

玄海原子力発電所3号炉 高経年化技術評価に係るヒアリング
コメント反映整理表<照射誘起型応力腐食割れ>

資料4-2

2023年10月16日 九州電力㈱

| No | 日付 | 資料名 | 該当ページ | コメント内容 | コメント対応 | 回答日 | 完了日 |
|-----|------------|-------------------------|-------|---|---|-------|-------|
| 1 | 2023年6月19日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | 4 | 表2の「押えリング」の材料について、SA182 Gr.F6bは、材料規格の相当材リストに記載がないが、この材料が使用できるとした根拠を示すこと。 | 玄海3号炉-IASCC-1にて回答。 | 7月25日 | 7月25日 |
| 1-1 | 2023年9月25日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | | SA182 Gr.F6bのJIS相当材がG3214 SUS F6Bとしたこととその判断根拠(出典)を補足説明資料に追記すること。(出展の「JIS 鋼鉄 I」は「JIS 鉄鋼 I」ではないか確認すること) | 玄海3号炉-IASCC-1-1にて回答。 | | |
| 2 | 2023年6月19日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | 6 | 応力評価を行う際のモデルに用いられている材料の各種数値条件等(材料定数、照射材のデータか、公表データか、どこでオーソライズされたのか)を説明すること。 | 玄海3号炉-IASCC-2にて回答。 | 7月25日 | 7月25日 |
| 3 | 2023年6月19日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | 10 | バップルフォーマボルトの評価において、MOX燃料装荷以降の中性子束を【1.09】倍して評価したとしているが、当該評価の妥当性を説明すること。([]内マスキング)。また、別紙2の炉内構造物の中性子照射量の計算におけるMOX燃料の考慮についても併せて説明すること。 | 玄海3号炉-IASCC-3にて回答。 (マスキング箇所及び一部文章を修正したため再提出) | 8月15日 | 8月15日 |
| 3-1 | 2023年9月25日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | | 玄海3号炉-IASCC-3の内容を補足説明資料に追記すること。またその際、マスキング箇所を見直すこと(中性子照射脆化等と比べると、公開できる部分があるのではないか)。 | 玄海3号炉-IASCC-3-1にて回答。 | | |
| 4 | 2023年6月19日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | 2-3 | 中性子照射量の算出モデルについて、炉心バップル取付板がモデルの中で考慮されているかを説明すること。考慮されている場合、図中に炉心バップル取付板を示すこと。 | 玄海3号炉-IASCC-4にて回答。 | 7月25日 | 7月25日 |
| 5 | 2023年6月19日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | 1-1 | 表1-1のマスキング範囲について見直すこと。 | マスキング範囲を見直し、マスキング不要とする。 | 7月25日 | 7月25日 |
| 6 | 2023年9月25日 | 補足説明資料 (照射誘起型応力腐食割れ) | | 玄海3号炉バップルフォーマボルトの最大主応力が約540MPaとなり、川内1号炉PLM40におけるバップルフォーマボルトの最大主応力に比べ約1.7倍大きくなる理由を説明すること。その際、玄海3号炉バップルフォーマボルトの最大主応力に含まれる保守性の度合い(運転時間及び照射量(MOX燃料装荷以降の中性子束、設備利用率)等)も併せて説明すること。 | 玄海3号炉-IASCC-6にて回答。 | | |

玄海3号炉-IASCC-1-1

| | |
|------|--|
| タイトル | SA182 Gr.F6b の JIS 相当材が G3214 SUS F6B としたこととその判断根拠（出典）を補足説明資料に追記すること。（出展の「JIS 鋼鉄 I」は「JIS 鉄鋼 I」ではないか確認すること） |
| 説明 | SA182 Gr.F6b の JIS 相当材が G3214 SUS F6B としたこととその出典を添付の通り補足説明資料に追記する。 なお、出典については「JIS 鉄鋼 I」であることを確認した。 |

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

材料がステンレス鋼で、照射誘起型応力腐食割れ感受性の発生が考えられる中性子照射量 $1.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{MeV}$) 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^{*1}であったため、炉内構造物の各部位を評価対象とする。中性子照射量の算出過程については、別紙 2 に示す。

