

泊発電所 1 号炉 審査資料	
資料番号	HTN1-PLM30(冷停)-耐震
提出年月日	平成 30 年 10 月 5 日

泊発電所 1 号炉 高経年化技術評価
(耐震安全性評価)

補足説明資料

平成 30 年 10 月 5 日
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
3.1 評価対象	4
3.1.1 耐震安全性評価対象機器	4
3.1.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出	4
3.2 評価手法	7
3.2.1 主な適用規格	7
3.2.2 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間	7
3.2.3 耐震安全性評価の評価手法	9
3.3 評価用地震力	13
3.4 評価用地震動	14
3.5 代表の選定	17
4. 代表の耐震安全性評価	19
4.1 耐震安全性評価	19
4.1.1 低サイクル疲労	19
4.1.2 高サイクル熱疲労	19
4.1.3 中性子照射脆化	20
4.1.4 熱時効	20
4.1.5 中性子照射による靱性低下	21
4.1.6 中性子及び γ 線照射脆化	21
4.1.7 応力腐食割れ	21
4.1.8 摩耗	22
4.1.9 流れ加速型腐食	22
4.1.10 全面腐食	23
4.1.11 動的機能維持に係る耐震安全性評価	24
4.2 現状保全	26
4.3 総合評価	26
5. まとめ	27
5.1 審査ガイド適合性	27
5.2 保守管理に関する方針として策定する事項	31

別紙 1.	建設後の耐震補強の実績について	1-1
別紙 2.	耐震安全性評価に用いる現行の JEAG4601 以外の値を適用した ケースについて	2-1
別紙 3.	冷温停止状態における耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の 発生・進展について	3-1
別紙 4.	機器・配管に係る、比率で示された耐震安全性評価結果 (疲労累積係数を除く)について	4-1
別紙 5.	主蒸気管の伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性評価について	5-1
別紙 6.	余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価 について	6-1
別紙 7.	原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価について	7-1
別紙 8.	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について	8-1
別紙 9.	原子炉容器サポートブラケット (サポートリブ) の中性子及び γ線照射脆化に対する耐震安全性評価について	9-1
別紙 10.	低水質廃液蒸発装置 (蒸発器胴板) の応力腐食割れに対する 耐震安全性評価について	10-1
別紙 11.	蒸気発生器支持脚 (ヒンジ摺動部) の摩耗に対する耐震安全性評価 について	11-1
別紙 12.	主蒸気系統配管の内面からの腐食 (流れ加速型腐食) に対する 耐震安全性評価について	12-1
別紙 13.	ディーゼル機関空気冷却器伝熱管の内面腐食 (流れ加速型腐食) に対する耐震安全性評価について	13-1
別紙 14.	制御用空気だめの腐食 (全面腐食) に対する耐震安全性評価について	14-1

追而

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第82条第1項の規定に基づき実施した、冷温停止状態が維持されることを前提とした高経年化技術評価のうち、耐震安全性評価の評価結果について、補足説明するものである。

なお、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価（以下「技術評価」という。）については高経年化技術評価書に取りまとめている。

高経年化技術評価における耐震安全性評価とは、耐震安全性に影響する可能性がある経年劣化事象について、評価対象機器の経年劣化を加味して耐震重要度分類に応じた地震力を用いた評価を行い、評価対象機器の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価することをいう。

2. 基本方針

各機器・構造物の材質、環境条件等を考慮し、発生し得る経年劣化事象に対して「技術評価」を行った結果、保全対策を講じることによっても管理ができないという経年劣化事象は抽出されていない。

したがって、耐震性を考慮した場合にも、耐震性に影響を与える経年劣化事象を保全対策により適切に管理することで、耐震安全性の確保が可能であると考えられる。

しかしながら、高経年プラントの耐震性については、上記経年劣化事象の管理の観点からも、技術的評価を実施して安全性を確認しておく必要があると考えられることから、「技術評価」の中で耐震安全性の評価を実施するものである。

耐震安全性評価の基本方針は、評価対象機器について発生し得る経年劣化事象に対して実施した「技術評価」に耐震性を考慮した技術的評価を実施して、運転開始後60年時点までの期間において「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に定める要求事項に適合することを確認することである。耐震安全性評価についての要求事項を表1に整理する。

表 1 (1/2) 耐震安全性評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑥ 動的機器（部位）の抽出</p> <p>動的機器（部位）を評価対象外としている場合，発電用原子炉設置者の保守管理活動において，材料等の経年劣化の影響から生じる性能低下の状況が的確に把握され，高経年化技術評価の開始時期以降もこれらが適切に行われることを保証しているかを，保守管理要領等の文書及び保守管理実績等により審査する。</p> <p>⑱-1 耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象の抽出</p> <p>経年劣化の進展評価結果に基づき，耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象を抽出していることを審査する。</p> <p>⑲-1 耐震安全上着目すべき経年劣化事象の抽出</p> <p>耐震安全上着目すべき経年劣化事象を抽出していることを審査する。</p> <p>⑳-1 耐震安全性の評価</p> <p>実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について，経年劣化事象の発生又は進展に伴う機器・構造物の耐震安全性を評価しているかを審査する。</p> <p>㉑-1 耐震安全上の現状保全の評価</p> <p>耐震安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。</p> <p>㉒-1 耐震安全上の追加保全策の策定</p> <p>想定した経年劣化事象に対し，耐震安全性が確保されない場合に，現状保全に追加する必要がある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>① 長期保守管理方針の策定</p> <p>すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>

表 1 (2/2) 耐震安全性評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し</p> <p>⑥耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。</p> <p>実用炉規則第82条第1項から第3項までの規定による高経年化技術評価に係る耐震安全性評価は、規制基準（当該評価を行う時点後の直近の運転開始以後30年、40年又は50年を経過する日において適用されているものに限る。）の要求を満たすことが確認された確定した基準地震動及び弾性設計用地震動を用いた評価を行うこと。当該高経年化技術評価後に、当該評価に用いた基準地震動及び弾性設計用地震動が見直された場合には、高経年化技術評価を速やかに見直すこと。</p> <p>⑥を行うに当たっては、PLM 基準 2008 版の 6.3.4 耐震安全性評価を用いることができる。</p> <p>3.2 長期保守管理方針の策定及び変更</p> <p>長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものすべて。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

