

東海第二発電所 審査資料

資料番号 TKK審-16 改0

提出年月日 平成30年5月10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10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. 経年劣化傾向の評価	26
6. まとめ	27

# 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。

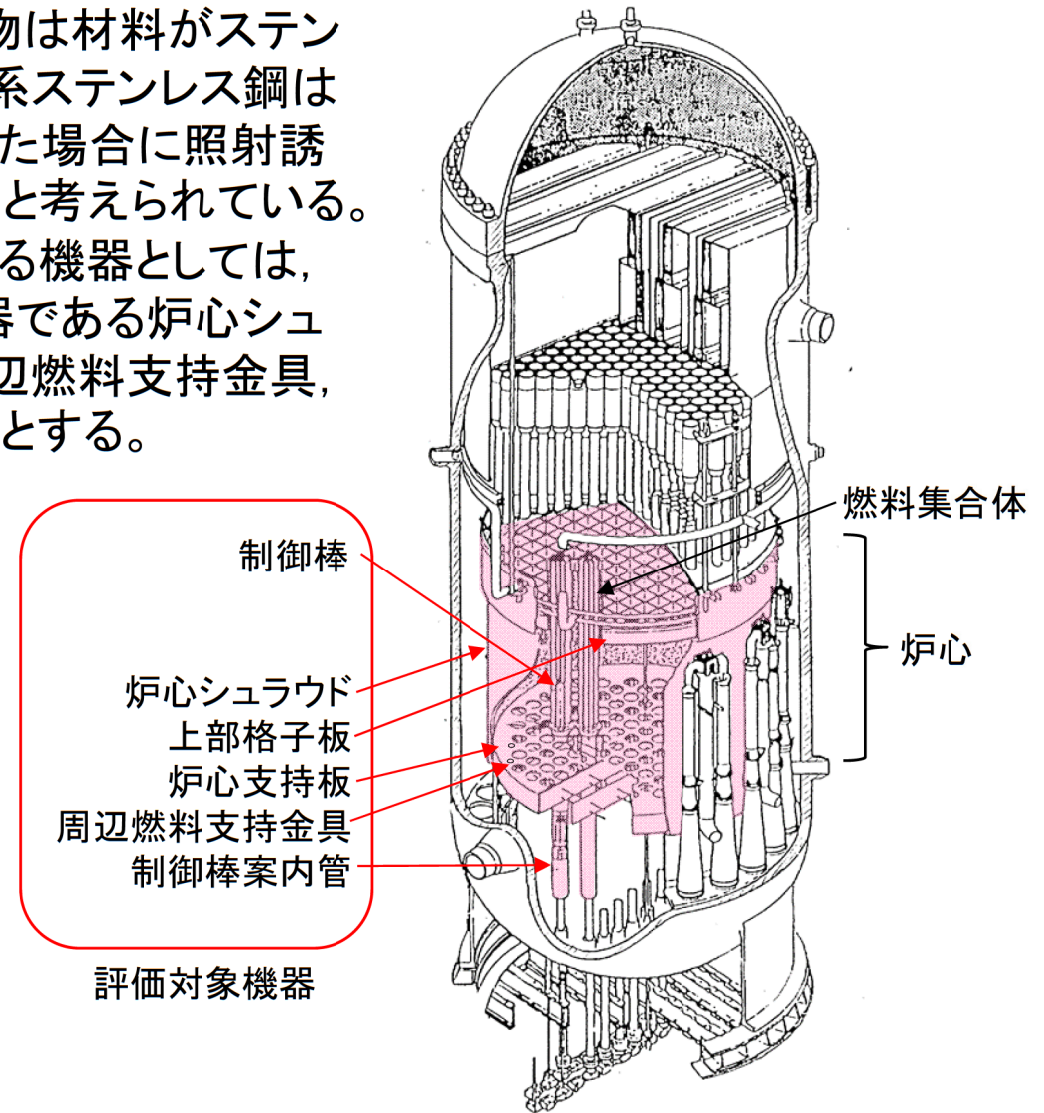


図 原子炉圧力容器

### 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。
- 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。
- 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。  
➡4. 1項

#### 【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。

- 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(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った。
- (追而)

## 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(検査の判定基準を満足)
	外面	MVT-1	運転時間で5~15年	第25回定期検査 (2015年)	良(検査の判定基準を満足)
炉心シュラウド		VT-3	10年	第25回定期検査 (2015年)	良(検査の判定基準を満足)

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			(追而)	

# 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

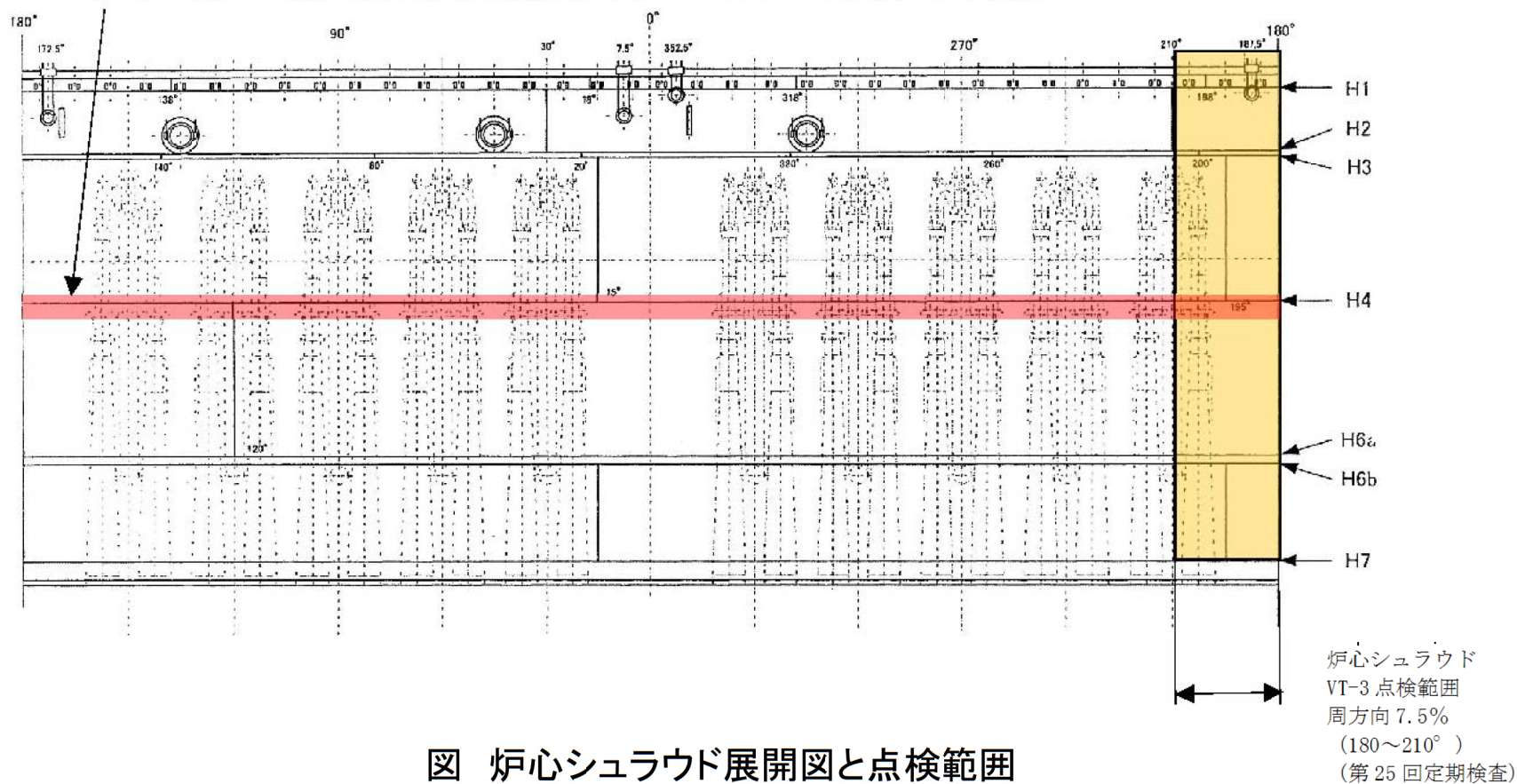


図 炉心シュラウド展開図と点検範囲

## 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(検査の判定基準を満足)

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(検査の判定基準を満足)

