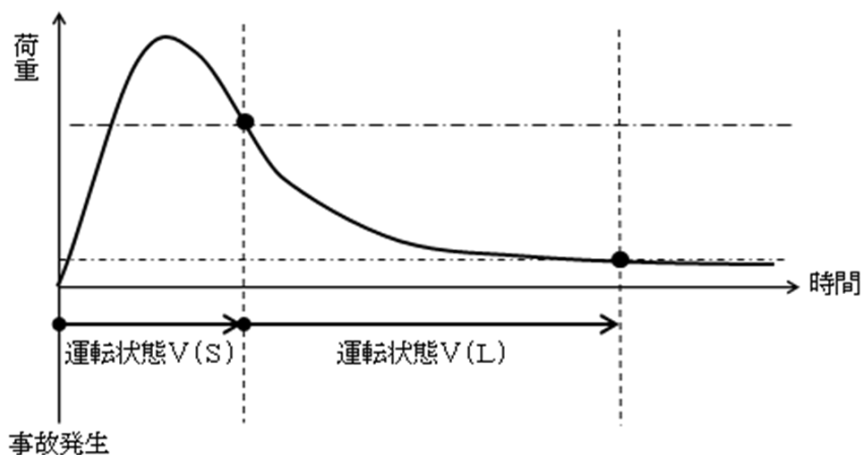
⇒ 当該期間での最高温度・圧力

⇒ 当該期間での最高温度・圧力

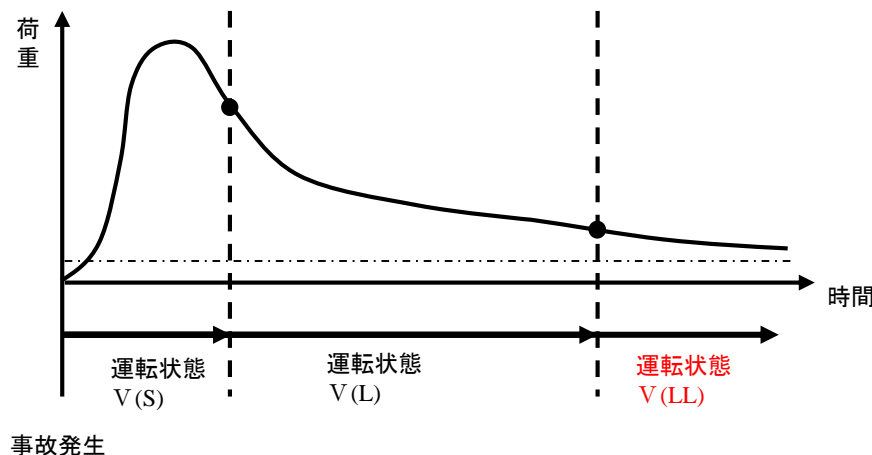
参考：BWRにて配慮すべき事項(2)

先行PWRと当社の地震荷重組合せ概念の違い

先行PWR



当社



	PWR先行手法	当社
短期: 運転状態 V(S)	組合せなし	組合せなし
長期(L): 運転状態 V(L)	Sdとの組合せ	Sdとの組合せ
長期(LL): 運転状態 V(LL)	—※	Ssとの組合せ

※Ss+通常運転時荷重の評価で包絡

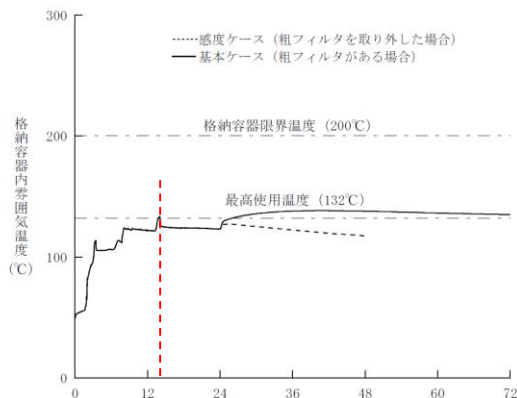
参考：BWRにて配慮すべき事項(3)

