

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK補-Ⅲ-3 改19
提出年月日	平成30年8月30日

東海第二発電所 劣化状況評価
(照射誘起型応力腐食割れ)

補足説明資料

平成30年8月30日
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
(1) 評価対象	4
(2) 評価手法	5
4. 技術評価	6
4.1 炉内構造物の技術評価	6
(1) 健全性評価	6
(2) 現状保全	8
(3) 総合評価	13
(4) 高経年化への対応	13
4.2 制御棒の技術評価	14
(1) 健全性評価	14
(2) 現状保全	15
(3) 総合評価	16
(4) 高経年化への対応	16
5. まとめ	17
(1) 審査基準適合性	17
(2) 保守管理に関する方針として策定する事項	17

別紙 1. 原子炉冷却材の水質の管理値と至近の実績について	23
別紙 2. 炉内構造物の運転開始後 60 年時点での中性子照射量について	25
別紙 3. 上部格子板グリッドプレートに発生する応力について	31
別紙 4. 炉内構造物に関する照射誘起型応力腐食割れ発生可能性の評価について	34
別紙 5. 炉心シュラウドの照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価について	36
別紙 6. 炉心シュラウドの照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価について (追加評価)	48
別紙 7. ウォータージェットピーニング施工による応力腐食割れ抑制効果について	79
別紙 8. 貴金属コーティング施工による応力腐食割れ抑制効果について	90
別紙 9. 制御棒上部ハンドル部で確認されたひび及び応力腐食割れ対策について	94
別紙 10. 原子炉水のトリチウム濃度測定結果について	98

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 114 条の規定に基づく、劣化状況評価の補足として照射誘起型応力腐食割れの評価結果を説明するものである。

オーステナイト系ステンレス鋼は、高い中性子照射を受けると材料自身の応力腐食割れの感受性が高くなる。照射誘起型応力腐食割れは、この状況に引張応力が作用すると粒界型応力腐食割れが生じる現象である。

なお、炉内構造物の各機器及び制御棒は原子炉冷却材と接液しており、通常運転時の温度は約 285 °C である。また、原子炉冷却材の水質管理においては、社内規程「化学管理基準」において管理値を定め、水質管理を実施している。原子炉冷却材の水質の管理値と至近の実績について別紙 1 に示す。

2. 基本方針

照射誘起型応力腐食割れに対する評価の基本方針は、対象部位において照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性について評価し、その可能性が将来にわたって発生することが否定できない場合は、その発生及び進展を前提としても今後 60 年時点までの期間において「発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下、「技術基準規則」という）に定める基準に適合することを確認することである。

照射誘起型応力腐食割れを評価するに当たっての要求事項を表 1 に整理する。

表 1(1/3) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項

審査基準, ガイド	要求事項
実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準	○健全性評価の結果、評価対象部位において照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性が認められる場合は、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても技術基準規則に定める基準に適合すること。
実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド	運転期間延長認可申請に伴うものとして評価を行い、その結果の記載が求められる事項は次のとおり。 ①特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。 運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。 ①劣化状況評価を踏まえた保守管理に関する方針。

表 1(2/3) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項

審査基準, 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>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド 3. 1 ⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</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 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(3/3) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項

審査基準, 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>③運転開始後 40 年を迎えるプラントの高経年化技術評価には、当該申請に至るまでの間の運転に伴い生じた原子炉その他の設備の劣化の状況の把握のために実施した点検(特別点検)の結果を適切に反映すること。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策(以下「追加保全策」という。)を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価 プラントの運転を開始した日から 60 年間</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当たっては、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全ての追加保全策(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全て。)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>

3. 評価対象と評価手法

(1) 評価対象

炉心を取り囲む機器である炉内構造物は材料がステンレス鋼であり、このうちオーステナイト系ステンレス鋼は比較的高い累積中性子照射量を受けた場合に照射誘起型応力腐食割れの感受性が現れると考えられている。

比較的高い累積中性子照射量を受ける機器としては、炉内構造物のうち炉心を取り囲む機器である炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具、制御棒案内管及び制御棒を評価対象とする。

