

東海第二発電所 審査資料

資料番号

TKK審-16 改1

提出年月日

平成30年5月17日

# 東海第二発電所 運転期間延長認可申請 (照射誘起型応力腐食割れ)

平成30年5月17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。

# 目次

---

1. 概要	3
2. 基本方針	4
3. 評価対象と評価手法	5
4. 技術評価	7
4. 1 炉内構造物の技術評価	7
4. 2 制御棒の技術評価	19
5. まとめ	23

# 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(昭和53年通商産業省令第77号。以下、「実用炉規則」という)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が適切であることを説明するとともに、評価内容の補足資料をとりまとめたものである。
- 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。

## 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技術基準規則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についての要求事項を以下に示す。

審査基準	要求事項
实用発電用原子炉の 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。

### 3. 評価対象と評価手法(1/2)

- 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。

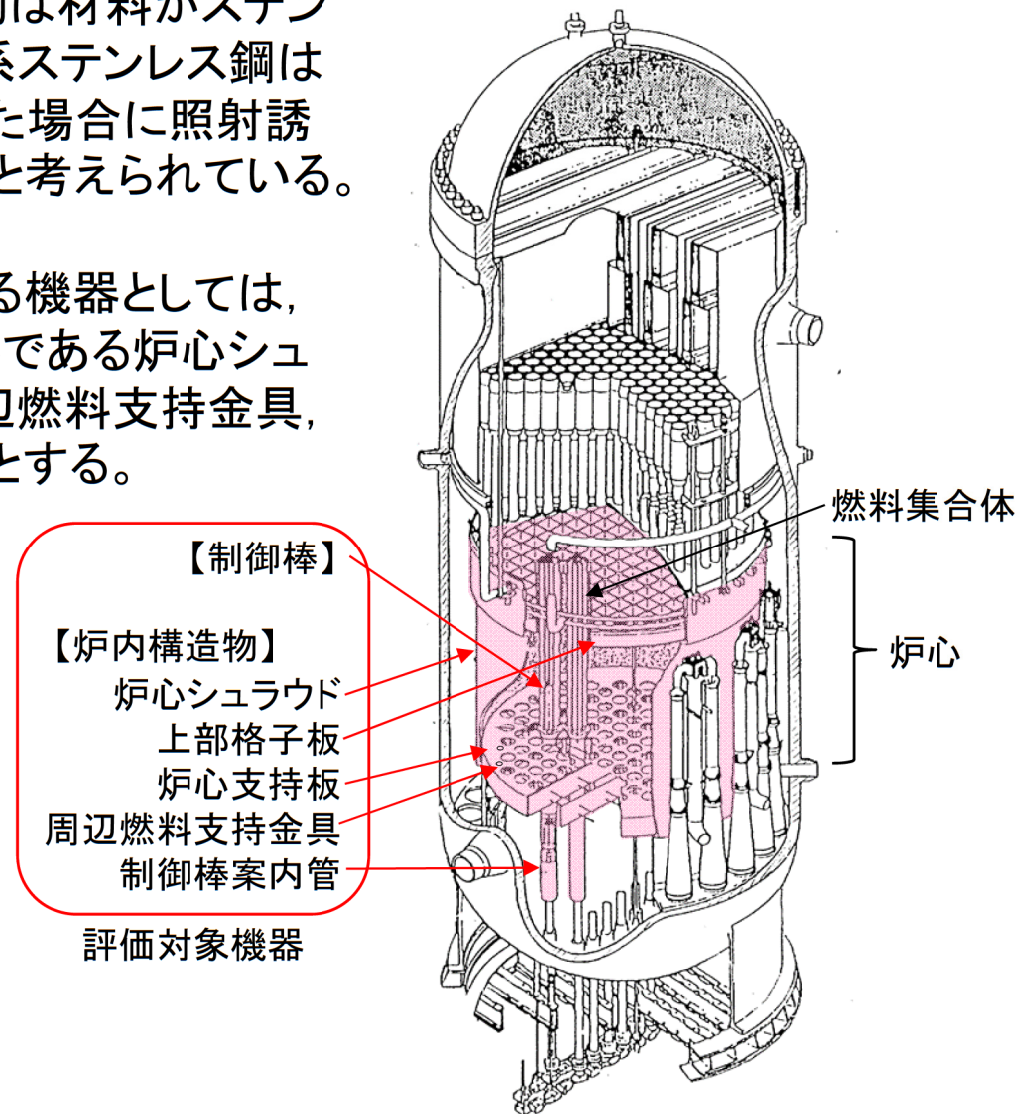


図 原子炉圧力容器

### 3. 評価対象と評価手法(2/2)

#### 【炉内構造物】

- 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影響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。
- 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。  
→4. 1項
- 評価の結果, 照射誘起型応力腐食割れ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。  
→結果は, 耐震安全性評価にて報告する。

#### 【制御棒】

- 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。  
→4. 2項

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(1 / 12)

### (1) 健全性評価(1 / 4)

#### 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 しきい照射量\*

材質	しきい照射量 [n/m <sup>2</sup> ]
ステンレス鋼(SUS304)	$5 \times 10^{24}$
ステンレス鋼(SUS316)	$1 \times 10^{25}$

\* 高速中性子(エネルギー>1 [MeV])による照射量。  
以降, 特に断りのない場合は高速中性子の照射量をいう。

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(2/12)

