

資料 1 - 5

泊発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	SA39H r. 5. 1
提出年月日	令和6年2月26日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(重大事故等対処設備)
補足説明資料

39条

令和6年2月
北海道電力株式会社

39-4 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

【本日の説明概要】

地震ハザード変更に伴う地震 PRA 評価結果の反映を実施。

「5.1 地震の従属事象・独立事象の判断」の参考として実施している地震 PRA の結果を参照した確率論的な考察に記載している「SA 施設による対策の有効性の評価が DB 条件を超えるものの累積値」について、以下のとおり変更したが、発生確率は十分に低く地震の従属事象・独立事象の判断に影響はなかった。

反映前) 1.2×10^{-7} /炉年

反映後) 1.8×10^{-7} /炉年

また、上記の補足説明である

(補足3) 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について

3. 確率的な考察

についても、地震 PRA も評価結果を反映したが、発生確率は十分に低く地震の従属事象・独立事象の判断に影響はなかった。

1. はじめに
 2. 基準の規定内容
 - 2.1 設置許可基準規則 第39条 (SA 施設) の規定内容
 - 2.2 設置許可基準規則 第4条 (DB 施設) 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
 4. 荷重の組合せの検討手順
 5. 荷重の組合せの検討結果
 - 5.1 地震の従属事象・独立事象の判断
 - 5.2 荷重の組合せの検討結果
 - 5.2.1 全般施設
 - 5.2.2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備
 - 5.2.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備
 - 5.2.4 SA 施設の支持構造物
 6. 許容応力状態の検討結果
 - 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
 - 6.4 SA 施設の支持構造物
 7. まとめ
- (補足 1) SA 施設に対する許容応力状態の考え方
 (補足 2) 事象発生確率の考え方
 (補足 3) 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について
 (補足 4) 重大事故発生後の原子炉格納容器の荷重継続時間 (圧力低減方策) について
 (補足 5) DBA による履歴を考慮しなくてよい理由

地震ハザード変更に伴う地震 PRA
評価結果の反映

添付資料

1. 事故シーケンスグループ等における主要な重大事故等対処施設
2. 地震動の年超過確率
3. 事故時荷重の組合せの選定における検討の流れ
4. 建物・構築物の SA 施設としての設計の考え方
5. 対象設備, 事故シーケンスグループ等, 荷重条件の網羅性について
6. 継続時間の検討における対象荷重の網羅性について
7. 荷重の組合せ表
8. 重大事故等時の荷重条件の妥当性について

参考資料

- 〔参考 1〕 設置許可基準規則第 39 条及び解釈（抜粋）
- 〔参考 2〕 設置許可基準規則第 4 条及び解釈
- 〔参考 3〕 設置許可基準規則第 4 条解釈の別記 2（抜粋）
- 〔参考 4〕 耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）
- 〔参考 5〕 JEAG4601（抜粋）
- 〔参考 6〕 原子炉格納容器 限界温度・圧力負荷後の耐震性
- 〔参考 7〕 DB 施設を兼ねる主な SA 施設等の DBA と SA の荷重条件の比較
- 〔参考 8〕 「重大事故に至るおそれがある事故」に関する補足説明