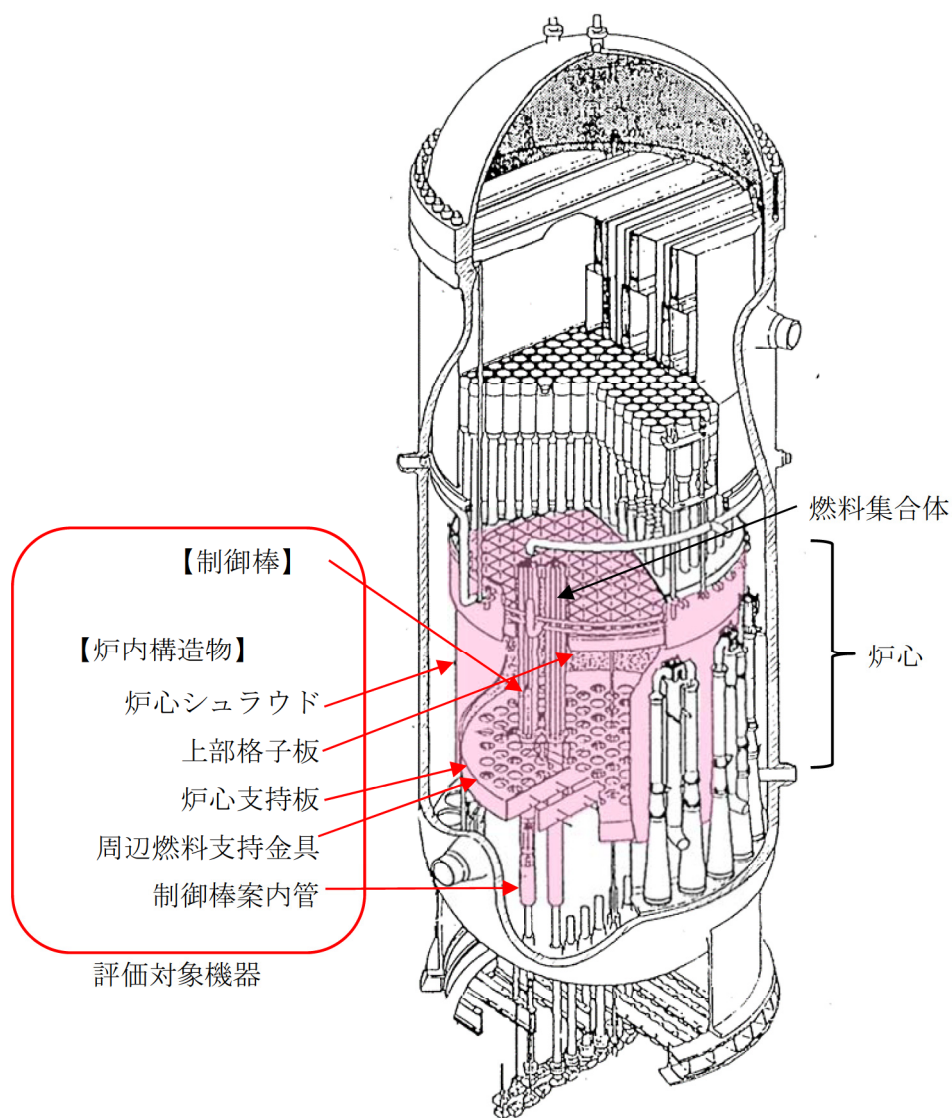


図1 原子炉压力容器鳥瞰図と評価対象機器

(2) 評価手法

① 炉内構造物

炉内構造物については、炉心を取り囲む機器である炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具、制御棒案内管について、運転開始後 60 年時点での予想中性子照射量を算出し、照射誘起型応力腐食割れの感受性が現れると考えられている照射量（以下、「しきい照射量」という）を超えるかを確認する。

次に、しきい照射量を超えると予想された機器については、材料、環境及び応力の観点で照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性を評価する。

最後に、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性を評価した結果、その発生の可能性が否定できないものについては、その発生及び進展を前提としても 60 年時点までの期間において技術基準規則に定める基準に適合することを確認する。

② 制御棒

制御棒については、中性子照射量に応じた核的寿命に対して保守的に定めた取替基準に基づき取替を実施していることから、この取替基準に基づく取替によって制御棒の機能が維持できることを評価することで、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても 60 年時点までの期間において技術基準規則に定める基準に適合することを確認する。

③ 適用規格

評価に用いた規格を以下に示す。

- ・ 社団法人 日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008 (AESJ-SC-P005:2008)
- ・ 社団法人 日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2008) (以下、「維持規格」という)

4. 技術評価

4.1 炉内構造物の技術評価（炉心シュラウド，上部格子板，炉心支持板，周辺燃料支持金具，制御棒案内管）

(1) 健全性評価

① 中性子照射量と照射誘起型応力腐食割れの感受性の関係

炉心を取り囲む機器である炉内構造物は材料がステンレス鋼であり，このうちオーステナイト系ステンレス鋼はしきい照射量以上の中性子照射量を受けた場合に照射誘起型応力腐食割れの感受性が現れると考えられている。（表 2 参照）

表 2 照射誘起型応力腐食割れの感受性発現しきい照射量*1

材料	しきい照射量 [n/m ²] *2
ステンレス鋼 (SUS304)	約 5×10 ²⁴
ステンレス鋼 (SUS316)	約 1×10 ²⁵

*1 「東海第二発電所 劣化状況評価書」（平成 29 年 11 月）のうち，「炉内構造物の技術評価書」図 2.3-2。維持規格 解説 IJG-B-3 「上部格子板の個別検査の試験内容」。

*2 高速中性子（エネルギー>1 [MeV]）。本文にて特に断りのない場合は高速中性子の照射量をいう。

② 炉内構造物の中性子照射量

炉内構造物のうち，炉心を取り囲む機器である炉心シュラウド，上部格子板，炉心支持板，周辺燃料支持金具，制御棒案内管における運転開始後 60 年時点での予想中性子照射量は以下の値と想定される。（表 3 参照）