### (1) 健全性評価(2/4)

#### ② 炉内構造物の使用材料及び中性子照射量(運転開始後60年時点)

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

\* 母材部の値。炉心シュラウド中間胴の溶接継手のうち構造維持に必要な周溶接継手では、中間胴の中央に位置するH4周溶接継手がか最も照射量が高く、その値は内面で $1.6 \times 10^{25}$  [n/m<sup>2</sup>]、外面で $9.4 \times 10^{24}$  [n/m<sup>2</sup>]であり、内外面ともしきい照射量を超える。

- しきい照射量(SUS304: $5 \times 10^{24}$  [n/m<sup>2</sup>])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。



## 4. 1 炉内構造物の技術評価(3/12)

### (1) 健全性評価(3/4)

#### 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

炉内構造物	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)内面	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。
炉心シュラウド 中間胴 H4周溶接継手(熱影響部含む)外面	しきい照射量を超えるものの、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	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	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。
炉心支持板, 周辺燃料 支持金具及び制御棒案 内管	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. 1 炉内構造物の技術評価(4/12)

---

### (1) 健全性評価(4/4)

#### ④ 炉内構造物のうち、炉心シュラウドの耐震安全性評価

- 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。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う。
- 評価結果は、耐震安全性評価にて報告する。

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(5/12)

### (2) 現状保全(1/6)

#### ① 点検状況(炉心シュラウド)

表1 維持規格に基づく点検内容

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	内面	MVT-1	運転時間で5~15年	第24回定期検査 (2009年)	良
	外面	MVT-1	運転時間で5~15年	第25回定期検査 (2015年)	良
炉心シュラウド		VT-3	10年	第25回定期検査 (2015年)	良

表2 維持規格に基づく点検に加えて実施する点検内容

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内面	耐震安全性評価の結果により、必要に応じて計画することから、耐震安全性 評価にて報告する。			

