

川内原子力発電所 1 号炉  
劣化状況評価  
(中性子照射脆化)

補足説明資料

2023年8月17日  
九州電力株式会社

＜PLM30 と PLM40 の評価結果の比較について＞

1. 関連温度における PLM30 と PLM40 の比較について

PLM30 と PLM40 における運転開始後 60 年時点の中性子照射量予測値と、JEAC4201-2007[2010 年追補版]及び JEAC4201-2007[2013 年追補版]のそれぞれの国内脆化予測法で算出した関連温度予測値を整理した結果（PLM30 と PLM40 の比較）を表 9-1 に示す。

関連温度予測値は、 $\Delta RT_{\text{DBT}}$  計算値（中性子照射量、Cu 及び Ni 含有量等より算出）や監視試験の実測値で補正する場合に用いるマージン  $Mc$  等をもとに算出する。これらのうち、 $Mc$  については PLM30 と PLM40 とで大きな差はなかった。

一方、PLM30 と PLM40 における中性子照射量は、最新の監視試験結果に加え、評価後の稼働率を 100%と保守的に設定し、運転開始後 60 年時点の予測値を算出している。このため、PLM30 の中性子照射量予測値は、PLM40 よりもより保守的に稼働率を設定していることから高い値となる。

そのため、関連温度予測値は PLM30 > PLM40 となり、運転開始後 60 年時点での中性子照射量予測値の差が関連温度予測値の差として表れていると考えられる。

表 9-1 運転開始後 60 年時点の関連温度予測値及び中性子照射量予測値

部 位	運転開始後 60 年時点の予測値		
	PLM30		PLM40
	2007 [2010 年追補版]	2007 [2013 年追補版]	2007 [2013 年追補版]
胴部（母材）	35°C	45°C	40°C
胴部（溶接金属）	-8°C	-2°C	-7°C
胴部（熱影響部）	20°C	30°C	29°C
中性子照射量 予測値 <sup>*1</sup> [ $\times 10^{19}$ n/cm <sup>2</sup> ]	6.23		5.56

※1 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100%で運転すると仮定して、内表面から板厚  $t$  の  $1/4t$  深さ位置での中性子照射量を算出

2. PTS 評価における PLM30 と PLM40 の比較について

深さ 10mm の想定き裂を用いた PTS 評価のうち、運転開始後 60 年時点の破壊靱性遷移曲線 ( $K_{Ic}$  下限包絡曲線) について、

- ① PLM30 時点の評価
- ② PLM30 時点の評価に対し JEAC4201-2007 [2013 年追補版] を適用した評価
- ③ PLM40 時点の評価において第 4 回監視試験片\*1 の破壊靱性データを適用した評価
- ※1 : PLM30 の PTS 評価において破壊靱性データが下限であった監視試験片
- ④ PLM40 時点の評価

に対し評価した。

評価に用いた各条件の整理結果を表 9-2 に、①～④の PTS 評価結果を図 9-1 に示す。

表 9-2 運転開始後 60 年時点の PTS 評価に用いた各条件の整理結果

No.	分類	中性子照射量 予測値 <sup>※2</sup> [ $\times 10^{19}$ n/cm <sup>2</sup> ]	適用規格 (JEAC4201) 及びマージン $M_R$	評価対象とした 監視試験片回次	$T_p$
①	PLM30	9.92	2007 [2010 年追補版] $M_R=10^\circ\text{C}$	第 4 回	66°C
②				第 3 回	96°C
③	PLM40	8.85	2007 [2013 年追補版] $M_R=18^\circ\text{C}$	第 4 回	68°C
④				第 3 回	89°C