# 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)

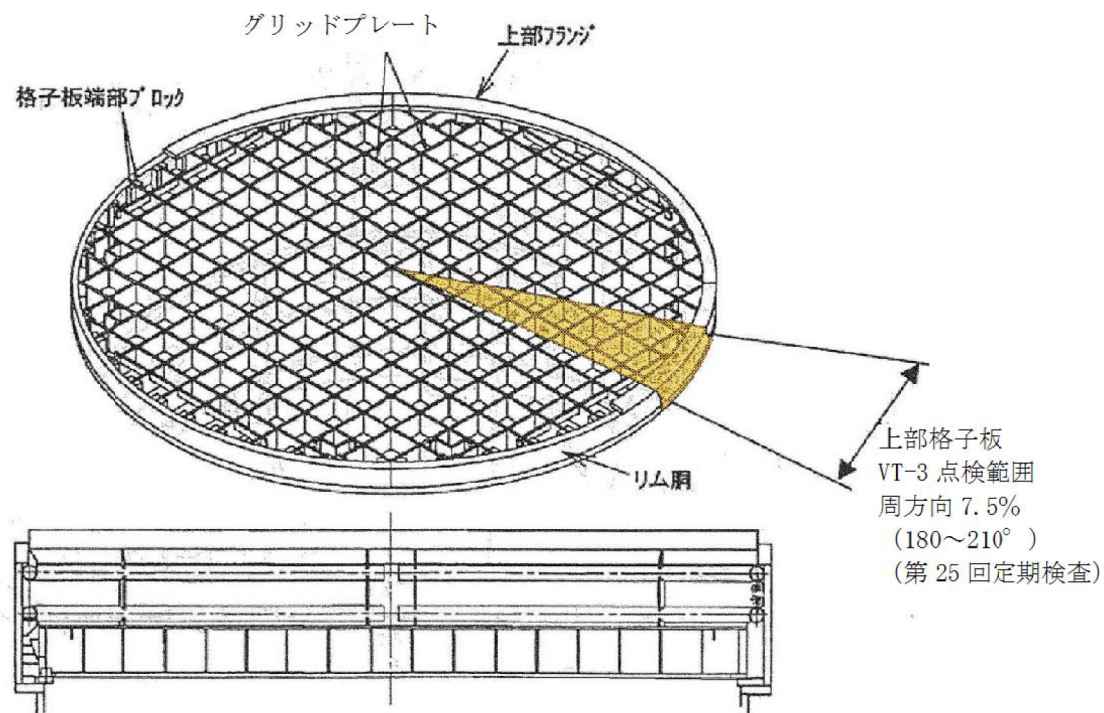


図1 上部格子板と点検範囲(VT-3)

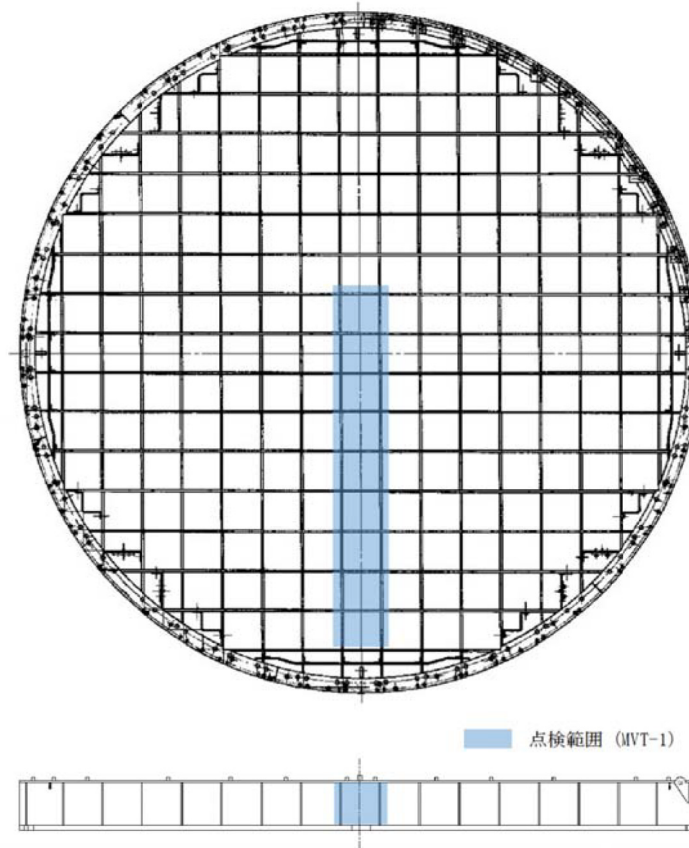


図2 上部格子板と点検範囲(MVT-1)

## 4. 1 炉内構造物の技術評価(9/12)

### (2) 現状保全(5/6)

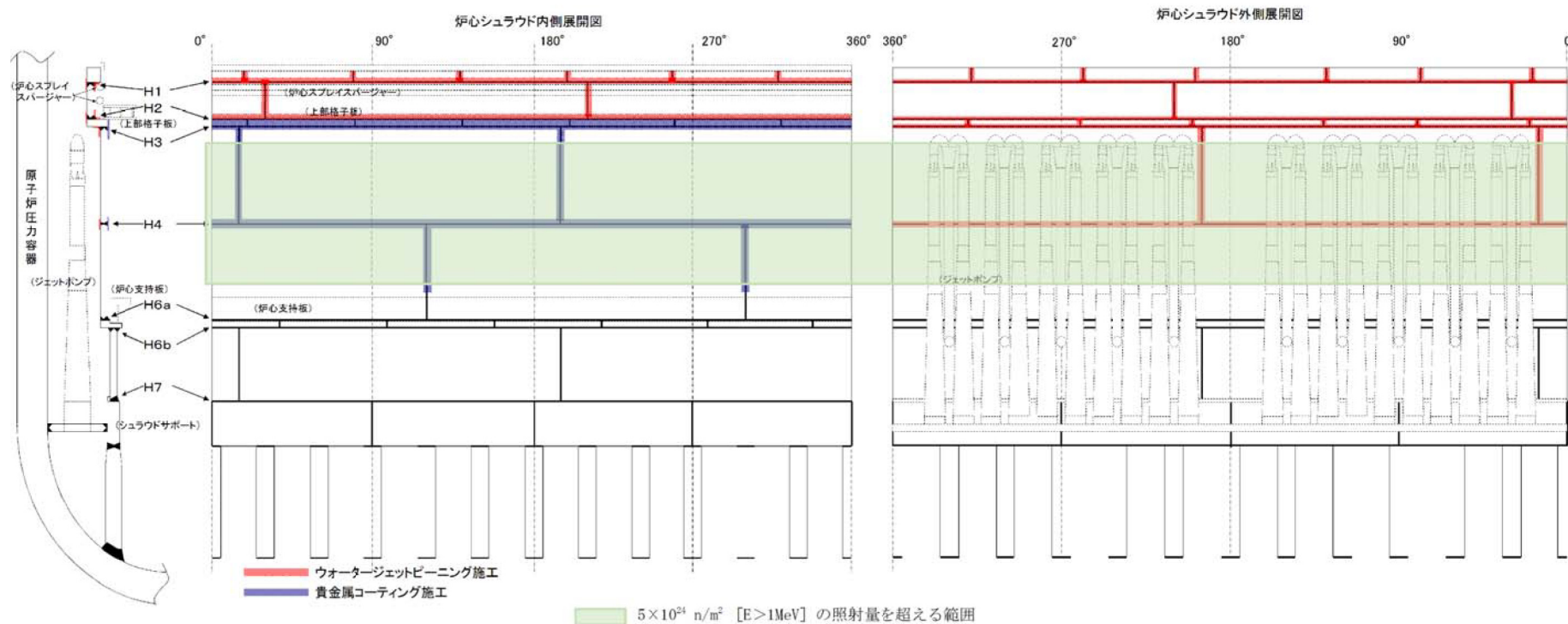
#### ② 応力腐食割れに対する予防保全対策

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った。</p> <p>(追而)</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)	(追而)
炉心シュラウド中間胴の母材部	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。
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(1/7)

