

関西電力(株)美浜発電所1号炉 高経年化技術評価書等に係る 審査結果について

平成22年10月6日

原子力安全・保安院

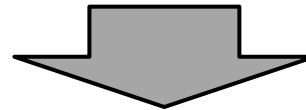
目 次

1. 高経年化対策に関する基本的な考え方について
2. 美浜発電所1号炉の高経年化技術評価について
 - (1) 経緯
 - (2) 審査経緯等
 - (3) 経年劣化事象ごとの評価
 - ・原子炉容器の照射脆化
 - ・コンクリートの強度劣化
 - (4) 30年目高経年化技術評価の検証と反映
 - (5) 長期保守管理方針
3. 今後の対応について

<参考資料集>

1. 高経年化対策に関する基本的な考え方について

プラントの一定の安全水準を確保するため、長期供用に伴う経年劣化の特徴を把握してこれに的確に対応した保守管理を行うことが重要。

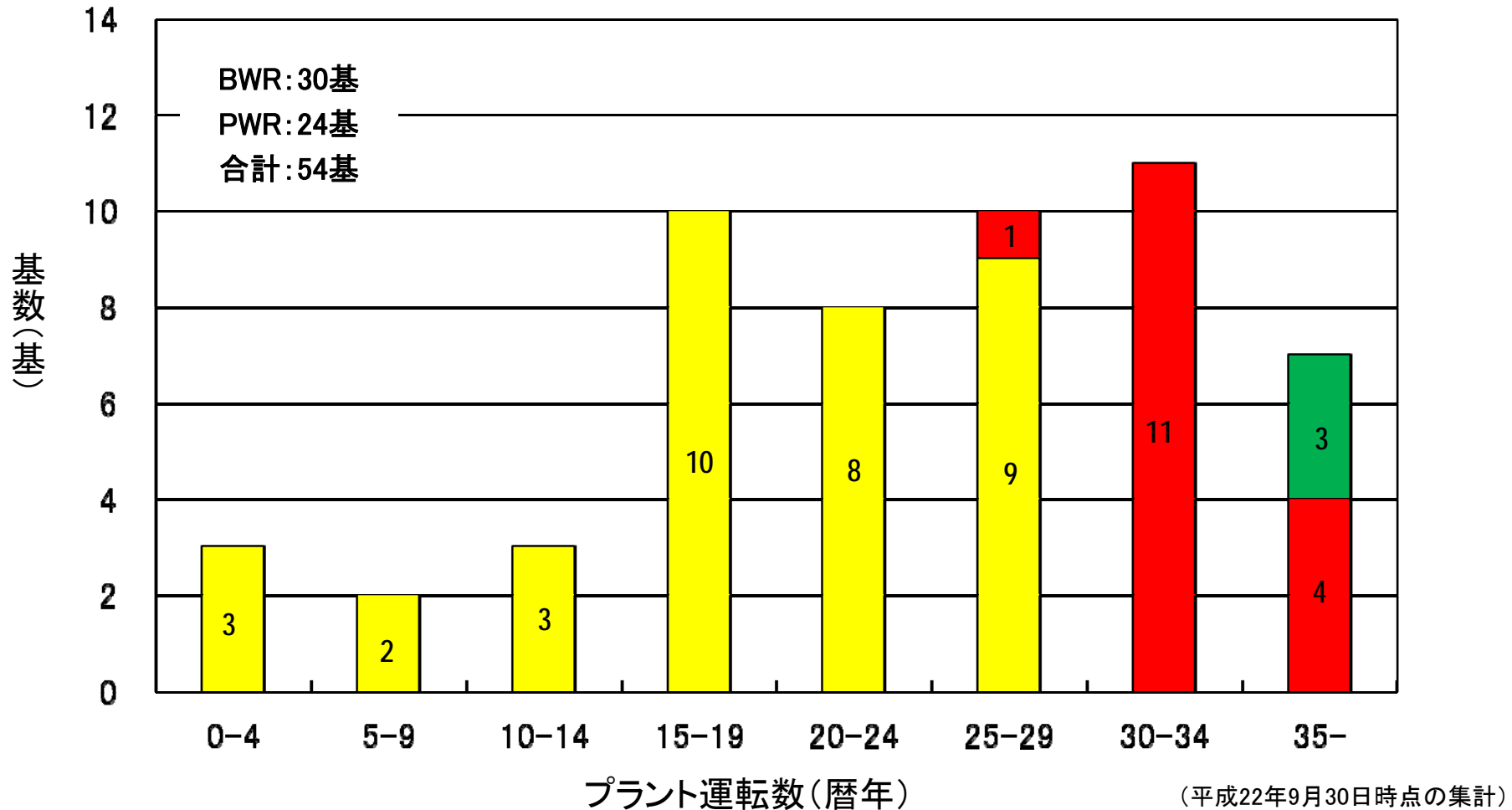


高経年化技術評価

運転開始後30年に至る前に、プラントの機器・構造物の健全性について評価を行い、この評価に基づき長期保守管理方針(現状の保全に追加すべき、今後10年間の保全策)を策定・実施する。

30年以降も10年ごとに健全性評価等を同様に実施する。

我が国の原子力発電プラントの運転年数と基数分布

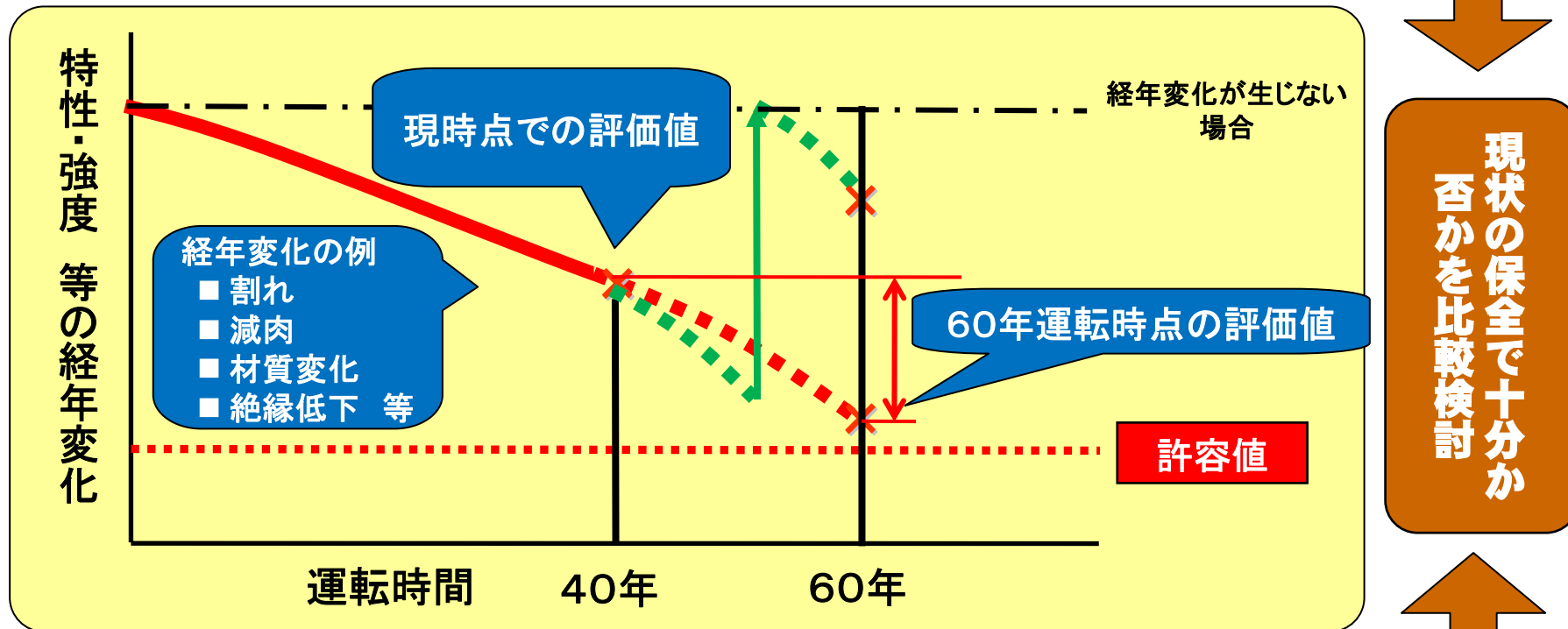


- 赤 : 30年目高経年化技術評価を実施、もしくは実施中のプラント(19基)
- 黄 : 高経年化技術評価が未実施のプラント
- 緑 : 40年目高経年化技術評価を実施、もしくは実施中のプラント(3基)

経年変化に対する評価

プラントの運転開始から60年を一つの目安とした供用期間を仮定して、機器・構造物の健全性評価を行うとともに、現状の保全内容が十分かどうか確認し、追加すべき保全策の必要性を検討する。

60年の使用期間を仮定した健全性評価(注)

