

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-024-5 改0
提出年月日	2023年10月3日

地震時荷重と事故時荷重との組合せについて

2023年10月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

1. はじめに	1
2. 基準類における要求	2
2.1 新規制基準における要求	2
2.2 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 における要求	3
3. 既工認及び今回の評価内容	10
3.1 荷重の組合せ及び対応する許容応力状態	10
3.1.1 記号の説明	10
3.1.2 クラス1（第一種）の評価	12
3.1.3 クラスMC（第二種）の評価	13
3.1.4 クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）（E C C S 機器）の評価	18
3.1.5 クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）（E C C S 機器以外）の評価	19
3.1.6 残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心注水系ストレーナの評価	20
3.2 今回評価で用いた圧力荷重及び機械的荷重	21

## 1. はじめに

耐震設計においては、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地震力を組み合わせた荷重条件に対して、機能を保持することとしている。本資料では、技術基準規則第5条（設置許可基準規則第4条を読み込み）に基づく地震荷重とDB条件におけるその他荷重との組合せについて説明する。

## 2. 基準類における要求

### 2.1 新規制基準における要求

新規制基準のうち「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（以下「設置許可基準規則」という。）の解釈」の別記2のうち、該当部を下記に示す。

#### 設置許可基準規則の解釈（別記2）

##### 第4条（地震による損傷の防止）

3 第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、耐震重要度分類の各クラスに属する設計基準対象施設の耐震設計に当たっては、以下の方針によること。

一 Sクラス（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

（省略）

- ・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、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせた荷重条件に対して、応答が全体的におおむね弾性状態に留まること。

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

（省略）

- ・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。

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て考慮すること。

## 2.2 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 における要求

前項において、新規制基準における要求として設置許可基準規則を示したが、具体的な考え方は原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 (以下「J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984」という。)に記載されている。

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 では、運転状態 I ~ IV と基準地震動  $S_1$  及び  $S_2$  との組合せに対して、許容応力状態 III<sub>A</sub>S 及び IV<sub>A</sub>S の許容限界を適用した評価が求められている。

ここで、運転状態 IV (L) と  $S_1$  の組合せにおいて、<sup>①</sup>原子炉冷却材バウンダリ (E C C S 系以外) (図 2-1①に対応、以下同様) については許容応力状態 IV<sub>A</sub>S の許容限界を適用し、<sup>②</sup>原子炉冷却材バウンダリ (E C C S 系) 及び<sup>③</sup>原子炉格納容器については許容応力状態 III<sub>A</sub>S の許容限界を適用する。E C C S 機器に対して、許容応力状態 III<sub>A</sub>S の許容限界を適用するのは、これらの設備については、本来運転状態 IV (L) を設計条件としており、この状態が運転状態 I に相当するとし、運転状態 I と基準地震動  $S_1$  との組合せに対して適用される許容応力状態 III<sub>A</sub>S の許容限界を適用した評価が求められているためである。また、<sup>④</sup>原子炉格納容器については、LOCA 後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、LOCA 後最大内圧と基準地震動  $S_1$  との組合せにおいて、許容応力状態 IV<sub>A</sub>S の許容限界を適用することが求められている。

上記の運転状態と地震の組合せについて、地震の従属事象は、地震時の状態と、事象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が必要であり、地震の独立事象は、事象の発生確率、継続時間及び地震動の発生確率の関係を踏まえ組合せを検討するとの考え方が示されている (図 2-2 参照)。この考え方を、検討整理した結果、運転状態 I ~ IV の各事象における圧力、温度、機械的荷重と基準地震動  $S_1$ 、 $S_2$  との組合せについて、考慮すべき組合せの考え方が示されている (図 2-1 参照)。この中で、発生頻度が低い独立事象である LOCA (運転状態 IV) については、基準地震動  $S_2$  との組合せを要しないが、LOCA 後長時間継続する荷重 (運転状態 IV (L)) は、基準地震動  $S_1$  との組合せが必要となると規定されている。

付 録 2

地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態

本参考資料での検討と J E A G 4601・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針-許容応力編」での検討を踏まえた結果、地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態は次のとおりである。

耐震クラス	種 別 (1) 荷重の組合せ	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種	炉心支持構造物	そ の 他		
		機支持構造物	容支持構造物	機支持構造物	容管器	管		ポンプ・弁	炉内構造物	支持構造物
A <sub>s</sub>	D + P + M + S <sub>1</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	-	-	-	Ⅲ <sub>A</sub> S	-	-	-
	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>1</sub>	① -	③ -	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	-	-	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S
	D + P <sub>L</sub> + M <sub>L</sub> + S <sub>1</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>(2)</sup>	Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>(3)</sup>	-	-	-	Ⅳ <sub>A</sub> S	-	-	-
	D + P + M + S <sub>2</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S	-	-	-	Ⅳ <sub>A</sub> S	-	-	-
	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>2</sub>	-	-	Ⅳ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S	-	-	Ⅳ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
A	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>1</sub>	-	-	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	-	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅲ <sub>A</sub> S
B	D + P <sub>d</sub> + M <sub>d</sub> + S <sub>B</sub>	-	-	B <sub>A</sub> S	B <sub>A</sub> S	B <sub>A</sub> S	-	B <sub>A</sub> S	-	B <sub>A</sub> S
C	D + P <sub>d</sub> + M <sub>d</sub> + S <sub>C</sub>	-	-	-	C <sub>A</sub> S	C <sub>A</sub> S	-	C <sub>A</sub> S	-	C <sub>A</sub> S

