

川内原子力発電所 1号炉の 高経年化技術評価

(工事計画認可により追加評価した技術評価結果について)

平成 27 年 7 月 13 日
九州電力株式会社

目 次

1. はじめに	2
2. 追加評価対象設備の抽出結果	3
3. 追加評価対象設備の技術評価結果	4
4. 追加すべき評価方法の抽出結果	8
5. 追加評価方法による技術評価結果	11
6. 長期保守管理方針について	15
7. まとめ	16

1. はじめに

川内1号炉については、運転を前提とした高経年化技術評価（PLM評価）を行い、評価結果に基づき長期保守管理方針を定めた保安規定の変更認可申請を平成25年12月18日に実施した。

その後、平成27年3月18日に新規規制適合性審査を反映した工事計画が認可された。

認可された工事計画において新たに設備や評価方法等が追加されたことから、これまでの高経年化技術評価に反映が必要な事項を抽出し追加評価を行った。

（抽出方法は、第8回審査会合〔平成27年6月15日〕資料1-1を参照）

そして、これらの追加評価結果は評価書に反映し、平成27年7月3日に補正申請した。

本資料では、工事計画認可に伴う追加評価の結果（設備の抽出結果、抽出された評価方法による評価結果）について、説明する。

2. 追加評価対象設備の抽出結果

認可された工事計画で新たに追加された設備については、前回審査会合で説明した抽出方法で抽出した。新たに高経年化技術評価に追加する設備の抽出結果を以下に示す。

設備分類	追加設備
配管	余熱除去系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、消火用水系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）、原子炉補機冷却水系統配管（空気）
弁	原子炉補機冷却海水系統リフト逆止弁、原子炉補機冷却水系統安全逃がし弁、原子炉補機冷却海水系統安全逃がし弁、原子炉格納容器スプレイ系統安全逃がし弁、制御用空気系統安全逃がし弁
ケーブル	高圧コネクタ、難燃光ファイバーケーブル
電気設備	重大事故等対処用変圧器受電盤、代替電源接続盤、重大事故等対処用変圧器盤、代替交流電源盤
コンクリート構造物及び鉄骨構造物	原子炉補助建屋水密扉、海水ポンプエリア防護壁、海水ポンプエリア水密扉、貯留堰、燃料油貯蔵タンク基礎、代替緊急時対策所
計測制御設備	AM用格納容器圧力、A格納容器スプレイ冷却器出口積算流量、SA用低圧炉心注入及びスプレイ積算流量、使用済燃料ピット水位（SA）、原子炉下部キャビティ水位、原子炉格納容器水位、原子炉容器水位、取水ピット水位、使用済燃料ピット温度（SA）、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、電気式水素燃焼装置動作監視装置、モニタリングステーション、モニタリングポスト、重大事故等対処用制御盤、衛星携帯電話設備、統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備、緊急時運転パラメータ伝送システム（SPDS）、SPDSデータ表示装置
空調設備	代替緊急時対策所換気系ダクト、格納容器再循環系ダクト
機械設備	水素濃度制御装置
電源設備	重大事故等対処用直流コントロールセンタ、直流コントロールセンタ電源盤、計装用後備電源装置代替所内電源分電盤、100V分電盤、200V分電盤、大容量空冷式発電機燃料供給設備（タンク、ポンプ、電動機、配管）

3. 追加評価対象設備の技術評価結果

前頁で抽出された設備の中で新たに代表機器となる機器・構造物を下表に示す。

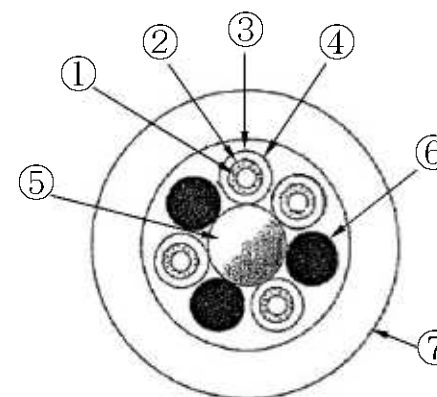
なお、代表機器とならなかった機器・構造物については、これまでの高経年化技術評価の代表機器で評価している機器・構造物の評価内容に包絡される。