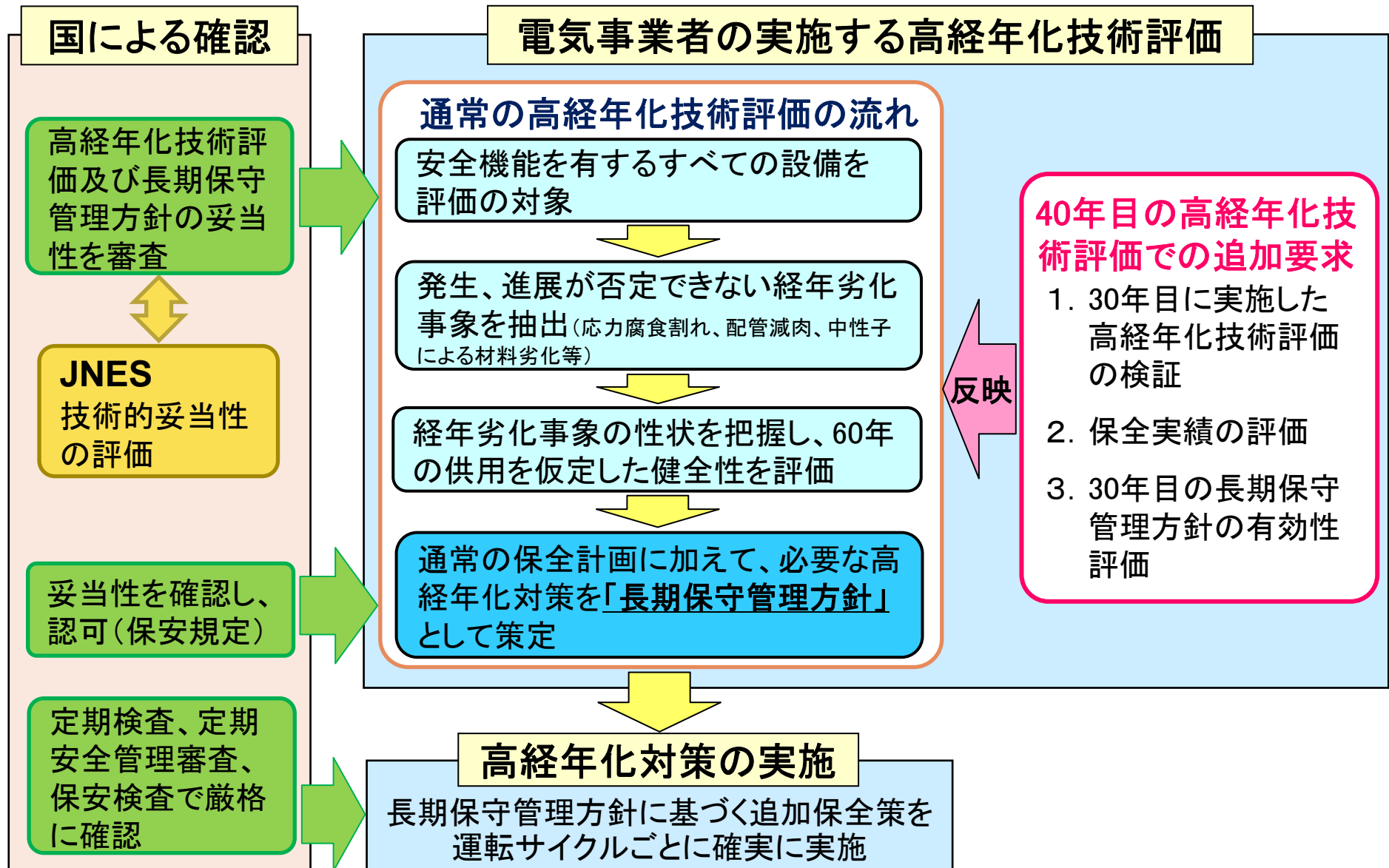


現状の保全内容(点検・検査、取替等)

緑: 許容値を下回ることが予測される場合は、その前に取替等の追加保全を計画

(注) 60年の使用を認めるものではない。経年変化を予測し、60年時点の健全性を評価。

高経年化技術評価・対策の実施の流れ

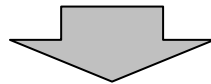


新しい検査制度における高経年化対策(国の関与の強化)

新制度導入前

<原子炉等規制法による高経年化技術評価の義務付け>

- ①事業者は、運転開始後30年目までに高経年化技術評価を実施(30年目以降も10年ごとに同様)。
- ②以後10年間に行う保全対策をとりまとめた保全計画(長期保全計画)を国に報告。
- ③具体的な実施内容については、対策実施後に国に報告。



国の関与を強化(平成21年1月1日開始)

新制度導入後

<高経年化対策に係る保全方針の明確化>

高経年化技術評価とこれに基づく今後10年間の保全方針(長期保守管理方針)を原子炉等規制法に基づく保安規定に記載して、国が審査の上認可する。

<高経年化対策の実施状況の確認>

高経年化対策の具体的な実施内容については、定期検査毎に

- ① 対策実施前に保全計画書の事前届出により国が確認。
- ② 事業者は定期事業者検査の作業項目として実施。
- ③ 国は保安検査や定期安全管理審査などにより実施状況等を確認。

2. 美浜発電所1号炉の高経年化技術評価について

(1) 経緯

関西電力美浜発電所1号炉 PWR 出力:340MW

1970年11月28日 営業運転開始

1999年 2月 8日 30年目の高経年化技術評価結果公表

2009年11月 5日 保安規定変更認可申請書の提出
(高経年化技術評価及び40年目の長期保守管理方針)

2010年 2月4-5日 発電所への立入検査

2010年 5月13日 保安規定変更認可申請書の補正の提出

2010年 6月28日 保安規定の変更認可
原子力安全委員会へ報告

運転開始後40年を迎えるPWR最初の高経年化プラント

(2) 審査経緯等

○原子力安全基盤機構(JNES)による技術的妥当性の確認

- ・技術的妥当性についての書面審査、補正書の審査

○立入検査(2010年2月4-5日)

- ・JNESも同行し、設備、文書等原本の直接確認

○専門的意見の聴取

- ・高経年化技術評価ワーキンググループ(計5回の審議)

【開催年月日】

平成21年 12月17日
平成22年 3月 4日
平成22年 4月30日
平成22年 5月17日
平成22年 6月18日



高経年化技術評価の実施体制等

①実施体制、実施方法等プロセスの明確性

- ・評価にかかる実施体制が妥当であることを確認
（実施体制、工程管理など）

②最新知見の反映

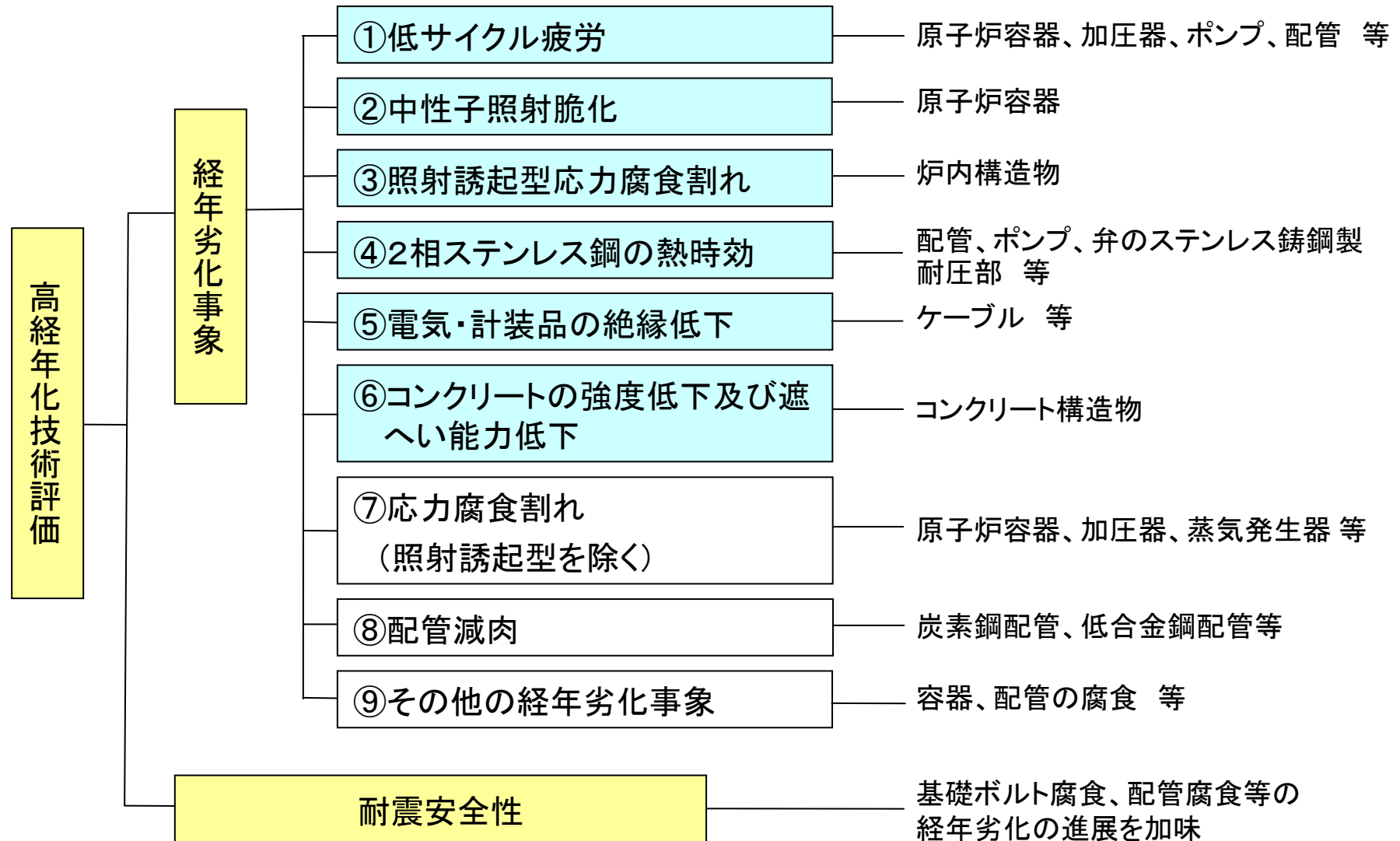
- ・国内外の最新知見・運転経験の反映など

③評価対象機器・構造物及び経年劣化事象の抽出

- ・(社)日本原子学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準:2008」の「経年劣化メカニズムまとめ表」による機器と劣化事象の抽出
- ・美浜1号炉で発生したトラブル事例の考慮
- ・美浜1号炉に固有な機器構造の考慮



(3) 経年劣化事象ごとの評価



経年劣化事象ごとの具体的な評価結果の例①

① 中性子照射脆化

事業者による技術評価

【評価対象部位】 原子炉容器

【評価方法】

監視試験データに基づく脆化予測式により、運転開始後60年時点までの関連温度及び上部棚吸収エネルギー値を予測。また、関連温度上昇について加圧熱衝撃事象を評価。

【技術評価結果】

関連温度を基に設定される、耐圧漏えい試験温度が適切に設定されており、かつ60年の運転を仮定しても上部棚吸収エネルギーが68J以上となるので、健全性を維持できると評価。