### (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、4. 1(1)①で述べたとおり、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 ボロン・カーバイド型制御棒の上部の使用材料

- 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、下表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。

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(2/7)

### (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、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: $2.0 \times 10^{25}$  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。  
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になり, この取替の運用基準に従って取替えることになる。  
以上より, 照射量の観点からは, ステンレス鋼を使用している上部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。
- 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。  
このため, 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が否定できない。

## 4. 2 制御棒の技術評価(3/7)

---

### (1) 健全性評価(3/3)

#### ③ 制御棒の照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性評価(つづき)

- 前述のとおり、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。

他プラントでの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。

## 4. 2 制御棒の技術評価(4/7)

---

### (2)現状保全(1/2)

#### ①点検状況

- 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>)に基づき取替を実施している。
- 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。

## 4. 2 制御棒の技術評価(5/7)

### (3)現状保全(2/2)

#### 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を長穴構造化(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>

## 4. 2 制御棒の技術評価(6/7)

### (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. 2 制御棒の技術評価(7/7)

---

### (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. 経年劣化傾向の評価

- 照射誘起型応力腐食割れの評価において、運転開始後60年時点での中性子照射量について、30年目の高経年化技術評価(以下、「30年目の評価」という)と劣化状況評価(以下、「40年目の評価」という)を比較し、相違が生じている理由について検討した。その結果を下表に示す。
- 40年目の評価においては、60年時点での中性子照射量がしきい照射量  $5.0 \times 10^{24}$  [n/m<sup>2</sup>] を超えると予測している。30年目の評価においては、中性子照射量が異なるが、同様にしきい照射量を超えると予測して評価していることから、30年目の評価も有効であったと考える。

表 上部格子板における運転開始後60年時点での累積中性子照射量評価の比較

	30年目の評価	40年目の評価	相違の主な理由
しきい照射量 [n/m <sup>2</sup> ]	$5.0 \times 10^{24}$	同左	—
60年時点での 中性子照射量 [n/m <sup>2</sup> ]	$2.9 \times 10^{26}$	$2.9 \times 10^{25}$	主に、以下の照射時間 と線源強度による
照射時間 [EFPY]	48	38.94	運転実績・計画の反映
炉心内発生 線源強度	均一分布	相対出力分布	精緻化

## 6. 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
○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。	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う。 (追而)
	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、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	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。
	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。
	制御棒	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。

\* 「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

## 6. 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

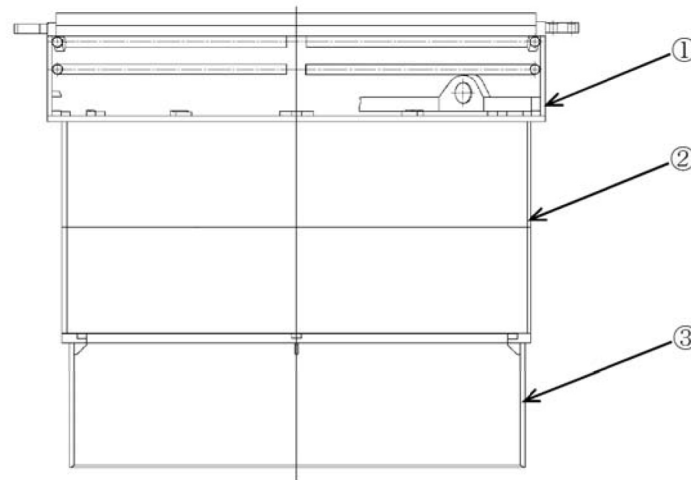
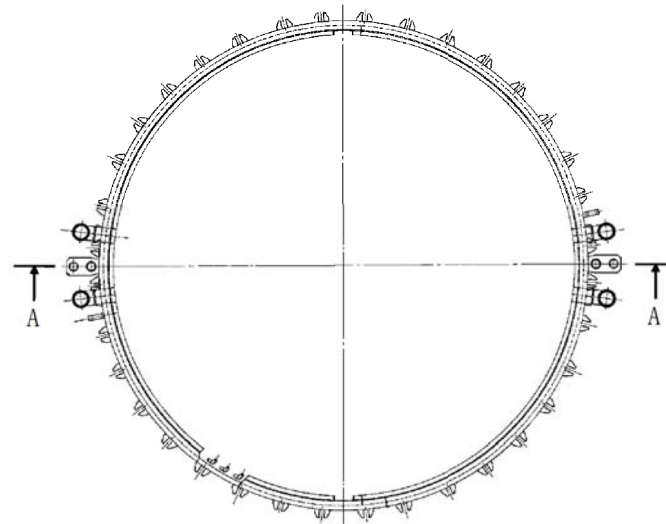
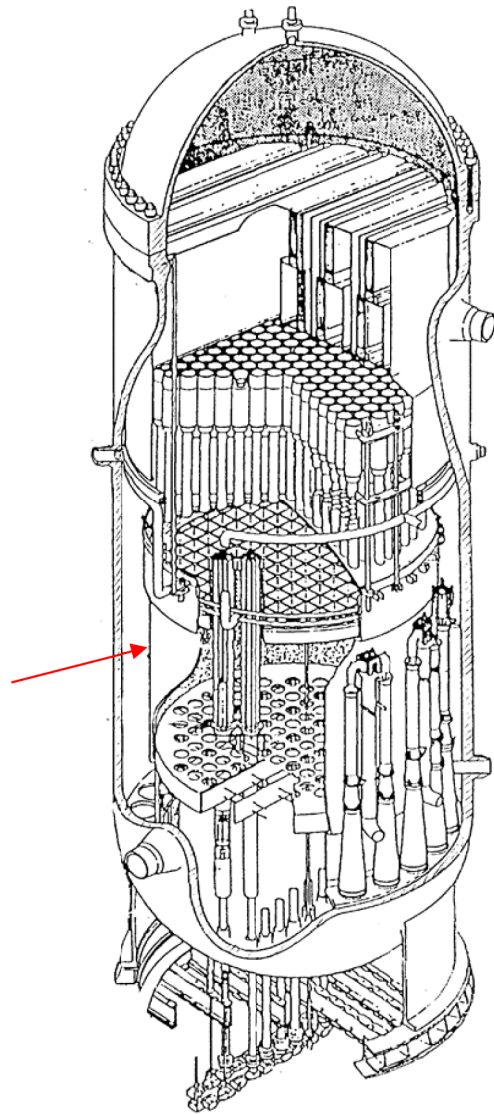
評価対象機器	保守管理に関する方針	実施時期*
炉心シュラウド 中間胴H4 周溶接継手(熱影響部含む)	(追而)	(追而)
炉心シュラウド中間胴の母材部	なし	—
上部格子板		
炉心支持板, 周辺燃料支持金具及び制御棒案内管		
制御棒		