注：(1) 各設備の種別は、原則として告示に基づくものとする。

告示で規定されない容器・管にあっては以下による。

1) 耐震A又はA<sub>s</sub>クラスに分類される非常用予備発電装置に付属する容器・管については第3種の規定を準用する。

2) 第5種管に分類されないダクトについても、第5種管の規定を準用する。

3) 上記1), 2)以外で告示で規定されない容器・管にあっては第4種の規定を準用する。

(2)②なお、ECCS及びそれに関連し、事故時に運転を必要とするものについてはⅢ<sub>A</sub>Sとする。

(3)③1) 第2種容器、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの荷重の組合せ(D + P<sub>L</sub> + M<sub>L</sub> + S<sub>1</sub>)のP<sub>L</sub>は、LOCA後10<sup>-1</sup>年後の原子炉格納容器内圧を用いる。

④ 2) 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S<sub>1</sub>地震動(又は静的地震力)との組合せを考慮する。

この場合の評価は、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いて行う。

図 2-1 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の 許 容 応 力 状 態 と 荷 重 の 組 合 せ の 考 え 方

表 I - 1 運転状態と地震動との組合せの確率的評価

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	$S_1 + II$								
	1分以内	$S_1 + II$								
	1時間以内	$S_1 + II$ $S_1 + III$								
	1日以内	$S_1 + II$ $S_1 + III$ $S_1 + IV$								
基準地震動 $S_2$ との組合せ	従属事象	$S_2$ 従属								
	独立事象	$(S_2 + II \text{ は } 10^{-6} \text{ 以下となる})$								
	1分以内	$(S_2 + II \text{ は } 10^{-6} \text{ 以下となる})$								
	1時間以内	$S_2 + II$ $S_2 + III$								
	1日以内	$S_2 + II$ $S_2 + III$ $S_2 + IV$								

注：(1) 発生確率から見て  
 ← 組合せが必要なもの。  
 ←--- 発生確率が  $10^{-7}$  以下となり組合せが不要となるもの。  
 (2) 基準地震動  $S_2$  の発生確率は  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  / サイト・年と推定されるが、ここでは  $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  / サイト・年を用いた。  
 (3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

基準地震動  $S_1$  の発生確率：  
 $10^{-2}$ /年  $\sim$   $5 \times 10^{-4}$ /年

基準地震動  $S_2$  の発生確率：  
 $5 \times 10^{-4}$ /年  $\sim$   $10^{-5}$ /年

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の考え方

- 耐震上想定すべき運転状態と地震動の組合せは、事象の発生頻度及びその状態の継続時間との関連により決定
- 独立事象と組み合わせた発生確率  $10^{-7}$ /年以上を目安に組合せを考慮
- J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 においては、 $S_1$  の発生確率は  $10^{-2}$ /年  $\sim$   $5 \times 10^{-4}$ /年、 $S_2$  の発生確率は  $5 \times 10^{-4}$ /年  $\sim$   $10^{-5}$ /年とし、組合せを考慮

図 2-2 運転状態と荷重の組合せの考え方

今回の評価

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 にて想定している基準地震動  $S_1$  及び  $S_2$  の発生確率よりも柏崎刈羽原子力発電所大湊側における弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  の年超過確率と少なくとも同等であること\*、また弾性設計用地震動  $S_d$  については基準地震動  $S_1$  を下回らないように設定していることから、弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  の発生確率は基準地震動  $S_1$  及び  $S_2$  の発生確率よりも同等以下と言える。

以上を踏まえ、今回の評価については、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の基準地震動  $S_1$  及び  $S_2$  を弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  に置き換えて評価を実施しているものである (参考 1, 参考 2 参照)。

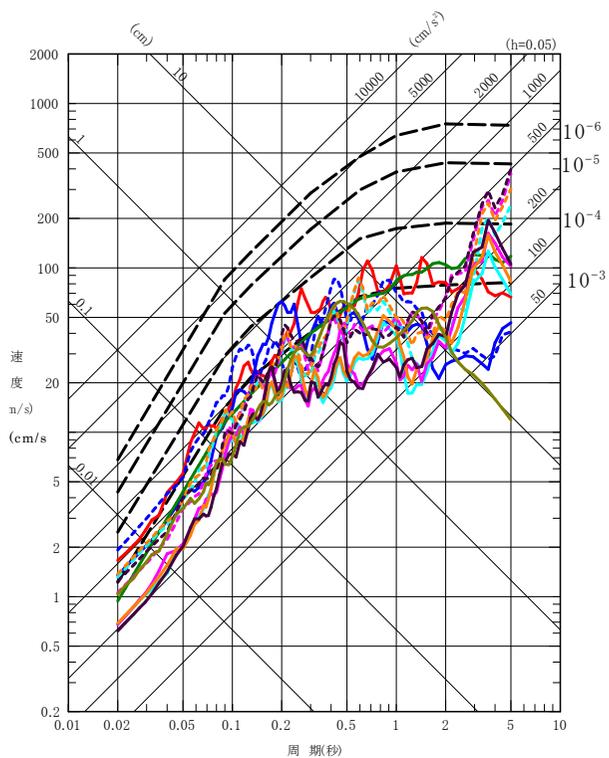
注記\*：J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 については地震の発生確率で示されているのに対し、柏崎刈羽原子力発電所大湊側については地震動の年超過確率で示しているため直接的な比較はできないが、年超過確率は1年間に1回以上その地震動を超える確率を示しているものであることから、弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  の発生確率相当として扱っている。