また、加圧熱衝撃事象の評価では初期き裂を想定しても、脆性破壊は起こらないと評価。

評価時期: 運転開始後60年時点		
関連温度	上部棚吸収エネルギー	上部棚吸収エネルギースクリーニング値※
101℃	68J	≥68J

※ 68J未満になった場合にはJEAC4206に定められている方法で評価を行い、健全性を評価する。

国の具体的な確認内容(例)

- ・ 至近の監視試験結果を反映して保守的な脆化予測が行われ、耐圧漏えい試験温度が適切に設定されていることを確認。
- ・ 60年の運転を仮定しても、上部棚吸収エネルギーがスクリーニング値以上とする評価の妥当性を確認。
- ・ 加圧熱衝撃事象の評価が適切に行われていることを確認。
- ・ 超音波探傷試験などの現状実施している保全に加えて、計画的に監視試験を行うことにより、今後の健全性が維持されることを確認。

事業者の評価結果を
妥当と判断

経年劣化事象ごとの具体的な評価結果の例②

② コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下

事業者による技術評価

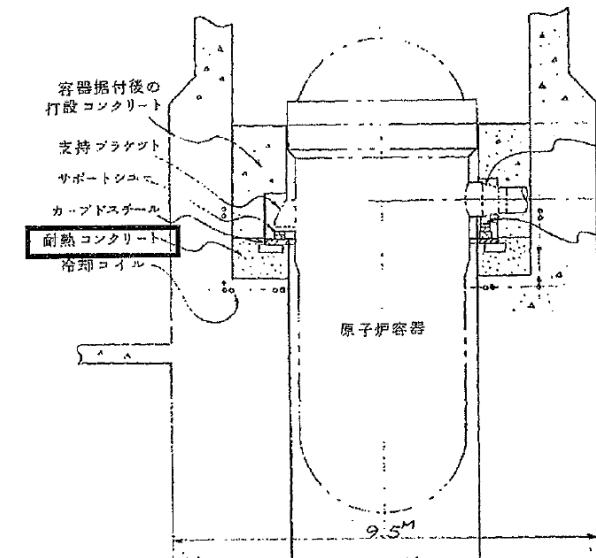
【評価対象部位】 耐熱コンクリート(例)

【評価方法】 耐熱コンクリートの最高温度を温度分布解析で確認し、加熱実験データ、想定される変形量等から原子炉容器(RV)支持構造物全体の構造健全性を評価

【技術評価結果】 上記評価方法に基づき、構造健全性に問題ないことを確認

国の具体的な確認内容(例)

- ・ RVサポート下部のコンクリートの最高温度が、温度分布解析の結果から約180℃であることを確認。
- ・ 180℃による加熱実験データから、強度低下は初期において生じるもののその後は収束し、設計基準強度以上を維持することを確認。
- ・ 耐熱コンクリートと周辺の鋼製構造物を含む支持構造物全体の構造健全性を確認。
- ・ 定期的実施しているキャビティシール据付時の隙間計測結果を用いて、耐熱コンクリートの変形を傾向監視していくことを長期保守管理方針に追加することを確認。



事業者の評価結果を
妥当と判断

(4) 30年目高経年化技術評価の検証と反映

40年目の高経年化技術評価で実施した具体的内容

1. 30年目に実施した高経年化技術評価の検証

1) 事故・トラブルの分析

- ・ 30年目以降に発生した、経年劣化に起因するトラブルについて、30年目の技術評価の時にどのような判断・評価を行っていたか分析。

2) 30年目以降の経年劣化傾向の評価

- ・ 30年目に評価した経年劣化傾向の予測値について、その後の劣化実績と比較評価するとともに、30年目以降の運転経験・研究成果などを踏まえ、30年目の評価で用いた諸条件について評価。

2. 保全実績の評価

- ・ 現状保全の継続により健全性を維持できるとしたものであって、過去10年間の保全実績に基づきその有効性を評価

3. 30年目の長期保守管理方針の有効性評価

- ・ 30年目の高経年化技術評価において策定した長期保守管理方針が適切に実施され、30年目の評価時に意図していた効果が得られたか(有効であったか)を評価。

事業者の評価結果

- ・ 30年目評価時以降発生した経年劣化に起因するトラブル(9件)を分析し、40年目の高経年化技術評価に反映。

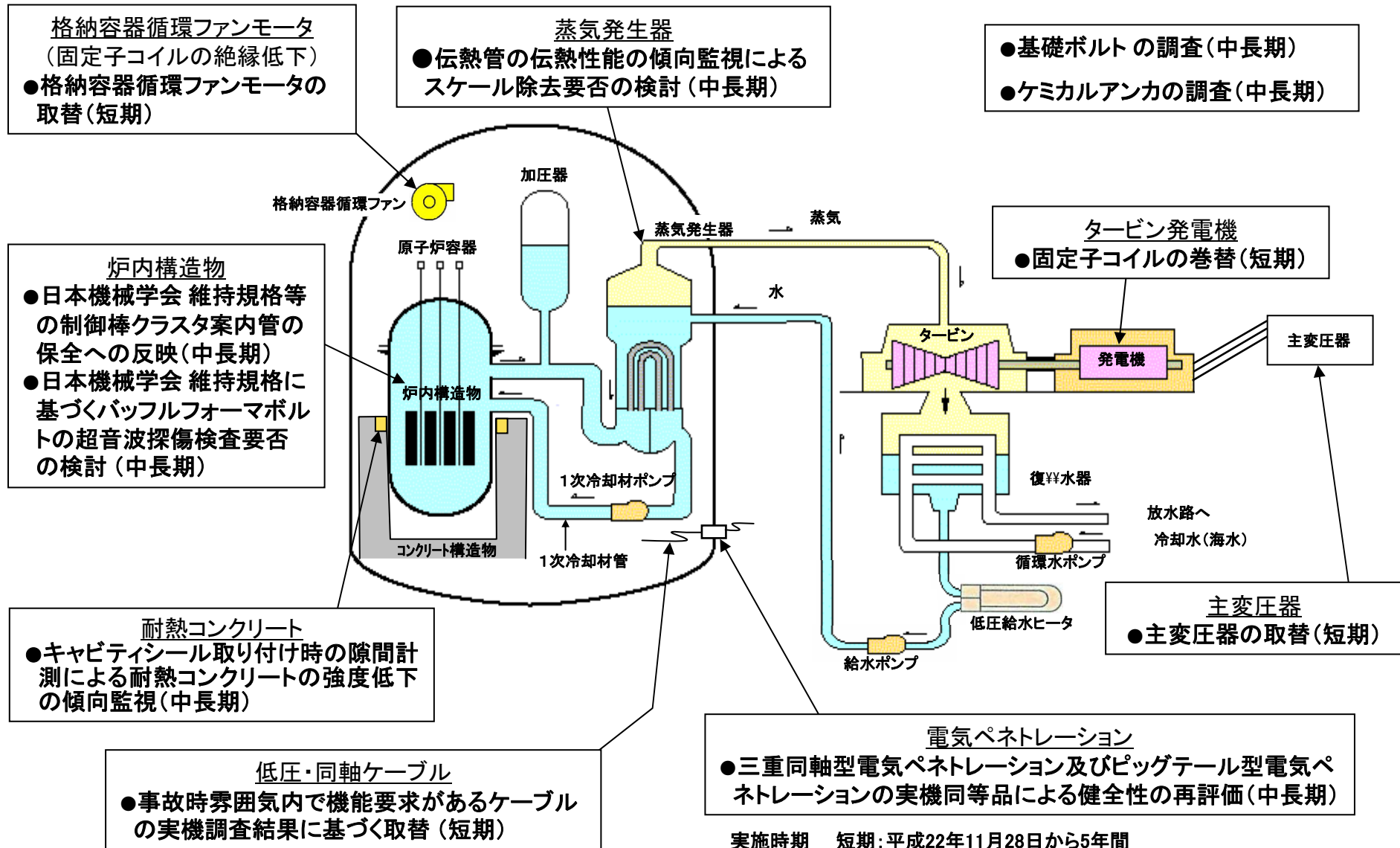
- ・ 各経年劣化事象ごとに30年目以降の経年劣化傾向の評価を実施し、40年目の高経年化技術評価に反映。
- ・ 30年目以降の経年劣化傾向は、30年目の評価から大きくずれていない。

- ・ 30年目評価で現状保全の継続とした4件について、その実績をもとに40年目の技術評価に反映。この4件は長期保守管理方針に追加。

- ・ 40年目も長期保守管理方針として残すべき事項や、現状保全として継続すべき事項等を整理し、40年目の高経年化技術評価に反映。

30年目の高経年化技術評価の検証が適切に実施され、その結果が40年目の高経年化技術評価に適切に反映されていることを確認。

(5) 長期保守管理方針



実施時期 短期:平成22年11月28日から5年間
中長期:平成22年11月28日から10年間

3. 今後の対応について

- ✓ 長期保守管理方針を踏まえた適切な保全を実施することにより、40年以降の運転について安全性が確保されると判断し、長期保守管理方針(保安規定の変更)を認可。
- ✓ 今後、引き続き、確実な高経年化対策の実施を図る。

事業者の役割

(1) 長期保守管理方針の着実な実施

- ・ 長期保守管理方針は、運転開始後40年以降の保全サイクルから、発電所の保全計画に反映。
- ・ 保全計画は、毎定期検査前に保安院に届出て、事前確認を受ける。 前回サイクルで実施した長期保守管理方針に基づく点検の結果について有効性評価を行った結果についても、併せて提出。
- ・ 確認を受けた保全計画に基づき、着実に高経年化対策を実施。

(2) 高経年化対策の充実

- ・ 引き続き国内外プラントの運転経験、最新の技術的知見を高経年化技術評価に的確に反映。

国の確認方針

(1) 保全計画の事前確認

- ・ 毎定期検査前に、届け出がなされる保全計画について、その適切性を事前確認。

(2) 実施状況及び結果の確認

- ・ 確認した保全計画に基づき、高経年化対策が適切に実施されているかについて、定期安全管理審査、定期検査、保安検査により厳格に確認。

参考資料集

1. 経年劣化事象ごとの評価

- (1) 低サイクル疲労
- (2) 中性子照射脆化
- (3) 照射誘起型応力腐食割れ
- (4) 2相ステンレス鋼の熱時効
- (5) 電気・計装品の絶縁低下
- (6) コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下
- (7) 応力腐食割れ (IASCCを除く)
- (8) 配管減肉
- (9) 耐震安全性の評価