\*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。

---

以下、参考資料

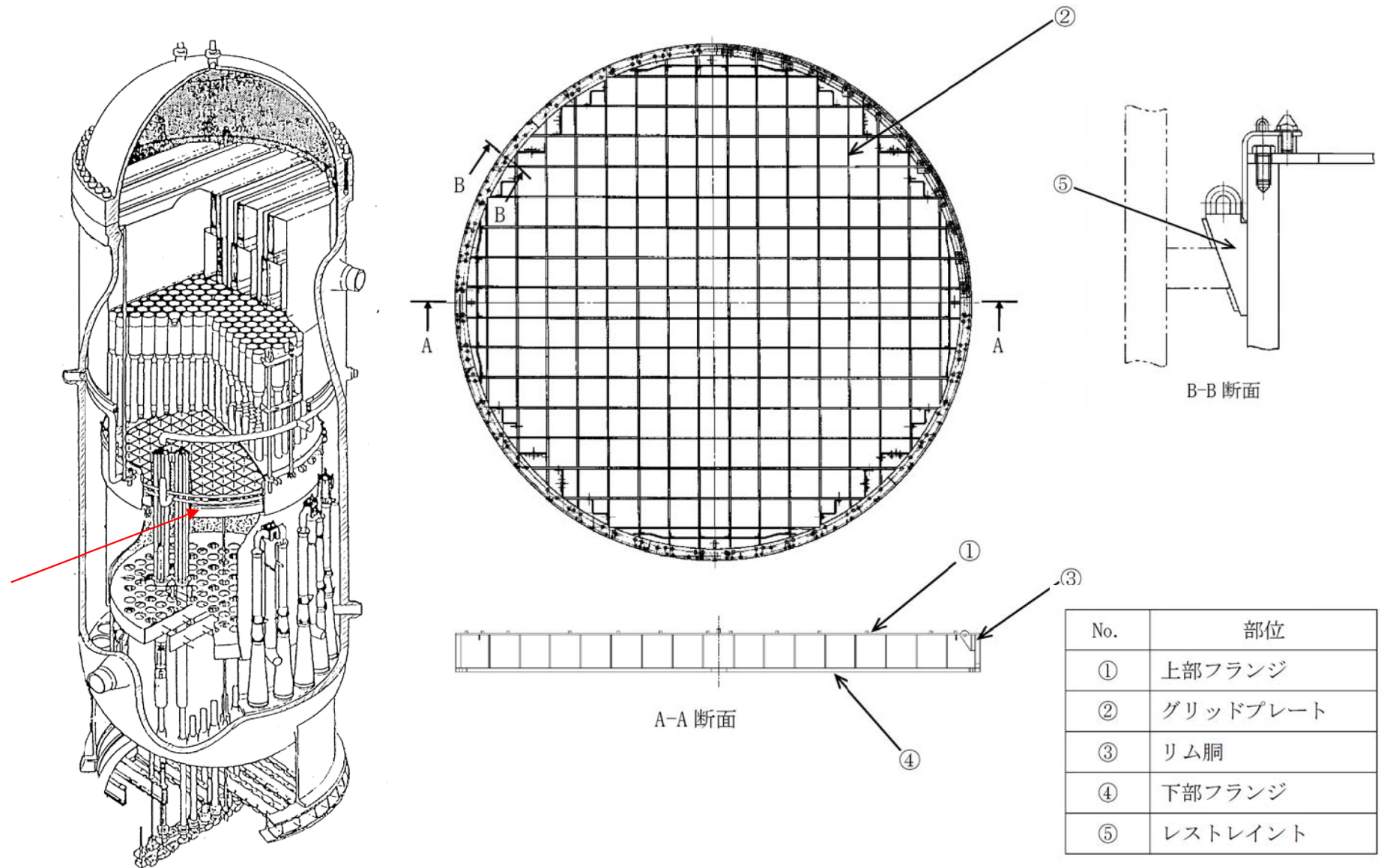
# (参考)炉心シュラウドの構造



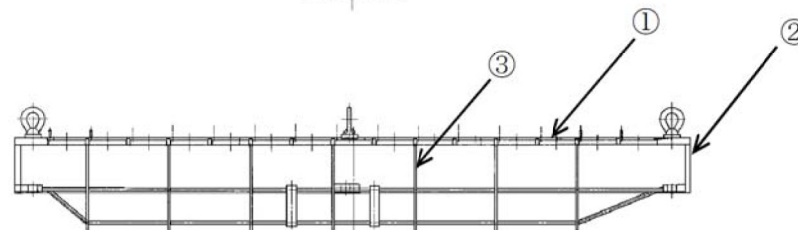
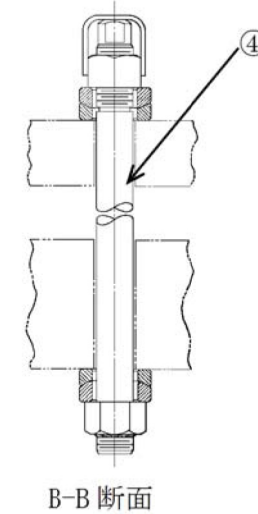
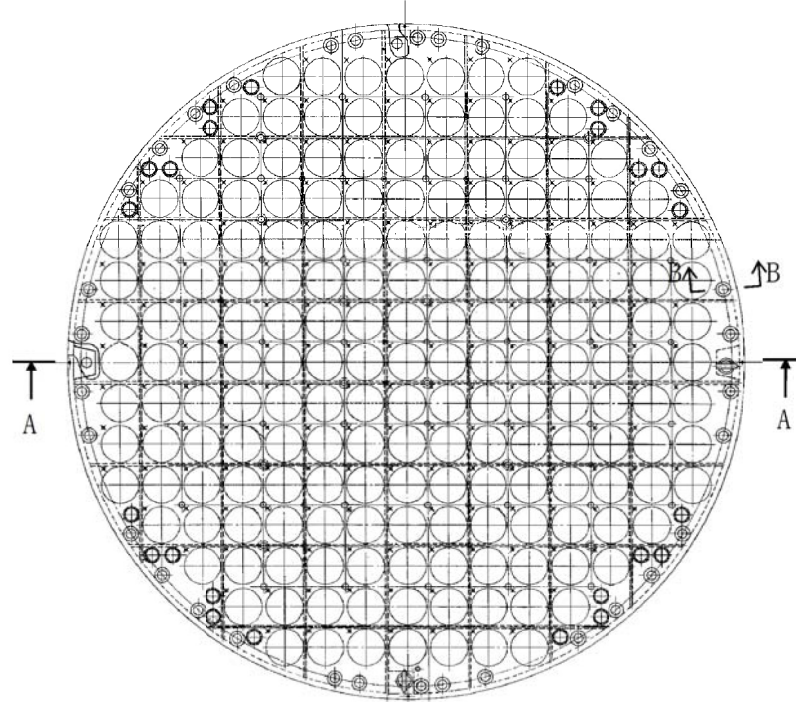
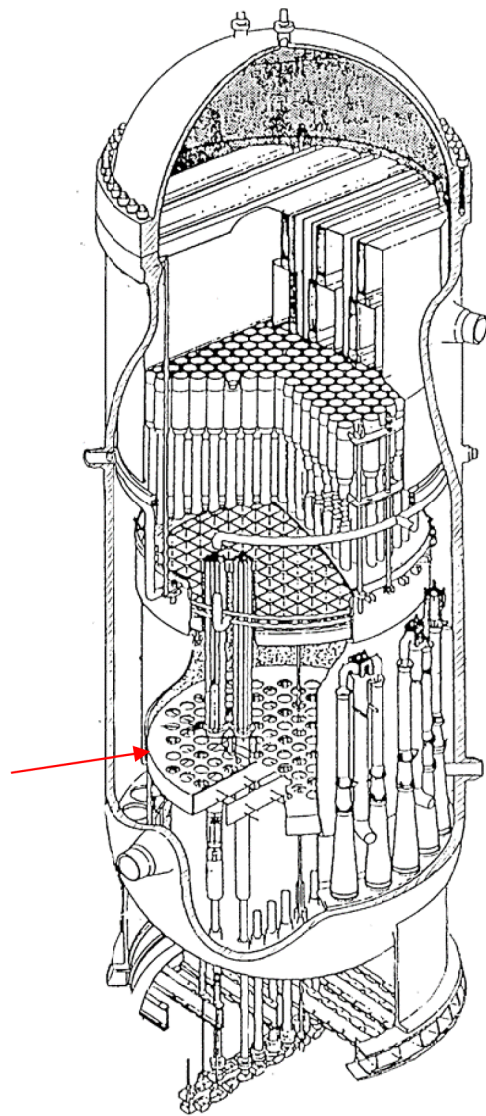
A-A 断面