(参考 1) 柏崎刈羽原子力発電所大湊側における弾性設計用地震動  $S_d$  の年超過確率

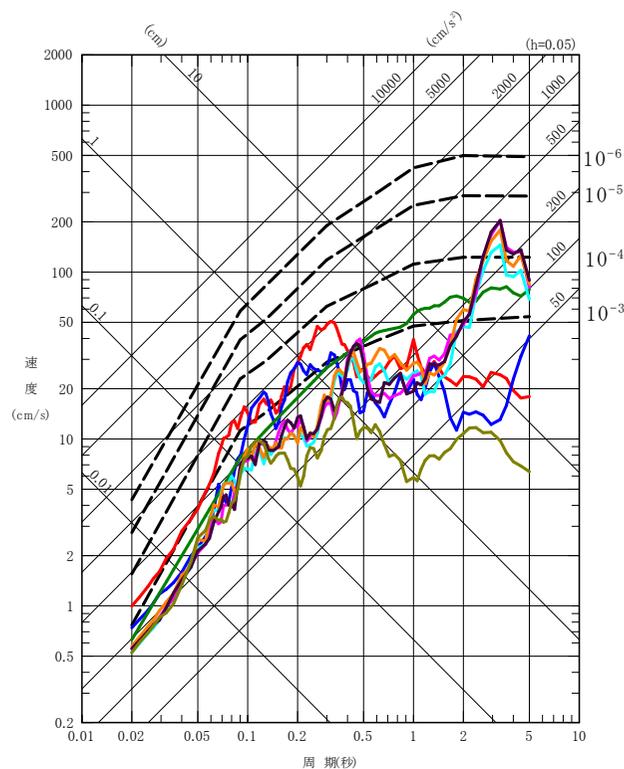
柏崎刈羽原子力発電所大湊側における弾性設計用地震動  $S_d$  の年超過確率は図 2-3 よりおおむね  $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-4}/\text{年}$  であり, J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 にて想定している基準地震動  $S_1$  の発生確率 ( $10^{-2}/\text{年} \sim 5 \times 10^{-4}/\text{年}$ ) より小さい。

- 弾性設計用地震動 Sd-1H
- 弾性設計用地震動 Sd-2NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-2EW
- 弾性設計用地震動 Sd-3H
- - 弾性設計用地震動 Sd-4NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-4EW
- 弾性設計用地震動 Sd-5NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-5EW
- 弾性設計用地震動 Sd-6NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-6EW
- 弾性設計用地震動 Sd-7NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-7EW
- 弾性設計用地震動 Sd-8H

- 弾性設計用地震動 Sd-1V
- 弾性設計用地震動 Sd-2UD
- 弾性設計用地震動 Sd-3V
- 弾性設計用地震動 Sd-4UD
- 弾性設計用地震動 Sd-5UD
- 弾性設計用地震動 Sd-6UD
- 弾性設計用地震動 Sd-7UD
- 弾性設計用地震動 Sd-8V
- - - 一様ハザードスペクトル



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 2-3 一様ハザードスペクトルと弾性設計用地震動 S d の応答スペクトルの比較 (大湊側)

柏崎刈羽原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書 (6号及び7号発電用原子炉施設の変更) 本文及び添付書類の一部補正について (令和2年5月13日許可) 添付書類八より引用 (一部加筆)

(参考 2) 柏崎刈羽原子力発電所大湊側における基準地震動  $S_s$  の年超過確率

柏崎刈羽原子力発電所大湊側における基準地震動  $S_s$  の年超過確率は図 2-4 よりおおむね  $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$  であり, JEAG 4601・補-1984 にて想定している基準地震動  $S_2$  の発生確率 ( $5 \times 10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ ) より小さい。

