

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-028-10-24 改0
提出年月日	2023年11月27日

炉心支持構造物，原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器内部構造物の
重大事故等時における耐震評価について

2023年11月

東京電力ホールディングス株式会社

炉心支持構造物，原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器内部構造物の
重大事故等時における耐震評価について

1. はじめに

原子炉圧力容器，炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物は，重大事故等対処設備であることから，設計基準対象施設としての耐震評価と同様に，重大事故等時の条件下における耐震評価においても十分な構造強度を有することを確認する必要がある。

本書では，柏崎刈羽原子力発電所第6号機において重大事故等時に機能要求のある原子炉圧力容器，炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物について，今回の設工認における設計基準対象施設としての耐震評価に適用する基準及び耐震評価状況の整理を行い，重大事故等時の条件下における耐震評価においても機器が十分な構造強度を有することを示すための方針を記載する。

2. 今回の設工認における基準及び耐震評価状況

原子炉压力容器，炉心支持構造物及び原子炉压力容器内部構造物について，今回の設工認における基準及び耐震評価状況を表 2-1 に示す。

今回の設工認における設計基準対象施設としての耐震評価は，原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会) (以下「J E A G」という。) に基づくこととしており，各運転状態での圧力及び温度条件に対して，それぞれ地震動 S 1* 及び S 2 を組み合わせた応力評価が要求されている。

ここで，耐震評価の条件として考慮する地震動 S 1* 及び S 2 は，S d* (弾性設計用地震動 S d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力) 及び基準地震動 S s に読み替えることで評価を実施している。ここで，既工認では，原子炉压力容器内部構造物が J E A G に基づき耐震 A クラスに分類されたことに対して，今回の設工認では，耐震 S クラスに分類されるため，S d* 及び基準地震動 S s を適用し評価を実施している。

なお，運転状態 III 及び運転状態 IV は，事象の継続時間が短く，地震動との組合せの確率的評価において，発生確率が 10^{-7} 以下となることから，地震との組合せは省略され，運転状態 I 及び II と地震動とを組合せて評価を実施している。

表 2-1 今回の設工認における基準及び耐震評価状況

	原子炉压力容器	炉心支持構造物	原子炉压力容器内部構造物
基準 (J E A G 要求)	各運転状態における圧力及び温度条件に対して，地震動 S 1* 及び S 2 を組み合わせた応力評価	同左	各運転状態における圧力及び温度条件に対して，地震動 S 1* を組み合わせた応力評価
耐震評価状況	運転状態 I 及び II における圧力及び温度条件に対して，地震動 S d* 及び S s による地震荷重を含む外荷重を組み合わせた応力評価	同左	同左

3. 原子炉圧力容器，炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価方針

前章に記載の状況を踏まえ，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，原子炉圧力容器，炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価方針を表3-1に示す。なお，本方針は，補足説明資料「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について」の検討結果を踏まえ，原子炉圧力容器バウンダリ及び全般設備に適用する重大事故等時の荷重の組合せの検討結果を踏まえた内容である。

3.1 原子炉圧力容器

原子炉圧力容器は，地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年以降， 2×10^{-1} 年未満（運転状態 V (L)）」及び「 2×10^{-1} 年以降（運転状態 V (LL)）」における圧力及び温度条件に対して，地震荷重を含む外荷重を考慮して耐震評価を行う必要がある。

原子炉圧力容器の耐震評価は，重大事故等時における評価条件が，設計基準対象施設としての評価条件に包絡されるため，参照図書(1)a.では設計基準対象施設としての評価結果を示し，重大事故等時における評価結果の記載を省略する。

3.2 炉心支持構造物

炉心支持構造物は，地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年以降， 2×10^{-1} 年未満（運転状態 V (L)）」及び「 2×10^{-1} 年以降（運転状態 V (LL)）」における圧力及び温度条件に対して，地震荷重を含む外荷重を考慮して耐震評価を行う必要がある。

炉心支持構造物の耐震評価は，重大事故等時における評価条件が，設計基準対象施設としての評価条件に包絡されるため，参照図書(1)b.では設計基準対象施設としての評価結果を示し，重大事故等時における評価結果の記載を省略する。

3.3 原子炉圧力容器内部構造物

原子炉圧力容器内部構造物は，地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年未満（運転状態 V (S)）」を含む重大事故等時の運転状態等を考慮した圧力及び温度条件に対して，地震荷重を含む外荷重を考慮して耐震評価を行う必要がある。