設備区分	代表設備	説明
弁	原子炉補機冷却海水系統リフト逆止弁（海水ポンプエリア床ドレンライン逆止弁） 原子炉補機冷却海水系統安全逃がし弁（補機冷却クーラ海水逃がし弁）	弁の材質や使用環境の組み合わせは従来評価と同様であり、新たな経年劣化事象はない。
ケーブル	高圧コネクタ	高圧コネクタの絶縁材料や使用環境の組み合わせは従来評価と同様であり、新たな経年劣化事象はない。
	難燃光ファイバケーブル	次頁以降に評価結果を示す。
コンクリート構造物 及び鉄骨構造物	原子炉補助建屋水密扉 海水ポンプエリア水密扉	次頁以降に評価結果を示す。
	海水ポンプエリア防護壁	海水ポンプエリア防護壁の材料や構造は従来評価と同様であり、新たな経年劣化事象はない。
機械設備	水素濃度制御装置	次頁以降に評価結果を示す。
電源設備	大容量空冷式発電機燃料供給設備（タンク、ポンプ、電動機、配管）	タンク、ポンプ等の材質や使用環境の組み合わせは従来評価と同様であり、新たな経年劣化事象はない。

(1) 難燃光ファイバケーブル

- ・難燃光ファイバケーブルは、光ファイバ心線、補強繊維、コード外被、介在紐、テンションメンバ、緩衝層及びシースで構成されている。
- ・ケーブルの伝送機能は、光ファイバ心線を外的な力及び透湿から保護するコード外被、シースにより保たれている。
- ・補強繊維、介在紐、テンションメンバ及び緩衝層はケーブル全体の整形及び機械的強度を確保するための材料である。
- ・高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

難燃光ファイバケーブルの構造図



評価結果

部位	材料	劣化事象	評価結果
コード外被	ポリ塩化ビニル	光ファイバ心線への水素や水分の混入による伝送光量の減少	<ul style="list-style-type: none"> ・水素や水分を透過し難いシース構造であること、かつ自ら水素を発生することのないケーブル構成材料を使用していることから健全性は確保できる ・伝送光量は常時監視されており、光量が減少した場合には中央制御室へ警報が発信される
シース	難燃性ポリエチレン、アルミラミネートテープ		
光ファイバ心線 〔コア〕 〔クラッド〕	石英ガラス（コア、クラッド）、エポキシアクリレート+ウレタンアクリレート+ポリオレフィン（被覆）		