#### <判定基準>

MVT-1; 表面について、摩耗、き裂、腐食、浸食等の異常がないこと。

VT-3 ; 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。

# 4. 1 炉内構造物の技術評価(6/12)

## (2) 現状保全(2/6)

### ① 点検状況(炉心シュラウド)(つづき)

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

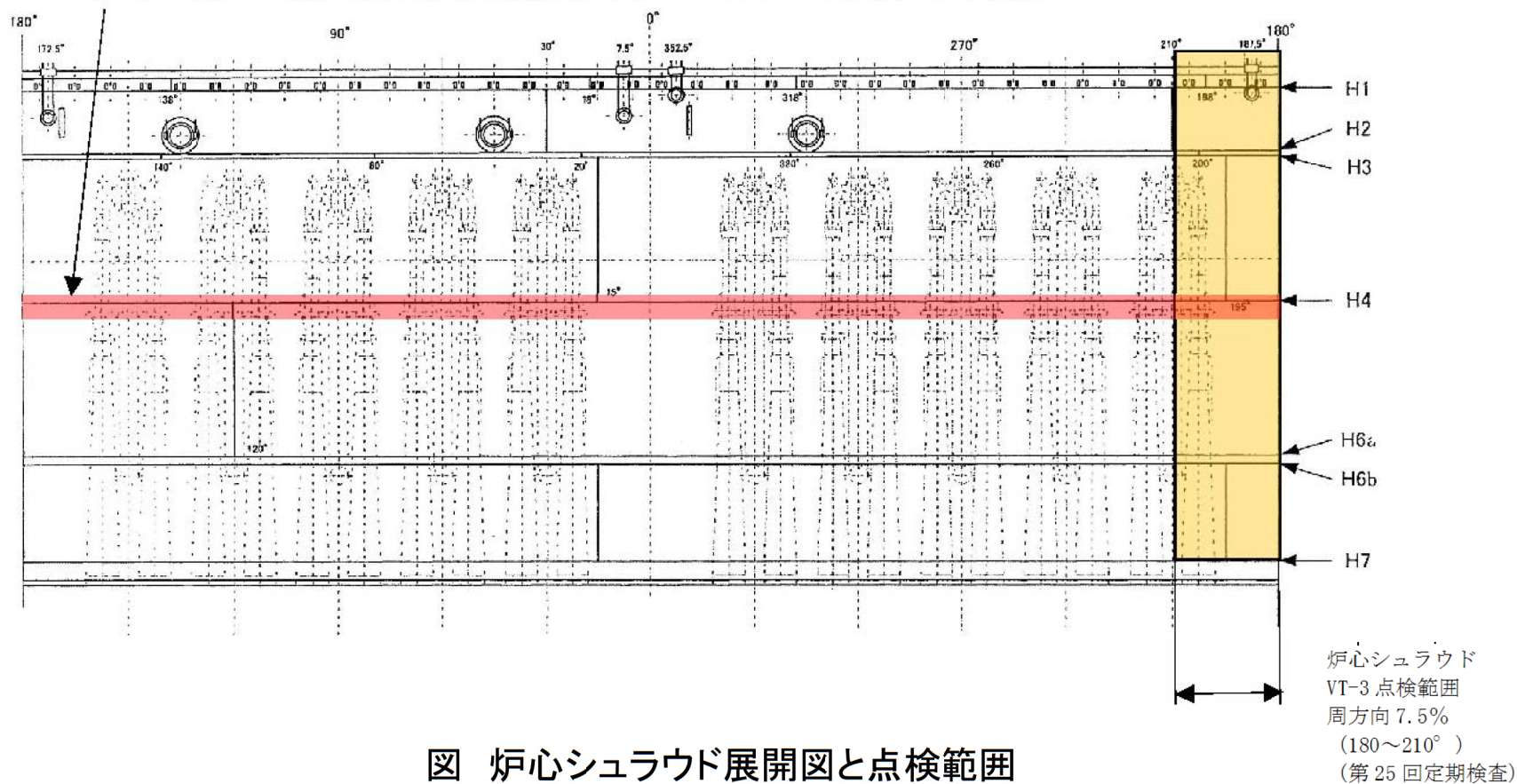


図 炉心シュラウド展開図と点検範囲

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(7/12)

### (2) 現状保全(3/6)

#### ① 点検状況(上部格子板)

表1 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
上部格子板*5	VT-3	10年	第25回定期検査 (2015年)	良