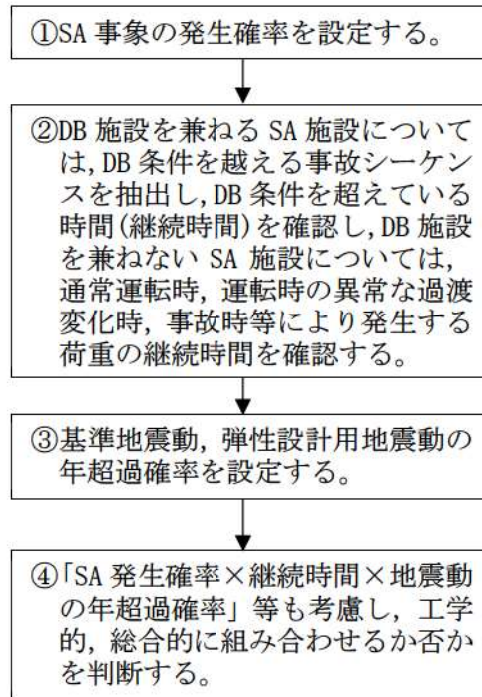


図2 独立事象に対する荷重の組合せの選定フロー

5. 荷重の組合せの検討結果

4 項の検討手順に基づき、まず、5.1 項では SA が地震の従属事象か独立事象であるかを判断し、5.2 項では、全般施設、C/V バウンダリ、RCPB に分けて、SA 荷重と地震力の組合せ条件を検討する。なお、SA 施設の支持構造物については、支持する施設の荷重の組合せに従うものとする。

5.1 地震の従属事象・独立事象の判断

運転状態 V 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。なお、確率論的な考察も考慮する。

ここで、DB 施設に対して従前より適用してきた考え方に基づき、地震の従属事象とは、ある地震力を想定して、その地震力未満で設計された設備が、その地震力を上回る地震が発生した際に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、すなわち「地震によって引き起こされる事象」と定義し、地震の独立事象とは、確定論的に考慮して「地震によって引き起こされるおそれのない事象」と定義する。

耐震 S クラス施設は基準地震動による地震力に対して、その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。この安全機能に係る設計は、耐震 S クラス施設自体が、基準地震動による地震力に対して、損傷しないよう設計するだけでなく、下位クラスに属するものの波及的影響等に対しても、その安全機能が損なわれないよう設計することも含まれる。耐震 S クラス施設が健全であれば、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すべての事故シーケンスに対し、基準地震動相当の地震により、起因事象が発生したとしても緩和設備が機能し、DB 設計の範囲で事象を収束させることができることを確認し

た。

したがって、SA 施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討としては、基準地震動相当の地震に対して、運転状態 V は地震によって引き起こされるおそれのない「地震の独立事象」として扱い、運転状態 V の運転状態と地震力とを適切に組み合わせる。

なお、地震 PRA の結果を参照し、確率論的な考察を実施した。重要事故シーケンス等の選定のための地震 PRA において、基準地震動相当までの地震力により炉心損傷に至る事故シーケンスについて、緩和設備のランダム故障を除いた炉心損傷頻度（以下「CDF」という。）であって、SA 施設による対策の有効性の評価が DB 条件を超えるものの累積値は、 1.8×10^{-7} /炉年である。性能目標の CDF (10^{-4} /炉年) に対する相対割合として 1 % を下回る頻度の事象は、目標に対して影響がないといえるくらい小さい値と見なすことができ、 1.8×10^{-7} /炉年は、これを大きく下回ることから、基準地震動相当までの地震力により DB 条件を超える運転状態 V の発生確率は極めて低いと考えられる。

したがって、SA 施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討において、運転状態 V が地震によって引き起こされるおそれがないとして扱うことは妥当と考える。（「(補足 3)「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について」参照）

: 本日の説明事項

5.2 荷重の組合せの検討結果

5.1 項で運転状態 V は地震の独立事象と判断したことから、以下では施設分類ごとに 4 項 (3) の手順に従って、荷重の組合せを検討する。

5.2.1 全般施設

(1) SA の発生確率

SA 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) SA で考慮する荷重と継続時間

a. SA の選定

全般施設については、新設されたポンプの使用条件によって、SA 時の荷重条件が決定されることがあることから、本項では事故シーケンスグループ等を特定せず、すべての SA を考慮する。

b. SA の継続時間

全般施設として考慮する荷重条件として、以下のとおり分類できる。それぞれの分類において、DB 施設を兼ねる SA 施設については、SA 条件と DB 条件のうち厳しい条件を、DB 施設を兼ねない SA 施設については、SA 条件を設計条件として考慮する。ここで全般施設においては、SA 後短期的なものと、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。

