

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK審-24 改0
提出年月日	平成30年6月28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(追加評価))

平成30年6月28日

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

東海第二発電所 審査会合における指摘事項の回答一覧表

No.	指摘事項	回答
0581-2 劣化状況評価 (平成30年6月5日 第581回審査会合)	照射誘起型応力腐食割れについて、追加評価を踏まえた保守管理に関する方針を設定すること。	平成30年●月●日 P10 ~ P11

目次

1. 炉内構造物の技術評価	4
2. まとめ	11

1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

<平成30年6月5日 第581回審査会合での説明内容>

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(追加評価)

	既評価	追加評価
破壊評価手法	線形破壊力学評価法	同左
亀裂進展速度等	鋭敏化SUS304鋼の上限値 $9.2 \times 10^{-7} \text{mm/s} = 30 \text{mm/年}$ (板厚方向及び周方向) →貫通亀裂の周方向進展	同左 ただし、板厚方向の進展については、溶接残留応力解析の結果から得られた 応力拡大係数がゼロとなる*深さ以上には進展しないものとする。 →半楕円亀裂の周方向進展
破壊評価に考慮する荷重	差圧、自重及び地震荷重	差圧、自重及び地震荷重に加え、 溶接残留応力を考慮。

* H4周溶接継手は継手形状がX開先であり、板厚内部で溶接残留応力が圧縮となって応力拡大係数がゼロとなり、亀裂進展速度がゼロとなることが予想されるため、亀裂進展としてはより現実的な評価となる。

追加評価の結果について報告する

1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

(1) 健全性評価

① 溶接残留応力

評価に用いる応力分布 * 1	溶接残留応力 [MPa] * 2
内側溶接部の溶接止端部及び熱影響部	最大 <input type="text"/>

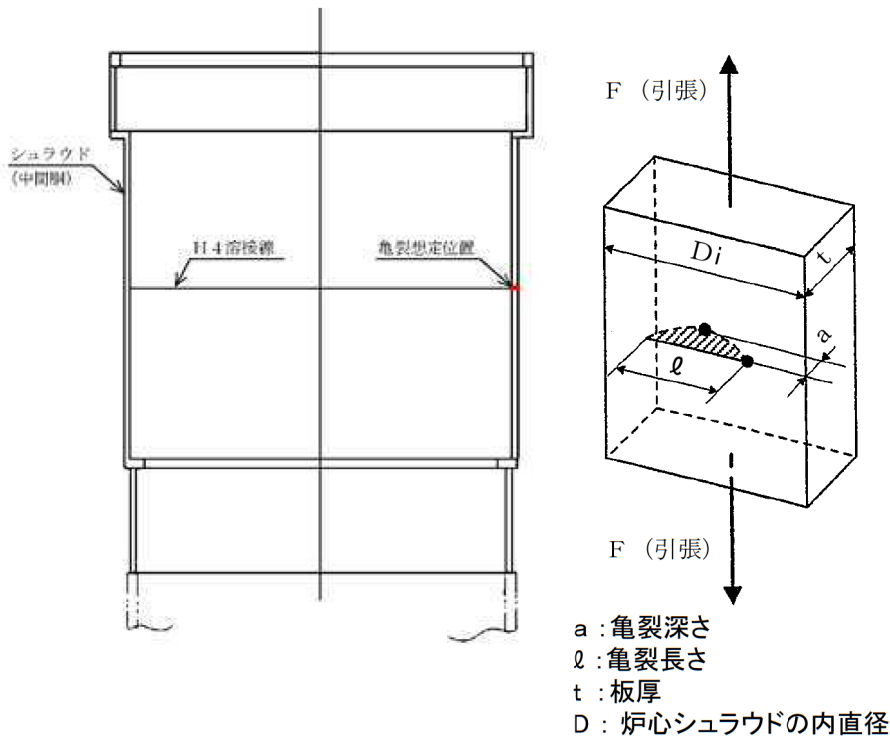
* 1: 炉心シュラウドH4周溶接継手の外面には、ウォータージェットピーニングを施工していることから、追加評価においては、内側溶接部の残留応力分布を用いた。