No.	部位
①	上部胴
②	中間胴
③	下部胴

# (参考) 上部格子板の構造



# (参考)炉心支持板の構造

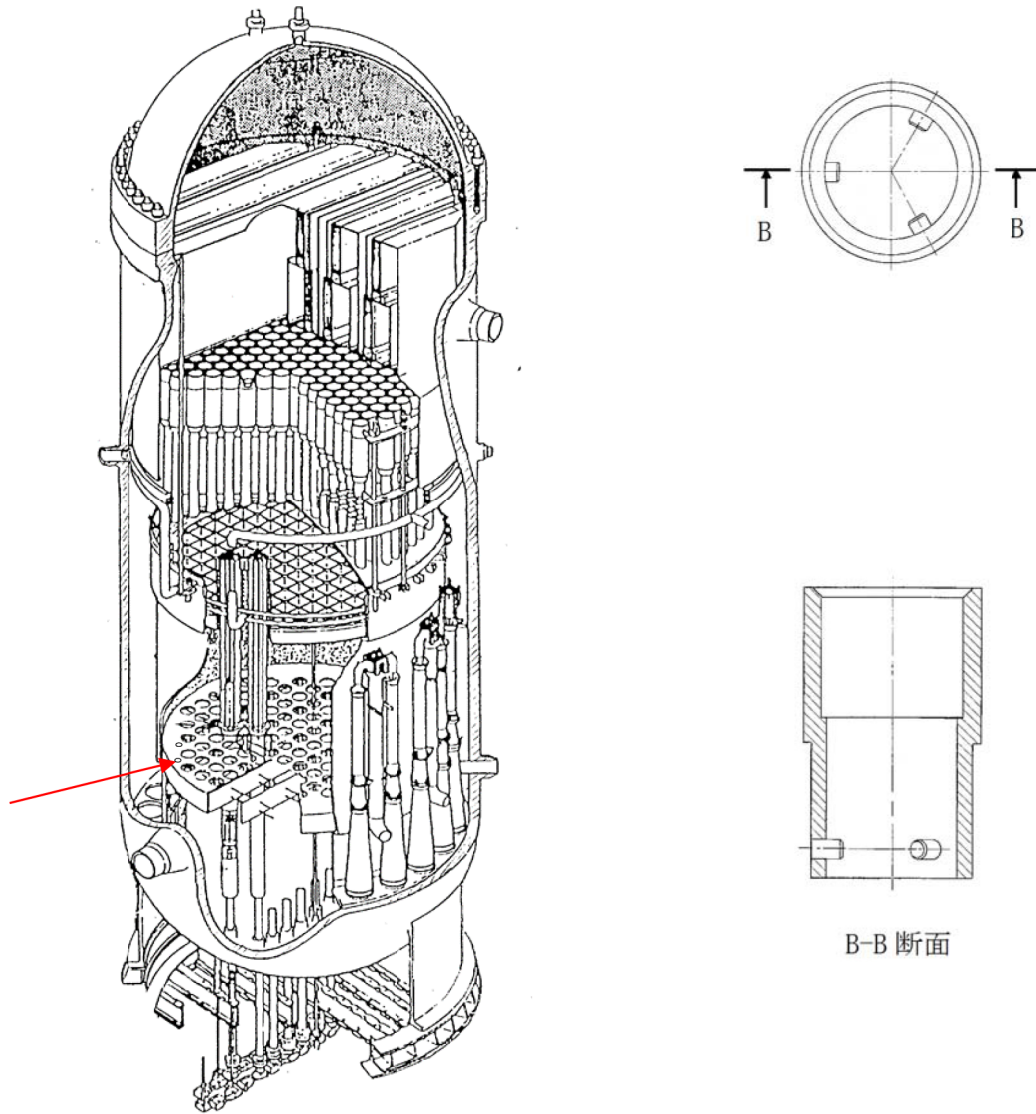


A-A 断面

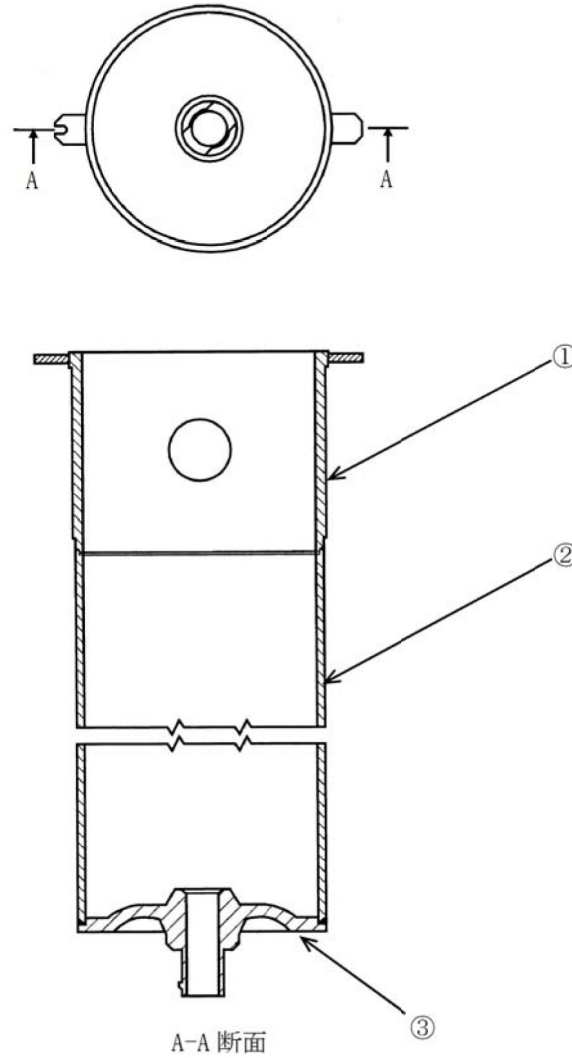
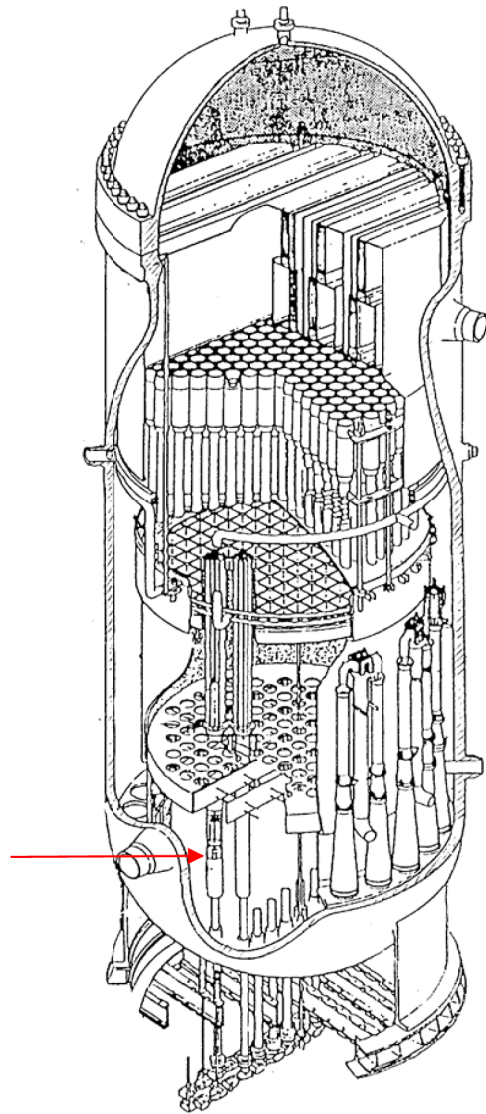
No.	部位
①	支持板
②	リム胴
③	補強ビーム
④	スタッド