BWRの特性

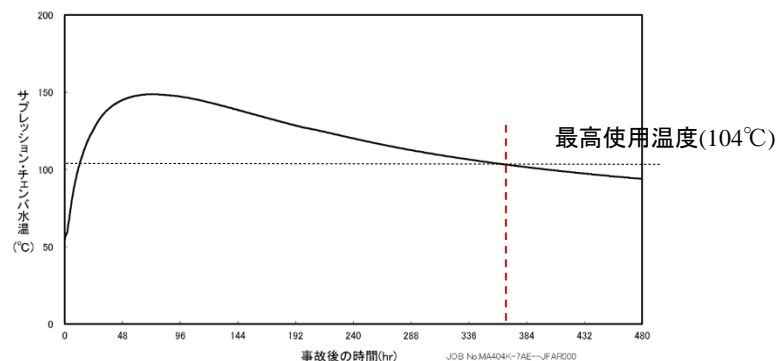
- BWRでは事故後の崩壊熱に起因する熱エネルギーをサブプレッションプールに蓄積させる
- サプレッションプールの最高温度の設計思想は以下のとおり。

- ◆ LOCA時のブローダウン時における凝縮能力の確保
- ◆ SRVクエンチャによる蒸気凝縮能力の確保

これらを満たすため、「RHRの除熱能力」が設定されている。よって、SA時にRHR除熱機能の喪失を前提とした場合、最高温度・通常運転温度を超過する期間がPWRに比べて長期間継続することとなる。



C/V過圧破損におけるC/V温度の時間変化
(伊方3号炉審査資料より抜粋)



格納容器過圧・過温破損(代替循環冷却を使用する場合)
におけるサブプレッションチェンバ水温の推移(柏崎刈羽6号炉、7号炉)

よって、 2×10^{-1} 年以上の運転状態として **V(L)より長期の運転状態** を設定する必要がある。

⇒ **V(LL): 2×10^{-1} 年以上**

参考：BWRにて配慮すべき事項(4)

BWRの特性(炉心損傷後の挙動について)

- 耐震評価の荷重を組み合わせる上では“**SAの発生確率、継続時間、地震動の超過確率を考慮し、適切な地震力と組み合わせる**”との考え方が基本
- KK-6,7では、格納容器破損防止を評価するシナリオとして、以下の2種類が存在
 - ー 過圧・過温シナリオ:「大破断LOCA+ECCS機能喪失+SBO」
 - ー RPV破損後の格納容器破損モードを評価するためのシナリオ:
「過渡事象+ECCS機能喪失+(SA炉心注水無し)」
- RPV破損後のシナリオは、SA設備として追加した炉心への注水機能には期待しないとの前提で評価を行っており、本来、当該シナリオは高圧代替注水系又は低圧代替注水系による注水により炉心損傷の回避が可能なシナリオ
- よって、荷重の組み合わせを考える際、上述の組み合わせの考え方に照らすと、他の事故シナリオと同列に扱うことは適切ではない
- よって、**耐震評価においては「過圧・過温シナリオ」を格納容器に対する地震との荷重の組み合わせの対象シナリオとする**