3.1.1 耐震安全性評価対象機器

評価対象機器は、「技術評価」における評価対象機器と同じとする。

上記の評価対象機器のうち、以下の機器を耐震安全性評価における評価対象機器とする。

- ・各高経年化技術評価書で行った機器のグループ化における「同一グループ内での代表機器」
- ・「同一グループ内での代表機器」より耐震重要度が上位の機器

耐震安全性評価の各経年劣化事象における評価対象機器は表 2 に示す機器とし、「4. 代表の耐震安全性評価」にて評価を実施する。

なお、評価対象機器に対して建設後に実施した耐震補強の実績については別紙 1 に示す。

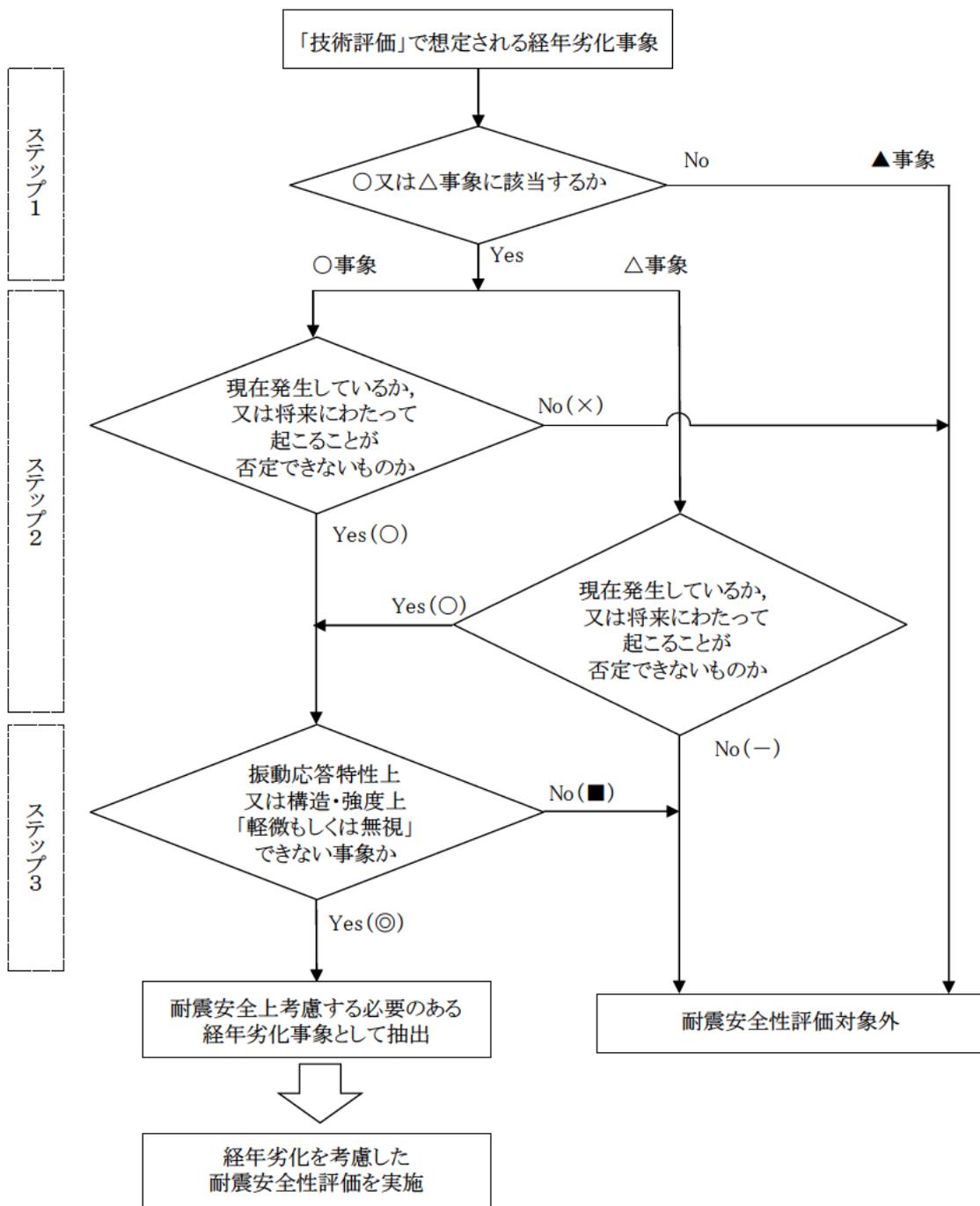
3.1.2 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出

3.1.1項にて抽出された耐震安全性評価対象機器において、各高経年化技術評価書で評価対象機器・部位ごとに想定される経年劣化については、以下のとおり分類される。なお、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する事象を含む。

- (1) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象）
- (2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象
（日常劣化管理事象）（△事象）
- (3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象
（日常劣化管理事象以外）（▲事象）

このうち、耐震安全性評価対象機器として、(1)及び(2)のうち「現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの」でかつ「振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できる事象ではない経年劣化事象」について、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象として抽出し、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施する。

耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出フローを図 1 に示す。



【凡例】

- ：評価対象として抽出
- －：評価対象から除外
- ×：現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいものとして評価対象から除外
- ：振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できる事象として評価対象から除外
- ◎：耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象として抽出
- △：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）
- ▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

Yes/No() 内の記号は耐震評価の分類を示す。

図1 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出フロー

表2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象一覧

機器・ 構造物	耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象												
	疲労割れ		中性子 照射脆化	応力 腐食割れ	照射 誘起型	熱時 効	中性子 照射による 脆性低下	照射 脆化	中性子 及びγ線	応力 腐食割れ	摩 耗	腐食	
	低サイ クル疲 勞	高サイ クル熱 疲勞										流れ加 速型腐 食	全面 腐食
ポンプ	◎	—	—	—	◎	—	—	—	—	—	—	—	—
熱交換器	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—
ポンプ用 電動機	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
容器	◎	—	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	◎	◎	—	—	◎	—	—	—	—	—	◎	—	—
弁	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
炉内構造物	◎	—	—	×	—	◎	—	—	—	◎	—	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
タービン 設備	(冷温停止状態維持に必要な評価対象機器なし)												
コンクリート 構造物及び 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御 設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—
機械設備	◎	—	—	—	—	—	—	◎	◎	◎	—	◎	—
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	◎	—	—

【凡例】

- ◎：「現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの」かつ「振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できない事象」
- ×：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象であるが、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいもの
- ：日常劣化管理事象のうち、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいもの

3.2 評価手法

3.2.1 主な適用規格

耐震安全性評価に用いた規格を以下に示す。

- ・日本機械学会「設計・建設規格 2005年版（2007年追補版を含む） JSME S NC1-2005(2007)」（以下、「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会「維持規格 2008年版 JSME S NA1-2008」（以下、「維持規格」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 JEAG4613-1998」
- ・日本電気協会「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 JEAC4206-2007」（以下、「JEAC4206」という。）
- ・日本機械学会「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格 JSME S NG1-2006」
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補-1984」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991 追補版」（以下、「JEAG4601」という。）
- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」（以下、「JEAC4601」という。）