No.	部 位
①	光ファイバ心線
②	補強繊維
③	コード外被
④	介在紐
⑤	テンションメンバ
⑥	緩衝層
⑦	シース

(2) 原子炉補助建屋水密扉、海水ポンプエリア水密扉

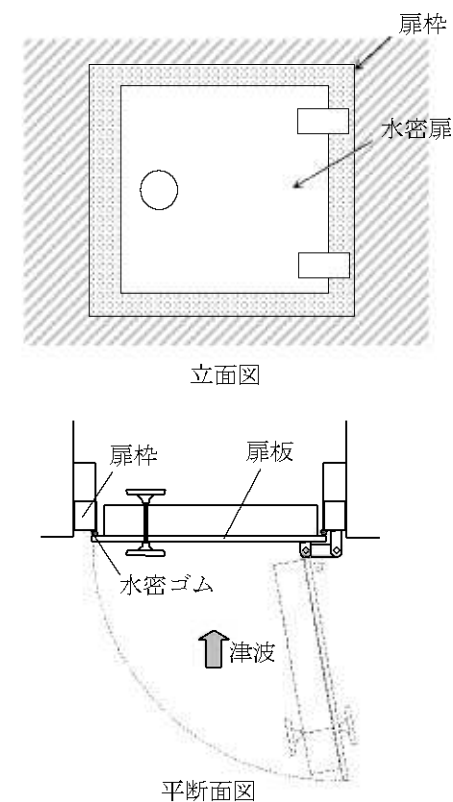
鉄骨構造物の推定耐用年数算出結果*1

	塗膜の耐用年数[年]	鋼材の耐用年数[年]	推定耐用年数[年]*2
原子炉補助建屋水密扉	6	23	29
海水ポンプエリア水密扉	5	3	8

*1 「建築物の耐久計画に関する考え方（日本建築学会）」に基づき推定耐用年数を算出

*2 構造部材の推定耐用年数のうち最小耐用年数を記載

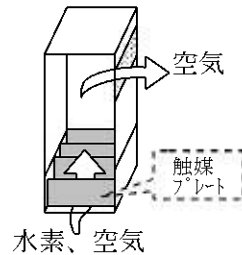
- ・ 仮に、塗膜に劣化等が生じた場合においても、腐食が急激に発生、進展する可能性は小さいと考えられるが、60年間の供用を仮定すると、鉄骨構造物の腐食による強度低下の可能性は否定できない
- ・ 現状保全において定期的な目視点検を実施しており、強度に支障をきたす可能性がある腐食がないことを確認し、予防保全のための塗装の塗替え等を行うこととしている
 なお、水密ゴムは、定期取替品としている。
- ・ 現状、強度低下につながるような鋼材の腐食は認められていない
- ・ 今後も現状保全を継続することで、構造物の健全性の維持が可能



(3) 水素濃度制御装置

①静的触媒式水素再結合装置（PAR）

- ・ステンレス及び白金系金属からなる触媒プレートにより、水素を空気中の酸素と結びつけて水に戻し水素濃度を低減させる装置である
- ・白金系金属は化学的に安定な金属であり大気中で酸化しにくい、常時原子炉格納容器内の空気と接触しているため、表面の汚れ等による水素再結合反応機能の低下を想定
- ・触媒が劣化していないことを性能検査にて確認し、PAR筐体及び触媒プレートに異常がないこと及びPAR本体のガス流路に異物、閉塞がないことを定期的目視確認
- ・高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

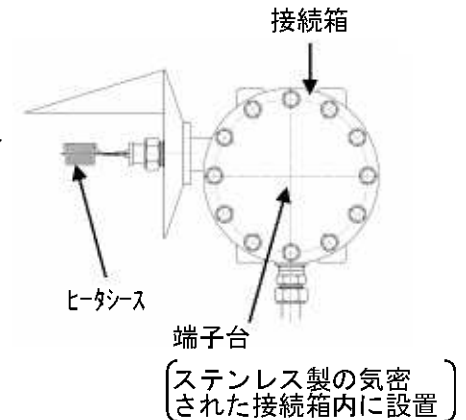


評価結果

部位	材料	劣化事象	評価結果
触媒プレート (触媒)	高耐熱性 ステンレス鋼 〔白金系金属〕	水素反 応機能 低下	定期的な目視確認、機能確認検査を行い、健全性に問題がないことを確認することで健全性は確保できる

②電気式水素燃焼装置（イグナイタ）

- ・通電によりヒータ部を加熱させ、水素を強制的に燃焼させることで格納容器内の水素低減を図る装置で、ヒータエレメントをコイル状に加工した電気式のヒーティングコイルと端子台、ケーブルから構成されている
- ・構成材料として、ヒータシース（ヒータエレメントの保護）にインコネル、ケーブルに専用ケーブル（無機絶縁）、端子台に磁器、接続箱にステンレス等、耐熱性に優れた材料を使用している
- ・ヒータエレメントの導通不良については定期的な抵抗測定で確認
- ・高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

