

川内原子力発電所 2号炉の 高経年化技術評価 (耐震・耐津波安全性評価)

平成 27 年 10 月 5 日
九州電力株式会社

目 次

1. 耐震安全性評価	2
1.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価	2
1.2 工事計画(H27.5認可)を踏まえたP L M耐震評価	4
1.3 耐震安全性評価結果	5
1.4 その他の評価について	13
1.5 耐震安全性評価のまとめ	13
2. 耐津波安全性評価	14
2.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価	14
2.2 耐津波安全性評価結果	16
2.3 耐津波安全性評価のまとめ	17

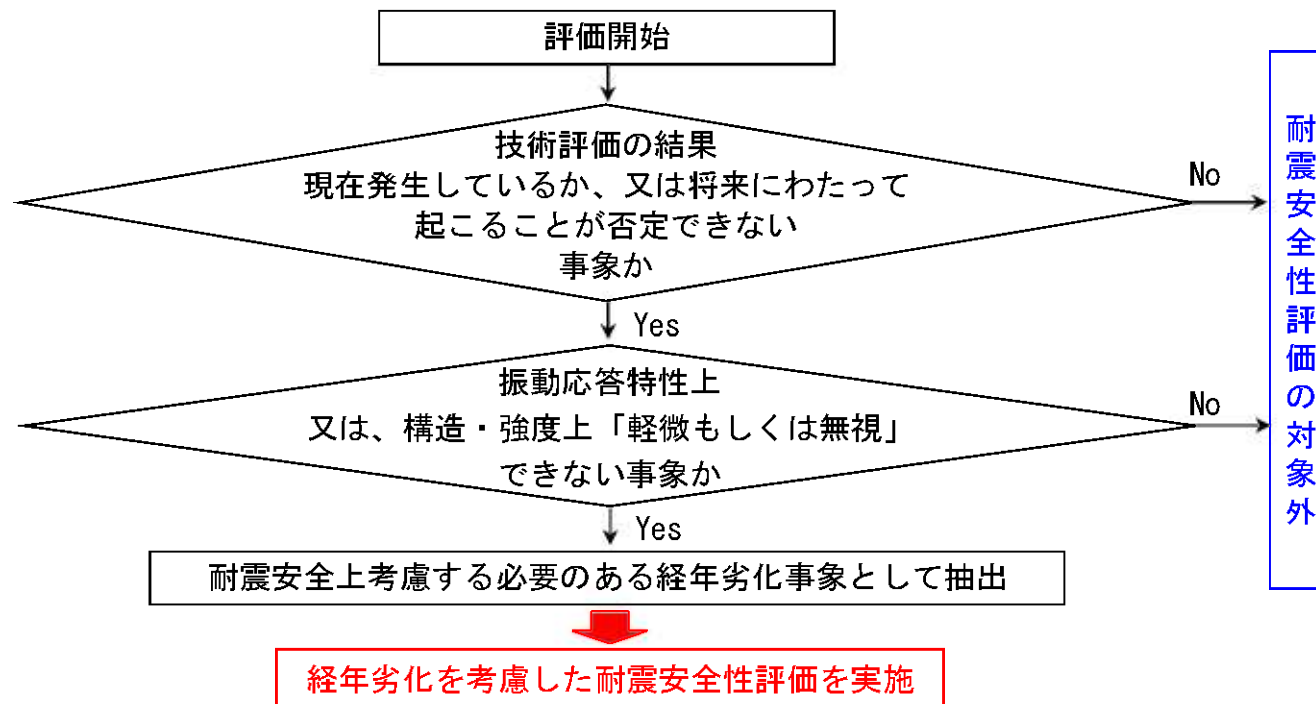
1. 耐震安全性評価

1.1 高経年化技術評価における耐震安全性評価

(1) 評価フロー

高経年化技術評価における耐震安全性評価（以下、PLM耐震評価）では、技術評価の結果から耐震安全性に影響を及ぼす可能性が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している。

PLM耐震評価の評価フローを以下に示す。



1. 耐震安全性評価

(2) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象

前頁の評価フローに従い抽出された耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を下表に示す。

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(γ線) 照射脆化 /靱性低下	熱時効	応力腐食割れ	照射誘起型 応力腐食割れ	摩耗	腐食 (流れ加速型腐食に よる減肉を含む)
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	—	—	—	—	—	—	●
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	—	—	—	—	—	—	●

1. 耐震安全性評価

1.2 工事計画 (H27.5認可) を踏まえた P L M耐震評価

(1) 評価地震動について

基準地震動Ss-1に対する評価に加え、新規制基準適合性に係る審査において追加となった基準地震動Ss-2についても評価を実施する。

なお、評価に当たっては、既に実施済みの基準地震動Ss-1に対する評価結果から、評価が厳しいと判断される機器・経年劣化事象^{*1}の評価を実施し、耐震安全性に問題ないことを確認した。(別紙-1参照)