※2 各評価実施時期から運転開始後 60 年まで稼働率 100% で運転すると仮定して、原子炉容器内表面位置の中性子照射量を算出。

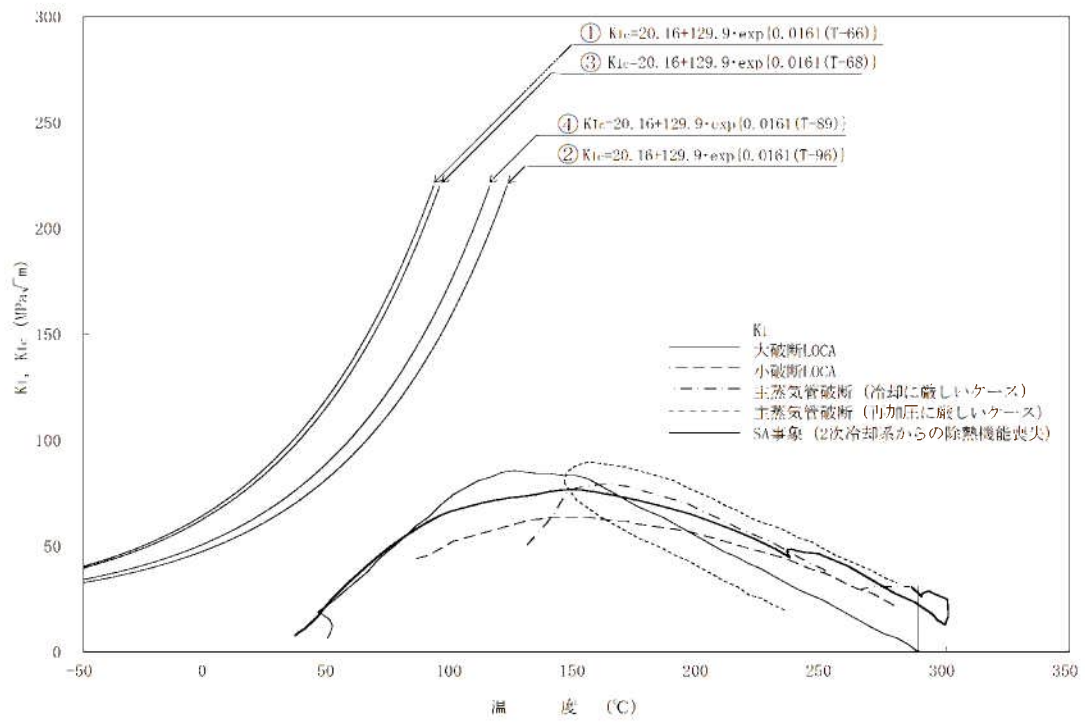


図9-1 PTS 評価結果の比較

(1) PLM30 時点の評価における適用規格 (JEAC4201) の年度版の影響

適用規格の年度版による影響を確認するため、「PLM30 時点の評価【①】」と「PLM30 時点の評価に対し PLM40 の適用規格である JEAC4201-2007 [2013 年追補版] を適用した評価【②】」を比較した結果、評価【②】の  $T_p$  値は、評価【①】に比べ 30°C 増加している。  
(予測破壊靱性  $K_{Ic}$  ①>②)

これは、PLM40 の適用規格 JEAC4201-2007 [2013 年追補版] (以下「2013 年追補版」という。) が、PLM30 の適用規格 JEAC4201-2007 [2010 年追補版] (以下「2010 年追補版」という。) に比べ、以下の理由等により脆化予測法が改善したことが要因である。

- ・高照射領域にて、より関連温度が高いデータを拡充
- ・脆化予測のばらつきを考慮するためのマージン  $M_R$  の見直し

表 9-3 PLM30 時点の評価における適用規格 (JEAC4201) の年度版の影響

項目	PLM30 時点の評価【①】	PLM30 時点の評価に 2013 年追補版を適用した評価【②】	差
破壊靱性値のシフト量 (マージン $M_R$ を除く)	3°C [2010 年追補版] $9.18^{*2} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	26°C [2013 年追補版] $5.80^{*1} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	+23°C
マージン $M_R$	10°C	18°C	+8°C
$T_p$	66°C (PLM30 記載値)	96°C	+30°C**5

- ※3 PLM30 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 4 回監視試験の照射量
- ※4 PLM30 時点に 2013 年追補版を適用した評価において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 3 回監視試験の照射量
- ※5 下限となる試験片の監視試験回数が異なるため、破壊靱性値のシフト量とマージン  $M_R$  の合計とはならない。

(2) 同一監視試験データにおける評価手法の影響

PLM30 と PLM40 の評価手法の違いを確認するため、「PLM30 時点の評価【①】」と「 PLM40 時点の評価において第4回監視試験片の破壊靱性データを適用した評価【③】」を比較した結果、評価【③】の  $T_p$  値は、評価【①】に比べ  $3^{\circ}\text{C}$  増加している。(予測破壊靱性  $K_{Ic}$  ①>③)

このことから、PLM40 の評価手法は、PLM30 の評価手法に比べ改善され保守的となったと考える。

なお、PLM30 では第4回監視試験片データ、PLM40 では第3回監視試験片データを選定しているが、これは、PLM30[2010年追補版]では、破壊靱性遷移曲線の設定において第3回監視試験片の  $\Delta T_{K_{Ic}}$  移行後が  $0^{\circ}\text{C}$  未満となり評価対象外となったが、PLM40[2013年追補版]では、脆化予測法の改善により第3回監視試験片が評価対象となったためである。