炉内構造物の各部における使用材料及び運転開始後 60 年時点での中性子照射量，その算出の考え方及び算出過程については別紙 2 に示す。

表 3 炉内構造物各機器の使用材料及び運転開始後 60 年時点での中性子照射量

評価対象機器	材料	中性子照射量 [n/m ²]
炉心シュラウド	[]	約 2.0×10 ²⁵
上部格子板		約 2.9×10 ²⁵
炉心支持板		約 2.1×10 ²⁴
周辺燃料支持金具	SUS304 TP	約 7.1×10 ²³
制御棒案内管	[]	約 2.1×10 ²⁴

照射誘起型応力腐食割れ感受性の発生が考えられるしきい照射量以上の中性子照射量を受ける炉内構造物は，炉心シュラウド中間胴及び上部格子板グリッドプレートである。

③ 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性評価

炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手（熱影響部含む）は、しきい照射量を超えるものの、内面には水素注入に対して触媒効果のある貴金属をコーティングして、局部的に腐食環境の改善効果を向上させているため、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は小さいものの、将来にわたって発生することが否定できない。また、炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手の外面にはウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

炉心シュラウド中間胴の母材部は、しきい照射量を超えるものの、溶接による残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

上部格子板のグリッドプレートは、しきい照射量を超えるものの、溶接部がないため溶接による残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分は低く、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。上部格子板のグリッドプレートに発生する応力を評価した結果を別紙 3 に示す。

炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管については、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

炉内構造物に関する照射誘起型応力腐食割れ発生可能性の評価を別紙 4 に示す。

④ 炉心シュラウドの照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価

炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手内面は、上述のとおり貴金属コーティングによる応力腐食割れに対する予防保全対策を実施しており照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は小さいものの、将来にわたって発生することが否定できない。このため、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価を行った。

評価は、当初の評価（別紙 5 参照）に対し、溶接残留応力を考慮した追加評価により実施するものとし、炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手に内面全周亀裂を想定した評価モデルを用いて応力拡大係数を算出した結果、地震時の応力拡大係数は、安全率を考慮した場合でも運転開始後 60 年時点の破壊靱性値を下回ることを確認した。評価結果を別紙 6 に示す。

(2) 現状保全

① 点検状況

中性子照射量評価により，照射誘起型応力腐食割れのしきい照射量を超える中性子照射を受ける炉内構造物（炉心シュラウド，上部格子板）の保全の状況は以下のとおりである。

炉内構造物（炉心シュラウド，上部格子板）については，維持規格に基づき定期的に水中テレビカメラによる目視点検を実施しており，有意な欠陥は確認されていない。維持規格に基づく点検内容を表4に，点検範囲の概略図を図2に示す。

表4 維持規格に基づく点検内容（炉内構造物供用期間中検査）

点検対象		点検方法	点検頻度	至近の点検実績	点検結果
炉心シュラウド周溶接継手 H4 ^{*4}	内面	MVT-1	運転時間で 5～15年	第24回定期検査 (2009年)	良 ^{*7}
	外面	MVT-1	運転時間で 5～15年	第25回定期検査 (2015年)	良 ^{*7}
炉心シュラウド ^{*5}		VT-3	10年 ^{*6}	第25回定期検査 (2015年)	良 ^{*8}
上部格子板 ^{*5}		VT-3	10年 ^{*6}	第25回定期検査 (2015年)	良 ^{*8}