* 2: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格－2008」の添付-15に従い、中性子照射による緩和の影響を考慮した値。緩和率の算出には、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」に示される緩和率の基本式を用いた。

1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

② 半楕円亀裂を想定した評価

＜亀裂想定位置及び評価モデル＞



炉心シユラウドH4周溶接継手の内表面に
初期亀裂を想定

深さ $a_0 = 1.0$ [mm]

長さ $l_0 = 10.0$ [mm]

＜応力拡大係数の算出＞

ガイドライン*の評価手法と同様に、Wangの影響関数法に基づく式を用いて応力拡大係数を算出

$$K = \left(\sum_{n=1}^4 S_n S_{in} \right) \times \sqrt{\pi a}$$

K : 応力拡大係数[MPa√m]

S_n : 亀裂深さ方向にn次の応力分布 $\sigma(x)$ が作用する場合の無次元化応力拡大係数

S_{in} : 亀裂面に垂直(炉心シユラウド軸方向)に作用する応力分布のn次の係数[MPa]

a : 亀裂深さ[m]



半楕円亀裂を想定した評価による応力拡大係数(最深点)

板厚中央近傍で応力拡大係数がゼロになるが、安全率を考慮した場合は、維持規格2008の破壊靱性値(43.2MPa√m)を僅かに上回る。

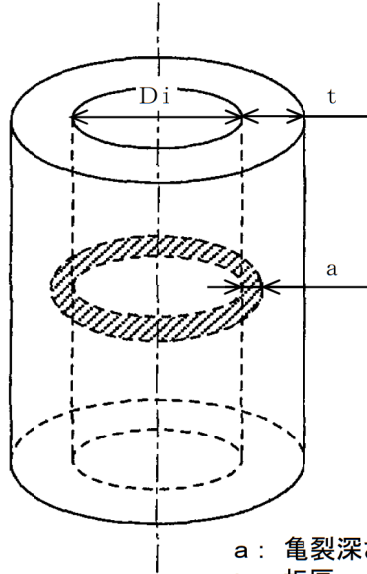
一方、表面点は溶接残留応力により応力拡大係数が大きな値となり、周方向亀裂の進展が想定されるため、保守的に内表面全周亀裂を想定した評価を実施する。

* : 原子力安全推進協会「炉内構造物点検評価ガイドライン[炉心シユラウド](第5版)」

1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

③ 内表面全周亀裂を想定した評価(1/3)

<亀裂想定位置及び評価モデル>



a : 亀裂深さ
t : 板厚
Di : 炉心シュラウドの内直径

保守的に炉心シュラウドH4周溶接継手の内表面全周に初期亀裂を想定
深さ $a_0 = 1.0$ [mm]

<応力拡大係数の算出>

日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格-2012」の添付-5に基づく式を用いて応力拡大係数を算出

$$K = \left[(\sigma_0 + \sigma_p)G_0 + \sigma_1 G_1 \left(\frac{a}{t}\right) + \sigma_2 G_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + \sigma_3 G_3 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + \sigma_4 G_4 \left(\frac{a}{t}\right)^4 \right] \sqrt{\pi a}$$

a : 亀裂深さ[m]

t : 炉心シュラウドの板厚

$\sigma_0 \sim \sigma_p$: 板厚方向の応力分布を四次多項式(板厚で規格化)で与えたときの係数

ただし, σ_p は円筒内表面の欠陥に作用する膜応力

$G_0 \sim G_4$: 管厚比(内半径/板厚)及び欠陥深さ(亀裂深さ/板厚)から決定される補正係数



内面全周亀裂を想定した評価による応力拡大係数(最深点)

応力拡大係数が破壊靱性値(43.2MPa√m)を上回るが、破壊靱性値は、維持規格-2008の破壊靱性値は東海第二の運転開始後60年時点の中性子照射量と比較すると高い照射域でのデータであり、保守的な値であるため、より現実的な評価として、破壊靱性値の最適化を検討する。