2. 30年目の技術評価の検証と反映

- (1) 30年目の技術評価の検証
 - ① 事故・トラブル事象の分析
 - ② 30年目以降の経年劣化傾向の評価
- (2) 保全実績の評価
- (3) 30年目の長期保守管理方針の有効性評価

3. 長期保守管理方針

1. 経年劣化事象ごとの評価

(1) 低サイクル疲労

温度・圧力の変化によって、大きな繰り返し応力がかかる部位に割れが発生する事象。

事業者の評価					国の主な 確認内容
評価部位 (原子炉容器 の例)	評価方法	技術評価結果			
		運転実績に基づく60年供用仮定時の疲れ累積係数(許容値:<1)			
		JSME設計建設規格(2005)に基づく疲労評価	環境を考慮した疲労評価 JSME環境疲労評価手法(2006)	備考	
入口管台	運転実績に基づき、60年の運転を仮定した疲れ累積係数を算出し、許容値1以下であることを評価。	0.033	0.000	設計評価点はステンレス肉盛部であるため、環境中評価点は接液部で疲労評価上最も厳しい部位としており、設計評価点と異なる。	
出口管台		0.038	0.001		
安全注入管台		0.042	0.018		
蓋用管台		0.041	0.001	設計評価点は気中であるため、環境中評価点は接液部で疲労評価上最も厳しい部位としており、設計評価点と異なる。	
炉内計装筒		0.131	0.001		
スタッドボルト		0.399	-	非接液部	

指摘事項	対応結果
ステンレス鋼肉盛があるために環境疲労評価を行っていない部位について、環境疲労評価を行わなくてよい根拠を示すこと。	ステンレス鋼肉盛の健全性については目視検査で確認していることから、ステンレス鋼肉盛部位の母材の環境疲労評価を行わない旨、高経年化技術評価書に記載した。
加圧器サージ管台とセーフエンドの異材継手部については、接近性の問題で検査できておらず、今後の検査の可能性や代替措置について、対応を明確にすること。	加圧器サージ管台とセーフエンドの異材継手部の今後の検査予定を明らかにし、その結果により必要に応じて代替措置を計画する旨、高経年化技術評価書に記載した。

30年目以降の運転経験及び新知見として、実際の運転過渡実績、最新の環境疲労評価法が適切に反映され、現状実施されている超音波探傷試験などを引き続き行うとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(2) 中性子照射脆化

長期間にわたり原子炉容器に中性子が照射されることにより、その靱性が徐々に低下(脆化)する事象。

事業者の評価			国の主な確認内容									
評価部位	評価方法	技術評価結果										
原子炉容器	監視試験データに基づき予測式を用いて、運転開始後60年時点までの関連温度及び上部棚吸収エネルギー値を予測 また、関連温度上昇について加圧熱衝撃事象を評価	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">評価時期: 運転開始後60年時点</th> </tr> <tr> <th>関連温度</th> <th>上部棚吸収エネルギー</th> <th>上部棚吸収エネルギースクリーニング値※</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>101℃</td> <td>68J</td> <td>≥68J</td> </tr> </tbody> </table>	評価時期: 運転開始後60年時点			関連温度	上部棚吸収エネルギー	上部棚吸収エネルギースクリーニング値※	101℃	68J	≥68J	関連温度を基に設定される、耐圧漏えい試験温度が適切に設定されていることを確認し、60年の運転を仮定しても上部棚吸収エネルギーが68J以上だとする評価の妥当性を確認
		評価時期: 運転開始後60年時点										
関連温度	上部棚吸収エネルギー	上部棚吸収エネルギースクリーニング値※										
101℃	68J	≥68J										
※68J未満になった場合にはJEAC4206に定められている方法で評価を行い、健全性を評価する。												

指摘事項	対応結果
原子炉容器の関連温度の予測方法及び破壊靱性の温度移行量の予測方法については、JEAC4201-2007の方法によっているが、実機の運用・管理に用いているJEAC4201-2004による予測を実施すること。	実機の運用・管理方法に合わせた原子炉容器の関連温度の予測方法及び、破壊靱性の温度移行量の予測方法による評価を正として高経年化技術評価書に追記した。



30年目以降の運転経験及び新知見として、第4回監視試験の結果を反映して保守的に脆化予測が行われ、耐圧漏えい試験温度が適切に管理されているとともに、現状実施されている超音波探傷試験で有意な欠陥がないことを確認しており、事業者の評価は妥当である。

(3) 照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)

中性子の照射により、応力腐食割れの感受性が高くなり、ひび割れが発生する事象。

事業者の評価			国の主な確認内容
評価部位	評価方法	技術評価結果	
<ul style="list-style-type: none"> ・バッフルフォーマーボルト (BFB)* ・バレルフォーマーボルト ・炉心バッフル ・炉心バッフル取付板 ・炉心そう ・下部炉心板 ・下部燃料集合体案内ピン ・熱しゃへい体 <p>* 2002年度に全数取替を実施しており、取替後の中性子照射量を評価</p>	<p>60年運転を仮定した累積中性子照射量を予測し、応力、温度条件を基に、BFB以外の部位については評価上最も厳しいBFBを基準に相対的に評価</p> <p>BFBについては、維持規格及び最新の研究成果を用いて運転開始後60年時点の損傷ボルト本数を評価</p>	<p>60年時点の累積中性子照射量は、何れの評価点もIASCC発生感受性しきい値を超えるが、BFB以外の部位では照射量、応力、温度の条件が緩やかであるため、発生可能性小と判断</p> <p>また、BFBの運転開始後60年時点の損傷ボルト本数は全体の8%以下であり、炉心健全性に影響を与える可能性小と評価</p> <p>各評価部位の計画的な目視点検に加えて、BFBについては過去に超音波探傷により健全性を確認</p>	<p>60年時点での各部位の累積中性子照射量、BFBを基準とした相対評価、BFBの運転開始後60年時点の損傷ボルト本数評価及び現状実施している保全内容の妥当性を確認</p>

指摘事項	対応結果
<p>バッフルフォーマーボルトの運転開始後60年時点の損傷ボルト本数予測を、最新知見を反映して実施しているが、その方法が維持規格に基づく評価法より適切である根拠を明らかにすること。</p>	<p>バッフルフォーマーボルトの運転開始後60年時点の損傷ボルト本数予測に用いた方法が、維持規格に反映されていない新しい研究成果に基づくものであり、より短時間で損傷する傾向を示していたため予測評価に用いたことを高経年化技術評価書に追記した。</p>



30年目以降の運転経験及び新知見として、評価対象部位の60年時点の累積中性子照射量の把握を行うとともに、バッフルフォーマーボルトの損傷予測を行い、現状実施されている目視点検に加えて、長期保守管理方針として、維持規格に基づき、バッフルフォーマーボルトの超音波探傷検査実施を検討するとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(4) 2相ステンレス鋼の熱時効

2相ステンレス鋼が高温での長期使用に伴い、靱性の低下を起こす事象。

事業者の評価			国の主な確認内容
評価部位	評価方法	技術評価結果	
1次冷却材管エルボ	日本機械学会の維持規格に基づいて、き裂を想定して求めたき裂進展力と国の研究成果に基づいて、60年の供用を仮定して求めたき裂進展抵抗を比較して、構造安定性を評価	運転開始後60年時点での材料のき裂進展抵抗は、き裂進展力を上回ることから、不安定破壊することはない、健全であると評価	き裂進展抵抗の予測評価及びき裂進展力との比較による1次冷却材管エルボの健全性評価の妥当性を確認



30年目以降の研究成果が、靱性低下の予測評価に適切に反映されているとともに、現状実施されている溶接部の超音波探傷検査を引き続き行うとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(5) 電気・計装品の絶縁低下

電気・計装品に使用されている絶縁物が環境(熱、放射線等)及び機械的な要因等で劣化し、電気抵抗が低下する事象。

絶縁低下の代表例: 低圧ケーブル

事業者の評価			国の主な確認内容
評価部位	評価方法	技術評価結果	
KAケーブルの絶縁体 (シリコーンゴム)	供用期間中の経年劣化を 加速劣化によって付与した 長期健全性試験により評価	60年間の絶縁性能が維持可能	①使用条件及び試験条件の妥当性を確認 ②代表ケーブルの網羅性を確認
難燃PHケーブルの絶縁体 (難燃エチレンプロピレンゴム)			
SHVVケーブルの絶縁体 (特殊耐熱ビニル)			
VVケーブルの絶縁体 (ビニル)			

指摘事項(例)	対応結果
代表ケーブルと製造メーカーが異なるケーブルの健全性を長期健全性試験等によって評価するとともに、必要に応じて長期保守管理方針に反映すること。	事故時雰囲気内で機能要求がない代表ケーブルと製造メーカーが異なるケーブルは、長期健全性試験を実施していないので絶縁低下の可能性は否定できず、現状保全を継続していく旨、評価書が補正された。なお、事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルは、当初から取替が考慮されている。



30年目以降の運転経験として製造メーカーごとの評価及び実機環境調査結果が適切に反映されており、また長期健全性試験の試験条件がケーブルの使用条件を包絡していること、現状実施されている絶縁抵抗測定などに加えて、長期保守管理方針として、事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについて製造メーカーの調査を行い、その結果に基づき取替が実施されること、さらに高経年化への対応として、JNES事業の成果の反映を検討していくとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(6) コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下