表2 維持規格に基づく点検に加えて実施する点検内容

点検対象	点検方法	点検頻度	至近の点検実績	点検結果
上部格子板 グリッドプレート	MVT-1	10年	第25回定期検査 (2015年)	良

# 4. 1 炉内構造物の技術評価(8/12)

## (2) 現状保全(4/6)

### ① 点検状況(上部格子板)(つづき)

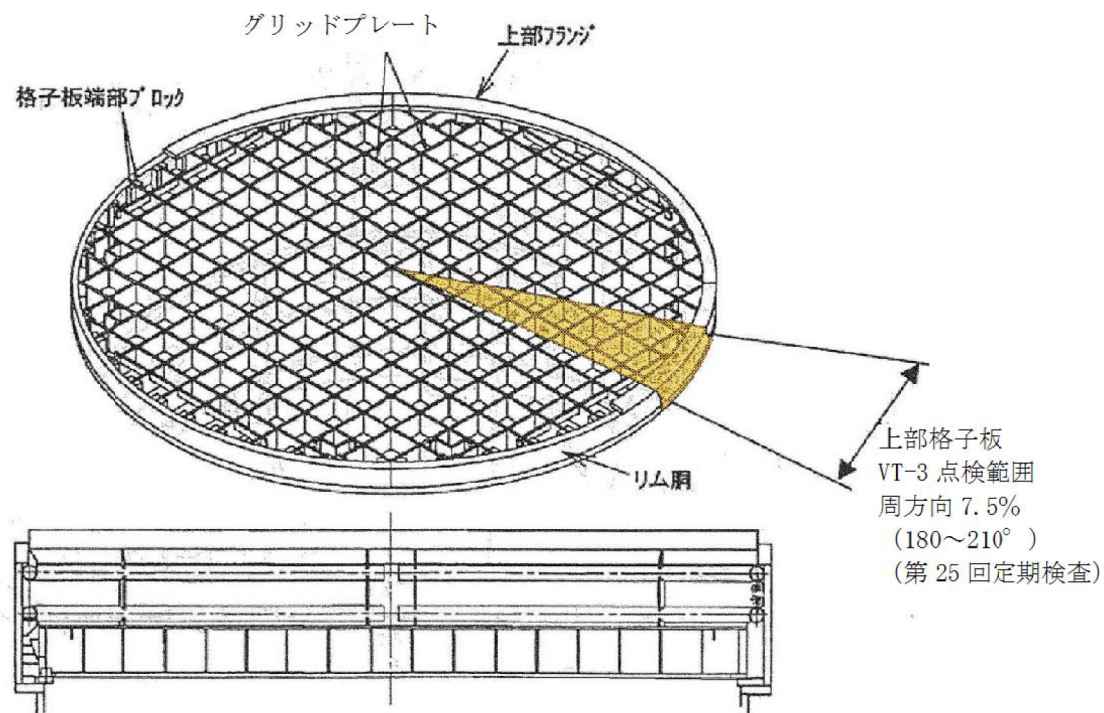


図1 上部格子板と点検範囲(VT-3)

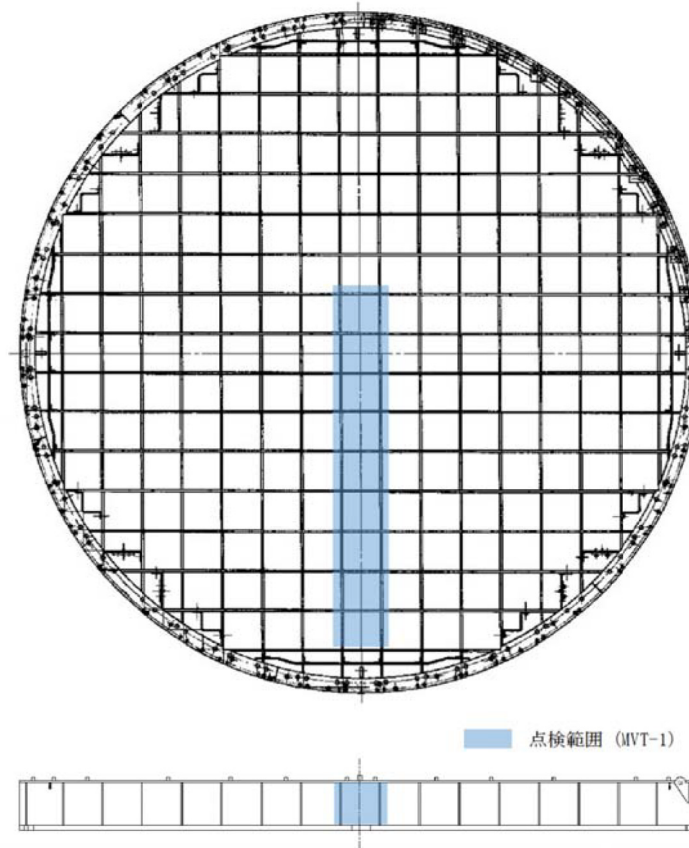


図2 上部格子板と点検範囲(MVT-1)