なお、現行のJEAG4601以外の値を適用した耐震安全性評価を実施したケースについては、別紙2に記載する。

3.2.2 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間

冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間は、以下のとおりとする。（表3参照）

- (1) 冷温停止状態において発生・進展しない事象（低サイクル疲労等）
想定が必要な期間は至近のプラント停止までとなるが、運転開始後60年までを評価対象期間とする。
- (2) 冷温停止状態において発生・進展の可能性が想定される事象（全面腐食等）
想定が必要な期間は運転開始後40年までとなるが、運転開始後60年までを評価期間とする。

なお、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象について、冷温停止状態における発生・進展のあり・なし区分を別紙3に示す。

表3 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間

主な経年劣化事象		主な機器	想定期間及び劣化評価期間		2011年	運開後	運開後
					4月	40年	60年
冷温停止状態で発生・進展なし	低サイクル疲労 中性子照射脆化 照射誘起型応力腐食割れ 熱時効 流れ加速型腐食（冷温停止状態で流れなし） 高サイクル熱疲労割れ 摩耗 中性子照射による靱性低下 中性子及びγ線照射脆化	<ul style="list-style-type: none"> ・1次冷却材ポンプ ・余熱除去ポンプ ・蒸気発生器 ・再生熱交換器 ・余熱除去冷却器 ・原子炉容器 ・加圧器 ・配管貫通部 ・配管、弁 ・配管サポート ・炉内構造物 ・重機器サポート ・制御棒クラスタ 	想定が必要な期間	2011年4月まで	▽	▽	▽
			劣化評価期間	運転開始後60年まで	▽	▽	▽
冷温停止状態で発生・進展可能性あり	全面腐食 流れ加速型腐食（冷温停止状態で流れあり） 応力腐食割れ	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水冷却器 ・配管 ・空調用冷凍機凝縮器 ・空気圧縮装置 ・濃縮減容設備 ・ディーゼル機関空気冷却器 	想定が必要な期間	運転開始後40年まで	▽	▽	▽
			劣化評価期間	運転開始後60年まで	▽	▽	▽

3.2.3 耐震安全性評価の評価手法

(1) 低サイクル疲労（ポンプ，熱交換器，容器，配管，弁等）

運転開始後60年時点までの推定過渡回数を考慮した疲労累積係数と基準地震動 S_s ，又は基準地震動 S_1 （設計用最強地震による地震動）を考慮した疲労累積係数の合計値が許容値1以下となることを確認する。

(2) 高サイクル熱疲労（配管）

想定亀裂に対し，地震時の当該部位における発生応力を算出し，亀裂安定限界応力を超えないことを確認する。

(3) 中性子照射脆化（容器）

想定欠陥に対し，当該部位における地震時の応力拡大係数を算出し，運転開始後60年時点の中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を下回ることを確認する。

(4) 熱時効（ポンプ，配管）

想定亀裂に対し，当該部位における地震時の亀裂進展力を算出し，熱時効を考慮した材料の亀裂進展抵抗との交点において，亀裂進展抵抗の傾きが亀裂進展力の傾きを上回っていることを確認する。

なお，技術評価「熱時効」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。

(5) 中性子照射による靱性低下（炉内構造物）

想定欠陥に対し，地震時の当該部位における応力拡大係数を算出し，中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を下回ることを確認する。