コンクリートの強度が、熱、放射線照射、中性化及び塩分浸透等により低下する事象。また、放射線の遮へい能力が熱により低下する事象。

事業者の評価				国の主な確認内容	
要因(例)	評価部位	評価方法	技術評価結果		
強度低下	熱	内部コンクリート	温度及び放射線照射量の解析結果、規格・指針類及び既往文献の判定基準、各種予測式を用いて評価	60年の運転を仮定し、コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下に係わる温度及び放射線照射量の解析値、各種予測値などが判定値をクリアしていることを確認	
	放射線照射	内部コンクリート			普通コンクリートの最高温度の解析値が、判定値以下／耐熱コンクリートは、加熱実験データ、想定される変形量、支持構造物全体の構造健全性から問題ないことを確認
	中性化	内部コンクリート(屋内) 外部遮へい壁(屋内) 取水構造物(屋外)			60年時点の放射線照射量の解析値が、判定値以下
	塩分浸透	取水構造物(気中帯、干満帯、海中帯)			各建屋の60年時点の中性化深さの予測値が、判定値以下
遮へい能力低下	熱	内部コンクリート		60年時点の鉄筋腐食減量の予測値が、ひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量以下	
				普通コンクリートの最高温度の解析値が、制限値以下	

指摘事項	対応結果
コンクリート構造物は、予測手法に加え直接監視を実施するのが基本であることから、耐熱コンクリートに対して、監視方法等を検討すること。	定期的実施しているキャビティシール据付時の隙間計測結果を用いて、耐熱コンクリートの変形を傾向監視することを長期保守管理方針に追加した。



30年目以降の運転経験及び新知見として、評価部位の温度分布解析、放射線照射量解析、中性化深さ測定、鉄筋位置での塩化物イオン濃度測定及び破壊試験の結果並びに最新の基準・指針が適切に反映されているとともに、現状実施されている目視点検などを引き続き行うとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(7) 応力腐食割れ (IASCCを除く)

材料、環境、応力の3要素が重畳した原因によってひび割れが発生する事象。

事業者の評価				国の主な確認内容
事象	評価部位(例)	評価方法	技術評価結果	
Ni基合金応力腐食割れ (NiSCC)	原子炉容器冷却材 出入口管台溶接部	国内外の運転情報や事象発生の事例及び最新の技術的知見に基づいて発生を評価	600系Ni基合金使用部位である原子炉容器冷却材出入口管台溶接部等では、ウォータージェットピーニングによる信頼性向上策をすでに実施しているが、各評価部位の応力腐食割れの可能性を否定できないため、定期的に超音波探傷検査、浸透探傷検査や目視検査等により健全性を確認	各評価部位における信頼性向上策の実施内容と実績及び検査内容、検査実績と今後の検査計画を確認
粒界型応力腐食割れ (IGSCC)	蒸気発生器出入口管台セーフエンド			
貫粒型応力腐食割れ (TGSCC)	ステンレス鋼配管			
低合金鋼の応力腐食割れ	タービン車軸、翼環ボルト			



30年目以降の運転経験及び新知見として、600系Ni基合金使用部位である原子炉容器冷却材出入口管台溶接部等では、ウォータージェットピーニングによる信頼性向上策が実施されているとともに、現状実施されている超音波探傷試験などを継続して実施するとしていることから、事業者の評価は妥当である。

(8) 配管減肉

流れの影響で腐食が加速される「流れ加速型腐食」(FAC)や液滴が高速で壁面に衝突して侵食する「液滴衝撃エロージョン」(LDI)により配管が減肉する事象。

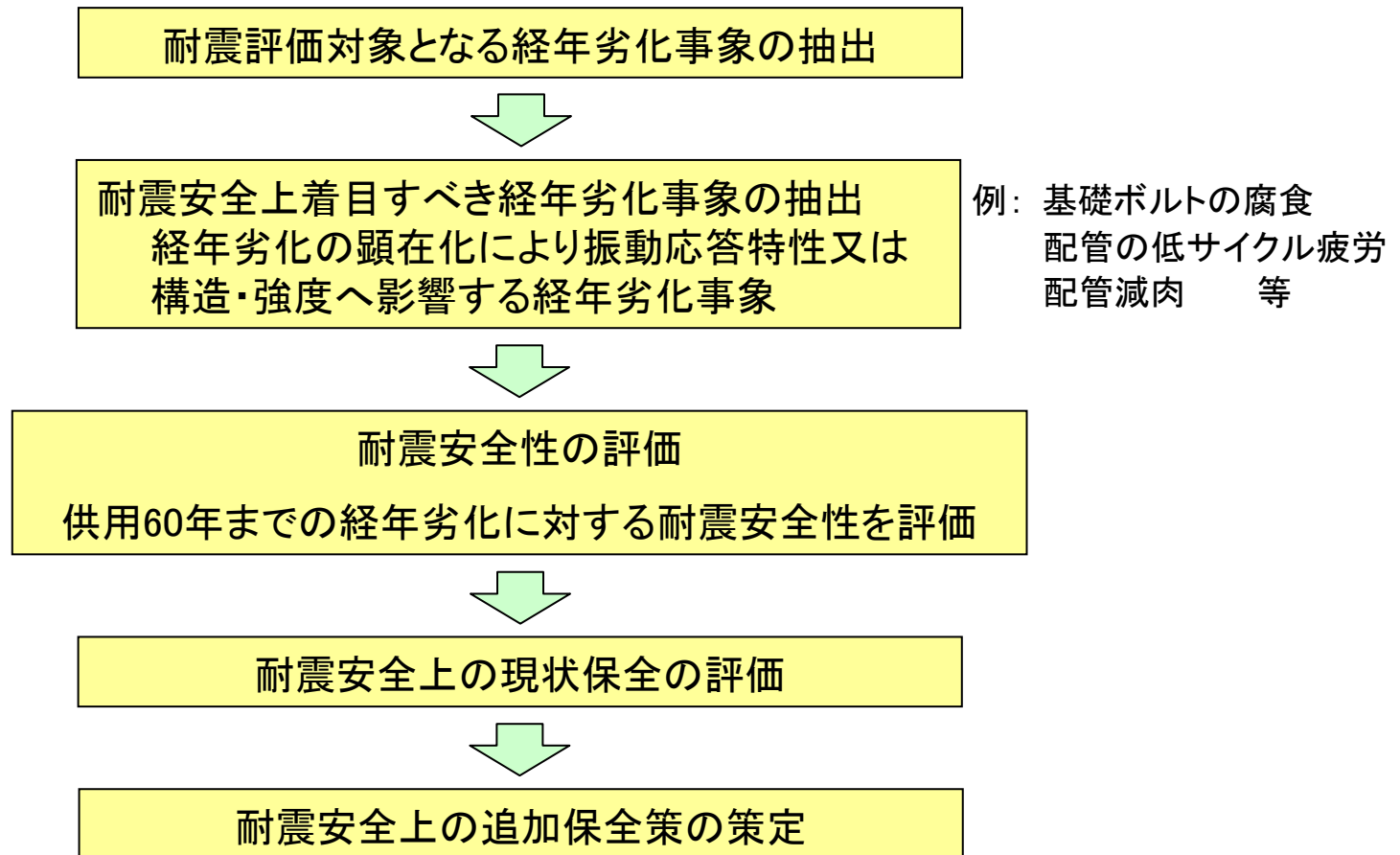
事業者の評価			国の主な確認内容
評価部位	評価方法	技術評価結果	
炭素鋼配管	社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき配管減肉管理を行い、必要最小厚さに到達するまでの期間(余寿命)を評価	肉厚測定結果に基づき余寿命を評価し、プラント運転中に余寿命を割ることのないように管理。	「2次系配管肉厚の管理指針」は保安指示文書や機械学会規格を反映し、評価点を含めて新たな知見を反映しており、適切に管理されていることを確認
低合金鋼配管			
ステンレス鋼配管			



「2次系配管肉厚の管理指針」に基づく検査、取替を実施していくとともに、検査結果による新たな知見を継続的に反映していくとしていることから、事業者の評価は妥当である。


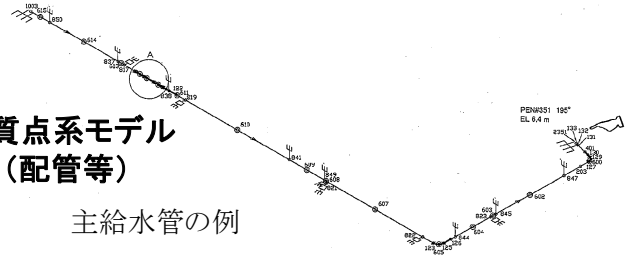
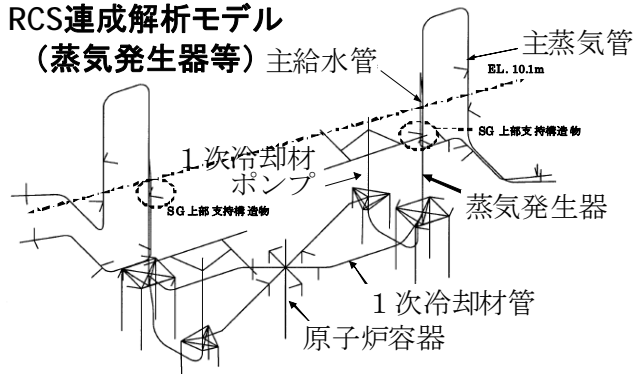
(9) 耐震安全性の評価

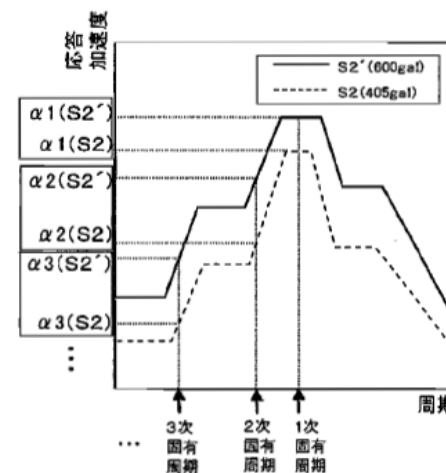
1) 耐震安全性評価の概要



2) 耐震安全性評価の前提条件

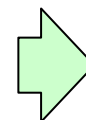
S2地震(405gal)を上回るS2'地震(600gal)による応力等の割戻し評価(みなし評価)