3. 確率論的な考察

3.1 確率論的リスク評価の現状と本考察における評価の前提

DB 条件を超える運転状態 V が地震の従属事象、独立事象のいずれに該当するかを確率論的に考察するためには、基準地震動までの地震による炉心損傷頻度を評価する。

泊発電所 3 号炉の地震による全炉心損傷頻度は、約 3.3×10^{-6} /炉年であり、基準地震動相当 (0.71G) までの地震による全炉心損傷頻度は、約 7.0×10^{-7} /炉年である。

3.2 考察結果

重要事故シーケンス等の選定のための地震 PRA において、基準地震動相当までの地震力により炉心損傷に至る事故シーケンスについて、緩和設備のランダム故障を除いた炉心損傷頻度 (CDF) であって、SA 施設による対策の有効性の評価が DB 条件を超えるものの累積値は、 1.8×10^{-7} /炉年である。(表 3)

表 3 DB 条件を超える事故シーケンスに対する CDF

施設区分	事故シーケンスグループ	DB 条件を超える事故シーケンス	CDF (／炉年) (Ss の最大加速度相当までの累積)	合計 (／炉年)	
C/V	2次系からの除熱機能喪失	1次系流路閉塞による2次系除熱機能喪失	7.0E-09	1.8E-07	
		全交流動力電源喪失	外部電源喪失+非常用所内交流電源喪失(補助給水失敗)		1.5E-07
		原子炉補機冷却機能喪失	原子炉補機冷却機能喪失+補助給水失敗		1.6E-13
	原子炉格納容器の 除熱機能喪失	大破断 LOCA+低圧再循環失敗+格納容器スプレイ注入失敗	ε		
		大破断 LOCA+低圧再循環失敗+格納容器スプレイ再循環失敗	ε		
		中破断 LOCA+格納容器スプレイ注入失敗	3.7E-12		
		中破断 LOCA+格納容器スプレイ再循環失敗	ε		
		小破断 LOCA+格納容器スプレイ注入失敗	1.5E-12		
		小破断 LOCA+格納容器スプレイ再循環失敗	ε		
	ECCS 注水機能喪失	大破断 LOCA+低圧注入失敗	2.5E-10		
		大破断 LOCA+蓄圧注入失敗	3.8E-13		
		中破断 LOCA+蓄圧注入失敗	1.5E-12		
		大破断 LOCA を上回る規模の LOCA (Excess LOCA)	2.7E-08		
RCPB	原子炉停止機能喪失	原子炉トリップが必要な起回事象+原子炉トリップ失敗	4.3E-10	4.3E-10	

ε : 1.0E-15 未満

性能目標の CDF (10^{-4} /炉年) に対して 1% を下回る頻度の事象は、目標に対して影響がないといえるくらい小さい値と見なすことができ、 1.8×10^{-7} /炉年は、これを大きく下回ることから、基準地震動相当までの地震力により DB 条件を超える運転状態 V の発生確率は極めて低いと考えられる。したがって、SA 施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討において、運転状態 V が地震によって引き起こされるおそれがないとして扱うことは妥当と考える。

(参考) 余震, 前震を考慮した炉心損傷頻度の算出

1. 余震, 前震を考慮した炉心損傷頻度の算出方法

1.1 本震前に前震を考慮した場合の影響評価について

地震 PRA においては, 前震, 本震全体を考慮した評価方法はないことから, 1 回の地震による評価を 2 回使用することで前震, 本震を考慮することとする。評価方法の概念図を図 1 に示す。