*4 維持規格 IJG 炉内構造物の個別検査（表 IJG-2500-B-2）に，亀裂の解釈の条件（縦溶接線との交差部を含む）を課した上で実施。

H4 は，炉心シュラウドの点検個所である周溶接継手のうち，しきい照射量を超えるもの。

*5 維持規格 IG 炉内構造物の標準検査（表 IG-2500-1，添付 I-4）による。

*6 維持規格 IA-2310 検査間隔による。

*7 MVT-1 の判定基準；表面について，摩耗，き裂，腐食，浸食等の異常がないこと。

*8 VT-3 の判定基準；過度の変形，心合わせ不良，傾き，部品の破損及び脱落がないこと。

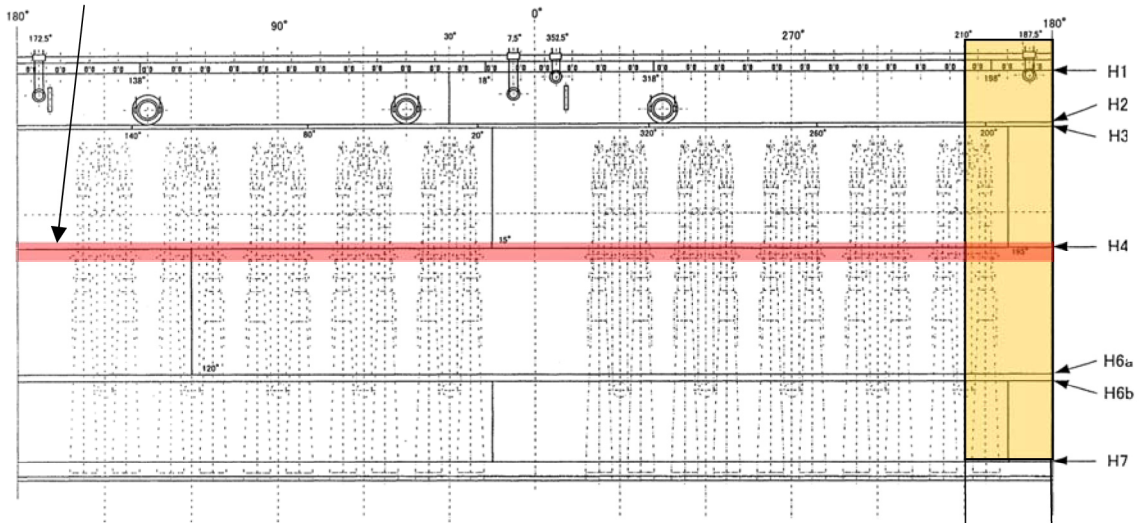
炉心シュラウドの周溶接継手 H4 内面については，貴金属コーティングによる応力腐食割れに対する予防保全対策を実施しているが，溶接による残留引張応力が存在することを考慮し，表4の維持規格に基づく点検頻度に達しない時期（4定期検査毎）に目視点検（MVT-1）を実施し健全性を確認することとしている。

また，中性子照射量が評価上最も厳しい上部格子板のグリッドプレートについては，長期保守管理方針に基づき，第25回定期検査時（2015年）に水中テレビカメラによる目視点検（MVT-1）を実施し，有意な欠陥は確認されていない（図3参照）。今後は，表4の維持規格に基づく点検に加え，保守管理の実施に関する計画に基づく点検計画にしたがって定期的（維持規格 IA-2310 検査間隔に準じて10年）に目視点検（MVT-1）を実施し，健全性を確認することとしている。

炉心シュラウド周溶接継手 H4 MVT-1 点検範囲

内面：全長の 100% (第 24 回定期検査)

外面：全長の 100% (第 25 回定期検査) ジェットポンプを取り外して点検



炉心シュラウド
VT-3 点検範囲
周方向 7.5%
(180~210°)
(第 25 回定期検査)