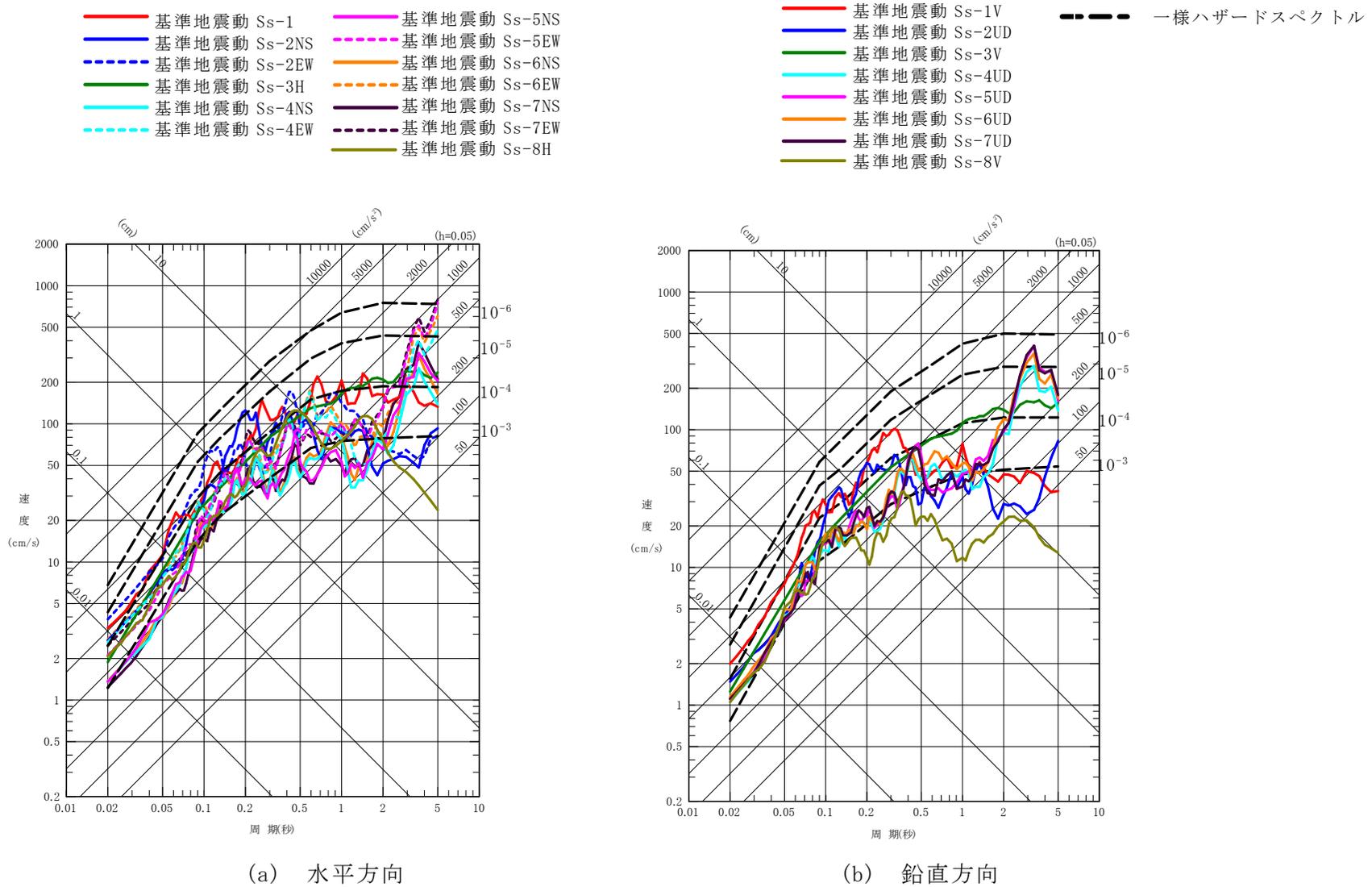


図 2-4 一様ハザードスペクトルと基準地震動 Ss の応答スペクトルの比較 (大湊側)

柏崎刈羽原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書 (6号及び7号発電用原子炉施設の変更) 本文及び添付書類の一部補正について (令和2年5月13日許可) 添付書類六より引用 (一部加筆)

### 3. 既工認及び今回の評価内容

既工認では、上記の J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 等の考え方に基づき、各運転状態の事象と基準地震動  $S_1$  及び  $S_2$  とを組み合わせた評価を実施している。

今回の評価では、既工認と同様に J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 等の考え方に基づき、各運転状態 I ~ IV の各事象と弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  とを組み合わせた評価を実施している。

#### 3.1 荷重の組合せ及び対応する許容応力状態

##### 3.1.1 記号の説明

###### 【 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 】

- D : 死荷重
- P : 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）における圧力荷重
- $P_D$  : 地震と組み合わせす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
- $P_L$  : 地震との組合せが独立な運転状態 IV の事故直後を除き、その後に生じている圧力荷重
- $P_L^*$  : 冷却材喪失事故後最大内圧（クラス MC）
- $P_L^{**}$  : 異物付着による差圧を考慮（残留熱除去系ストレーナ, 高圧炉心注水系ストレーナ）
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で（地震との組合せが独立な運転状態 IV, V は除く）設備に作用している機械的荷重
- $M_D$  : 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荷重
- $M_L$  : 地震との組合せが独立な運転状態 IV の事故直後を除き、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
- $M_L^*$  : 異物付着による異物荷重を考慮
- $S_1^*$  : 基準地震動  $S_1$  により定まる地震力又は静的地震力
- $S_2$  : 基準地震動  $S_2$  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
- $III_A S$  : 「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含

む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月)」  
(以下「設計・建設規格」という。)の供用状態 C 相当の許容応力を基準  
として、それに地震により生じ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

IV<sub>A</sub>S : 設計・建設規格の供用状態 D 相当の許容応力を基準として、それに地震  
により生じ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