表 9-4 同一監視試験データにおける評価手法の影響

項目	PLM30 時点の評価【①】	第4回監視試験データに対する PLM40 の評価【③】	差
破壊靱性値 のシフト量 (マージン $M_R$ を除く)	$3^{\circ}\text{C}$ [2010年追補版] $9.18^{+6} \rightarrow 9.92 \times 10^{19}$ [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	$-2^{\circ}\text{C}$ [2013年追補版] $9.18^{+6} \rightarrow 8.85 \times 10^{19}$ [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	$-5^{\circ}\text{C}$
マージン $M_R$	$10^{\circ}\text{C}$	$18^{\circ}\text{C}$	$+8^{\circ}\text{C}$
$T_p$	$66^{\circ}\text{C}$ (PLM30 記載値)	$68^{\circ}\text{C}$	$+3^{\circ}\text{C}^{*7}$

※6 PLM30 において 60 年時点の PTS 評価で下限となった第4回監視試験の照射量

※7 小数点第1位までの値を用いて算出した値 ( $67.72^{\circ}\text{C} - 65.2^{\circ}\text{C} = 2.52^{\circ}\text{C} \approx 3^{\circ}\text{C}$ )

後述の(3)に示す PLM30 と PLM40 の  $T_p$  値の差  $89^{\circ}\text{C} - 66^{\circ}\text{C} = 23^{\circ}\text{C}$ のうち、表9-4に示す脆化予測法の改善に伴う増分  $3^{\circ}\text{C}$ を除いた  $20^{\circ}\text{C}$ は、PLM30 で選定されなかった第3回監視試験片による増分である。

(3) PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

「PLM30 時点の評価結果【①】」と「PLM40 時点の評価結果【④】」を比較した結果、PLM40 の  $T_p$  値は、PLM30 に比べ 23°C 増加している。(予測破壊靱性  $K_{Ic}$  ①>④)

これは、PLM30 の中性子照射量予測値が PLM40 よりも高いものの、適用規格の年度版の影響が大きいことが要因である (以下参照)。

- ・ PLM30 と PLM40 における中性子照射量は、最新の監視試験結果に加え、評価後の稼働率を 100% と保守的に設定し、運転開始後 60 年時点の予測値を算出している。このため、PLM30 の中性子照射量予測値は、PLM40 よりもより保守的に稼働率を設定していることから高い値となる。
- ・ (1)、(2) で示したように、PLM40 の適用規格 [2013 年追補版] は、PLM30 の適用規格 [2010 年追補版] よりも脆化予測法が改善されている。

表 9-5 PLM30 時点と PLM40 時点の評価結果の比較

項目	PLM30 時点の評価【①】	PLM40 時点の評価【④】	差
破壊靱性値 のシフト量 (マージン $M_R$ を除く)	3°C 〔2010 年追補版〕 9.18 <sup>※8</sup> →9.92×10 <sup>19</sup> [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	20°C 〔2013 年追補版〕 5.80 <sup>※9</sup> →8.85×10 <sup>19</sup> [n/cm <sup>2</sup> ] [内表面]	+17°C
マージン $M_R$	10°C	18°C	+8°C
$T_p$	66°C (PLM30 記載値)	89°C (PLM40 記載値)	+23°C <sup>※10</sup>

※8 PLM30 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 4 回監視試験の照射量

※9 PLM40 において運転開始後 60 年時点の PTS 評価で下限となった第 3 回監視試験の照射量

※10 PLM30 と PLM40 とでは、下限となる監視試験片回次が異なるため、破壊靱性値のシフト量とマージン  $M_R$  の合計とはならない。

(1) ~ (3) の結果より、[2013 年追補版] を適用することで脆化予測法が改善していることがわかる。これは、国内の脆化管理のスキーム (計画的に監視試験を実施し、これらの試験結果によりデータを拡充していくと共に、予測法を継続的に改善していく取り組み) に基づき、より確実に脆化傾向を把握していることを示している。

#### (4) その他

PLM40 の PTS 評価では、原子炉容器内表面位置において運転開始後約 80 年時点の照射量に相当する第 5 回監視試験結果も評価対象に含め、60 年時点までの照射量増分及びマージン 18℃を考慮して PTS 評価を行なっている。また、本評価には特別点検において確認したき裂想定の保守性を始め、十分な評価余裕が備わっている。

以上のことから、川内 1 号炉の中性子照射脆化が運転延長期間中の原子炉容器の健全性に影響を及ぼす可能性はない。

さらに、原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第 6 回監視試験を実施する。