

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	材構 02 R 0
提出年月日	令和 4 年 4 月 21 日

設工認に係る補足説明資料

低サイクル疲労の取り扱いについて

1. 本資料（R 0）は，2021年10月25日に提示した
「共通 11 「既設の設備機器等に係る健全性の評価等も含めた使用前事業者検査の実施方針」
に対する10月25日の面談コメントを踏まえて，補足説明資料として取りまとめたものである。

目次

1. 概要	1
2. 再処理施設の特徴として考慮不要としている事象.....	2
3. 各事象における設計上の考慮等について.....	2
4. まとめ	4

1. 概要

本資料は、再処理施設の第1回設工認申請のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・添付書類「V-1 強度計算の基本方針」

上記添付書類において、延性破断の防止として「公式による設計」を適用した評価を実施する方針としている内容について、本資料では、「公式による設計」では低サイクル疲労も含めた設計上の考慮がなされていることを示す。

また、あわせて、再処理施設の共通11「既設の設備機器等に係る健全性の評価等も含めた使用前事業者検査の実施方針」のうち、別紙-3「検査方法の選定の考え方」において、再処理施設の特性を踏まえた検査方法の選定の考え方にて考慮不要としている事象について、本資料では、それら事象の設計上の考慮を示す。

なお、本資料で示す設計上の考慮については、再処理施設以外のMOX燃料加工施設、廃棄物管理施設に係る設計上の考慮に対しても適用するものである。

2. 再処理施設の特性として考慮不要としている事象

共通 11「既設の設備機器等に係る健全性の評価等も含めた使用前事業者検査の実施方針」のうち、別紙-3「検査方法の選定の考え方」において、再処理施設の特性を踏まえた検査方法の選定の考え方として、建設以降に想定される再処理施設の劣化の特徴を考慮した検査方法を選定しているが、その中で考慮不要としている事象を以下に示す。

- (1) 低サイクル疲労*
- (2) 2相ステンレス鋼の熱時効
- (3) 中性子照射脆化
- (4) 照射誘起型応力腐食割れ

注記 *：低サイクル疲労としての個別評価は不要としているもの。

3. 各事象における設計上の考慮等について

(1) 低サイクル疲労について

低サイクル疲労は、時間的に変動する荷重によって発生した亀裂が、荷重が繰り返し加わることで徐々に進行して破壊に至る現象であり、静的な引張強さや降伏応力よりも低い応力であっても発生するものである。その疲労限度は、一般的に設計引張強さSu値との関係が経験的に次式のような関係にあることが知られている*¹。

$$\text{疲労限度} \approx \text{Su} / 2$$

ここで、再処理施設や発電炉の構造設計においては、基本的にJSME 設計・建設規格等に準拠した設計を行っているが、JSME 設計・建設規格等における構造設計の基本的な考え方は「解析による設計 (design by analysis)」と「公式による設計 (design by rule)」とに大別できる。

「解析による設計」は、圧力・温度条件の厳しく最も安全重要度が高い発電炉のクラス1機器等の評価に適用されており、起こり得る全ての破壊モードを考慮し、応力解析を実施して応力制限等を行う設計となっている。そのため、例えば低サイクル疲労についても、プラント起動・停止等の設計過渡条件下に発生するピーク応力から疲労累積係数を評価し、疲労破壊が生じないことを確認するなど破壊モード毎に詳細評価を実施している。

一方、「公式による設計」は、圧力・温度条件が低い再処理施設や発電炉のクラス3機器の評価に適用されており、起こり得る全ての破壊モードを考慮するのではなく、引張強さに大きい安全係数を設定した許容値 (許容引張応力S値*²) を用いることで、低サイクル疲労を含む他の破壊モードに対する安全性を確保する設計となっている。

そのため、「公式による設計」では、引張強さに大きい安全係数を設定した許容引張応力S値 (Su/4) を用いた評価を行うことで、低サイクル疲労 (疲労限度 \approx Su/2) が生じないことの確認も含めて十分な強度を