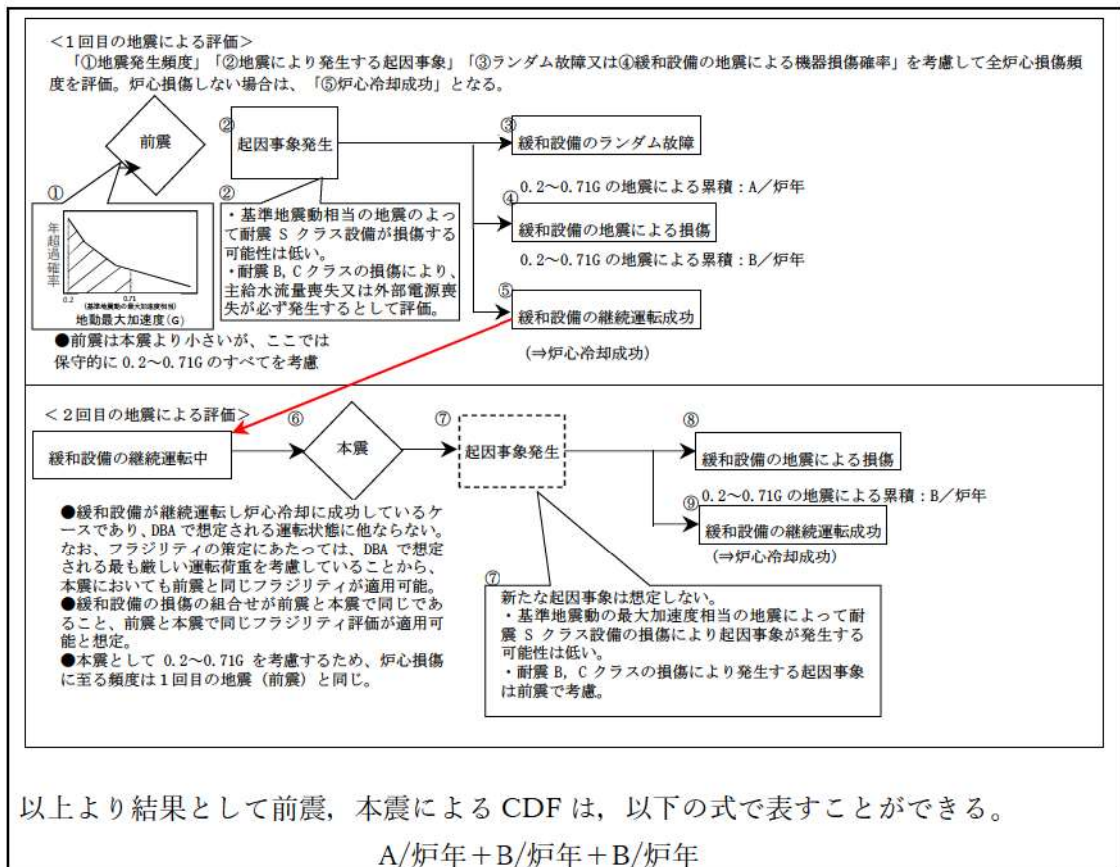
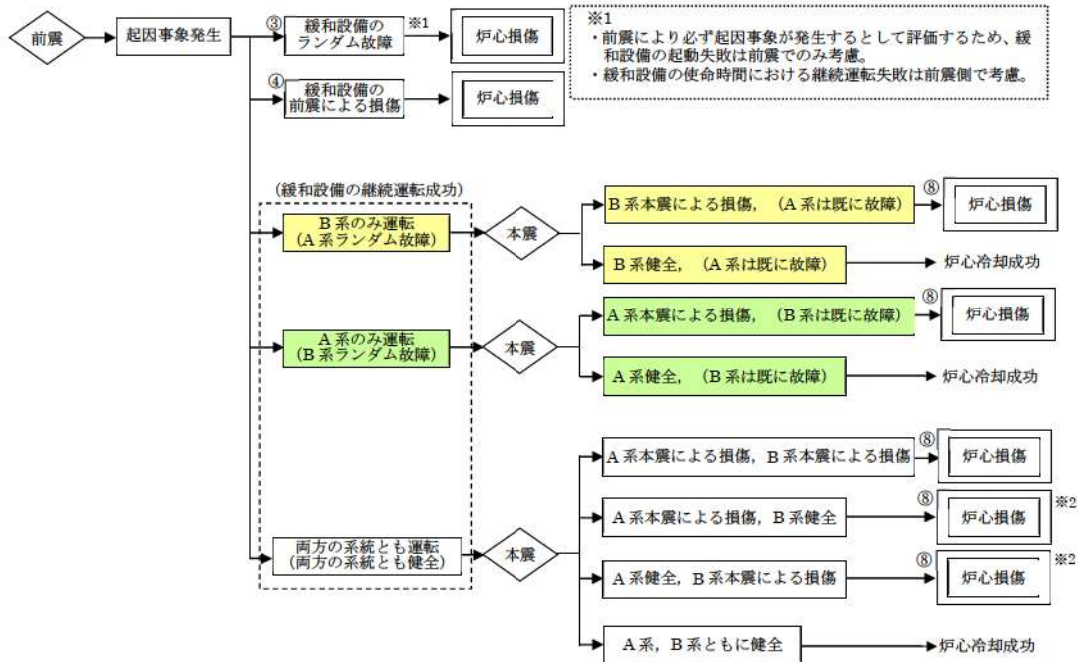


