

島根原子力発電所2号炉 高経年化技術評価 (中性子照射脆化)

平成30年9月26日

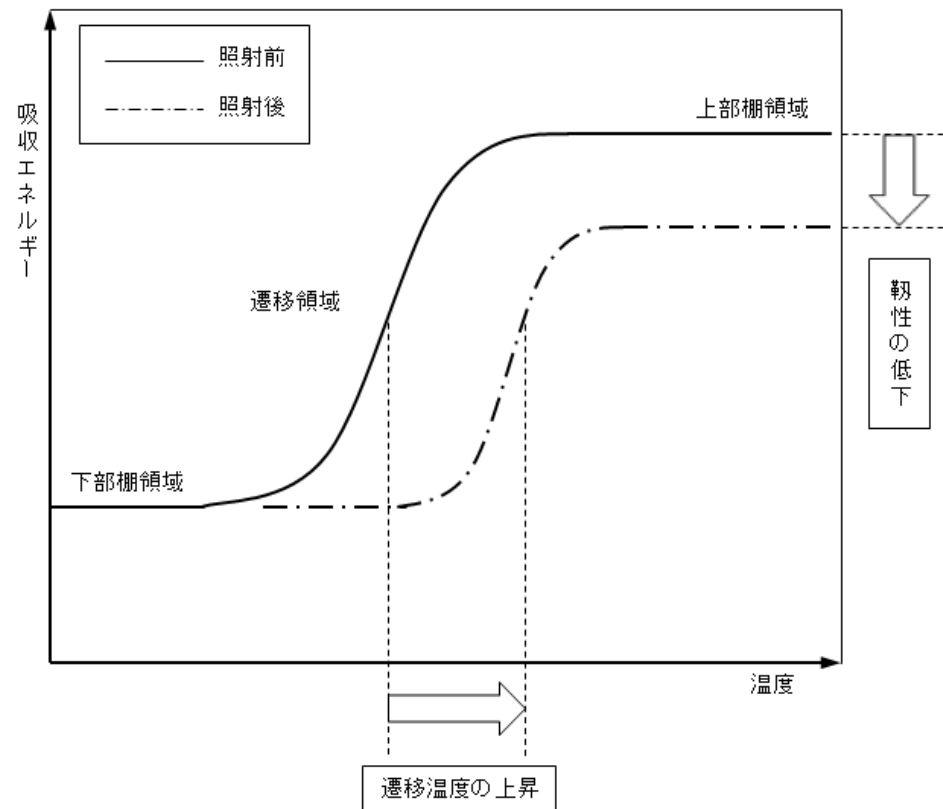
中国電力株式会社

Energia

1. 概要	2
2. 基本方針	3
3. 評価対象と評価手法	4
4. 原子炉圧力容器の技術評価	5
5. まとめ	13

1. 概要

- 本資料は「**实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則**」第82条第1項に基づき実施した**高経年化技術評価のうち、中性子照射脆化の評価結果**について説明するものである。
- 炭素鋼，低合金鋼等のフェライト系材料は，高エネルギーの中性子照射により，強度，硬さが増加し，延性，靱性が低下する。原子炉压力容器の炉心領域部においては，中性子照射とともに遷移温度の上昇および上部棚領域の靱性が低下することは広く知られており，中性子照射脆化と呼ばれている。
- 原子炉压力容器について，遷移温度の上昇および上部棚領域の靱性低下の観点から，中性子照射脆化について評価を実施した。



中性子照射による機械的性質(靱性)の変化

2. 基本方針

- 評価対象機器について中性子照射による脆化予測および健全性評価を行い、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に定める要求事項に適合することを確認する。
- 中性子照射脆化を評価するにあたっての要求事項を以下に示す。

ガイド	要求事項
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	(1) 高経年化技術評価の審査 ⑫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。 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。 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のある新たな保全策が抽出されていることを審査する。

3. 評価対象と評価手法

(1) 評価対象

原子炉圧力容器とする。

(2) 評価手法

- ① 日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007(2013年追補版含む))」(以下、「JEAC4201」という。)により関連温度移行量の予測を行い、監視試験結果を包含することを確認する。また、関連温度移行量より、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。)に従い、最低使用温度を算出するとともに、圧力・温度制限要求を満足することを確認する。



「4. (1) 関連温度に基づく評価」にて評価

- ② JEAC4201により上部棚吸収エネルギーの予測を行い、プラント運転開始後60年時点において破壊靱性の要求を満足することを確認する。



「4. (2) 上部棚吸収エネルギー評価にて評価

4. 原子炉圧力容器の技術評価—評価点の選定

(1) 関連温度に基づく評価(1/5)