炉内構造物主要部位の使用材料について、規格上の材料記号を表 2 に示す。

*1：制御棒クラスタの被覆管については、有意な応力は発生せず、中性子照射量が $5 \times 10^{20} \text{n/cm}^2$ ($E > 0.625 \text{eV}$) を超えるまでに取り替える運用をしていることから、抽出対象外としている。制御棒クラスタの被覆管の中性子照射量等については、別紙 3 に示す。

表 2 炉内構造物主要部位の使用材料

| 部位 | 材料 |
|---------------|--|
| 上部炉心板 | JIS G4304 SUS304 |
| 上部炉心支持柱 | JIS G3446 SUS304TKA / JIS G4303 SUS304 |
| 上部炉心支持板 | JIS G4304 SUS304 / JIS G3214 SUSF304 |
| 下部炉心板 | JIS G4304 SUS304 |
| 下部炉心支持柱 | JIS G4303 SUS304 |
| 下部炉心支持板 | JIS G3214 SUSF304 |
| 炉心槽 | JIS G4304 SUS304 / JIS G3214 SUSF304 |
| 上部燃料集合体案内ピン | 原子力発電用規格 G316 CW1 |
| 下部燃料集合体案内ピン | 原子力発電用規格 G316 CW1 |
| 制御棒クラスタ案内管 | JIS G4304 SUS304 / JIS G3463 SUS304TB |
| 支持ピン | JIS G4901 NCF750 |
| 炉心バップル | JIS G4304 SUS304 |
| 炉心バップル取付板 | JIS G4304 SUS304 |
| バップルフォーマボルト | SUS316CW |
| バレルフォーマボルト | SUS316CW |
| 炉内計装用シンプルチューブ | ASME SA-213 T316 |
| 熱遮蔽体 | JIS G4304 SUS304 |
| 熱遮蔽体取付ボルト | 原子力発電用規格 G316 CW2 |
| 押えリング | ASME SA182 Gr. F6b* |

※JIS 鉄鋼 I に基づき JIS G3214 SUS F6B の相当材として使用

次に、炉内構造物の各部位の中性子照射量、温度、応力レベルを表 3 に整理した。これらの部位のうち、中性子照射量と環境温度が最も高く、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。

<MOX 燃料による影響について>

MOX 燃料を導入した場合において、中性子照射量に最も影響が出るのは新燃料が炉心の最外周かつ原子炉容器に最も近い位置（図 1 の a の位置）に配置されていると仮定した場合であり、その場合、中性子照射量については UO₂ 燃料の平衡炉心と比べ約 1.2 倍となる。

バップルフォーマボルトの評価においては、MOX 炉心導入に係る工事計画にて実施した精緻化と同様に以下の条件を考慮している。

燃料装荷パターンの多様性

MOX 新燃料全数（16 体：1/8 炉心対象断面で 2 体）は炉心の最外周に配置される。

[Redacted]
[Redacted] MOX 燃料の配置パターンは全部で 7 通りとなる。

〈図 1 における配置パターン〉

[Redacted]

このうち、最も中性子照射量への影響が大きい配置は 45 度方向の最外周の位置（図 1 の a の位置）に燃料が装荷されるパターンであり、そのパターンは [Redacted] の [Redacted] となる。

それ以外のパターンにおいては、最も中性子量への影響が大きい図 1 の a の位置には UO₂ 燃料が装荷されることになり、その中性子照射量への影響は通常の UO₂ 燃料の平衡炉心と同程度であることから、MOX 燃料導入後の照射量は配置のパターンを考慮すると

[Redacted]