原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価は，設計・建設規格における最高使用圧力及び最高使用温度を下記のとおり読み替えることで定義する重大事故等時の評価条件が，設計基準対象施設としての評価条件に包絡されないため，参照図書(1)c.に設計基準対象施設としての評価結果と重大事故等時における評価結果を示す。

・重大事故等時の評価条件（圧力及び温度）の定義

重大事故等時の評価条件（圧力及び温度）は、地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年未満」を含む重大事故等時の運転状態において機器が受ける最高の圧力及び温度以上の圧力及び温度とする。

表 3-1 原子炉圧力容器、炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価方針

対象機器	設計基準対象施設として要求される評価	重大事故等対処設備としての耐震評価方針
原子炉圧力容器	運転状態Ⅰ及びⅡにおける圧力及び温度に対して、地震動 S_d^* 及び S_s を組み合わせた応力評価	重大事故等時の評価条件が、設計基準対象施設としての評価条件に包絡されることを本書で確認したうえで、参照図書(1)a. では重大事故等時の評価結果の記載を省略する。
炉心支持構造物	同上	重大事故等時の評価条件が、設計基準対象施設としての評価条件に包絡されることを本書で確認したうえで、参照図書(1)b. では重大事故等時の評価結果の記載を省略する。
原子炉圧力容器内部構造物	同上	重大事故等時の評価条件が、設計基準対象施設としての評価条件に包絡されないため、参照図書(1)c. に重大事故等時における評価結果を示す。

4. 原子炉圧力容器の耐震評価方法

原子炉圧力容器の耐震評価は、以下の確認内容のとおり、設計基準対象施設の評価として実施する許容応力状態Ⅳ A S の評価結果を用いることにより、重大事故等時の評価結果が包絡されることを確認する。

4.1 確認内容

4.1.1 荷重の組合せ及び許容限界

Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」及びKK6 補足-024-6「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について」に示される許容応力状態Ⅳ A S 及びⅤ A S における荷重の組合せ及び許容限界を表 4-1 に示す。

表 4-1 に示すとおり、許容応力状態Ⅴ A S における許容限界には、Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に従い、J E A G に規定される許容応力状態Ⅳ A S における許容限界を用いることから、許容応力状態Ⅴ A S における評価条件が、許容応力状態Ⅳ A S における評価条件に包絡されることを確認する。

4.1.2 評価条件

重大事故等事象は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

ここで、評価対象とする重要事故シーケンスについては、技術基準規則第 54 条に基づき、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第五号）第 37 条における炉心の著しい損傷に至る可能性があるとして想定する事故シーケンスグループから有効性評価にて選定された重要事故シーケンスとする。重大事故等時の事故時荷重、使用圧力及び使用温度を表 4-2 に、設計基準事象時（運転状態Ⅰ及びⅡ）の事故時荷重を表 4-3 に示す。

(1) 事故時荷重

表 4-2 及び表 4-3 に示すとおり、原子炉圧力容器において重大事故等時に地震と組み合わせられる長期間作用する事故時荷重は、生じない。

(2) 圧力及び温度

表 4-2 及び 4-3 に示すとおり、重大事故等時において、地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年以降、 2×10^{-1} 年未満（運転状態Ⅴ (L)）」及び「 2×10^{-1} 年以降（運転状態Ⅴ (LL)）」の使用圧力及び使用温度は、設計基準事象時（運転状態Ⅰ及びⅡ）の評価圧力及び評価温度に包絡されている。

表 4-1 許容応力状態IVAS及びVASにおける荷重の組合せ（原子炉圧力容器）

施設分類	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉圧力容器	$D + P + M + S_s$ $(D + P_L + M_L + S_{d^*})$	IVAS
	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ $(D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)$	VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる)

【記号の説明】

- D : 死荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせすべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）で設備に作用している機械的荷重
- M_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））に作用する機械的荷重
- M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））より更に長期的（長期(LL））に作用する機械的荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）における圧力荷重
- P_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後に生じている圧力荷重
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））に作用する圧力荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））より更に長期的（長期(LL））に作用する圧力荷重
- S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力
- S_{d^*} : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

表 4-2 重大事故等事象に対する荷重の整理表（原子炉压力容器）

重大事故等事象			運転状態Ⅰ及びⅡの評価 (表 4-3)との関係		
重要事故 シーケンス	事故発生後の 期間	事故時荷重*	事故時 荷重の 包絡性	ピーク圧力の 包絡性	温度の 包絡性
全重要事故 シーケンス	1×10 ⁻² 年以降, 2×10 ⁻¹ 年未満	左記の期間にお いて配管破断に よる事故時荷重 は生じない。	—	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止のピーク 圧力 <input type="text"/> MPa に包絡される。	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止の温度 <input type="text"/> °C に包絡 される。
	2×10 ⁻¹ 年以降	左記の期間にお いて配管破断に よる事故時荷重 は生じない。	—	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止のピーク 圧力 <input type="text"/> MPa に包絡される。	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止の温度 <input type="text"/> °C に包絡 される。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