モデル概要	設置者評価
<p>1質点系モデル (容器等)</p> 	<p>床応答曲線における1次固有周期の比率により、S2'(600gal)の結果をS2(405gal)相当に補正</p>
<p>多質点系モデル (配管等)</p> <p>主給水管の例</p> 	<p>床応答曲線における各固有周期の比率(最大)により、S2'(600gal)の結果をS2(405gal)相当に補正</p>
<p>RCS連成解析モデル (蒸気発生器等)</p> 	<p>S2'(600gal)による結果を採用</p>



以下のとおり、みなしS2評価を実施し、その結果を採用する。

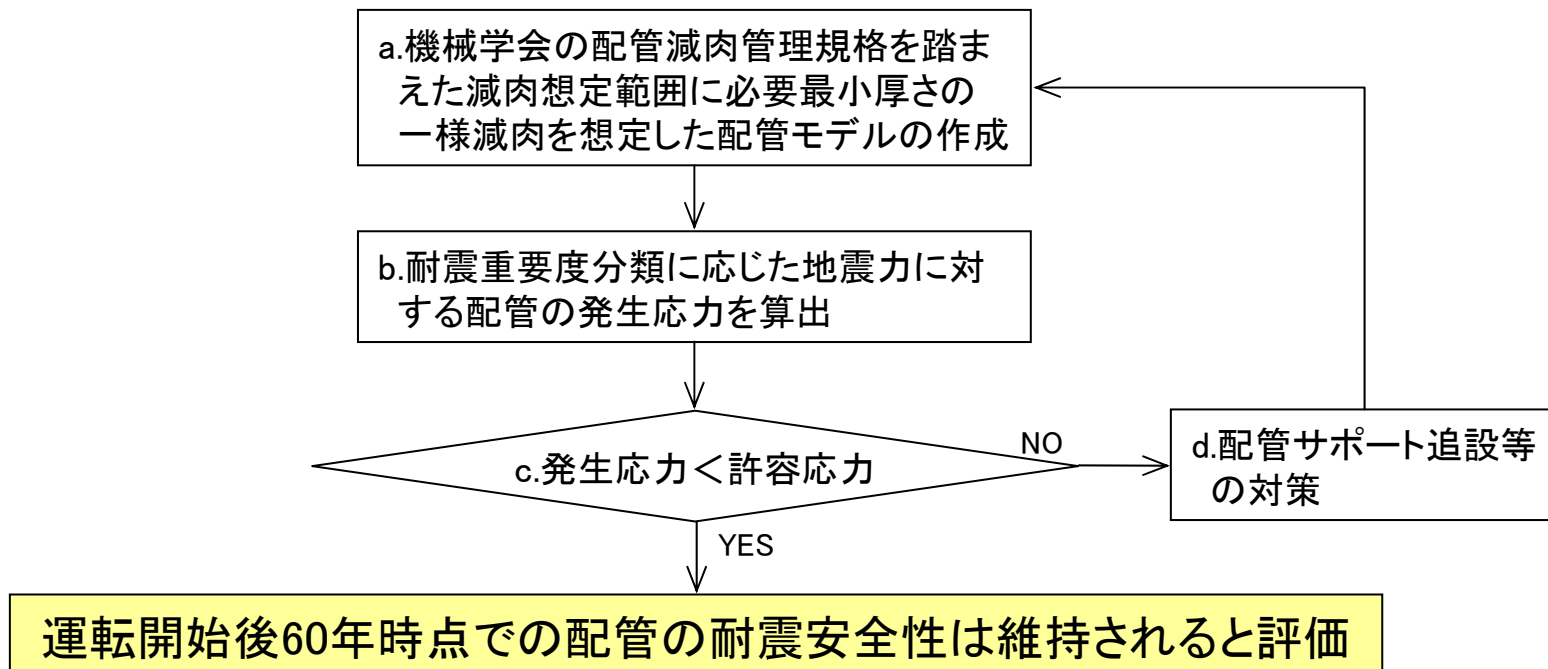
$$\text{地震以外(内圧等)による応力} + \max\{\alpha_n(S2)/\alpha_n(S2')\} \times S2' \text{地震による応力}$$



基準地震動S2に対して非安全側と
なっていないことを確認

3) 耐震安全性評価の例

炭素鋼配管の減肉 : 必要最小厚さまで減肉を想定した評価



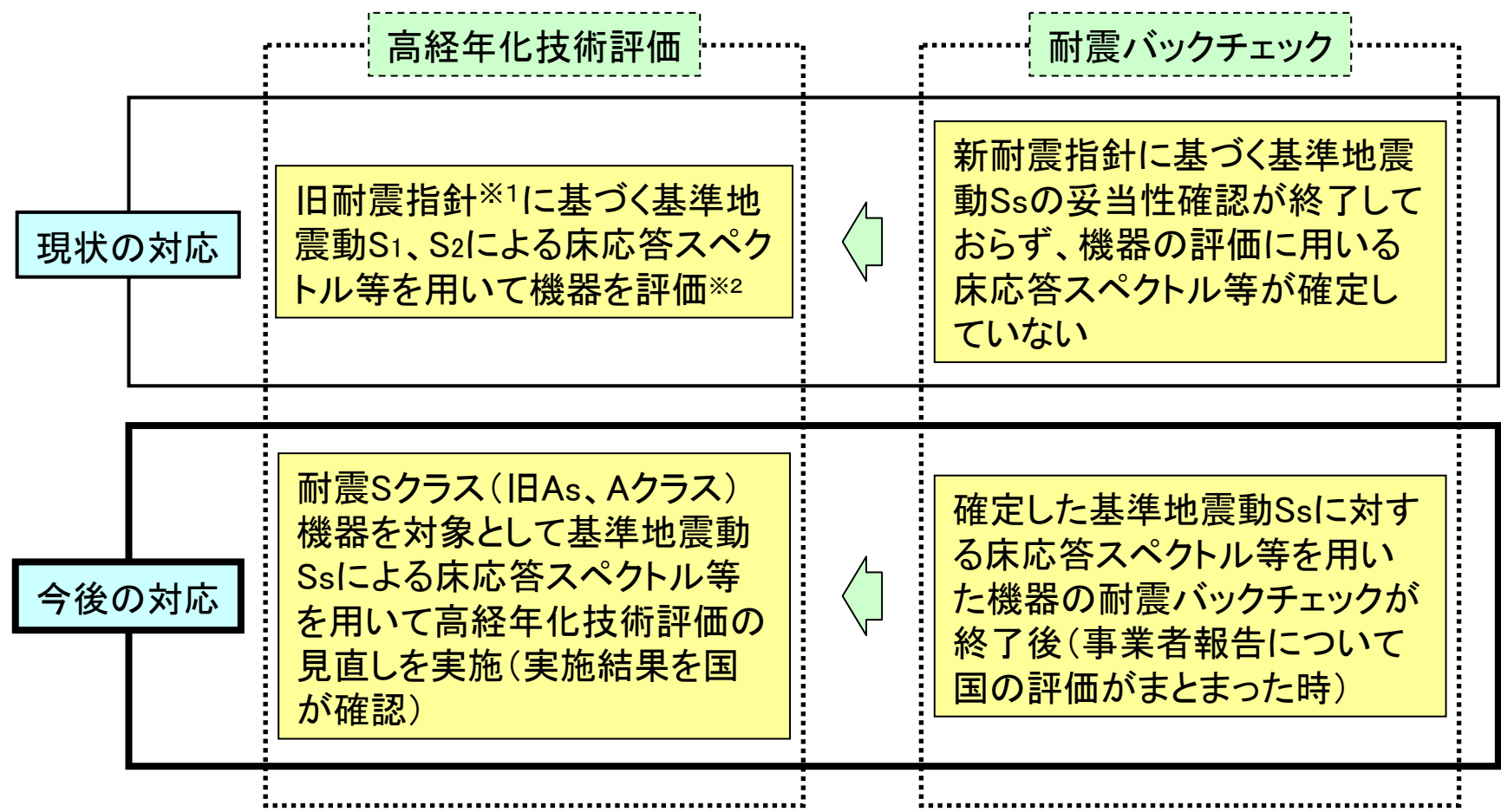
4) 妥当性評価

事業者の評価			国の主な確認内容
評価部位	評価方法	技術評価結果	
高経年化技術評価の対照とした機器・構築物（基礎ボルトの腐食、配管の低サイクル疲労等）	機器ごとに60年の供用を仮定した劣化を加味し、設計地震力から算出した地震時発生応力等と許容限界とを比較して、耐震安全性を評価	許容限界との比較により耐震安全性が確保されるので、耐震上の観点から保全策に追加すべき項目として抽出する必要がない。	○評価対象機器の抽出の考え方、耐震安全上着目すべき経年劣化事象及び評価対象機器の経年劣化事象に対する耐震安全性評価等が妥当であることを確認

指摘事項(例)	対応結果
炭素鋼配管の減肉に対する耐震安全性評価は、第24回定期検査での炭素鋼からステンレス鋼への取替工事内容が反映されていない場合があることから、評価対象の材料と既往の工事記録との整合性を確認して実態に合った評価を行うこと。	グラウンド蒸気系統配管等の減肉に関し、評価対象の材料と既往の工事記録との整合を図った上で耐震安全性評価が行われた。
蒸気発生器の冷却材入口管台セーフエンド(ステンレス鋼)の応力腐食割れに対する耐震安全性評価は、応力腐食割れの想定き裂と材料を考慮した許容限界を設定して具体的な評価を行うこと。	蒸気発生器の冷却材入口管台セーフエンドにおける応力腐食割れの想定き裂と材料を考慮した具体的な耐震安全性評価が行われた。

耐震安全性評価対象とした全ての機器・構築物において、耐震安全上着目すべき経年劣化事象を考慮した発生応力等が許容限界を下回ることから、耐震安全上の観点から現状の保全策に追加すべき項目はいとしていない。したがって、耐震安全上の観点から長期保守管理方針に反映すべき項目はなく、長期保守管理方針を策定していないとする事業者の評価は妥当である。

5) 今後の対応



※1:「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について(平成20年4月23日一部改正)」による。
 ※2:事業者は、耐震バックチェックの中間報告機器を対象とした基準地震動S_sに対する評価結果を国へ参考提出し、高経年化技術評価ワーキンググループで審議した。