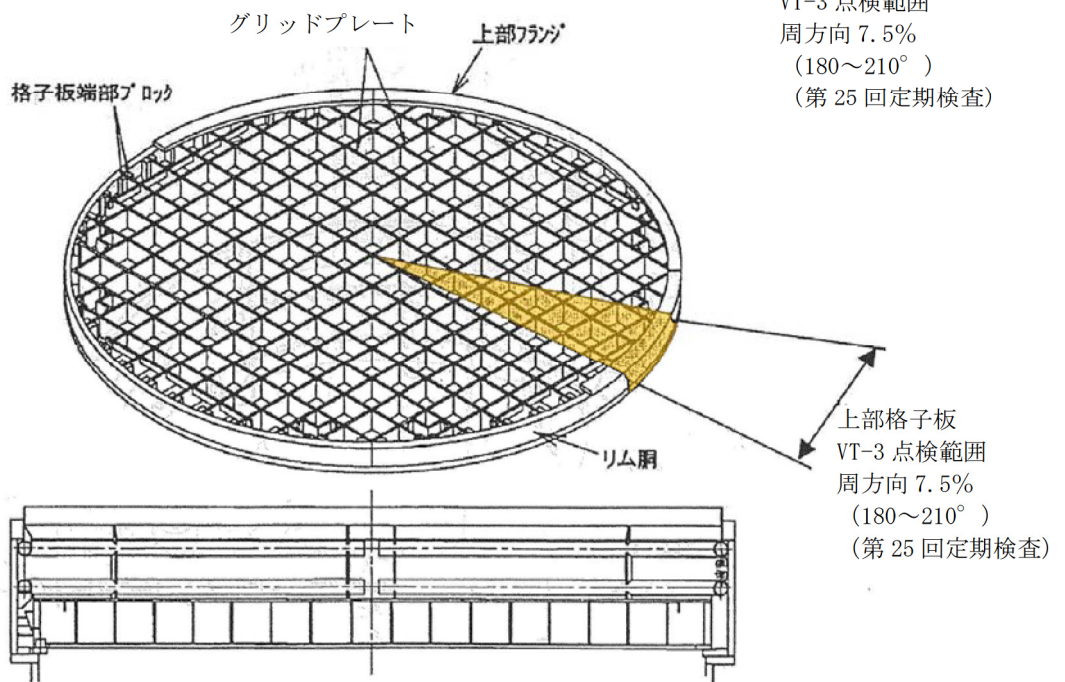


図 2 維持規格に基づく点検範囲概略図

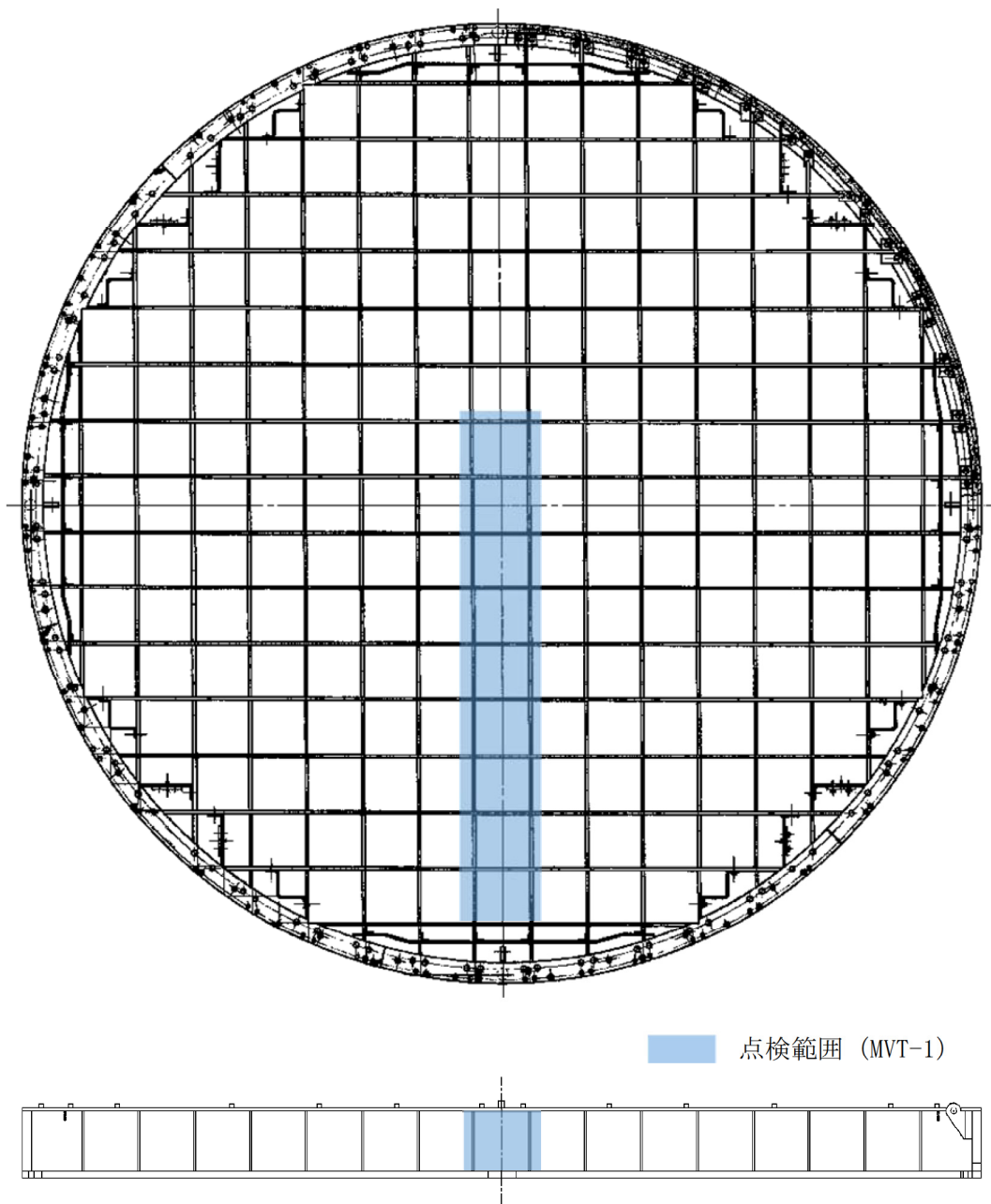


图 3 上部格子板点検範囲概略図

② 応力腐食割れに対する予防保全対策

応力腐食割れについては、発生因子である「応力」、「材料」、「環境」を改善することで発生を抑制する効果が期待できる。

照射誘起型応力腐食割れのしきい照射量を超える中性子照射を受ける炉内構造物（炉心シュラウド、上部格子板）に対する応力腐食割れの抑制対策について表5に示す。

表5 炉内構造物（炉心シュラウド、上部格子板）の応力腐食割れの抑制対策

発生因子	炉心シュラウド	上部格子板
応力	▶ ウォータージェットピーニング施工による溶接残留応力の改善(1999年)*9	—
材料	▶ 低炭素ステンレス鋼 SUS304L を使用	—
環境	▶ 水素注入による腐食電位の低減(1997年1月～) ▶ 貴金属コーティング施工による腐食環境の改善(1999年)*10	▶ 水素注入による腐食電位の低減(1997年1月～)