(2) 工事計画における評価手法等の反映

① 最新評価手法の反映

⇒ 最新評価手法で評価を実施し耐震安全性に問題ないことを確認した。

② 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せを考慮した影響評価

⇒ 評価対象部位^{*2}について影響評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認した。

*1 : Ss-1とSs-2の加速度比等を考慮し、Ss-1に対する評価結果(発生値/許容値)が0.5を超えるものを評価対象とした。

*2 : 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せによる影響の可能性があり、工事計画において影響評価が行われた部位を評価対象とした。

1. 耐震安全性評価

1.3 耐震安全性評価結果

耐震安全性評価の対象となる機器・経年劣化事象については、川内1号炉及び2号炉で大きな相違がないことから、川内1号炉と同様な観点で、基準地震動Ss-1に対する評価が厳しく基準地震動Ss-2に対する評価を実施している機器、長期保守管理方針に関する機器、工事計画における評価手法の反映等に着目し、川内2号炉では、以下の5機器の評価結果について説明する。

分類	評価対象機器	Ss-2 ^{*1} 評価	長期 保守 管理 方針	工事計画 評価手法		評価に考慮した経年劣化事象
				水平 ^{*2} 2方向	最新 手法	
配管	・主蒸気系統配管 ・2次系D ₁ 系統配管 ^{*3}	○	○ ^{*4}	—	—	・曲り部等の流れ加速型腐食
炉内 構造物	・下部炉心支持柱	—	—	○	—	・低サイクル疲労
	・制御棒クラス案内管 ・バツフルフォームボルト	○	—	—	○	・案内管（案内板）の摩耗 ・ボルトの照射誘起型応力腐食割れ

*1：Ss-1評価の結果が厳しい機器・経年劣化事象について評価を実施

*2：工事計画を踏まえ反映が必要な機器・経年劣化事象について評価を実施

*3：耐震Cクラス設備のため静的地震力による評価を実施

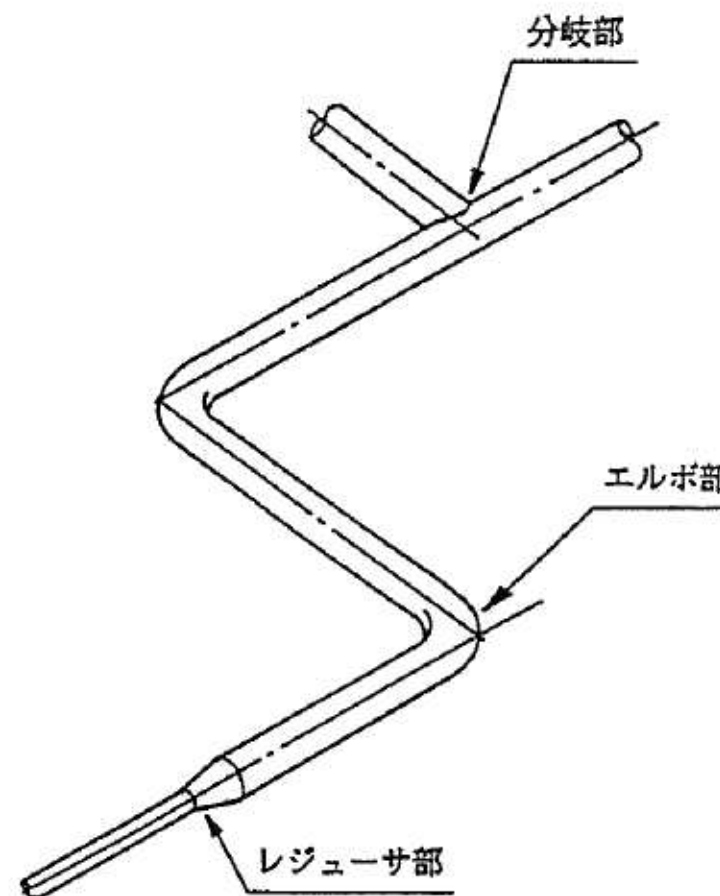
*4：2次系D₁系統配管が対象

1. 耐震安全性評価

(1) 配管の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価

① 評価内容

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	流れ加速型腐食
想定部位	エルボ部、分岐部、レジューサ部等
技術評価結果	JSME規格を反映した配管肉厚管理要領書に基づき配管減肉の管理を実施していくことで健全性は維持できる。
耐震評価内容	エルボ部、分岐部、レジューサ部等の偏流発生部位及びその下流部に周方向及び軸方向に一樣減肉を仮定した耐震安全性評価を実施。