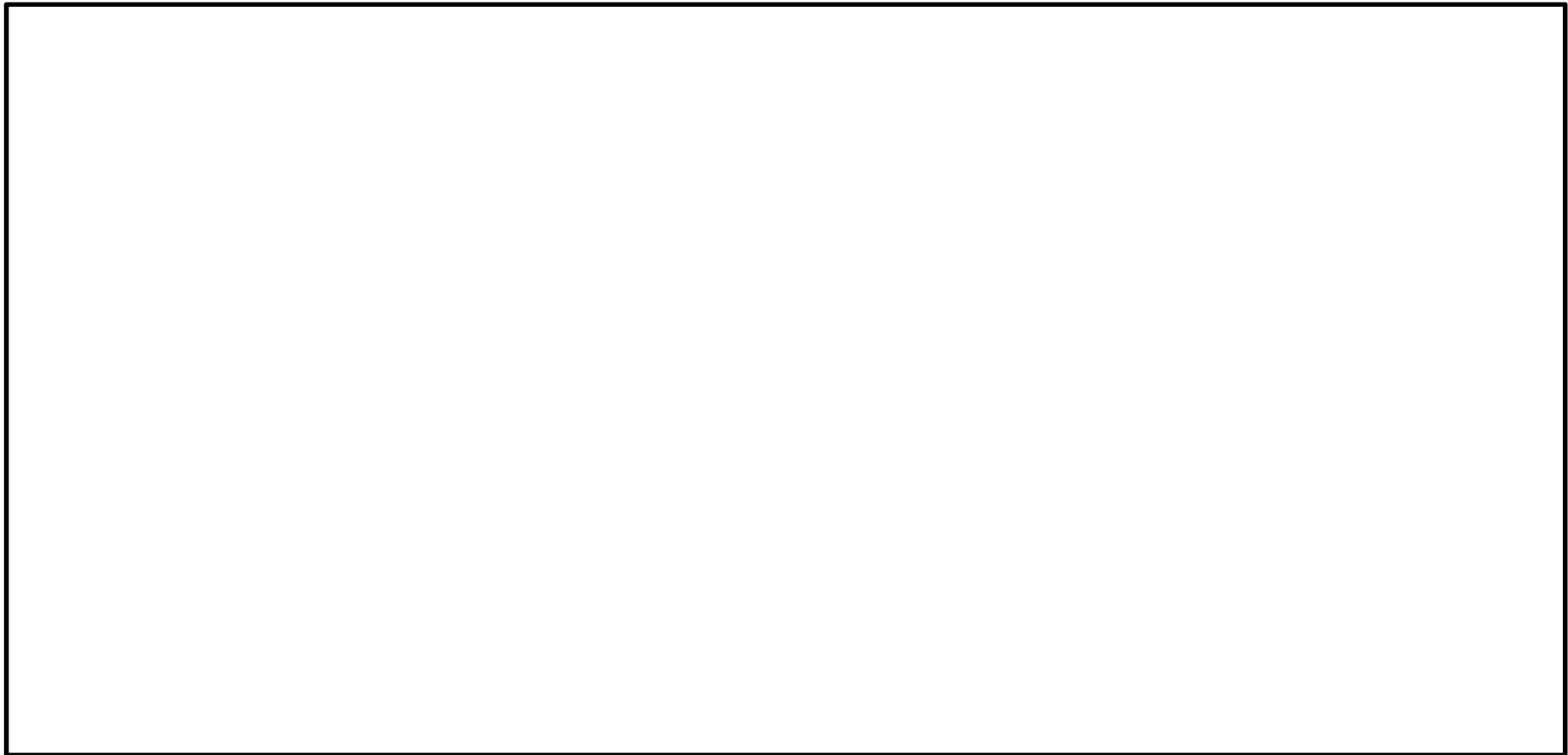
1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

③ 内表面全周亀裂を想定した評価(2/3)

<破壊靱性値の検討>

- 共同研究の成果に基づく破壊靱性評価式を用いる。(下図  部)