*9 周溶接継手 H3, H4 外面等 図4 参照

*10 周溶接継手 H3, H4 内面等 図4 参照

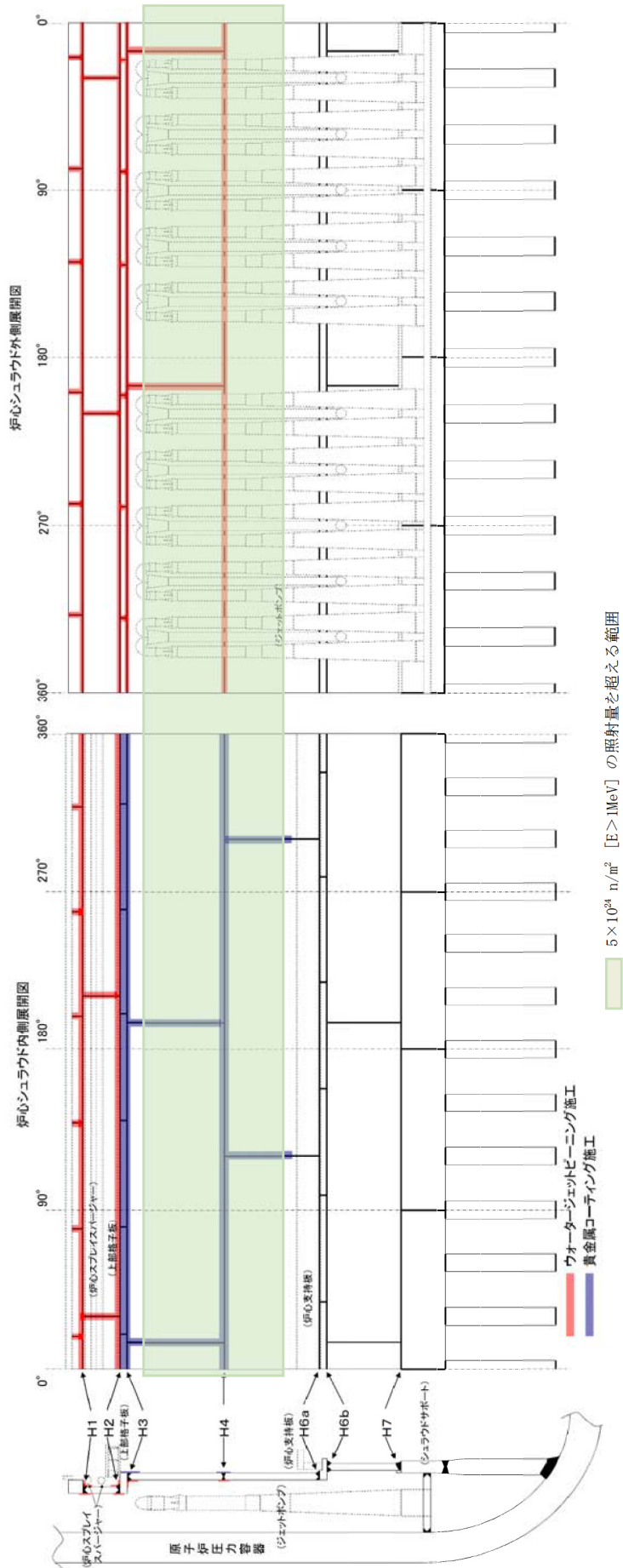
なお、ウォータージェットピーニング施工及び貴金属コーティング施工に先立ち、目視点検（MVT-1）を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

ウォータージェットピーニング施工は、維持規格において、「RB-2450 ピーニング方法」に応力腐食割れの予防保全として施工方法が記載されている。

貴金属コーティング施工は、維持規格において、「RB-2530 金属粉末溶射クラッド方法」に応力腐食割れの予防保全として施工方法が記載されている。

炉心シュラウドに実施したウォータージェットピーニング施工に関する応力腐食割れの抑制効果を別紙7に、貴金属コーティング施工に関する応力腐食割れの抑制効果を別紙8に示す。

水素注入による応力腐食割れの発生・進展を抑制する技術は、国内外の数多くの沸騰水型軽水炉プラントで採用されている。東海第二では、通常運転時に加え、起動時における水素注入を第19回定期検査後の起動時（2002年12月）から運用を開始している。



注) H4 周溶接継手については、外面のウォータージェットピーニング及び内面の貴金属コーティングとともに、全長の100%を施工した。

図4 炉心シュラウド 応力・環境改善箇所概要図 (1999年 第17回定期検査)

(3) 総合評価

炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手内面（熱影響部含む）は、応力腐食割れ低減対策を実施しており照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は小さいものの、将来にわたって発生することが否定できないため、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価を行った結果、運転開始後 60 年時点の中性子照射量を考慮しても不安定破壊に至ることはなく、維持規格等に基づき計画的に目視点検を実施することにより健全性の確認は可能であると判断する。

炉心シュラウド中間胴 H4 周溶接継手外面は、ウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。また、維持規格に基づき計画的に目視点検を実施することにより健全性の確認は可能であると判断する。

炉心シュラウド中間胴の母材部は、しきい照射量を超えるものの、溶接による残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

上部格子板のグリッドプレートは、しきい照射量を超えるものの、溶接部がないため溶接による残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分は低く、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

さらに、維持規格に基づく点検に加え、定期的に目視点検を実施することとしており、健全性の維持は可能であると判断する。

炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管については、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。

(4) 高経年化への対応

炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管の照射誘起型応力腐食割れに対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はない。

4.2 制御棒の技術評価

(1) 健全性評価

制御棒に使用されているステンレス鋼は、4.1 で述べたとおり、しきい照射量（SUS304：約 5×10^{24} n/m²，SUS316：約 1×10^{25} n/m²）を受けた場合に照射誘起型応力腐食割れの感受性が現れると考えられている。

東海第二で使用している制御棒はボロン・カーバイド型制御棒であり、その上部に位置し、高い照射量を受ける制御材被覆管、シース、タイロッド、ピン、上部ハンドルについては、表6に示す材料を使用しており、一部を除きステンレス鋼である。