となる。

上記の条件の考慮により IASCC 評価における MOX 燃料装荷による中性子照射量の影響は 1.09 としている。

なお、玄海 3 号炉について、現在 MOX 新燃料は貯蔵されていない。

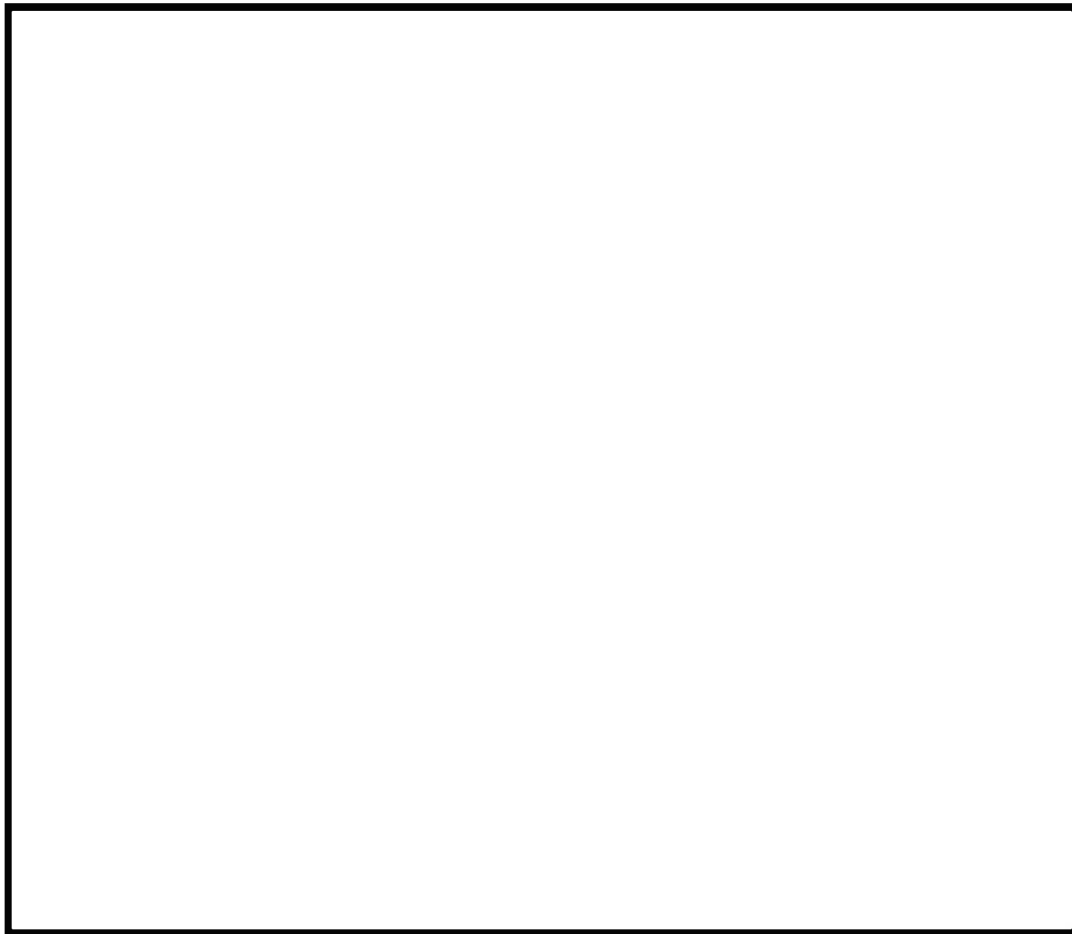


図1 MOX 新燃料の配置パターン

なお、別紙 2 における炉内構造物の中性子照射量の計算においては、解析により算出された中性子照射量に前述の検討により計算された係数である 1.09 を掛けた数値を用いている。

玄海3号炉-IASCC-6

| | |
|-------------|---|
| <p>タイトル</p> | <p>玄海3号炉バップルフォーマボルトの最大主応力が約540MPaとなり、川内1号炉PLM40におけるバップルフォーマボルトの最大主応力に比べ約1.7倍大きくなる理由を説明すること。その際、玄海3号炉バップルフォーマボルトの最大主応力に含まれる保守性の度合い（運転時間及び照射量（MOX燃料装荷以降の中性子束、設備利用率）等）も併せて説明すること。</p> |
| <p>説明</p> | <p>3ループである川内1号炉に比べ、4ループである玄海3号炉では炉心が大型化しているが、一方でバップルフォーマボルトの本数は、川内1号炉は1080本、玄海3号炉は936本と玄海3号炉の方が少なくなっており、ボルトに加わる応力が大きくなる傾向がある。</p> <p>また、玄海3号炉ではMOX燃料装荷の影響により、γ線発熱に起因する構造物の温度上昇や中性子照射量の増加が発生しスウェリング量が増加する傾向にあることも川内1号炉に比べ応力が大きくなる要因となっている。</p> <p>なお、現在の評価に考慮されている保守性としては以下の内容が含まれている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運転実績に基づく設備利用率（約85%）に対して、90%の設備利用率を用いて運転期間60年までの評価を行っている。 ・MOX燃料装荷による影響について、照射量影響が最も大きくなる最外周位置へのMOX燃料配置を考慮した照射量の補正係数1.09を用いた評価を行っている。 <p>（詳細についてはコメント No.3 参照）</p> |