なお，技術評価「中性子照射による靱性低下」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。

(6) 中性子及び γ 線照射脆化（機械設備）

想定欠陥に対し，地震時の当該部位における応力拡大係数を算出し，運転開始後60年時点の中性子及び γ 線照射を受けた材料の破壊靱性値を超えないことを確認する。

なお，技術評価「中性子及び γ 線照射脆化」にて地震荷重を含んだ評価を実施している。

(7) 応力腐食割れ（機械設備）

想定亀裂に対し，地震時の当該部位における発生応力を算出し，亀裂安定限界応力を超えないことを確認する。

(8) 摩耗（炉内構造物，機械設備）

a. 炉内構造物

シングルチューブの取替基準に相当する摩耗を考慮して，当該部位における地震時の発生応力を算出し，許容応力を超えないことを確認する。

b. 機械設備

運転開始後60年時点での摩耗量の一様減肉を仮定，又は被覆管肉厚までの摩耗を想定して，当該部位における地震時の発生応力を算出し，許容応力を超えないことを確認する。

(9) 流れ加速型腐食（熱交換器，配管，空調設備，電源設備）

a. 熱交換器，空調設備，電源設備

伝熱管の施栓基準肉厚まで一様減肉することを考慮して，地震時の発生応力を算出し，許容応力を超えないことを確認する。

b. 配管

必要最小肉厚までの一様減肉を考慮して地震時の発生応力を算出し，許容値を超えないことを確認する。腐食（流れ加速型腐食）（配管）の耐震安全性評価フローを図2に示す。

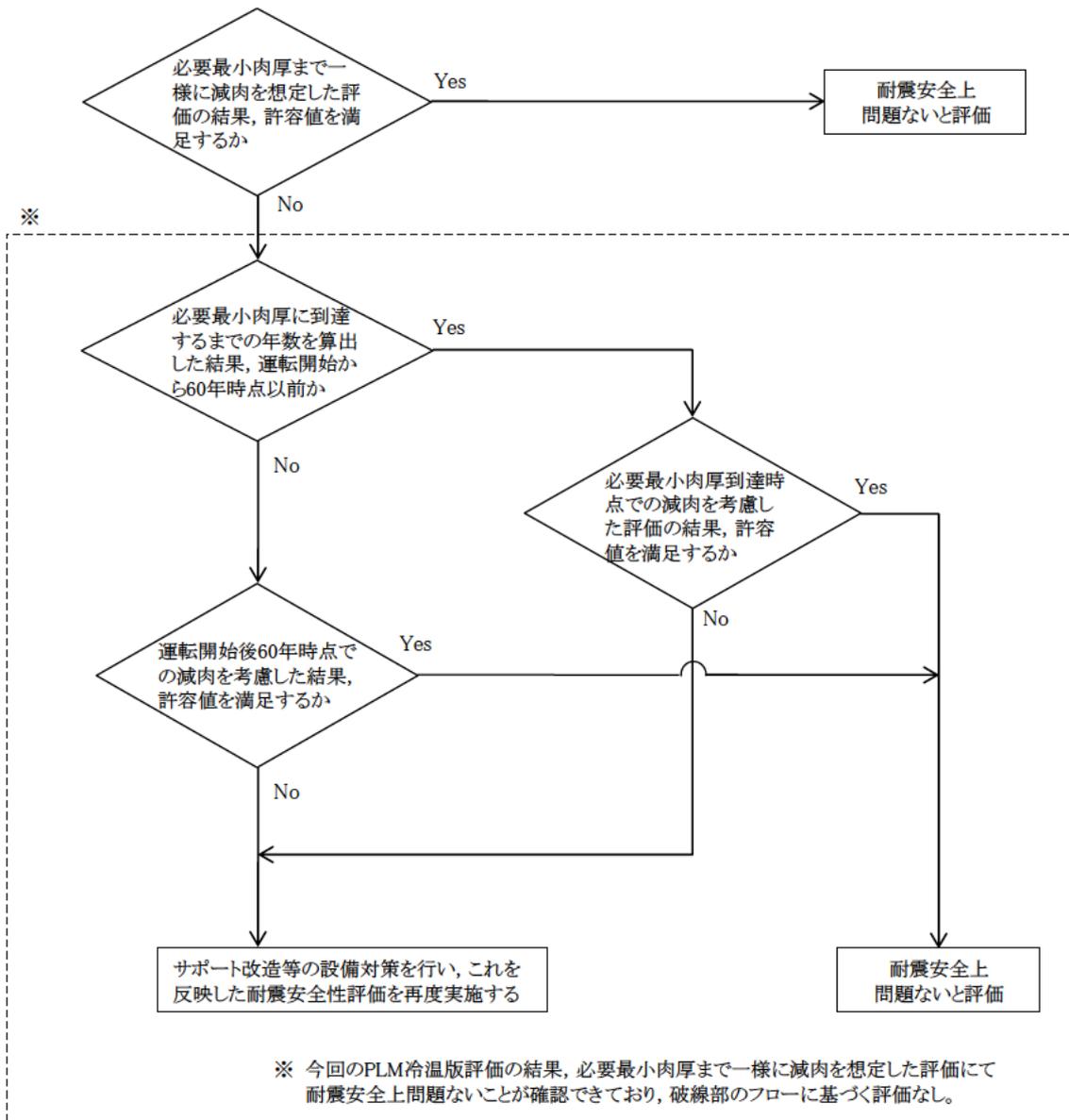


図2 腐食（流れ加速型腐食）（配管）の耐震安全性評価フロー

(10) 全面腐食（機械設備）

運転開始後60年時点での腐食量の一様減肉を仮定し、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。

(11) 動的機能維持

地震時に動的機能維持が要求される耐震安全性評価対象機器（弁、ポンプ、ファン等）について、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を整理し、振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できない事象とできる事象に分類のうえ、「軽微若しくは無視」できない事象については、評価を実施し耐震安全性評価上問題のないことを確認する。

3.3 評価用地震力

耐震安全性評価に用いる評価用地震力は各機器の耐震重要度に応じて表4のとおり選定する。

表4 耐震重要度に応じた耐震安全性評価に用いる評価用地震力

耐震重要度	評価用地震力
Sクラス (旧A _s クラス及びAクラス)	基準地震動S _s * ¹ により定まる地震力
	基準地震動S ₁ （設計用最強地震による地震動）により定まる地震力とSクラスの機器に適用される静的地震力の大きい方
Bクラス	Bクラスの機器に適用される静的地震力* ²
Cクラス	Cクラスの機器に適用される静的地震力

*1：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）により策定した基準地震動S_s。

*2：支持構造物の振動と共振のおそれがあるものについては、基準地震動S₁により定まる地震力の1/2についても考慮する。

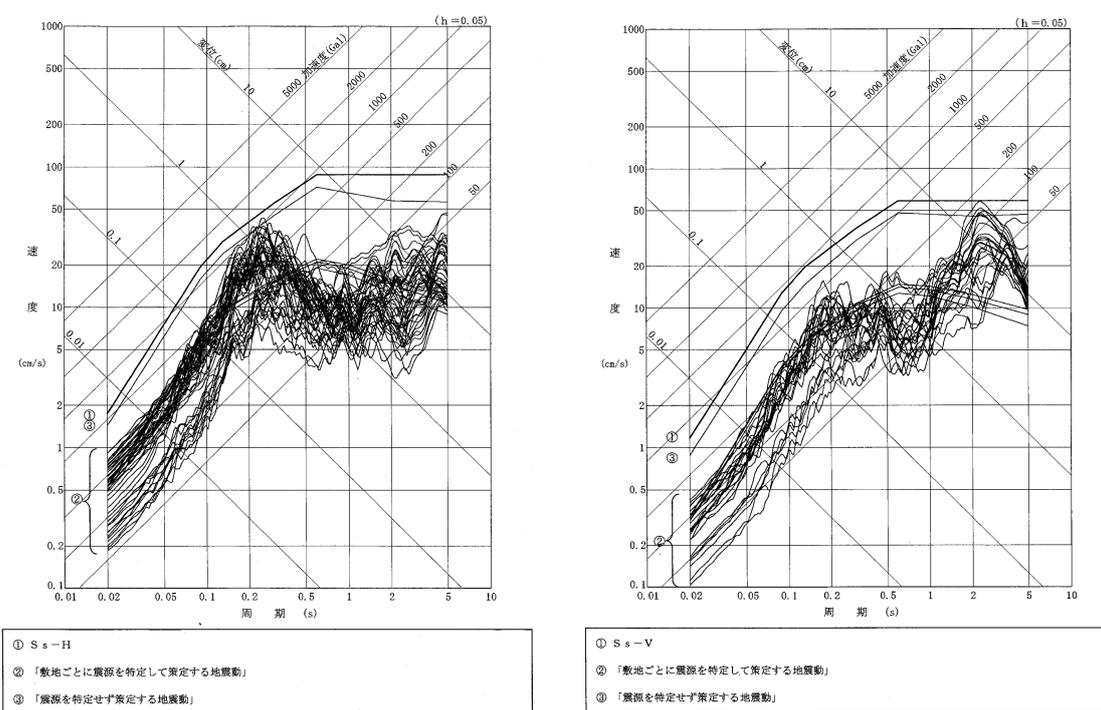
3.4 評価用地震動

泊1号炉の高経年化技術評価における耐震安全性評価では、実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドの附則（経過措置）に従い、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）により策定した基準地震動 S_s 並びに泊発電所設置許可申請書（1号炉）（昭和59年6月14日許可）の基準地震動 S_1 による評価を実施する。

