

資料③



# 大飯発電所 3号炉 高経年化技術評価 照射誘起型応力腐食割れ

関西電力株式会社

2021年3月4日

1. 概要 .....	2
2. 基本方針 .....	2
3. 評価対象と評価手法	
3.1 評価対象 .....	3
3.2 評価手法 .....	6
4. 技術評価	
4.1 健全性評価 .....	9
4.2 現状保全 .....	10
4.3 総合評価 .....	11
4.4 高経年化への対応 .....	11
5. まとめ	
5.1 審査ガイド適合性 .....	12
5.2 長期施設管理方針として策定する事項 .....	12

## 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82条第1項の規定に基づき実施した、運転を断続的に行うことを前提とした高経年化技術評価のうち、照射誘起型応力腐食割れ（以下、IASCC）の評価結果を補足説明するものである。

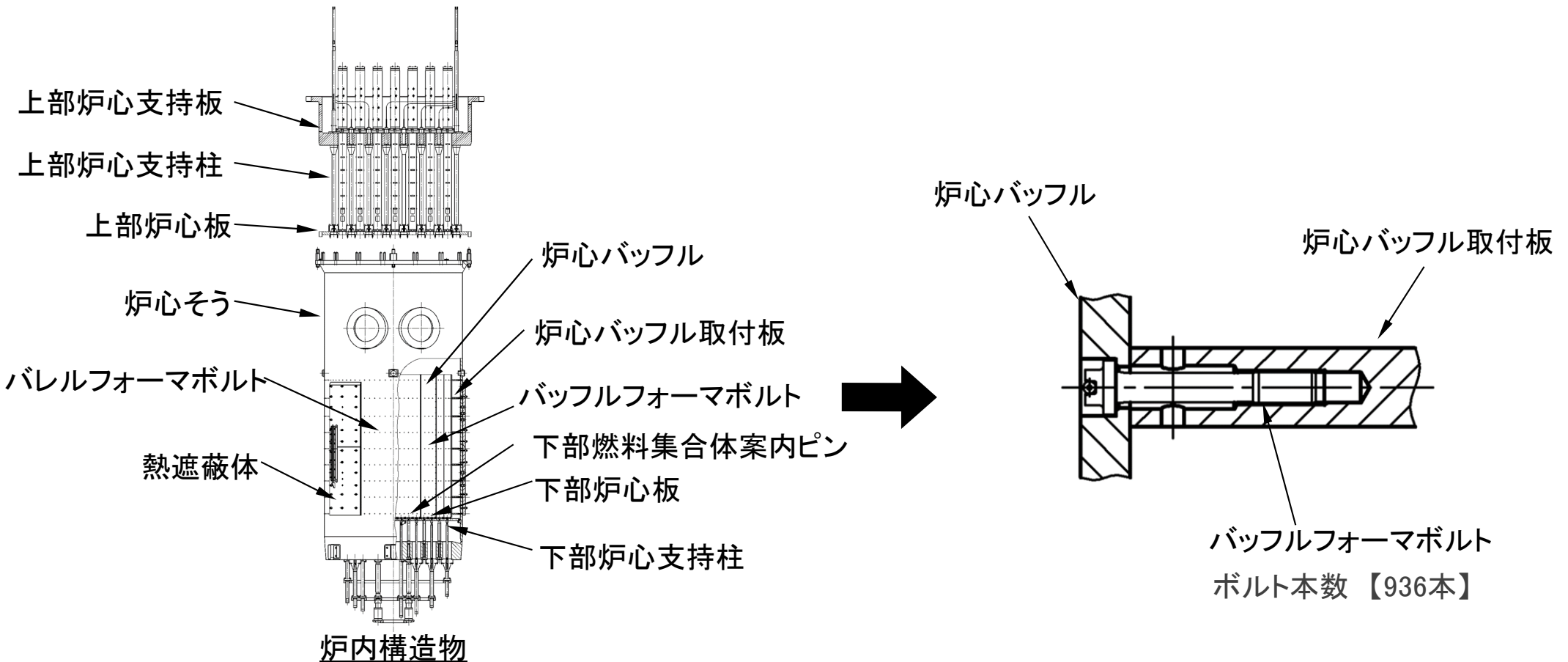
## 2. 基本方針

評価対象部位においてIASCCの発生の可能性について評価し、その発生の可能性が将来にわたって否定できない場合は、その発生または進展に係る健全性評価を行い、運転開始後60年時点までの期間において「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」および「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」の要求事項を満たすことを確認することである。