有することを確認している。

再処理施設では、「公式による設計」を適用し、許容引張応力S値を用いた弾性設計を行っていることから、低サイクル疲労による破壊の防止も含めて設計上考慮されている。

注記 *1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）」（JSME S NJ1-2012）に関する技術評価書による。

*2：許容引張応力S値は、以下のように求められる。

- ・材料の引張試験で得られる応力-歪線図から設計降伏点Sy値及び設計引張強さSu値が求められる。
- ・この設計降伏点Sy値に5/8を乗じた値と設計引張強さSu値に1/4を乗じた値を比較して小さい方を許容引張応力S値とする。

(2) 2相ステンレス鋼の熱時効について

2相ステンレス鋼の熱時効は、オーステナイト相とフェライト相の2相から成る2相ステンレス鋼において、高温状態（475℃で特に顕著）で長時間使用すると、熱時効により材料特性（じん性）が低下する現象である。

発電炉では、250℃以上の2相ステンレス鋼*を使用する機器を対象とし、構造健全性（亀裂の安定性）を確認している。

再処理施設では、250℃以上となるステンレス鋼設備が存在しないため、2相ステンレス鋼の熱時効の評価は不要と判断している。

(3) 中性子照射脆化について

中性子照射脆化は、中性子照射脆化が想定される材料（低合金鋼とその溶接部）が高い中性子照射量にさらされると鋼材内の原子配列が乱れ、脆化を引き起こす現象である。

発電炉では、 $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2 (E > 1 \text{MeV})$ 以上*の中性子照射量に晒される低合金鋼とその溶接部を対象とし、事故時の過渡条件で冷水に晒された場合でも脆性破壊が生じないことを確認している。また、運転中の過渡条件に対して脆性破壊が発生しないよう中性子照射脆化を考慮した温度-圧力制限曲線を設定して運転管理している。

再処理施設では、照射脆化が考えられる $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2 (E > 1 \text{MeV})$ 以上の中性子照射を受ける機器は存在しないため、中性子照射脆化の評価は不要と判断している。

(4) 照射誘起型応力腐食割れについて

照射誘起型応力腐食割れは、オーステナイト系ステンレス鋼において、高い中性子照射量に晒されると応力腐食割れの感受性を有するようになる現象である。

発電炉では、 $1 \times 10^{21} \text{n/cm}^2 (E > 0.1 \text{MeV})$ 以上* の中性子照射量に晒されるオーステナイト系ステンレス鋼製を対象とし、引張応力と中性子照射量により照射誘起応力腐食割れが生じないことを確認している。

再処理施設では、照射誘起型応力腐食割れの感受性発生が考えられる $1 \times 10^{21} \text{n/cm}^2 (E > 0.1 \text{MeV})$ 以上の中性子照射を受ける機器は存在しないため、照射誘起型応力腐食割れの評価は不要と判断している。

注記 *：日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008（社団法人 日本原子力学会）による。

4. まとめ

共通 11「既設の設備機器等に係る健全性の評価等も含めた使用前事業者検査の実施方針」のうち、別紙-3「検査方法の選定の考え方」において再処理施設の特性として考慮不要としている4事象（低サイクル疲労、2相ステンレス鋼の熱時効、中性子照射脆化及び照射誘起型応力腐食割れ）の再処理施設における設計上の考慮等について整理した。

低サイクル疲労については、再処理施設では「公式による評価」を適用し疲労限度（ $\cong Su/2$ ）より十分大きい安全係数（ $Su/4$ ）を適用した弾性設計を行うことで、低サイクル疲労の防止も含めた設計上の考慮を行っている。

また、2相ステンレス鋼の熱時効、中性子照射脆化及び照射誘起型応力腐食割れについては、再処理施設の使用条件では発生が想定されるものではないことを確認している。