○発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）により策定した基準地震動 S_s

泊発電所の耐震安全性評価に用いる基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を考慮し、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定する。

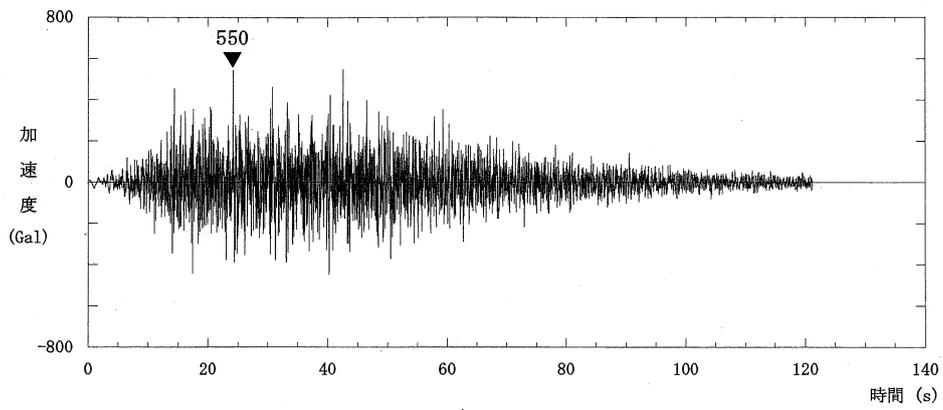
基準地震動 S_s の応答スペクトル図及び加速度時刻歴波形を図3及び図4にそれぞれ示す。



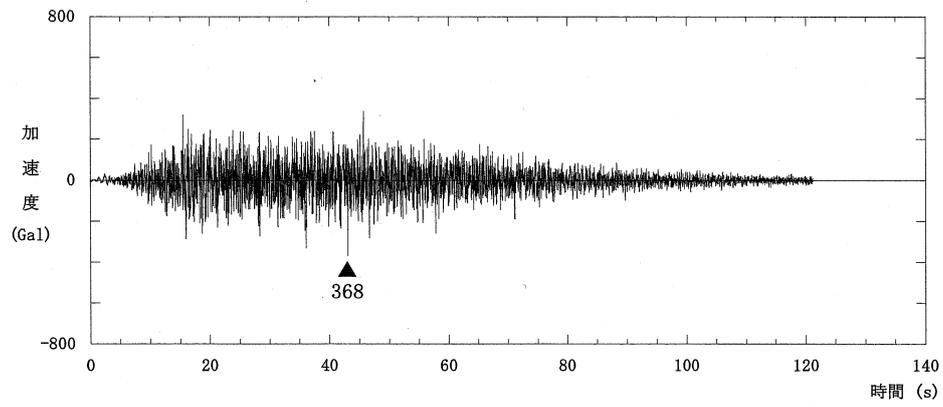
水平方向

鉛直方向

図3 基準地震動 S_s の応答スペクトル図



水平方向



鉛直方向

図4 基準地震動S_sの加速度時刻歴波形

○基準地震動 S_1

基準地震動 S_1 については、歴史的資料から過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震及び将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震から最も影響の大きいものを想定する。

基準地震動 S_1 の応答スペクトル図及び加速度時刻歴波形を図5及び図6にそれぞれ示す。

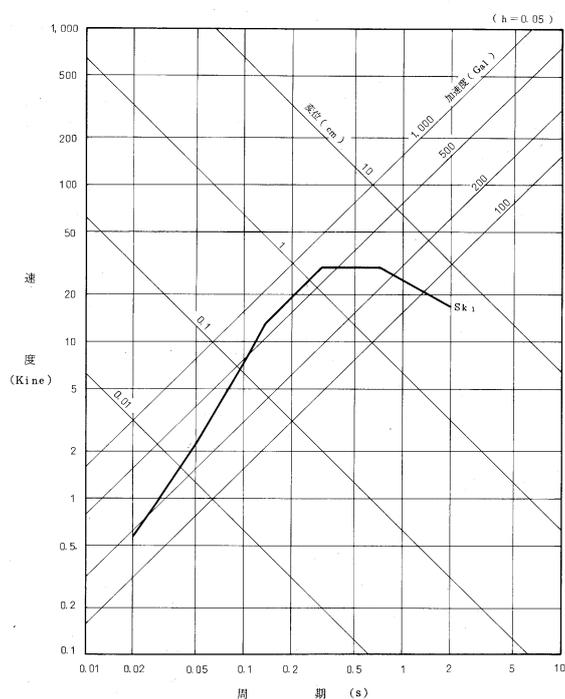


図5 基準地震動 S_1 の応答スペクトル図

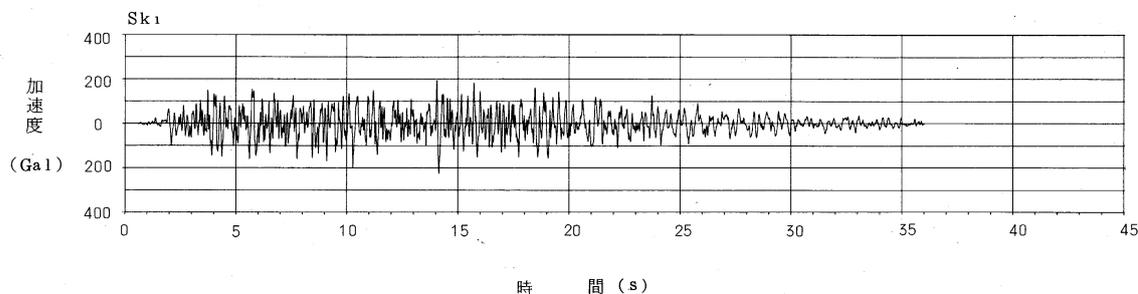


図6 基準地震動 S_1 の加速度時刻歴波形

3.5 代表の選定

耐震安全性評価においては「技術評価」における評価対象機器全てを対象として耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施することにより、耐震安全性に問題ないことを確認している。

補足説明資料では、耐震安全性評価を実施する機器のうち、表5に示すとおり冷温停止状態で発生・進展しない事象であるが評価した機器及び冷温停止状態において発生・進展が想定される事象で評価結果が厳しいことが想定される機器を代表として選定し、詳細な評価内容について記載する。