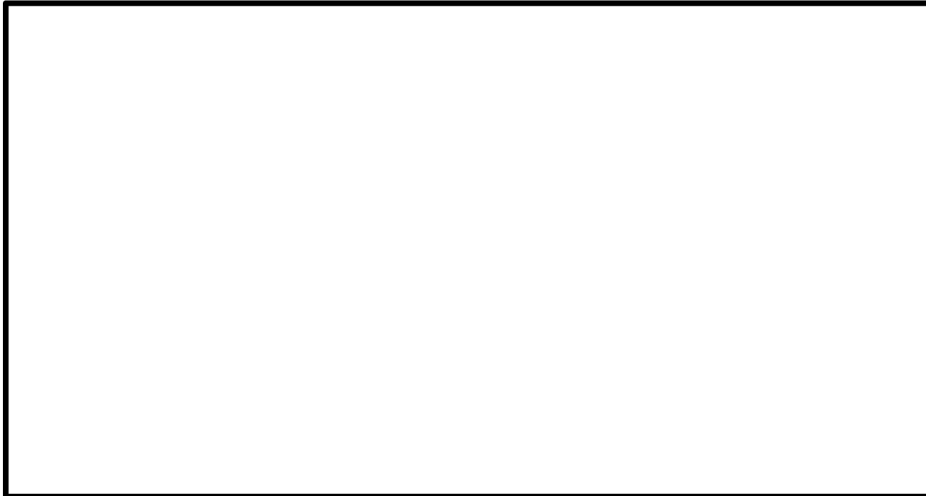
<破壊靱性評価式>



1. 炉内構造物の技術評価－発生及び進展を考慮した評価(追加評価)

③ 内表面全周亀裂を想定した評価(3/3)

＜応力拡大係数の算出＞



内面全周亀裂を想定した評価による応力拡大係数(最深点)(破壊靱性最適化後)



応力拡大係数は、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。

＜極限荷重評価法による評価＞

内面全周亀裂の想定及び破壊靱性値の検討を踏まえ、最大亀裂深さを考慮した、炉心シュラウド周溶接継手の残存部に対する極限荷重評価を実施する。

正味応力[MPa]		流動応力[MPa]*	

*:維持規格-2008の添付E-15に示される許容状態C及びDに対する安全率1.5を考慮



正味応力は、安全率を考慮した流動応力より小さいことから、最大亀裂深さを考慮した場合でも、炉心シュラウド周溶接継手に破壊が生じないことを確認した。

以上より、既評価のとおり地震時に不安定破壊に至ることがないように設定した頻度で目視点検を実施することにより、破壊を引き起こす亀裂となる前に検知可能であり、技術基準規則に定める基準に適合するものと判断する。

1. 炉内構造物の技術評価－現状保全，総合評価，高経年化への対応

(2) 現状保全

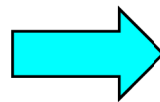
平成30年6月5日 第581回審査会合「資料1-5-1」に記載のとおり

(3) 総合評価

炉内構造物	総合評価
炉心シュラウド 中間胴H4周溶接継手(熱影響部含む)	<p>応力腐食割れの抑制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、<u>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。</u>この結果、地震時に不安定破壊に至ることがないように設定した頻度で<u>目視点検を実施することにより、破壊を引き起こす亀裂となる前に検知可能</u>であり、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>

(4) 高経年化への対応

炉心シュラウドについては、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踏まえ、不安定破壊に至ることがないように設定した頻度で目視点検を実施する。



保守管理に関する方針として策定

2. まとめ－審査基準適合性, 保守管理に関する方針として策定する事項

(1) 審査基準適合性

要求事項*1	評価対象機器	技術評価の結果
○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。	炉心シュラウド 中間胴H4周溶接継手(熱影響部含む)	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、地震時に不安定破壊に至ることがないように設定した頻度で目視点検を実施することにより、破壊を引き起こす亀裂となる前に検知可能であり、技術基準規則に定める基準に適合するものと判断する。

*1: 「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」に規定される延長しようとする期間における要求事項

(2) 保守管理に関する方針として策定する事項

機器名	保守管理に関する方針	実施時期*2
炉心シュラウド	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踏まえ、不安定破壊に至ることがないように設定した頻度で目視点検を実施する。	短期

*2: 実施時期は以下の期限を示す。

2018年11月28日からの5年間を「短期」、2018年11月28日からの10年間を「中長期」、2018年11月28日からの20年間を「長期」とする。