① 評価点の選定

運転開始後60年時点における中性子照射量が原子炉圧力容器内表面で $1 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ (エネルギー $> 1 \text{ MeV}$ 。以下、特に断りのない場合は同様のエネルギー範囲とする。) を超えると予測される原子炉圧力容器の炉心領域において、以下に示す中性子照射量または応力が高い点を評価点の候補とした。

a. 中性子照射量が最大となる炉心領域

○円筒胴(炉心領域部)内表面での中性子照射量の最大値：
 $3.23 \times 10^{22} \text{ n/m}^2$ 程度(運転開始後60年時点※)

b. $1 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ を超えると予測される範囲に含まれる構造不連続部

○評価点の候補：低圧注水ノズル(コーナー部)

○中性子照射量： $6.28 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ 程度(運転開始後60年時点※)

c. 評価点の選定結果

低圧注水ノズル(コーナー部)よりも円筒胴(炉心領域部)の方が中性子照射量は多くなる。また、応力の観点から構造不連続部である低圧注水ノズルを評価点の候補として抽出したが、低圧注水ノズル(コーナー部)は面積補強されており、応力は胴部と同等であるものと考えられる。このため、円筒胴(炉心領域部)を代表として、以降の評価を実施する。

※：発電所実効運転時間46.68EFPY、将来の設備利用率90%(想定)。

4. 原子炉圧力容器の技術評価-監視試験結果

(1) 関連温度に基づく評価(2/5)

② 監視試験結果

JEAC4201の規程に基づき、これまで監視試験を2回実施している。監視試験結果を以下に示す。

回数	取出時期 (年月)	中性子照射量 ($\times 10^{21}n/m^2$)	関連温度(°C)			上部棚吸収エネルギー(J)		
			母材	溶接金属	熱影響部	母材	溶接金属	熱影響部
初期値	—	0	-40	-53	-40	212	207	219
第1回 (加速)	1992年9月	10.6 (約22EFPY※)	-43	-59	-24	228	210	211
第2回 (炉壁1)	1995年5月	2.6 (約5.5EFPY※)	-51	-61	-43	227	209	223

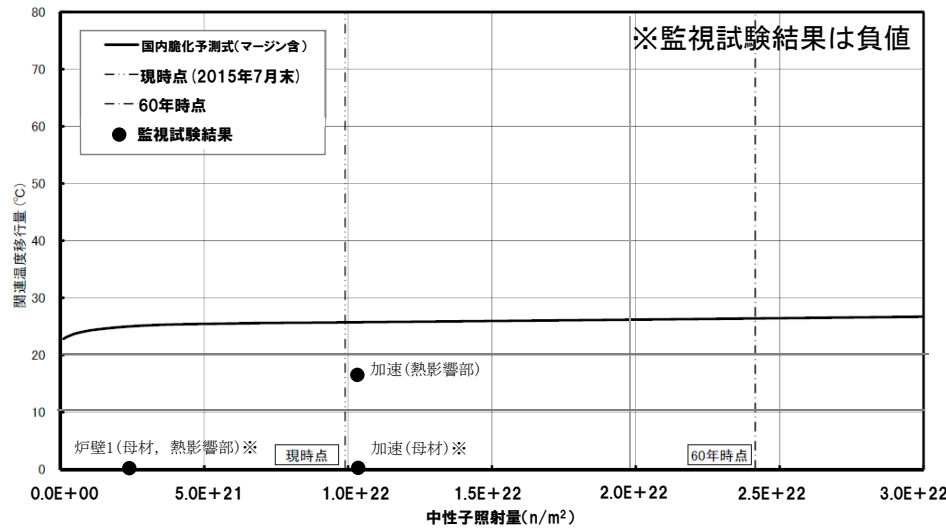
※: 監視試験片位置の中性子束から、設備利用率100%として原子炉圧力容器内表面に換算した場合の照射年数。