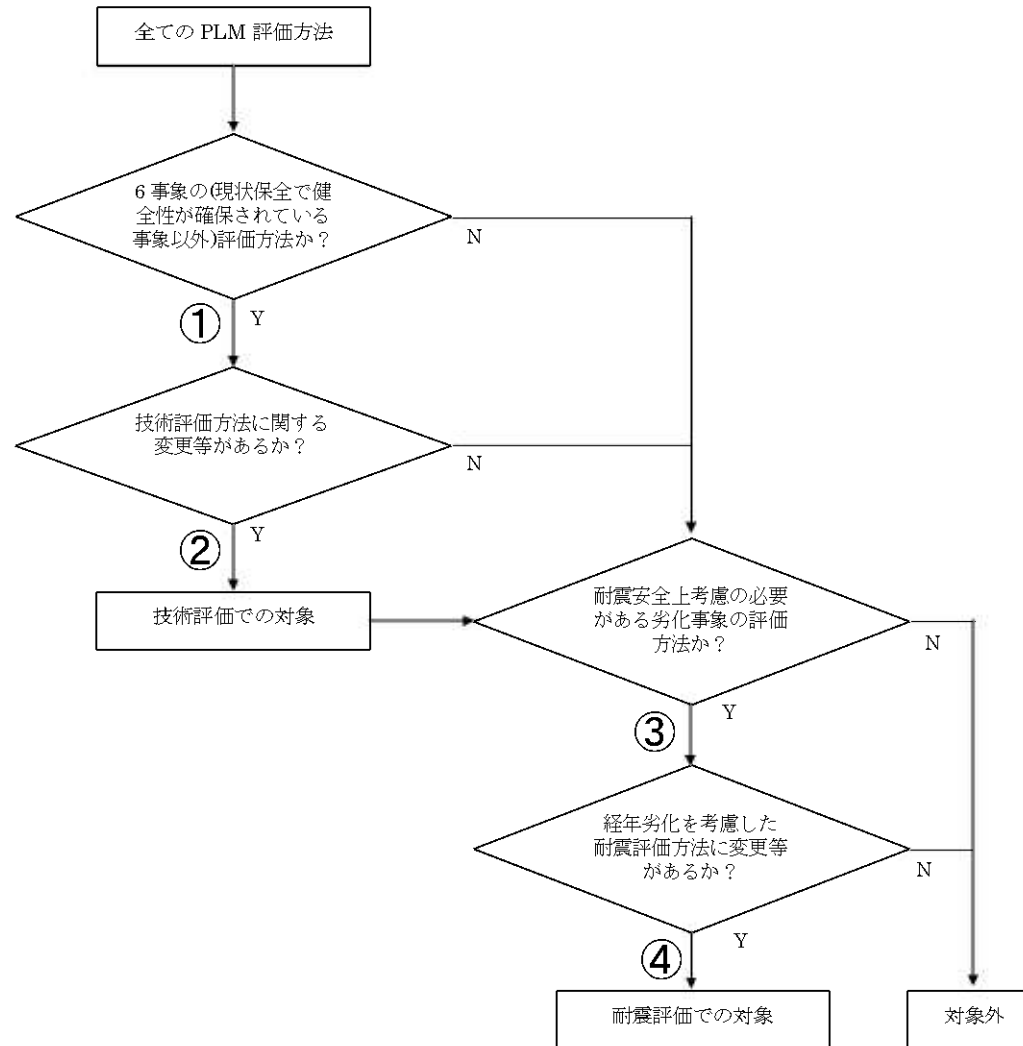


評価結果

部位	材料	劣化事象	評価結果
ヒータエレメント (ヒータシース)	ニッケル (インコネル)	導通不良	定期的な抵抗測定で導通不良がないことを確認することで健全性は確保できる
端子台	磁器	表面汚損 による 絶縁低下	端子台は気密された接続箱内に設置され塵埃の付着により表面が汚損する可能性はない

4. 追加すべき評価方法の抽出結果

工事計画認可を受けて、これまでの高経年化技術評価に変更が必要な評価方法等については、前回審査会合で説明した以下の抽出フローに基づき抽出した。



工事計画で変更された評価方法の抽出フロー

前頁の評価フローに基づき抽出した結果を以下に示す。

工事計画認可本文、添付資料	評価方法の抽出フロー			追加すべき新たな評価概念	反映が必要な事項	
	① 6事象に 該当	② 技術評価 に変更が 必要	③ ④ 耐震評価 に変更が 必要		項 目	内 容
添付資料－2－2 津波への配慮に関する説明書				○	耐津波安全性 評価	経年劣化を考慮した耐津波安全性評価
添付資料－3 耐震性に関する説明書			○		耐震安全性 評価	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動Ss-1に加え、基準地震動Ss-2に対する評価 ・工事計画において適用された評価手法等による評価
添付資料－6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書	○	○			重大事故等時の環境評価	設計基準事故に対する評価に加え、重大事故等時に対する評価
添付資料－7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書				○	耐火能力評価	コンクリート構造物の耐火能力の低下について評価
添付資料－8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書				○	溢水環境評価	高エネルギー配管破断を想定した環境影響評価