流れ加速型腐食が想定される代表的な部位

1. 耐震安全性評価

(1) 配管の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

評価地震動		Ss-1			Ss-2		
評価項目		一次応力評価	一次+二次応力評価	疲労累積係数	一次応力評価	一次+二次応力評価	疲労累積係数
主蒸気系統配管 〔必要最小板厚による評価値〕	発生値 (MPa)				0.763		
	許容値 (MPa)						
	応力比	0.70	1.51	0.55	1.30		

評価項目	静的地震力による一次応力評価		
2次系ドレン系統配管 〔実測データに基づく 予測肉厚による評価値〕 ^{*1}	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
			0.89

*1：今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施することを長期保守管理方針としている。

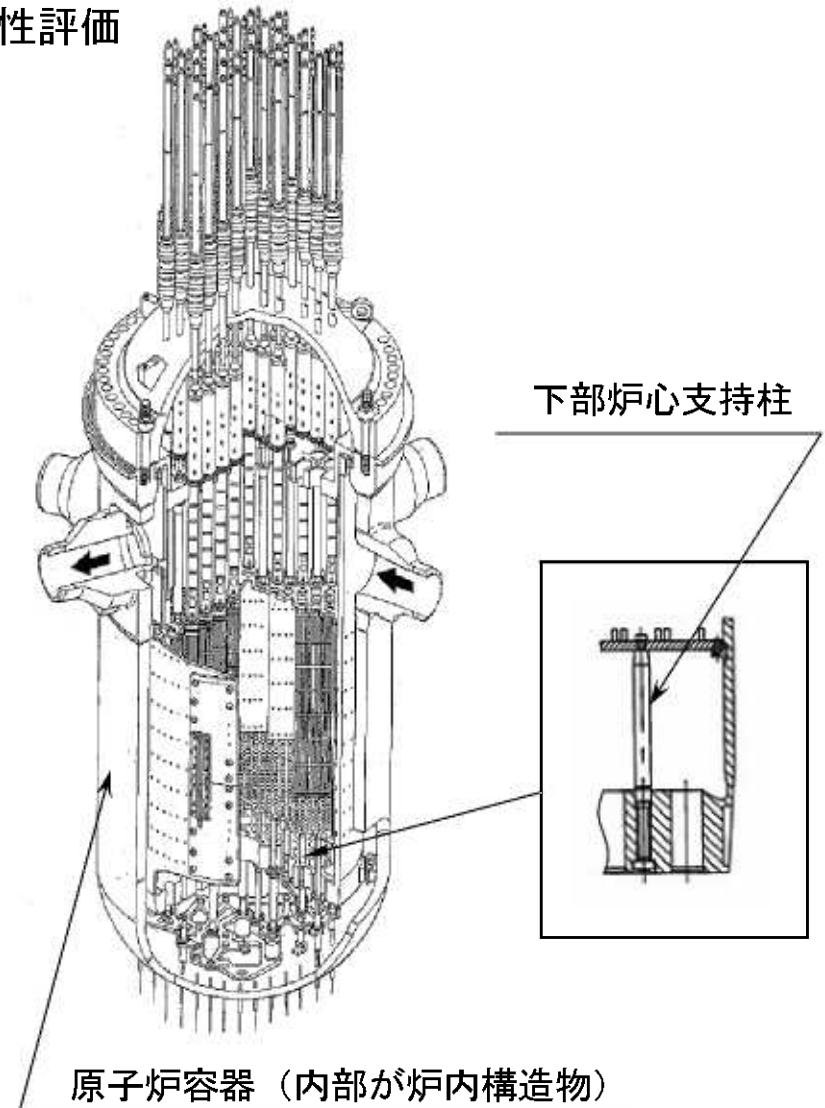
内は商業機密に属しますので公開できません

1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価

① 評価内容

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	低サイクル疲労
想定部位	下部炉心支持柱
技術評価結果	運転開始後60年時点における疲労評価の結果、許容値に対し余裕のある結果を得ている。
耐震評価内容	運転開始後60年間の通常運転における疲労を考慮した耐震安全性評価を実施。 〔「通常運転時UF*」 + 「地震時UF*」〕 * UF：疲労累積係数



低サイクル疲労が想定される部位 (下部炉心支持柱)