表 4-3 設計基準事故事象に対する事故時荷重（原子炉压力容器）

事象	事故時荷重*		ピーク圧力 (MPa[gage])	温度 (°C)	耐震評価上の取扱い
運 転 状 態 Ⅰ 及 び Ⅱ	タービントリ ップ又は給水 ポンプ停止	配管破断を伴 わない事象で あり, 事故時荷 重は生じない。			ピーク圧力及び差圧 (動圧含む) に機械 的荷重及び自重を加 えた荷重を用いる。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

5. 炉心支持構造物の耐震評価方法

炉心支持構造物の耐震評価は、以下の確認内容のとおり、設計基準対象施設の評価として実施する許容応力状態Ⅳ A S の評価結果を用いることにより、重大事故等時の評価結果が包絡されることを確認する。

5.1 確認内容

5.1.1 荷重の組合せ及び許容限界

Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」及びKK6 補足-024-6「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について」に示される許容応力状態Ⅳ A S 及びⅤ A S における荷重の組合せ及び許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1 に示すとおり、許容応力状態Ⅴ A S における許容限界には、Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に従い、J E A G に規定される許容応力状態Ⅳ A S における許容限界を用いることから、許容応力状態Ⅴ A S における評価条件が、許容応力状態Ⅳ A S における評価条件に包絡されることを確認する。

5.1.2 評価条件

重大事故等事象は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

ここで、評価対象とする重要事故シーケンスについては、技術基準規則第 54 条に基づき、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第五号）第 37 条における炉心の著しい損傷に至る可能性があるとして想定する事故シーケンスグループから有効性評価にて選定された重要事故シーケンスとする。重大事故等時の事故時荷重、使用圧力及び使用温度を表 5-2 に、設計基準事象時（運転状態Ⅰ及びⅡ）の事故時荷重を表 5-3 に示す。

(1) 事故時荷重

表 5-2 及び表 5-3 に示すとおり、炉心支持構造物において重大事故等時に地震と組み合わせられる長期間作用する事故時荷重は、生じない。

(2) 圧力及び温度

表 5-2 及び 5-3 に示すとおり、重大事故等時において、地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年以降、 2×10^{-1} 年未満（運転状態Ⅴ (L)）」及び「 2×10^{-1} 年以降（運転状態Ⅴ (LL)）」の使用圧力及び使用温度は、設計基準事象時（運転状態Ⅰ及びⅡ）の評価圧力及び評価温度に包絡されている。

表 5-1 許容応力状態IVAS及びVASにおける荷重の組合せ（炉心支持構造物）

施設分類	荷重の組合せ	許容応力状態
炉心支持構造物	$D + P + M + S_s$ $(D + P_L + M_L + S_{d^*})$	IVAS
	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ $(D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)$	VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる)

【記号の説明】

- D : 死荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせすべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）で設備に作用している機械的荷重
- M_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））に作用する機械的荷重
- M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））より更に長期的（長期(LL））に作用する機械的荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）における圧力荷重
- P_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後に生じている圧力荷重
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））に作用する圧力荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期(L））より更に長期的（長期(LL））に作用する圧力荷重
- S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力
- S_{d^*} : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

表 5-2 重大事故等事象に対する荷重の整理表（炉心支持構造物）

重大事故等事象			運転状態Ⅰ及びⅡの評価 (表 5-3)との関係		
重要事故 シーケンス	事故発生後の 期間	事故時荷重*	事故時 荷重の 包絡性	ピーク差圧の 包絡性	温度の 包絡性
全重要事故 シーケンス	1×10^{-2} 年以降, 2×10^{-1} 年未満	左記の期間にお いて配管破断に よる事故時荷重 は生じない。	—	定格出力運転の 差圧に包絡され る。	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止の温度 □℃に包絡 される。
	2×10^{-1} 年以降	左記の期間にお いて配管破断に よる事故時荷重 は生じない。	—	定格出力運転の 差圧に包絡され る。	タービントリッ プ又は給水ポン プ停止の温度 □℃に包絡 される。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