追加評価が必要な評価方法等の抽出結果に基づき評価を実施した中から、機器の重要度や評価条件等を考慮して、以下の項目について説明する。

	追加評価事項	機器・構造物	劣化事象	選定結果
1	重大事故等時の環境評価	原子炉容器	中性子照射脆化	重要機器である原子炉容器の重大事故等時の加圧熱衝撃事象を選定した。
		電気・計装品	絶縁低下	重大事故等時に環境条件が厳しい原子炉格納容器内に設置している電気ペネトレーションを選定した。
		ケーブル	絶縁低下	重大事故等時に環境条件が厳しい原子炉格納容器内に布設されている低圧ケーブルを選定した。
2	追加すべき新たな評価概念	コンクリート構造物	耐火能力低下	工事計画において耐火要求のある火災区域（区画）のコンクリート構造物全てを選定した。

耐震・耐津波安全性評価については、資料1－2にて説明する。

5. 追加評価方法による技術評価結果

(1) 原子炉容器・中性子照射脆化の重大事故等時環境評価結果【加圧熱衝撃 (PTS) 評価】

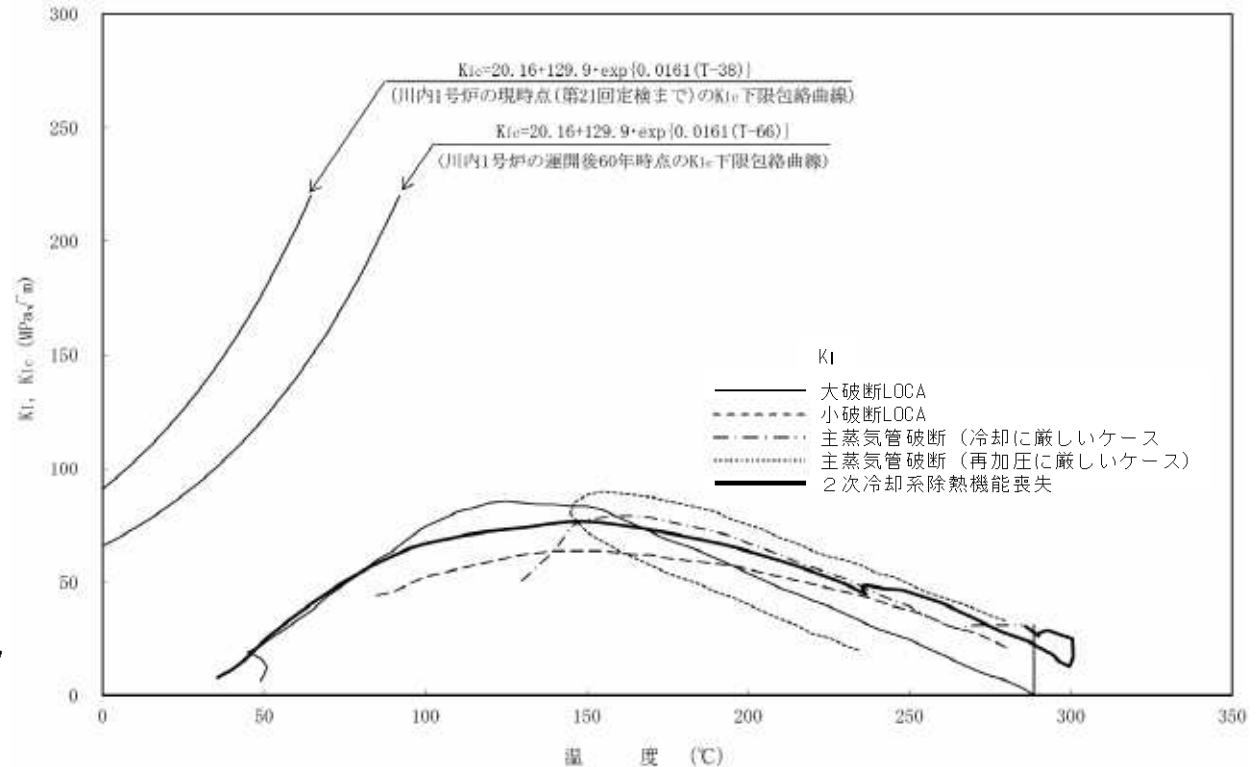
① 評価方法

これまで実施していた小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故に加え、重大事故等である2次冷却系からの除熱機能喪失を追加評価した。評価はこれまでと同じく加圧熱衝撃 (PTS: Pressurized Thermal Shock) 評価手法に基づき原子炉容器本体の胴部 (炉心領域部) の評価を実施した。