図 1 本震前に前震を考慮した場合の評価方法

次に考慮すべきケースの網羅性についての検討結果を示す。

緩和設備は冗長性を有するが, 地震 PRA では冗長設備は同時に損傷するとして評価しているため, 1 つの系統が機器損傷し, 残りの系統が健全となるケースは考慮せず, 1 つの設備が損傷する確率で全台の当該設備が損傷に至るものとして保守的に評価している。

そのため, 緩和設備の状態について考えられるすべての組合せを抽出し, 現行の地震 PRA でどのように整理されるかを考慮した。なお, 以下は 2 つの系統で冗長化されている系統の場合について代表して記載する (3 つの系統で冗長化されている場合も同様の整理となる)。



前震及び前震後の本震による緩和設備の状態の組合せを次に示す。

a. 前震による緩和設備の状態の組合せ

	A系	B系	
前震による影響	ランダム故障 (前震)	ランダム故障 (前震)	⇒③で整理
	ランダム故障 (前震)	前震による機器損傷	⇒④で整理
	前震による機器損傷	ランダム故障 (前震)	
	前震による機器損傷	前震による機器損傷	⇒④で整理
	前震による機器損傷	○ (健全)	⇒④で整理※
	○ (健全)	前震による機器損傷	
	ランダム故障 (前震)	○ (健全)	緩和設備の継続運転に成功
	○ (健全)	ランダム故障 (前震)	
	○ (健全)	○ (健全)	

※2
 緩和設備の状態は、理論上、上記の組合せが考えられるが、地震 PRA では冗長設備は同時に損傷するとして評価するため、片方の系統が機器損傷しもう一方の系統が健全となるケースは考慮せず、1 つの機器が損傷することで炉心損傷に至るものとして保守的に評価している。

b. 前震後の本震による緩和設備の状態の組合せ

	A系	B系	
本震による影響	ランダム故障 (前震)	○ (健全)	⇒炉心冷却成功
	ランダム故障 (前震)	本震による機器損傷	⇒本震による機器損傷として整理
	本震による機器損傷	ランダム故障 (前震)	
	○ (健全)	ランダム故障 (前震)	⇒炉心冷却成功
	本震による機器損傷	本震による機器損傷	⇒本震による機器損傷として整理
	本震による機器損傷	○ (健全)	⇒本震による機器損傷として整理※
	○ (健全)	本震による機器損傷	
	○ (健全)	○ (健全)	⇒炉心冷却成功