なお、耐震安全性評価書において比率で示された評価結果（疲労累積係数を除く）について、各々の分子と分母の値を単位とともに記載した表を別紙4に示す。

表5 補足説明資料における代表の選定

評価項目	詳細評価内容を記載する 機器・部位	選定理由	
冷温停止状態で発生・進展なし	低サイクル疲労	伸縮継手（主蒸気管）	基準地震動 S_s 又は S_1 による疲労累積係数が最も大きい機器
	高サイクル熱疲労	ステンレス鋼配管（余熱除去系統配管）	高サイクル熱疲労を考慮した評価が必要となる機器
	中性子照射脆化	原子炉容器胴部（炉心領域部）	中性子照射脆化を考慮した評価が必要となる機器
	熱時効	1次冷却材管	熱時効を考慮する必要がある機器のうち、機器に作用する応力が最大の機器
	中性子照射による靱性低下	炉心そう	中性子照射による靱性低下を考慮した評価が必要となる機器
	中性子及び γ 線照射脆化	原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））	中性子及び γ 線照射脆化を考慮した評価が必要となる機器
	摩耗	蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）	摩耗を考慮した耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最も大きい機器
	流れ加速型腐食（冷温停止状態で流れなし）	炭素鋼配管（主蒸気系統配管）	耐震重要度が高く、配管の腐食（流れ加速型腐食）による配管減肉を考慮した耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大である箇所
冷温停止状態で発生・進展可能性あり	応力腐食割れ	低水質廃液蒸発装置蒸発器胴板	応力腐食割れを考慮した評価の結果、発生応力と亀裂安定限界応力の比が最も大きい機器
	全面腐食	制御用空気だめ	腐食（全面腐食）を考慮した評価が必要となる機器
	流れ加速型腐食（冷温停止状態で流れあり）	ディーゼル機関空気冷却器	耐震重要度が高く、内部流体が海水であり、伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）の耐震評価の結果、発生応力と許容応力の比が最も大きい機器
動的機能維持	弁箱	振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できない事象の機器	

4. 代表の耐震安全性評価

4.1 耐震安全性評価

4.1.1 低サイクル疲労

伸縮継手（主蒸気管）について、運転開始後60年までの推定過渡回数を考慮して算出した疲労累積係数と、基準地震動 S_s 又は S_1 を考慮した地震時の疲労累積係数の合計が許容値1以下となることから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表6に、算出過程を別紙5にそれぞれ示す。

表6 伸縮継手（主蒸気管）の低サイクル疲労の耐震安全性評価結果

対象機器	運転実績回数*1 に基づく 疲労累積係数	地震動による 疲労累積係数 (基準地震動 S_s)	合計 (許容値1以下)
伸縮継手 (主蒸気管)	0.032	0.436	0.468

*1：過渡実績を踏まえ、運転開始後60年までの運転過渡を想定した疲労累積係数

4.1.2 高サイクル熱疲労

余熱除去系統配管のうち、余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部（高低温水合流部）について、貫通亀裂を想定し地震時に発生する応力を算出した結果、亀裂安定限界応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表7に、算出過程を別紙6に示す。

表7 余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れの耐震安全性評価結果

対象機器	重要度	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力比	地震時発生応力 (MPa)	亀裂安定限界応力 (MPa)
余熱除去系統配管	PS-1	S	S_s	$IV_A S$	0.33	70	210
			S_1	$III_A S$	0.32	68	210

4.1.3 中性子照射脆化

原子炉容器胴部について、 S_s 地震発生時の想定欠陥における応力拡大係数 K_I 、原子炉容器の劣化が進展すると仮定した場合の運転開始後60年時点における破壊靱性値 K_{IC} を評価した結果、破壊靱性値は応力拡大係数 $5.1\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ と比較して大きいことから、耐震安全性評価上問題ない。

算出過程を別紙7に示す。

4.1.4 熱時効

1次冷却材管について、運転開始後60年時点での疲労進展を仮定した場合の亀裂長さを貫通亀裂と仮定し、評価用荷重条件としては通常運転状態で働く荷重に加え、 S_s 地震発生時の荷重を考慮し配管の健全性を確認した。

具体的には、評価対象部位の熱時効後の亀裂進展抵抗 (J_{mat}) と構造系に作用する応力から算出される亀裂進展力 (J_{app}) を求めて比較を行った。

図7に1次冷却材管の亀裂安定性評価結果を示す。

結果は、運転期間60年での疲労亀裂を想定しても、亀裂進展力 (J_{app}) と亀裂進展抵抗 (J_{mat}) の交点において、 J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回っていることから、配管は不安定破壊することなく、耐震安全性評価上問題ない。

なお、算出過程は、「技術評価」2相ステンレス鋼の熱時効の補足説明資料に記載のとおりである。

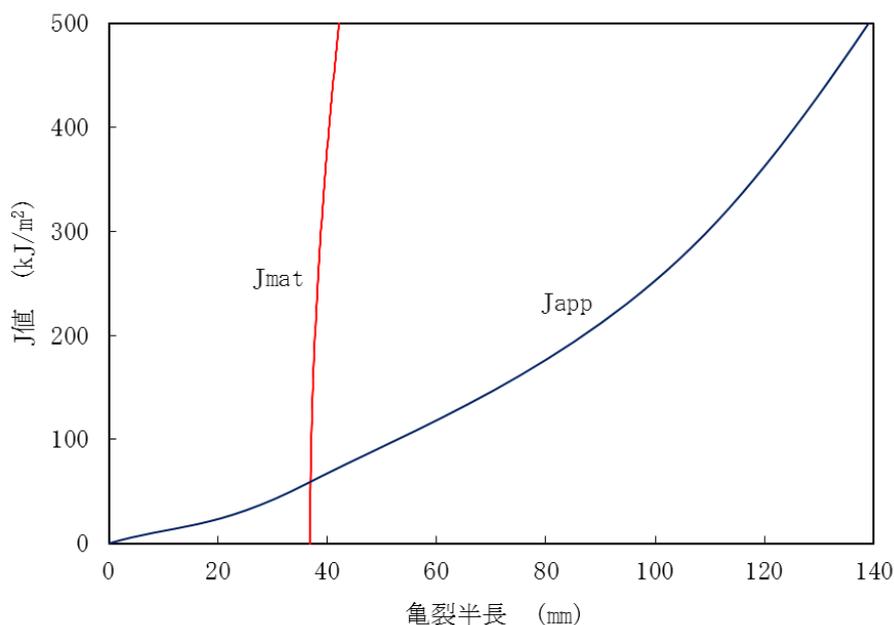


図7 1次冷却材管の亀裂安定性評価結果

4.1.5 中性子照射による靱性低下

炉心そうについて、運転開始後60年時点における S_s 地震発生時の想定欠陥における応力拡大係数 K 、破壊靱性値 K_{IC} を評価した結果、想定欠陥における応力拡大係数 $4.7\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ は、破壊靱性値 $51\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ を下回っており、不安定破壊は生じないことから、耐震安全性評価上問題ない。