クラス MC 容器のうち、コンクリート製原子炉格納容器のコンクリート部、ライナ部に  
ついては、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学  
会, 2003)」(以下「CCV 規格」という。)に基づいて評価を実施している。

#### 【CCV 規格】

- D : 死荷重
- L : 活荷重
- P<sub>1</sub> : 運転時圧力荷重
- R<sub>1</sub> : 運転時配管荷重
- T<sub>1</sub> : 運転時温度荷重
- P<sub>2</sub> : 異常時圧力荷重
- R<sub>2</sub> : 異常時配管荷重
- T<sub>2</sub> : 異常時温度荷重
- S<sub>1</sub>\* : 基準地震動 S<sub>1</sub> により定まる地震力又は静的地震力
- S<sub>2</sub> : 基準地震動 S<sub>2</sub> により定まる地震力
- S<sub>d</sub>\* : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 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<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

### 3.1.2 クラス1（第一種）の評価

クラス1（第一種）						
評価	(1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984		(2)既工認		(3)今回の評価	
ケース	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P + M + S_1$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_1^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
②	$D + P_L + M_L + S_1$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	$D + P_L + M_L + S_1^*$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>
③	$D + P + M + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*1：ECCS及びそれに関連し、事故時に運転を必要とするものにあつてはⅢ<sub>A</sub>Sとする。

#### (1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 における要求

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 においては、ケース①～③の3ケースについての考慮が求められている。

#### (2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。なお、ケース②の許容応力状態についてはECCS系においてはⅢ<sub>A</sub>S、ECCS系以外についてはⅣ<sub>A</sub>Sを考慮する必要があるが、 $P \geq P_L$ 、 $M \geq M_L$ であることから、ECCS系（Ⅲ<sub>A</sub>S）についてはケース①に包絡される。また、ケース②のうちECCS系以外（Ⅳ<sub>A</sub>S）については、ケース③に包絡される。

#### (3) 今回の評価

今回の評価においては、ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。なお、ケース②の許容応力状態についてはECCS系においてはⅢ<sub>A</sub>S、ECCS系以外についてはⅣ<sub>A</sub>Sを考慮する必要があるが、 $P \geq P_L$ 、 $M \geq M_L$ であることから、ECCS系（Ⅲ<sub>A</sub>S）についてはケース①に包絡される。また、ケース②のうちECCS系以外（Ⅳ<sub>A</sub>S）については、ケース③に包絡される。

### 3.1.3 クラスMC（第二種）の評価

#### (1) 原子炉格納容器（コンクリート部）

クラスMC（第二種（原子炉格納容器（コンクリート部）））						
評価 ケース	(1)CCV規格			(2)既工認	(3)今回の評価	
	荷重 状態	応力*1 状態	荷重時名称	荷重の組合せ	荷重の組合せ	荷重の組合せ
①	Ⅲ	1	S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ）地震時	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>d</sub> *
②	Ⅲ	1	（異常+S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ） 地震）時	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>d</sub> *
③	Ⅲ	2	S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ）地震時	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>d</sub> *
④	Ⅲ	2	（異常+S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ） 地震）時	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>d</sub> *
⑤	Ⅳ	1	S <sub>2</sub> （S <sub>s</sub> ）地震時	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>s</sub>
⑥	Ⅳ	1	（異常+S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ） 地震）時	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>d</sub> *

注記\*1：各応力状態は下記のとおりである。

応力状態1 温度以外の荷重による応力状態

応力状態2 温度を含む全荷重による応力状態

クラスMC容器のうち、コンクリート製原子炉格納容器のコンクリート部については、CCV規格に基づいて評価を実施している。

(1) CCV規格における要求

CCV規格においては、ケース①～⑥の6ケースについての考慮が求められている。

(2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①～⑥の6ケースについて評価を実施している。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、ケース①～⑥の6ケースについて評価を実施している。

(2) 原子炉格納容器（ライナ部）

クラスMC（第二種（原子炉格納容器（ライナプレート及びライナアンカ*1）））					
評価 ケース	(1)CCV規格			(2)既工認	(3)今回の評価
	荷重 状態	荷重時名称	荷重の組合せ	荷重の組合せ	荷重の組合せ
①	Ⅲ	S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ）地震時	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +T <sub>1</sub> + S <sub>d</sub> *
②	Ⅲ	（異常+S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ）地震）時	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +T <sub>2</sub> + S <sub>d</sub> *
③	Ⅳ	S <sub>2</sub> （S <sub>s</sub> ）地震時	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	D+L+P <sub>1</sub> +R <sub>1</sub> +S <sub>s</sub>
④	Ⅳ	（異常+S <sub>1</sub> （S <sub>d</sub> ）地震）時	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub>	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>1</sub> *	D+L+P <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> +S <sub>d</sub> *