1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価

② 評価結果

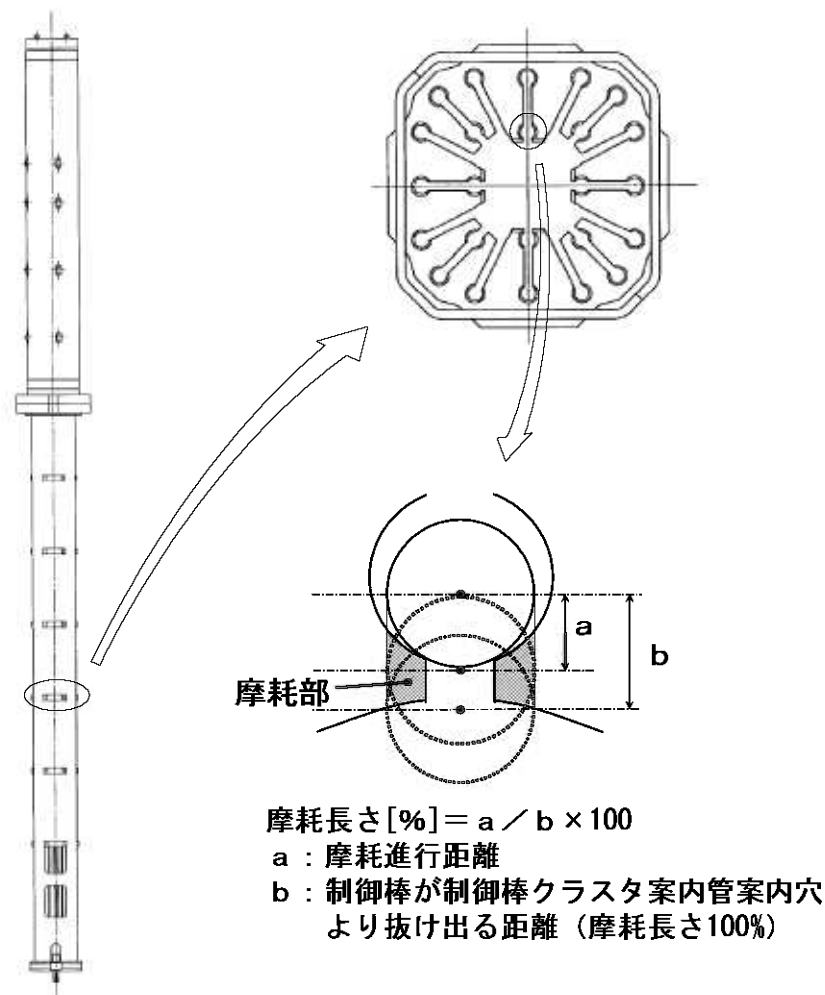
評価内容	疲労累積係数（許容値1以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平1方向+鉛直方向地震動 による評価 (評価地震動：Ss-1)	0.030	0.006	0.036
水平2方向+鉛直方向地震動 による影響評価 (評価地震動：Ss-1)	0.030	0.030	0.060

1. 耐震安全性評価

(3) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価（制御棒挿入性評価）

① 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗に対する評価内容

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	摩耗
想定部位	制御棒クラスタ案内管（案内板）
技術評価結果	摩耗データを採取しており、摩耗が急激に進展する可能性は小さい。
耐震評価内容	保守的に制御棒被覆管の一部が100%摩耗すると仮定し、制御棒クラスタ案内管（案内板）が管理摩耗長さ（摩耗長さ68%）に至るまでの摩耗過程で最大となる抗力を仮定した制御棒挿入性評価を実施。



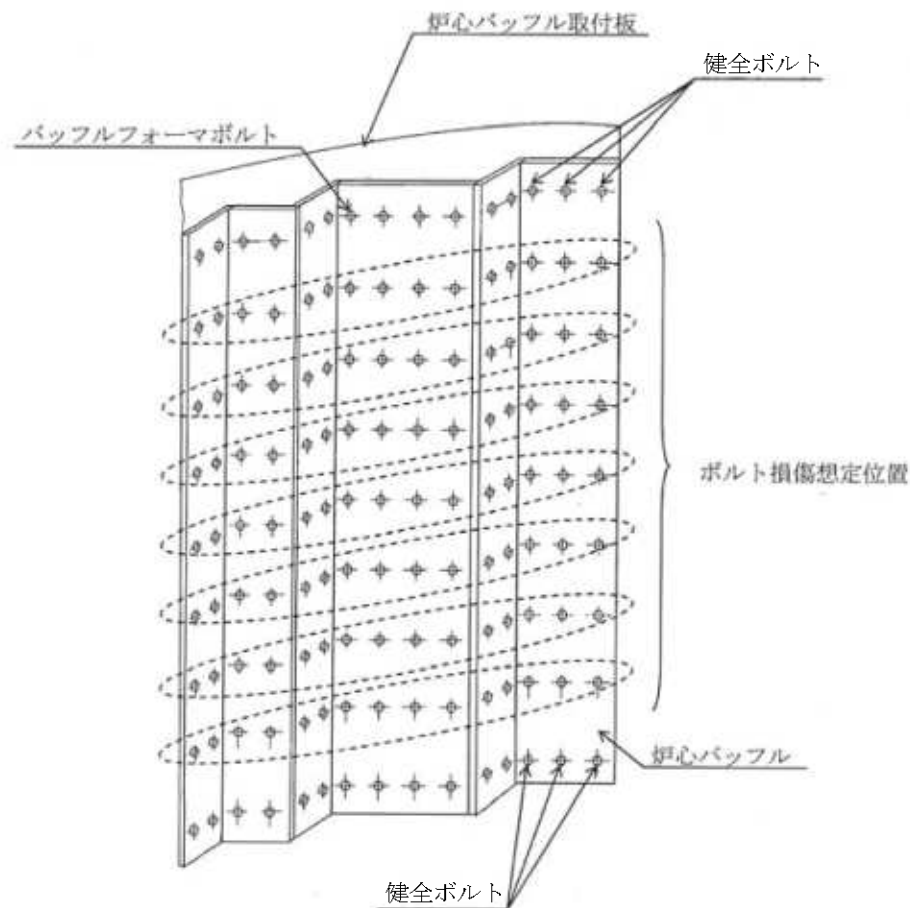
制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗