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(9/12)

### (2) 現状保全(5/6)

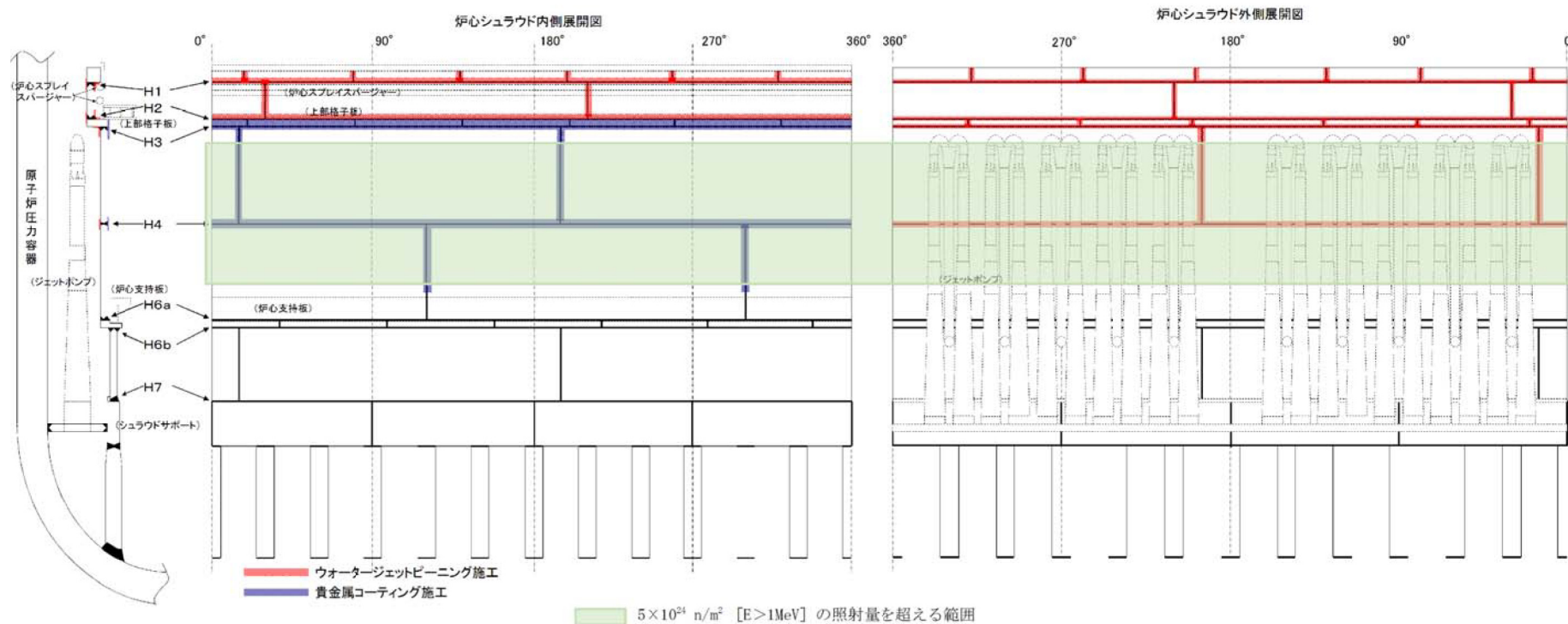
#### ② 応力腐食割れに対する予防保全対策

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)	—
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(1996年～) ➤ 貴金属コーティング施工による腐食環境の改善(1999年)	➤ 水素注入による腐食電位の低減(1996年～)

# 4.1 炉内構造物の技術評価(10/12)

## (2) 現状保全(6/6)

### ② 応力腐食割れに対する予防保全対策(つづき)



注) 干渉物により溶接継手全長の施工が不可となった箇所と、施工できた範囲は以下のとおり。

ウォータージェットピーニング : H1 内面約 90%, H2 内面約 90%, V2 内面約 40%, 貴金属コーティング : V5 内面約 65%

図 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)