## 3. 評価対象と評価手法(1/6)

### 3.1 評価対象

- ・材料がステンレス鋼で、IASCC感受性の発生が考えられる中性子照射量 $10^{21}\text{n}/\text{cm}^2$  [ $E > 0.1\text{MeV}$ ]オーダー以上(運転開始後60年時点)を受ける機器を抽出した結果、対象機器は炉内構造物のみであった。
- ・炉内構造物の各部位の中性子照射量、温度、応力レベルを次頁の表1に整理した。これらの部位のうち、中性子照射量と温度が最も高く、応力レベルも大きく、海外での損傷事例もあるバップルフォーマボルトを最も厳しい評価部位として選定した。



### 3. 評価対象と評価手法(2/6)

表1 ステンレス鋼のIASCCの可能性評価(1/2)

部位	実機条件			海外の 損傷 事例	可能性評価
	中性子照射量 レベル*1 [n/cm <sup>2</sup> :E>0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温 度 [°C]		
バッフルフォー マボルト	9 × 10 <sup>22</sup>	大 〔 締付+熱曲げ +照射スウェリング 〕	325	有	発生可能性有り。炉心バッフルの照射スウェリングにより応力増加が生じるため亀裂発生の可能性が大きくなる。海外損傷事例もあり最も厳しい。
炉心バッフル	9 × 10 <sup>22</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心バッフル 取付板	9 × 10 <sup>22</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
バレルフォーマ ボルト	8 × 10 <sup>21</sup>	大 (締付+熱曲げ)	325	無	応力レベルは大きい、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心そう	1 × 10 <sup>22</sup>	大 (溶接部) (溶接残留応力)	325	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きい、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部炉心板	1 × 10 <sup>21</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

\*1: 中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

\*2: 応力レベルは各部位の最大応力値を示す。【大: >Sy(非照射材の降伏応力) 中: ≒Sy(非照射材の降伏応力) 小: <Sy(非照射材の降伏応力)】

### 3. 評価対象と評価手法(3/6)

表1 ステンレス鋼のIASCCの可能性評価(2/2)

部位	実機条件			海外の 損傷 事例	可能性評価
	中性子照射量 レベル*1 [n/cm <sup>2</sup> :E>0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
上部燃料集合体 案内ピン	1 × 10 <sup>21</sup>	小 (締付け)	325	無	バブルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部燃料集合体 案内ピン	9 × 10 <sup>21</sup>	小 (締付け)	289	無	バブルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	9 × 10 <sup>21</sup>	大 (熱応力)	289	無	応力レベルは大きいですが、バブルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	4 × 10 <sup>21</sup>	中 (曲げ)	289	無	バブルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材	5 × 10 <sup>21</sup>	小 (熱応力)	289	無	バブルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材 取付ボルト	5 × 10 <sup>21</sup>	大 (締付+熱曲げ)	289	無	応力レベルは大きいですが、バブルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バブルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

\*1: 中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

\*2: 応力レベルは各部位の最大応力値を示す。【大: >Sy(非照射材の降伏応力) 中: ≒Sy(非照射材の降伏応力) 小: <Sy(非照射材の降伏応力)】

## 3. 評価対象と評価手法(4/6)

### 3.2 評価手法

#### (1) 適用規格

- ・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」
- ・PWR 炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト](第3版)  
一般社団法人 原子力安全推進協会
- ・発電用原子力設備規格 維持規格(JSME S NA1-2012) 日本機械学会

#### (2) バッフルフォーマボルトの損傷予測評価

「平成20年度 照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」に示された評価ガイド(案)および、原子力安全推進協会「PWR 炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト](第3版)」に基づき、以下のとおり評価する。