4. 原子炉圧力容器の技術評価—関連温度移行量予測値と実測値の比較

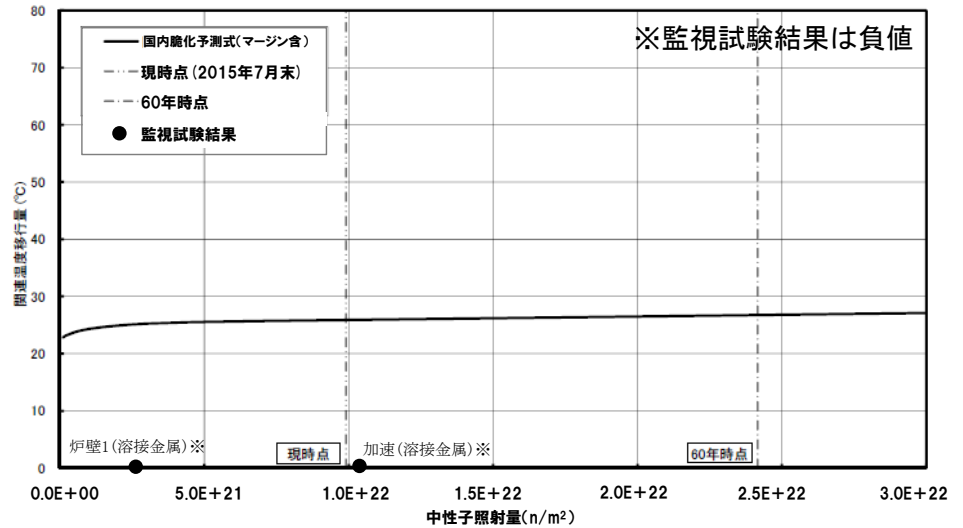
(1) 関連温度に基づく評価 (3/5)

③ 関連温度評価

- JEAC4201の国内脆化予測法による関連温度移行量の予測値および監視試験結果による実測値の関係を下図に示す。
- 関連温度移行量の予測値および実測値から、当該部位の中性子照射脆化は、国内脆化予測法による予測の範囲内であることを確認した。



母材, 熱影響部



溶接金属

4. 原子炉圧力容器の技術評価-最低使用温度の算出

(1) 関連温度に基づく評価(4/5)

③ 関連温度評価(続き)

- JEAC4206により, 2015年7月末時点および運転開始後60年時点での関連温度移行量, 関連温度および最低使用温度の評価結果を下表に示す。
- 原子炉圧力容器の円筒胴(炉心領域部)の最低使用温度は, 破壊力学的検討によるマージンを考慮すると, 2015年7月末時点で8°C, 運転開始後60年時点で9°Cとなった。

評価時期	材料	関連温度の初期値(°C)	関連温度の移行量*(°C)	関連温度(°C)	破壊力学的検討によるマージン(°C)	最低使用温度(°C)
2015年7月末時点	母材	-40	26	-14	22	8
	溶接金属	-53	26	-27		
	熱影響部	-40	26	-14		
運転開始後60年時点	母材	-40	27	-13		9
	溶接金属	-53	27	-26		
	熱影響部	-40	27	-13		