1. 耐震安全性評価

(2) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価（制御棒挿入性評価）

② バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価内容

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	照射誘起型応力腐食割れ
想定部位	バッフルフォーマボルト
技術評価結果	運転開始後60年時点までに損傷が発生する可能性は小さい。
耐震評価内容	右図に示すとおり、最上段と再下段のバッフルフォーマボルトのみが健全な場合（全ボルトの7/9が損傷）を仮定した制御棒挿入性評価を実施。



バッフル構造図及びボルト損傷想定位置

1. 耐震安全性評価

(3) 炉内構造物の劣化を考慮した耐震安全性評価（制御棒挿入性評価）

③ 評価結果

		挿入時間*1	規定時間
		工事計画における評価手法を反映した評価	
評価条件	評価地震動	基準地震動Ss（Ss-1及びSs-2）*2	2.2秒
	燃料集合体の照射条件	照射後条件による評価*3	
	評価手法	ハイブリッド手法（静的+時刻歴手法）*4	
地震時挿入時間		1.73秒	
制御棒クラスタ案内管（案内板）及び被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間		1.73秒	
バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した地震時挿入時間		1.86秒	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：制御棒挿入性評価が厳しいSs-2による評価を実施（工事計画反映）

*3：未照射条件よりも評価が厳しい照射後条件による評価を実施（工事計画反映）

*4：工事計画で採用された評価手法による評価を実施（工事計画反映）

1. 耐震安全性評価

1.4 その他の評価について

その他の機器・経年劣化事象の組合せに対する評価についても、耐震安全性に問題のないことを確認した。(別紙-2参照)

1.5 耐震安全性評価のまとめ

以上のおり、経年劣化事象を考慮した場合であってもプラントの耐震安全性に問題のないことを確認したが、以下の2点については、長期保守管理方針として、今後、継続して評価を実施する。

No.	内 容	実施時期
1	肉厚計測による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）については、運転開始後40年時点における予測肉厚による耐震安全性は確認できているが、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。なお、設備対策を行った場合、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。	中長期 〔評価開始は短期〕
2	基準地震動 S_s-1 による評価を実施するとともに、基準地震動 S_s-1 による評価結果から評価が厳しいと判断される機器・経年劣化事象に対する基準地震動 S_s-2 による評価を実施し、耐震安全性を確認しているが、基準地震動 S_s-2 による評価が必要な全ての機器・経年劣化事象について、継続して評価を実施する。	短期 〔平成28年9月まで〕