<評価ガイド(案)に基づく評価方法>

① 運転時間(照射量)によって変動するバッフルフォーマボルトの応力履歴を算出(次頁の図2)。



② 評価ガイドに定められているIASCC発生しきい応力線図と①で算出したバッフルフォーマボルトの応力履歴を重ね合わせる(図1)。



③ バッフルフォーマボルトの応力履歴がIASCC発生しきい応力線図を超えた時点をIASCCの発生時間とする。

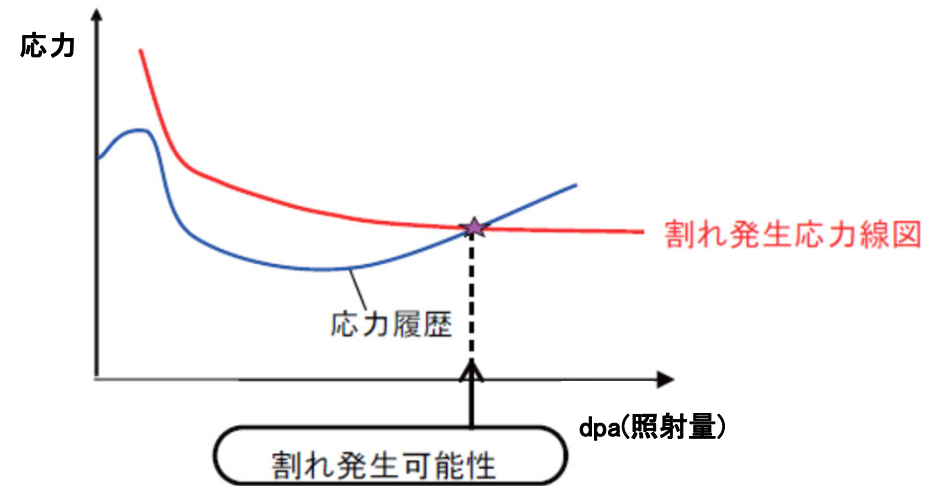


図1 割れ発生予測評価概念図

[出典: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」]