② 評価結果

右図に評価結果を示す。

初期き裂を想定しても、運転開始後60年時点において、脆性破壊に対する抵抗値 (材料自身の持つねばり強さ) を示す K_{IC} 曲線は、負荷状態を応力拡大係数 K_I (脆性破壊を起こそうとする値) で示すPTS状態遷移曲線を上回っていることから、脆性破壊は起こらないと評価される。

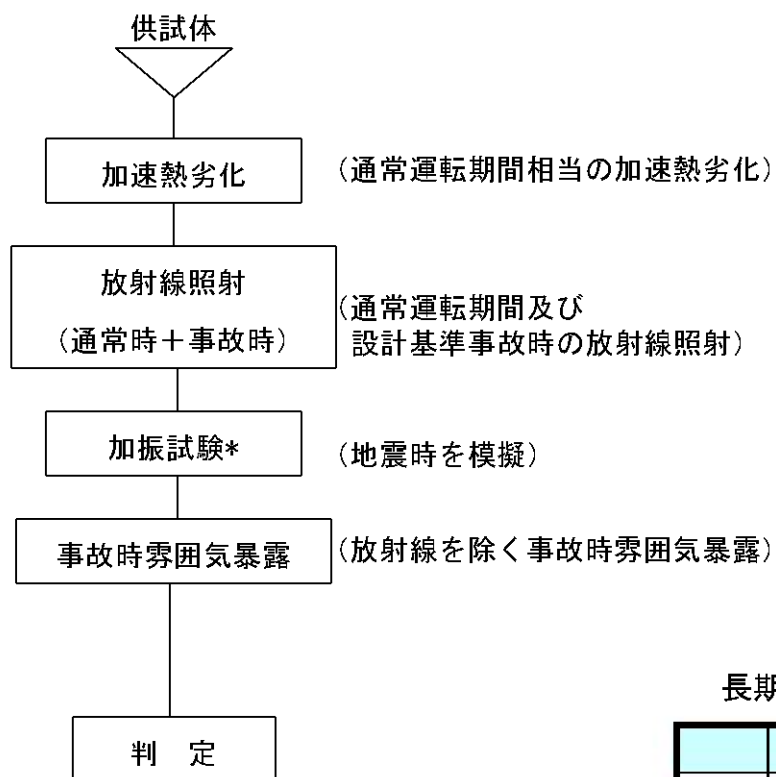


原子炉容器本体胴部 (炉心領域部) 中性子照射脆化に対するPTS評価結果

(2) 電気ペネトレーションの重大事故等時環境影響評価結果

① 評価方法

- ・ ピッグテイル型電線貫通部の長期健全性試験結果に基づき評価を実施した。
- ・ 長期健全性試験の試験手順を以下に示す。



* : 外部リードは、ケーブルの長期健全性試験結果を使用しており、加振試験は実施していない

② 評価結果

試験条件は、実機環境に基づく60年間の運転期間を想定した劣化条件及び事故時の条件を包絡しており、ピッグテイル型電線貫通部は運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断した。