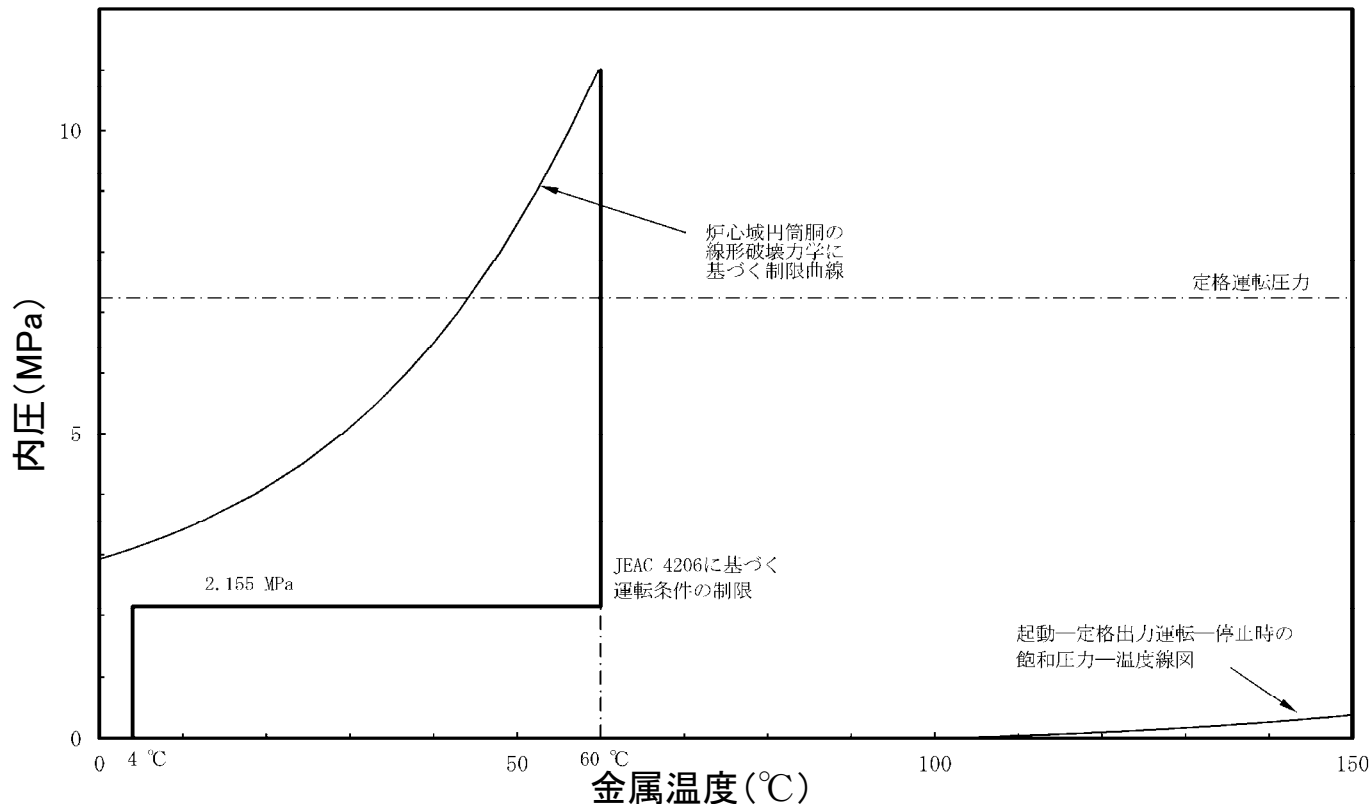
※: 原子炉圧力容器内表面から板厚1/4深さでの予測値。

4. 原子炉圧力容器の技術評価-運転上の制限に関する評価

(1) 関連温度に基づく評価 (5/5)

③ 関連温度評価 (続き)

- JEAC4206により算出した関連温度 (運転開始後60年時点) を踏まえて作成した圧力-温度制限線図を以下に示す。中性子照射脆化を考慮した運転制限は、遵守可能な圧力-温度範囲であるとともに、十分な安全性が確保されていることを確認した。



原子炉圧力容器の圧力-温度制限線図 (運転開始後60年時点, 炉心臨界時)

4. 原子炉圧力容器の技術評価—上部棚吸収エネルギー—評価

(2) 上部棚吸収エネルギー評価

- 国内プラントを対象とした上部棚吸収エネルギーの予測式(JEAC4201 附属書Bの国内USE 予測式)を用いた2015年7月末時点および運転開始後60年時点での上部棚吸収エネルギー予測値について評価結果を以下に示す。
- JEAC4206で要求されている68Jを上回っており、十分な上部棚吸収エネルギーがあることを確認した。

上部棚吸収エネルギー予測値※

(単位:J)

	初期値	2015年7月末時点	運転開始後60年時点	許容値
母材	212	180	178	68
溶接金属	207	167	164	
熱影響部	219	186	183	

※:原子炉圧力容器内表面から板厚1/4深さでの予測値。

(3) 現状保全

- 原子炉圧力容器に対しては、各保全サイクルのクラス1機器供用期間中検査として、日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格 JSME S NA1-2008」に基づき、超音波探傷試験および耐圧・漏えい試験を実施しており、有意な欠陥は確認されていない。
- 炉心領域部の中性子照射による機械的性質の変化については、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005(2007年追補版含む)」およびJEAC4201に基づいて、計画的に監視試験を実施し破壊靱性の将来の変化を予測している。

(4) 総合評価

- 健全性評価結果から、円筒胴(炉心領域部)の中性子照射脆化が問題となる可能性は小さい。
- 今後も適切な時期に監視試験を実施し、破壊靱性の変化を把握するとともに、JEAC4201の脆化予測式に基づき、耐圧・漏えい試験温度を管理していくことにより、健全性は維持できると判断する。

(5) 高経年化への対応

- 円筒胴(炉心領域部)の中性子照射脆化に対しては、現状の保全項目に高経年化対策の観点から追加すべき項目はない。引き続き、現状保全を継続していく。

5. まとめ

(1) 審査ガイド適合性

要求事項※	技術評価結果
(1) 高経年化技術評価の審査 ⑫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。	「4. (1)」および「4. (2)」の「関連温度に基づく評価」および「上部棚吸収エネルギー評価」に示すとおり、中性子照射による脆化の観点から健全性を評価した。
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。	「4. (3)」の「現状保全」に示すとおり、健全性評価結果から現状の保全策が妥当であることを確認した。
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のある新たな保全策が抽出されていることを審査する。	「4. (5)」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新たな保全策はなかった。

※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。

(2) 保守管理に関する方針として策定する事項

原子炉圧力容器については、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。