ボロン・カーバイド型制御棒は、軸方向に4分割した各セグメントのいずれかの平均反応度が新品の90%まで減少した時の核的寿命に対して保守的に定めた運用基準（取替基準： 2.0×10^{25} n/m²（熱中性子）、取替目標値： 1.5×10^{25} n/m²（熱中性子））に基づき取替を実施している。ボロン・カーバイド型制御棒を出力制御用として運転中炉心に挿入する場合、その上部は高い中性子照射を受けることから、この取替の運用基準に従って取替えることになるが、照射量の観点からは、照射誘起型応力腐食割れ感受性の発生が考えられるしきい照射量以上の中性子照射量を受けるため、ステンレス鋼の使用部位に照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

表6 ボロン・カーバイド型制御棒の上部の使用材料

部位	A社製	B社製
制御材被覆管	(コバルト基合金)	
シース		SUS316L
タイロッド		SUS316L
ピン		(ステンレス鋼)
上部ハンドル		SUS316L

制御材被覆管、シース、タイロッド、ピン、上部ハンドルは溶接熱影響部に引張残留応力が存在する。また、制御材被覆管には、制御材の熱中性子捕獲による¹⁰B (n, α) ⁷Li反応によるHe発生に伴う内圧上昇、並びに制御材の体積膨張によって引張応力が作用する。

このため、ボロン・カーバイド型制御棒については、応力の観点からも照射誘起型応力腐食割れの発生する可能性は否定できない。

なお、東海第二において、第17回定期検査時（1999年）にA社製制御棒上部ハンドルローラ近傍に製造時の残存不純物と照射量蓄積の相乗効果により、照射誘起型応力腐食割れと推定されるひびが発見された。この制御棒は、出力調整のため運転中炉心に挿入されていたため比較的高い中性子照射量となっていた。このため、ひびが発見された制御棒及び同じ製造履歴のA社製制御棒25本について、不純物が残留している恐れのないB社製制御棒と取替を実施した。その後、B社製制御棒は上部ハンドルガイドローラのピ

ン穴に通水溝を設けた応力腐食割れ対策品に設計変更されており、ボロン・カーバイド型制御棒の取替にあたっては、第18回定期検査以降、この応力腐食割れ対策品を採用している。

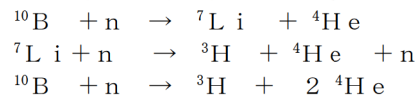
B社製制御棒のうち、応力腐食割れ対策品に設計変更される以前に取り付けた制御棒については、2011年に照射誘起型応力腐食割れと推定されるひびが発見され、応力腐食割れ対策品に取替を実施している。

制御棒上部ハンドル部で確認された照射誘起型応力腐食割れと推定されるひび及び応力腐食割れ対策について別紙9に示す。

前述のとおり、ボロン・カーバイド型制御棒を出力調整用に使用した場合、中性子照射量がしきい照射量を超える。制御材被覆管に照射誘起型応力腐食割れが発生した場合、内部のボロン・カーバイドの流出によって原子炉水のトリチウム濃度が上昇する^{*11}。

他プラントでは、制御材被覆管の割れが原因と考えられる原子炉水のトリチウム濃度の上昇が確認されたため、1985年より定期的にトリチウム濃度の測定（現状、3か月に1度）を実施している。その結果、トリチウム濃度の急上昇はなく、制御材被覆管に照射誘起型応力腐食割れによるボロン・カーバイドの流出がないことを確認している。原子炉水のトリチウム濃度測定実績を別紙10に示す。

*11 制御材被覆管の割れが発生した場合、¹⁰Bの炉内への流出が生じ、¹⁰Bは炉内で以下の反応により³H（トリチウム）が生じる。



(2) 現状保全

① 点検状況

中性子照射量評価により、照射誘起型応力腐食割れのしきい照射量を超える中性子照射を受ける制御棒の保全の状況は以下のとおりである。

東海第二で使用しているボロン・カーバイド型制御棒は、軸方向に4分割した各セグメントのいずれかの平均反応度が新品の90%まで減少した時の核的寿命に対して保守的に定めた運用基準に基づき取替を実施している。

また、定期検査毎に実施している原子炉停止余裕検査、制御棒駆動水圧系機能検査及び制御棒駆動機構機能検査により制御棒の制御能力及び動作性に問題が生じていないことを確認している。

②応力腐食割れに対する予防保全対策

制御棒に対する応力腐食割れの抑制対策について、表7に示す。

表7 制御棒の応力腐食割れの抑制対策

発生因子	対 策
応力	➤ 溶接部の残留応力低減（取替品） ➤ 製造時の不純物管理，上部ハンドルガイドローラのピン穴に通水溝（取替品）
材料	➤ 低炭素ステンレス鋼 SUS316L，SUS304L を使用（取替品）
環境	➤ 水素注入による腐食電位の低減(1997年1月～)

(3) 総合評価

制御棒は、照射量及び応力の観点から、ステンレス鋼を使用している上部に位置する部位について照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