# (参考) 周辺燃料支持金具の構造

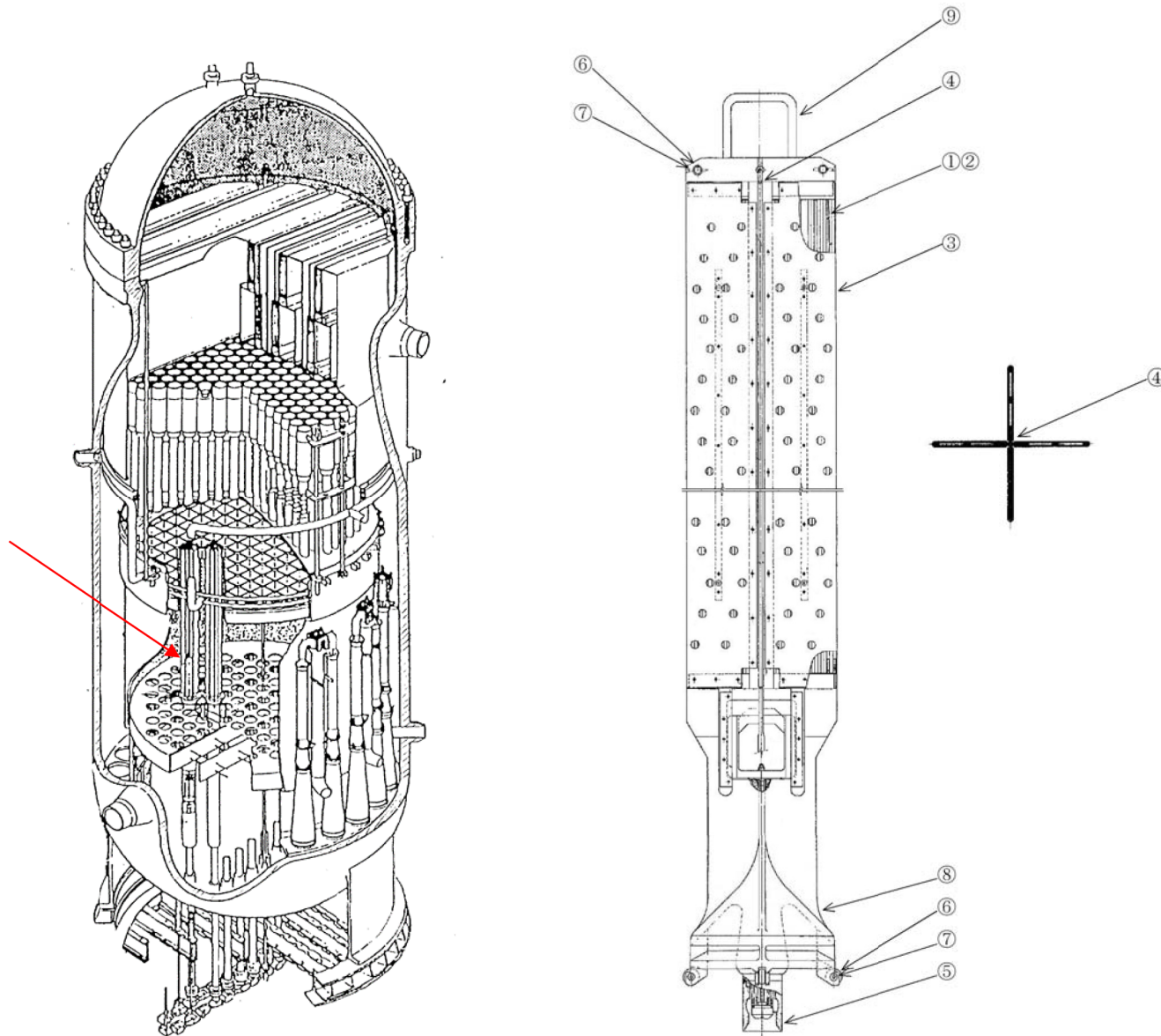


# (参考) 制御棒案内管の構造



No.	部位
①	スリーブ
②	ボディ
③	ベース

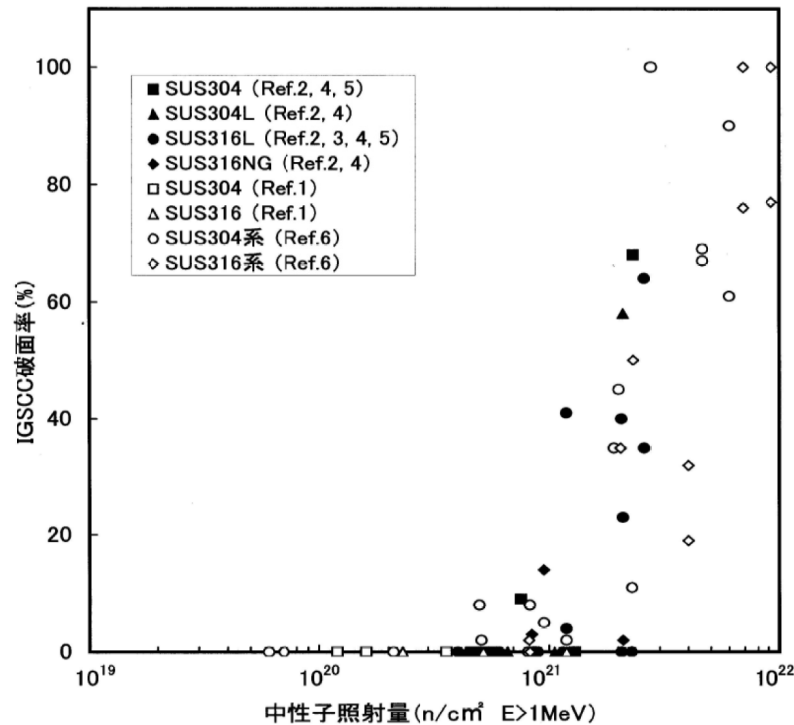
# (参考) 制御棒の構造



No.	部位
①	制御材
②	制御材被覆管
③	シース
④	タイロッド
⑤	ソケット
⑥	ローラ
⑦	ピン
⑧	落下速度リミッタ
⑨	上部ハンドル

# (参考)しきい照射量

しきい照射量: 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



[図で引用されている参考文献]

Ref.1: K. Chatani et al, "Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Core Component Materials" Proceedings of 12th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 2005.

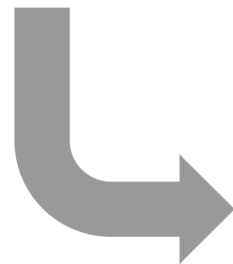
Ref.2: 「平成 16 年度照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術調査研究に関する報告書」独立行政法人 原子力安全基盤機構

Ref.3: K. Chatani et al, "IASCC Susceptibility of Thermal Treated Type 316L Stainless Steel" Proceedings of 11th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 2003.

Ref.4: Y. Tanaka et al, "IASCC Susceptibility of Type 304, 304L, and 316L Stainless Steel" Proceedings of 8th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 1997.

Ref.5: K. Fukuya et al, "Mechanical Properties and IASCC Susceptibility in Irradiated Austenitic Steels" Proceedings of 6th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 1993.

Ref.6: S. Suzuki, M. Kodama, S. Shima, M. Yamamoto; Fifth International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors(1991). Effects of Fluence and Dissolved Oxygen on IASCC in Austenitic Stainless Steels.