長期健全性試験の条件

	試験条件	試験条件の説明
加速熱劣化	電線貫通部（実機同等品） 条件：125℃-10日間 外部リード 条件：121℃-7日間	原子炉格納容器内の通常雰囲気温度に通電による温度上昇も考慮した温度に若干の余裕をみた温度（約60℃）で60年間の運転期間に相当する条件を包絡している。 ・ 電線貫通部 : 112℃-10日間 ・ 外部リード : 117℃-7日間
放射線照射	平常時における集積線量と事故時の放射線量を照射。 条件： 500kGy（平常時） +1,500kGy（事故時）	60年間の運転に予想される集積線量（190kGy）に重大事故等時の線量（500kGy）を加えた線量を包絡している。
加振試験	加速度1.8Gで加振。	想定される最大加速度（0.73G）を包絡している。
事故時 雰囲気暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.414MPa 時間：～15日間	重大事故等時の最大温度（約138℃）、最大圧力（約0.350MPa）を包絡している。

長期健全性試験での絶縁抵抗の変化

	試験前	試験後	判定基準
絶縁抵抗	$1.5 \times 10^{11} \Omega$	$6.0 \times 10^{10} \Omega$	$1.0 \times 10^8 \Omega$ 以上

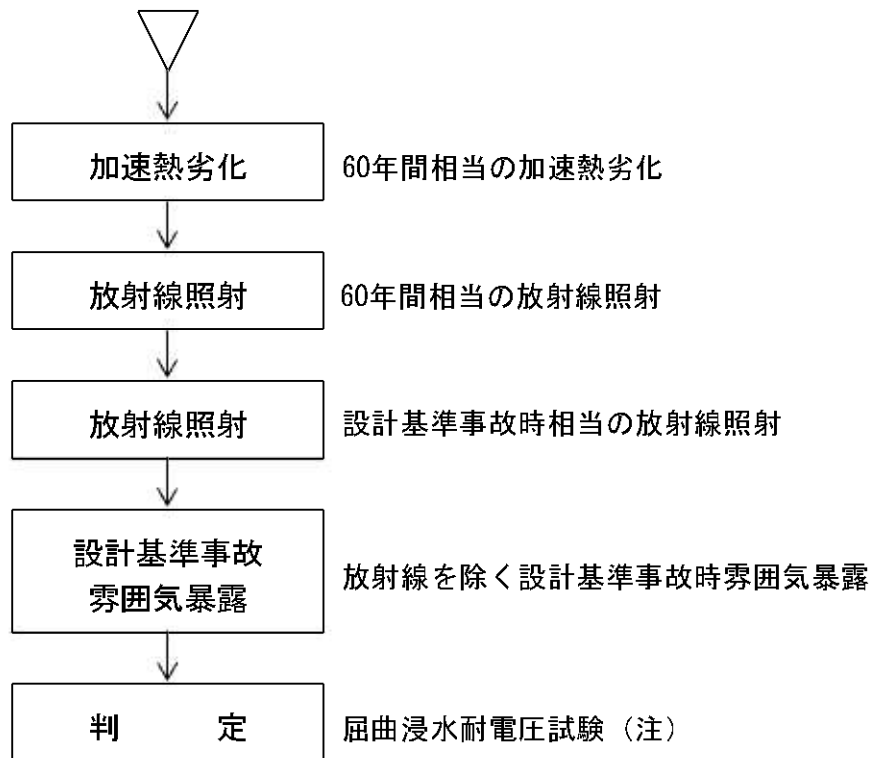
外部リードの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲 浸水 耐電圧試験	供試体外径 : 11.5mm マンドレル径 : 供試体外径の約40倍 絶縁厚さ : 0.76mm 課電電圧 : 2.6kV/5分間	良

(3) 低圧ケーブルの重大事故等時環境影響評価結果

①評価方法

- ・低圧ケーブル（難燃PHケーブル）の長期健全性試験結果に基づき評価を実施した。
- ・長期健全性試験の試験手順を以下に示す。



(注) 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順

- ①供試ケーブルを直線状に伸ばした後、供試ケーブル外径の約40倍のマンドレル（円筒状の器具）に巻付ける。
- ②①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