注記\*1：貫通部アンカを含む。

クラスMC容器のうち、コンクリート製原子炉格納容器のライナ部については、CCV規格に基づいて評価を実施している。

(1)CCV規格における要求

CCV規格においては、ケース①～④の4ケースについての考慮が求められている。

(2)既工認での評価

既工認においては、ケース①～④の4ケースについて評価を実施している。

(3)今回の評価

今回の評価においては、ケース①～④の4ケースについて評価を実施している。

(3) 原子炉格納容器（鋼製耐圧部）

クラスMC（第二種（原子炉格納容器（鋼製耐圧部）））						
評価 ケース	(1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力 状態
①	$D + P + M + S_1$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_1^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
②	$D + P_L + M_L + S_1^{*1}$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_L + M_L + S_1^{* *1}$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_L + M_L + S_d^{* *1}$	Ⅲ <sub>A</sub> S
③	$D + P_L^* + M_L + S_1$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*2</sup>	$D + P_L^* + M_L + S_1^*$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*2</sup>	$D + P_L^* + M_L + S_d^*$	Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*2</sup>
④	$D + P + M + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P + M + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*1：P<sub>L</sub>は、LOCA後10<sup>-1</sup>年後の原子炉格納容器内圧を用いる。

\*2：LOCA後最大内圧（P<sub>L</sub><sup>\*</sup>）との組合せについてはⅣ<sub>A</sub>Sで評価を行う。

(1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984における要求

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984においては、ケース①～④の4ケースについての考慮が求められている。

(2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①、③及び④の3ケースについて評価を実施している。ケース②については、P<sub>L</sub>≐0（大気圧相当）、M<sub>L</sub>=0であることから、ケース①に包絡される。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、ケース①、③及び④の3ケースについて評価を実施している。ケース②については、P<sub>L</sub>≐0（大気圧相当）、M<sub>L</sub>=0であることから、ケース①に包絡される。

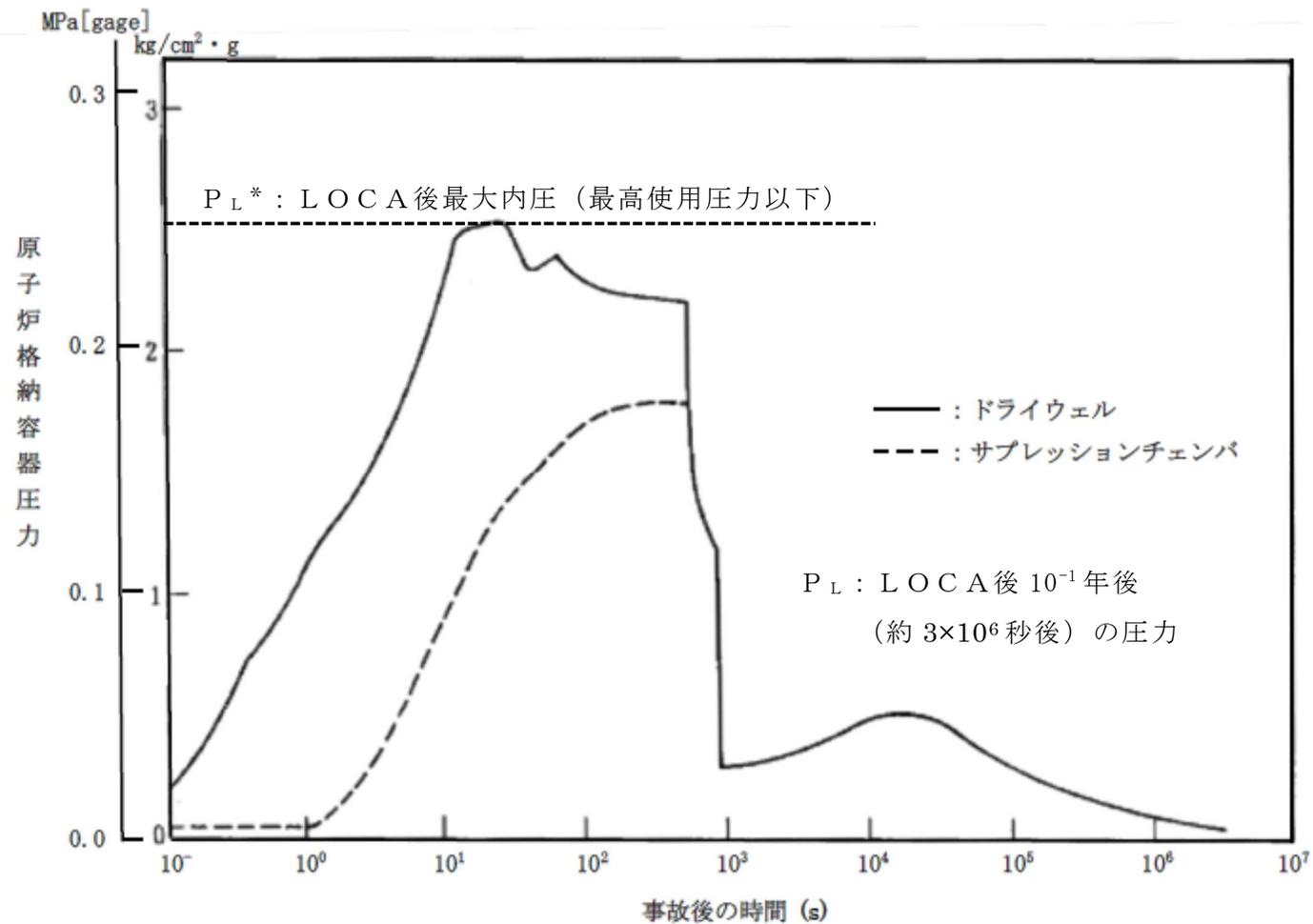


図 給水配管完全破断事故時におけるドライウェル及びサプレッション・チェンバの圧力変化  
 柏崎刈羽原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書 (6号及び7号発電用原子炉施設の変更)  
 本文及び添付書類の一部補正について (令和2年5月13日許可) 添付書類十より引用 (一部加筆)