本震により炉心損傷に至る組合せは、前震による組合せのうち④と整理したものと同じとなった。

- 前震による緩和設備の状態の組合せは、緩和設備の状態（ランダム故障，地震による機器損傷，健全）の9通りのすべての組合せを考慮。
- 冗長設備は同時に損傷するとして評価するため、「ランダム故障と地震による機器損傷」「片方の系統のみ地震により機器損傷」のケースについては、「両方の系統とも地震により損傷」として整理。
- 緩和設備が「両方の系統ともランダム故障」のケースはランダム故障として整理。
- 前震後の本震による緩和設備の状態の組合せは、前震後に健全な系統の緩和設備が本震により損傷するか否かの組合せであり、8通りすべての組合せを想定。
- ランダム故障は前震側で考慮しているため、前震と前震後の本震による緩和設備の状態の組合せについては、「両方の系統ともランダム故障」となる組合せを除き、前震とその後の本震で同じ組合せとなった。
- そのため、地震規模を同程度とすると、地震により機器が損傷する確率は前震と本震で同程度となる。

1.2 本震後の余震を考慮した場合の影響について

地震 PRA においては、本震、余震全体を考慮した計算方法はないことから、「本震前に前震を考慮した場合」と同様に 1 回の地震による評価を 2 回用いることで本震、余震を考慮することとし、影響の検討を行う。

また、想定する地震規模として、本震及び余震の地震加速度を 0.2G から 0.71G のすべての地震による影響を考慮して組み合わせる場合、3.1.2 項においても前震及び本震の地震加速度を 0.2G から 0.71G のすべての地震による影響を考慮して組み合わせていることを踏まえると、前震を本震に、本震を余震に読み替えることで同じ影響を評価することとなる。

以上より本震、余震による炉心損傷頻度は、

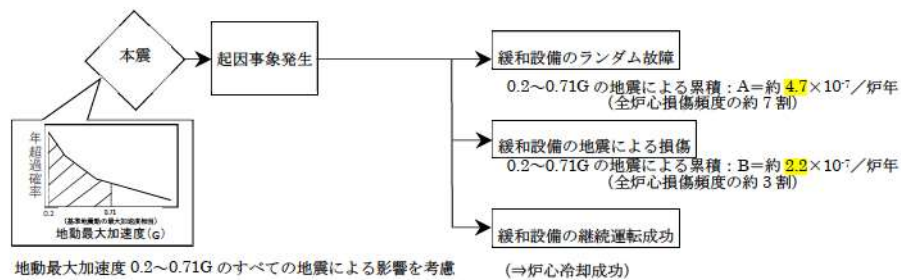
$$A/\text{炉年} + B/\text{炉年} + B/\text{炉年} \text{で算出される。}$$

2. 余震、前震を考慮した炉心損傷頻度の算出結果

2.1 基準地震動相当までの本震による全炉心損傷頻度の累積の算出結果

地震 PRA では本震による影響のみを評価しているが、算出した基準地震動相当 (0.71G) までの本震による全炉心損傷頻度は 0.2G から基準地震動相当である 0.71G までの地震による影響を累積した評価であり、耐震 B、C クラスの機器が損傷することで過渡事象が発生し緩和設備のランダム故障が重畳することで炉心損傷に至るケースが含まれている。

基準地震動相当までの本震による全炉心損傷頻度の累積は約 7.0×10^{-7} /炉年であり、そのうち緩和設備のランダム故障によるものが約 4.7×10^{-7} /炉年、緩和設備の地震による損傷によるものが約 2.2×10^{-7} /炉年である。



2.2 余震，前震を考慮した炉心損傷頻度の算出結果

2.1 項の算出結果を用い，1.2 項及び1.3 項の算出式で，評価を行った。

$$A/\text{炉年} + B/\text{炉年} + B/\text{炉年}$$

$$= \text{約 } 4.7 \times 10^{-7} / \text{炉年} + \text{約 } 2.2 \times 10^{-7} / \text{炉年} + \text{約 } 2.2 \times 10^{-7} / \text{炉年} = \text{約 } 9.2 \times 10^{-7} / \text{炉年}$$

以上の算出結果から，余震，前震を考慮した炉心損傷頻度約 $9.2 \times 10^{-7} / \text{炉年}$ と非常に低い値となる。