2. 30年目の技術評価の検証と反映

事業者は、40年目の技術評価項目として、30年目以降の経年劣化傾向の評価、保全実績の評価、及び長期保守管理方針の有効性評価を実施

40年目を迎えるプラントの技術評価に対する国の基本的な考え方

高経年化対策実施ガイドラインに基づき40年目の評価に当たっては、30年目に実施した高経年化技術評価の検証等を行い、40年目の評価に適切に反映させていることを確認する。

具体的な確認内容

(1) 30年目に実施した高経年化技術評価結果の検証

① 事故・トラブルの分析

- ・ 30年目以降に発生した、経年劣化に起因するトラブルについて、30年目の技術評価の時にどのような判断・評価を行っていたか分析。

② 30年目以降の経年劣化傾向の評価

- ・ 30年目に評価した経年劣化傾向の予測値について、その後の劣化実績と比較評価するとともに、30年目以降の運転経験・研究成果などを踏まえ、30年目の評価で用いた諸条件について評価。

(2) 保全実績の評価

- ・ 現状保全の継続により健全性を維持できるとしたものであって、過去10年間の保全実績に基づきその有効性を評価。

(3) 30年目の長期保守管理方針の有効性評価

- ・ 30年目の高経年化技術評価において策定した長期保守管理方針が適切に実施され、30年目の評価時に意図した効果が得られたか(有効であったか)を評価。

(1) 30年目の技術評価の検証

① 事故・トラブル事象の分析

(2. 30年目の技術評価の検証と反映)

事業者は、30年目以降に発生した経年劣化に関連する事故・トラブルのうち30年目の評価の検証に係わる9件を抽出し、40年目の評価に反映すべき事項等を整理した。

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| ①A-1次冷却材ポンプシール水漏洩に伴う原子炉主導停止について(法令対象) | ⑥原子炉格納容器送気ラインベローズの点検結果 |
| ②復水器清掃について | ⑦主給水管の減肉について |
| ③原子炉補助建屋内での海水漏洩について | ⑧2次系配管肉厚測定結果について |
| ④復水器清掃について | ⑨原子炉格納容器内Bループ室壁面からの僅かな水のにじみについて |
| ⑤原子炉冷態停止中における「中性子源領域中性子束高」警報発信について | |



30年目の評価の問題点	事故・トラブル事象	40年目の評価への対応
取替え基準が不明確で運用上の不備	①	シールスプリングの劣化によりA-1冷却材ポンプシール水が漏洩し、原子炉を手動停止した。シールスプリングを定期検査毎に取り替える定期取替え品とし、評価対象外とした。
知見がなく評価できなかったもの	⑥、⑨	フィルター下流の送排気管ベローズ内面(⑥)及びプール型容器のキャビティ(⑨)から塩素型応力腐食割れが発生した。「着目すべき経年劣化事象」として評価を実施した。
保守管理上の不備	⑦	配管減肉管理において、必要厚さの評価に用いる規格の解釈に誤りがあった。人的過誤を防止するためシステム化を実施した。
運用管理上の不備	③、⑤	海水系バタフライ弁の開度設定不良により、下流で発生したキャビテーションでライニングが損傷した。運転マニュアルにキャビテーション発生防止を反映(③)定期検査中に格納容器内小型クレーン電源回路の電磁接触器接点より発生したノイズで中性子源領域中性子束高警報が発信した。電磁接触器を定期取替え品とし、炉外核計装装置の耐ノイズ性を向上した。
異物等の要因	②、④	海生物の異常発生により運転中に復水器の洗浄が必要となった。経年劣化事象ではなく、特に対策はなされていない。
新しい技術規格の反映	⑧	減肉管理対象外であったスチームコンバータードレン配管を新規格(JSME S NG1-2006)に則り肉厚測定を実施した。必要厚さを下回っていた箇所をステンレス鋼配管に取り替えた。

① 事故・トラブル事象の分析(続き)

指摘事項	対応結果
30年目の評価以降に発生した経年劣化に起因する事故・トラブルについて、分析評価を充実し、経年劣化事象に起因する事故・トラブル等の検討結果を反映すること。	30年目の評価以降に発生した経年劣化に起因する事故・トラブル9件のうち6件について、30年目の高経年化技術評価の考察、40年目高経年化評価への反映事項などについて分析評価を充実し、高経年化技術評価書を修正した。

国の主な確認内容

- ・シールスプリングを定期取替品とした社内文書及び定期検査毎に取り替えられている実績記録を確認した。
- ・30年目の評価で予測できなかった2件の塩素型応力腐食割れについては、40年目の評価において着目すべき経年劣化事象として評価を実施しており、対策として実施された点検や補修の記録により評価書の内容を確認した。
- ・その他の6件については、必要な対策が行われていることを保全記録等によって確認した。



これらの結果、30年目以降に美浜1号で発生した事故・トラブルの原因を分析して、その結果が40年目の評価に的確に反映されていると評価した。

② 30年目以降の経年劣化傾向の評価

事業者は、40年目の技術評価項目として、8事象とそれ以外の日常劣化管理事象について30年目以降の経年劣化傾向の評価を実施した。

事業者の評価			国の主な確認内容
経年劣化事象	評価部位	経年劣化傾向の評価	
低サイクル疲労	原子炉容器等	60年時点の過渡回数予測値及び疲れ累積係数の比較	評価プロセスと内容の妥当性を確認し、実績過渡回数、最新規格当を用いて、疲れ累積係数が1以下であることを確認。
中性子照射脆化	原子炉容器	30年目評価脆化予測と過去10年間の監視試験データを反映した脆化予測との比較 JEAC4201-2004とJEAC4201-2007に従った予測値の比較	脆化予測が妥当であり、特異な脆化が認められないこと及び最低使用温度管理の適切であることを確認。
応力腐食割れ (IASCC)	炉内構造物(バッフルフォーマボルト等)	60年時点の累積照射量の比較	取替による累積照射量の低下、現状保全内容の妥当性及び追加保全の策定を確認
2相ステンレス鋼の熱時効	一次冷却材管	60年時点の熱時効予測評価及び想定欠陥による破壊評価の比較	靱性値の予測評価及び弁箱の健全性評価結果に変化がないことを確認。
絶縁低下	事故時に機能要求があるケーブル	30年目時点と40年目時点での評価結果を比較(実機プラントの環境調査結果及びケーブル製造メーカーの違いを反映)	実機環境調査結果、製造メーカーを考慮した評価結果及び追加保全の策定を確認。
コンクリートの強度及び遮へい能力低下	原子炉建屋等	30年目時点と40年目時点での評価結果を比較(予測評価に用いたデータの比較)	評価に用いた温度、放射線照射量の解析値、評価内容、劣化評価結果及び追加保全の策定を確認



30年目の評価以降に得られた美浜1号の新しいデータで30年目の予測評価から大きく乖離したものはなく、また、乖離が認められた場合でも最新知見に基づいて評価されており、30年目の評価が不十分であったわけではなく、40年目の評価では新しいデータを反映して的確に予測されていると評価した。

(2) 保全実績の評価

事業者は、30年目の技術評価において現状保全の継続により健全性を維持できるとしたものであって、過去10年間の保全実績に基づきその有効性を評価した。

事業者の評価		国の妥当性評価
30年目の評価結果	40年目の評価	
(1) 制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗に関して、定期的に全制御棒の落下試験により検知可能である。	日本機械学会維持規格(JSME S NA1-2008)等に基づき、目視検査実施時期の検討を行う。	現状保全(落下試験)に加えて、民間規格化を受けて目視検査の実施を検討するもので、妥当である。
(2) タービン発電機 固定子コイル及び固定子相リードの絶縁低下に関して、定期的な絶縁診断を実施する。	第26回定期検査時に固定子コイルの巻替えを実施する。	現状保全の継続に加えて適切な時期に機器全体の取替えの実施を選択し、長期保守管理方針としたもので、妥当である。
(3) 主変圧器 コイルの絶縁低下に関して、定期的な絶縁抵抗測定、絶縁紙の重合度の変化確認、油中ガス分析を実施する。	第25回定期検査時に変圧器の取替えを実施する。	
(4) 格納容器循環ファンモータ 固定子コイル及び口出線の絶縁低下に関して、定期的に絶縁抵抗測定を実施する。	第25回定期検査時にモータの取替えを実施する。	
(5) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れに関して、定期的な超音波探傷検査、漏洩試験を実施する。	炉内計装筒内面及びJ-溶接部、冷却材出入口管台並びに安全注入管台溶接部にウォータージェットピーニングを施工した。供用期間中検査時に超音波探傷検査またはベアメタル検査を実施する。	
		応力腐食割れが発生する可能性を低減させた上で供用期間中検査時に検査を継続するもので、これらによりトラブルを未然に防止できたもので、現状保全が有効であるとすることは妥当である。