②評価結果

試験条件は、実機環境における60年間の運転期間を想定した劣化条件及び事故時の条件を包絡しており、難燃PHケーブルは運転開始後60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断した。

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件又は重大事故等時の環境条件
通常 相当	温度	140℃-9日	124℃-9日 (=65℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h)	190kGy*2
重大 事故等 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	500kGy
	温度	最高温度 190℃	最高温度 約138℃
	圧力	最高圧力 0.41MPa[gauge]	最高圧力 約0.350MPa[gauge]

*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約49℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した

*2： $0.36[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] \doteq 190\text{kGy}$

項目	試験条件	判定
屈曲浸水耐電圧試験	供試体外径 : 11.5mm マンドレル径 : 400mm 絶縁厚さ : 0.8mm 課電電圧 : 2.6kV/5分間	良

(4) コンクリート構造物の耐火能力低下の評価結果

①評価方法

工事計画において耐火要求のあるコンクリート構造物の耐火能力は、断面厚により確保する設計であることから、経年による断面厚の減少について評価する。

②評価結果

通常の使用環境において、経年によりコンクリート構造物の断面厚が減少することはなく※、耐火能力は維持される。

※高経年化技術評価のコンクリート構造物の強度低下において、劣化要因に対して評価を実施し、健全性評価結果及び現状保全の継続により、コンクリート構造物の健全性を維持できることを確認済み



高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

6. 長期保守管理方針について

申請時点及び審査の過程並びに今回の追加評価結果に基づき抽出した長期保守管理方針（今後10年間に実施すべき保守管理の方針）を以下に示す。

	長期保守管理方針	説明	実施時期※
申請時	原子炉容器の胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、精度向上が図られた脆化予測式に基づく評価を実施する。	現時点において技術的妥当性が確認されている最新の評価方法による評価を行い、運転開始後60年時点においても原子炉容器の健全性に問題のないことを確認している。	中長期
	1次冷却材ポンプ（ケーシング）等の疲労割れについては、実過渡回数に基づく疲労評価を実施する。	運転実績に基づき算出した運転開始後60年時点における過渡回数による疲労評価を行い健全性に問題のないことを確認している。	中長期
これまでの審査を踏まえて新たに抽出	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、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。 *：主給水系統配管、補助蒸気系統配管	実測データに基づき算出された運転開始後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ことから、プラント運転に対して問題となるものではない。 なお、肉厚計測については、既に定期事業者検査として計画的に実施しており、その結果に基づく評価を実施する。 [詳細は資料1-2参照]	中長期 〔開始は短期〕
追加評価に基づき抽出	基準地震動Ss-2に対する評価* ¹ が必要な全ての機器・経年劣化事象* ² について、継続して評価を実施する。 *1：弾性設計用地震動Sd-2に対する評価も含む。 *2：基準地震動Ss-1に対する評価結果から評価が厳しいと考えられる機器・経年劣化事象については、基準地震動Ss-2に対する評価を実施し、耐震安全性を確認している。	Ss-1に対しては、経年劣化を考慮した場合においても耐震安全性に問題ないことは確認済み。また、Ss-1に対する評価結果から、評価が厳しいと考えられるものについてSs-2に対する評価を行い、経年劣化を考慮した場合においても耐震安全性に問題がないことを確認できている。 [詳細は資料1-2参照]	短期 〔平成28年7月まで〕

※ 短期：平成26年7月4日から5年間、中長期：平成26年7月4日から10年間

7. まとめ

認可された工事計画において追加された設備・構造物及び評価方法等を踏まえた高経年化対策に関する評価を行った結果、現状保全を継続することにより、安全に運転を継続することは可能との見通しを得た。

また、一部の機器・構造物については、高経年化への対応として講じる必要がある保全項目が抽出されたが、これらについては長期保守管理方針としてまとめ、保安規定に定め、今後計画的に実施していく。