材質	しきい照射量 [n/m²]
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

# (参考)制御棒の応力腐食割れに対する予防保全対策

## 上部ハンドルガイドローラのピン穴を長穴構造化(取替品)



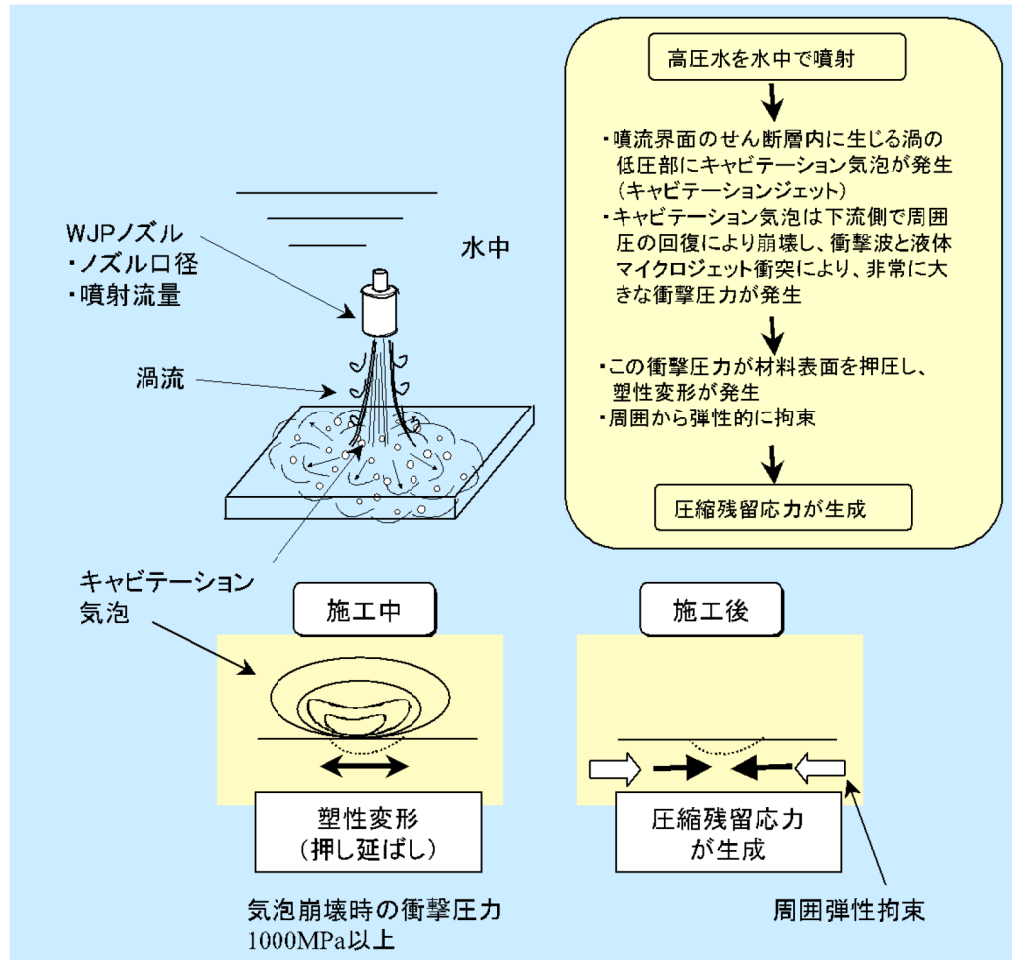
図 上部ハンドルガイドローラのピン穴長穴構造化

- 第17回定期検査時(1999年), 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を発見  
➡制御棒の機能に影響しないと評価。B社製制御棒に取替。
- B社製制御棒の上部ハンドルガイドローラのピン穴を長穴構造化した対策品(右図)を, 第18回定期検査(2001年)以降, 核的寿命により取り替える制御棒に採用。
- 第25回定期検査時(2011年), B社製制御棒のうち, 第17回定期検査で取り付けた制御棒(未対策品)について, 上部ハンドルローラ近傍に照射誘起型応力腐食割れと推定されるひびを発見  
➡対策品に取替

# (参考)ウォータージェットピーニング(WJP)

(解説 2-1) WJPの原理

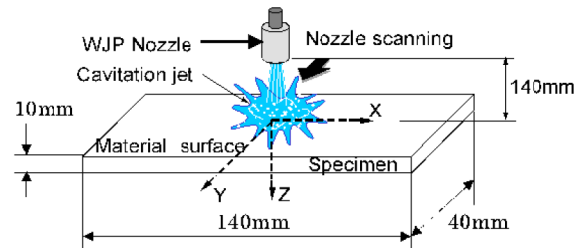
WJPは、高圧水を水中でノズルから噴射することにより発生させたキャビテーションを含むジェットで、機器表面をピーニングする技術である。このWJPの原理を、解説図 2-1(1)及び(2)に示す。



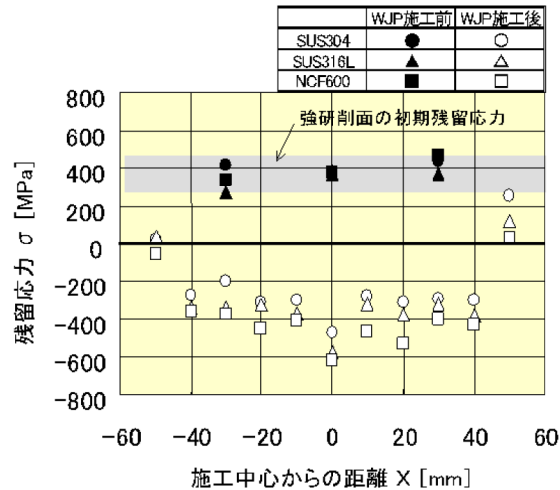
解説図 2-1(1) WJPの原理

WJPによる引張残留応力改善の原理  
(ピーニング工法ガイドラインより)

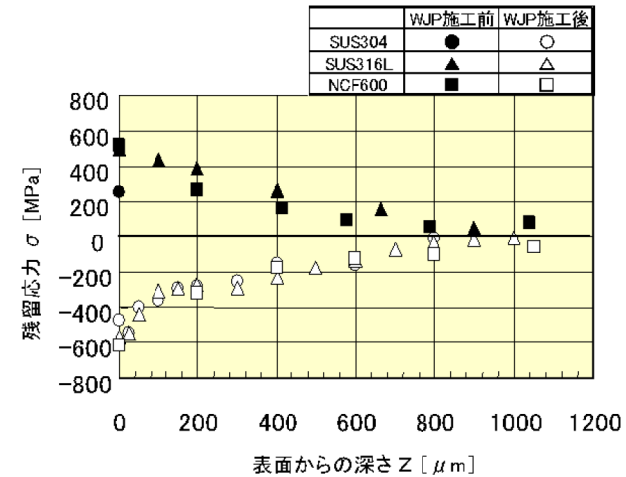
# (参考) ウォータージェットピーニング (WJP)