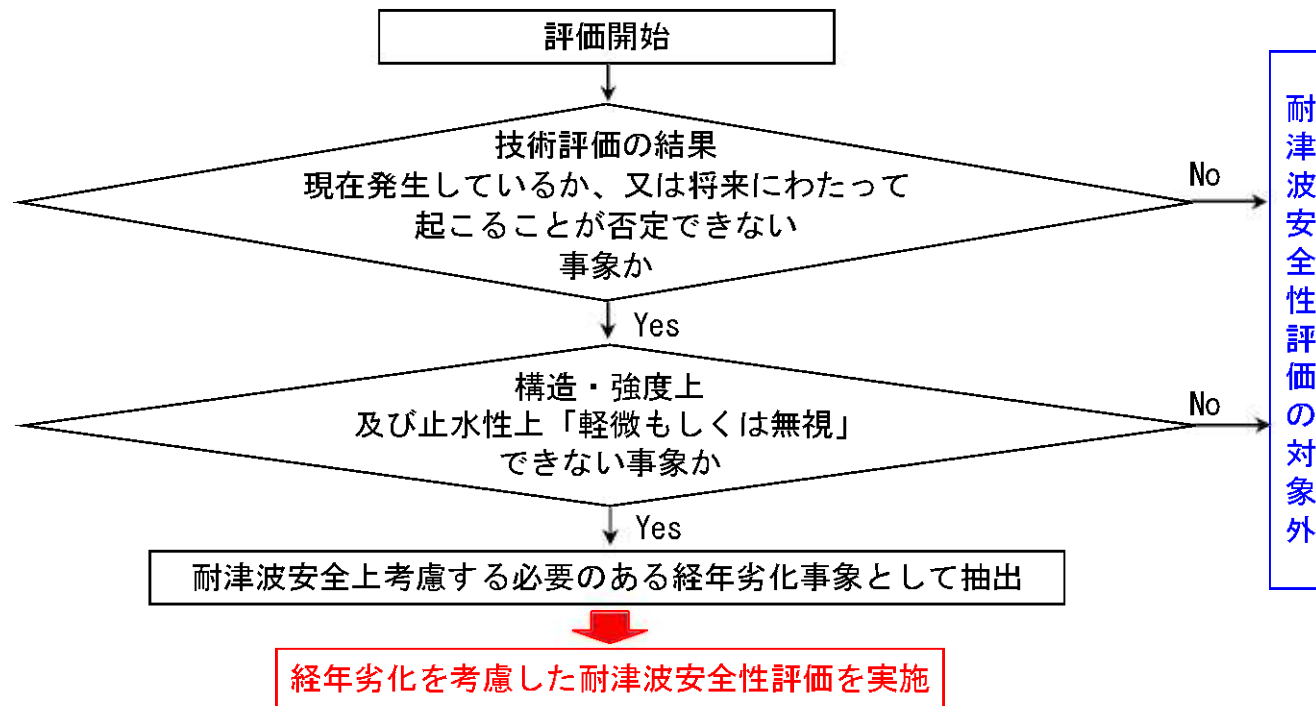
2. 耐津波安全性評価

2.1 高経年化技術評価における耐津波安全性評価

(1) 評価フロー

津波の影響を受ける浸水防護施設に対し、耐津波安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施している。

評価フローを以下に示す。



2. 耐津波安全性評価

(2) 津波の影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象

津波の影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象を下表に示す。

なお、前頁の評価フローに従い抽出された耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象は取水ピット水位計及び津波監視カメラの基礎ボルトの腐食である。

津波の影響を受ける 浸水防護施設		想定される経年劣化事象	
		強度低下（腐食）	腐食
浸水防止設備	原子炉補助建屋水密扉	○（鉄骨構造物）	—
	床ドレンライン逆止弁	—	—
津波監視設備	取水ピット水位計	—	◎（基礎ボルト）
	津波監視カメラ	—	◎（基礎ボルト）