(3) 30年目の長期保守管理方針の有効性評価

① 30年目の長期保守管理方針の有効性評価に対する国からの指摘事項及びその対応

指摘事項	対応結果
<p>1. 30年目の評価以降に発生した経年劣化に起因する事故・トラブルについて、分析評価を充実し、経年劣化事象に起因する事故・トラブル等の検討結果に反映すること。</p>	<p>30年目の評価以降に発生した経年劣化に起因する事故・トラブル9件の内6件について、30年目の高経年化技術評価の考察、40年目高経年化評価への反映事項などについて、分析評価を充実し、高経年化技術評価書を修正した。</p>
<p>2. ステンレス鋼閉塞滞留配管の溶接部に追加的に超音波探傷検査を実施するとした30年目の長期保守管理方針に関して、追加的に実施された範囲と内容が具体的に示されていないので明確にすること。また、超音波探傷検査を実施していない溶接線があるにもかかわらず長期保守管理方針が有効であったとしていることについて、超音波探傷検査を実施することにより意図した効果を明確にするとともに、その効果が得られたか否かを明確にすること。</p>	<p>ステンレス鋼閉塞滞留配管の溶接部に追加的に超音波探傷検査を実施するとした30年目の長期保守管理方針に関して、追加的に実施された関連部位の検査と予防保全の内容を具体的に記載するとともに、30年目の評価において対象とした範囲には304系ステンレス鋼が存在せず、316系ステンレス鋼の溶接線には維持規格に則って超音波探傷検査を実施していることから、意図した当該配管の健全性が得られ、長期保守管理方針が有効であった旨、高経年化技術評価書を修正した。</p>
<p>3. 蒸気加減弁の弁体ボルトの非破壊検査を行うとした30年目の長期保守管理方針に対して、ボルトを新しい材料に取り替えた技術的根拠を明確にすること。また非破壊検査を行うことにより意図した効果を明確にするとともに、その効果が得られたか否かを明確にすること。</p>	<p>蒸気加減弁の弁体ボルトの取替え前後の材質とその効果を明確にするとともに、当初意図した当該ボルトの長期健全性の確保が取替えによって得られたことから長期保守管理方針として有効であった旨、高経年化技術評価書を修正した。</p>
<p>4. 1次冷却材ポンプ熱遮へい装置ハウジング、フランジの超音波探傷検査を行うとした30年目の長期保守管理方針に対して、旧品の超音波探傷検査を行わず新品に取替えたことが予防保全としてより有効であるとしていることに関し、超音波探傷検査を行うことにより意図した効果を明確にするとともに、その効果が得られたか否かを明確にすること。</p>	<p>1次冷却材ポンプ熱遮へい装置ハウジング、フランジの熱疲労割れに関して、予防保全策としてプラント運転開始から39年目に取替えを選択することにより、新しい熱遮へい装置ハウジング、フランジは60年の供用を想定しても経年劣化期間が取り替えられたものを上回らないことから、当初意図した長期健全性の確保が得られ、長期保守管理方針として有効であった旨、高経年化技術評価書を修正した。</p>

① 30年目の長期保守管理方針の有効性評価に対する国からの指摘事項及びその対応(続き)

指摘事項	対応結果
<p>5. 基礎ボルトの大気接触部の全面腐食の調査については、30年目の長期保守管理方針で機会があれば実施するとしていたが機会がなかったことから、40年目の長期保守管理方針は、調査が確実に行われるものとする。また、機会がなかったとしていることについて、組織体制を含め問題がなかったか評価すること。</p>	<p>40年目の長期保守管理方針においては、より確実に長期保守管理方針として実施するため、「美浜発電所1号炉も含め原子力発電所共通として基礎ボルトを取り外す機会を利用」する旨、高経年化技術評価書を修正した。 長期保守管理方針も同様に修正した。 機会がなかったことを確認し、組織体制の問題ではなかったと評価した。</p>
<p>6. ケミカルアンカの樹脂の劣化の調査については、30年目の長期保守管理方針で機会があれば実施するとしていたが機会がなかったことから、40年目の長期保守管理方針は、調査が確実に行われるものとする。また、機会がなかったとしていることについて、組織体制を含め問題がなかったか評価すること。</p>	<p>40年目の長期保守管理方針においては、より確実に長期保守管理方針として実施するため、「美浜発電所1号炉も含め原子力発電所共通としてケミカルアンカを取り外す機会を利用」する旨、高経年化技術評価書を補正した。 長期保守管理方針も同様に修正した。 機会がなかったことを確認し、組織体制の問題ではなかったと評価した。</p>

② 30年目の長期保守管理方針の有効性評価結果

30年目の長期保守管理方針	事業者の有効性評価	国の妥当性評価
①余熱除去系配管等の高温、高溶存酸素となる可能性のある閉塞滞留部の保守管理	超音波検査等を実施し健全性を確認でき、有効であった。今後は 保全計画に取り込み 検査を実施する。	健全性を確認した上で検査を継続するもので、妥当である。
②原子炉容器600系ニッケル基合金使用部位の保守管理	計画的な予防保全や点検により健全性が確認でき、有効であった。今後は 保全計画に取り込み 、超音波探傷検査、ベアメタル検査を実施する。	健全性を確認し、予防保全を施工した上で検査を継続するもので、妥当である。
③高圧タービン翼端ボルトの保守管理	計画的な点検により健全性が確認でき、有効であった。今後は 保全計画に取り込み 、定期的に目視検査及び超音波探傷検査を実施する。	健全性を確認した上で検査を継続するもので、妥当である。
④炉内構造物ハッフルフォーマボルトの保守管理	超音波探傷検査を実施した上で、耐食性のより優れた材料のボルトに取り替えており、有効であった。今後は維持規格に基づき超音波探傷検査実施を検討することを 長期保守管理方針 とした。	健全性を確認した上で検査の実施を検討するもので、妥当である。
⑤蒸気加減弁 弁体ボルトの保守管理	ボルトの全数を耐食性のより優れた材料のものに取替え、有効であった。	長期使用実績があり、材料を改良しており、妥当である。
⑥主蒸気系統の炭素鋼配管の保守管理	計画的な予防保全や点検を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。今後は 保全計画に取り込み 点検を実施する。	健全性を確認した上で検査を継続するもので、妥当である。
⑦復水器真空ポンプシール水クーラ伝熱管の保守管理		
⑧変圧器タンクの保守管理	計画的な調査により健全性が確認でき、有効であった。	実機調査に基づき60年時点の健全性を評価しており、妥当である。
⑨燃料油貯蔵タンク胴板の保守管理	計画的な点検を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。今後は 保全計画に取り込み 検査を実施する。	健全性を確認した上で検査を継続するもので、妥当である。
⑩化学体積制御系統配管の保守管理	計画的な予防保全/点検を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。	長期供用後に健全性を確認しており、妥当である。
⑩主給水系統配管及び補助給水系統配管の疲労割れの保守管理		

② 30年目の長期保守管理方針の有効性評価結果(続き)

30年目の長期保守管理方針	事業者の有効性評価	国の妥当性評価
⑩⑪余熱除去系配管母管の高サイクル熱疲労割れの保守管理	計画的な予防保全や点検を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。今後は、高低温水合流部の疲労割れについて実過渡回数に基づく評価を技術評価に合わせて定期的に実施する。	健全性を確認した上で取替えを実施しており、妥当である。
⑫一次冷却材ポンプの熱遮蔽装置ハウジング、フランジの熱疲労割れの保守管理	予防保全として熱遮蔽装置の取替えを実施し、60年間の健全性が確保され、有効であった。	長期供用実績があり、予防保全として取替えを実施しており、妥当である。
⑬原子炉格納容器電気ペネトレーション絶縁低下の保守管理	計画的な点検を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。今後、実機同等品の長期健全性試験により再評価することを長期保守管理方針とした。	技術評価審査マニュアルに照らして妥当である。
⑭⑮高圧ケーブル、低圧ケーブルの保守管理	計画的な調査(実機のケーブル敷設環境調査)を行い、長期健全性を評価でき、有効であった。今後、低圧ケーブルの一部については健全性を評価したものと同等品への取替えを実施することを長期保守管理方針とした。	
⑯発電主回路接続装置、メタクラ等の保守管理	計画的な調査、予防保全及び研究を実施することにより健全性が確認でき、有効であった。	研究成果に基づき60年供用時の健全性を評価しており、妥当である。
⑰コンクリート建造物の保守管理	計画的な点検を実施することにより健全性に問題ないことが確認され、有効であった。今後は保全計画に取り込み、点検を継続する。	健全性を確認した上で点検を継続するもので、妥当である。
⑱基礎ボルト(埋め込みボルト、メカニカルアンカ、ケミカルアンカ)の保守管理	調査する機会がなく、有効性は評価できなかった。40年目の技術評価では確実に調査を実施することを長期保守管理方針とした。	電力共通として確実に機会を捉えて調査を実施するもので、妥当である。
⑳各種機器の疲労割れに対する保守管理	実過渡回数による疲労評価を実施し、健全性が確認でき、有効であった。今後は技術評価に合わせて実過渡回数による再評価を実施する。	健全性を確認した上で技術評価に併せて再評価するもので、妥当である。



30年目の長期保守管理方針の実施実績が分析評価され、その結果が40年目の長期保守管理方針に的確に反映されていると評価した。

3. 長期保守管理方針

・現状保全に追加すべき保全策とされたものについて、具体的な保全方針を定めた以下の長期保守管理方針を策定。

No	経年劣化事象	項目	実施時期 ^{※1}
1	スケール付着	蒸気発生器伝熱管の伝熱性能の傾向監視によるスケール除去要否の検討	中長期
2	絶縁低下	三重同軸型電気ペネトレーション及びピッグテール型電気ペネトレーション ^{※2} の実機同等品による健全性の再評価	中長期
3	摩耗	炉内構造物の制御棒クラスタ案内管の摩耗について、日本機械学会 維持規格等の保全への反映	中長期
4	照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物のバッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについて、日本機械学会 維持規格に基づく超音波探傷検査要否の検討	中長期
5	絶縁低下	事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルの絶縁低下について、製造メーカーの実機調査とその結果に基づく取替え	短期
6	コンクリートの強度低下	耐熱コンクリートの強度低下について、キャビティシール取り付け時の隙間計測による傾向監視 ^{※3}	中長期
7	絶縁低下	格納容器循環ファンモータの固定子コイル等の絶縁低下について、モータの取替	短期
8	全面腐食	スタッドボルト等 ^{※4} の全面腐食について、美浜1号も含めた原子力発電所共通として基礎ボルトの調査	中長期
9	樹脂劣化	ケミカルアンカの樹脂劣化について、美浜1号も含めた原子力発電所共通としてケミカルアンカの調査	中長期
10	絶縁低下	タービン発電機の固定子コイルの絶縁低下について、固定子コイルの巻替	短期
11	絶縁低下	主変圧器のコイルの絶縁低下について、主変圧器の取替	短期

※1：短期は平成22年11月28日からの5年間、中長期は平成22年11月28日からの10年間に実施

※2：代表機器と製造メーカーが異なるもの

※3：審議の過程で追加された長期保守管理方針

※4：スタッドボルト、テーパボルト及びシールド(メカニカルアンカ)、アンカボルト(ケミカルアンカ)