- ・ 噴射圧力：約 70MPa
- ・ ノズル口径：2mm ホーンノズル
- ・ 噴射角度：90°



(a) 試験片の表面残留応力分布



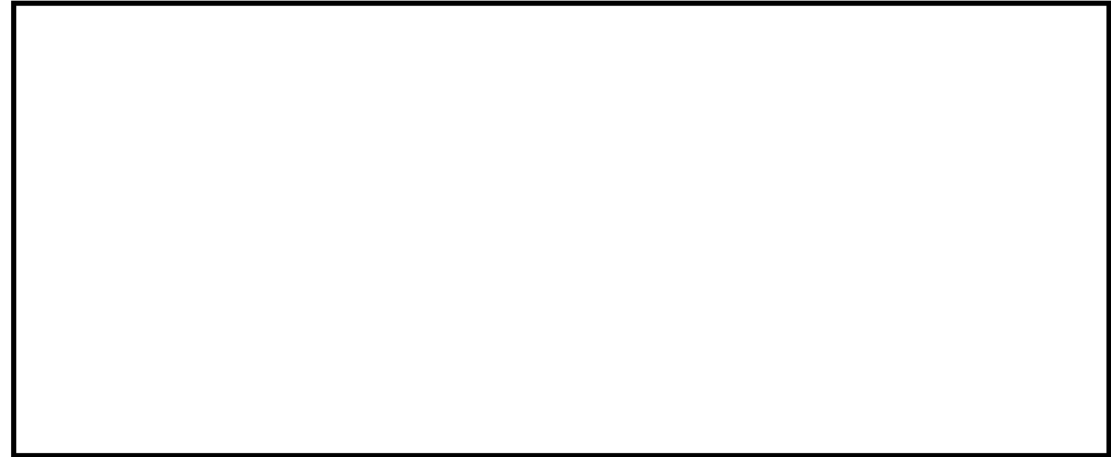
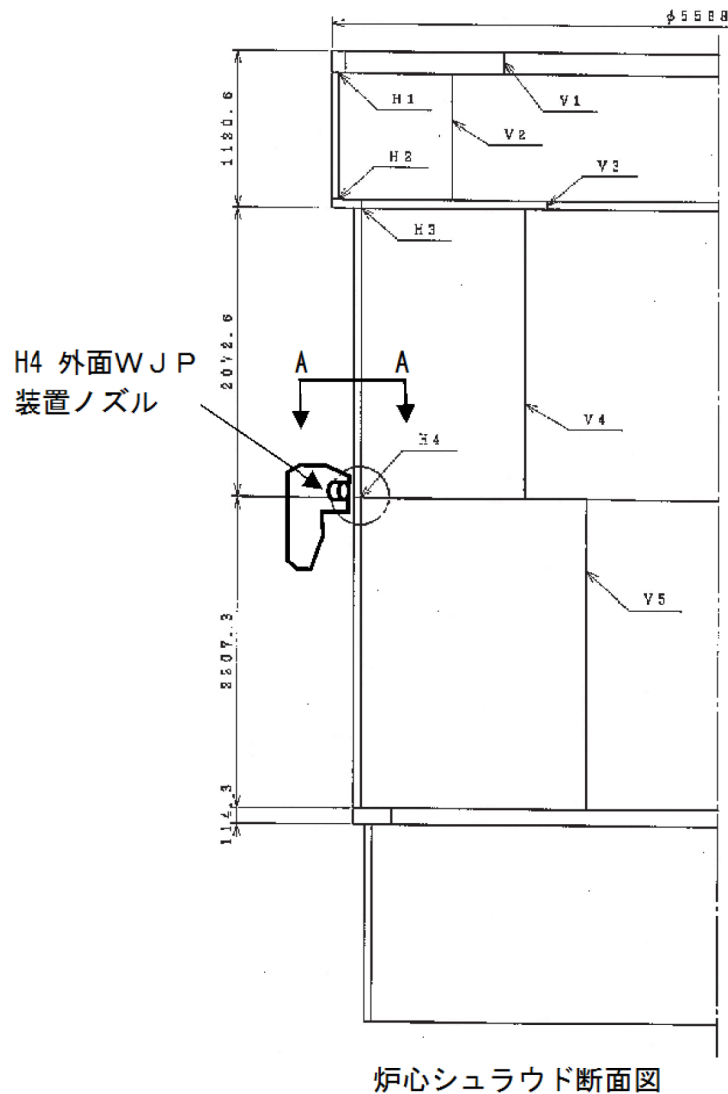
(b) 試験片の板厚内残留応力分布

解説図 1-1 ウォータージェットピーニングによる残留応力低減効果例

(出典：日本ウォータージェット学会「噴流工学」Vol.20、No.1 (2003年2月))

WJPによる引張残留応力改善の原理  
(ピーニング工法ガイドラインより)

# (参考)炉心シュラウドH4周溶接継手外面へのWJP施工



A-A 断面 (H4 外面WJP装置ノズル可動範囲)

- 炉心シュラウドH4外面用WJP装置は、ノズルを2個装着し、炉心シュラウドの外表面に沿って水平にノズルを走行させ施工を行う。
- 一度の設置によって円周方向  の範囲が施工可能であり、装置を約  ずらした位置(計12箇所)に設置することで全周の施工を行った。
- 炉心シュラウドH4外面とジェットポンプの狭隘部にノズルを接近させる必要があることから、施工条件は噴射角度  として確認試験を行った。



# (参考)炉心シュラウドH4溶接継手外面へのWJP

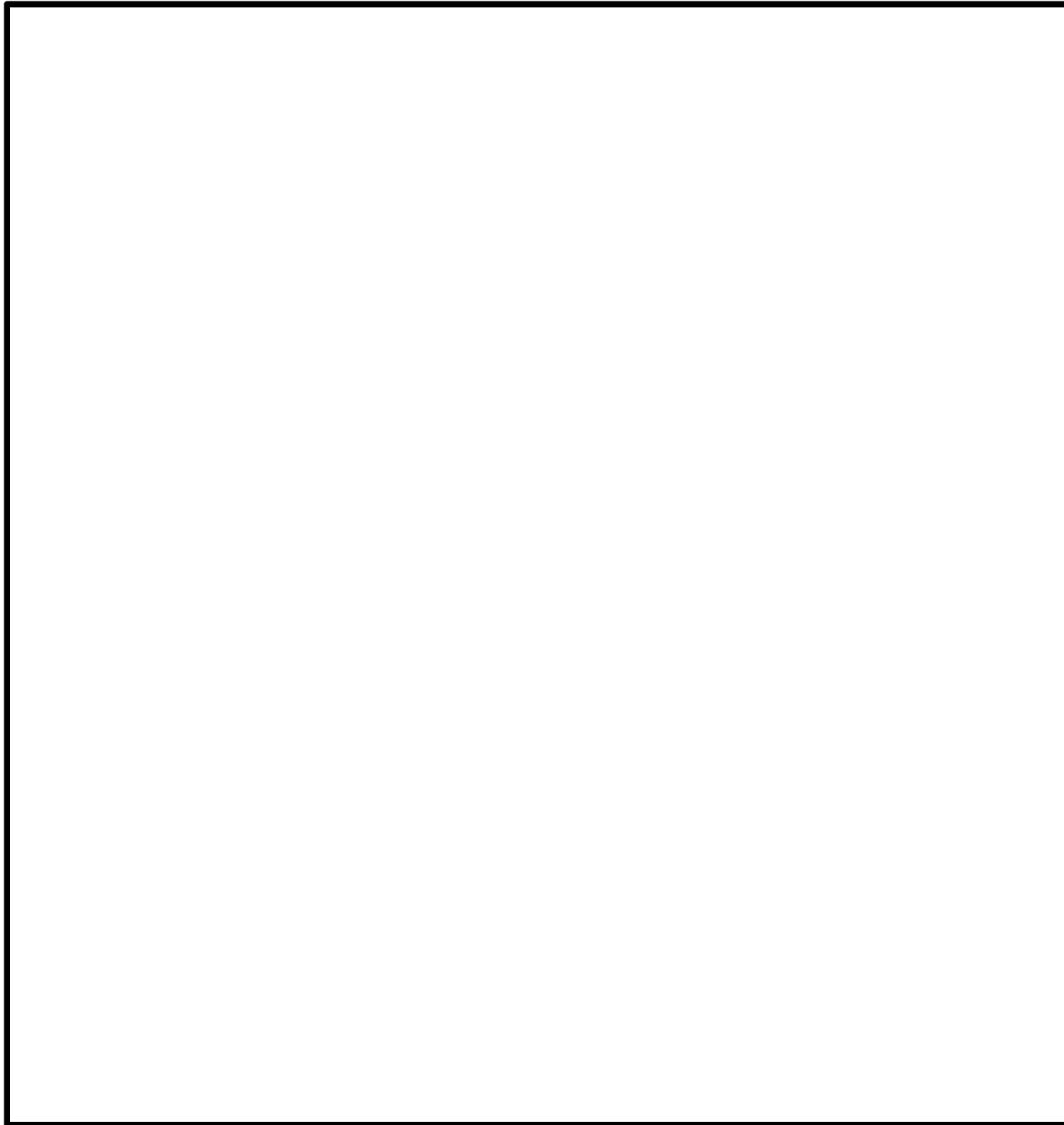
---

- 施工条件確認試験



## (参考) 貴金属コーティング施工 (NMC)

---



NMCによる応力腐食割れ抑制  
効果のメカニズム (NMC確性試  
験報告書より)