参考[補足]:RPVに注水できない場合の溶融炉心の挙動に関するBWRの特徴

◎RPV破損に至るまでの時間

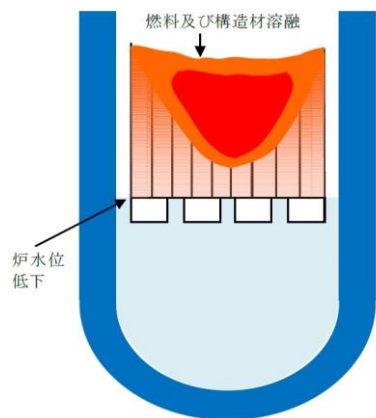
- BWRは事象発生からRPV破損までの時間がPWRに比べて長い

※ PWRでは原子炉容器（RV）と表記されるが便宜上RPVとした。

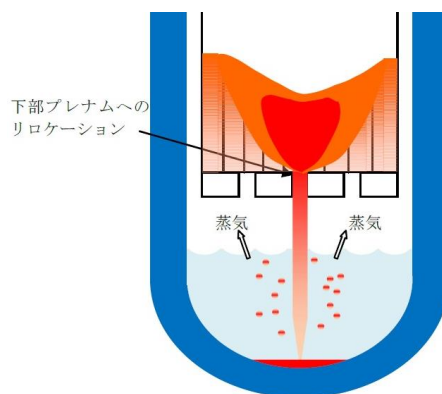
事象発生からRPV破損*までの事象進展の時間
 [大LOCAと原子炉注水機能喪失が重畳するシナリオでの比較]

	①炉心溶融開始	②RPV下部への溶融炉心落下開始	③RPV破損
KK6/7(ABWR)	約1.7時間後	約1.9時間	約6.4時間後
PWRの例	約19分後	約54分後	約1.5時間後

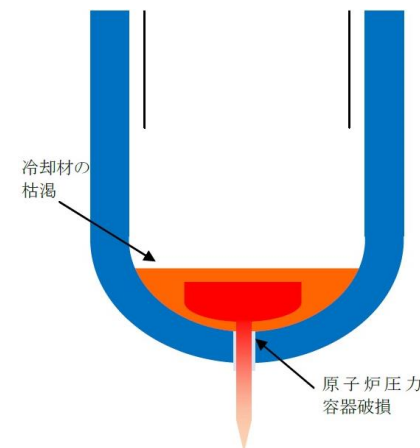
①炉心が溶融し、炉心位置で溶融プールを形成



②溶融炉心が落下し、炉心支持板が破損、下部プレナムに溶融炉心が落下



③溶融炉心によりRPV底部が破損



参考[補足]:BWRにおける炉心損傷後の注水対策の考え方

◎炉心損傷後の注水対策の考え方の違い

PWR：事象の進展が早く、DB設備が機能喪失している状況では、RPV破損を回避することができない（RPV破損が回避可能な有効なSA対策はない）

よって、速やかに格納容器側における対応へ移行

BWR：溶融炉心の下部プレナムへの移行（②の状態）が回避できるよう、速やかに原子炉への注水を開始することが、SA対策の基本

[SBO時でも代替交流電源・低圧代替注水により約70分後に原子炉注水を実施可能であり、溶融が開始（①の状態）する前に注水を開始]



◎炉心損傷後の有効性評価の対象とした事故シーケンスとその位置付け

OPWRの例：原子炉容器（RV）が破損に至る事故シーケンスを評価

OKK6/7（ABWR）：

RPV破損無し及び破損有りとして、二つの事故シーケンスにて評価

- RPVが破損しない場合：「大破断LOCA+ECCS機能喪失+SBO」

低圧代替注水系を70分までに注水開始することで、②の状態を回避

- RPVが破損する場合：「過渡事象+ECCS機能喪失+（SA炉心注水無し）」

RPV破損後の格納容器破損モードを厳しく評価するため、重大事故等防止対策による原子炉注水は実施しないものとして評価

参考：(まとめ) 重大事故と地震荷重の組合せについて

先行PWRでの考え方

- 運転状態 V (S) : 組合せなし(荷重はピーク圧力・温度)
- 運転状態 V (L) : 最高使用温度・圧力の組合せ

当社の考え方

- 運転状態 V (S) : 組合せなし(荷重はピーク圧力・温度)
- 運転状態 V (L) : Sd地震荷重と当該期間における最高温度・圧力の組合せ
- 運転状態 V (LL) : Ss地震荷重と当該期間における最高温度・圧力の組合せ