しかしながら、運用基準に基づく制御棒の取替，定期検査毎の原子炉停止余裕検査，制御棒駆動水圧系機能検査及び制御棒駆動機構機能検査を実施していくことで，機能上の観点から健全性の確認は可能と判断する。

また，定期的なトリチウム濃度の測定によって，制御材被覆管の照射誘起型応力腐食割れによるボロン・カーバイドの流出がないことを確認している。

したがって，照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても，これらの運用を継続することで，技術基準規則第36条及び第59条に定める制御棒の機能は維持できることから，技術基準規則に定める基準に適合するものと判断する。

なお，新制御棒については，製造時の不純物管理を徹底するとともに，応力腐食割れ対策品とすることで，照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性を低減できると考える。

(4) 高経年化への対応

制御棒（制御材被覆管，シース，タイロッド，ピン，上部ハンドル）の照射誘起型応力腐食割れに対しては，高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はない。

5. まとめ

(1) 審査基準適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、すべての要求を満足しており、審査基準に適合していることを確認した。照射誘起型応力腐食割れについての要求事項との対比を表8に示す。

(2) 保守管理に関する方針として策定する事項

炉心シュラウド，上部格子板，炉心支持板，周辺燃料支持金具，制御棒案内管及び制御棒については，保守管理に関する方針として策定する事項は抽出されなかった。

表 8 (1/4) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項との対比

審査基準, ガイド	要求事項	技術評価結果
<p>実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準</p>	<p>○健全性評価の結果、評価対象部位において照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性が認められる場合は、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても技術基準規則に定める基準に適合すると。</p>	<p>炉内構造物のうち照射誘起型応力腐食割れの感受性発現しきい照射量を超過すると予測される機器は、炉心シユラウド中間胴及び上部格子板グリッドプレートである。</p> <p>炉心シユラウド中間胴 H4 周溶接継手内面（熱影響部含む）は、応力腐食割れ発生の低減対策を実施していることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は小さいものの、将来にわたって発生することが否定できないため、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を考慮した評価を行った。この結果、運転開始後 60 年時点の中性子照射量を考慮しても不安定破壊に至ることはなく、技術基準規則に定める基準に適合するものと判断する。</p> <p>炉心シユラウド中間胴 H4 周溶接継手外面は、ウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。</p> <p>炉心シユラウド中間胴の母材部は、しきい照射量を超過するものの、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分が低いことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。</p> <p>上部格子板のグリッドプレートは、しきい照射量を超過するものの、運転中の差圧、熱、自重等に起因する引張応力成分は低く、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価する。</p> <p>制御棒については、取替基準で定めた照射量の範囲で取替を実施しており、これまでの定期事業者検査や定期的な化学分析により制御棒の挿入性及び反応度の制御機能に影響がないことを確認している。したがって、照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展を前提としても、これらの運用を継続することで、技術基準規則第 36 条及び第 59 条に定める制御棒の機能は維持できることから、技術基準規則に定める基準に適合するものと判断する。</p>

表 8 (2/4) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項との対比

審査基準, ガイド	要求事項	技術評価結果
<p>実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド</p>	<p>運転期間延長認可申請に伴うものとして評価を行い、その結果の記載が求められる事項は次のとおり。 ①特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。 ②運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。 ③劣化状況評価を踏まえた保守管理に関する方針。</p>	<p>照射誘起型応力腐食割れに関して、特別点検によって確認する事項はない。</p> <p>「4.1(4)」及び「4.2(4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、劣化状況評価の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項は抽出されなかった。</p>
<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>(1)高経年化技術評価の審査 ②健全性の評価 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、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。 ③現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。 ④追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p>	<p>「4.1(1)」及び「4.2(1)」の「健全性評価」に示すとおり、中性子照射量の比較的高い炉内構造物及び制御棒について照射誘起型応力腐食割れの発生又は進展に係る健全性を評価した。炉心シェラウドについては、照射誘起型応力腐食割れが将来にわたって発生することが否定できないため、発生及び進展を考慮した健全性を評価した。</p> <p>「4.1(2)」及び「4.2(2)」の「現状保全」に示すとおり、健全性の評価から現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>「4.1(4)」及び「4.2(4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加する新たな保全策はなかった。</p>

表 8 (3/4) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項との対比

審査基準, ガイド	要求事項	技術評価結果
<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>(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。</p>	<p>「4.1(4)」及び「4.2(4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>
<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 ③運転開始後 40 年を迎えるプラントの高経年化技術評価には、当該申請に至るまでの間の運転に伴い生じた原子炉その他の設備の劣化の状況の把握のために実施した点検（特別点検）の結果を適切に反映すること。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価 プラントの運転を開始した日から 60 年間</p>	<p>照射誘起型応力腐食割れに関して、特別点検によって確認する事項はない。</p> <p>「4.1(4)」及び「4.2(4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加する新たな保全策はなかった。</p>

表 8 (4/4) 照射誘起型応力腐食割れについての要求事項との対比

審査基準, ガイド	要求事項	技術評価結果
<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>3.2 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>「4.1(4)」及び「4.2(4)」の「高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>