## 4. 1 炉内構造物の技術評価(11/12)

### (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う。</p> <p><b>評価結果は、耐震安全性評価にて報告する。</b></p>
炉心シュラウド中間胴の母材部	<p>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。</p>
上部格子板のグリッドプレート	<p>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。</p> <p>さらに、維持規格に基づく点検に加え、定期的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。</p>
炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管	<p>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。</p>

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(12/12)

### (4) 高経年化への対応

炉内構造物	高経年化への対応
炉心シュラウド 中間胴 H4周溶接継手(熱影響部含む)	耐震安全性評価の結果により, 必要に応じて対応を決定することから, 耐震安全性評価にて報告する。  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。
炉心シュラウド中間胴の母材部	
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	

## 4. 2 制御棒の技術評価(1/4)

### (1) 健全性評価(1/3)

- 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
- 制御棒に使用されているステンレス鋼は, しきい照射量 (SUS304:  $5 \times 10^{24}$  n/m<sup>2</sup>, SUS316:  $1 \times 10^{25}$  n/m<sup>2</sup>) 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。
- ② 高い照射量を受ける**制御棒上部**の使用材料は, 一部を除きステンレス鋼である。  
(東海第二の制御棒は, ボロン・カーバイド型)

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

## 4. 2 制御棒の技術評価(2/4)

### (1) 健全性評価(2/3)

#### ③ 制御棒の照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性評価

- 制御棒は、核的寿命に対して保守的に定めた運用基準(取替基準:  $2.0 \times 10^{25}$  n/m<sup>2</sup>(熱中性子), 取替目標値:  $1.5 \times 10^{25}$  n/m<sup>2</sup>(熱中性子))に基づき取替を実施している。
  - ➔ 照射量の観点から、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。
- 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 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 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。
  - ➔ 応力の観点から、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。
- 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。
  - 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。
    - ➔ 1985年より定期的にトリチウム濃度の測定(3か月に1度)を実施。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。

## 4. 2 制御棒の技術評価(3/4)

### (2)現状保全

#### ①点検状況

- 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。
- なお, 定期的なトリチウム濃度の測定を行うことで, 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。

#### ②応力腐食割れに対する予防保全対策

発生因子	対 策
応力	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 溶接部の残留応力低減(取替品)</li><li>➤ 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<b>通水溝</b>(取替品)</li></ul>
材料	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 低炭素ステンレス鋼SUS316L, SUS304Lを使用(取替品)</li></ul>
環境	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 水素注入による腐食電位の低減(1996年～)</li></ul>



図 上部ハンドルガイドローラのピン穴長穴構造化

## 4. 2 制御棒の技術評価(4/4)

### (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(1/2)

## (1) 審査基準適合性

要求事項*	評価対象機器	健全性評価の結果
<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ある場合は, 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。</p>	<p>炉心シュラウド 中間胴H4周溶接継手(熱影響部含む)</p>	<p>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う。  <b>評価結果は, 耐震安全性評価にて報告する。</b></p>
	<p>炉心シュラウド中間胴の母材部</p>	<p>しきい照射量を超えるものの, 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</p>	<p>グリッドプレートはしきい照射量を超えるものの, 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>炉心支持板, 周辺燃料支持金具及び制御棒案内管</p>	<p>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。</p>
	<p>制御棒</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>

\*「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

## 5. まとめ(2/2)

### (2) 保守管理に関する方針として策定する事項

評価対象機器	保守管理に関する方針	実施時期*
炉心シュラウド 中間胴H4 周溶接継手(熱影響部含む)	耐震安全性評価の結果により、必要に応じて策定することから、耐震安全性評価にて報告する。	
炉心シュラウド中間胴の母材部	なし	—
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		
制御棒		

\*実施時期については、平成30年11月28日からの5年を「短期」、平成30年11月28日からの10年を「中長期」、平成30年11月28日からの20年を「長期」とする。