◎：耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象

○：経年劣化は想定されるが、耐津波安全性に影響しない事象

2. 耐津波安全性評価

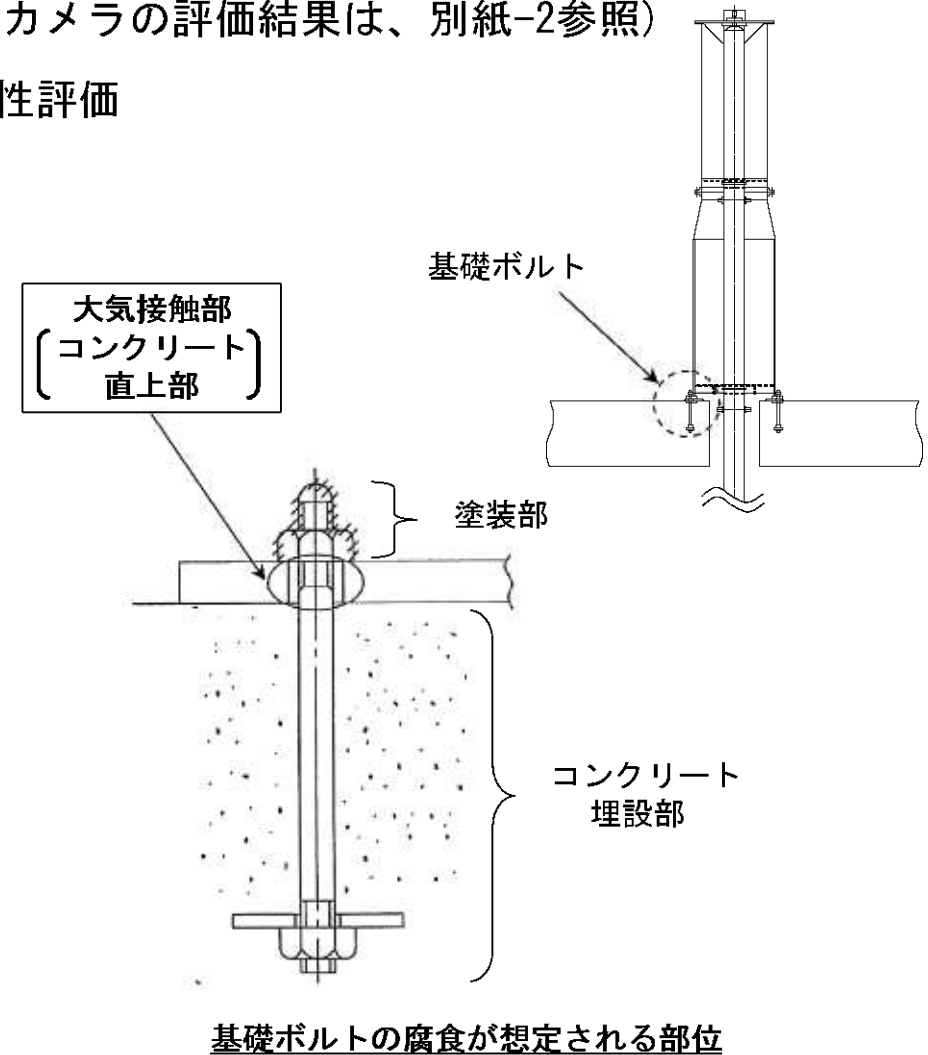
2.2 耐津波安全性評価結果

経年劣化を考慮した具体的な耐津波安全性評価を実施している取水ピット水位計（基礎ボルトの腐食）の評価結果について説明する。（津波監視カメラの評価結果は、別紙-2参照）

(1) 取水ピット水位計の劣化を考慮した耐津波安全性評価

① 評価内容

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	腐食
想定部位	基礎ボルト (コンクリート直上部)
技術評価結果	コンクリート直上部の腐食については、発生の可能性は否定できないが、実機サンプリング結果より急激に進行する可能性は小さい。
耐津波評価内容	暴露試験結果（普通鋼に対する海岸地帯のデータ）をもとに算出した運転開始後60年時点での腐食量を仮定した耐津波安全性評価を実施。



2. 耐津波安全性評価

(1) 取水ピット水位計の劣化を考慮した耐津波安全性評価

② 評価結果

評価条件	評価応力	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
津波時 〔基準津波による 波力等*2を考慮〕	引張応力	[Redacted]	[Redacted]	0.31
	せん断応力			0.14