表 5-3 設計基準事故事象に対する事故時荷重（炉心支持構造物）

事象	事故時荷重*		ピーク差圧 (MPa)	温度 (℃)	耐震評価上の取扱い
運 転 状 態 Ⅰ 及 び Ⅱ	タービントリ ップ又は給水 ポンプ停止	配管破断を伴 わない事象で あり、事故時荷 重は生じない。	定格出力運 転の差圧		ピーク差圧に自重を 加えた荷重を用い る。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

6. 原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価方法

原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価は、以下の確認内容のとおり、重大事故等時の使用圧力及び使用温度が、設計基準対象施設の評価として実施する許容応力状態Ⅳ A S の評価圧力及び評価温度に包絡されないため、重大事故等時における評価として、許容応力状態Ⅴ A S の評価を実施する。

6.1 確認内容

6.1.1 荷重の組合せ及び許容限界

Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」及びKK6補足-024-6「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について」に示される許容応力状態Ⅳ A S 及びⅤ A S における荷重の組合せ及び許容限界を表6-1に示す。

表6-1に示すとおり、許容応力状態Ⅴ A S における許容限界には、Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に従い、J E A Gに規定される許容応力状態Ⅳ A S における許容限界を用いる。

6.1.2 評価条件

重大事故等事象は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

ここで、評価対象とする重要事故シーケンスについては、技術基準規則第54条に基づき、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第五号）第37条における炉心の著しい損傷に至る可能性があるとして想定する事故シーケンスグループから有効性評価にて選定された重要事故シーケンスとする。

(1) 事故時荷重

表6-2及び表6-3に示すとおり、原子炉圧力容器内部構造物において、重大事故等時の事故時荷重は、生じない。

(2) 圧力及び温度

表6-2及び表6-3に示すとおり、地震との組み合わせが必要となる事故発生時から「 1×10^{-2} 年未満（運転状態Ⅴ（S）」を含む重大事故等時の運転状態等を考慮した評価圧力及び評価温度は、設計基準事象時（運転状態Ⅰ及びⅡ）の評価圧力及び評価温度に包絡されないため、重大事故等時における評価として、許容応力状態Ⅴ A S の評価を実施する。

表 6-1 許容応力状態Ⅳ_AS 及びⅤ_AS における荷重の組合せ
(原子炉压力容器内部構造物)

施設分類	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉压力容器 内部構造物	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	Ⅴ _A S (Ⅴ _A S としてⅣ _A S の 許容限界を用いる)

【記号の説明】

- D : 死荷重
- M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重
- P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

表 6-2 重大事故等事象に対する荷重の整理表（原子炉圧力容器内部構造物）

重大事故等事象			運転状態Ⅰ及びⅡの評価 (表 6-3)との関係		
重要事故 シーケンス	事故発生後の 期間	事故時荷重*	事故時 荷重の 包絡性	ピーク差圧の 包絡性	温度の 包絡性
全重要事故 シーケンス	1×10^{-2} 年未満	左記の期間において配管破断による事故時荷重は生じない。	—	機器毎に事象を考慮することで定められた差圧に包絡されない。	タービントリップ又は給水ポンプ停止の温度 <input type="text"/> °C に包絡されない。
	1×10^{-2} 年以降, 2×10^{-1} 年未満	左記の期間において配管破断による事故時荷重は生じない。	—	機器毎に事象を考慮することで定められた差圧に包絡されない。	タービントリップ又は給水ポンプ停止の温度 <input type="text"/> °C に包絡される。
	2×10^{-1} 年以降	左記の期間において配管破断による事故時荷重は生じない。	—	機器毎に事象を考慮することで定められた差圧に包絡されない。	タービントリップ又は給水ポンプ停止の温度 <input type="text"/> °C に包絡される。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

表 6-3 設計基準事故事象に対する事故時荷重（原子炉圧力容器内部構造物）

事象	事故時荷重*		ピーク差圧 (MPa)	温度 (°C)	耐震評価上の取扱い
運転状態Ⅰ及びⅡ	タービントリップ又は給水ポンプ停止	配管破断を伴わない事象であり、事故時荷重は生じない。	機器毎に事象を考慮することで定められた差圧	<input type="text"/>	ピーク差圧に自重を加えた荷重を用いる。

注記*：事故時に発生する機械的荷重

7. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 補正申請設工認 添付書類
 - a. VI-2-3-3-1-3 原子炉压力容器本体の応力計算書
 - b. VI-2-3-2-3 炉心支持構造物の応力計算書
 - c. VI-2-3-3-3-3 原子炉压力容器内部構造物の応力計算書