# 3. 評価対象と評価手法 (5/6)

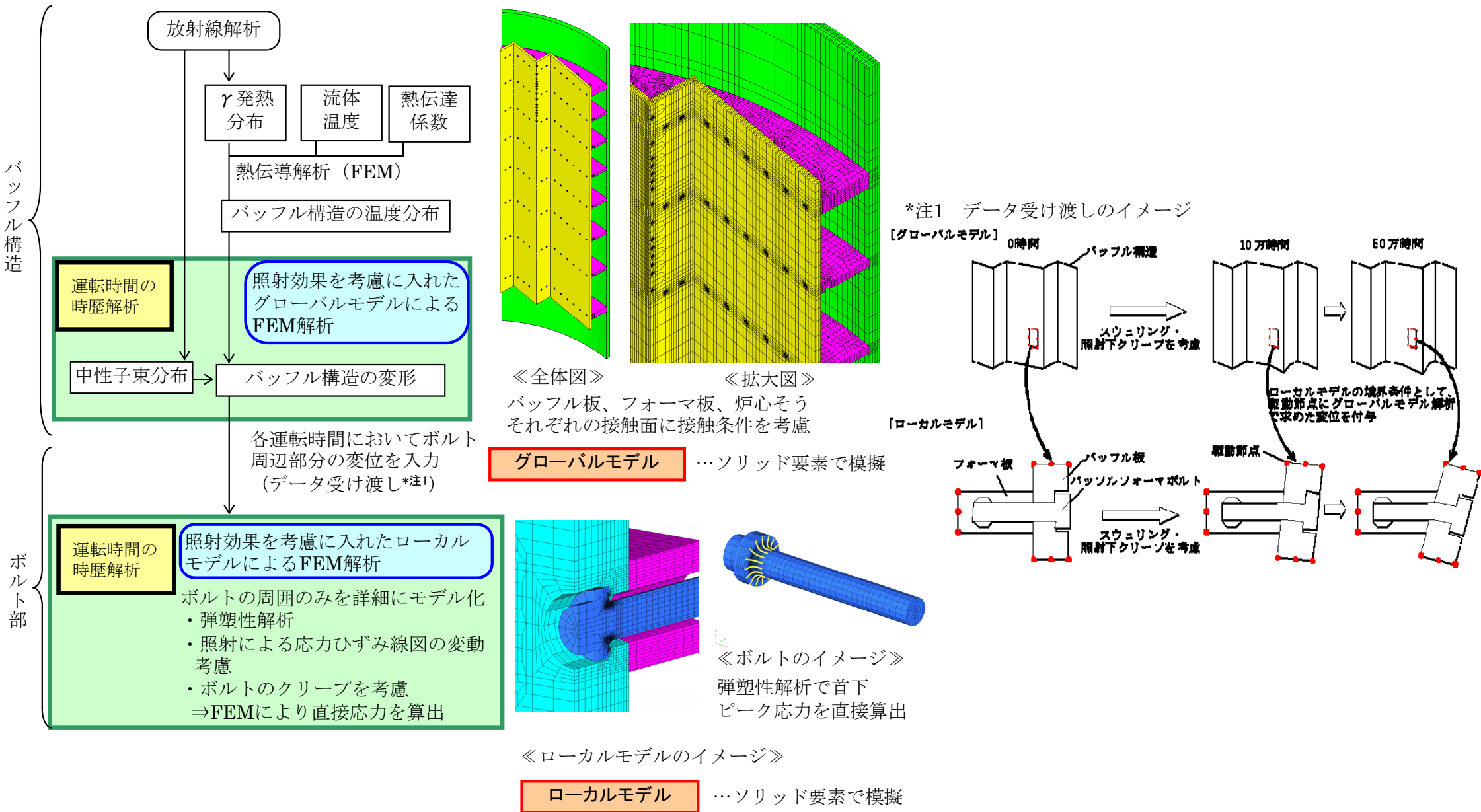


図2 バブルフォーマボルトの応力評価手法



### 3. 評価対象と評価手法(6/6)

- ・大飯3号炉のバッフルフォーマボルトの仕様は下図のとおり。
- ・維持規格では、バッフルフォーマボルトの仕様等に応じて、IASCCに対する感受性の高い順にプラントをグループ1~4に分類しており、大飯3号炉はこのうちのグループ4に属する。

#### 【大飯3号炉のバッフルフォーマボルトの仕様】

- ・材料 : G316CW1
- ・首下形状 : パラボリック
- ・シャンク長さ : 64mm(ベントホール有)