### 3.1.4 クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器) の評価

クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器)						
評価	(1) JEAG 4601・補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
ケース	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
②	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

#### (1) JEAG 4601・補-1984 における要求

JEAG 4601・補-1984 において、クラス2, 3及び4 (第三種, 第四種及び第五種) 設備のうちECCS機器は、Aクラスの「(i) 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」として分類されており、ケース①の1ケースについての考慮が求められている。なお、ケース②の組合せについてはA<sub>s</sub>クラスとしての機能を兼ねる場合に考慮する。

#### ○事故(運転状態Ⅳ(L))との荷重の組合せの考え方

ECCS機器は、運転状態Ⅳにおいて機能を要求される設備であり、運転状態Ⅳが設計条件となることから、運転状態Ⅳにより定められる最高圧力( $P_D$ )及び設計機械的荷重( $M_D$ )を用いた評価を実施している。

#### (2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。なお、ケース②については既工認において、A<sub>s</sub>クラスとして分類されている機器について評価を実施している。

#### (3) 今回の評価

今回の評価においては、耐震指針の改定により、従来のA<sub>s</sub>, AクラスはSクラスに一本化されたことから、ECCS機器についてはケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。

### 3.1.5 クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器以外) の評価

クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器以外)						
評価	(1) JEAG 4601・補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
ケース	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	III <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	III <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III <sub>A</sub> S
②	$D + P_D + M_D + S_2$	IV <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_2$	IV <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

#### (1) JEAG 4601・補-1984 における要求

JEAG 4601・補-1984 において、クラス2及び3 (第三種及び第四種) 設備は、ケース①及び②の2ケースについての考慮が求められており、クラス4 (第五種) 設備についてはケース①の評価が求められている。なお、ケース②の組合せについてはAsクラスの場合に考慮する。

#### (2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。なお、ケース②については既工認において、Asクラスとして分類されている機器について評価を実施している。

#### (3) 今回の評価

今回の評価においては、耐震指針の改定により、従来のAs, AクラスはSクラスに一本化されたことから、ケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。

### 3.1.6 残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心注水系ストレーナの評価

クラス2（第三種）						
評価 ケース	(1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984		(2) 既工認（改造工認）		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力 状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
②	—	—	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_1^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
③	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ <sub>A</sub> S	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

#### (1) J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 における要求

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 において，クラス2（第三種）設備は，ケース①及び③の2ケースについての考慮が求められている。なお，ケース③の組合せについてはA<sub>s</sub>クラスの場合に考慮する。

#### (2) 既工認での評価

既工認においては，J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 に加えて，「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）」（平成17・10・13原院第4号）に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

#### (3) 今回の評価

今回の評価においては，J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 に加えて，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号）に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

### 3.2 今回評価で用いた圧力荷重及び機械的荷重

荷重の組合せ評価に用いる圧力荷重（P等）及び機械的荷重（M等）については、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984において、設備種別ごとに整理されている。（下記 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 抜粋参照のこと。）

整理表にクラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）については、圧力荷重（P，P<sub>L</sub>）及び機械的荷重（M，M<sub>L</sub>）を考慮し、クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）については最高使用圧力（P<sub>d</sub>）及び設計機械荷重（M<sub>d</sub>）を考慮した評価を実施することが記載されており、それに基づき適切に評価を実施している。次頁以降に、クラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）の評価に用いた設備種別ごとの具体的な荷重一覧表を示す。なお、クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）については、運転状態によらず最高使用圧力及び設計機械荷重を用いていることから、ここでの記載は省略する。

種 別	型式		BWR	PWR
	荷重			
第 1 種	P		タービントリップ又は全給水流量喪失により生じている最高圧力による荷重	負荷喪失又は外部電源喪失により生じている最高圧力による荷重
	M		○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力 ○スクラム反力等	○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力等
	P <sub>L</sub>		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M <sub>L</sub>			
第 2 種	P		地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重	地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重
	M		逃し安全弁開により生じる空気泡振動による荷重	特になし
	P <sub>L</sub>		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M <sub>L</sub>			
第 3 ・ 5 ・ 4 種	P <sub>d</sub>		最 高 使 用 圧 力	
	M <sub>d</sub>		設 計 機 械 荷 重	
炉 心 支 持 構 造 物	P		地震と組み合わせる必要のある事象における最大差圧	
	M		地震と組み合わせる必要のある事象における機械的荷重	
	P <sub>L</sub>		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	
	M <sub>L</sub>			
そ の 支 持 構 造 物 の ポ ン プ	P <sub>d</sub>		最 高 使 用 圧 力	
	M <sub>d</sub>		設 計 機 械 荷 重	