算出過程を別紙8に示す。

4.1.6 中性子及び γ 線照射脆化

原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））について、運転開始後60年時点における S_1 地震発生時の想定欠陥における応力拡大係数 K_I 、破壊靱性値 K_{IR} を評価した結果、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表8に、算出過程を別紙9に示す。

表8 原子炉容器サポート（サポートブラケット（サポートリブ））の
中性子及び γ 線照射脆化に対する耐震安全性評価結果

対象機器	重要度	耐震重要度	評価地震力	応力拡大係数 / 破壊靱性値	応力拡大係数 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)	破壊靱性値 ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
原子炉容器サポート (サポートブラケット (サポートリブ))	PS-1	S	S_1^{*1}	0.15	4.9	33.2

*1： S_1 地震力による発生応力が S_s 地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力より大きいことから、発生応力が厳しくなる S_1 地震力にて評価した。

4.1.7 応力腐食割れ

低水質廃液蒸発装置の蒸発器胴板について、貫通亀裂を想定し地震時に発生する応力と亀裂安定限界応力を評価した結果、地震時に発生する応力が亀裂安定限界応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表9に、算出過程を別紙10に示す。

表9 低水質廃液蒸発装置 蒸発器胴板の
応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

評価対象	重要度	耐震重要度	許容応力状態	応力比	地震時発生応力 (MPa)	亀裂安定限界応力 (MPa)
低水質廃液蒸発装置 蒸発器胴板	高*1	B	Ⅲ _A S	0.27	19	71

*1：最高使用温度が 95°C を超え、又は最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

4.1.8 摩耗

蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）について、運転開始後60年時点での摩耗量の一様減肉を仮定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表10に、算出過程を別紙11に示す。

表10 蒸気発生器支持脚（ヒンジ摺動部）の摩耗の耐震安全性評価結果

評価対象	重要度	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
蒸気発生器支持脚 (ヒンジ摺動部)	PS-1	S	S _s *1	IV _A S	一次応力	0.11	19	180
					一次+二次応力	0.48	206	426

*1: S_s地震力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S₁地震力及び静的地震力による評価を省略した。

*2: 設計・建設規格付録材料図表Part5表9より求まる値

4.1.9 流れ加速型腐食

(1) 炭素鋼配管（主蒸気系統配管）（冷温停止状態で流れなし）

炭素鋼配管（主蒸気系統配管）について、配管内面に必要最小肉厚の減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表11に、算出過程を別紙12に示す。

表11 炭素鋼配管（主蒸気系統配管）の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	重要度	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力*1 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
炭素鋼配管 (主蒸気系統配管)	MS-1	S	S _s	IV _A S	一次応力	0.77	253	329
					一次+二次応力	0.94	395	418
			S ₁	III _A S	一次応力	0.58	121	209
					一次+二次応力	0.37	125	336

*1: 系統内の評価対象ライン中で最大の発生応力を示す

*2: 設計・建設規格付録材料図表Part5表8より求まる値

(2) ディーゼル機関空気冷却器（冷温停止状態で流れあり）

ディーゼル機関空気冷却器について、伝熱管内面に施栓基準肉厚までの減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表12に、算出過程を別紙13にそれぞれ示す。

表12 ディーゼル機関空気冷却器の腐食（流れ加速型腐食）の耐震安全性評価結果

評価対象	重要度	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比		発生応力 (MPa)		許容応力*2 (MPa)
						管板 ～ 支持板	支持板 ～ 支持板	管板 ～ 支持板	支持板 ～ 支持板	
ディーゼル機関 空気冷却器 伝熱管	MS-1	S	S _s *1	IV _A S	一次 応力	0.10	0.13			

*1：S_s地震力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S₁地震力及び静的地震力による評価を省略した。

*2：設計・建設規格付録材料図表Part5表6より求まる値

4.1.10 全面腐食

制御用空気だめについて、内面に運転開始後60年時点での減肉を想定し地震時の発生応力を評価した結果、地震時の発生応力は許容応力を超えることはないことから、耐震安全性評価上問題ない。

評価結果を表13に、算出過程を別紙14にそれぞれ示す。

表13 制御用空気だめの腐食（全面腐食）に対する耐震安全性評価結果

評価対象	重要度	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態	応力種別	応力比	発生応力 (MPa)	許容応力*2 (MPa)
制御用 空気だめ	MS-1	S	S _s *1	IV _A S	一次応力 (組合せ)	0.23	56	243

*1：S_s地震力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力より大きく、S_s地震力による発生応力がS₁地震力及びSクラスの機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S₁地震力及び静的地震力による評価を省略した。

*2：設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 より求まる値

4.1.11 動的機能維持に係る耐震安全性評価

冷温停止状態で動的機能維持が必要となる機器を機能毎に整理し、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を表14の通り整理し、振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できない事象とできる事象に分類した。

「軽微若しくは無視」できない事象である「弁箱の疲労割れ」については、評価を実施し、疲労累積係数が許容値1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象でないことから、耐震安全性評価上問題ない。

表14 冷温停止状態で動的機能維持が必要となる機器

機能	主な機器	主な経年劣化事象とその部位	事象区分
非常用電源の確保	ディーゼル発電機制御盤	計器用変流器等の絶縁低下 電圧調整装置等の特性変化	※1
	メタクラ（安全系） パワーセンタ（安全系）	操作機構（遮断器）の固着	■
	ディーゼル発電機 ディーゼル機関 ディーゼル機関付属設備 原子炉補機冷却海水ポンプ及び弁	ケーシング等の腐食 弁棒等の摩耗	■
余熱除去	余熱除去ポンプ及び弁 原子炉補機冷却水ポンプ及び弁 原子炉補機冷却海水ポンプ及び弁	弁箱の疲労割れ	◎※2
		ケーシング等の腐食 弁棒等の摩耗	■
低温過加圧防護	加圧器逃がし弁 制御用空気圧縮機	ケーシング等の腐食 弁棒等の摩耗	■
中央制御室 非常用循環系の運転	中央制御室非常用循環ファン及びダンパ 制御用空気圧縮機	ケーシング等の腐食 シャフトの固着 シャフト等の摩耗	■
燃料取扱棟 空気浄化系の運転	アニュラス空気浄化ファン及びダンパ 制御用空気圧縮機	ケーシング等の腐食 シャフトの固着 シャフト等の摩耗	■
1次冷却材中の ほう素濃度調整	ほう酸ポンプ及び弁	ケーシング等の腐食 弁棒等の摩耗	■
使用済燃料ピット 水位維持	燃料取替用水ポンプ及び弁	ケーシング等の腐食 弁棒等の摩耗	■
原子炉格納容器 バウンダリの確保	原子炉格納容器隔離弁	弁棒等の摩耗	■