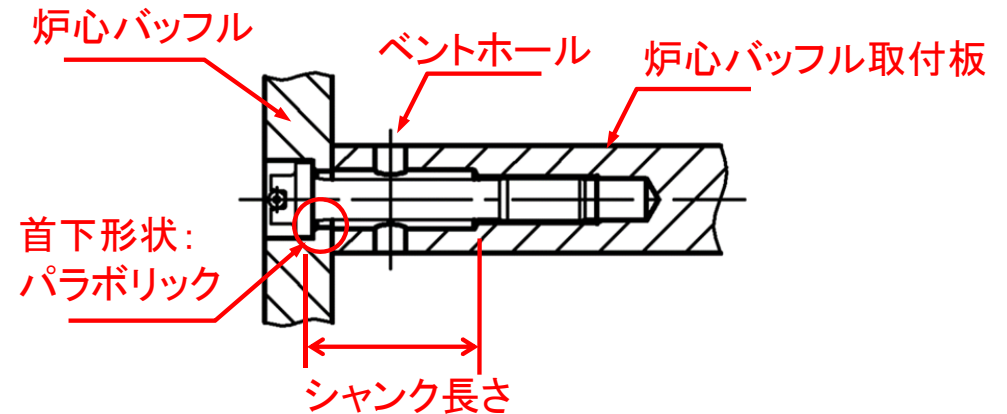


表2 バッフルフォーマボルト仕様に基づく分類

グループ	ループ数	ボルト本数	シャンク長さ	ボルト材料 <sup>1)</sup>	首下形状	シャンク部ベントホールの有無	燃料タイプ
グループ1	2	624	25mm	SUS347	1R	無	14×14 燃料
	2	728	25mm	SUS347	1R	無	14×14 燃料
グループ2	3	1088	35mm	SUS316 <sup>2)</sup>	2R	無	15×15 燃料
	4	832	64mm	SUS316 <sup>2)</sup>	2R	無	17×17 燃料
グループ3	2	832	35mm	SUS316 <sup>2)</sup>	パラボリック	無	14×14 燃料
グループ4	3	1080	35mm	SUS316 <sup>2)</sup>	パラボリック	有	17×17 燃料
	4	936	64mm	SUS316 <sup>2)</sup>	パラボリック	有	17×17 燃料
	2	800	35mm	SUS316 <sup>2)</sup>	パラボリック	有	14×14 燃料