*1：せん断応力と引張応力の組合せを考慮した許容値

*2：漂流物による衝突荷重を考慮した評価を実施

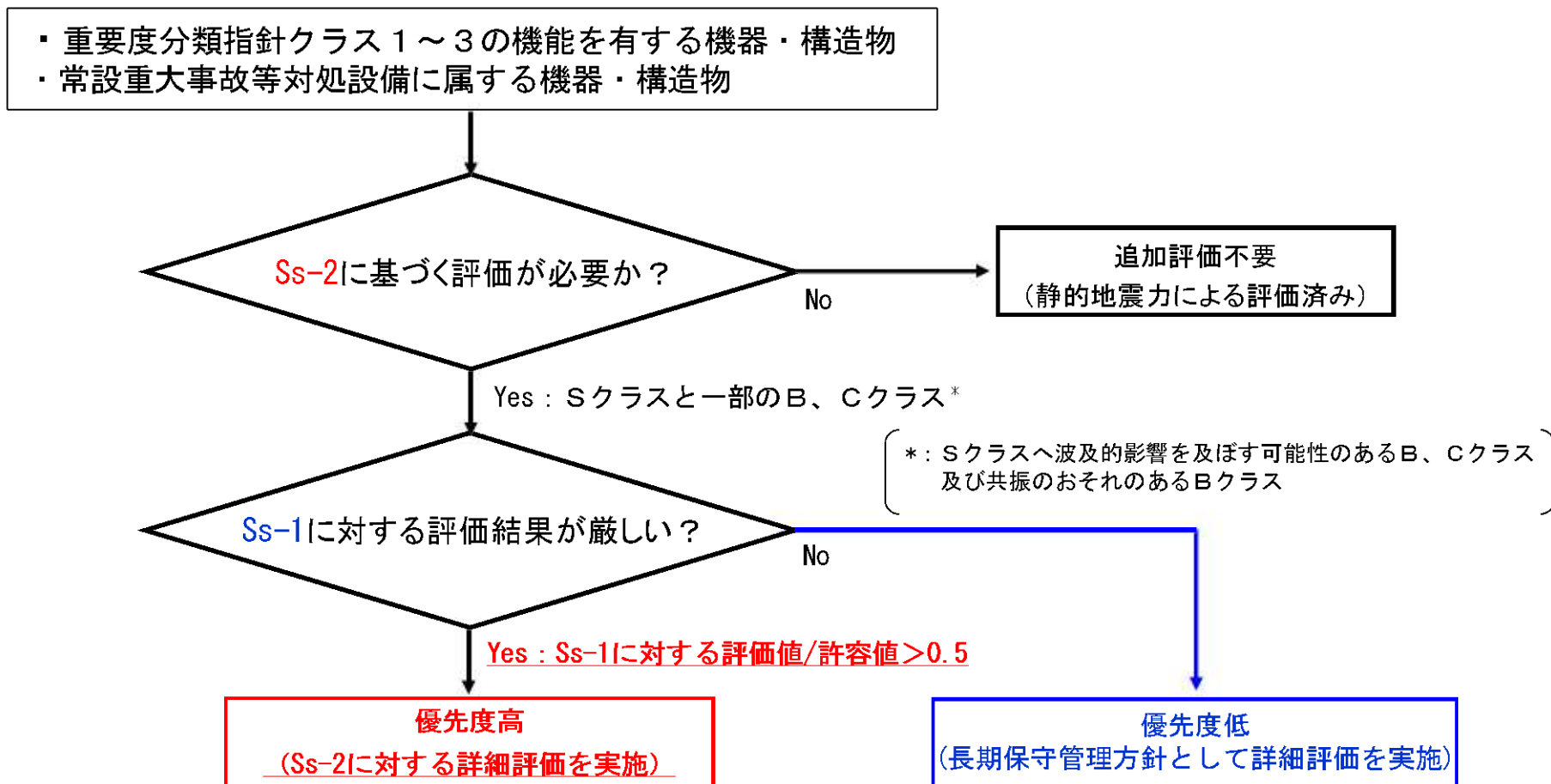
2.3 耐津波安全性評価のまとめ

以上のとおり、経年劣化事象を考慮した場合であってもプラントの耐津波安全性に問題のないことを確認した。

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

別紙-1 Ss-2に対する評価フロー

耐震安全性評価の全評価対象



別紙-2 耐震・耐津波安全性評価一覧

1. 耐震安全性評価結果一覧

1.1 (2) に示す耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象毎に評価結果が最も厳しいもの以下に示す。

耐震安全上考慮する 必要のある経年劣化事象	対象機器	評価内容	評価結果
疲労割れ	伸縮式配管貫通部 (主蒸気系統)	通常運転時の疲労+地震時の疲労を考慮した評価を実施	疲労累積係数 : 0.634 (許容値 : 1)
中性子(γ 線)照射脆化 / 靱性低下	原子炉容器	地震荷重を考慮した加圧熱衝撃評価を実施	脆性破壊に対する抵抗値 K_{IC} > 応力拡大係数 K_I
熱時効	1次冷却材管	熱時効による脆化及び仮想き裂を想定した耐震評価を実施	き裂進展抵抗 J_{mat} > き裂進展力 J_{app}
応力腐食割れ	B廃液蒸発装置 (蒸発器胴板)	応力腐食割れによる仮想き裂を想定した耐震評価を実施	応力比 : 0.58 (許容値 : 1)
照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物 (バフフローホルム)	バフフローホルムの損傷を考慮した制御棒挿入性評価を実施	挿入時間 : 1.86秒 (許容値 : 2.2秒)
摩耗	炉内構造物 (制御棒ケース案内管)	制御棒ケース案内管及び被覆管の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価を実施	挿入時間 : 1.73秒 (許容値 : 2.2秒)
腐食	よう素除去薬品タンク (基礎ボルト)	基礎ボルトの腐食による減肉を考慮した耐震評価を実施	応力比 : 0.95 (許容値 : 1)
流れ加速型腐食	Sクラス設備 (主蒸気系統配管)	流れ加速型腐食による配管減肉を考慮した耐震評価を実施	疲労累積係数 : 0.763 (許容値 : 1)
	Cクラス設備 (補助蒸気系統配管)	流れ加速型腐食による配管減肉を考慮した耐震評価を実施	応力比 : 0.90 (許容値 : 1)

2. 耐津波安全性評価結果一覧

2.1 (2) に示す耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象毎に評価結果が最も厳しいもの以下に示す。

耐震安全上考慮する 必要のある経年劣化事象	対象機器	評価内容	評価結果
腐食	津波監視カメラ (基礎ボルト)	基礎ボルトの腐食による減肉を考慮した耐震評価を実施	応力比 : 0.81 (許容値 : 1) ※カメラの最大許容荷重を考慮した評価結果