◎：振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できない事象

■：振動応答特性上又は構造・強度上「軽微若しくは無視」できる事象

※1：耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象

※2：弁箱の疲労割れについて、疲労割れが生じた場合は振動応答に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が許容値1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象ではない。

4.2 現状保全

耐震安全性評価対象機器の現状保全については、「技術評価」の補足説明資料に記載のとおりである。

4.3 総合評価

「技術評価」の評価対象機器の耐震安全性評価については、経年劣化事象を考慮した場合においても、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満足し、耐震安全性に問題のないことを確認した。

また、耐震安全性評価対象機器の現状保全については、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化状況を考慮した耐震評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認しており、各設備の現状保全は適切であることから、現状保全に追加すべき新たな保全策は抽出されなかった。

5. まとめ

5.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について耐震安全性評価を行った結果、すべての要求事項を満足しており、審査ガイドに適合していることを確認した。耐震安全性評価についての要求事項との対比及び評価結果の分類を表15及び表16に示す。

表15 (1/2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1)高経年化技術評価の審査 ⑥動的機器（部位）の抽出 動的機器（部位）を評価対象外としている場合、発電用原子炉設置者の保守管理活動において、材料等の経年劣化の影響から生じる性能低下の状況が的確に把握され、高経年化技術評価の開始時期以降もこれらが適切に行われることを保証しているかを、保守管理要領等の文書及び保守管理実績等により審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全性評価を実施する機器として、動的機器（部位）を含めて評価対象としている。
	⑮-1 耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象の抽出 経年劣化の進展評価結果に基づき、耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象を抽出していることを審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローにより、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出している。
	⑰-1 耐震安全上着目すべき経年劣化事象の抽出 耐震安全上着目すべき経年劣化事象を抽出していることを審査する。	
	⑳-1 耐震安全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う機器・構造物の耐震安全性を評価しているかを審査する。	3.2.2, 4.1.1～4.1.11に示すとおり、運転開始後60年時点までの経年劣化を考慮した状態における耐震安全性評価を実施している。
	㉑-1 耐震安全上の現状保全の評価 耐震安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。	4.2, 4.3に示すとおり、耐震安全性評価を実施してガイドを満足していることから、耐震安全性に対する現状の保全策は妥当であると評価している。
	㉒-1 耐震安全上の追加保全策の策定 想定した経年劣化事象に対し、耐震安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要のある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。	4.3に示すとおり、耐震安全評価を実施してガイドを満足していることから、現状保全に追加すべき新たな保全策はないと評価している。
	(2)長期保守管理方針の審査 ①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	4.3に示すとおり、追加保全策については抽出されていないため、長期保守管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき保守管理の項目はないと評価している。

表15 (2 / 2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し ⑥耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、必要に応じ追加全策を抽出すること。	4.1～4.3に示すとおり、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、ガイドを満足して耐震安全上問題のないことを確認している。また、現状の保全策についても妥当であることを確認しており、追加保全策はないと評価している。
	実用炉規則第82条第1項から第3項までの規定による高経年化技術評価に係る耐震安全性評価は、規制基準（当該評価を行う時点後の直近の運転開始以後30年、40年又は50年を経過する日において適用されているものに限る。）の要求を満たすことが確認された確定した基準地震動及び弾性設計用地震動を用いた評価を行うこと。当該高経年化技術評価後に、当該評価に用いた基準地震動及び弾性設計用地震動が見直された場合には、高経年化技術評価を速やかに見直すこと。 ⑥を行うに当たっては、P L M基準2008版の6.3.4耐震安全性評価を用いることができる。	3.4に示すとおり、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）により策定した基準地震動 S_s 並びに泊発電所設置許可申請書（1号炉）（昭和59年6月14日許可）の基準地震動 S_1 による評価を実施している。
	3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ①高経年化技術評価の結果抽出されたすべての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもののすべて。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。 ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りではない。	4.3に示すとおり、追加保全策については抽出されないため、長期保守管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき保守管理の項目はないと評価している。

表16 耐震安全性評価についての要求事項と評価結果の分類

機器・ 構造物	耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象											動的機能維持評価
	疲労割れ		中性子照射脆化	照射誘起型応力腐食割れ	熱時効	中性子照射による靱性低下	中性子及びγ線照射脆化	応力腐食割れ	摩耗	腐食		
	低サイクル疲労	高サイクル熱疲労								流れ加速型腐食	全面腐食	
ポンプ	A2	—	—	—	B2-②	—	—	—	—	—	—	C1
熱交換器	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	—
ポンプ用 電動機	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
容器	A2	—	B3-①	—	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	A1*1, A2	B1-③	—	—	B2-②	—	—	—	—	A1	—	—
弁	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1, C2
炉内構造物	A2	—	—	—	—	B3-①	—	—	A1	—	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
タービン 設備	(冷温停止状態維持に必要な評価対象機器なし)											
コンクリート 構造物及び 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御 設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1
機械設備	A2	—	—	—	—	—	B3-①	B1-③	A1	—	A1	C1
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1

*1：配管サポート

凡例

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力及び疲労累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ることを確認した事象。

[分類]

A1：応力評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

A2：疲労累積係数評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力、亀裂進展力及び応力拡大係数を評価した結果、想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価上の許容限界を下回ることを確認した事象。

B1：応力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B2：亀裂進展力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B3：応力拡大係数評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

[破壊力学評価手法の分類]

①：線形破壊力学評価法

②：弾塑性破壊力学に基づく評価

③：極限荷重評価法

○経年劣化事象を考慮した、地震時に動的機能が要求される評価対象機器の地震時の応答加速度を評価した結果、機能確認済加速度以下であることを確認した機器。

[分類]

C1：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であることを確認し、経年劣化事象を考慮しても、機器における地震時の応答加速度は各機器の機能確認済加速度を上回るものではないと考えられ、地震時の動的機能についても維持されると判断した機器

C2：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるが、耐震安全性評価の実施により、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している機器

5.2 保守管理に関する方針として策定する事項

耐震安全上考慮する必要がある経年劣化状況を考慮した耐震評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認しており、各設備の現状保全は適切であることから、現状保全に追加する必要がある新たな保全策はないと評価している。