●クラス1

今回評価に用いた数値

・P =  MPa(領域A, B),  MPa(領域C) D+M =  kN<sup>※</sup>(運転状態Ⅱ:スクラム(タービントリップ, その他のスクラム), スクラム(給水ポンプ停止))  
 (※クラス1のうち原子炉圧力容器の下部鏡板の評価に使用する荷重)

運転状態	事象	設計過渡条件		荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考		
		初期圧力 (MPa)	ピーク時変動圧力 (MPa)	P (I~III) (MPa)	P <sub>L</sub> (IV) (MPa)	D+M (I~III) (kN)	D+M <sub>L</sub> (IV) (kN)	適用の有無 (Sd, Ss)	説明				
I 及 び II	ボルト締付け							-		-			
	耐圧試験(最高使用圧力以下)							-		-			
	起動(昇温)							Sd Δ Ss Δ	事象の継続時間は数時間程度。	×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される。		
	起動(タービン起動)							Sd Δ Ss Δ	同上	×	同上		
	夜間及び週末低出力運転(出力50%)							Sd ○ Ss ○			×		
	制御棒パターン変更							Sd ○ Ss ○				×	
	給水加熱器機能喪失(発電機トリップ)							Sd × Ss ×	事象の継続時間は数分程度。		△	運転状態Ⅱの全給水流量喪失又はタービントリップで代表される。	
	給水加熱器機能喪失(給水加熱器部分バイパス)							Sd × Ss ×	同上		△	同上	
	スクラム(タービントリップ, その他のスクラム)							Sd Δ Ss ×	最大圧力は1分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。		○		
	定格出力運転							Sd ○ Ss ○				×	
	停止(タービン停止)							Sd Δ Ss Δ	事象の継続時間は数時間程度。		×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される。	
	停止(高温待機)							Sd Δ Ss Δ	同上		×	同上	
	停止(冷却)							Sd Δ Ss Δ	同上		×	同上	
	停止(ヘッドスプレイを伴う停止)							Sd Δ Ss Δ	同上		×	同上	
	ボルト取外し							-			-		
	燃料交換							Sd Δ Ss Δ				×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される。
	スクラム(給水ポンプ停止)							Sd Δ Ss ×	最大圧力は1分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。		○		
スクラム(逃がし安全弁誤作動)							Sd × Ss ×	圧力は低下する。		×			
Ⅲ	スクラム(過大圧力)							Sd × Ss ×	事象の継続時間は1分以内。		×		
Ⅳ	冷却材喪失事故							Sd Δ Ss ×	長時間継続するもの。 (*10 <sup>11</sup> 年以上)		×		

注記\*1: 地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印: 独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印: 独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組合せた評価が不要なもの。

×印: 独立事象として地震と重なる可能性がないもの。

\*2: 地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印: 地震の従属事象であり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印: 地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組合せた評価が不要なもの。

×印: 地震の従属事象でないもの。

\*3: 大気圧相当を考慮する。

\*4: 10<sup>11</sup>年以上継続する事象に対する値ではなく、冷却材喪失事故直前の値を記載する。

●クラスMC

今回評価で用いた数値

・P=-14kPa, M=0kN (運転状態Ⅰ)

・P=-14kPa, M=0kN (運転状態Ⅱ)

運転状態	事象	荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考
		P(kPa) (Ⅰ及びⅡ)	P <sub>L</sub> (kPa) (Ⅳ)	M(kN) (Ⅰ及びⅡ)	M <sub>L</sub> (kN) (Ⅳ)	適用の有無	説明		
Ⅰ	起 動	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:△	事象の継続時間は時間のオーダー。	×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される
	停 止	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:△	同上	×	同上
	出力運転	-14	-	0	-	Sd:○ Ss:○		×	
	高温待機	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:△		×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される。
	燃料交換	0	-	0	-	Sd:△ Ss:△		×	運転状態Ⅰの出力運転における設計条件で代表される。
Ⅱ	外部電源喪失	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	運転状態Ⅱの主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	負荷の喪失	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	同上
	主蒸気隔離弁の閉鎖	-14	-	0	-	Sd:○ Ss:×	事象後30分程度にわたる逃がし安全弁作動。	○	
	給水制御系の故障	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	運転状態Ⅱの主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	圧力抑制装置の故障	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	同上
	全給水流量喪失	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	同上
	タービントリップ	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		△	同上
	逃がし安全弁誤作動	-14	-	0	-	Sd:△ Ss:×		×	同上
Ⅲ	原子炉圧力容器の過大圧力	-	-	-	-	Sd:×	この事象の継続時間は1分以内。	×	
Ⅳ	冷却材喪失事故	-	*3	-	0	Sd:○ Ss:×	長時間*継続するもの。 (*10 <sup>-1</sup> 年以上)	×	長時間*作用する圧力。温度は弾性設計用地震動S <sub>d</sub> と組合せるものとする。また冷却材喪失事故時に短時間劇く圧力、温度以外にブル水揺動による衝撃力があるがこれは設計・建設規格(PVE-3113)のジェット荷重と同等に扱う。 (*10 <sup>-1</sup> 年以上)

注記\*1：地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印：独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印：独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組合せた評価が不要なもの。

×

\*2：地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印：地震の従属事象であり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印：地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組合せた評価が不要なもの。

×

\*3：大気圧相当を考慮する。