- 1) 相当品含む
- 2) 冷温加工材含む

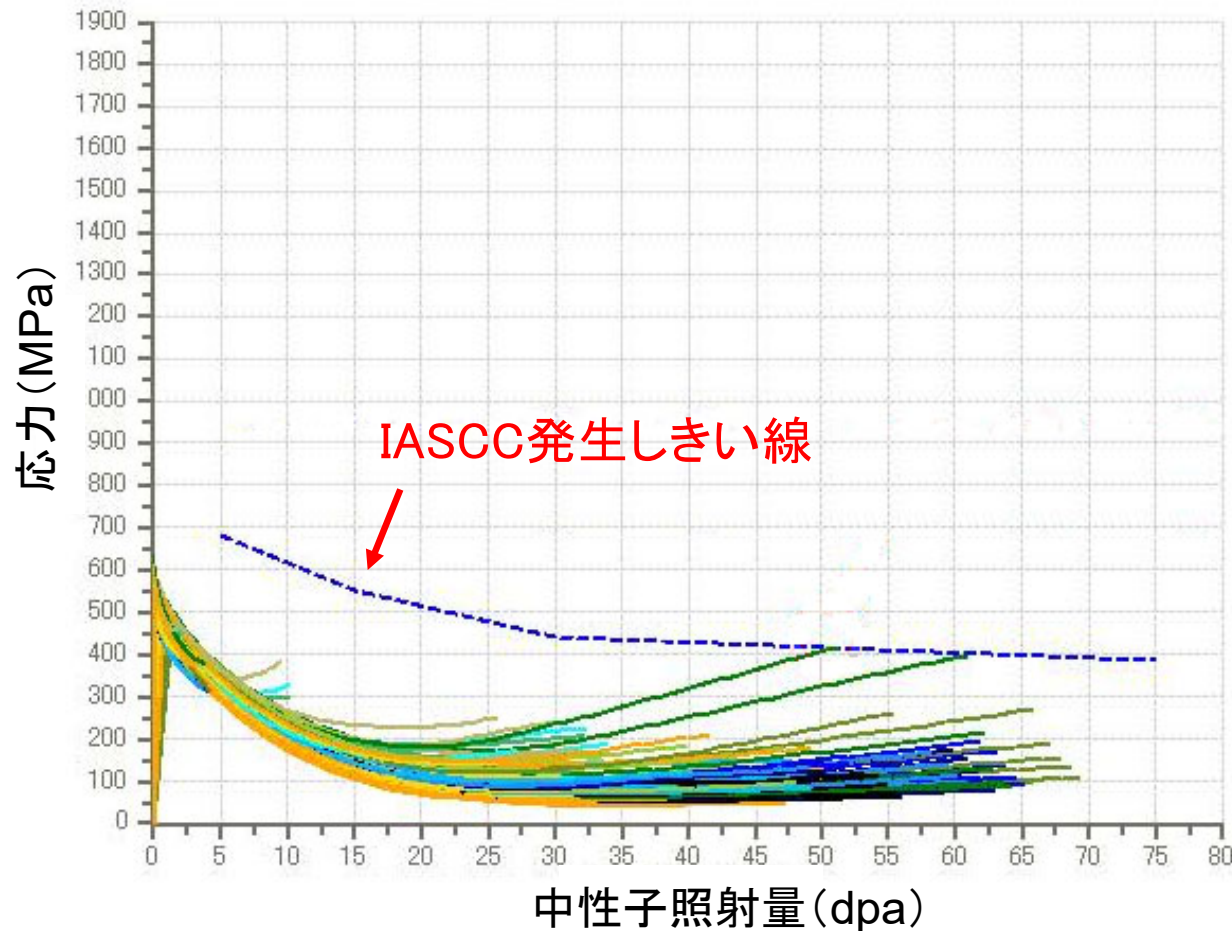
← 大飯3号炉

## 4. 技術評価(1/3)

### 4.1 健全性評価

#### ○バッフルフォーマボルトの損傷予測評価

- ・評価の結果、運転開始60年時点(約42.6万時間(48.6EFPY))までにバッフルフォーマボルト(全数)の応力履歴がIASCC発生しきい線を超えることはなく、IASCC発生の可能性が小さいことを確認した(図3)。



運転時間50万時間を想定するとIASCC発生しきい線と交わるボルトもあるが、運転開始60年時点(約42.6万時間)までにしきい線と交わるボルトはない。

図3 バッフルフォーマボルトの応力履歴とIASCC発生しきい線の重ね合わせ(応力履歴は50万時間まで)

# 4. 技術評価(2/3)

## 4.2 現状保全

### (1) 現状保全の内容

炉内構造物のステンレス鋼のIASCCについては、維持規格に従い供用期間中検査として目視検査(VT-3)を実施している。(表3)

表3 炉内構造物の供用期間中検査計画

【目視試験の試験要領】

項目番号※1 試験カテゴリ	試験部位	試験対象 (IASCC想定部位)	試験方法	頻度
G1.10 G-P-1	容器内部	・炉心そう ・炉心バツフル ・下部炉心板	VT-3※2	3回/10年
G1.40 G-P-1	内部 取付け物	・炉心バツフル ・熱遮蔽材	VT-3※2	1回/10年
G1.50 G-P-2	炉心支持 構造物	・上部炉心板 ・炉心そう ・下部炉心板	VT-3※2	1回/10年

試験方法	水中テレビカメラによって、可視範囲に対して遠隔目視試験を行っている。その際、試験対象部の表面において18%中性灰色カード上の幅0.8mmの黒線が識別できることを確認。
試験項目	過度の変形、心合わせ不良、傾き、部品の破損、隙間の異常、ボルト締め付け部の緩み、機器表面における異常および脱落の有無を確認。
判定基準	過度の変形、心合わせ不良、傾き、部品の破損、隙間の異常、ボルト締め付け部の緩み、機器表面における異常および脱落がないこと。

※1 :維持規格2012年版、2013年追補、2014年追補の番号を示す。

※2 :水中テレビカメラによる遠隔目視試験。

### (2) 炉内構造物の検査結果

大飯3号炉の炉内構造物に対して実施した目視検査において、これまで異常が認められたことはない。

### 4.3 総合評価

健全性評価結果から判断して、バッフルフォーマボルトについては、IASCCが発生する可能性は否定できないと考えられる。

ただし、「照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」で得られた知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、バッフルフォーマボルトのIASCCが炉内構造物の構造強度・機能の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バッフルフォーマボルト以外の部位については、バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、応力、温度の実機条件が相対的に低いレベルであるため、IASCC発生の可能性は小さいと考える。

### 4.4 高経年化への対応

炉内構造物のIASCCについては、高経年化対策の観点から現状保全項目に追加すべき項目はない。

## 5. 1 審査ガイド適合性

「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、全ての要求を満足していることを確認した。

## 5. 2 長期施設管理方針として策定する事項

今後も現状の保全方針により健全性を確認していくものとし、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、長期施設管理方針として策定する事項はない。